



*BIBLIOTECA TECNICA VANNINI*

---

*RENATO TRAMAGLIA*

***AVVOLGIMENTI STATORICI***  
**PER MOTORI**  
**A CORRENTE ALTERNATA**

**Volume di 136 pagine**  
**Con 57 illustrazioni e 43 tavole**  
**Con prefazione dell'ing. A. Poletti**

***IL VADEMECUM PER GLI OPERAI AVVOLGITORI***

---



**BIBLIOTECA TECNICA VANNINI**

---

**RENATO TRAMAGLIA**



***SOCIETA' EDITRICE VANNINI. BRESCIA - 1951***



***A te Padre mio  
con la promessa e la speranza  
di seguire il tuo esempio  
sempre e ovunque***



***PREFAZIONE ALLA PRIMA EDIZIONE***  
***Del Dott. Ing. Aldo Polettini***

In questo libro, di cui ho patrocinato la compilazione, perché ne prevedo la grande utilità per gli avvolgitori e particolarmente per quei giovani avvolgitori che desiderano perfezionare le loro conoscenze in questo ramo della tecnica, è un operaio che parla agli operai. E' un giovane laborioso appassionato per il suo mestiere, che ha studiato, si è perfezionato e che desidera far partecipi gli altri lavoratori della sua esperienza onde aiutarli a superare molte di quelle difficoltà che così frequentemente si presentano nella pratica professionale a chi si trova a dover riavvolgere un motore, spesso cambiandone le caratteristiche funzionali. Il libro ha carattere eminentemente pratico; può diventare l'amico, il consigliere inseparabile dell'avvolgitore. Non ci sono sfoggi teorici, tranne qualche breve cenno indispensabile, ma vi sono invece molti schemi e molti consigli.

Per questo ho incoraggiato l'autore, la solerte Soc. ed. Vannini ha, come sempre, curato con zelo questo nuovo lavoro della sua Biblioteca tecnica.



## ***PREFAZIONE DELL'AUTORE***

Questo modestissimo volumetto esce in seconda edizione leggermente modificato e corretto dagli inevitabili errori che si verificano quasi sempre nella prima edizione di opere a carattere tecnico.

Non ho voluto modificare l'impostazione del testo per mantenere al libro quel carattere di semplicità che lo caratterizza, non dimenticando che si rivolge ai giovani apprendisti avvolgitori i quali potranno, in seguito, meglio approfondirsi nelle cognizioni teoriche attingendo da testi di elettrotecnica di valenti autori.

***RENATO TRAMAGLIA***



## ***CAPITOLO PRIMO***

### ***AVVOLGIMENTI A CORRENTE ALTERNATA E LORO FUNZIONAMENTO***

I. - Generalità sugli avvolgimenti statorici. Prima di iniziare la trattazione dei collegamenti illustrati in questo libro, daremo una breve spiegazione sui più comuni tipi di avvolgimenti statorici per motori a corrente alternata. I vari sistemi di avvolgimento usati (prendiamo come esempio il gruppo delle bobine che interessa una fase, sotto ogni polo o coppia di poli) li possiamo distinguere in tre tipi:

1°-Avvolgimenti a matasse, a spirali semplici (concentriche).

2° - Avvolgimenti a matasse, a spirali embricate.

3° - Avvolgimenti ondulati (normale e regressivo).

Nel primo tipo, vediamo dalla fig. 1, che ogni singola bobina o gruppo di bobine, formanti un polo - fase o coppia di poli, ha un passo differente (ossia la distanza fra le cave i cui conduttori vengono collegati in serie varia per ogni spira, o fascio di spire formanti una bobina).

A seconda del numero dei poli questo tipo di avvolgimento, a matasse a spirali semplici concentriche, si distingue in vari ordini. Ad esempio in un avvolgimento trifase a due poli si avranno sei gruppi

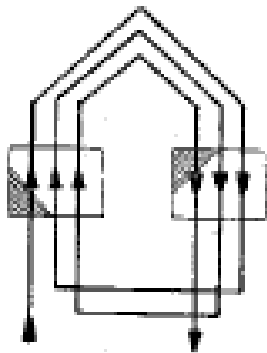


Fig. 1 — Tipo a spirali semplici

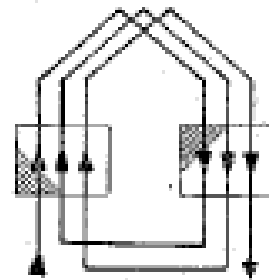


Fig. 2 — Tipo a spirali embricate

di matasse disposte in tre ordini, ossia a due a due sullo stesso piano. In un avvolgimento a quattro poli si avranno sempre sei gruppi di matasse disposte in due ordini, ossia a tre a tre sullo stesso piano. Nel secondo tipo invece (fig. 2) ogni bobina ha un medesimo passo. In pratica è resa più facile la costruzione di avvolgimenti con matasse a spirali embricate, dal fatto di usare nella costruzione delle matasse un'unica misura di sagoma, mentre è migliore l'estetica dell'avvolgimento. Questo vale però in linea di massima per motori di piccola o media potenza avvolti generalmente con matasse costruite a parte mentre nei motori di grande potenza si presta meglio il tipo a spirale semplice, dato che frequentemente l'avvolgimento è eseguito direttamente sulla carcassa dello statore. Il tipo a spirali embricate si presta per motori di grande potenza, quando sono avvolti a sbarrette: ciò facilita le



connessioni. Concludendo, tra un motore avvolto con matasse a spirali semplici ed a spirali embricate non esiste alcuna differenza dal punto di vista del funzionamento, infatti i risultati agli effetti del campo sono i medesimi (vedi dalle frecce la direzione della corrente).

I due avvolgimenti differiscono solo dal punto di vista pratico della costruzione.

L'avvolgimento ondulado, come si è detto può essere di due tipi: progressivo e regressivo. Il primo tipo si usa generalmente per avvolgimenti di indotti:

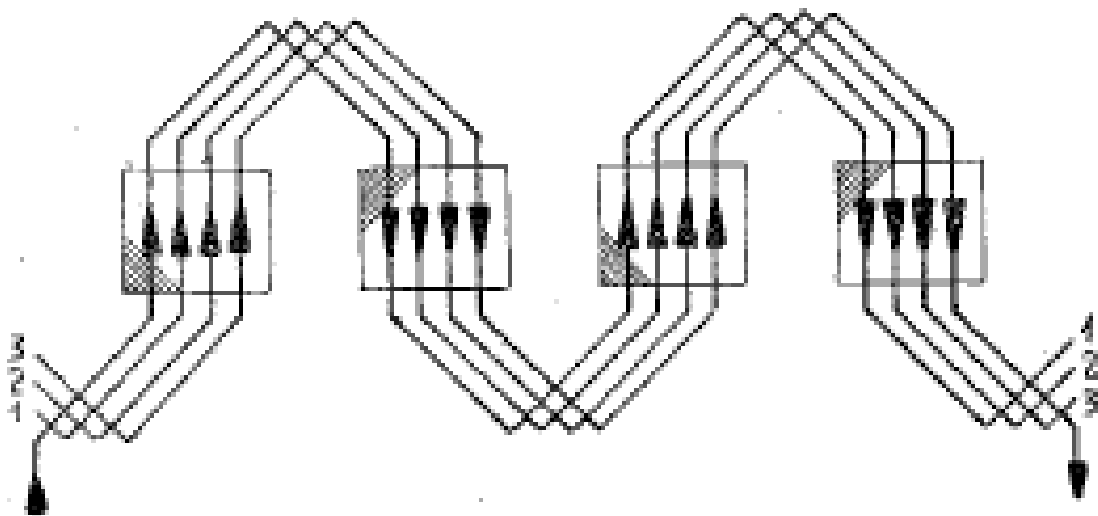


Fig. 3 — Tipo ondulado progressivo

a corrente continua. . Anche qui un conduttore sotto un polo è collegato con un altro sotto il polo successivo di nome contrario e così di seguito facendo però il giro dell'armatura tante volte quanti sono i canali sotto ogni polo (fig. 3) mentre nei due tipi precedenti si farà



un giro completo dell'armatura una sola volta, qualunque sia il numero dei canali per polo.

Il regressivo è analogo al tipo normale ma dopo collegato metà numero di conduttori in un senso si procede in senso contrario collegando l'altra metà (fig. 4).:

Questi tipi di avvolgimenti sono usati per i rotor avvolti a sbarrette.

Non tratteremo nel libro di questi sistemi di avvolgimento

Perchè generalmente sono poco usati per gli statori di motori a corrente alternata: anzi il tipo progressivo è assolutamente da escludersi per difficoltà costruttive.

Ora che abbiamo visto in generale la disposizione delle matasse inizieremo a parlare dei vari sistemi di collegamento prendendo a esempio delle bobine o gruppi di bobine.

Generalmente ci riferiamo al gruppo delle bobine che comprende la fase di un avvolgimento sia bifase che trifase.

Questi esempi possono però essere considerati anche come collegamenti di monofasi tanto ad induzione come a indotto. Nei seguenti esempi schematici abbiamo segnato con freccette la direzione della corrente.

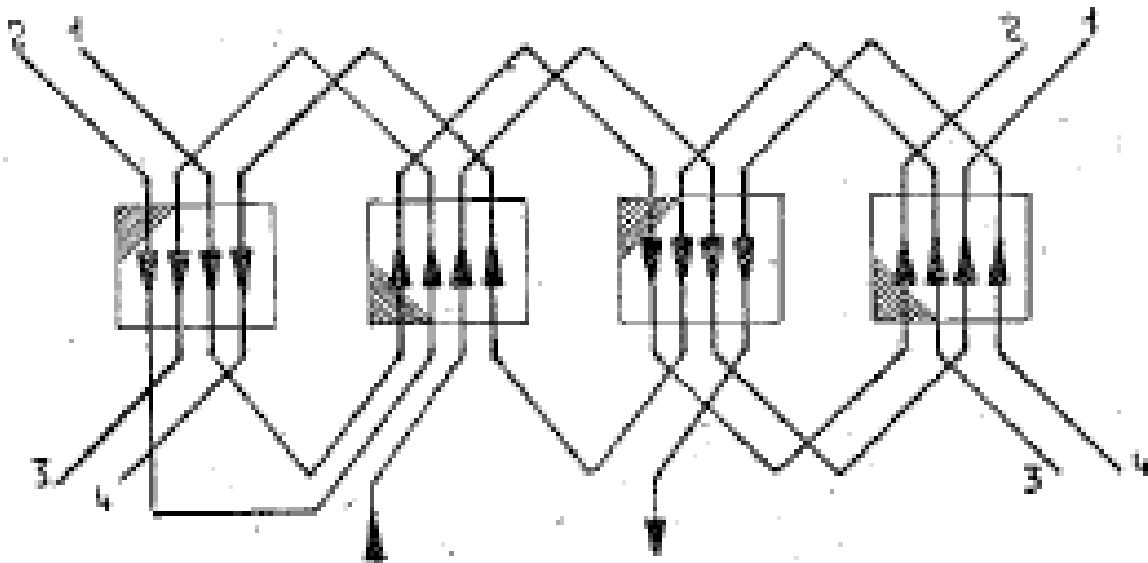


Fig. 4 — Tipo ondulato regressivo

2. - Collegamenti a poli omonimi ed alterni. - Con una opportuna disposizione dei collegamenti si possono ottenere per le bobine polarità omonime e polarità alterne. Cioè si può ottenere che ogni bobina prenda tutti i conduttori posti nelle cave di due poli vicini, ovvero che le bobine siano distribuite in modo che ciascuna bobina comprenda i conduttori di metà cave di un polo e di metà cave del polo vicino di nome contrario.

Nel primo caso avremo bobine lunghe e nel secondo caso bobine corte (vedi fig.re 5-6 e 7-8).

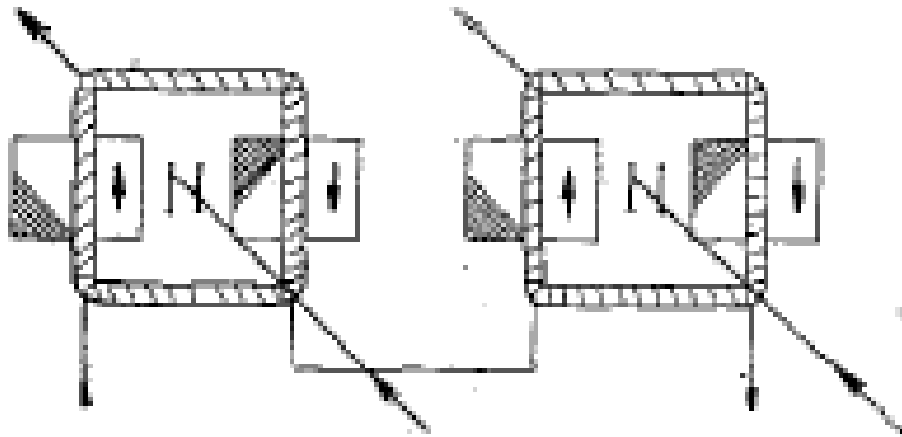


Fig. 5 — Bobine a poli omonimi

Nell'avvolgimento a poli omonimi, abbiamo una bobina o gruppo di bobine ogni coppia di poli, ossia un lato di bobina ogni polo, ed hanno un'ampiezza di circa  $2/3$  del doppio passo polare (vedi fig. 5 e 7).

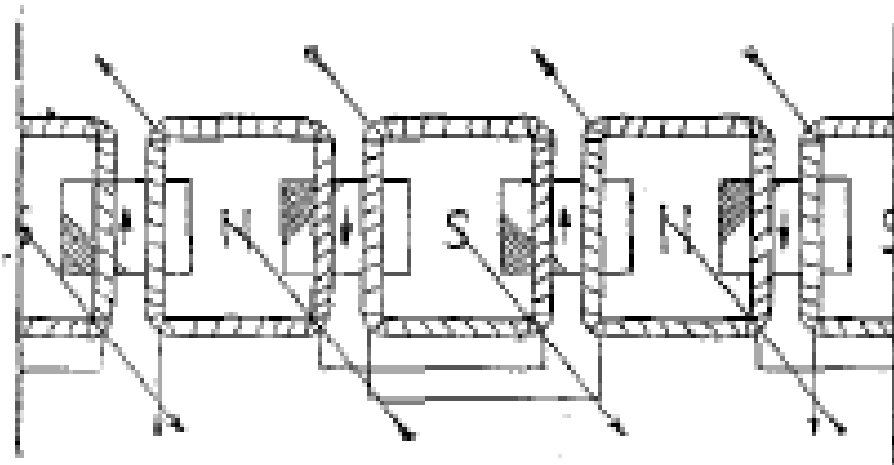


Fig. 6 — Bobine a poli alterni



Nell'avvolgimento a poli alterni abbiamo invece una bobina per ogni polo. Questo avvolgimento a bobine corte ha pressoché l'ampiezza del passo polare (figg. 6 e 8). Con questi tipi di collegamenti

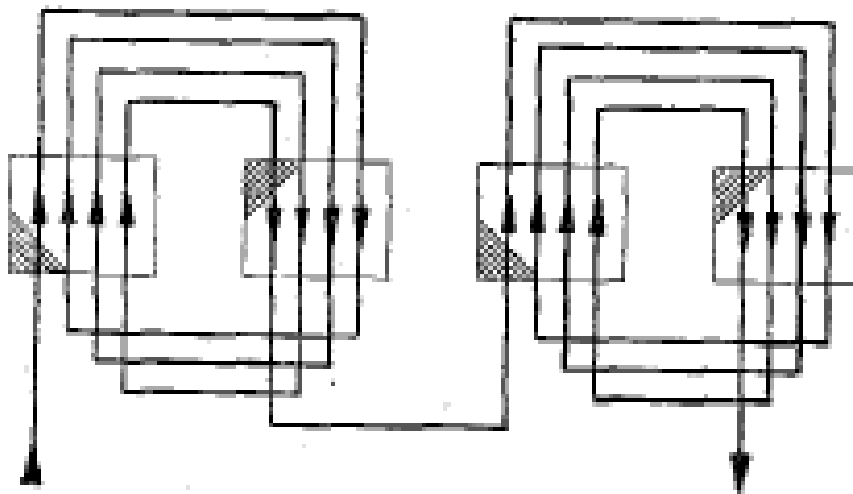


Fig. 7 — Collegamento a poli omonimi

non si riscontrano negli avvolgimenti diversità agli effetti elettrici, infatti osservando dalle frecce la direzione della corrente vediamo che tanto nei collegamenti a poli omonimi come in quelli a poli alterni, segue la stessa direzione. Specialmente nel trifase gli avvolgimenti a poli omonimi sono generalmente (ogni coppia di poli) avvolti a spirali semplici, mentre quelli a poli alterni sono preferibilmente avvolti a spirali embricate.

Essi presentano dunque le stesse differenze costruttive già dette per gli avvolgimenti a spirali semplici ed embricate.

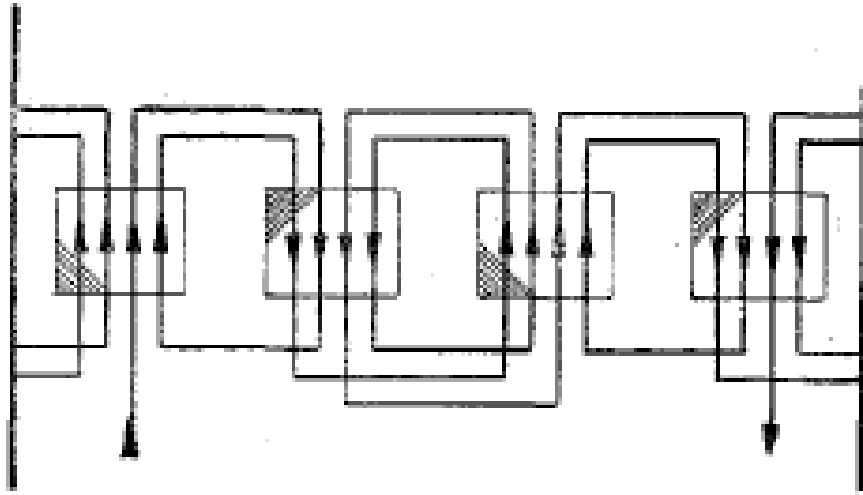


Fig. 8 — Collegamento a poli alterni

3. - Collegamenti in serie ed in parallelo. - Uno dei vantaggi

determinanti la comodità costruttiva dell'avvolgimento, è il collegamento in serie ed in parallelo.

Si dice in serie 1111 avvolgimento quando ha le bobine collegate una dopo l'altra, ossia: la fine della -prima con il principio della seconda, la fine della seconda con il principio della terza, ecc. oppure quando i capi iniziali o terminali delle varie bobine costituenti l'avvolgimento

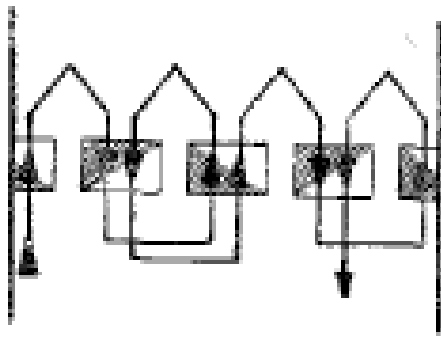


Fig. 9 — Tipo di collegamento in serie (poli alterni)

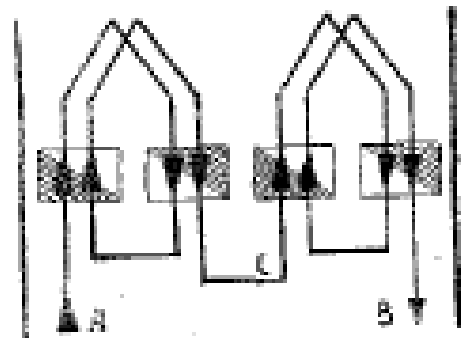


Fig. 10 — Tipo di collegamento in serie (poli omoznani)

avvolgimento sono collegati uno dopo l'altro in modo da formare dei

circuiti in cui la corrente segue il senso richiesto per formare un determinato numero di poli, come ad esempio il collegamento visto in fig. 9 in cui: il capo di fine della prima bobina è collegato con la fine della seconda, il principio della seconda con il principio della terza, la fine della terza con la fine della quarta. E' questo il collegamento a quattro poli alterni in serie.

Due sono invece i tipi di parallelo che si possono eseguire in un avvolgimento, questi si distinguono in:

- **parallelo interno**
- **parallelo esterno**

Parallelo interno, quando il conduttore dell'avvolgimento è composto di due o più fili abbinati, in modo che la somma delle sezioni elementari sia uguale alla sezione richiesta. Con questo sistema è possibile (sempre che lo spazio della cava o foro lo permetta) suddividere la sezione richiesta in varie sezioni. Non sempre però è praticamente possibile suddividere la sezione

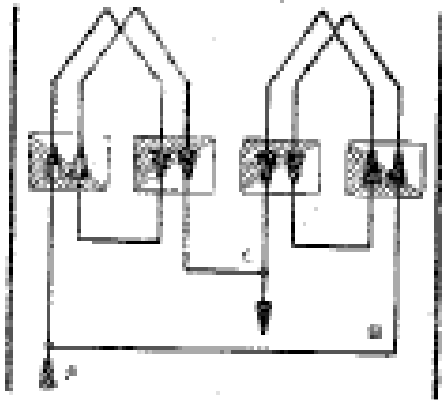
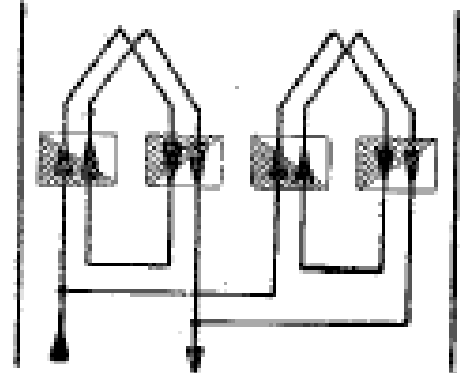


Fig. 11 — Collegamento crociato

Fig. 12 -- Quattro poli omofonimi  
in parallelo

del conduttore in varie sezioni inferiori, ad esempio due o tre, dato che ne risulta aumentata la quantità d'isolamento dei fili, determinando un eccessivo ingombro e perciò una maggiore difficoltà di contenere i fili nelle cave stesse.

Parallelo esterno si dice invece, quando, rispettando la direzione della corrente nei circuiti delle varie bobine queste vengono collegate in parallelo con i capi esterni fra di loro. Per questo è però necessario che le varie bobine da connettere in parallelo si trovino nelle stesse condizioni di resistenza e reattanza: praticamente abbiamo lo stesso numero di spire, la stessa sezione e lo stesso sviluppo.

Le connessioni in parallelo esterno permettono di ottenere

sezioni o tanti circuiti in parallelo, quante sono le bobine che comprendono la fase, sempre che queste siano in



numero pari ed abbiano, ripetiamo, rigorosamente lo stesso numero di spire. Durante la mia esperienza sui collegamenti, ho notato la facilità con cui il principiante, incorre in errore eseguendo il parallelo delle varie bobine comprendenti la fase dell'avvolgimento.

In fig. 10 abbiamo un avvolgimento a quattro poli omonimi, cioè a matasse lunghe in serie. Il principiante che non si sia fatta una giusta coscienza sulla direzione della corrente nei circuiti delle bobine

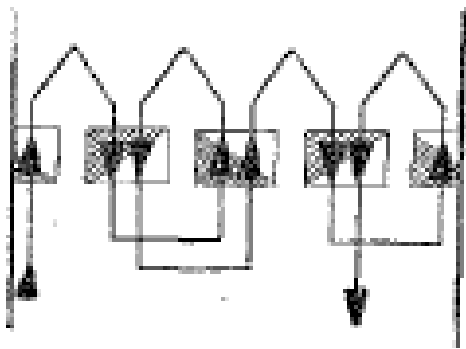


Fig. 13 — Quattro poli alterni in serie (matasse corte)

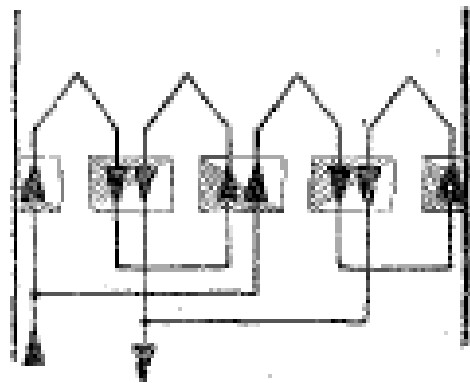


Fig. 14 — Quattro poli alterni in parallelo (matasse corte)

crederà unendo i capi A e B (fig. 11) ed estraendo un capo al centro c di avere eseguito il giusto parallelo, ma avrà invece ottenuto un teorico collegamento a due poli alterni, nella maggior parte dei casi non funzionante in pratica.

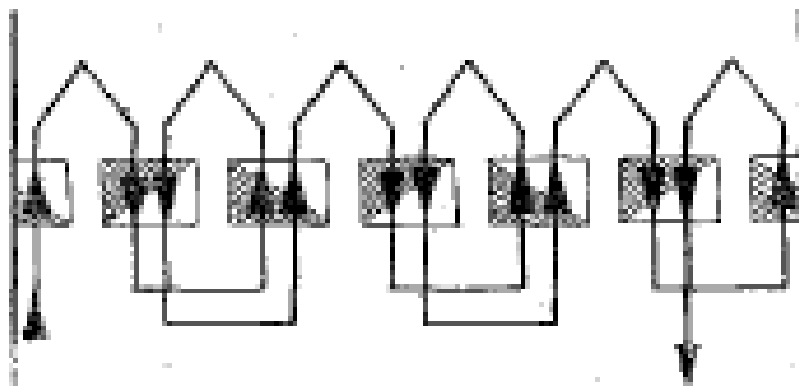


Fig. 15 — Sei poli alterni in serie (matasse corte)

Infatti vediamo dalle frecce che la corrente non segue la stessa direzione dell'analogo schema della fig. 10.

Il parallelo esterno va invece eseguito come è indicato in fig. 12. Questo errore può succedere inversamente anche per i due poli.

A maggior chiarimento di quanto esposto, riportiamo alcuni schemi. Osservando questi schemi notiamo che a pari polarità, tanto in serie come in parallelo la corrente segue la stessa direzione.

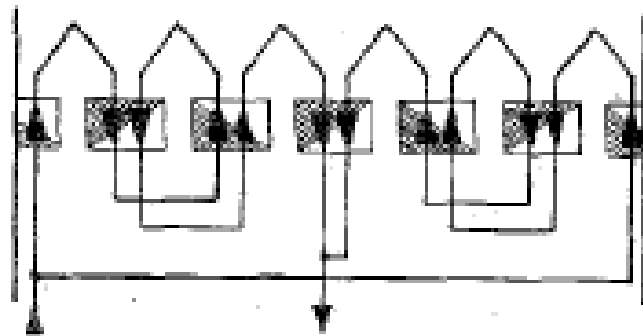


Fig. 16 — Sei poli alterni in parallelo (matasse corte)

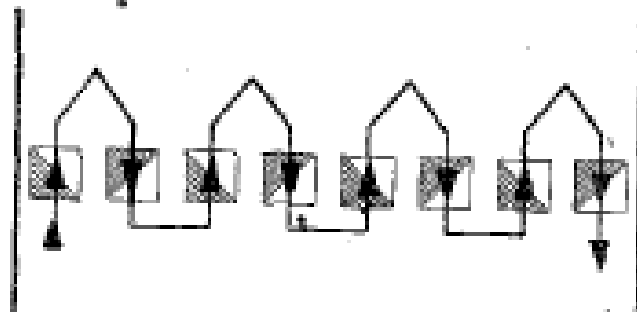


Fig. 17 — Otto poli omonimi in serie (matasse lunghe)

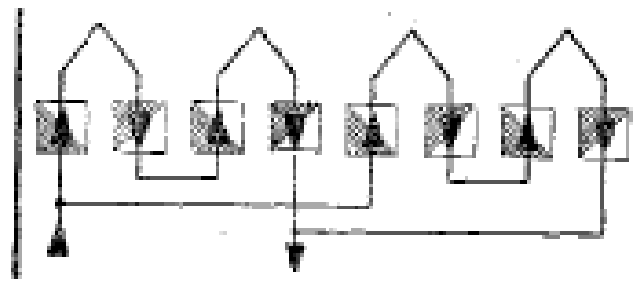


Fig. 18 — Otto poli omonimi in parallelo (matasse lunghe)

Ciò è ovvio se si considera che la corrente per formare un medesimo campo, ossia lo stesso numero di poli, e per non avere poli in opposizione, dovrà avere la stessa direzione tanto in serie quanto in parallelo.

4. - Cenno alle correnti alternate. - Ritengo utile per la comprensione del funzionamento dei motori ad induzione, sia monofasi che bifasi, accennare brevemente alle correnti alternate.



Si dice corrente alternata quella corrente i cui valori istantanei variano continuamente da zero ad un valore massimo, per poi ritornare a zero e riprendere gli stessi valori ma in senso contrario.

Il ciclo delle variazioni avviene in modo periodico ed il tempo impiegato perché si compia un ciclo completo (ondulazione) si chiama periodo. Tutte le ondulazioni che si susseguono nel tempo sono uguali. Ogni ondulazione o ciclo si compone di due alternanze, una in un senso e l'altra in senso contrario. Ogni alternanza si compie in mezzo periodo. Si chiama frequenza il numero delle ondulazioni o cicli che si effettuano in un minuto secondo.

Ad esempio, se la frequenza è 50 periodi al secondo (p/sec. o hertz) vuoi dire che in ogni minuto secondo si hanno 50 ondulazioni, complete: 50 valori massimi in un senso (che chiameremo ad esempio positivi) e 50 valori massimi in senso contrario (che chiameremo negativi). Se la frequenza è di 50 periodi vuoi dire dunque che si hanno 100 alternanze al secondo.

Consideriamo una spira rotante in un campo magnetico, come è indicato in fig. 19.

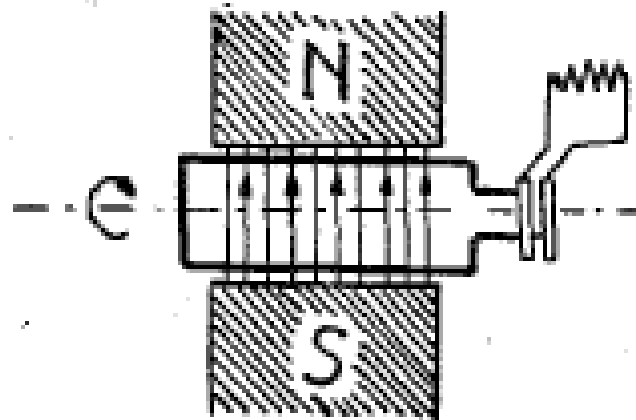


Fig. 19 — Come si genera una corrente alternata

Gli estremi della spira sono collegati a due anelli sui quali strisciano due spazzole fisse, connesse ad. un circuito esterno. La spira, ruotando taglia le linee di forza magnetiche del campo e diventa sede di una forza elettromotrice indotta. Se il circuito esterno è chiuso, si avrà una corrente alternata come la forza elettromotrice che la produce.

Si può rappresentare una corrente o una tensione alternata,

graficamente nel modo indicato in fig. 20. Ci si riferisce a due raggi perpendicolari tra loro, uno orizzontale sul quale si segnano delle frazioni uguali di periodo e l'altro verticale sui quale si portano i valori istantanei che assume successivamente la corrente alternata in tali frazioni di periodo.

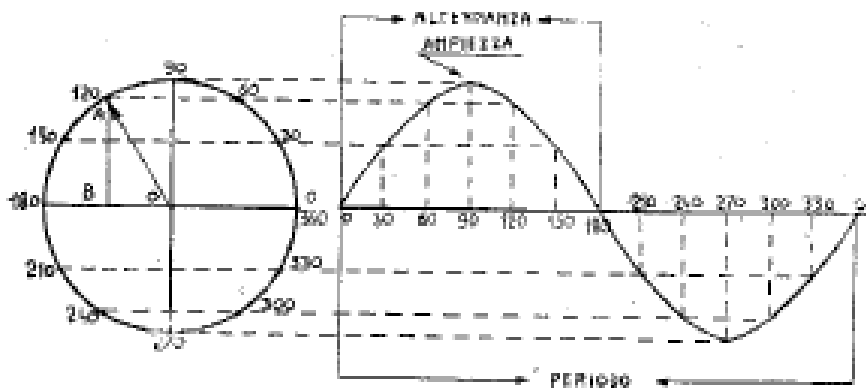


Fig. 20 — Tracciamento di una sinusoide

Se in corrispondenza ad ogni frazione di periodo, portiamo verticalmente, nel senso positivo, per una alternanza e nel senso opposto o negativo nell'alternanza successiva, dei segmenti proporzionali ai valori istantanei che assume la tensione o la corrente alternata successivamente, e se congiungiamo con una curva a sentimento gli estremi di questi segmenti otteniamo una curva detta sinusoide che ci mostra il modo di variare della corrente o della tensione alternata rappresentata. Per facilitare la costruzione grafica della sinusoide, consideriamo un segmento  $O A$ , di lunghezza proporzionale al valore massimo ampiezza della corrente o della tensione che si vuol rappresentare supponiamo che questo segmento ruoti, facendo un giro completo ogni periodo. Allora al periodo corrisponde un giro completo questo segmento che è chiamato vettore, cioè al periodo corrisponde un angolo di  $360^\circ$ ; a mezzo periodo un angolo di  $180^\circ$ ; a un quarto di periodo un angolo di  $90^\circ$  e così via.



Sul raggio o asse orizzontale possiamo allora portare le frazioni di periodo espresse in frazioni di angolo giro ( $360^\circ$ ).

Se consideriamo in ogni istante come varia la proiezione questo vettore  $O A$  sul diametro verticale della circonferenza tracciata con raggio uguale a  $O A$ , troviamo che queste proiezioni sono proporzionali ai valori istantanei della corrente o della tensione alternata che si vuole rappresentare.

Ad esempio, quando il vettore è sul diametro orizzontale, la proiezione sul diametro verticale è zero, e zero è il valore istantaneo della corrente o della tensione; quando il vettore è sul diametro verticale, la sua proiezione è massima ed uguale al vettore stesso ed è massimo il valore istantaneo della corrente o della tensione alternata; quando la un angolo di  $120^\circ$ , col diametro orizzontale come infigura 20, la sua proiezione è  $A B$  e così via.

Ora che abbiamo visto la generazione e l'andamento della corrente è facile capire che aumentando la velocità di rotazione della spira diminuisce la lunghezza dell'alternanza, diminuendo invece la velocità, l'alternanza aumenta. Concludendo con una rotazione più rapida della spira avremo una corrente con una frequenza avente maggior numero di periodi al secondo, inversamente con minor velocità una Frequenza minore.



Oltre alle correnti alternate semplici o monofasi; come abbiamo descritto, si utilizzano nella pratica, delle correnti polifasi. Sistemi cioè di due o più correnti, uguali nell'intensità e nella frequenza, ma spostate l'una rispetto all'altra di una frazione di periodo.

Nella fig. 21 è rappresentato un sistema bifase, le due curve

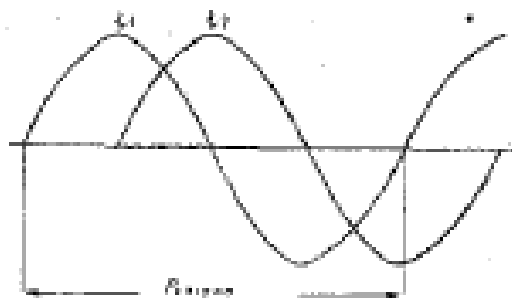


Fig. 21 — Sistema bifase

rappresentano due correnti alternate uguali nel periodo e nell'andamento, ma la seconda è spostata rispetto alla prima di  $t/4$  di periodo.

Le correnti polifasi più diffuse sono le trifasi, sistemi di tre

correnti alternate uguali, spostate di  $/3$  di periodo l'una rispetto all'altra (fig. 22).

La generazione di queste correnti è uguale alla generazione della monofase ma invece di una sola spira rotante in un campo uniforme ve ne sono tre spostate di  $120'$ .

Qui è opportuno precisare che lo spostamento fra le bobine deve essere sempre di  $1/2$  di periodo: se la macchina (generatrice o motore) ha due poli, lo spostamento di un terzo di periodo ( $120^\circ$  elettrici)



corrisponde a un terzo di giro ( $120^\circ$  geometrici); se la macchina ha quattro poli, ad ogni giro corrispondono per ogni bobina (o fase) due ondulazioni complete, ed allora un terzo di periodo ( $120^\circ$  elettrici) corrisponde a un sesto di giro ( $60^\circ$  geometrici).

Quindi, gradi elettrici e gradi geometrici coincidono nelle macchine bipolari. Per quelle multipolari si ha: se i poli sono quattro  $120^\circ$  elettrici corrispondono a  $60^\circ$  geometrici; se i poli sono sei  $120^\circ$  elettrici corrispondono a  $40^\circ$  geometrici, e così via.

Le correnti trifasi sono oggi il sistema preferito sia perchè si può trasmettere l'energia con linee a tre soli conduttori, sia perchè i motori asincroni trifasi che generalmente le utilizzano sono di costruzione relativamente semplice, si avviano facilmente anche a carico, hanno caratteristiche meccaniche che li rendono bene utilizzabili per la maggior parte delle applicazioni pratiche.



Fig. 22 — Sistema trifase

Il principio di funzionamento dei motori asincroni trifasi si basa sul fatto che le correnti polifasi alimentando



avvolgimenti opportunamente disposti, generano un campo magnetico risultante le cui linee di forza ruotano nello spazio intorno ad un asse. Vediamo ora come si forma questo speciale campo con sistema di correnti bifasi.

5. - Cenno al campo magnetico rotante. - Eccitando con una

corrente alternata (bifase o trifase) un avvolgimento semplice, messo in modo opportuno attorno ad un anello di ferro dolce, si genera nel suo interno un campo rotante con una velocità determinata che si dice di sincronismo, tale velocità dipende dalla frequenza delle correnti alternate che alimentano l'avvolgimento.

Prendiamo ad esempio un anello avvolto in due punti diametralmente opposti A ed A1. ed in altri due B e B1 posti a  $90^\circ$  dai primi. Eccitiamo ora questi avvolgimenti con due correnti sfasate fra loro di un quarto di periodo. In conseguenza della differenza di fase esistente fra le due correnti, l'una ha l'intensità massima nel momento che l'altra ha intensità zero.

Nella Fig. 23 è visibile la dimostrazione di questo esempio ed è indicata la diversità dell'intensità di corrente negli avvolgimenti, con spessore diverso delle linee rappresentative.

Nella fig. 23-1 si ammette che la corrente abbia la sua massima intensità in A A1 e sia nulla in B B1; l'anello di ferro viene allora magnetizzato dalla corrente delle bobine A A1 in modo che i poli Nord e Sud si trovano-



rispettivamente in N e S. Un ago magnetico libero di ruotare, intorno ad un asse perpendicolare al piano della figura, all'interno dell'anello, assumerà la posizione indicata dalla freccia.

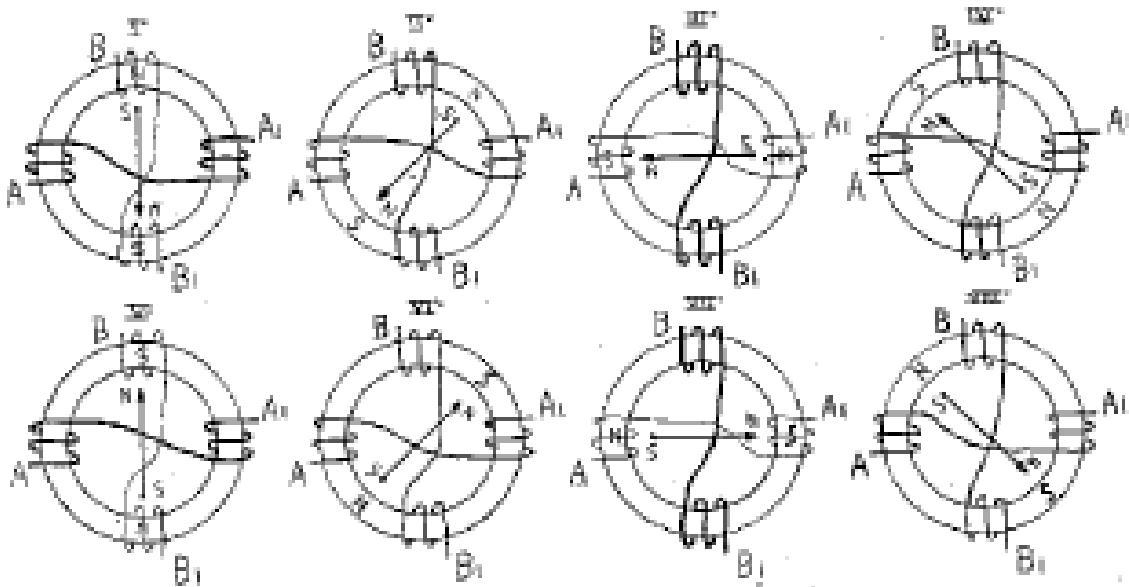


Fig. 23 — Campo magnetico rotante creato da un sistema bifase

Ora quando le correnti circolano, esse raggiungono alternativamente, ma non contemporaneamente, un massimo in A A1 e B B1, vanno poi a zero indi assumono nuovamente un valore, massimo, ma negativo, e così via

- Perciò le polarità indotte nell'anello dai due avvolgimenti A A, e B B1, si vanno spostando, ad esempio da sinistra verso destra di chi guarda la figura, e l'ago magnetico va spostandosi nello stesso senso compiendo un giro per 'ogni periodo delle correnti alternate che eccitano l'avvolgimento. Se i periodi al secondo sono  $f$ , l'ago farà  $f$ , giri al secondo. In fig. 23 sono rappresentate le posizioni dell'ago magnetico in otto



frazioni di periodo; l'ago descrive un angolo di  $45^\circ$  ogni ottavo di periodo. Possiamo renderci meglio conto di quanto avviene negli otto anelli

della figura 23, osservando l'andamento delle due correnti (A e B della fig. 24) in un periodo (diviso in otto tempi):

nel 1° tempo le due correnti hanno l'una valore massimo (A)

l'altra il valore zero (B), nel 2° tempo uguale valore, nel 3° tempo quella che al primo tempo aveva valore massimo (A) ha valore zero, mentre è massima l'altra corrente (B) e così di continuo fino alla fine del periodo: l'ago magnetico nell'interno dell'anello avrà così fatta una rotazione di  $360^\circ$ , cioè un intero giro.

Vediamo come risultato, che quando due correnti alternate di uguale frequenza ma di fase diversa (anche se lo spostamento di fase non è di  $1/4$  di periodo) vengono fatte circolare nelle spire, avvolte sull'anello fisso, l'ago magnetico, posto nell'interno, deve assumere una rotazione permanente e continuare a rotare, finché le correnti passano.

Invece dell'ago magnetico, noi possiamo porre nell'interno dell'anello un'ancora metallica ad anello od a tamburo, meglio se di ferro laminato e munito di una serie di spire chiuse su se stesse: anch'essa gira quando i due avvolgimenti considerati sono eccitati. Infatti, per induzione si generano nei fili di tale avvolgimento delle correnti, e



queste correnti col relativo supporto vengono trascinate dal campo rotante.

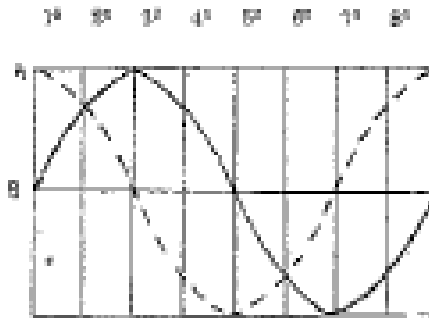


Fig. 24 -- Andamento di due correnti alterate sfasate di  $\frac{1}{4}$  di periodo

Il campo magnetico rotante che abbiamo visto in fig. 23 è dovuto alle due polarità ruotanti nell'anello e create dall'avvolgimento percorso dalle due correnti alternate sfasate di  $\frac{1}{4}$

di periodo (bifase). Se, invece di due polarità l'avvolgimento ne creasse quattro, l'ago non farebbe più giri al secondo, (dove 1 la frequenza della corrente alternata) ma  $t/2$  giri al secondo. Con  $p$  coppie di poli, il campo rotante e quindi l'ago, farebbe  $//p$  giri al secondo cioè  $60 f/p$  giri al minuto primo. Questa è la velocità di sincronismo.

Se, al posto dell'ago magnetico, mettiamo un indotto col suo avvolgimento, che non ha quindi una magnetizzazione permanente come L'ago magnetico considerato, l'indotto o rotore farebbe un numero di giri al minuto primo un po' minore di  $n 60 f/p$ : infatti solo in questo caso ci possono essere correnti indotte nell'avvolgimento



rotorico. Invece di eccitare l'avvolgimento sull'anello di ferro dolce con due correnti alternate sfasate di  $1/3$  di periodo, si può costruire sull'anello stesso un avvolgimento formato da tre coppie di bobine ed alimentato con tre correnti alternate sfasate di circa  $1/3$  di periodo: anche in questo caso si creerà un campo magnetico rotante.

E' su questo principio appunto che si basano i motori a campo rotante trifase di cui vedremo più avanti il funzionamento.

## CAPITOLO SECONDO

### *AVVOLGIMENTI MONOFASI E BIFASI*

6. - Avvolgimenti per motori monofasi ad a induzione. Sappiamo come abbiamo visto al precedente paragrafo, che eccitando unavvolgimento opportunamente disposto, con una corrente polifase si genera in questo un campo magnetico rotante il quale trascina nel suo moto l'avvolgimento indotto ed il suo supporto (rotore).

Ma se questa corrente è monofase non si forma un campo rotante ma bensì un campo fisso, alternato o pulsante, quindi non si verifica il fenomeno del trascinamento del rotore.



Infatti se eccitiamo un motore con avvolgimento monofase non si avvia da solo, però avviandolo con una forza esterna esso poi gira da sè aumentando fino ad un certo limite il numero dei giri, cioè una volta che il motore è in rotazione si forma un campo rotante che mantiene la coppia.

Affinchè il motore monofase ad induzione si avvii da solo, esso è provvisto di un secondo avvolgimento detto ausiliario o di avviamento spostato di  $90^\circ$  elettrici, rispetto al primo avvolgimento principale o di lavoro, e si fanno percorrere i due avvolgimenti da correnti sfasate l'una rispetto all'altra di circa  $90^\circ$ .

Si cerca insomma di convertire temporaneamente il motore monofase in un motore bifase.

Uno dei sistemi atti ad ottenere questa differenza di fase (spostamento della corrente) consiste nell'inserire all'avvolgimento ausiliario una grande reattanza, molto maggiore di quella dell'avvolgimento principale ed in quest'ultimo un'opportuna resistenza.

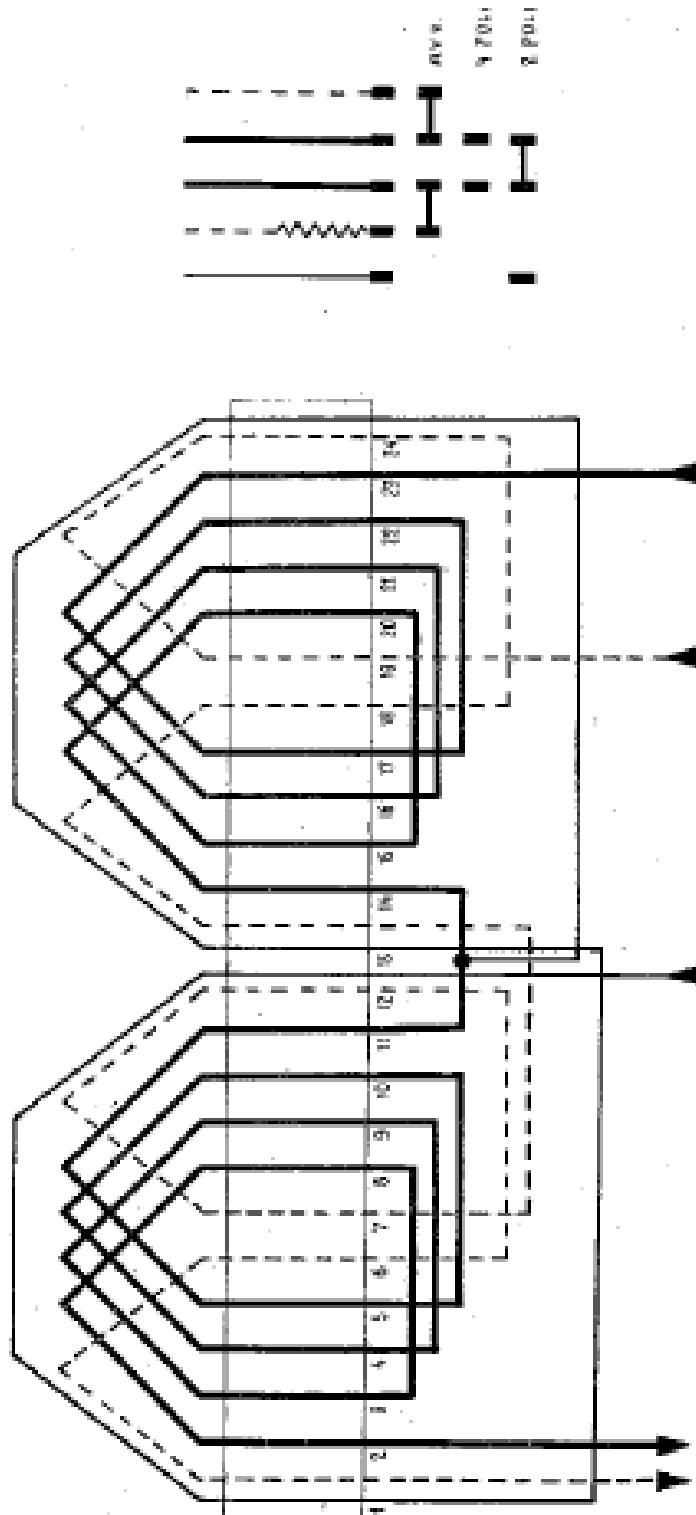
Effettuato l'avviamento, la reattanza e la resistenza addizionali e l'avvolgimento ausiliario vengono disinseriti (fig. 25).

Altro sistema, oggi generalmente il più usato, è quello di inserire in serie all'avvolgimento ausiliario una resistenza od un condensatore in modo di ottenere uno sfasamento di tale corrente, rispetto a quella alimentante l'avvolgimento principale (fig. 26). Generalmente si usano resistenze, perché più economiche dei condensatori, con queste si



arriva ad ottenere uno sfasamento di circa  $40^\circ$  fra l'una e l'altra corrente. Coi condensatori si ottiene invece un più forte sfasamento, circa  $90^\circ$ .

Eseguita la manovra di avviamento la resistenza od il condensatore e l'avvolgimento ausiliario vengono disinseriti per mezzo di un commutatore, o di un congegno a contatti, applicato sul rotore stesso



Tav. 2<sup>a</sup> - Avvolgimento per motore monofase a induzione a due velocità con avvolgimento d'avviamento.



La corrente che circola nell'avvolgimento attorno al polo da

luogo ad un flusso alternato che induce una corrente nella spira in corto circuito, la quale coi suo campo tende ad opporsi alle variazioni del flusso nella zona da essa abbracciata, si ha quindi come risultato che nella parte del polo abbracciata dalla spira, il flusso raggiunge il suo valore massimo in tempo diverso del flusso della zona del polo

libera. Si ha così di conseguenza una sensibile coppia d'avviamento atta a trascinare il rotore.

Questo sistema è usato spesso nei ventilatori a basso numero di giri (numero di poli elevato).

7. - Avvolgimenti per motori monofasi a due velocità.

Questi motori a due velocità sono composti di tre avvolgimenti: un- principale, un sussidiario, e quello d'avviamento (Tav. 2).

Il funzionamento di questo avviene nel seguente modo: (per rendere più comprensibile questo collegamento abbiamo rappresentato a destra dello schema il commutatore, figurato schematicamente) nel primo tempo l'avviamento avviene come per il motore di cui allo schema della tavola P, cioè l'avvolgimento ausiliario d'avviamento è inserito con la resistenza in serie e l'avvolgimento principale è a quattro poli.

Nel secondo tempo l'avvolgimento d'avviamento viene disinserito e funziona il motore a bassa velocità (notare che l'avvolgimento a quattro poli è formato da due gruppi di matasse embricate e di polarità omonime).



Nel terzo tempo il quattro poli viene trasformato in due poli

collegando in parallelo le due bobine principali (unendo il principio con la fine e adoperando il centro come uscita). L'avvolgimento diventa cioè un due poli alterni, nello stesso tempo a questo vien messo in serie un altro avvolgimento sussidiario a due poli il quale è composto di altre due bobine che hanno unicamente lo scopo di aumentare la

resistenza dell'avvolgimento. Questo è logico per il fatto che avendo messo in parallelo le bobine del quattro poli diventato poi un due poli si è dimezzata la resistenza.

8. Avvolgimenti statorici per motori monofasi a collettore. -

I motori monofasi a collettore presentano vari vantaggi in confronto dei motori ad induzione; essi infatti non abbisognano di avvolgimenti ausiliari essendo avvolto ad anello lo stesso rotore (indotto) e possono funzionare a velocità variabile.

Hanno però lo svantaggio di essere più complicati e di richiedere maggior manutenzione specialmente per l'usura delle spazzole, e di possedere un organo delicato com'è il collettore, il quale richiede periodicamente la raschiatura delle lamine di mica che isolano le - 24 - lamelle giacché tende a deformarsi per il continuo sfregamento delle spazzole, che col tempo formano un vero e proprio solco sul collettore.

Varie sono le categorie in cui si possono distinguere i motori monofasi a collettore, citeremo brevemente le due



categorie più semplici. Esse si distinguono in motori, in derivazione ed in serie. Il motore in derivazione non ha applicazioni pratiche. Il motore in serie invece è molto usato. Noi ci occuperemo dei tipi con statore avvolto e laminato. Sono motori che hanno buon rendimento, discreto fattore di potenza e forte coppia di avviamento. In generale però, gli statori o induttori di questi motori monofasi a collettore, sono a poli salienti e l'avvolgimento ha solo una bobina per polo posta attorno a questo.

Dalla fig. 29 si può vedere che la tensione alimentatrice è utilizzata parte sull'induttore e parte sull'indotto.

Questo tipo di motore è assai diffuso, ma sempre limitato a piccole potenze. Negli schemi delle tavole 3 e 4 sono rappresentati gli avvolgimenti per i tipi di induttori usati dalla Siemens per questi motori a collettore. Esistono anche tipi di monofasi ad indotto in cui una volta ottenuto l'andamento, le spazzole per mezzo di un congegno agente per effetto della forza centrifuga vengono sollevate, e

le lamelle del collettore chiuse in corto circuito.

Questi motori appartengono alla categoria dei motori monofasi a repulsione--induzione: ossia funzionano a repulsione durante l'avviamento ed a induzione poi.

Vedi allo schema della Tavola 5 il collegamento dell'avvolgimento. statorico di questo motore.

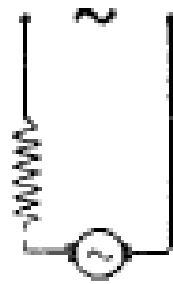


Fig. 29

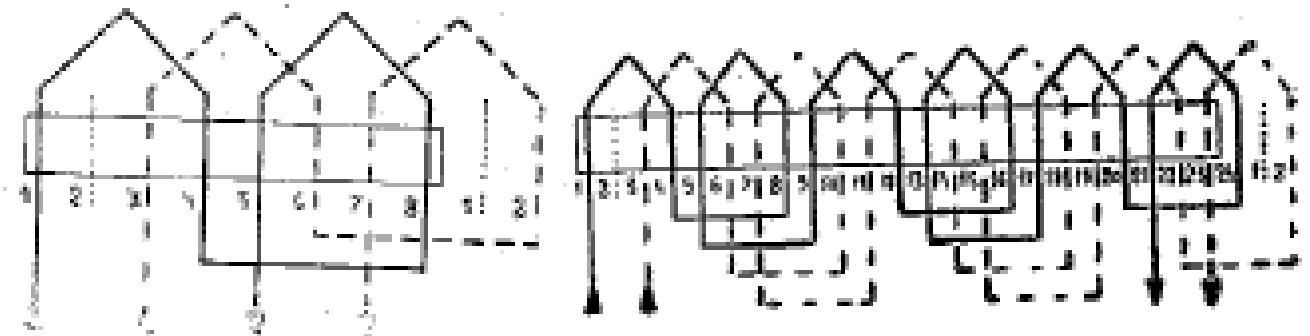
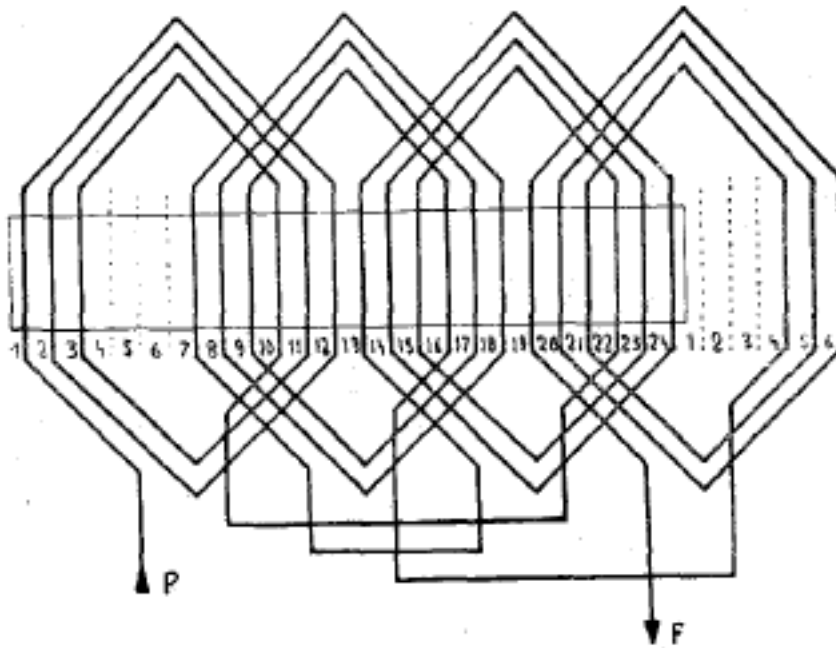
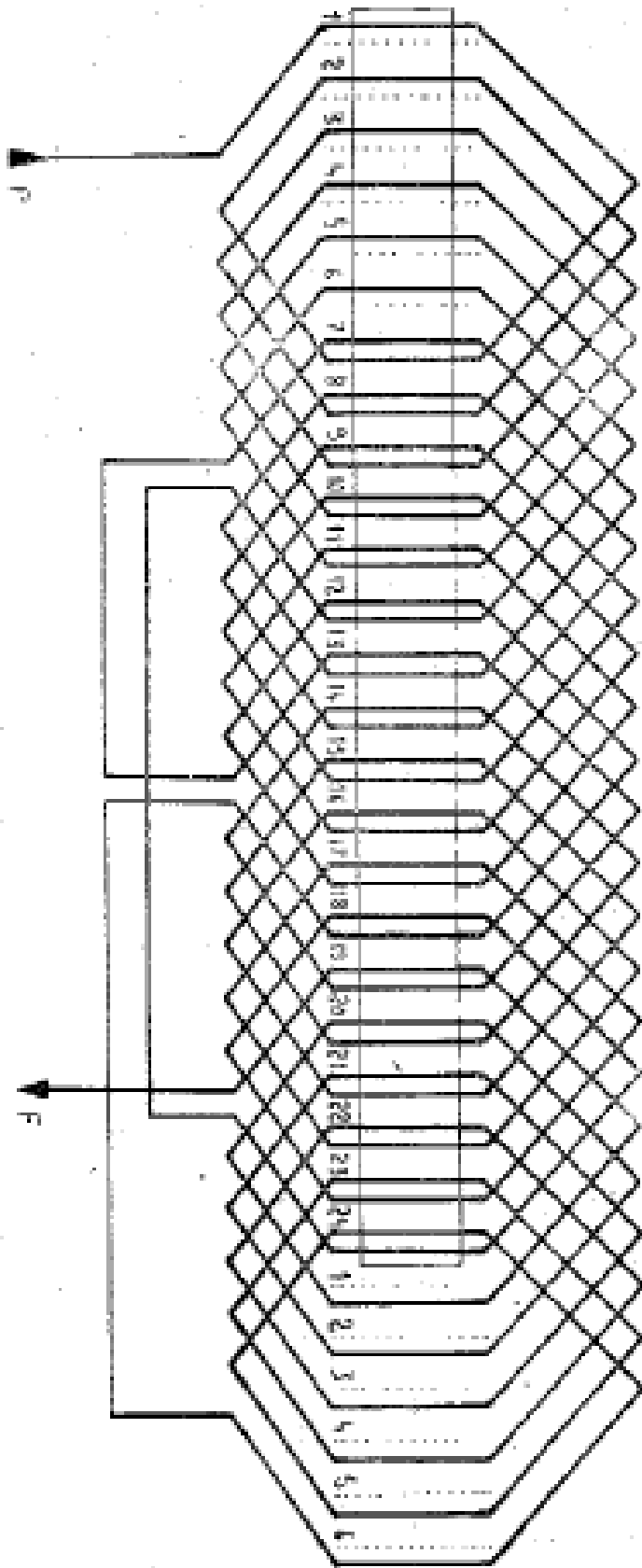


Fig. 30 - 31 — Tipi di avvolgimento per motori bifasi a induzione



TAV. 3ª — Avvolgimento statorico per motore monofase a collettore a due poli con matasse a spirali semplici ad uno strato.



TAV. 4<sup>a</sup> — Avvolgimento statorico per motore monofase a collettore a due poli con bobine a spirali combinate a doppio strato.



Abbiamo visto che nel monofase vi è un solo gruppo di bobine, nel bifase invece vi sono due gruppi di bobine disposte come alla fig. 30.

I bifasi possono essere anche essi a poli omonimi ed alterni: in fig. 31 vediamo un due poli alterni, in fig. 32 un quattro poli omonimi.

Il collegamento di questi avvolgimenti è comune a quello dei monofasi riferendoci ad ogni fase separata. Questi tipi di motori sono raramente usati nella pratica.

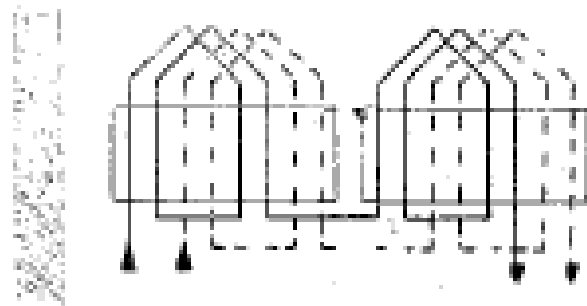
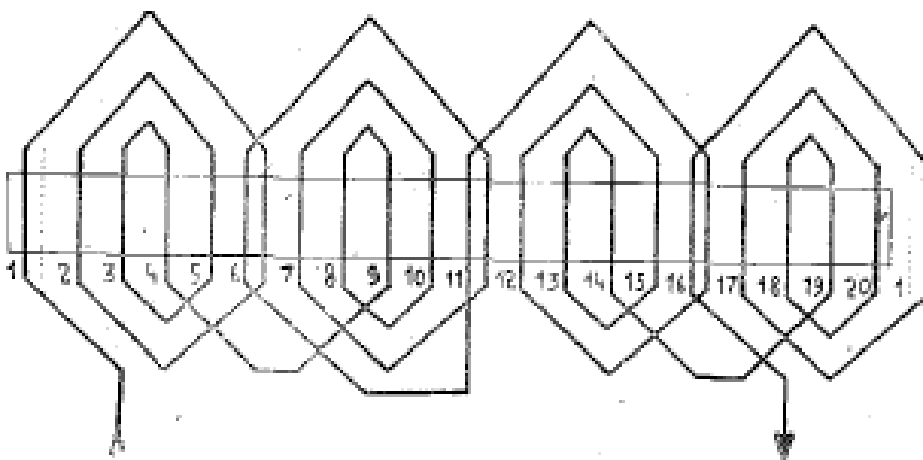


Fig. 32 — Tipo di avvolgimento per motore bifase a induzione



Tav. 5<sup>a</sup> — Avvolgimento statico per motore monofase a collettore a repulsione-induzione a quattro poli con matasse a spirali semplici.



## ***CAPITOLO TERZO***

### ***AVVOLGIMENTI STATORICI TRIFASI***

10. - Premessa sulle caratteristiche dei motori asincroni trifase.

- Prima di iniziare l'illustrazione dei vari schemi di motori trifasi e loro collegamento, apriamo una parentesi e diamo una breve spiegazione sulle caratteristiche dei motori asincroni trifasi.

Questi motori son detti asincroni perché la velocità del rotore è leggermente inferiore a quella di sincronismo del campo induttore questa differenza di velocità varia con l'aumento del carico.

Essi fanno parte della categoria dei motori ad induzione, perché la corrente nella loro parte rotante è prodotta per induzione dal campo magnetico creato dalle correnti che circolano nell'avvolgimento dello statore.

Le due parti essenziali sono: lo statore ed il rotore (fig. 33).

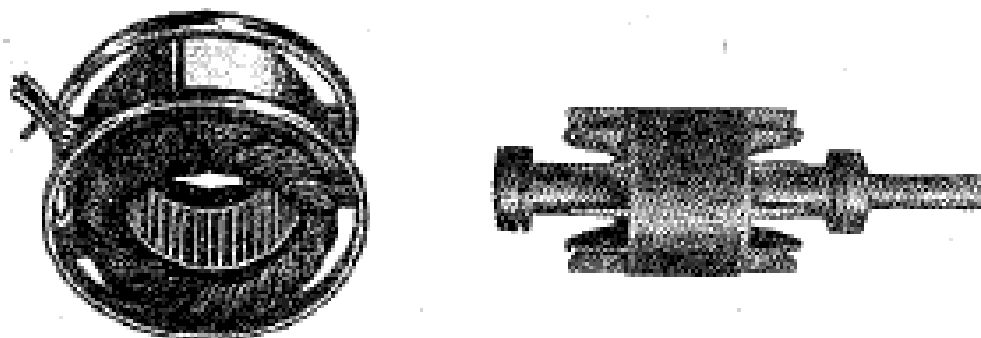


Fig. 33 — Statore e rotore di un motore trifase con rotore in corto circuito



La prima parte fissa o statore è costituita da una carcassa ad anello di fusione o di lamiera che porta il pacco lamellare avente delle scanalature verso la superficie interna, queste sono dette generalmente cave o fori, in cui vanno alloggiati i fili o le sbarrette costituenti l'avvolgimento statorico. Di questi avvolgimenti illustreremo più avanti vari collegamenti.

La seconda parte mobile che prende il nome di rotore è formata da un pacco lamellare di forma cilindrica portante alla superficie esterna delle scanalature in cui è alloggiato l'avvolgimento rotorico.

Questa parte mobile è separata dalla parte fissa da un piccolo traferro di 1- 2 mm. Tanto nello statore come nel rotore il nucleo magnetico è formato da lamierini isolati l'uno dall'altro con carte o vernici in modo da limitare la formazione delle correnti parassite e conseguenti perdite.

Generalmente l'avvolgimento inserito sulla linea di alimentazione è quello statorico, potrebbe però essere anche diversamente, cioè che l'avvolgimento alimentato dalla corrente fosse posto sul rotore invece che sullo statore, nel quale circolerebbero allora le correnti indotte.

Per evitare confusioni si usa chiamare con i termini di avvolgimento primario quello alimentato dalla linea il quale produce corrente magnetizzante, e avvolgimento secondario quello che è sede di correnti indotte.



In pratica però è rarissimo il caso in cui l'avvolgimento primario di un asincrono sia posto sul rotore.

I fori situati alla superficie del rotore e dello statore, sono generalmente del tipo semichiuso o parzialmente chiuso (fig. 34) con una leggera fessura per l'introduzione dei fili nel foro. Qualche volta si usano anche fori completamente aperti (fig. 35) per eseguire con

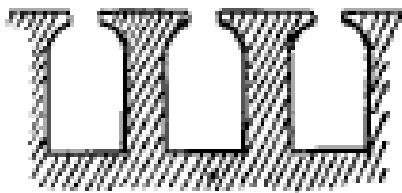


Fig. 34 -- Tipo di canale semichiuso

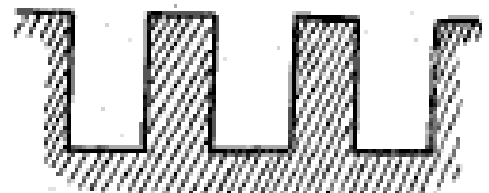


Fig. 35 — Tipo di canale aperto

maggior facilità la messa a posto delle bobine che possono allora essere costruite a parte, ciò però porta come conseguenza un aumento dello spessore del traferro, dando così luogo ad un maggior assorbimento di corrente a vuoto e ad una diminuzione del fattore di potenza. Per ovviare a questo inconveniente, nei tipi a cave aperte si introducono ad avvolgimento eseguito, delle stecche di ferro chiudendo parzialmente le scanalature in modo da ridurre al minimo possibile lo spessore del traferro. Pure i canali completamente chiusi (fig. 36)

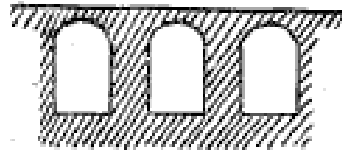


Fig. 36 — Tipo di canale chiuso

presentano inconvenienti, perché diminuiscono la riluttanza del percorso del flusso e di conseguenza ne deriva un aumento della reattanza dello statore e del rotore, diminuendo così la coppia massima sviluppata dal motore all'avviamento. Il numero dei fori dello statore non è mai uguale a quello del rotore, perché altrimenti questo resterebbe bloccato all'avviamento in una posizione che rende minima la riluttanza del circuito magnetico.

Per impedire questo si costruiscono rotorì il cui numero dei fori non sia in rapporto intero rispetto a quelli dello statore.

E' naturale però che il numero dei poli dell'avvolgimento rotorico sia uguale a quello dell'avvolgimento statorico. I rotorì più generalmente usati per i comuni motori trifasi si possono distinguere in due tipi.

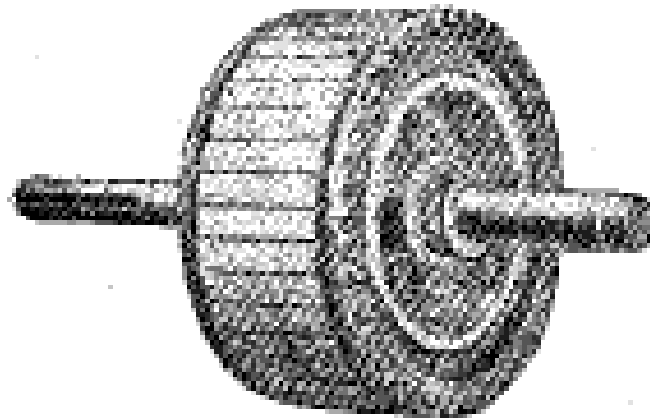


Fig. 37 — Rotore a gabbia di scoiattolo

li più semplice è il rotore a gabbia di scoiattolo (fig. 37) in questo rotore non si hanno veri e propri circuiti essendo l'avvolgimento costituito da sbarrette di rame disposte nei fori e tutte poi saldate ai lati del rotore per mezzo di due anelli dello stesso metallo. Per piccole potenze si usa anche

l'avvolgimento di alluminio fuso nelle scanalature. Data la piccola resistenza ohmica dell'avvolgimento, all'avviamento in questi rotor a gabbia, si induce una corrente molto intensa e ciò porta di conseguenza un forte assorbimento del motore stesso, 4 / 5 volte l'intensità normale.

Per potenze superiori ai 4 / 5 CV si usano speciali dispositivi atti a diminuire la tensione allo statore e quindi la corrente indotta nel rotore.



Praticamente si usa con uno speciale commutatore di avviare il motore collegato a stella e poi ottenuta una certa velocità, mediante lo stesso commutatore, di metterlo a triangolo; ciò attenua il forte prelievo di corrente durante lo spunto, e limita quindi anche le correnti indotte nel rotore.

Alcune ditte costruiscono anche motori a doppia o tripla gabbia che possono essere avviati con limitato prelievo di corrente.

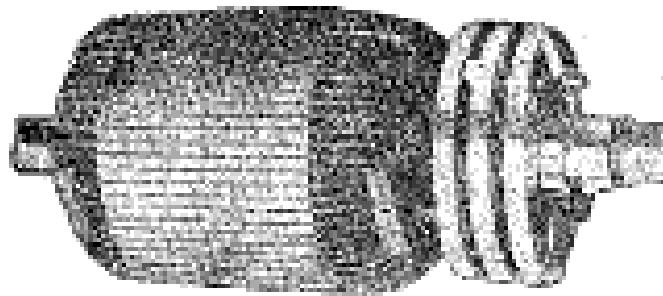


Fig. 38 — Rotore ad anelli avvolto

Altro tipo è il rotore ad anelli, questo è generalmente il più usato specie per potenze superiori ai 25- 30 CV (fig. 38).

L'avvolgimento è perfettamente uguale a quello dello statore e presenta le stesse caratteristiche di collegamento (salvo in casi in cui è avvolto come un bifase per ragioni dipendenti esclusivamente dal numero delle cave).

Esso può essere collegato a stella o a triangolo e fa capo a tre anelli su cui poggiano delle spazzole metalliche a retina o di bronzo carbone queste sono poi messe in comunicazione con resistenze variabili (reostato) con le quali si può regolare la corrente prelevata dallo statore e



quindi quella indotta nel rotore durante l'avviamento;  
una

volta avviato il motore i tre anelli vengono messi in corto circuito e le spazzole rialzate mediante un apposito dispositivo meccanico.

I reostati sono generalmente costruiti per avviamento con metà carico. Il filo con cui sono costruite queste resistenze è di solito l'argentana o il nichel-cromo.

II - Cenni al funzionamento del motore asincrono trifase.

-

Ora che abbiamo visto la struttura del motore vediamo il funzionamento.

Alimentando un avvolgimento statorico con una corrente trifase avente una frequenza determinata, (generalmente 42 - 45 o 50 periodi) si forma nel pacco lamellare dello statore una corona di poli magnetici rivolti verso l'interno rotanti con la velocità di sincronismo (principio Ferraris).

Il flusso uscente da questa corona tagliando i fili dell'avvolgi-

mento rotorico creerà in esso delle correnti indotte le quali daranno luogo a loro volta alla creazione di poli magnetici nel pacco lamellare del rotore. Il rotore vi trova così trascinato dal movimento del campo

rotante dello statore per effetto della coppia motrice che si crea fra correnti rotoriche e campo statorico. Il rotore così sollecitato a girare andrà aumentando la sua velocità



ma senza mai raggiungere la velocità di sincronismo del campo statorico.

La velocità del motore, anche quando funziona a vuoto, dovrà essere minore della velocità sincrona, perché il motore possa sviluppare la coppia necessaria per vincere le perdite d'attrito e nel ferro.

Aumentando il carico la coppia dovrà aumentare, e perciò dovrà crescere la differenza tra velocità del campo rotante e velocità del rotore (scorrimento) e di conseguenza diminuirà la velocità effettiva del rotore. Questa differenza tra velocità sincrona del campo magnetico rotante, e velocità effettiva del rotore, come si è già detto, si chiama scorrimento o slip.

Il valore dello scorrimento come percentuale riferita alla velocità di sincronismo, è espresso dalla formula:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

nella quale:

**s** è lo scorrimento; -

**n<sub>s</sub>** la velocità di sincronismo al 1, del campo rotante che si determina con la nota formula  $n = 60 f/p$  essendo  $p$  il numero delle coppie di poli;

**n** la velocità effettiva al 1' del rotore.

Diamo ora un breve esempio per meglio facilitarne la comprensione. Determiniamo lo scorrimento di un



motore trifase a quattro poli la cui corrente di alimentazione abbia una frequenza di 42 periodi e il cui rotore abbia una velocità effettiva di 1200 giri. Dovremo innanzi tutto determinare la velocità sincrona del campo. Cioè:

$$n_s = \frac{60 \times 42}{2} = 1260$$

la velocità sincrona è uguale a 1260 giri al minuto primo lo scorrimento sarà allora:

$$s = \frac{1260 - 1200}{1260} \cdot 100 \approx 4,7\%$$

In un motore è sempre conveniente che lo scorrimento sia piccolo affinché variando il carico la velocità si mantenga pressochè costante, ed anche perchè lo scorrimento è proporzionale alla perdita percentuale di energia nel rotore: perdita in watt per effetto Joule nel rame e correnti parassite (Foucault) nel ferro.

Generalmente in pratica, lo scorrimento a pieno carico, nei piccoli motori varia fra il 4 e il 5%, e dal 2 al 3% per le potenze maggiori. Come si vede la velocità effettiva del rotore è molto prossima alla velocità sincrona

Lo scorrimento non può mai essere però zero, perciò se il rotore girasse con la medesima velocità di sincronismo del campo rotante non si avrebbe alcuna variazione di



flusso nell'avvolgimento rotorico e per conseguenza nessuna forza elettro-motrice, nessuna corrente e nessuna coppia atta a mantenere il motore in rotazione immaginiamo che il rotore sia fermo, il campo rotante dello statore taglierà allora i conduttori del rotore con la velocità sincrona e la corrente indotta nel rotore avrà una frequenza uguale a quella della rete, ossia presente nello statore.

Il motore si può allora paragonare ad un trasformatore il cui

avvolgimento primario sia quello dello statore e secondario quello del rotore in cortocircuito.

Quando invece il rotore gira con una velocità  $n$  la velocità relativa  $n_s - n$  tra il campo rotante dello statore ed il rotore sarà uguale al prodotto dello scorrimento per la velocità sincrona, ed essendo la frequenza della corrente indotta nel rotore, proporzionale alla velocità relativa (scorrimento), tale frequenza sarà uguale a  $s f$ . Durante il funzionamento normale del motore asincrono, le correnti nel rotore hanno dunque frequenza di pochi periodi al secondo.

Ad esempio, se un motore asincrono Trifase è allacciato ad una rete a 42 p/sec (Hz) ed ha a funzionamento normale uno scorrimento del 5% (0,05), la frequenza delle correnti rotoriche è di  $42 \times 0,05 = 2,1$  Hz.

12. - Vari tipi di avvolgimenti statatorici trifasi.

Come struttura, gli avvolgimenti trifasi si possono considerare come degli avvolgimenti monofasi tripli, vale quindi quanto si è detto al paragrafo I. Si possono inoltre



distinguere in: avvolgimenti a semplice strato ed avvolgimenti a doppio strato.

Gli avvolgimenti a semplice strato si distinguono a loro volta in avvolgimenti a matasse piane o dritte (fig. 39) ed a corona (fig. 40).

Gli avvolgimenti a matasse piane o dritte possono essere disposti in due o tre ordini a seconda della polarità.

Nella fig. 39 si ha il caso del sei poli trifase disposto in due ordini: questo avvolgimento, come tutti gli avvolgimenti di questo tipo e con un numero di poli non multiplo di quattro, ha una matassa che è compresa fra l'uno e l'altro ordine, e che si dice matassa storta.

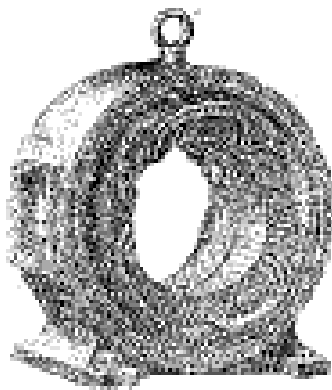


Fig. 39 — Tipo di avvolgimento a matasse piane in due ordini, con matassa storta.

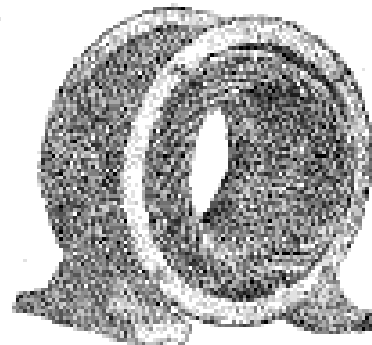


Fig. 40 — Tipo di avvolgimento a corona

Gli avvolgimenti a doppio strato sono invece generalmente a corona (fig.41).

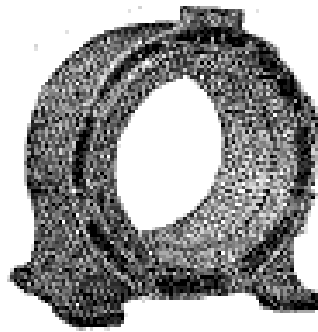


Fig. 41 — Tipo di avvolgimento  
a doppio strato

Il più in uso fino ad ora (ci limitiamo generalmente a medie potenze) è l'avvolgimento ad uno strato, il quale può essere vantaggiosamente sostituito dall'avvolgimento a doppio strato. Mentre il numero delle bobine componenti l'avvolgimento a strato semplice e uguale al numero dei fori

canali diviso due, quello a doppio strato ha tante bobine quanti sono

i fori, cioè ogni foro comprende due lati di matassa, naturalmente di metà spire rispetto alle bobine dell'avvolgimento a strato semplice.

Questo tipo di avvolgimento è di funzionamento molto soddisfacente presenta il vantaggio di offrire molta più superficie di raffreddamento alla ventilazione, per cui si può avere un leggero risparmio di rame, potendo adottare densità di correnti un po' maggiori.

Presenta pure il vantaggio di una maggiore compattezza, mentre dal punto di vista estetico è senz'altro preferibile. Richiede però un più accurato isolamento specialmente tra bobina e bobina del medesimo foro che a volte sono di fase diversa e di conseguenza esiste una forte differenza di potenziale quasi pari a quella dei morsetti,



per cui è minore il coefficiente di utilizzazione dello spazio nei canali.

Nel doppio strato si ha un altro grande vantaggio: quello del

raccorciamento del passo.

Modificando motori di vecchia costruzione oltre che al risparmio di materiale, si eliminano parzialmente le deformazioni delle curve di corrente, che più facilmente si hanno negli altri tipi.

13. - Avvolgimenti a doppio strato (a passo raccorciato). - Il passo di un avvolgimento è la distanza tra i due lati di una bobina formante l'avvolgimento.

Quando il passo della bobina è uguale al passo polare ossia alla distanza tra gli assi di due poli adiacenti, l'avvolgimento è a passo intero (fig. 42).

Quando il passo della bobina è minore del passo polare l'avvolgimento si dice a passo raccorciato (fig. 43).

Con l'adozione di passi raccorciati si ottiene un campo rotante statorico più sinusoidale (il campo rotante non è quasi mai sinusoidale, anzi ha molto spesso una forma a gradini il cui numero e la cui ampiezza, dipendono dal numero dei canali per polo-fase e da un fattore dipendente dalla forma dell'avvolgimento).

Si ha inoltre il vantaggio di avere un funzionamento molto più silenzioso nei motori.

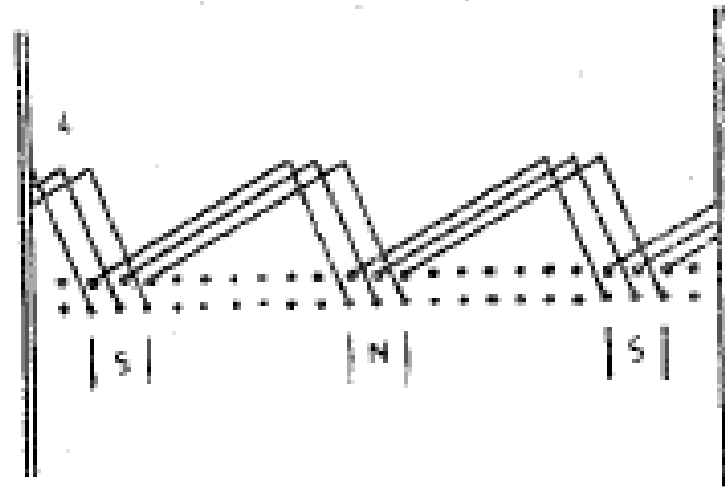
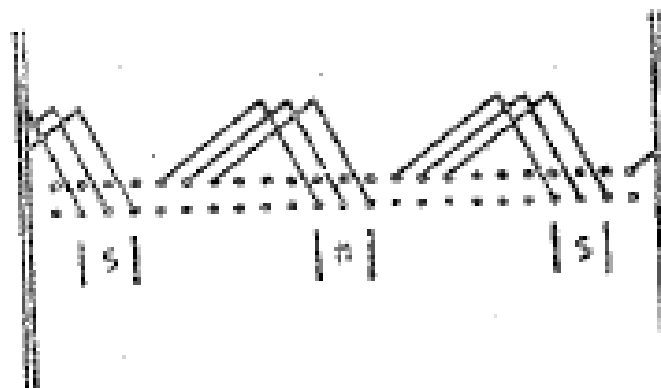


Fig. 42 — Avvolgimento a passo intero

Fig. 43 — Avvolgimento a passo raccorciato di  $1/3$ 

Ad esempio, per eliminare certe deformazioni del campo rotante si usa il passo raccorciato di un terzo, come in fig. 43.

In generale il raccorciamento varia da  $1/3$  a  $1/2$  del passo polare.



Il raccorciamento del passo se è molto spinto, può consentire di realizzare una piccola economia di rame e una riduzione delle perdite. Queste bobine raccorciate richiedono però un aumento del numero dei fili proporzionale al grado di raccorciamento.

I motori moderni sono oggi quasi tutti costruiti con avvolgimenti a passi raccorciati.

14. - Connessioni a stella semplice, a doppia stella, a triangolo e a doppio triangolo. I metodi più usati di collegamento delle fasi di un motore trifase sono il collegamento a stella e il collegamento a triangolo.

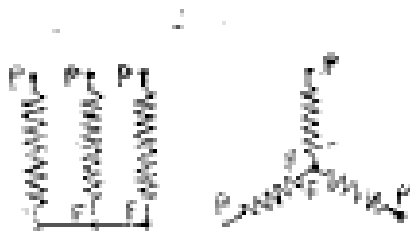


Fig. 44 — Collegamento a stella



Fig. 45 — Collegamento a triangolo

Il collegamento a stella consiste nell'unire i tre capi estremi (i tre principi o le tre fini dell'avvolgimento) fig. 44.

Come vediamo dalla figura i capi F1 - F2 - F3 sono uniti assieme, e i capi P1 P2 E P3 sono liberi per l'allacciamento alla rete di alimentazione.



Il collegamento a triangolo è formato collegando le tre fasi in serie per formare un circuito chiuso, ed attaccando i fili della linea nei punti di giunzione delle fasi, fig. 45.

Nell'eseguire questo collegamento si deve avere sempre l'avvertenza di collegare insieme estremità dissimili di fasi adiacenti ossia: la fine della prima fase con il principio della seconda, la fine della seconda con il principio della terza, e infine, la fine della terza con il principio della prima.

Queste connessioni delle fasi a stella o a triangolo sono generalmente eseguite alla morsettiere, cioè i tre principi e le tre fini sono portati all'esterno, avendo così la comodità di funzionamento del motore a due diverse tensioni ossia: tensione  $V$  per la stella e tensione  $V \sqrt{3}$  per il triangolo.

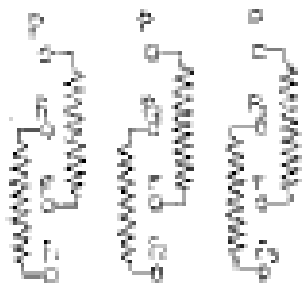


Fig. 46 — Avvolgimento suddiviso per portare alla morsettiere 12 capi

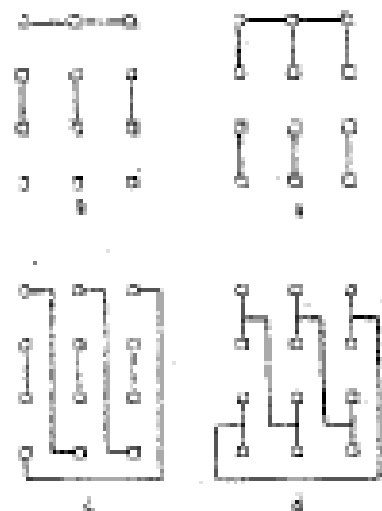


Fig. 47 — Sistemi di connessione dei capi estremi dell'avvolgimento

In certi avvolgimenti si usa dividere ogni fase in due metà estraendo dodici capi all'esterno (fig. 46) in modo



da rendere possibile quattro sistemi di collegamento. e di conseguenza il funzionamento quattro tensioni diverse:

fig. 47 a; collegamento a stella semplice con tensione  $V$

fig. 47 b, collegamento a doppia stella, tensione  $V/2$ ;

fig. 47 c, collegamento a triangolo, tensione  $V/\sqrt{3}$ ;

fig. 17 d, collegamento a doppio triangolo tensione  $V/\sqrt{3}\sqrt{2}$

Questi motori così collegati si dicono a tensioni universali, e sono generalmente costruiti per il funzionamento, a 50 e 42 Hz, alle tensioni del seguente specchietto:

Fig. 47a	50 Hz	500 V	42 Hz	440 V
* 47b	50 Hz	250 V	42 Hz	220 V
* 47c	50 Hz	290 V	42 Hz	250 V
* 47d	50 Hz	245 V	42 Hz	125 V

Se nel collegamento a stella ogni fase viene ad essere sottoposta alla tensione di linea divisa per 1,73, mentre nel triangolo in ogni fase vi è introdotta la totale tensione di linea, si capisce che le bobine di un avvolgimento collegato a triangolo avranno un numero di spire



maggiore di 1,73 volte quelle dello stesso avvolgimento se andasse collegato a stella ed alimentato con ugual tensione.

Ritengo quindi utile le due tabelle che danno le relazioni tra il numero dei fili a stella e quelli a triangolo e relative sezioni, ad uguali tensioni di alimentazione. Queste tabelle possono servire quando si debba riavvolgere un motore, e, per comodità costruttive, se ne voglia modificare il collegamento (vedi tabelle in fine testo).



## ***CAPITOLO QUARTO***

### ***SCHEMI DI AVVOLGIMENTI TRIFASI NORMALI***

Nota - Illustreremo in questo capitolo alcuni schemi di avvolgimenti trifasi normali, distinguendoli secondo il numero dei fori o canali e dei poli. -

Questi schemi sono i più comuni ed a basso numero di fori, per quegli schemi aventi un numero di fori maggiori di quelli qui illustrati il lettore potrà costruirsi da sé lo schema prendendo come base uno schema analogo a minor numero di fori che potrà trovare fra questi..

Comunque per disegnare uno schema qualsiasi e determinare il passo intero delle bobine si potrà procedere come segue: si disegnino su un foglio di carta possibilmente millimetrata tante linee parallele verticali equidistanti, quanti sono i fori dello statore da avvolgere, quindi si trovi quanti sono i fori per polo-fase con la formuletta:

$$q = \frac{f}{6 \times p}$$

ove

f il numero totale dei fori p le coppie di poli.

Ora si segnino ingrossando tante linee vicine da sinistra a destra quanto è il numero di q poi si contino tante linee quanto è il numero di q x 2 sempre procedendo da



sinistra a destra e si seguino ancora in linea grossa tante linee come q, e così via fino in fondo.

Ora, a seconda se si voglia costruire un avvolgimento a poli alterni (bobine corte) o a poli omonimi (bobine lunghe), si uniscono nella parte superiore dello schema le linee ingrossate rispettando il senso di direzione dell'avvolgimento perchè lo schema risulti geometricamente di attuazione pratica, e nella parte inferiore si faccia il collegamento.

Esponiamo il seguente esempio per meglio chiarire quanto si è detto: si disegni lo schema di un avvolgimento a quattro poli su statore di 36 fori. Il numero dei fori per polo-fase è  $(36/6 \cdot 2 = 3)$ , se vorremo costruire l'avvolgimento a poli omonimi a matasse in 2 ordini faremo come alla tavola 28a se a poli alterni, a corona faremo come alla tavola 29a.

Si capisce che se il numero dei fori fosse maggiore di 36 lo schema avrà le stesse caratteristiche ma ne risulterà aumentato il numero delle bobine e più allungato il loro passo. Per passo intendiamo negli schemi il numero dei fori che esistono fra il lato di una bobina e l'altro della stessa più i 2 fori da questa occupati quindi quando diremo passo 10 vuoi dire che la bobina ha i lati che abbracciano 8 fori.

## 15. - Statori con 18 fori.

Avvolgimento a 2 poli. - Nella tavola 6a vediamo il collegamento e la disposizione di un avvolgimento trifase



a spirali embricate, 3 fori per polo-fase, ad uno strato, per uno statore con 18 fori a due poli (bobine a poli alterni). Le bobine di questo avvolgimento risultano disposte a corona con un passo 1 - 8. Per agevolare il lettore le fasi si sono (stinte con linea continua grossa, linea continua sottile, e con linea a tratto; il collegamento è eseguito su una sola fase e son segnati i principi delle altre due.

Altro sistema analogo è quello della tavola 7a, qui le tre bobine elementari componenti una fase sono disposte in un unico gruppo a spirale semplice, e si hanno quindi tre passi diversi ossia: 1-12 (dal foro 1 al foro 12); 1-10 (2 - 11); 1-8 (3 - 10). A questi sistemi di avvolgimento per i 18 fori due poli, si preferisce l'avvolgimento a doppio strato, di cui alla tavola 8, di funzionamento molto migliore e più silenzioso. Le matasse sono disposte a corona con un passo 1.7.

**Avvolgimento a 4 poli.** - Per ottenere su uno statore con 18 fori un avvolgimento a 4 poli, dato che come è noto, il numero dei fori deve essere normalmente multiplo del numero delle fasi e del numero dei poli, non si può procedere come per i tipi precedenti: è necessario ricorrere ad un avvolgimento a doppio strato con bobine a due e a un elemento per polo. Lo schema è rappresentato nella tavola 9°.

Questo sistema a doppio strato è l'unico conveniente per garantire un buon funzionamento del motore.

## **Avvolgimento a 6 poli.**

- Con il 18 fori possiamo bene realizzare



un avvolgimento a sei poli, (bobine a poli omonimi) assegnando alle matasse un passo  $i - 4$ . Se in questo avvolgimento le matasse vengono disposte diritte con teste in due ordini è necessaria la matassa storta o curva, come è visibile nella tavola 10a. , Adottando invece, la disposizione a corona (teste di matassa uguali), si elimina tale inconveniente. L'avvolgimento è rappresentato nella tavola 11a.

## 16. – Statore con 24 fori.

Avvolgimento a 2 poli. - Nella tavola 12a è rappresentato un avvolgimento con 24 fori a due poli, a spirali semplici, passi. 1- 10; 1'- 12, (4 fori per polo - fase).

In questo avvolgimento le matasse sono disposte a gruppi di due in generale a corona o con teste in due ordini. Il sistema migliore è quello a corona.

Per ovviare all'inconveniente di dover usare due sagome diverse nella costruzione delle matasse, essendo due i passi, possiamo, senza compromettere il buon funzionamento del motore, costruire lo stesso avvolgimento a spirali embricate con un unico passo racciato 1 - 10.

Ottenendo così un risparmio di rame, per il minore perimetro delle matasse, un risparmio di tempo, ed un miglioramento dal lato estetico: tavola 13a.

Il 24 canali può essere avvolto anche a doppio strato con un passo 1 - 9, sistema soddisfacente dal lato estetico ed



economico, richiede però maggior cura nell'isolamento tra bobina e bobina dello stesso foro: tavola 14a

## Avvolgimento a 4 poli.

Un avvolgimento a 4 poli ad uno strato, a spirali embricate, 2 fori per polo - fase, su statore con 24. fori è visibile nella tavola 15a, le matasse sono disposte a corona con un passo  $i - 6$  (bobine a poli alterni).

Lo schema della tavola 16' rappresenta l'avvolgimento di un motore a quattro poli, le matasse possono essere disposte a corona o con teste in due ordini, e sono a polarità omonime, i passi sono:  $I - 6$  e  $1 - 8$ .

Un buon sistema è pure quello che adotta un avvolgimento a doppio strato con un passo  $1-5$  rappresentato nella tavola 17a.

## Avvolgimento a 6 poli.

- Uno statore con 24 fori non si presta per un avvolgimento normale a 6 poli. Esiste però un sistema ad uno e due strati, cioè misto, rappresentato nella tavola 18a. Nello schema le linee spesse continue ed a tratti grossi indicano le bobine intere, quelle con linee punteggiate le bobine con  $2/3$  di spire, le linee ed i tratti fini indicano invece le bobine con  $1/3$  di spire.

Per meglio.» facilitarne la » comprensione abbiamo segnato in testa alle bobine il numero delle spire tenuto conto che le bobine intere nell'esempio rappresentato abbiano 90 spire. ( $n = 90$ ). E' però questo unavvolgimento di ripiego poco consigliabile.



## Avvolgimento a 8 poli.

- Su uno statore con 24 fori si può benissimo eseguire un avvolgimento a 8 poli omonimi ad uno strato con passo- 1 - 4: tavola 19° , ed a doppio» strato sempre con medesimo passo, tavola 20. In questo avvolgimento si ha un foro per polo-fase.

## 17. - Statori con 27 fori

Avvolgimento a 6 poli. - Esistono anche degli statori aventi 27 fori. Possono essere utilizzati» per avvolgimenti a sei poli alterni a doppio strato, con matasse disuguali (due e una bobine elementari) con passo 1 - 5. Uno schema di questo tipo è rappresentato nella tavola 21a.

## 18.- Statori con 30 fori.

Avvolgimento a 2 poli. - Altro tipo di statore poco comune è quello con 30 fori: può essere avvolto con avvolgimento a due poli ad uno strato con un passo i 14: tavola 22a.

Avvolgimento a 4 poli.

- Nella tavola 23a, è rappresentato un avvolgimento su questo tipo di statore, a quattro poli alterni a doppio strato con un passo 1 - 8.

Altro sistema per il quattro poli è quello della tavola 24a, sistema misto ad uno e due strati. E' però preferibile quello della tavola 23.



Oltre a questi due sistemi per uno statore con 30 fori, si può adottare un avvolgimento a quattro poli omonimi: tavola 25a. Le matasse possono essere disposte a corona o con teste in due ordini, e sono disuguali a gruppi di tre e due bobine, a spirali semplici.

## 19.. Statori con 36 fori.

Avvolgimento a 2 poli. - Il due poli su statore con 36 fori può essere eseguito ad uno strato con un passo unico 1 - 14: tavola 26a..

Questo è il più conveniente da tutti i punti di vista, tanto per il risparmio del materiale quanto per l'estetica.

Troviamo però molte volte questi statori, avvolti a gruppi di tre matasse disposte con teste in tre ordini, tipo a spirale semplice con tre diversi passi cioè: 1 - 14; 1 - 16; 1 - 18: tavola 27a.

Questo sistema oltre ad essere poco raccomandabile dal punto di vista estetico e per la scarsa compattezza e la costruzione disagiata, è poco economico. Può essere modificato vantaggiosamente riavvolgendolo come è indicato nella tavola 26a.

Avvolgimento a 4 poli.

- Con uno statore a 36 fori possiamo , eseguire il quattro poli omonimi od alterni. Se omonimi l'avvolgimento va composto di gruppi di tre matasse a spirali semplici, generalmente con teste di matasse in due ordini con un



passo 1 - 8; 1 - 10; 1 - 12; questo è un sistema molto diffuso, vedi tavola 28a.

Più conveniente però è il sistema a corona a poli alterni con un passo- unico  $i - 19$  tavola 29a.

Ottimo sistema è pur il tipo a doppio strato di cui alla tavola 30a, con un passo 1-7; può essere avvolto però anche con un passo 1-8.

Quest'ultimo è preferito dalle case costruttrici di motori. Avvolgimento a 6 poli.

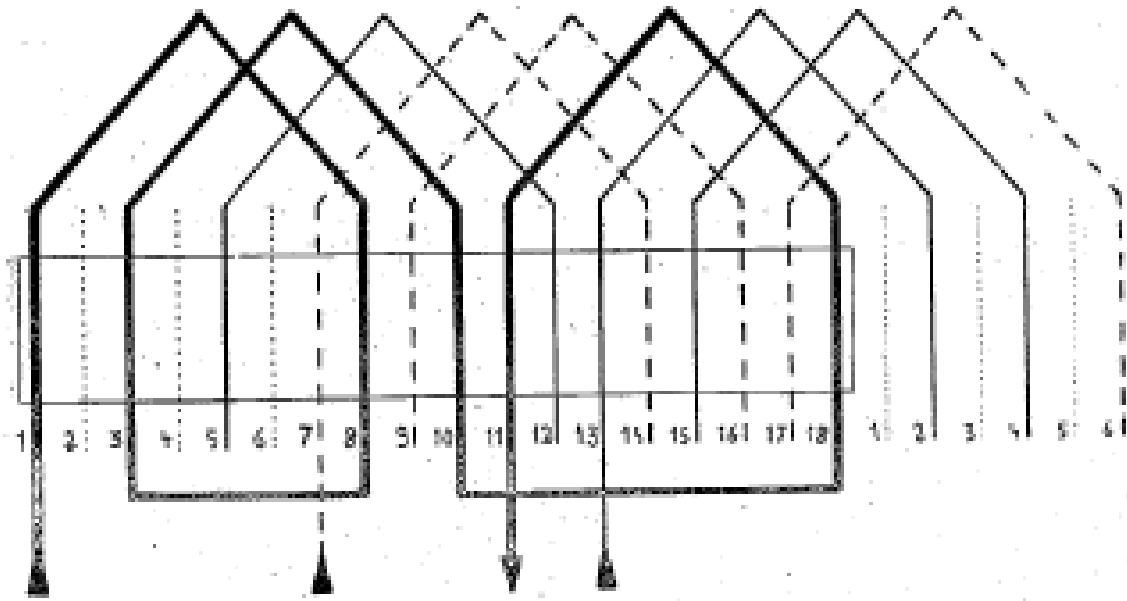
- Nella tavola 31a è rappresentato un tipo 'di avvolgimento su statore con 36 fori a sei poli alterni ad uno strato, le bobine hanno un passo  $i - 6$  e sono generalmente disposte a corona ossia con teste di matasse in un ordine.

Lo stesso tipo di statore può essere avvolto a poli omonimi con bobine disposte a gruppi di due aventi un passo 1- 6; 1 - 8 come nella tavola 32a. A questi due tipi è preferibile l'avvolgimento a doppio strato di cui alla tavola 33a, le bobine sono a gruppi di due con un passo 1.6.

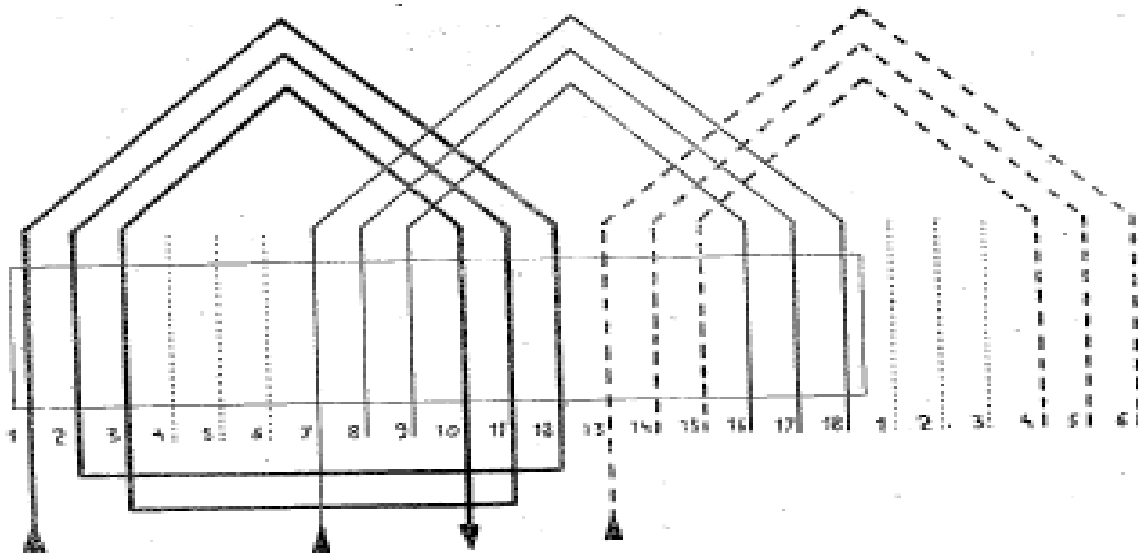
Abbiamo così illustrati i principali avvolgimenti statorici normali. Alcuni di questi sono avvolgimenti usuali, come vengono generalmente fatti dalle case costruttrici, altri risolvono il problema del riavvolgimento dei motori per adattarli a particolari esigenze, com'è il caso ad esempio del cambio di velocità (motori già avvolti con un determinato numero di poli, per i quali si rende necessario cambiare il numero dei poli stessi e quindi la velocità di regime).



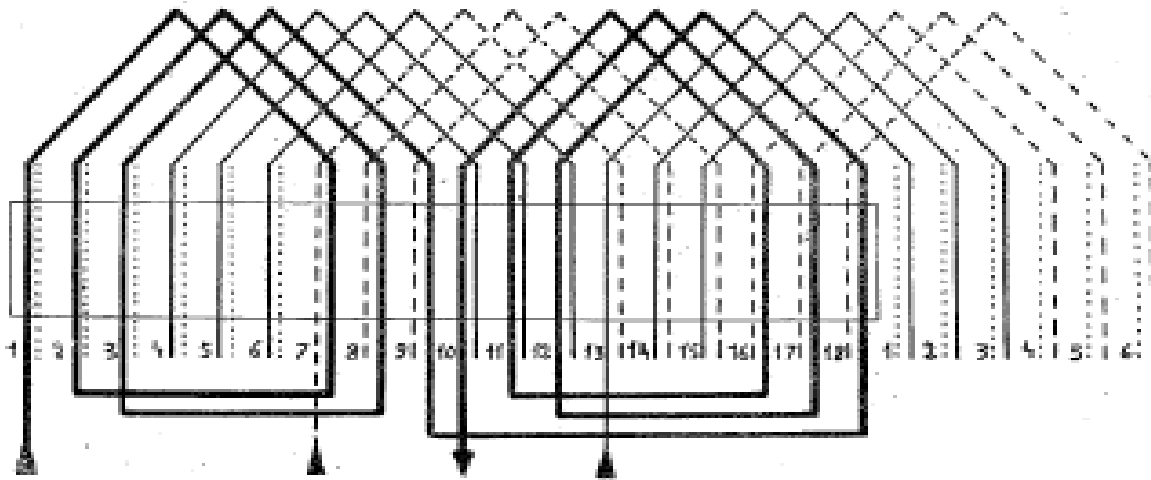
Si riportano, qui di seguito, le tavole dalla 6a alla 33 a che illustrano gli avvolgimenti di cui si tratta in questo capitolo.



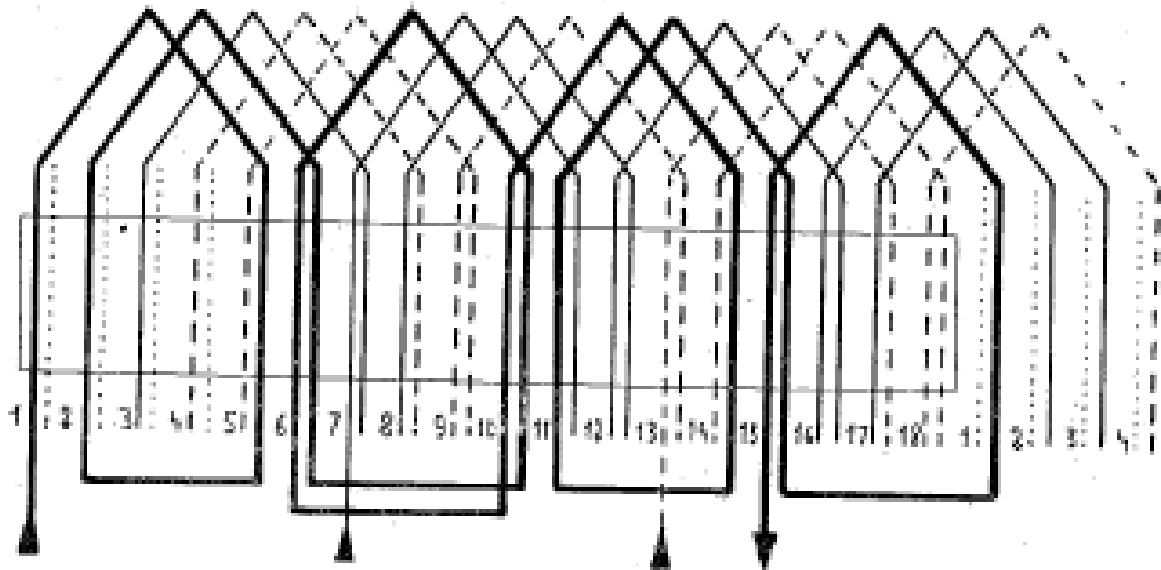
TAV. 6° — Avvolgimento trifase a spirali embriicate, 18 fori, 2 poli, 3 fori per polo-fase (disposizione a corona)



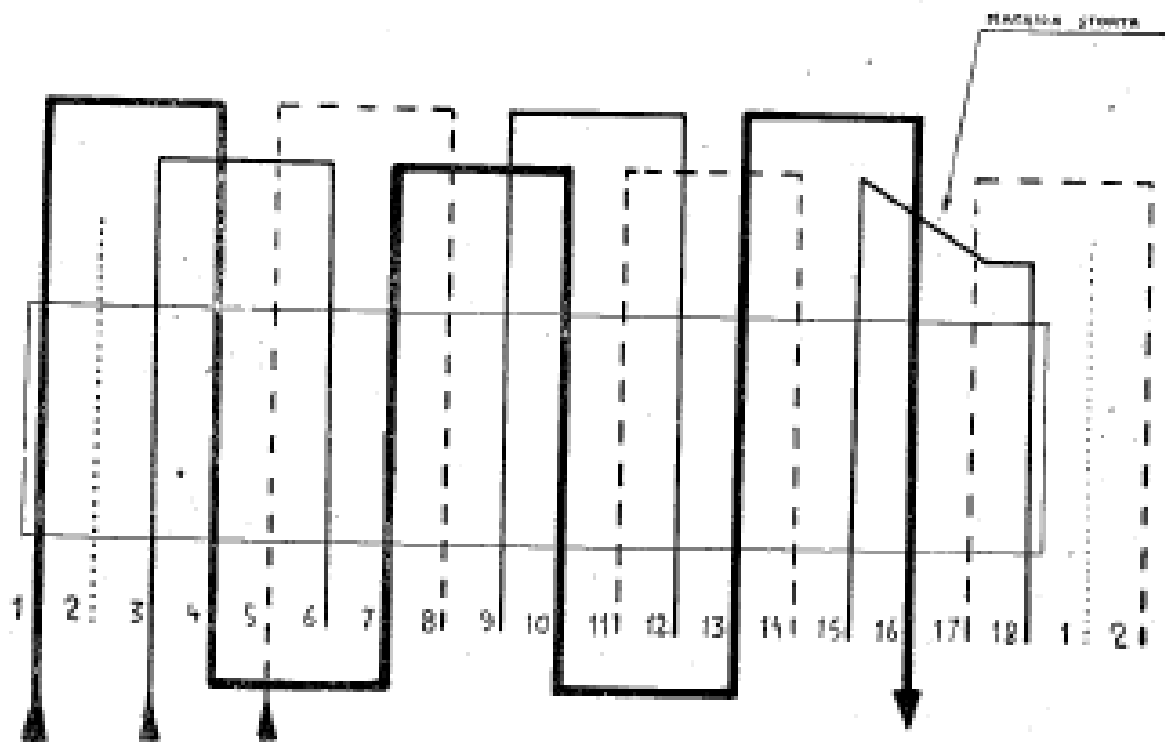
TAV. 7° — Avvolgimento trifase a spirali semplici, 18 fori, 2 poli, 3 fori per polo-fase (disposizioni in tre ordini)



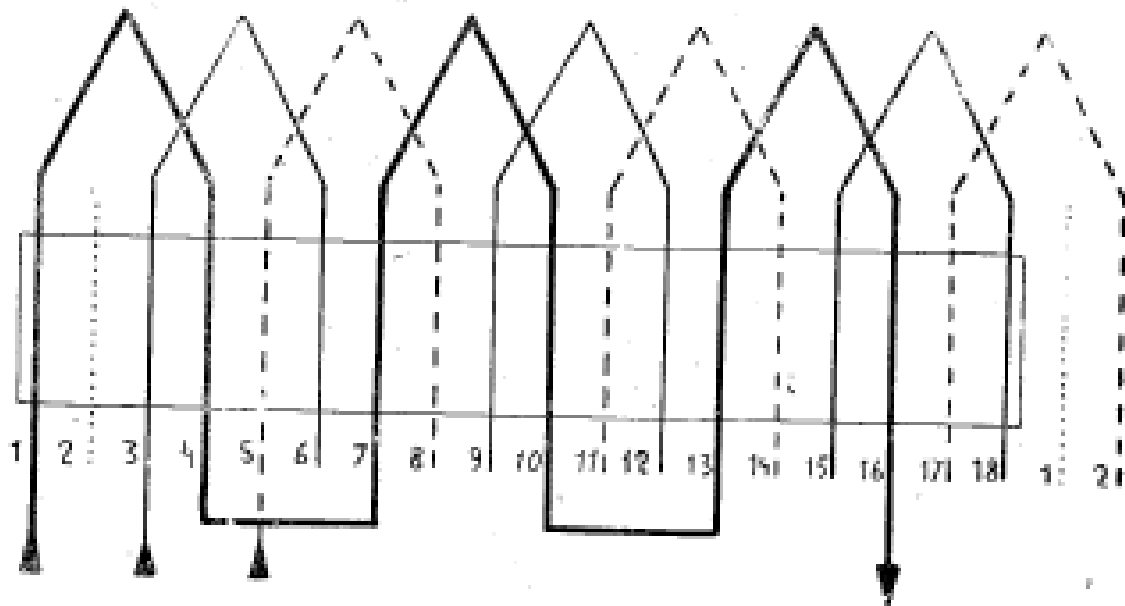
Tav. 8<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, a doppio strato, 12 fori, 2 poli, 3 fori per polo-fase (doppia corona)



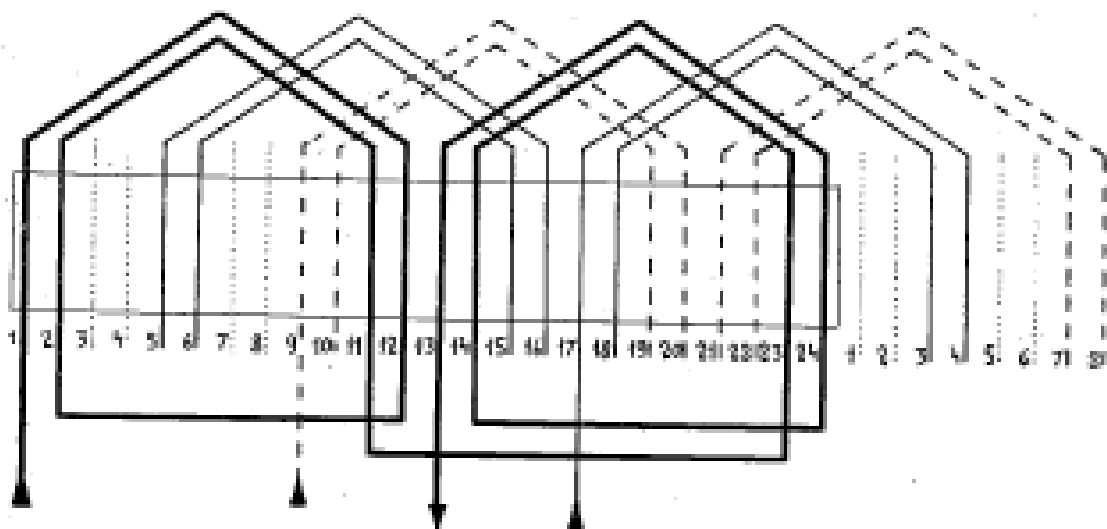
Tav. 9<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, a doppio strato con bobine disuguali, 18 fori, 4 poli, 1,5 fori per polo-fase (doppia corona)



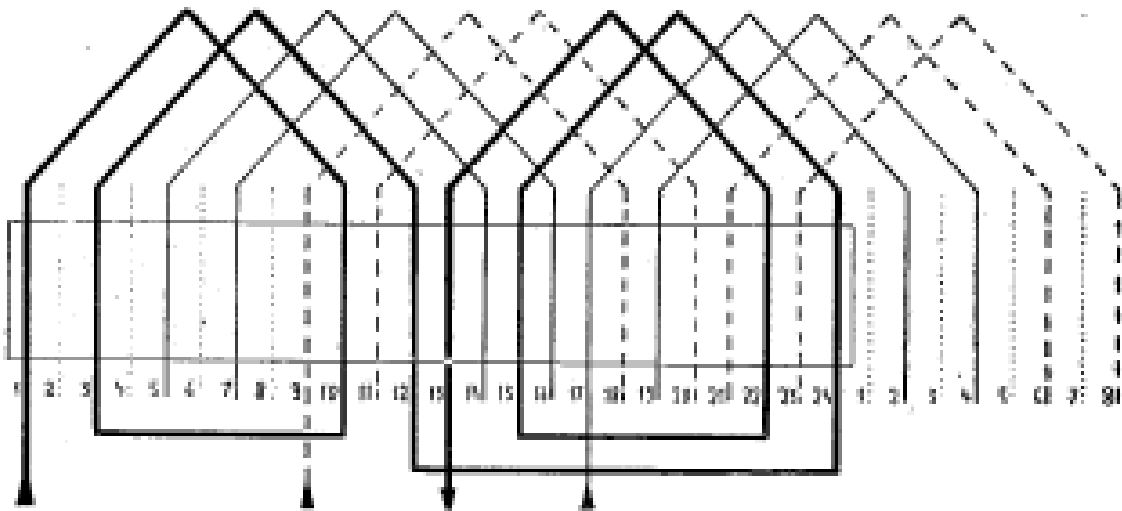
Tav. 10<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, 18 fori, 6 poli 1 foro per polo-fase teste di matassa in 2 ordini con matassa storta.



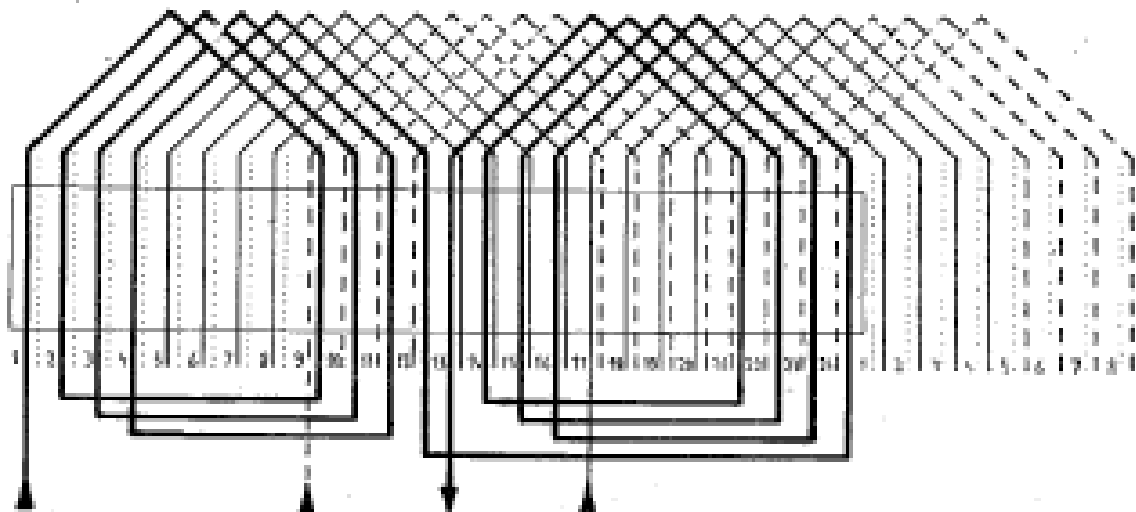
Tav. 11<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, 18 fori, 6 poli, 1 foro per polo-fase — tipo a corona (teste di matassa eguali)



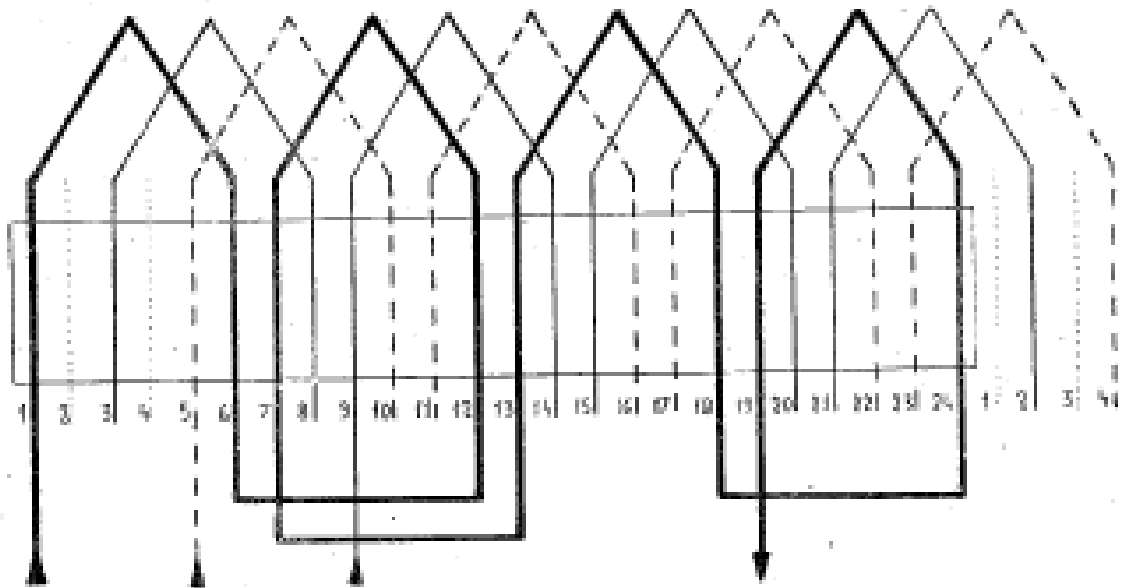
TAV. 12<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali semplici, 24 fori, 2 poli, 4 fori per polo-fase (disposizione in 3 ordini)



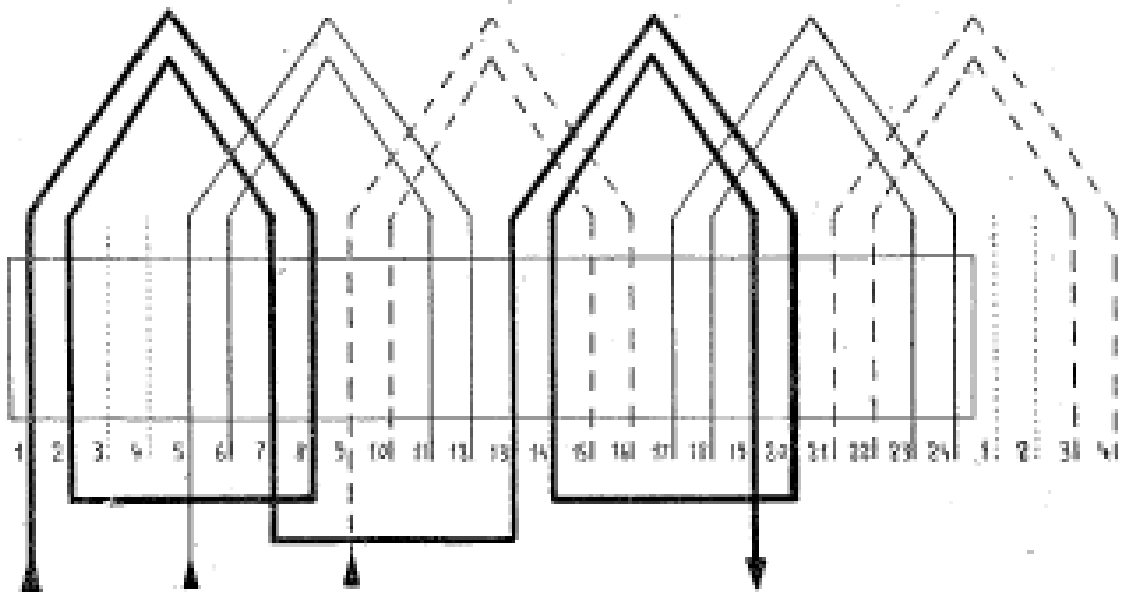
Tav. 13<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, 24 fori, 2 poli, 4 fori per polo-fase (a corona)



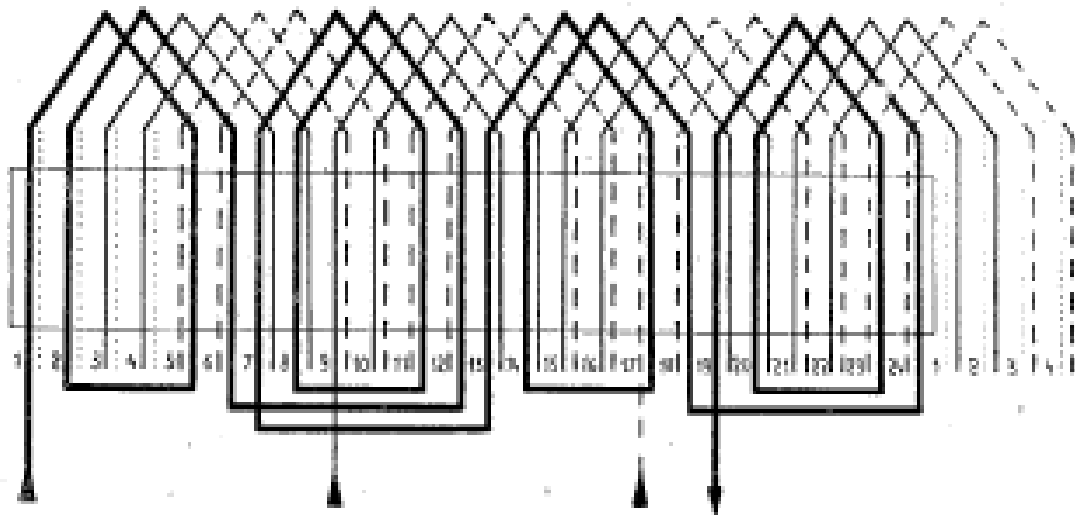
Tav. 14<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, a doppio strato, 24 fori, 2 poli 4 fori per polo-fase (doppia corona)



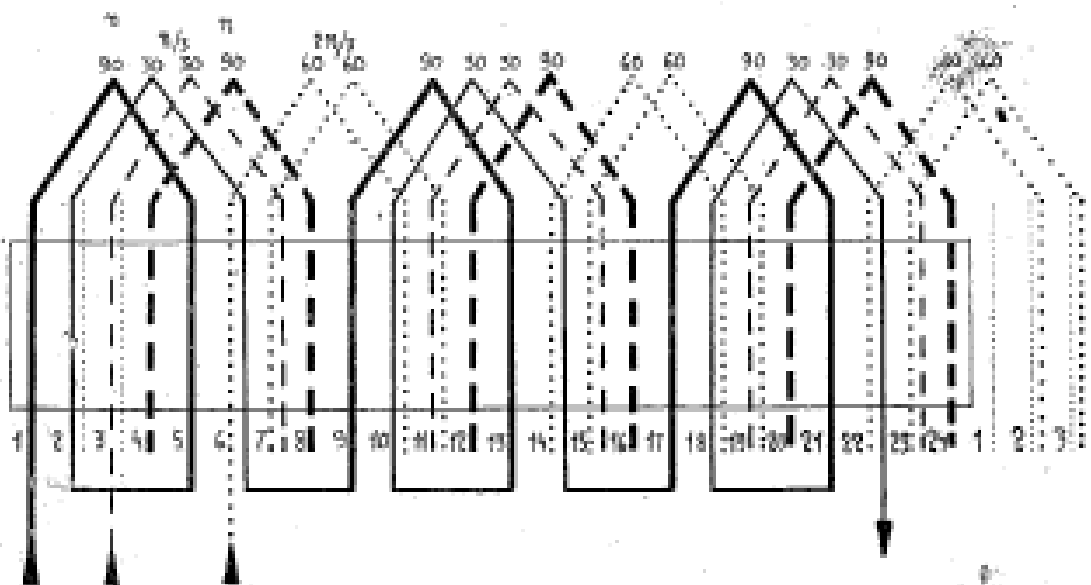
Tav. 15° — Avvolgimento trifase a spirali embriate, 24 fori, 4 poli, 2 fori per polo-fase (a corona)



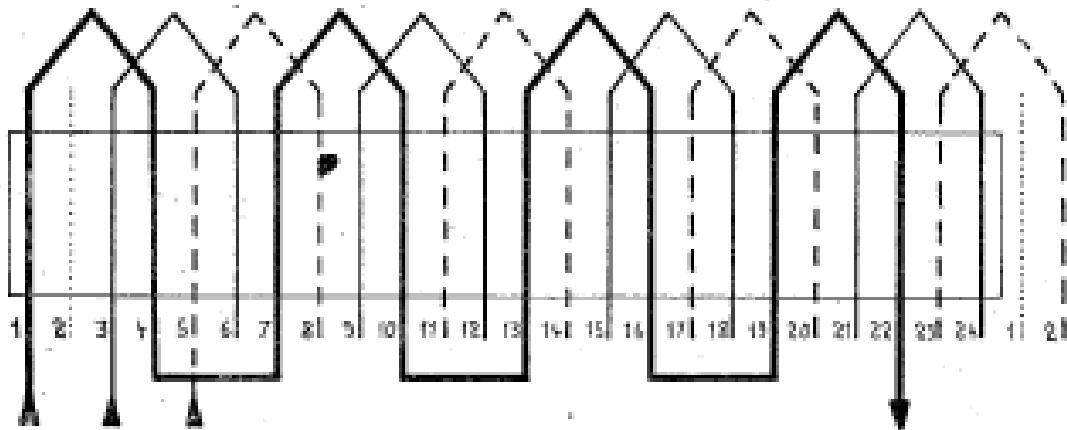
Tav. 16° — Avvolgimento trifase a spirali semplici, 24 fori, 4 poli, 2 fori per polo-fase (matasse in 3 ordini)



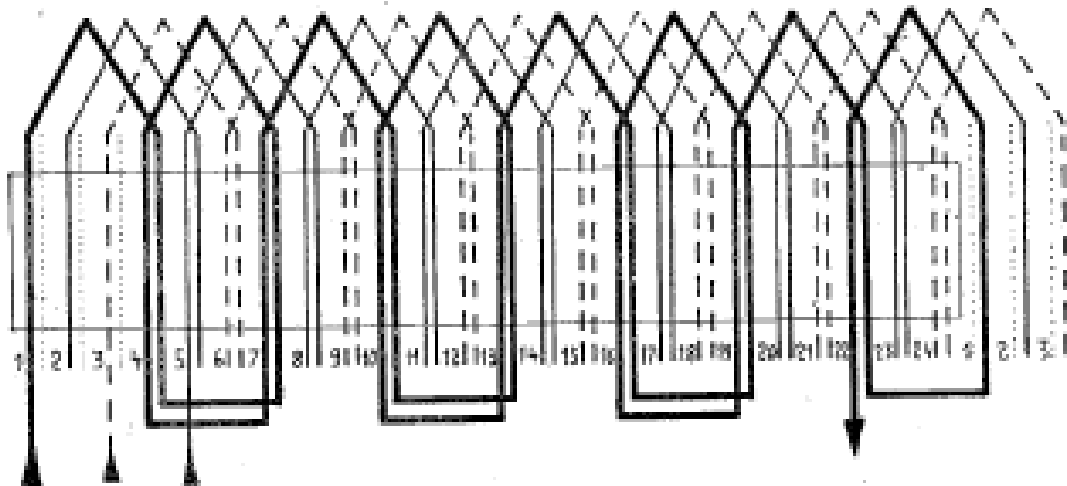
Tav. 17<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali ambriate a doppio strato, 24 fori, 4 poli, 2 fori per polo-fase (doppia corona)



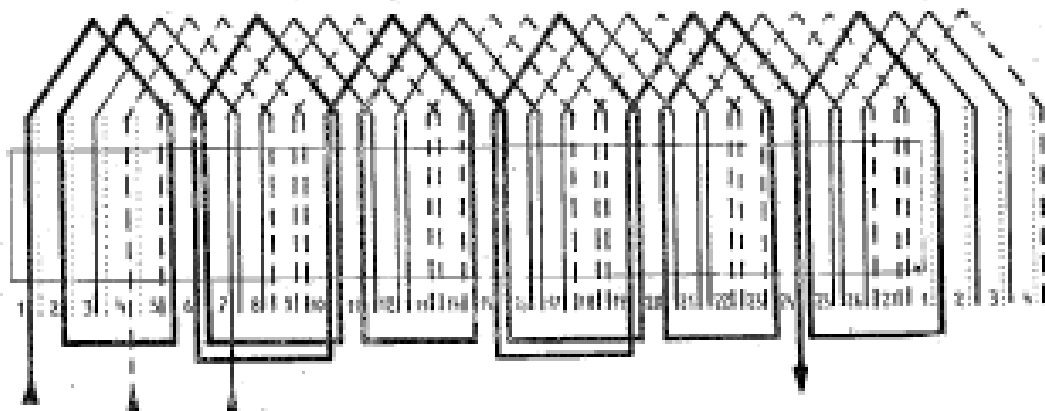
Tav. 18<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase di tipo speciale, 24 fori, 6 poli. Tipo poco consigliabile (disposizione a corona)



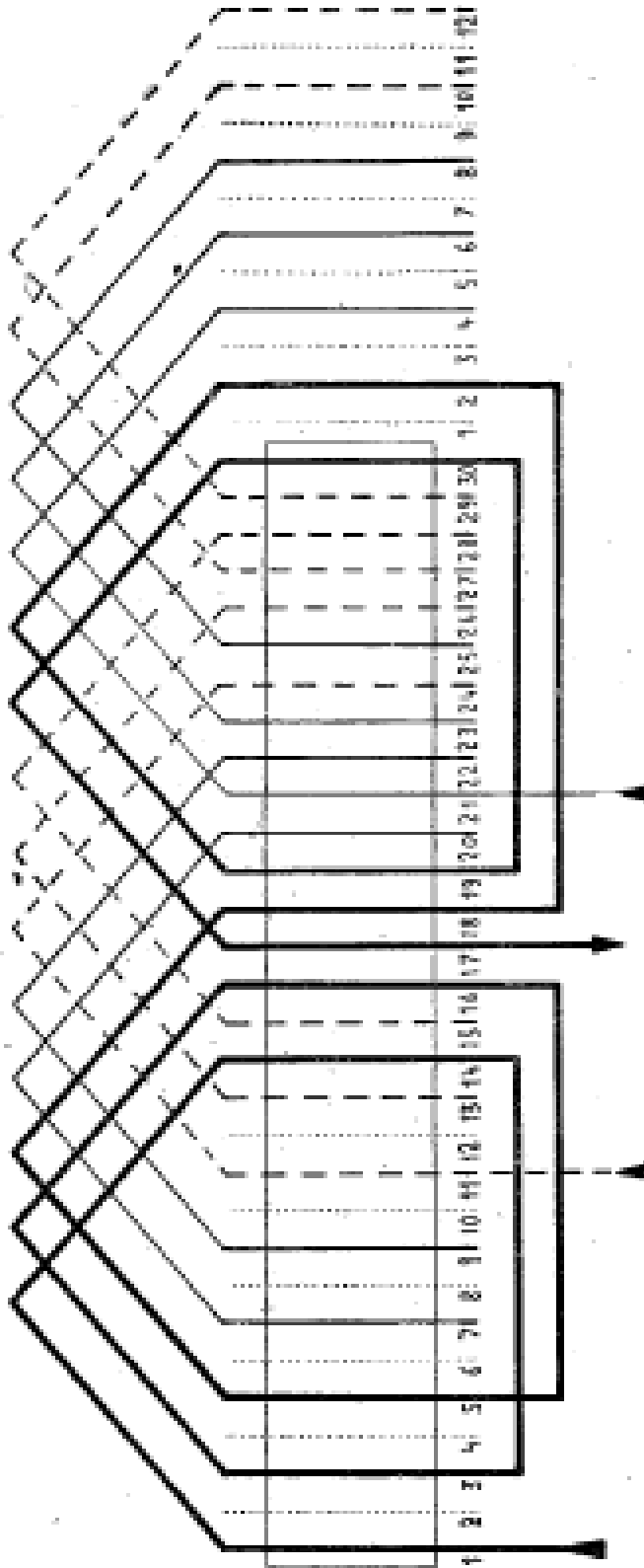
Tav. 19<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, 24 fori, 8 poli, 1 foro per polo-fase (disposizione a corona)



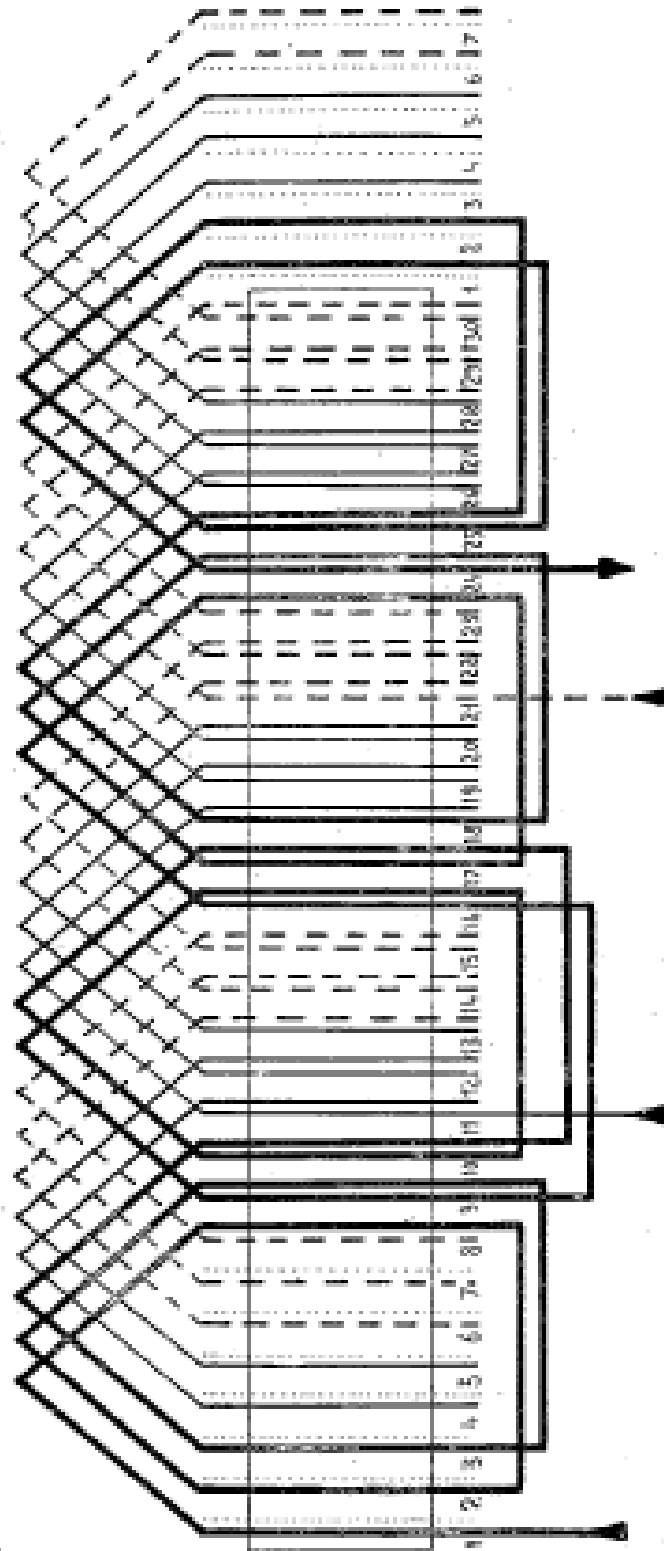
Tav. 20<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, a doppio strato, 24 fori, 8 poli, 1 foro per polo-fase (a doppia corona)



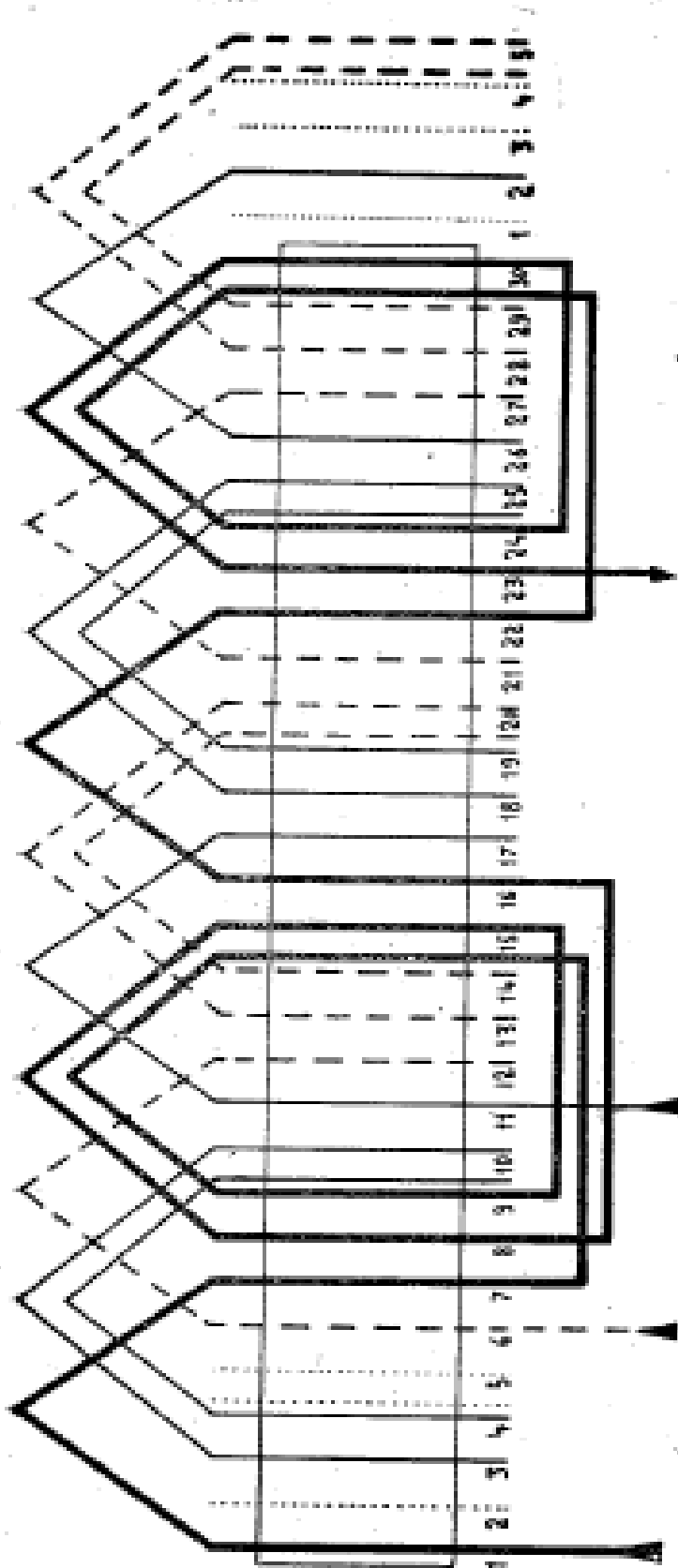
Tav. 21<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, a doppio strato, 27 fori, 6 poli, 1,5 fori per polo-fase, bobine disuguali (doppia corona)



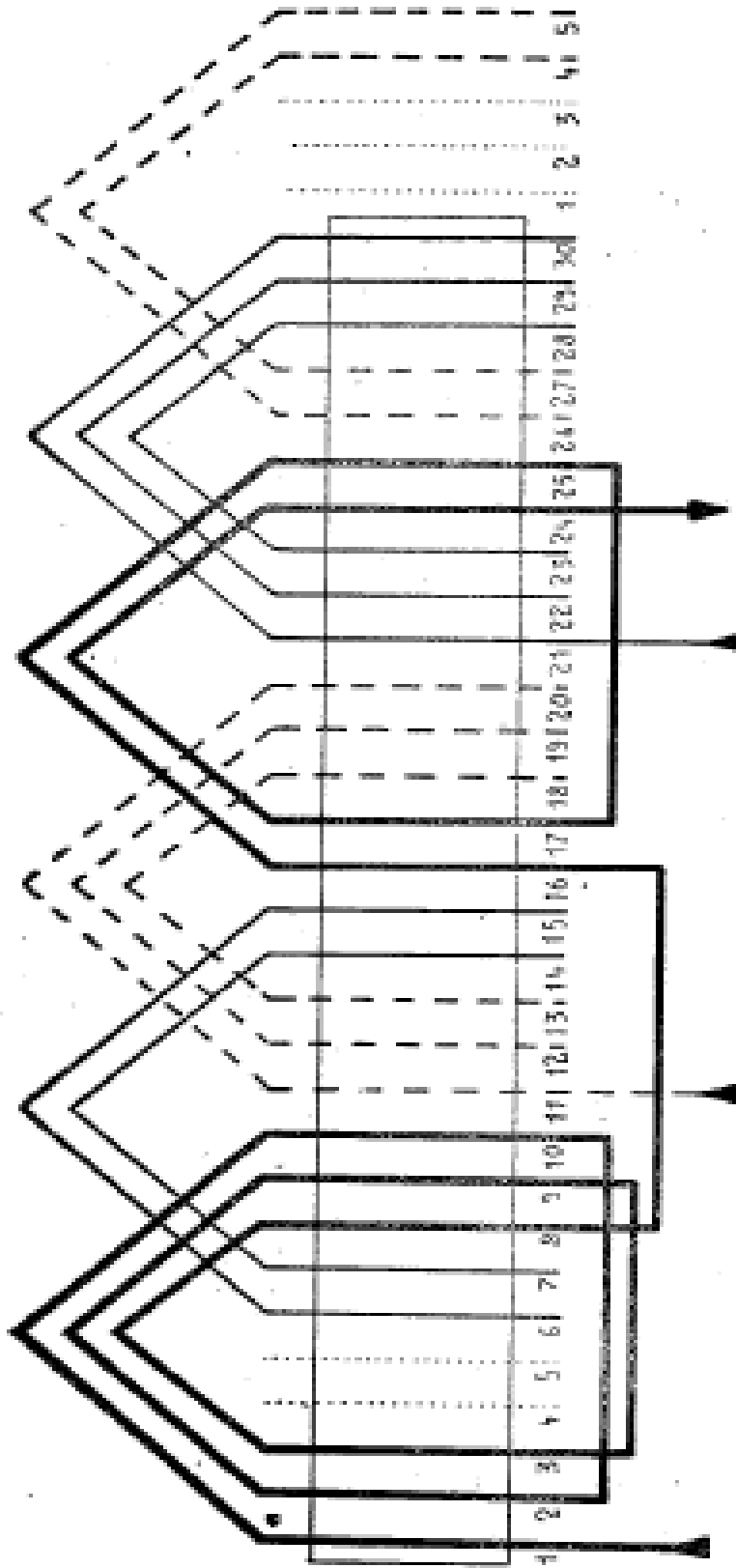
Tav. 22<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embriccate, 30 fori, 2 poli (mutasse disuguali), 5 fori per polo-fase (disposizione a corona)



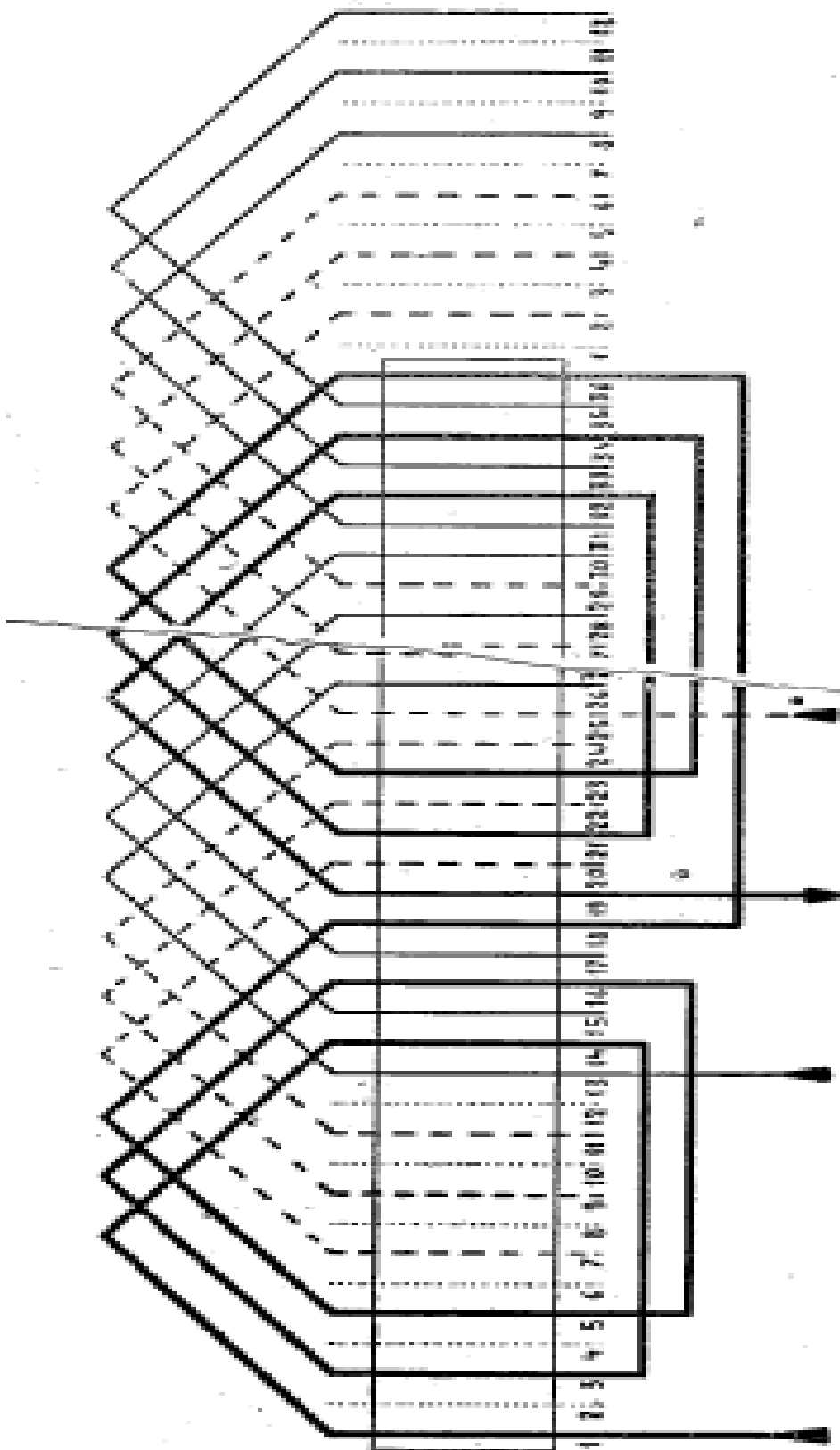
Tav. 33' — Avvolgimento trifase a spirali embriante, a doppio strato, 30 ferri, 4 poli (matrassi disuguali), 2,5 ferri per polo-fase (disposizione a doppiin corona)



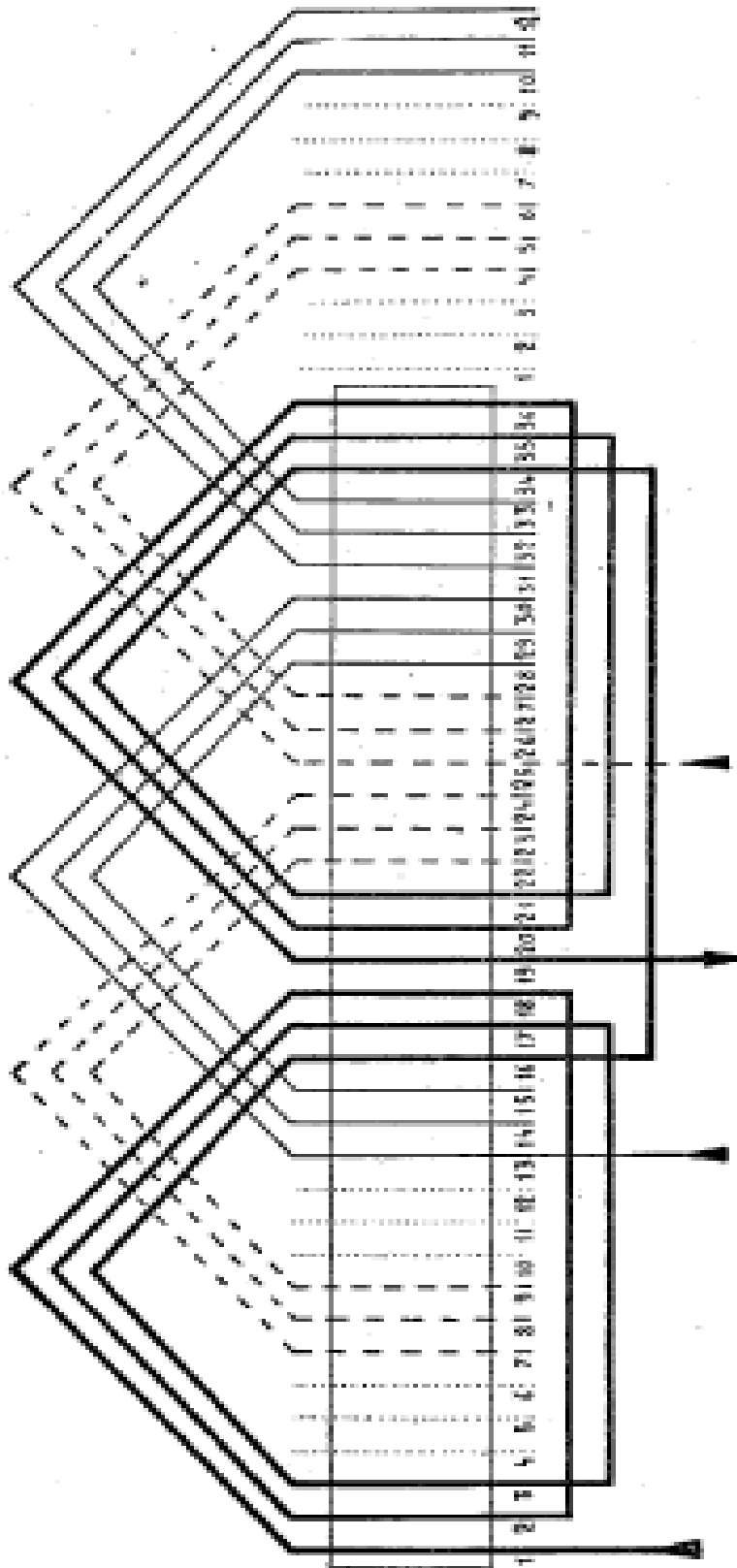
Tav. 24' — Avvolgimento trifase a spirale, misto (ad uno e due strati), 30 fori, 4 poli, 3 fori per polo-fase.



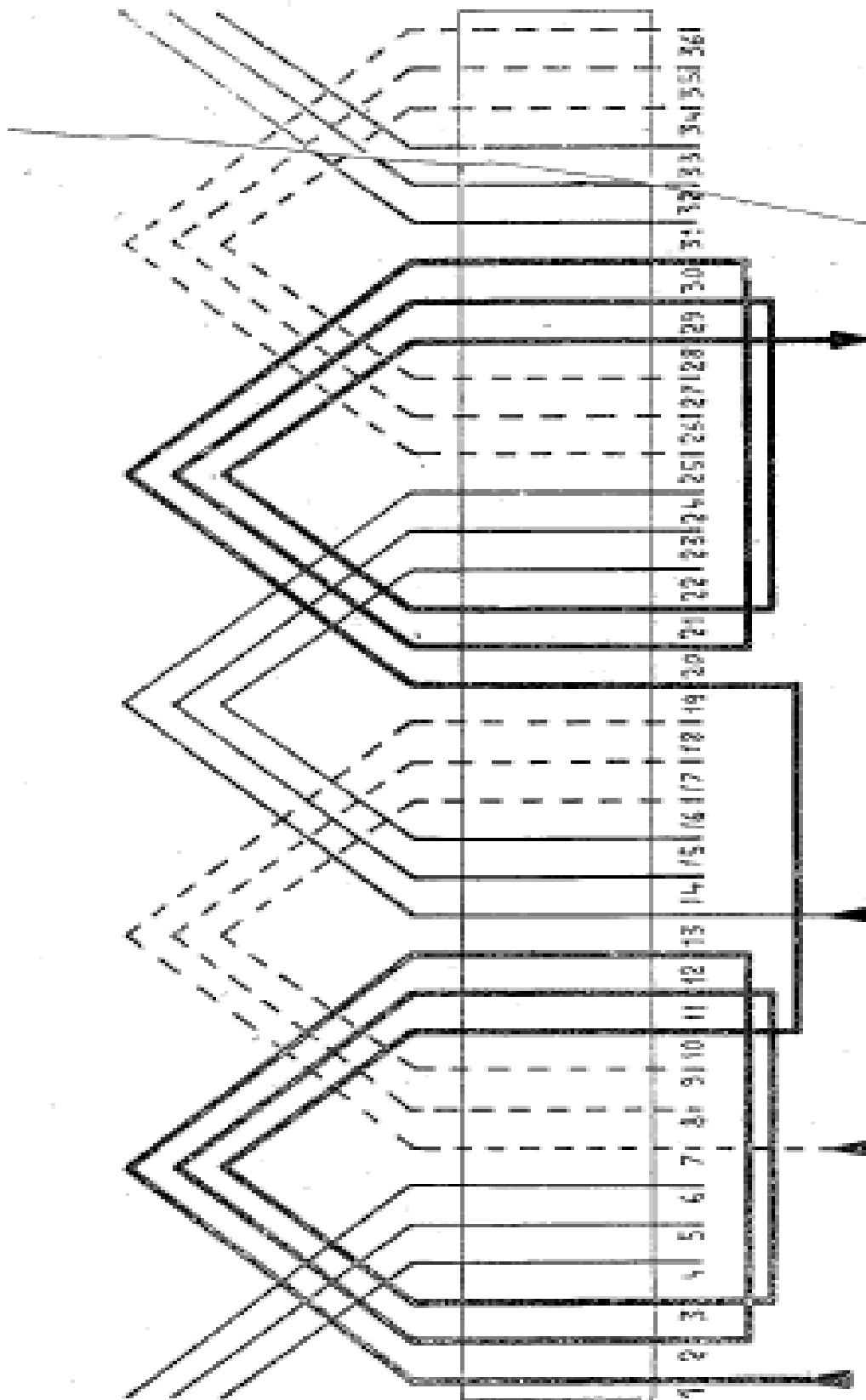
Tav. 25° — Avvolgimento trifase a spirali semplici, 30 fori, 4 poli, con nastasse disuguali (a tre e a due bobine), fori per polo-fase disuguali (disposizione a nastasse in 2 ordini)



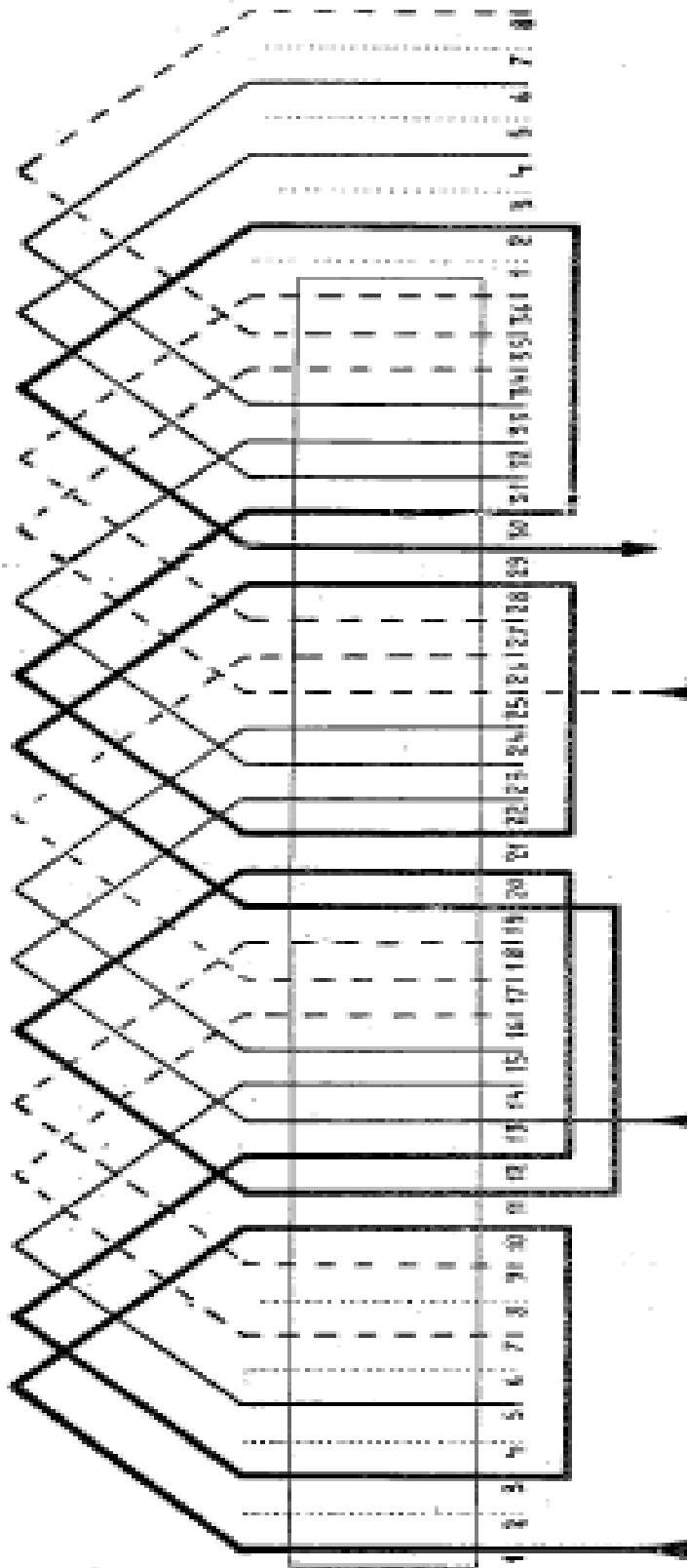
Tav. 26<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, 36 fori, 2 poli, 6 fori per polo-fase (disposizioni a corona)



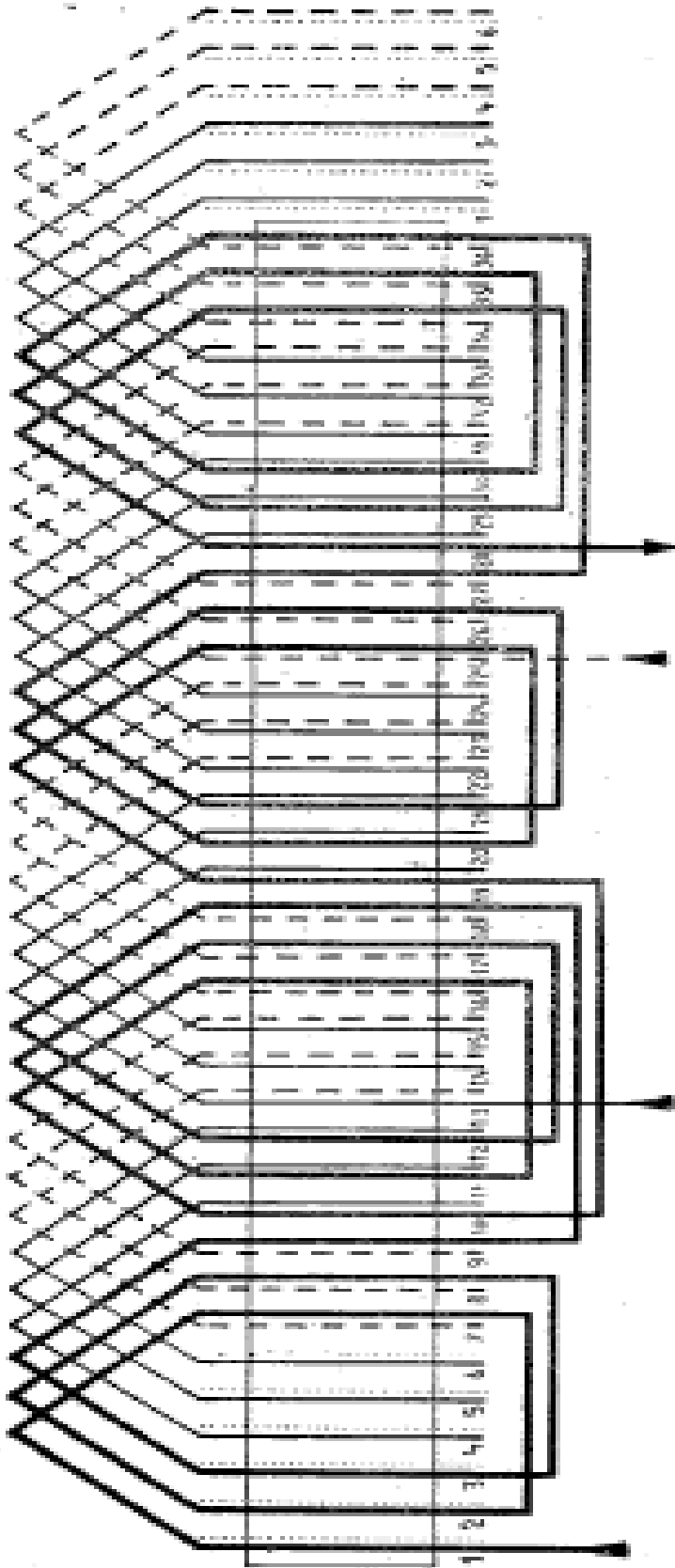
Tav. 27<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali scampiate, 36 fori, 2 poli, 6 fori per polo-fase (disposizione a matasse in 3 ordini)



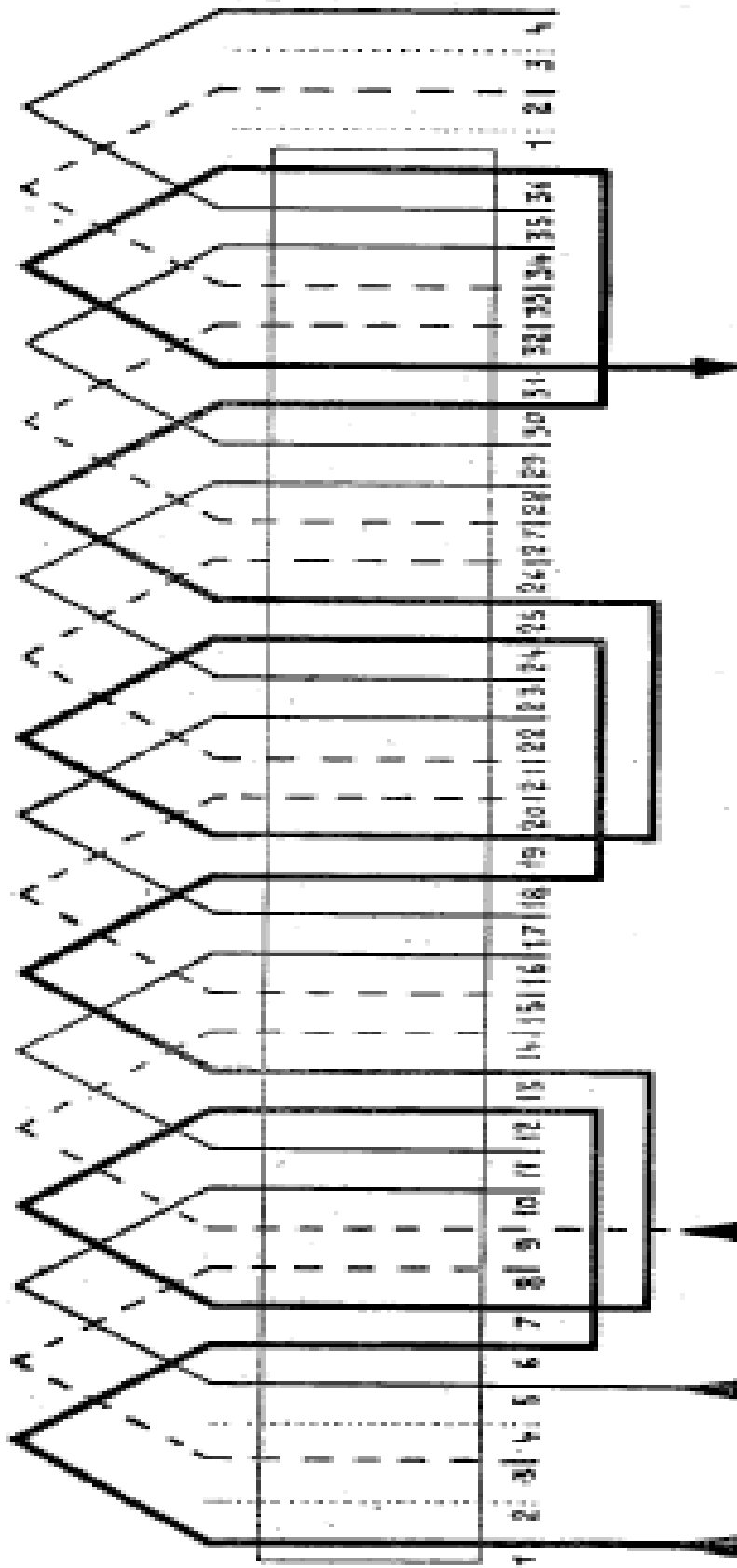
Tab. 28<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali semplici, 36 poli, 4 poli, 3 fori per polo-fase, (disposizione a matasse in 2 ordini)



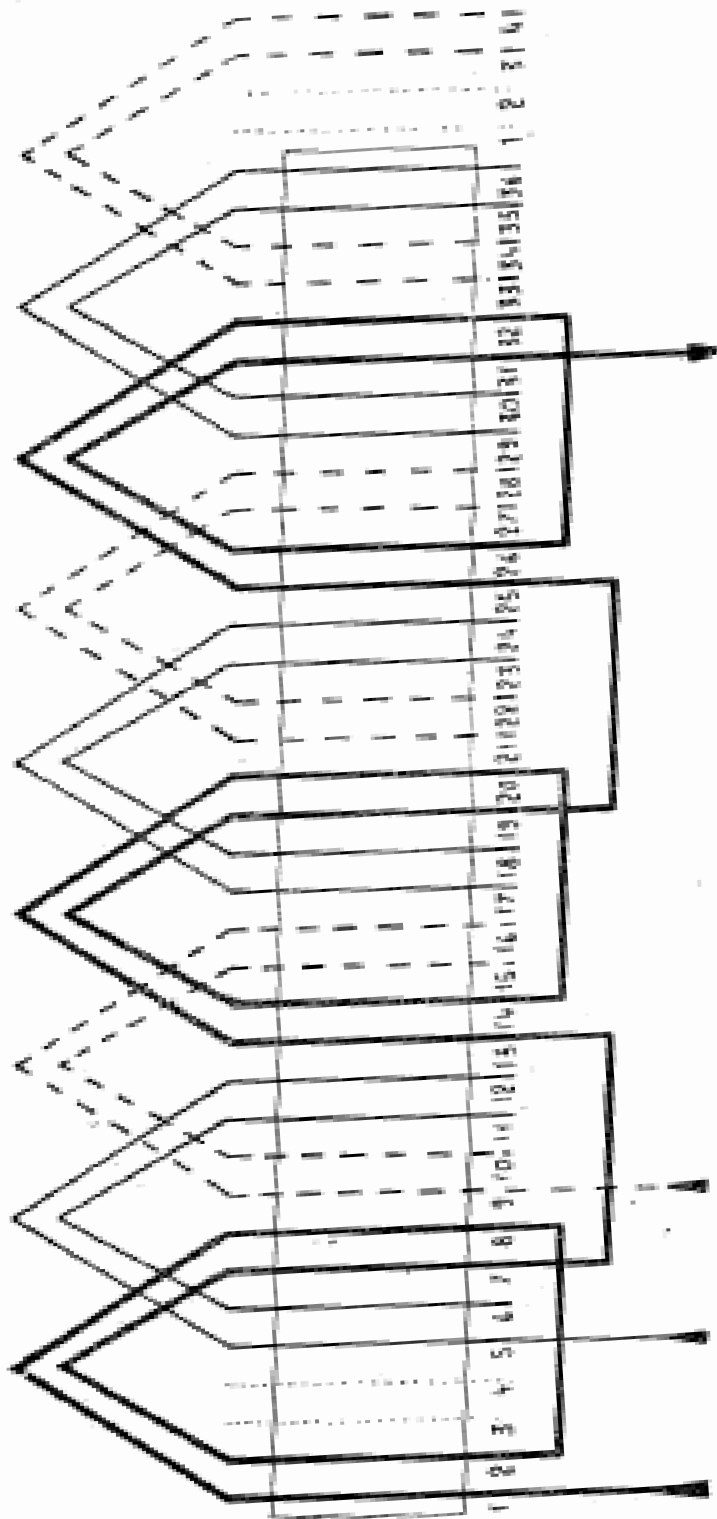
Tav. 29° — Avvolgimento trifase a spirali embricate, 36 fori, 4 poli, 3 fori per polo-fase (a corona)



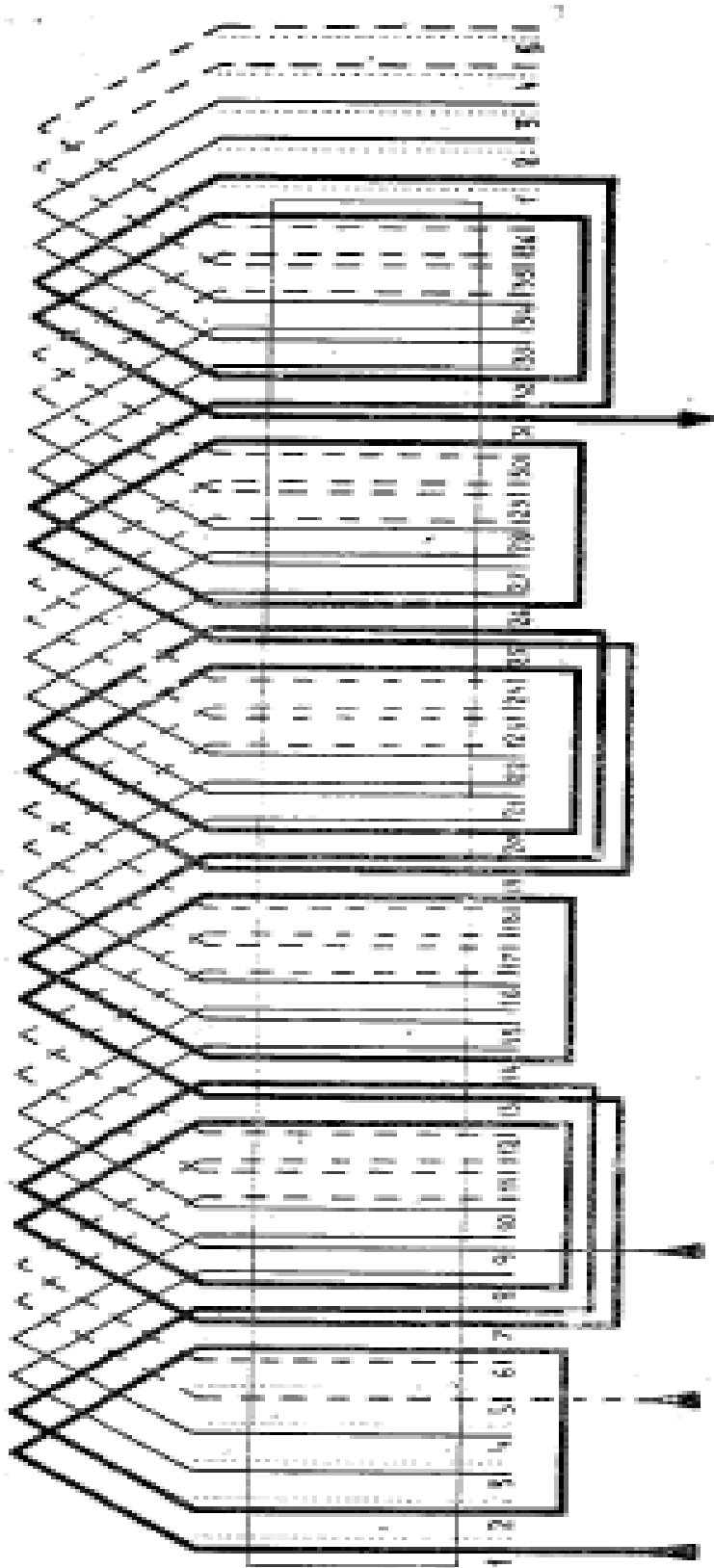
Tav. 30' --- Avvolgimento trifase a spirali embriante, a doppio strato, 36 poli,  
4 poli, 6 fori per polo-fase (doppia corona)



Tav. 31' — Avvolgimento trifase a spirale, 36 fori, 6 poli, 2 fori per polo-fase  
(disposizione a corona)



Tav. 32' — Avvolgimento trifase a spirale semplice, 36 fori, 6 poli, 2 fori per polo-fase (disposizione a matasse in due ordini con matassa starter). Questo avvolgimento si può disporre anche come fosse a corona, risultano solo doppie le teste delle bobine.



Trav. 33<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a spirali embricate, a doppio strato, 36 fori, 2 poli, 2 fori per polo-fase (doppio corona)



## ***CAPITOLO QUINTO***

### **AVVOLGIMENTI TRIFASI A DUE VELOCITA'**

20. . Premessa sugli avvolgimenti a due velocità. - Per determinate esigenze meccaniche alcune macchine operatrici richiedono motori a due velocità; in questo capitolo illustreremo con vari schemi avvolgimenti di tali motori.

Naturalmente i collegamenti in questo caso sono più complicati non nei motori ad una sola velocità, ma se il lettore avrà ben assimilato quanto si è esposto nei primi paragrafi gli riuscirà facile la comprensione di tali collegamenti, oltre al funzionamento dei motori.

L'importante è di tener conto che questi avvolgimenti si basano proprietà che hanno le bobine di poter essere diversamente collegate in modo da ottenere poli omonimi od alterni, come già abbiamo spiegato al paragrafo 2.

Perchè possa riuscire più facile la comprensione di questo capitolo si consiglia quindi il lettore di rivedere tale paragrafo.

21. - Motori con due avvolgimenti distinti. - Esistono motori a 2 velocità i quali sono provvisti di due avvolgimenti distinti l'uno dall'altro. Questi avvolgimenti non differiscono dai comuni, solo che posti l'uno sopra l'altro negli stessi fori.

Credo quindi inutile la illustrazione di questi avvolgimenti essendo il collegamento di ogni singolo



avvolgimento uguale ai comuni già nelle tavole precedenti. Questi sono .tipi poco usati perchè non risultano economici.

22. - Motori ad avvolgimento unico. - Ai motori con avvolgimenti distinti nei tipi a due velocità si preferiscono i motori ad avvolgimento unico che può essere avvolto ad uno strato o a doppio strato.

Il più usato è però generalmente l'avvolgimento a doppio strato, perchè presenta i vantaggi e le caratteristiche già viste nel paragrafo

Le due velocità in questi tipi di avvolgimenti unici sono possibili con una speciale commutazione dei circuiti e con una giusta ampiezza delle matasse. In questi motori la bassa velocità (maggiore numero di poli) è ottenuta quando l'avvolgimento è collegato in modo da ottenere Poli omonimi. Commutando in modo opportuno la direzione della corrente nei circuiti, si ottengono poli alterni (minor numero di poli) funzionando così il motore per l'alta velocità.

Inizieremo la spiegazione e la illustrazione schematica di questi motori soffermandoci in special modo sull'avvolgimento di uno statore a 24 fori che serve, anche ad esempio per motori provvisti di maggior numero di canali e il quale può essere considerato analogo agli statori con numero di fori multiplo di 24 come ad esempio di 48, 72, 96 ecc..

23.-Statori con 24 fori a 4 ea 2 poli - Per costruire su uno statore avente 24 fori un avvolgimento atto alla commutazione da quattro a due poli è necessario che



alle matasse sia assegnata un'ampiezza come per un motore a quattro poli omonimi, estraendo però un capo derivato dalla connessione centrale di ogni fase. Otterremo così nove capi di cui tre principi (P) tre capi finali (F) e tre centri (C).

In fig. 48 vediamo che i tre capi iniziali e i tre finali sono uniti a triangolo e i centri C1, C2, C3, sono liberi; con questi collegamenti l'avvolgimento può essere considerato come quello di un normale collegamento a triangolo. Se lo alimentiamo attraverso i capi P, P, P3, mantenendo il collegamento 'a triangolo, e lasciamo liberi i capi di centro, otteniamo un avvolgimento a quattro poli omonimi, e di conseguenza il funzionamento del motore sulla bassa velocità. Alimentando invece i capi

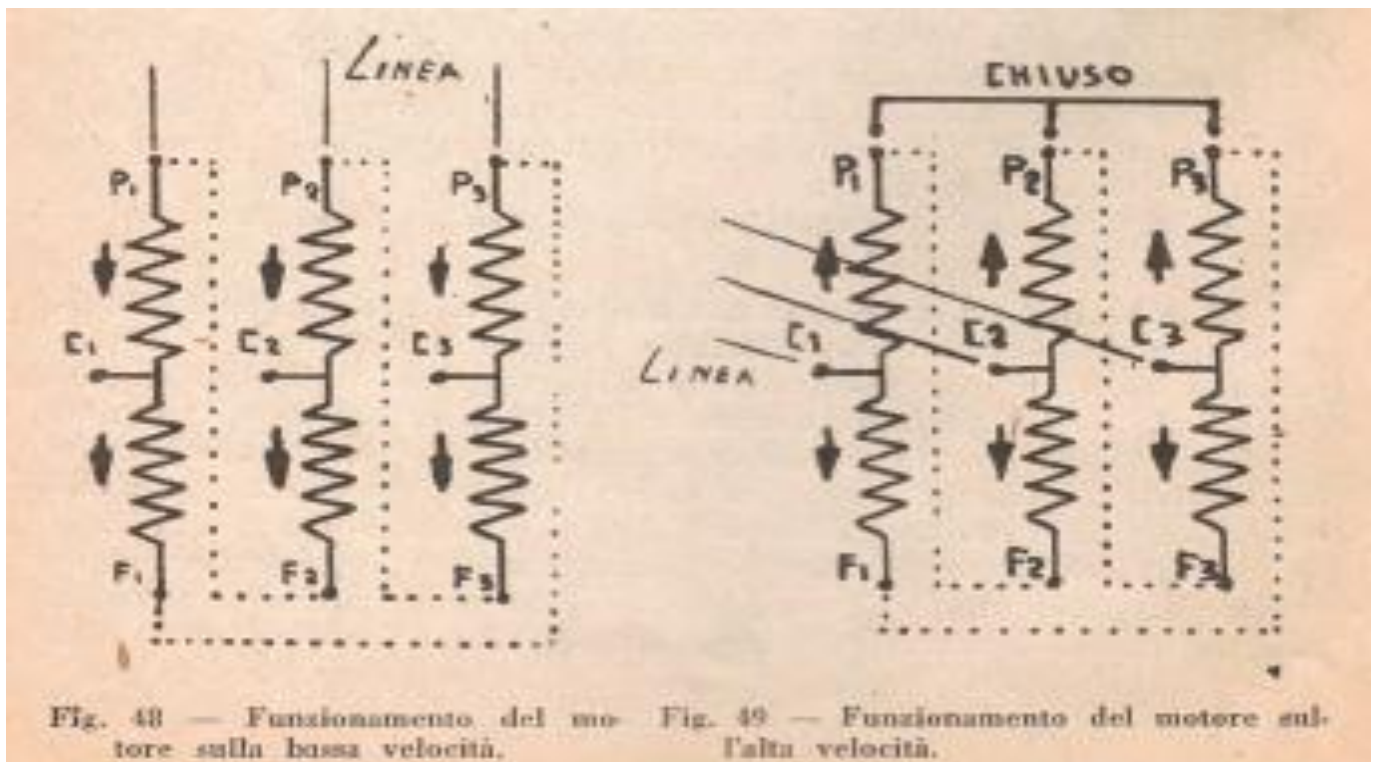
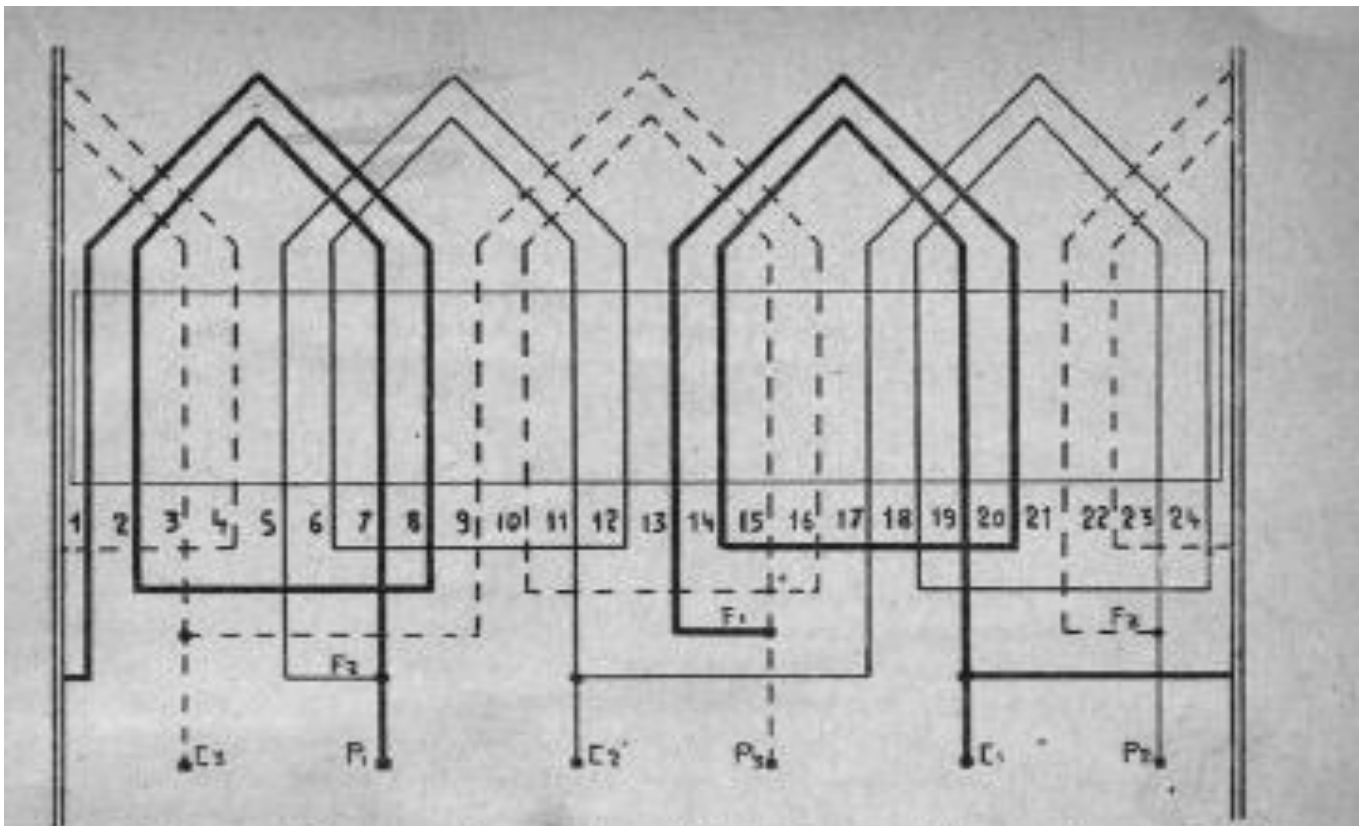


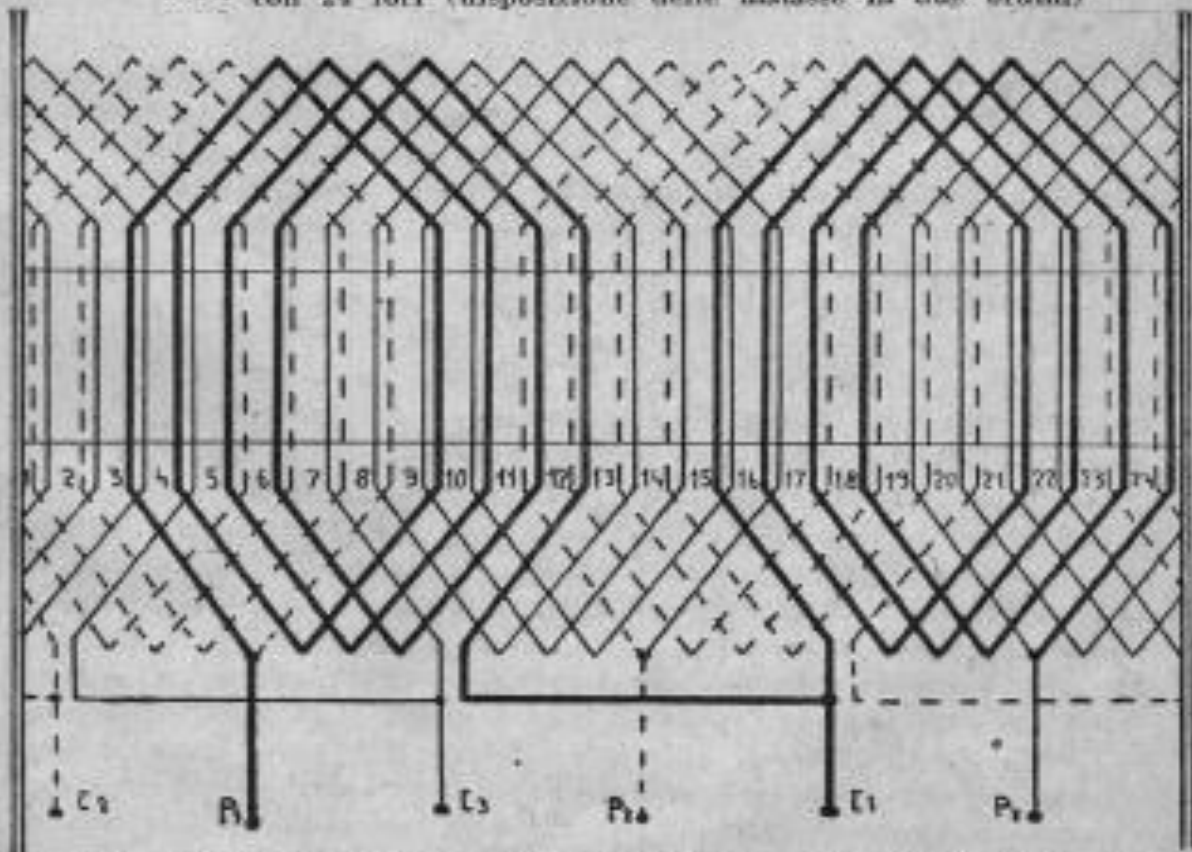
Fig. 48 — Funzionamento del motore sulla bassa velocità.

Fig. 49 — Funzionamento del motore sull'alta velocità.





Tav. 34<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a due velocità tipo a spirale semplice, a 4 e 2 poli con 24 fori (disposizione delle nastasse in due ordini)



Tav. 35<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a due velocità tipo a spirali embricate, a doppio strato, a 4 e 2 poli, 24 fori (disposizione a doppia corona)



C1, C2, C3 , e chiudendo in corto circuito i capi P1, P2, P,, mantenendo i collegamenti del triangolo come in fig. 49 otteniamo un avvolgimento a due poli alterni, con funzionamento del motore sull'alta velocità.

Con questo collegamento l'avvolgimento risulta a doppia stella.

In pratica il motore funzionerebbe ugualmente, anche se non si chiudessero in corto circuito i capi P1, P2 , P,, ma con una diminuzione di potenza. -

Notiamo nelle due figure 48 e 49 la differenza di direzione della corrente, indicata con delle freccette, nei due circuiti funzionanti a 4 e a 2 poli.

Nella tavola 34a

vediamo questo avvolgimento con collegamenti per 4 e 2 poli ad uno strato. Le matasse sono in gruppi di due a spirale semplice. Visto nel suo insieme l'avvolgimento può essere del tipo a corona o con teste di matasse in due ordini. Il passo è 1 - 6 e 1 - 8.

In questo schema i capi estratti sono sei essendo già eseguite le connessioni del triangolo internamente.

Anche nella pratica il triangolo di questi avvolgimenti viene fatto internamente portando alla morsettiera soltanto sei capi, cioè i tre centri e, ad esempio, i tre principi P1, P2, P3,.

Questo tipo di motore può essere costruito anche con un avvolgimento a doppio strato, tavola35a con passo 1 . 7.

Il funzionamento è analogo al precedente, cioè alimentando P1,P2, P3, otteniamo il quattro poli



omonimi con collegamento a triangolo semplice, lasciando C1, C2, C3, aperti.

Alimentando invece C1, C2, C3 e chiudendo in corto circuito i capi P, P2, P3, otteniamo il due poli alterni con l'avvolgimento a doppia stella.

- 24. - Statori con, 24 fori a 8 e a 4 poli. - Nello statore con 24 fori oltre al quattro-due poli è possibile un avvolgimento per la commutazione da otto a quattro poli, tanto ad uno strato come a doppio strato.

Nella tavola 36a vediamo appunto questo avvolgimento ad uno strato, nella tavola 37a

lo stesso tipo di avvolgimento a doppio strato.

In ambedue i tipi il passo è 1 - 4 con la differenza che mentre nel primo tipo le bobine sono a gruppi di una ogni coppia di poli (considerando l'avvolgimento a otto poli omonimi) nel secondo sono a gruppi di due.

La più chiara dimostrazione dei collegamenti di questo tipo di avvolgimento si ha dalle fig. 50 e 51. Nella prima vediamo il collegamento per il funzionamento a otto poli omonimi e nella seconda quello per il funzionamento a quattro poli alterni.

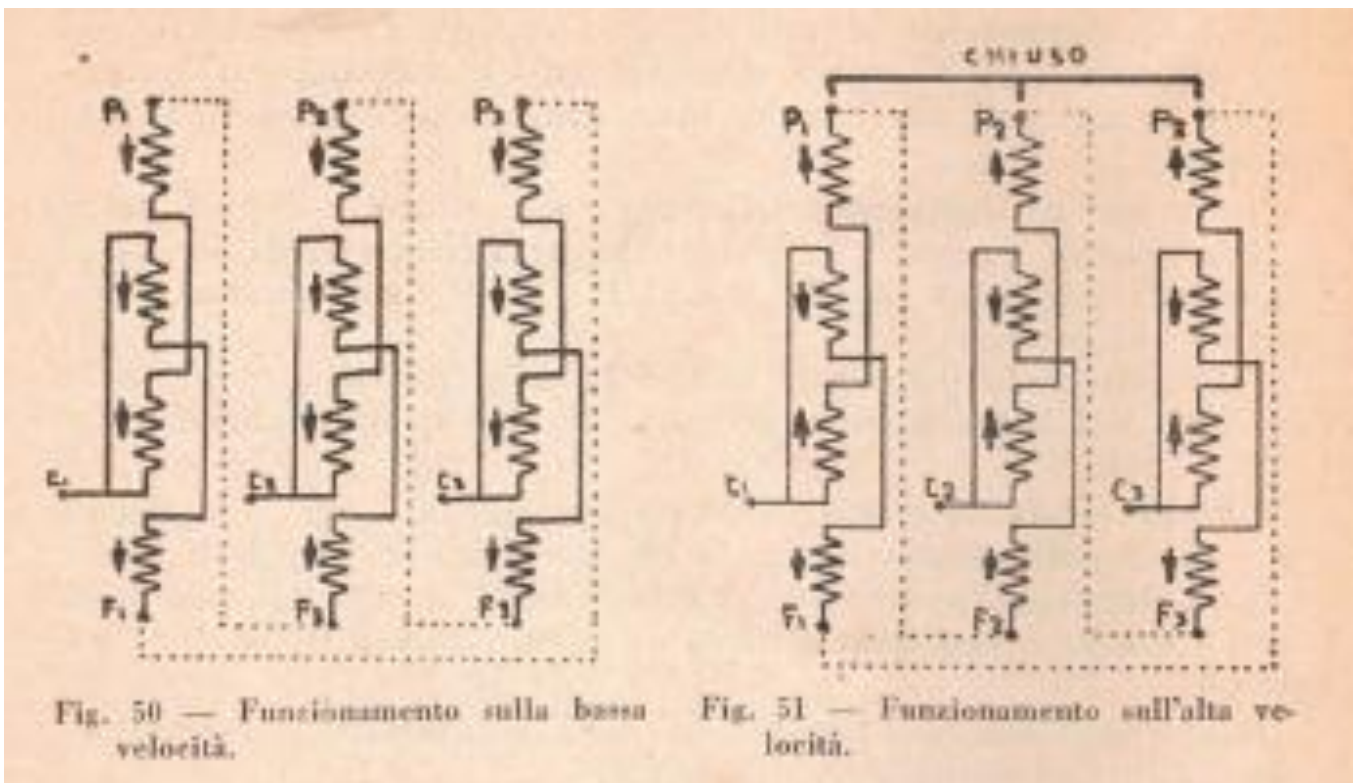


Fig. 50 — Funzionamento sulla bassa velocità.

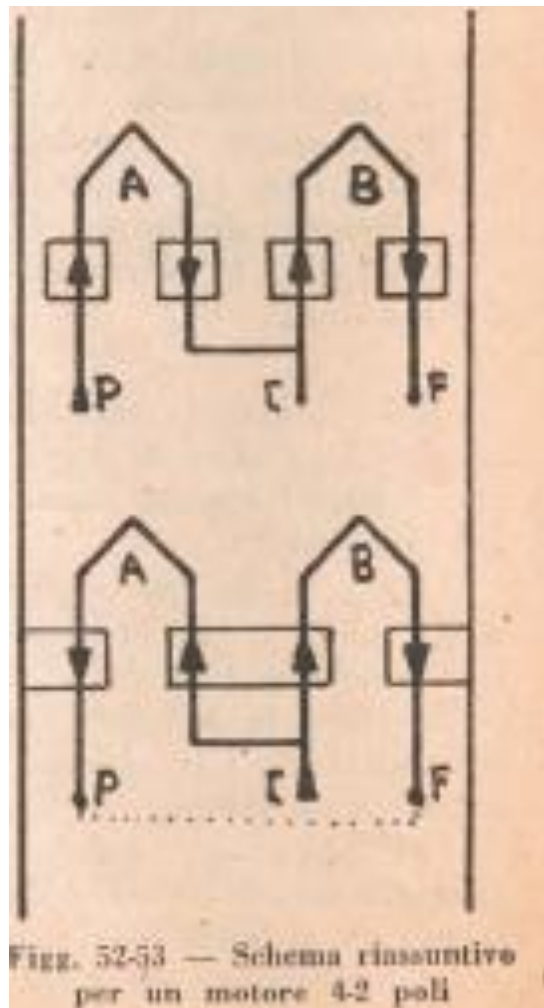
Fig. 51 — Funzionamento sull'alta velocità.

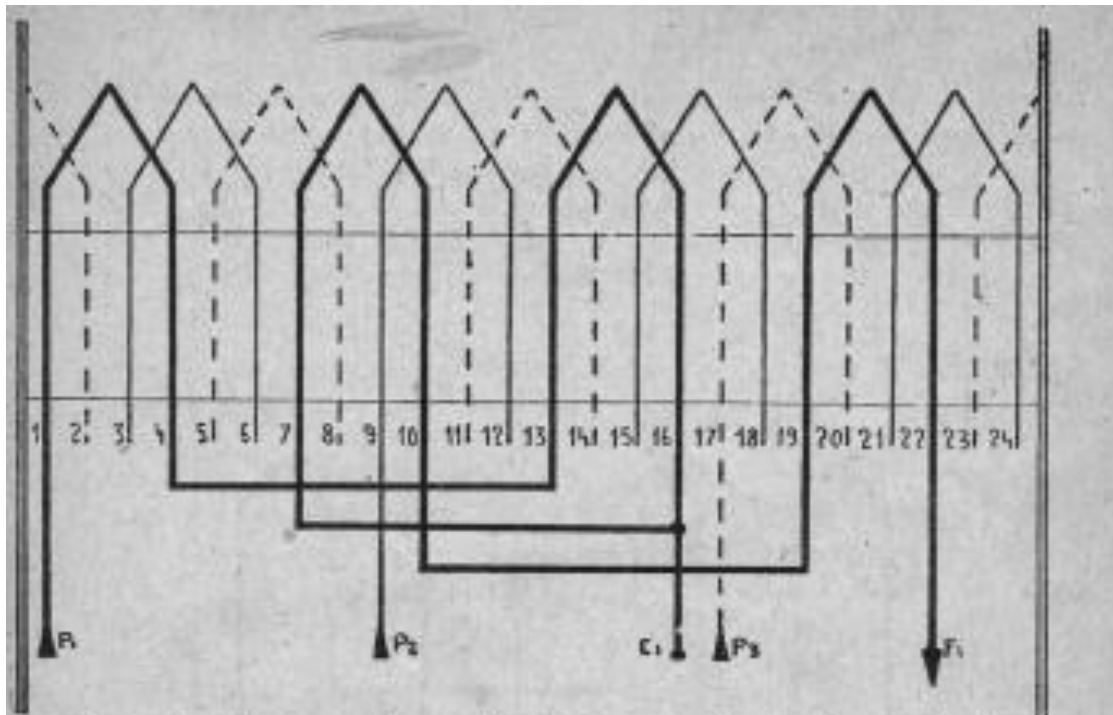
Notiamo in queste due figure la diversità di direzione della corrente, ossia nel primo tempo sono eccitati i capi  $p_1$   $p_2$  e  $p_3$  e si ottengono quattro circuiti di medesima direzione cioè gli otto poli omonimi e motore marcia sulla bassa velocità. Nel secondo tempo invece sono eccitati capi  $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$ , e messi in corto circuito i capi  $P_1$ ;  $P_2$ ;  $P_3$ , ottenendo così funzionamento del motore sull'alta velocità, ossia a quattro poli alterni.

Per chiarire gli ultimi dubbi sulla comprensione di questi collegamenti, riepiloghiamo con una più semplice illustrazione i collegamenti degli schemi già visti, cioè: quattro-due poli e otto quattro poli illustrandoli con bobine ridotte al numero minimo necessario per coppia di poli. La fig. 32 rappresenta il collegamento del quattro-due poli funzionante a quattro poli omonimi, 08- sia la corrente circola da P a F. In fig. ci si riferisce

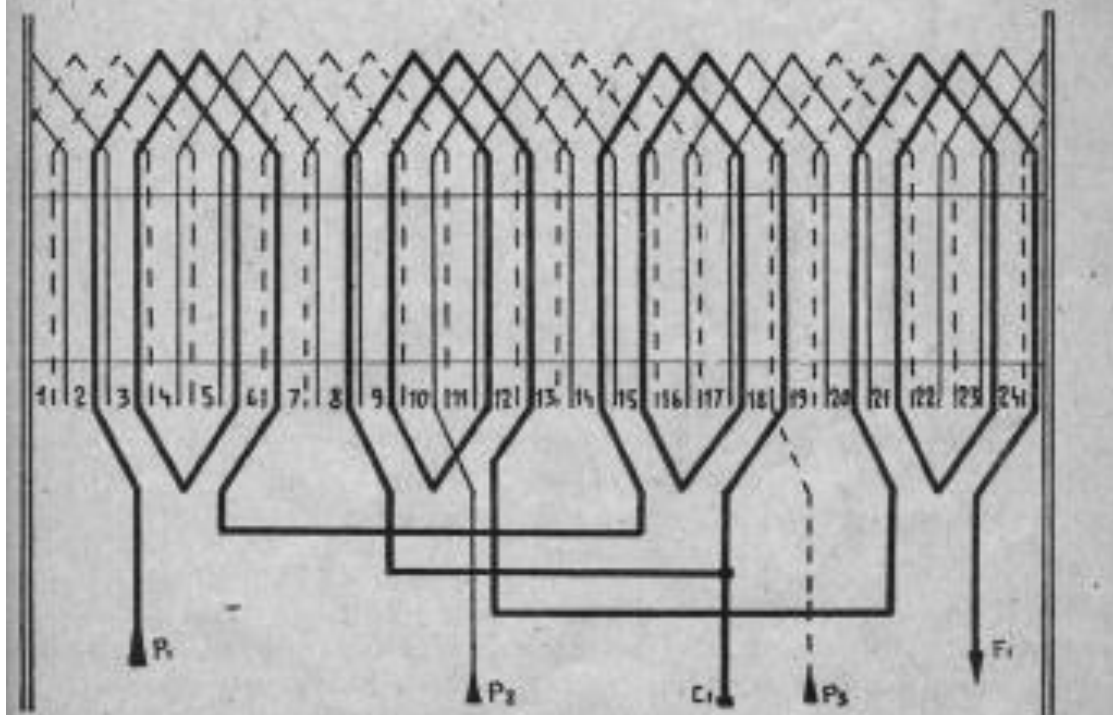


invece al funzionamento a due poli alterni: la corrente circola dal centro C a P - F. Il lettore ricorderà cosa abbiamo detto sui collegamenti in parallelo e in





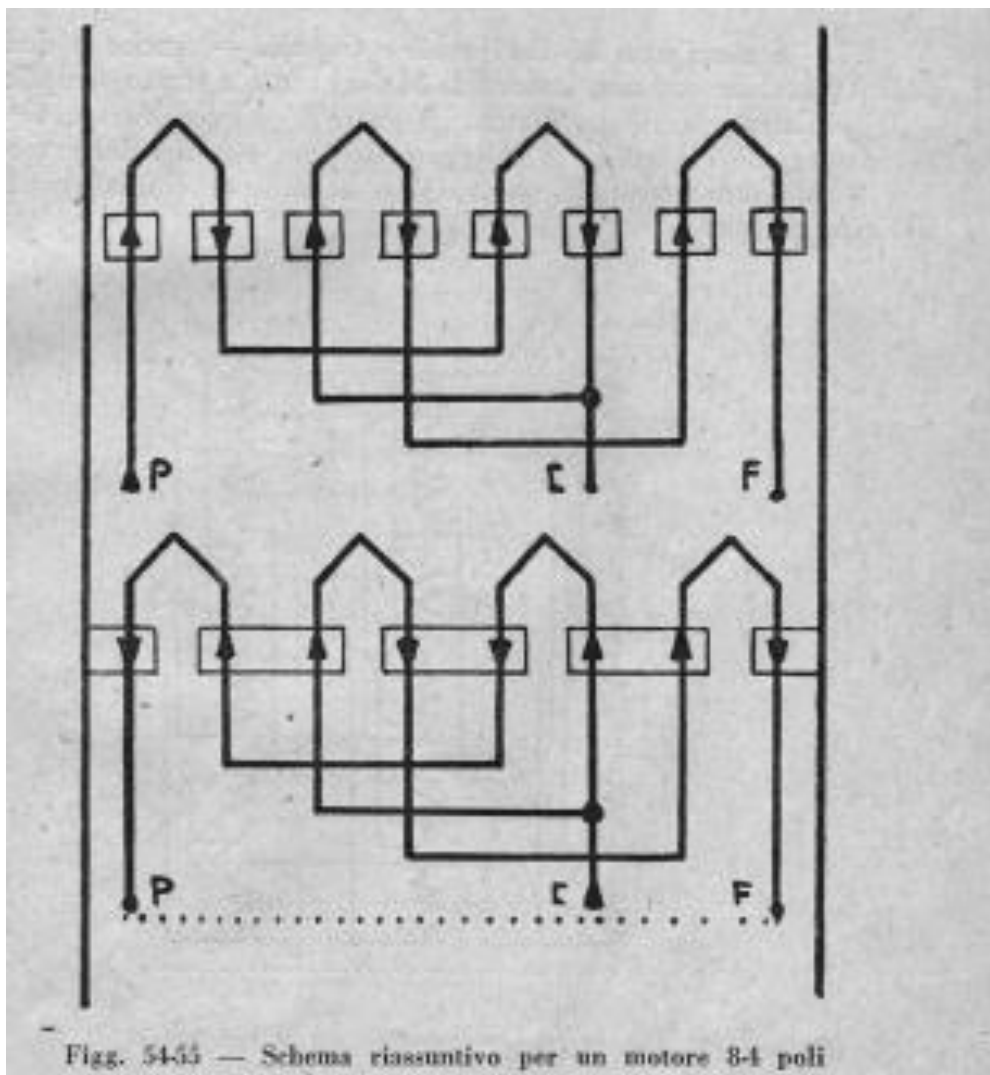
Tav. 36<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a 2 velocità, a spirali embricate a 3 e 4 poli con 24 fori (disposizione delle matasse a corona)



Tav. 37<sup>a</sup> — Avvolgimento trifase a 2 velocità, a spirali embricate, a 8 e 4 poli con 24 fori (disposizione a doppia corona)



serie nel paragrafo 3, e cioè, due mezze fasi A e B funzionano in serie la corrente circola da P ad F (fig.52) otteniamo quattro poli omonimi, se invece prendiamo il centro C per entrata ed uniamo il principio P con la fine F (fig.53) otteniamo un due poli in parallelo. Nelle figure 54 e 55 osserviamo l'illustrazione schematica ridotta dell'otto-quattro poli; questo presenta le stesse caratteristiche del precedente tipo, si crede superflua la spiegazione di dette figure





## 25 – Statori 36 fori a 4 e 2 poli

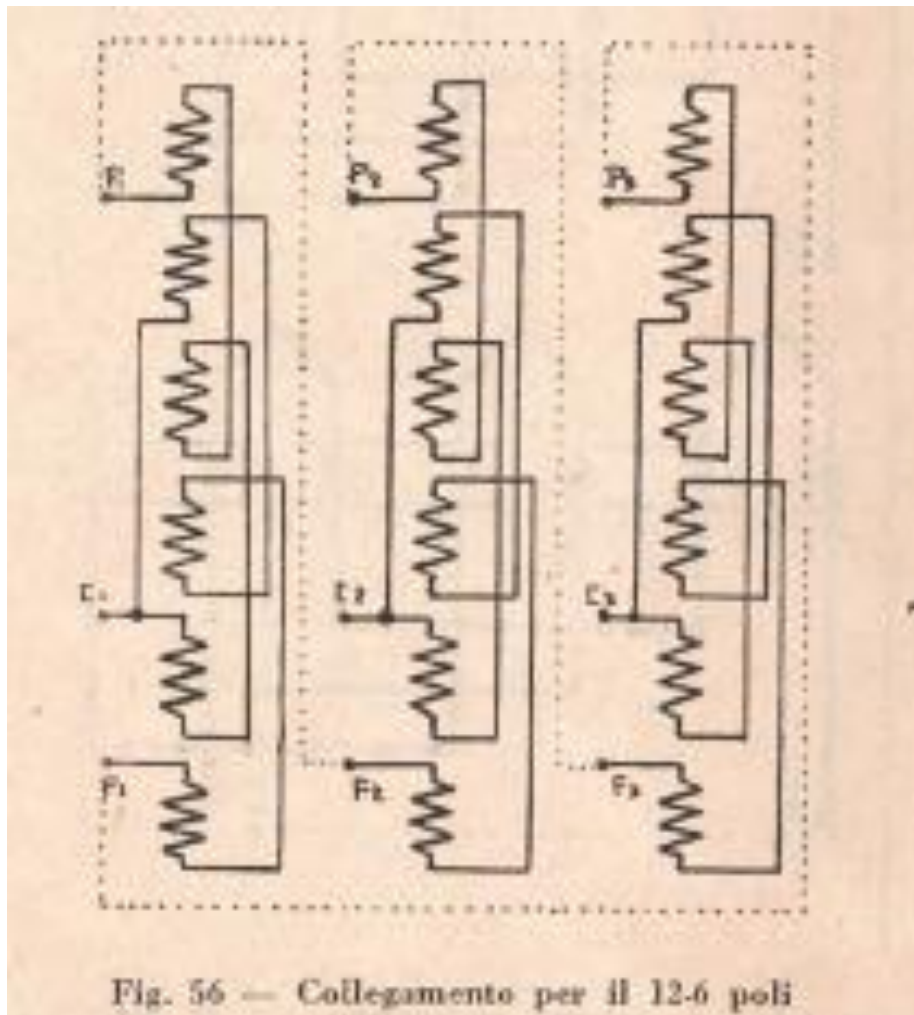
Questo tipo di avvolgimento su statore 36 fori, riportato nella tavola 38° può essere considerato analogo al 4-2 poli 24 fori ad uno strato con la differenza che le matasse componenti una coppia di poli (considerando l'avvolgimento a quattro poli omonimi) sono a gruppi di tre, invece che di due, aventi un passo  $i - 8$ ;  $1 - 10$ ;  $1 - 12$ .

## 26. - Statori con 36 fori a 8 e 4 poli.

- Con uno statore a 36 fori è possibile l'otto - quattro poli con sistema di avvolgimento misto (vedi tavola 39a) ossia le matasse sono, con un passo  $1 - 5$  quelle intere, ed un passo  $1 - 7$  quelle a doppio strato, cioè con i lati nello stesso foro.

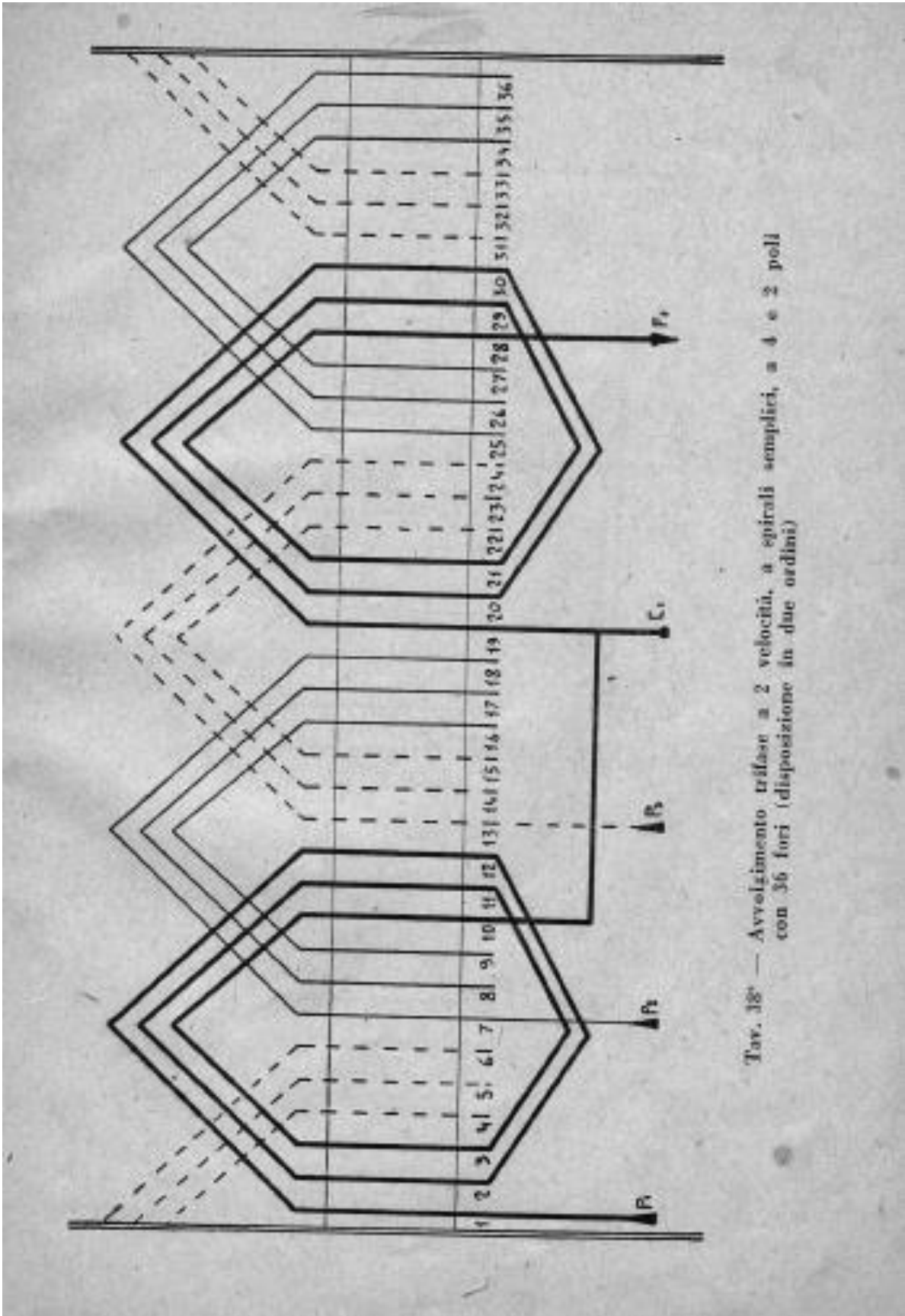
## 27. - Statori con 36 fori a 12 e 6 poli.

- Anche il dodici – sei poli è possibile con uno statore di 36 fori tanto a strato semplice come a doppio strato, ambedue hanno un passo  $1 - 4$  (vedi tavole 40a e 41a) In fig. 56 è visibile il collegamento dei circuiti delle tre fasi. Il funzionamento di questo tipo di motore è analogo. a quello dei tipi già visti.

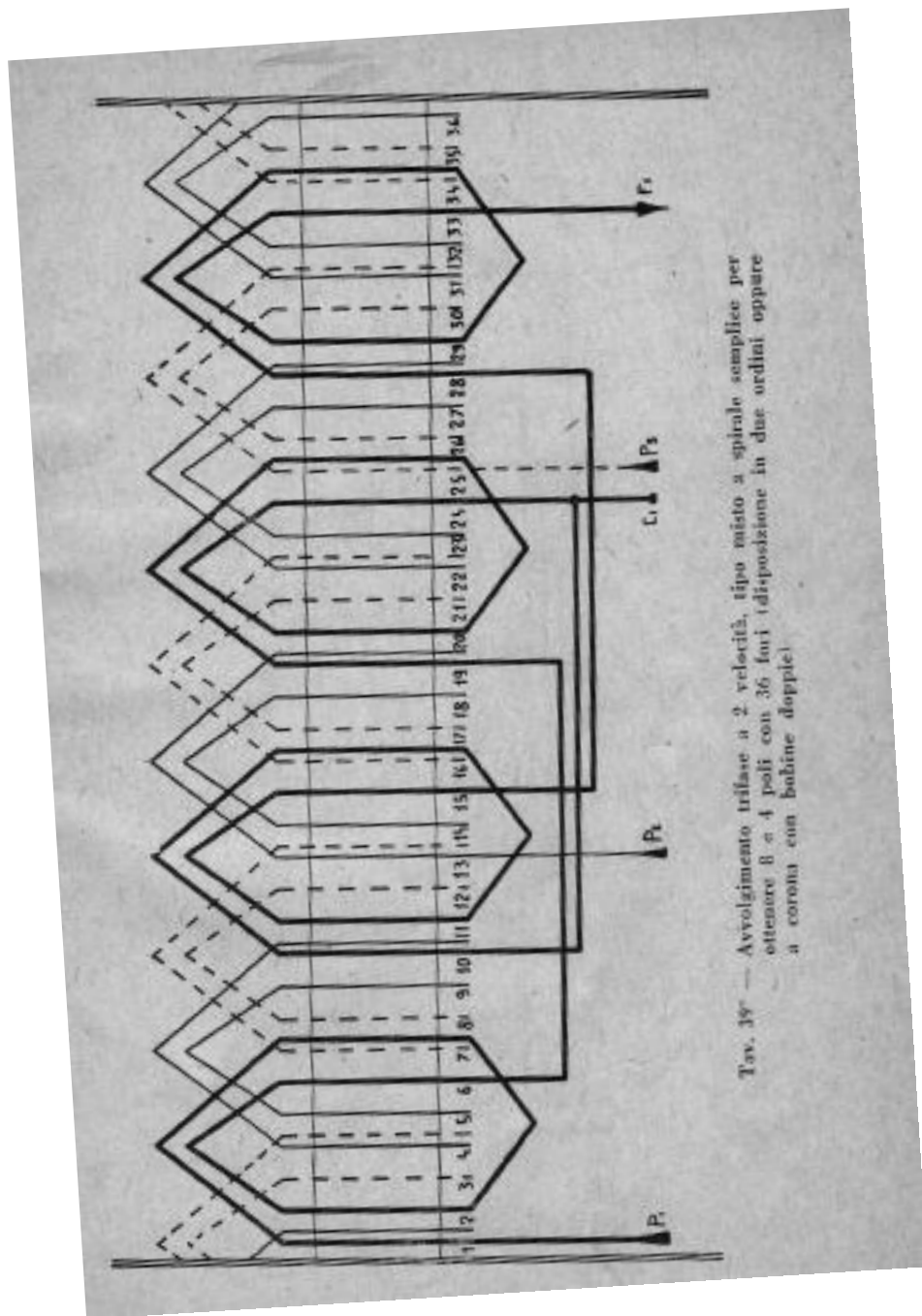


28.. - Statori con 48 fori a 8 e 4 poli.

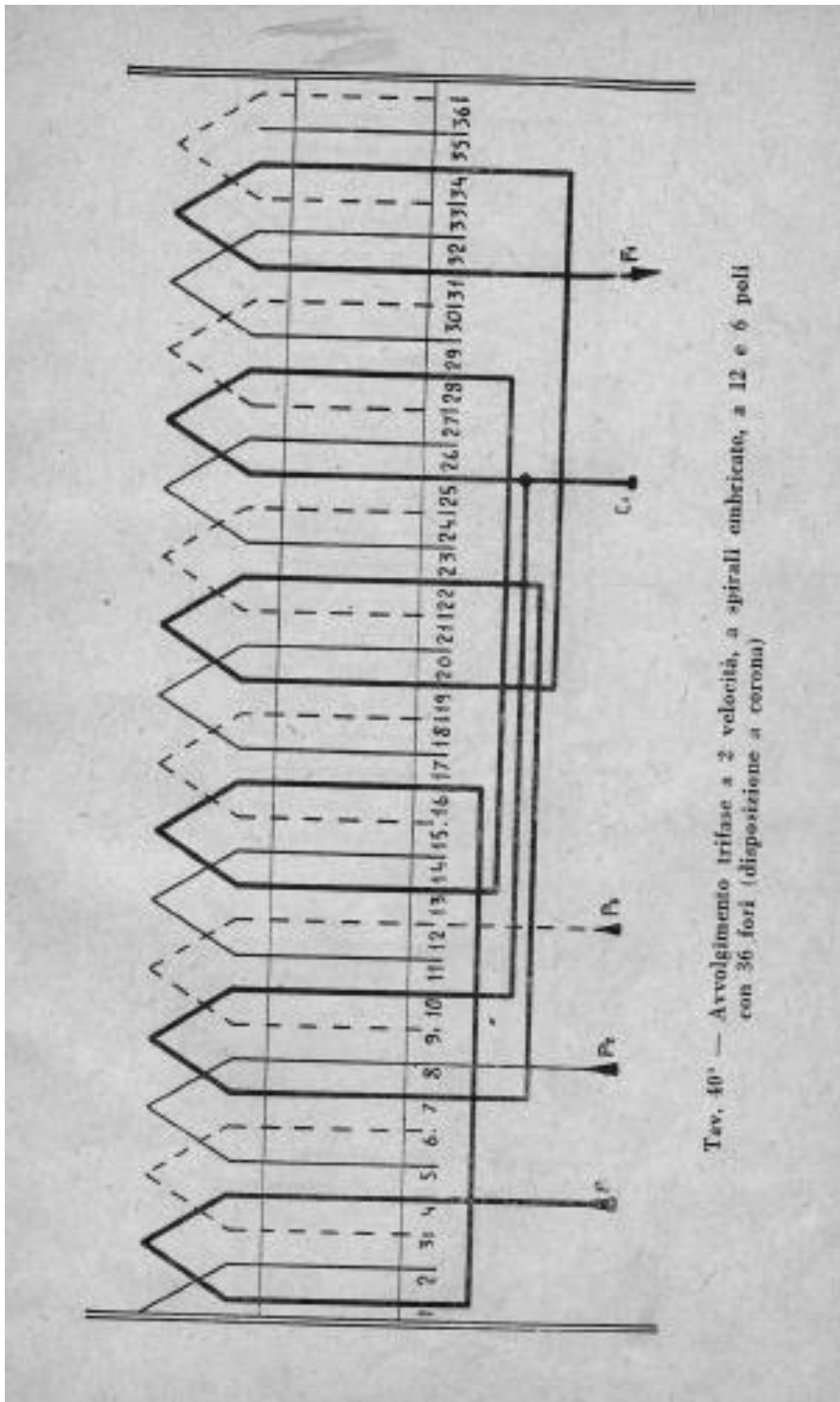
- Il collegamento e la disposizione delle matasse, di questo tipo di motore sono visibili nella tavola 42a. L'avvolgimento è a doppio strato e le matasse sono a gruppi di quattro con passo 1 - 7.



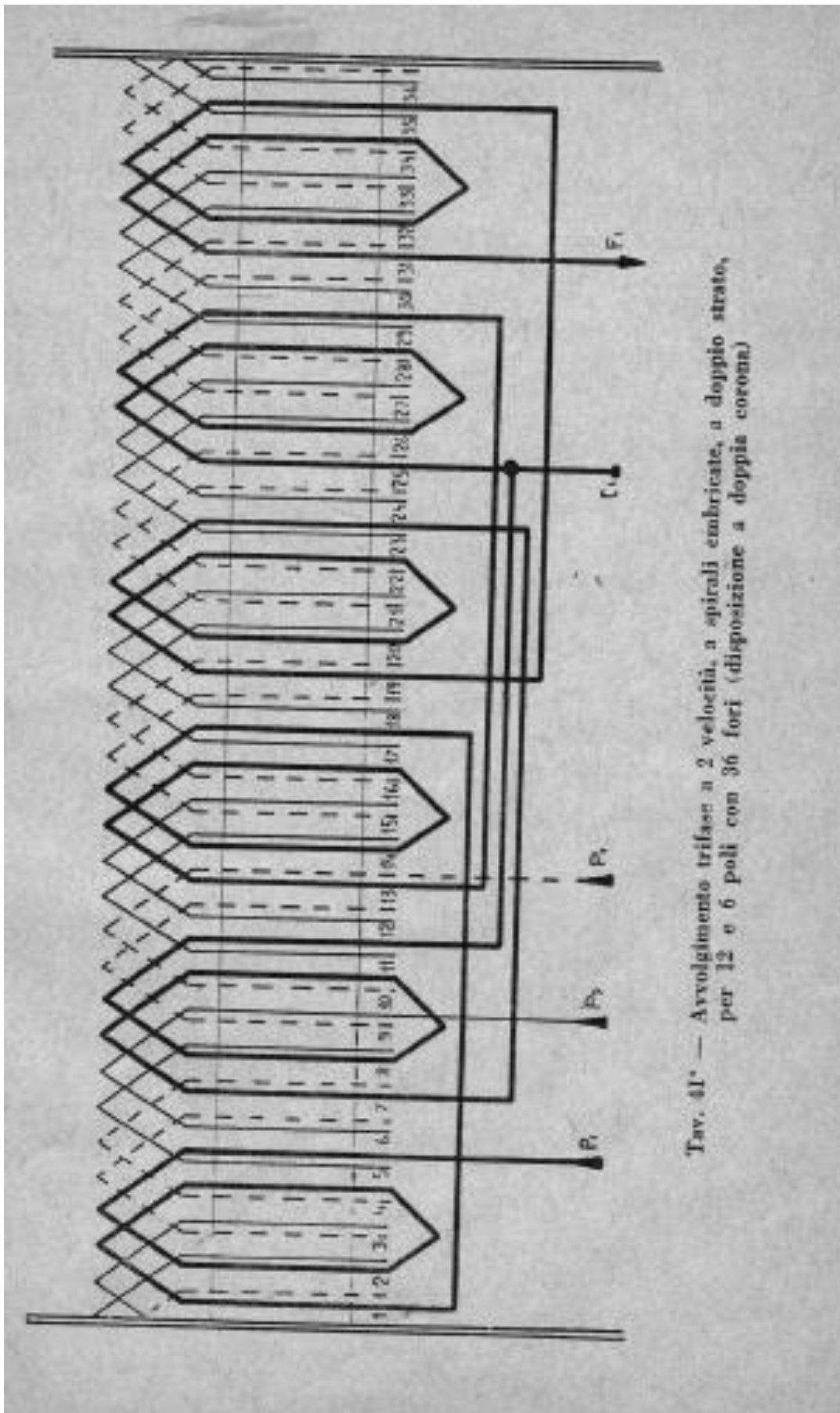
Tav. 38 — Avvolgimento trifase a 2 velocità, a spirali semplici, a 4 e 2 poli con 36 fori (disposizione in due ordini)



Tav. 38 — Avvolgimento trifase a 2 velocità, tipo misto a spirale semplice per motore B a 4 poli con 36 fori (disposizione in due ordini oppure a correnti con bobine doppie)



Tav. 40' — Avvolgimento trifase a 2 velocità, a spirali embriate, a 12 e 6 poli con 36 fori (disposizione a corona)



Tav. 41\* — Avvolgimento trifase a 2 velocità, a spirali embricate, a doppio strato, per 12 e 6 poli con 36 fori (disposizione a doppia corona)



Il funzionamento di questo motore è il seguente:  
Alimentando P1, P 2, P3, otteniamo gli otto poli omonimi (C1,C2.C3 restano aperti), il motore funziona così a triangolo, e con bassa velocità.

Alimentando invece i capi C,, C2, C3, con P1, P2, P3, chiusi in corto circuito otteniamo il quattro poli alterni, avvolgimento a doppia stella: motore funzionante sull'alta velocità.

29. Statori con 48 fori a 16 e 8 poli.

- Con il 48 fori non è possibile eseguire il dodici - sei poli, possiamo però eseguire bene il sedici . otto poli come è indicato nella tavola 43a•

Questo avvolgimento ha un passo 1 - 4, il funzionamento è come tutti gli altri a due velocità; si può pure eseguire a doppio strato sempre con un passo 1 - 4, il collegamento è il medesimo (vedi alla fig. 57 il collegamento dei circuiti delle tre fasi).

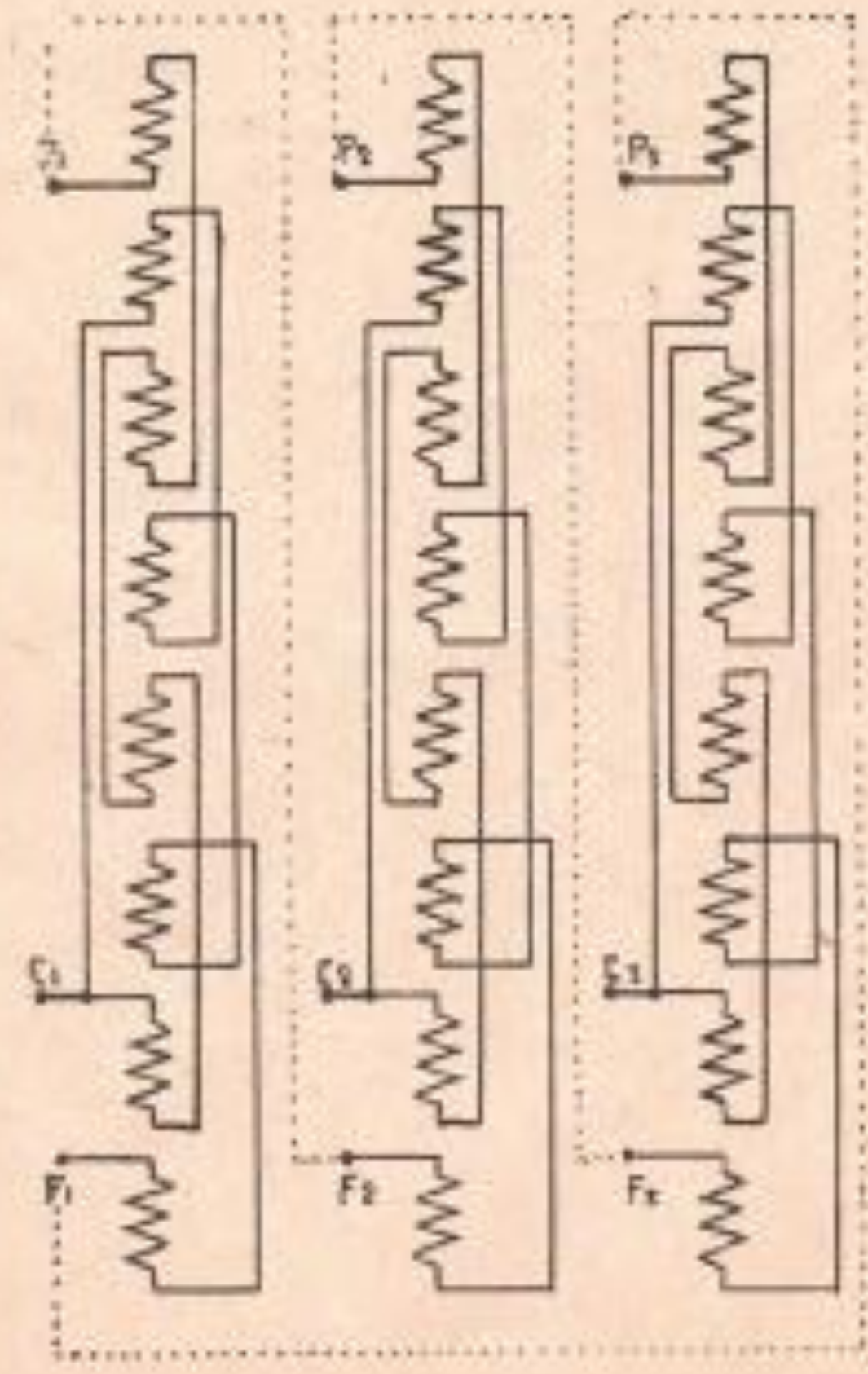


Fig. 57 — Collegamento per il 16-8 poli



Credo ora inutile continuare l'illustrazione di avvolgimenti per maggior numero di fori, essendo il collegamento di questi analogo a quelli visti.

Riepilogando, ciò che è possibile eseguire con uno statore a 24 fori è anche possibile eseguirlo con lo stesso sistema di collegamento con il 48 fori, 96 fori, ecc., sempre però che siano multipli di 24.

S'intende però che con maggior numero di fori è possibile ottenere maggior numero di poli, per esempio, con i 48 fori otteniamo anche i sedici - Otto poli mentre con 24 fori ciò non è possibile. Con 96 fori sarà possibile eseguire il trentadue - sedici poli, mentre nel 48 fori non è possibile.

-Notiamo pure che il passo tanto negli otto - quattro poli 24 fori;

nel sedici - otto poli 48 fori; ed il trentadue - sedici poli 96 fori; è sempre 1 - 4.

Ciò che è possibile con il 36 fori è possibile anche con statori aventi fori multipli di 36, cioè 72 fori, 144 fori...

Per esigenze speciali vi sono in commercio anche motori a tre velocità i quali sono però in generale provvisti di due avvolgimenti: uno a due velocità e l'altro ad una che può essere quella intermedia. Ad es. uno degli avvolgimenti è a quattro - otto poli, l'altro a sei poli- Il collegamento di ogni singolo avvolgimento è analogo a quelli che abbiamo esaminato.

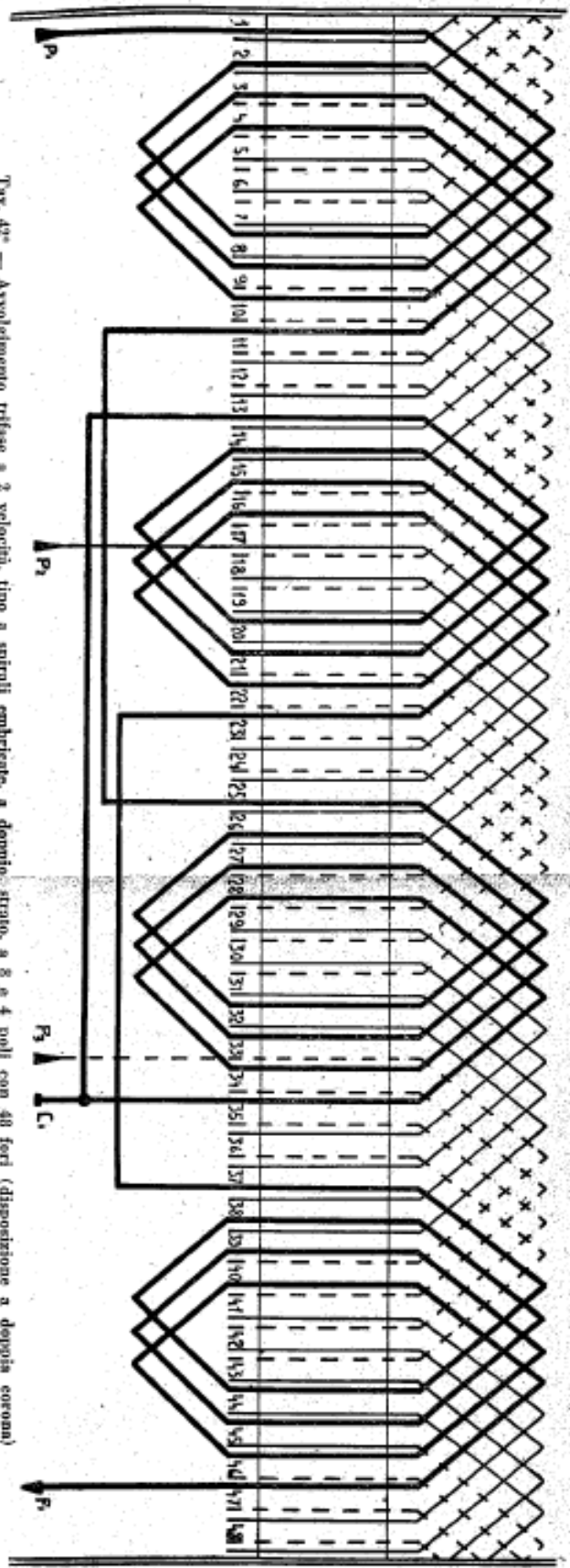


Fig. 42° — Avvolgimento trifase a 2 velocità, tipo a spirali embricate, a doppio-strato, a 8 e 4 poli con 48 denti (disposizione a doppia corona)

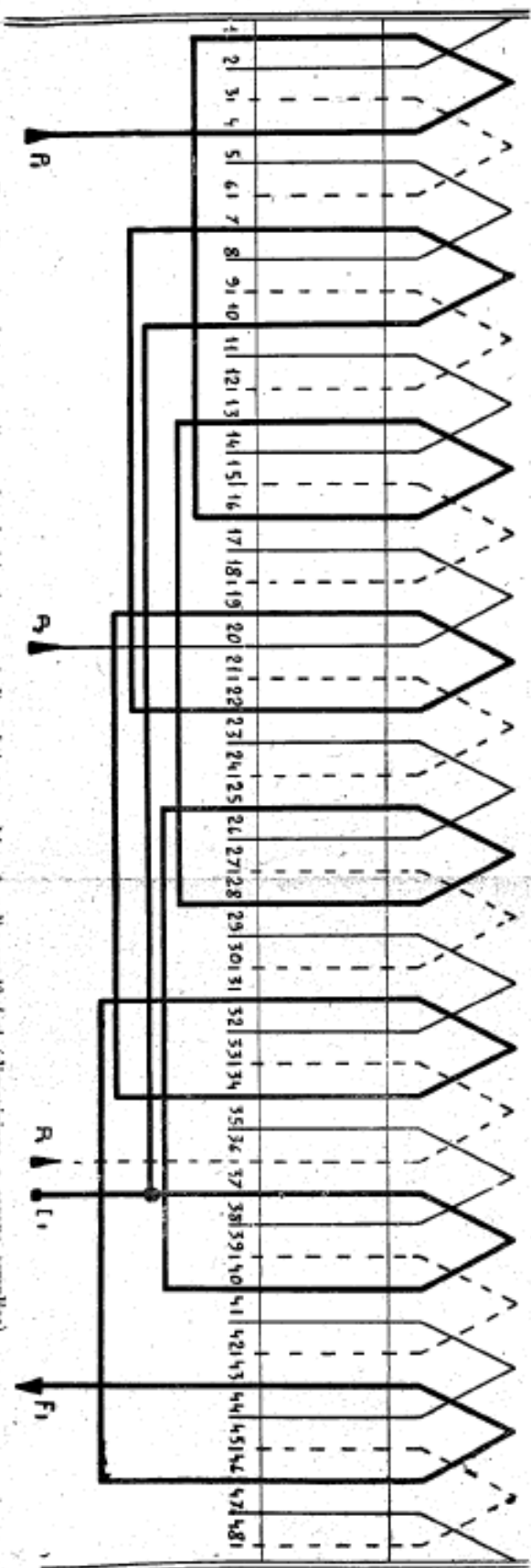


Fig. 43° — Avvolgimento trifase a 2 velocità, tipo a spirali embricate, a 16 e 8 poli con 48 denti (disposizione a corona semplice)



## CAPITOLO SESTO

### CAUSE PIU', COMUNI DI ANORMALE FUNZIONAMENTO DEL MOTORE ASINCRONO TRIFASE ORDINARIO

30.

- Il motore non si avvia. - Se un motore trifase ordinario non si avvia, ciò può attribuirsi alle seguenti cause:

- a) Mancanza di corrente in una fase dello statore;
- b) Errori nelle connessioni dei circuiti di fase o tra le fasi dello statore;
- c) Dispositivo di corto circuito o spazzole, difettosi;
- d) Interruzioni nell'avvolgimento rotorico;
- e) Sfregamento del rotore contro lo statore;
- f) Reostato di avviamento difettoso o interrotto.

a) Mancanza di corrente in una fase dello statore.

La mancanza di corrente in una fase può essere dovuta a cause interne od esterne.

A localizzare se le cause sono esterne valgono le seguenti prove: controllare con un voltmetro se alla presa vi è tensione, in caso negativo esaminare le valvole e provare di nuovo con il voltmetro inserito prima di queste. Se non vi è tensione nemmeno qui il guasto è da attribuirsi, a rotture di fili della linea, a giunture dissaldate, od a mancanza di tensione.

Escluso che le cause siano esterne, ossia visto che alla presa di alimentazione vi è tensione, eseguiamo le prove per la localizzazione del guasto interno.

-Si disfano le connessioni della stella o del triangolo e con una lampada in serie o con un provacircuiti a suoneria, si vede se vi è continuità nei circuiti delle tre



fasi, trovata la fase interrotta si disfano in questa le connessioni delle bobine che la compongono. Si troverà così la bobina interrotta (ammesso naturalmente che l'interruzione sia una sola).

Si vedrà poi sfasciando le teste di questa bobina se è possibile una riparazione congiungendo e saldando i due capi risultanti del filo rotto o se si renda necessario il cambio della stessa bobina.

L'interruzione dei fili di una o più fasi nell'avvolgimento statorico è spesso dovuta alla dissaldatura di connessioni od a rottura dei fili stessi delle bobine causa lo sfregamento del rotore o delle alette di ventilazione contro l'avvolgimento; questo, nella maggior parte dei casi, è da attribuirsi alla deficienza di compattezza dell'avvolgimento stesso, il quale durante il funzionamento tende a deformarsi venendo attratto verso l'interno, o al forte logorio dei cuscinetti o delle bronzine, il quale conduce allo spostamento all'abbassamento del rotore e di conseguenza allo sfregamento dello stesso contro l'avvolgimento.

La mancanza di corrente in una fase è spesso rivelata dal forte riscaldamento e assorbimento delle due fasi in cui circola corrente, mentre quella interrotta rimane fredda e naturalmente non è percorsa da alcuna corrente.

b) Errori nelle connessioni dei circuiti di fase o tra le fasi dello statore.

Un errore nelle connessioni può portare al mancato avviamento del motore. L'errore avviene generalmente per scambio di estremità di una stessa fase: ad esempio,



nel collegamento a stella invece di unire assieme Ire principi o tre fini, una viene scambiata; nel collegamento a triangolo invece di unire due a due estremità dissimili vengono erroneamente unite due estremità simili. (Ad. es. due principi o due fini).

Molti sono i casi di errore in queste connessioni. Perché il motore funzioni basta disfare queste connessioni e rifarle corrette.

Errore -più grave è quello della falsa connessione delle bobine di fase, ossia ottenere poli in opposizione o circuiti disimmetrici,- in questo caso è necessario disfare tutto il collegamento 'e rifarlo nuovamente.

c) Dispositivo di corto circuito o spazzole, difettosi.

I contatti incerti nel dispositivo di corto circuito possono determinare il mancato avviamento. Frequente è il caso di questo difetto dato il facile abbruciamento dei contatti di questo dispositivo dovuto alle scintille d'apertura e di chiusura che si hanno durante la manovra di avviamento. L'imperfetto contatto, per effetto delle scintille si esalta col tempo fino a portare all'abbruciamento dei contatti. Anche il difettoso o imperfetto contatto delle spazzole sugli anelli può portare al mancato avviamento.

-d) interruzioni nell'avvolgimento rotorico.

Se per una causa di quelle già accennate per l'interruzione nell'avvolgimento statorico, una fase dell'avvolgimento rotorico viene interrotta, il motore emette un sordo rumore e non si avvia. Se la resistenza viene disinserita e gli anelli chiusi in corto



circuito si noterà un forte assorbimento di corrente e la conseguente fusione delle valvole o scatto dell'automatico salvamotore.

A localizzare questo guasto valgono i seguenti mezzi pratici: si aprono i contatti del dispositivo di corto circuito e si isolano le spazzole dagli anelli ponendo sotto queste un cartoncino isolante, e si mette lo statore sotto tensione.

Con un voltmetro in contatto con gli anelli si vedrà se vi è tensione fra anello ed anello. Se vi è tensione in questi è segno che l'avvolgimento statorico è sano e non interrotto.

Il sistema per localizzare questo guasto, ossia per cercare la bobina o la connessione delle sbarrette interrotte è quello già accennato per l'avvolgimento statorico.

e) Sfregamento del rotore contro lo statore.

Dato il piccolo traferro (1-2 mm.) può succedere che in seguito al consumo dei cuscinetti a sfere o delle bronzine che il rotore resti bloccato al nucleo dello statore per effetto dell'attrazione magnetica.

Oltre al forte prelievo di corrente il difetto è rivelato dal rumore e dalle vibrazioni del rotore stesso.

Può darsi che qualche volta il motore se non caricato si avvii, coi

pericolo di spostare i lamierini dei due pacchi e danneggiando di conseguenza l'avvolgimento.

Le cause di questi guasti sono da attribuirsi alla poca manutenzione



e lubrificazione o alle cinghie troppo tese.

f) Reostato di avviamento difettoso.

Se il motore si avvia bruscamente solo quando la leva o il volantino del reostato arriva in una determinata posizione ossia non parte che dopo un certo numero di contatti è segno evidente che la resistenza del reostato è interrotta fino a quel tasto. Infatti, disinserendo il reostato e chiudendo in corto circuito gli anelli per mezzo dell'apposito dispositivo, il motore funziona ugualmente (questa prova può essere fatta solo per piccoli motori).

In questo caso basterà riparare o rifare le spirali del reostato. Concludendo, il mancato avviamento del motore, specialmente a causa della inavvertita mancanza di corrente in una fase, è una delle cause più comuni e più frequenti che determinano il danneggiamento degli avvolgimenti.

Sarebbe per ciò necessario, che i motori, specialmente quelli posti in luoghi poco accessibili e di difficile sorveglianza fossero muniti di salvamotore, si eviterebbe così la distruzione di quell'organo tanto delicato e costoso che è l'avvolgimento.

31. - il motore si avvia ma non sopporta il carico. -

L'avviamento e la perdita di velocità ossia l'impossibilità a sopportare il carico di un motore può essere determinata dalle seguenti cause:



- a) Tensione di linea inferiore alla normale;
- b) Frequenza diversa dalla normale;
- c) Statore collegato a stella invece che a triangolo;
- d) Interruzione di una fase del rotore dopo l'avviamento;
- e) Rotore a gabbia con gli anelli laterali di corto circuito dissaldati dalle sbarrette;
- f) Insufficiente sezione dei fili della rete di alimentazione.

a) Tensione di linea inferiore alla normale.

Se la tensione di alimentazione è inferiore alla normale per cause esterne o perchè il motore è avvolto per un'altra tensione, esso non può aver coppia sufficiente a sopportare il carico e diminuisce di velocità con l'aumento di questo, ossia aumenta lo scorrimento del rotore, (differenza tra velocità sincrona del campo rotante dello statore e velocità del rotore).

La diminuzione del 10 % nella tensione provoca una diminuzione del 20% circa nella coppia sia all'avviamento che a funzionamento normale.

b) Frequenza diversa della normale.

L'alimentazione di un motore costruito per una data frequenza e una data tensione, con frequenza diversa, porta come conseguenza una diversa velocità e quindi una variazione nella coppia e nella potenza che può dare il motore. Una frequenza superiore a quella di targa, per la quale è avvolto il motore, ha come conseguenza un aumento di velocità e quindi, a pari potenza, una



diminuzione della coppia. L'aumento della frequenza agisce, dal punto di vista della coppia, nello stesso senso della diminuzione della tensione.

E' noto che il motore marcia ad una velocità ben determinata, ora quando la frequenza passasse da 42 a 50 p/s il valore di questa velocità aumenterà nello stesso rapporto dell'aumento della frequenza e cioè del 19% circa.

Ad esempio un motore che a 42 p/s facesse 1200 giri, alimentato a 50 p/s ne verrà a fare 1430 circa. La potenza che il motore-può rendere in queste condizioni resta inalterata, diminuisce invece lo sforzo o più esattamente la coppia, e precisamente: per la coppia normale si registra una diminuzione di circa il 16% e per la coppia massima di circa il 30%.

Per valutare le conseguenze che possono' avere queste variazioni di comportamento dei motori è necessario considerare i vari tipi di macchine che vengono accoppiate ai motori stessi: ossia il servizio a cui i motori sono posti.

La variazione di frequenza agisce anche sul fattore di potenza, a meno di non variare anche la tensione di alimentazione.

e) Statore collegato a stella invece che a triangolo.

Un motore collegato a stella in luogo del triangolo, che, sia allacciato ad una rete di tensione uguale a quella richiesta dal motore collegato a triangolo, non sopporta il carico, come se la tensione fosse diminuita  $V/\sqrt{3}$  della normale.



La coppia motrice risulta così notevolmente diminuita. Per ottenere la potenza normale basta eseguire il collegamento a triangolo.

d) interruzione di una fase del rotore dopo l'avviamento. Accade sovente che un rotore ad anelli si avvii bene a vuoto ma che caricato diminuisca gradatamente di velocità fino a fermarsi, producendo quel caratteristico rumore ondulato. Eseguendo di nuovo la manovra di avviamento esso si avvierà nuovamente ma si fermerà se caricato. Ricerche e verifiche a macchina ferma non danno segno di anormalità, infatti la tensione agli anelli risulta regolare e .fa escludere la presenza di interruzioni nell'avvolgimento rotorico. Ciò perché una saldatura difettosa nelle connessioni delle bobine o delle sbarrette mantiene il contatto sufficiente finché l'intensità di corrente è piccola, ma se essa è tale da aumentare sensibilmente la resistenza e provocare il riscaldamento della giuntura fino a dilatarne il contatto, si interrompe il passaggio della corrente. Il guasto è rintracciabile specie nei rotor a sbarrette notando nel punto difettoso un forte riscaldamento. Uno dei mezzi usati per localizzare il guasto in questi rotor, è quello di inserire in serie tra gli anelli del motore ed il reostato di avviamento tre amperometri. A vuoto, il motore marcia regolarmente e gli amperometri segnano eguale intensità, aumentando il carico l'intensità crescerà in conseguenza ma avvenendo l'interruzione della giuntura difettosa uno degli amperometri, quello collegato alla fase



interrotta, segnerà zero, mentre gli altri, segneranno il passaggio di corrente.

Escludendo la supposizione che il guasto sia nelle giunture esso è da ricercarsi nel dispositivo di corto circuito, in quanto un contatto di questo in cattivo stato non chiudendo bene il circuito provoca l'interruzione della fase corrispondente.

e) Rotore a gabbia con gli anelli laterali di corto circuito dissaldati dalle sbarrette.

Nei rotor a gabbia specie quelli saldati a stagno, è facile riscontrare il caso in cui il motore non sopporti il carico per l'avvenuto dissaldamento degli anelli di corto circuito unenti le sbarrette formanti la gabbia. In questo caso basta risaldare le sbarrette agli anelli. -

Meno facile è il riscontrare questo guasto nei moderni motori a gabbia di alluminio fuso. Nel caso si verificasse si renderebbe necessario il cambio del rotore stesso.

f) Insufficiente sezione dei fili della rete di alimentazione. Talvolta motori installati' da persone incompetenti vengono allacciati ad una rete avente sezione insufficiente.

Questi si avviano ugualmente a vuoto, ma caricati, la velocità diminuisce ed il motore si scalda in quanto essendo alimentati da una tensione minore di quella per la quale sono costruiti, per dare la stessa potenza sono costretti a prelevare una maggiore corrente.

Infatti osservando con un voltmetro la tensione a vuoto e a carico, noteremo la forte caduta di tensione. In questo caso basta rinforzare o cambiare la linea.



32. - Prelievo di , corrente anormale squilibrato (riscaldamento parziale). - Le cause determinanti un prelievo di corrente anormale squilibrato e il conseguente riscaldamento della fase che preleva maggior corrente, possono essere dovute a:

- a) Presenza di una o più masse nell'avvolgimento (isolamento difettoso);
- b) Corto circuito tra le spire di una bobina e tra le bobine della stessa fase;
- c) Dissimetria tra il numero delle spire di, una fase e delle altre fasi; -
- d) Interruzione di una fase;
- e) Errori di connessione nel collegamento delle fasi e delle bobine di ciascuna fase.

La presenza di una massa in un motore è spesso causa di una perdita di energia verso massa o verso terra, se le masse sono invece due, la porzione di circuito dell'avvolgimento compreso tra le due masse risulta in corto circuito. Mentre la presenza di una massa può passare pressochè inavvertita e il motore funzionare regolarmente, due masse eliminiamo una determinata parte dell'avvolgimento raccorciamo così l'avvolgimento utile percorso da corrente, e producendo di conseguenza in esso un più forte prelievo di corrente e quindi un sovra riscaldamento.

Inoltre quella parte di avvolgimento esistente tra le due masse si comporta come il secondario di un trasformatore chiuso in corto circuito,



e le correnti indotte, circolanti in esso, determinano il riscaldamento dello stesso producendone il conseguente abbruciamento. A localizzare questo guasto vale quanto segue: disfare le connessioni delle fasi (stella o triangolo) e con un ohmetro o con una lampada in serie cercare la fase o le fasi a massa, e quindi localizzare quali siano le bobine o la bobina a massa, si vedrà poi se è possibile una riparazione introducendo degli spessori isolanti tra la carcassa e la bobina o se si rende necessario il cambio della stessa.

b) Corto circuito tra le spire di una bobina e tra le bobine della stessa fase.

Un corto circuito dell'avvolgimento di una fase provoca come nel caso precedente un sovra riscaldamento. A seconda del numero delle spire in corto circuito tra i due punti di contatto si hanno disturbi di maggiore o minore gravità; ad esempio poche spire in corto circuito della stessa matassa non influiscono granchè sull'assorbimento del motore, però esse si riscaldano fino a bruciarsi danneggiando così le spire vicine e ampliando di conseguenza il guasto.

Se in corto circuito vi sono invece una o più matasse queste influiscono notevolmente sul prelievo di corrente del motore e oltre al riscaldamento di queste bobine per effetto delle correnti indotte circolanti in esse, creano un campo che si oppone a quello normale creato dalle altre bobine. Si noterà in questo caso un più o meno forte rallentamento del motore e un fortissimo ronzio.

Qualche volta se il corto circuito supera un certo limite



ossia le bobine eliminate sono in numero rilevante, il motore non si avvia, e le parti dell'avvolgimento distrutte prima sono quelle non in corto circuito. 4

e) Dissimetria tra il numero delle spire di una fase e le altre fasi.

La dissimetria nel numero delle spire delle bobine componenti le tre fasi, dovuta generalmente ad errori di costruzione, conduce ad un prelievo di corrente squilibrato del motore; lo squilibrio è tanto più grande quanto più grande è la differenza del numero delle spire. Questa differenza di prelievo è però praticamente trascurabile se la differenza di spire tra una fase e l'altra è limitata.

Altre volte questo leggero squilibrio di assorbimento da parte del motore è dovuto alla differenza di tensione esistente tra le fasi della linea di alimentazione. Bastano dissimmetrie di alcuni volt (2—3%) per rendere l'assorbimento del motore squilibrato. E' appunto a torto che alcune volte si accusa il costruttore delle bobine, di errore nella costruzione delle stesse.

d) Interruzione di una fase (marcia in monofase).

L'interruzione di una fase può essere dovuta a cause interne ed esterne; se questa avviene quando il motore è in marcia esso continua a girare diminuendo però la sua velocità di regime. Esso preleva una corrente intensa ed emette un suono cupo, se il motore lavora a carico l'avvolgimento scalda fino a bruciarsi.

e) Errori di connessione nel collegamento delle fasi o delle bobine di ogni fase.



Un errore nelle connessioni delle fasi per la formazione della stella o del triangolo o delle stesse bobine (collegamento interno) conduce ad un prelievo di corrente anormale e squilibrato, più o meno accentuato secondo la natura dell'errore.

A volte il motore può anche non avviarsi, producendo un forte rumore, simile al caratteristico rumore che rivela la presenza di un corto circuito.

Unico rimedio è quello di rifare corretto il collegamento delle fasi o cambiare i collegamenti delle bobine di ciascuna fase (previa individuazione delle bobine male connesse).

33. - Prelievo di corrente anormale equilibrato (riscaldamento totale). - Le cause che determinano un assorbimento anormale equilibrato e il conseguente riscaldamento totale dell'avvolgimento del motore possono essere dovute a:

- a) Funzionamento con tensione notevolmente superiore all'anormale;
- b) Funzionamento con frequenza inferiore alla normale;
- c) Collegamento a triangolo invece che a stella;
- d) Contatti difettosi delle bacchette con gli anelli di corto circuito laterali del rotore a gabbia di scoiattolo;
- e) Carico eccessivo.

.Il funzionamento del motore sotto una tensione molto superiore a quella per la quale è avvolto è causa di riscaldamento totale dell'avvolgimento.

L'aumentata tensione determina una corrente più intensa negli avvolgimenti e questi riscaldano



unitamente al ferro che è portato oltre la normale saturazione.

b) Funzionamento con frequenza inferiore alla normale. Una frequenza inferiore produce, dal punto di vista del sovra riscaldamento, lo stesso effetto di un aumento di tensione, in quanto per poter fornire sull'albero la stessa potenza il motore deve fornire una maggiore coppia e quindi prelevare correnti più intense.

e) Collegamento a triangolo in luogo della stella. Se un motore il cui avvolgimento sia previsto per il funzionamento a stella, si fa funzionare a triangolo, con la tensione di targhetta, riscalda fortemente ed assorbe una corrente circa tripla della normale. Per eliminare l'inconveniente basta rifare il collegamento delle fasi a stella.

d) Contatti difettosi delle bacchette con gli anelli di corto circuito laterali del rotore a gabbia di scoiattolo. Perchè le correnti indotte nelle sbarrette formanti la gabbia del rotore in corto circuito possano liberamente circolare, è necessario che gli anelli laterali che collegano tutte le sbarrette siano perfettamente saldati affinchè la resistenza dei giunti sia piccola, in modo da non scaldarsi sensibilmente.

Insieme ad altre cause, come l'eccessivo sovraccarico o la tensione superiore, la cattiva saldatura delle sbarrette agli anelli, determina la fusione dello stagno che per effetto della forza centrifuga viene lanciato contro lo statore, sicchè con le vibrazioni che in misura più o



meno sensibile si hanno sempre, rapidamente le sbarrette si staccano dall'anello. Inizialmente si ha un rallentamento del motore e in seguito con l'interruzione, il motore caricato rallenta e si ferma.

L'inconveniente è eliminato risaldando il rotore.

Specialmente con la saldatura a forte, si rendono le sbarrette e gli anelli di corto circuito laterali un unico blocco, eliminando così un eventuale ripetersi del l'inconveniente.

e) Carico eccessivo.

Il carico eccessivo oltre ad un aumento dello scorrimento determina un maggior assorbimento di corrente del motore ed il conseguente riscaldamento dello stesso.

34. – Funzionamento rumoroso. - Il funzionamento rumoroso di un motore può essere dovuto a cause meccaniche o a cause elettriche.

Le cause meccaniche possono essere dovute a:

a) Rotore e puleggia squilibrati e eccentrici;

b) Bronzine o cuscinetti a sfere logorati;

c) Pacco lamellare allentato.

a) Rotore e puleggia squilibrati e eccentrici.

Questa causa è spesso dovuta ad una imperfetta costruzione dell'avvolgimento

rotorico, ovvero perché non si è provveduto alla equilibratura, dopo eseguito l'avvolgimento. Lo squilibrio del rotore o della puleggia si nota dal rumore periodico e dalle eccessive vibrazioni del



motore stesso, queste vibrazioni sono più forti quanto più forte è lo squilibrio. Per evitare una rapida usura dei cuscinetti o delle bronzine, la quale può determinare ben più rilevanti danni, si provvede alla equilibratura.

b) .Bronzine o cuscinetti a sfere logorati.

Il logorio delle bronzine o dei cuscinetti a sfere porta di conseguenza ad un abbassamento del rotore, provocando lo sfregamento dei due pacchi dei lamierini e di conseguenza la distruzione dell'avvolgimento. -

Il cuscinetto, silenzioso da nuovo, se non viene lubrificato si scalda e diventa rumoroso, specialmente quando le superfici d'attrito si rigano e le sfere si ovalizzano.

L'inconveniente è subito rivelato, dal ronzo continuo od intermittente emesso dal cuscinetto stesso. Tanto più forte diviene il rumore quanto più accentuata è l'usura del cuscinetto.

Più facile è il caso dell'usura delle bronzine: queste, se per unacausa qualsiasi (mancanza di olio o fermo dell'anello pescante) viene a mancare la lubrificazione alle parti d'attrito, vengono distrutte in poche ore, per il forte riscaldamento e la conseguente fusione.

e) Pacco lamellare allentato.

Causa l'allentamento delle flange o dei cerchi che serrano il pacco lamellare dello statore ,o del rotore, i lamierini durante il funzionamento sono sollecitati ad attrarsi e a respingersi producendo un fruscio periodico più o meno accentuato.



Tale inconveniente, se in gravi proporzioni, conduce allo sfasciamento dei pacchi lamellari e alla conseguente distruzione dell'avvolgimento.

Ad evitare ciò basta serrare in tempo 'le flange o i cerchi di fissaggio.

• Le cause elettriche di un funzionamento rumoroso possono essere invece dovute a:

a) armoniche di statore o di rotore;

b) induzioni elevate (flussi esagerati).

a) Il ronzio ondulato si ha a causa di armoniche di vario ordine, specie nei motori avvolti ad uno strato a passo intero.

Può essere eliminata una delle varie armoniche non desiderabili usando un avvolgimento a doppio strato a passo accorciato. Queste anomalie sono però dovute a difetti di costruzione specie nei vecchi motori e non possono essere facilmente eliminate. (Vedi par. 13).

b) Induzioni elevate (flussi esagerati).

Un motore spinto ad un'induzione forzata, presenta un sibilo più o meno intenso in relazione alla causa che lo produce. Nella maggior parte dei casi si ha un flusso esagerato e quindi un'induzione elevata quando il motore funziona con: carico eccessivo; tensione superiore alla normale; frequenza inferiore alla normale.

Ad eliminare questo inconveniente vale quanto accennato per il prelievo anormale di corrente, ossia: diminuire il carico se questa ne è la causa, oppure aumentare le spire dell'avvolgimento se è la



tensione elevata o la frequenza inferiore alla normale di funzionamento.



## ***CAPITOLO SETTIMO***

### ***MODIFICA DI CARATTERISTICHE NEI MOTORI ASINCRONI TRIFASI ORDINARI***

Le modifiche di caratteristiche nei motori trifasi sono generalmente quelle di tensione, di frequenza e di velocità.

35. - Modifica di tensione.

- Per la modifica di tensione a parità di frequenza si procede con la seguente proporzione:

$$E1 : E2 = N1 : N2$$

in cui:

E, è la tensione per la quale è avvolto il motore,

N, il numero dei fili per foro.

E, la tensione per la quale va riavvolto

N, il numero dei fili per foro richiesti dalla nuova tensione.

Naturalmente, pure la sezione andrà modificata con la seguente proporzione:

$$E1 : E2 = S2 : S1$$

in cui:

S1 è la sezione dell'avvolgimento con tensione E1

S2 la sezione del nuovo avvolgimento con tensione E2

Esempio I - Un motore a 260 volt con 60 fili per foro della sezione di 3 mmq. va riavvolto per 220 volt

$$60 \times 220$$

$$N2 = \frac{\quad}{260} = 51 \text{ fili}$$



$$S_2 = \frac{260 \times 3}{220} = 3.5 \text{ mm}^2$$

Per la nuova tensione occorrerà riavvolgere il motore con 51 fili per foro con una sezione di 3,5 mm<sup>2</sup>

*Esempio II* — Un motore a 200 V. con 90 fili per foro di una sezione di mmq. 1,5 va riavvolto per 300 V.

$$N_2 = \frac{90 \times 300}{200} = 135 \text{ fili}$$

$$S_2 = \frac{200 \times 1,5}{300} = 1 \text{ mmq.}$$

Per la nuova tensione si riavvolgerà dunque il motore con 135 fili per foro, della sezione di 1 mmq.

Le due tabelle che seguono danno l'una la relazione fra le tensioni e i numeri delle spire; l'altra le relazioni fra le tensioni e rispettive sezioni dei fili.

Relazioni fra le tensioni e il numero di fili per foro

Tensione	125	220	260	380	500	125	220	260	380	500
Numero di fili per foro	10	18	20	30	40	110	190	229	334	440
	15	26	31	45	60	120	211	249	365	480
	20	36	40	61	80	130	228	270	395	520
	25	44	52	76	100	140	246	291	425	660
	30	53	62	94	120	150	264	312	456	700
	35	61	73	106	140	160	281	332	486	740
	40	70	83	121	160	170	299	357	517	780
	45	79	94	136	180	180	317	374	547	820
	50	88	104	152	200	190	334	395	577	860
	55	97	114	167	220	200	352	416	608	900
	60	105	125	180	240	210	369	437	638	940
	65	114	135	197	260	220	387	457	657	980
	70	123	146	213	280	230	404	478	700	1020
	75	132	156	228	300	240	422	498	729	1060
	80	145	166	243	320	250	440	520	760	1100
	85	150	177	258	340	260	457	540	790	1140
	90	158	187	273	360	270	475	551	821	1180
95	167	197	289	380	280	493	582	851	1220	
100	179	208	304	400	290	510	603	880	1260	
105	184	218	319	420	300	528	624	912	1300	



## Relazioni fra le tensioni e le sezioni dei fili

Tensione	125	220	260	380	500	125	220	260	380	500
Sezione dei fili (mm <sup>2</sup> )	0,20	0,11	0,09	0,06	0,05	2,20	1,24	1,05	0,70	0,55
	0,30	0,17	0,14	0,09	0,07	2,50	1,42	1,20	0,82	0,62
	0,40	0,23	0,19	0,13	0,10	3,00	1,70	1,51	0,98	0,75
	0,50	0,27	0,23	0,16	0,12	3,20	1,77	1,59	1,02	0,78
	0,60	0,34	0,28	0,19	0,15	3,50	1,98	1,68	1,15	0,87
	0,70	0,39	0,33	0,23	0,17	4,00	2,27	1,92	1,31	1,00
	0,80	0,45	0,38	0,26	0,20	4,50	2,55	2,16	1,40	1,12
	0,90	0,52	0,43	0,29	0,22	5,00	3,28	2,40	1,64	1,24
	1,00	0,56	0,48	0,32	0,25	5,50	3,12	2,64	1,81	1,36
	1,10	0,62	0,52	0,36	0,27	6,00	3,40	2,88	1,97	1,50
	1,20	0,68	0,58	0,39	0,30	6,50	3,69	3,12	2,13	1,62
	1,30	0,73	0,62	0,42	0,32	7,00	3,98	3,36	2,30	1,75
	1,40	0,79	0,67	0,46	0,35	7,50	4,26	3,60	2,46	1,87
	1,50	0,85	0,72	0,49	0,37	8,00	4,45	3,76	2,58	1,96
	1,60	0,89	0,75	0,52	0,39	8,50	4,82	4,08	2,97	2,12
	1,70	0,96	0,81	0,56	0,42	9,00	5,10	4,32	2,95	2,24
	1,80	1,00	0,86	0,59	0,45	9,50	5,39	4,56	3,12	2,37
1,90	1,07	0,91	0,62	0,47	10,00	5,68	4,80	3,23	2,50	
2,00	1,10	0,96	0,65	0,50						

**36. - Modifica di frequenza.** — Per le modifiche di frequenza a parità di tensione vale la seguente proporzione:

$$N_1 : N_2 = f_1 : f_2$$

di cui:

$f_1$  è la frequenza per la quale il motore è avvolto con  $N_1$  fili,  
 $f_2$  la frequenza per la quale va riavvolto con  $N_2$  fili.

Pure in questo caso la sezione va modificata nella seguente proporzione:

$$f_1 : f_2 = S_1 : S_2$$

*Esempio III* — Un motore avvolto per una frequenza di 50 p/sec. con 80 fili per foro della sezione di un mmq. va riavvolto per una nuova frequenza di 42 p/sec.



$$N_2 = \frac{50 \times 80}{42} = 94 \text{ fili}$$

$$S_2 = \frac{42 \times 1}{50} = 0,85 \text{ mmq.}$$

Il motore va riavvolto per la nuova frequenza con 94 fili della sezione di 0,85 mmq.

Esempio IV° - Un motore avvolto per una frequenza di 40 periodi con 75 fili per foro della sezione di 0,60 mmq. va riavvolto per una nuova frequenza di 50 periodi.

$$N_2 = \frac{40 \times 75}{50} = 60 \text{ fili}$$

$$S_2 = \frac{50 \times 0,6}{40} = 0,75 \text{ mm}^2$$

Il motore va riavvolto per la nuova frequenza con 60 fili per foro della sezione di 0,75 mmq.

37. – Modifiche di tensione e di frequenza.

- Per le modifiche di tensione e di frequenza conviene eseguire separatamente prima la modifica di tensione indi della frequenza.

Vale perciò quanto già detto.

Quando il rapporto del numero dei poli per il numero dei periodi  $E1/F1$  dà un quoziente pressoché uguale alla



divisione del numero dei volt della nuova tensione per il numero dei periodi della nuova tensione  $E2/F2$  frequenza, non si rende necessario il riavvolgimento del motore, funzionando questo ugualmente bene sotto la nuova tensione e frequenza.

Esempio V°

-- Uno statore avvolto per 250 volt, 42 periodi, può funzionare ugualmente sotto una tensione di 300 volt, 50 periodi.

Infatti:

$$250/50 = 5,95$$

$$42/300 = 6,00$$

Vediamo che la differenza tra l'uno e l'altro quoziente è solo di 0,05.

Il funzionamento del motore è così accettabile senza che si renda necessario il riavvolgimento.

Naturalmente si avrà una differenza di potenza in più o in meno. Da quanto esposto possiamo dedurre:

Un motore a 520 V. 50 Hz. funziona	a 440 V. 42 Hz.
» » » 380 V. 50 Hz. Funziona	310 V. 42 Hz.
a » a 330 V. 50 Hz. Funziona	270 V. 42 Hz.
a » a 280 V. 50 Hz. Funziona	240 V. 42 Hz.
a » a 260 V. 50 Hz. Funziona	220 V. 42 Hz.
a a a 220 V. 50 Hz. Funziona	180 V. 42 Hz.
a a » 120 V. 50 Hz. funziona	100 V. 42 Hz.



38. - Modifica dalla stella al triangolo e viceversa. -

Un'altra modifica che si rende spesso necessaria nel riavvolgimento di un motore è il passaggio dalla stella al triangolo o viceversa.

Supponiamo di avere un motore avvolto con collegamento a stella

avente 80 fili per foro della sezione di 2 mmq. e che si voglia riavvolgere con il collegamento a triangolo, faremo:

$$\begin{aligned} \text{per il numero dei fili } (N_1 \cdot \sqrt{3} = N_2) &= 80 \times 1,73 = 138 \text{ fili} \\ \text{per la sezione } \left(\frac{S_1}{\sqrt{3}} = S_2\right) &= 2 : 1,73 = 1,6 \text{ mq.} \end{aligned}$$

Il motore andrà dunque riavvolto per il collegamento a triangolo con 138 fili della sezione di 1,6 mmq. per foro. Viceversa un motore collegato a triangolo con 130 fili della sezione di 1,5 mmq. andrà riavvolto per il, collegamento a stella con:

$$\begin{aligned} \left(\frac{N_1}{\sqrt{3}} = N_2\right) &= 130 : 1,73 = 75 \text{ fili} \\ S_1 \cdot \sqrt{3} = S_2 &= 1,5 \times 1,73 = 1,9 \text{ mmq.} \end{aligned}$$

75 fili della sezione di 1,9 mmq. per foro  
(vedi tabella valori risolti).



## Fili di rame - conduttività 57,5, resistenza specifica 0,0174 a 15°C.

Diam. mm.	Sezione mm. <sup>2</sup>	Peso per m. gr.	Lunghezza per kg. m.	Resistenza per m. ohms	Lunghezza per ohms m.
0,1	0,0079	0,070	14806	2,315	0,451
0,2	0,0314	0,280	3576	0,5538	1,807
0,3	0,0707	0,629	1589	0,2472	4,063
0,4	0,1257	1,118	894	0,1384	7,223
0,5	0,1963	1,748	572	0,0886	11,28
0,6	0,2827	2,316	397,2	0,0615	16,26
0,7	0,3848	3,426	292	0,04525	22,12
0,8	0,5027	4,474	223,5	0,03463	28,90
0,9	0,6362	5,660	176,6	0,02735	36,57
1	0,7854	6,99	143,1	0,02215	45,14
1,1	0,9503	8,46	117,9	0,01831	54,6
1,2	1,1310	10,07	99,4	0,01539	65
1,3	1,3273	11,81	84,6	0,01311	76,3
1,4	1,5394	13,70	78	0,01131	88,5
1,5	1,7671	15,73	63,6	0,00985	101,6
1,6	2,0106	17,90	55,9	0,00865	115,6
1,7	2,2698	20,20	49,5	0,00767	130,5
1,8	2,5447	22,65	44,15	0,00684	146,2
1,9	2,8353	25,24	39,63	0,00614	163
2	3,1417	27,96	35,76	0,00554	180,5
2,1	3,4636	30,83	32,44	0,00503	199
2,2	3,8013	33,84	29,56	0,004557	218,3
2,3	4,1548	36,98	27,04	0,004187	238,8
2,4	4,5239	40,27	24,84	0,003845	260,1
2,5	4,9087	43,69	22,9	0,003544	282,1
2,6	5,3093	47,26	21,16	0,003277	305,2
2,7	5,7256	50,96	19,62	0,003039	329,1
2,8	6,1575	54,8	18,25	0,002826	353,9
2,9	6,6052	58,8	17,01	0,002634	379,7
3	7,0686	62,9	15,89	0,002462	406,3
3,1	7,5477	67,2	14,89	0,002305	433,8
3,2	8,0425	71,6	13,97	0,002168	462,3
3,3	8,5530	76,1	13,14	0,002034	491,7
3,4	9,0792	80,8	12,37	0,001916	522
3,5	9,6211	85,6	11,68	0,001809	553
3,6	10,1788	90,6	11,02	0,001709	585
3,7	10,7521	95,7	10,45	0,001618	618
3,8	11,3413	101	9,91	0,001534	652
3,9	11,9459	106,3	9,45	0,001457	687
4	12,57	111,0	8,94	0,001385	722
4,1	13,20	117,5	8,51	0,001318	759
4,2	13,85	123,3	8,11	0,001256	796
4,3	14,52	129,3	7,74	0,001198	835
4,4	15,21	135,4	7,39	0,001145	874
4,5	15,9	141,5	7,06	0,001094	914
4,6	16,62	147,9	6,76	0,001047	955
4,7	17,35	154,4	6,48	0,001003	997
4,8	18,10	161,1	6,21	0,000961	1040
4,9	18,86	167,9	6,96	0,000923	1084





Data mm.	Sezione mm. <sup>2</sup>	Peso per m. gr.	Lunghezza per kg. m.	Resistenza per m. ohms	Lunghezza per ohms m.
5	19,64	174,8	5,72	0,000686	1123
5,1	20,43	181,8	5,50	0,000652	1174
5,2	21,24	188	5,29	0,000619	1221
5,3	22,06	196,3	5,09	0,000789	1267
5,4	22,90	203,8	4,907	0,000760	1316
5,5	23,76	211,5	4,729	0,000732	1366
5,6	24,63	219,2	4,562	0,000706	1416
5,7	25,42	227,1	4,403	0,000681	1466
5,8	26,42	235,1	4,254	0,000659	1517
5,9	27,34	243,3	4,110	0,000636	1572
6	28,27	251,6	3,974	0,000615	1625
6,1	29,22	260,1	3,885	0,000595	1680
6,2	30,19	268,7	3,772	0,000577	1736
6,3	31,17	277,4	3,695	0,000559	1793
6,4	32,17	286,3	3,498	0,000541	1855
6,5	33,18	295,4	3,386	0,000524	1908
6,6	34,21	304,5	3,281	0,000508	1972
6,7	35,26	313,8	3,187	0,000493	2033
6,8	36,32	323,2	3,087	0,000477	2095
6,9	37,39	332,8	3,005	0,000465	2157
7	38,49	342,5	2,92	0,000452	2212
7,1	39,59	352,4	2,838	0,000439	2285
7,2	40,72	362,4	2,76	0,000427	2347
7,3	41,86	372,5	2,685	0,000415	2416
7,4	43,01	382,8	2,613	0,000409	2447
7,5	44,18	393,2	2,543	0,000393	2539
7,6	45,37	403,8	2,477	0,000379	2616
7,7	46,57	414,5	2,413	0,000364	2685
7,8	47,78	425,3	2,351	0,000354	2755
7,9	49,17	436,3	2,292	0,000339	2835
8	50,3	447,4	2,235	0,000346	2890
8,1	51,53	458,6	2,181	0,000339	2955
8,2	52,81	470	2,128	0,000329	3056
8,3	54,11	481,6	2,077	0,000322	3114
8,4	55,42	493,2	2,028	0,000314	3184
8,5	56,75	505,8	1,98	0,000307	3261
8,6	58,09	517	1,934	0,000299	3345
8,7	59,45	529,1	1,89	0,000292	3426
8,8	60,82	541,3	1,847	0,000286	3502
8,9	62,21	553,7	1,806	0,000279	3582
9	63,60	566,2	1,766	0,000273	3657
9,1	65,04	578,8	1,728	0,000267	3752
9,2	66,48	591,6	1,69	0,000262	3823
9,3	67,93	604,6	1,654	0,000256	3912
9,4	69,40	617,6	1,619	0,000250	4003
9,5	70,89	630,8	1,585	0,000245	4103
9,6	72,38	644,2	1,552	0,000240	4172
9,7	73,90	657,7	1,521	0,000235	4262
9,8	75,43	671,3	1,490	0,000230	4355
9,9	76,98	685,1	1,460	0,000225	4444
10,0	78,50	699,0	1,430	0,000221	4514



Relazione fra i numeri di fili per cavo  
nel collegamento a stella ed a triangolo

$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.
35	43	38	65	85	147	150	260
26	44	39	67	90	156	153	268
27	46	40	70	95	164	160	276
28	48	42	73	100	173	165	285
29	50	45	78	105	182	170	294
30	52	48	83	110	190	175	302
31	54	50	86	115	199	180	304
32	55	55	95	120	207	185	313
33	57	60	104	125	216	190	326
34	59	65	112	130	225	195	337
35	61	70	122	135	233	200	346
36	62	75	130	140	243		
37	64	80	138	145	250		

Relazione fra i diametri dei fili  
nel collegamento a stella ed a triangolo

$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.	$\Delta$ mm.
0,30	0,22	0,90	0,70	2,00	1,60	3,20	2,50
0,35	0,25	0,95	0,75	2,10	1,65	3,30	2,50
0,40	0,30	1,00	0,75	2,20	1,70	3,40	2,60
0,45	0,35	1,10	0,85	2,30	1,70	3,50	2,70
0,50	0,40	1,20	0,90	2,40	1,80	3,60	2,80
0,55	0,45	1,30	1,00	2,50	1,90	3,70	2,80
0,60	0,45	1,40	1,05	2,60	2,00	3,80	2,90
0,65	0,50	1,50	1,15	2,70	2,10	3,90	3,00
0,70	0,55	1,60	1,20	2,80	2,10	4,00	3,10
0,75	0,60	1,70	1,30	2,90	2,20		
0,80	0,60	1,80	1,40	3,00	2,30		
0,85	0,65	1,90	1,50	3,10	2,40		



## Equivalenze di fili in parallelo

1 conduttore Ø mm.	2 conduttori Ø mm.	3 conduttori Ø mm.	1 conduttore Ø mm.	2 conduttori Ø mm.	3 conduttori Ø mm.
1.00	0.70	0.55	3.10	2.20	1.85
1.10	0.75	0.60	3.20	2.25	1.90
1.20	0.85	0.70	3.30	2.30	1.95
1.30	0.95	0.75	3.40	2.40	"
1.40	1.00	0.80	3.50	2.45	2.00
1.50	1.05	0.85	3.60	2.50	2.05
1.60	1.10	0.90	3.70	2.60	2.10
1.70	1.20	1.00	3.80	2.70	2.20
1.80	1.30	1.05	3.90	2.75	2.25
1.90	1.35	1.10	4.00	2.80	2.30
2.00	1.40	1.15	4.10	2.90	2.35
2.10	1.50	1.20	4.20	2.95	2.40
2.20	1.55	1.25	4.30	3.00	2.45
2.30	1.60	1.30	4.40	3.10	2.50
2.40	1.70	1.40	4.50	3.20	2.60
2.50	1.75	1.45	4.60	3.30	2.65
2.60	1.80	1.50	4.70	3.35	2.70
2.70	1.90	1.55	4.80	3.40	2.75
2.80	2.00	1.60	4.90	3.45	2.80
2.90	2.05	1.70	5.00	3.50	2.90
3.00	2.10	1.80			



# I N D I C E

## CAPITOLO PRIMO

### AVVOLGIMENTI A CORRENTE ALTERNATA E LORO FUNZIONAMENTO

1.	— Generalità sugli avvolgimenti statorici	Pag.	1
2.	— Collegamenti a poli omonimi ed alterni . . . . .	»	3
3.	— Collegamenti in serie ed in parallelo . . . . .	»	5
4.	— Cenni alle correnti alternate . . . . .	»	9
5.	— Cenni al campo magnetico rotante . . . . .	»	12

## CAPITOLO SECONDO

### AVVOLGIMENTI MONOFASI E BIFASI

6.	— Avvolgimenti per motori monofasi a induzione	Pag.	18
7.	— Avvolgimenti per motori monofasi a due velocità . . . . .	»	23
8.	— Avvolgimenti statorici per motori monofasi a collettore . . . . .	»	23
9.	— Avvolgimenti bifasi . . . . .	»	24

## CAPITOLO TERZO

### AVVOLGIMENTI STATORICI BIFASI

10.	— Premessa sulle caratteristiche dei motori asincroni trifasi	Pag.	31
11.	— Cenni al funzionamento del motore asincrono trifase . . . . .	»	34
12.	— Vari tipi di avvolgimenti statorici trifasi . . . . .	»	36
13.	— Avvolgimenti a doppio strato (a passo raccorciato) . . . . .	»	37
14.	— Connessioni a stella semplice, a doppia stella, a triangolo e a doppio triangolo . . . . .	»	38

## CAPITOLO QUARTO

### SCHEMI DI AVVOLGIMENTI TRIFASI NORMALI

15.	— Statori con 18 fori	Pag.	42
16.	— Statori con 24 fori . . . . .	»	42
17.	— Statori con 27 fori . . . . .	»	43
18.	— Statori con 30 fori . . . . .	»	44
19.	— Statori con 36 fori . . . . .	»	44

## CAPITOLO QUINTO

### AVVOLGIMENTI TRIFASI A DUE VELOCITÀ

20.	— Premessa sugli avvolgimenti a due velocità	Pag.	85
21.	— Motori con due avvolgimenti distinti . . . . .	»	85
22.	— Motori ad avvolgimento unico . . . . .	»	85
23.	— Statori con 24 fori a 4 e a 2 poli . . . . .	»	86
24.	— Statori con 24 fori a 8 e a 4 poli . . . . .	»	89
25.	— Statori con 36 fori a 4 e a 2 poli . . . . .	»	93
26.	— Statori con 36 fori a 8 e a 4 poli . . . . .	»	94



27. — Statori con 36 fori a 12 e a 6 poli . . . . .	» 94
28. — Statori con 48 fori a 3 e a 4 poli . . . . .	» 94
29. — Statori con 48 fori a 16 e a 8 poli . . . . .	» 103

## CAPITOLO SESTO

CAUSE PIU' COMUNI DI ANORMALE FUNZIONAMENTO  
DEL MOTORE ASINCRONO TRIFASE ORDINARIO

30. — Il motore non si avvia . . . . .	Pag. 105
31. — Il motore si avvia ma non sopporta il carico . . . . .	» 107
32. — Prelievo di corrente anormale squilibrata (riscaldamento parziale) . . . . .	» 110
33. — Prelievo di corrente anormale equilibrato (riscaldamento totale) . . . . .	» 112
34. — Funzionamento rumoroso . . . . .	» 113

## CAPITOLO SETTIMO

MODIFICA DI CARATTERISTICHE  
NEI MOTORI ASINCRONI TRIFASE ORDINARI

35. — Modifica di tensione . . . . .	Pag. 117
36. — Modifica di frequenza . . . . .	» 119
37. — Modifica di tensione e di frequenza . . . . .	» 120
38. — Modifica dalla stella al triangolo e viceversa . . . . .	» 121
39. — Modifica di velocità . . . . .	» 121

TABELLA: Fili di rame — conduttività 57,5, resistenza specifica 0,0174 a 15° C . . . . .	Pag. 123
---------------------------------------------------------------------------------------------	----------

TABELLA: Relazione fra i numeri di fili per cavo nel collegamento a stella ed a triangolo . . . . .	» 125
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

TABELLA: Relazione fra i diametri dei fili nel collegamento a stella e a triangolo . . . . .	» 125
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

TABELLA: Equivalenza di fili in parallelo . . . . .	» 126
-----------------------------------------------------	-------



## BIBLIOTECA TECNICA VANNINI

- DOTT. ING. A. POLETTINI** — *Impianti elettrici di produzione - Trasformazione Trasporto . Distribuzione ed utilizzazione.* Nel testo: 576 figure, segni grafici per gli schemi elettrici (C.E.I.), segni grafici per gli schemi di impianti interni - Fuori testo: 20 tavole — VII<sup>a</sup> edizione riveduta e ampliata. — Pag. XXII-800 — Appendice separata dell'ing. Filippo Tiberio . L. 3.700,—
- DOTT. ING. A. POLETTINI** — *Compendio di misure elettriche* . Nuova edizione aggiornata ed ampliata. In questa nuova edizione è aggiunta un'ampia trattazione sugli errori e metodi di misura e vari paragrafi sulle prove di verifica e taratura dei principali strumenti di misura — Vol. di pag. 300 — Figure 320 — 3 tavole fuori testo . . . . . L. 1.000,—
- DOTT. ING. A. POLETTINI** — *Nozioni elementari di elettricità industriale per gli elettricisti dei corsi professionali e per l'autodidatta* - Vol. di pag. 208 con 7 fig. e 108 disegni eseguiti dall'autore . . . . . L. 600,—
- DOTT. HANS E. FIEBZ** — *Operazioni fondamentali della chimica dei coloranti* — Versione ital. a cura del dott. O. Bizzioli Vol. leg. in tutta tela . L. 1.500,—
- PROF. T. BUZZI** — *Materie coloranti* . . . . . L. 1.500,—
- PROF. GREEN, O. BIZZIOLI** — *Analisi delle materie coloranti* — Identificazione sui materiali tinti e coloranti . sulle lacche, sostanze alimentari ecc. — Volume in tutta tela . . . . . L. 1.500,—
- ING. A. BACNASCO** — *Cemento armato* — Guida teorico pratica per l'impiego e l'esecuzione del cemento armato ad uso degli Ingegneri, Geometri, Costruttori edili, Capimastri — con 136 disegni e 5 tavole fuori testo . . . L. 1.500,—
- ING. P. ZAMPA** — *Vademecum del costruttore edile*, ad uso degli Ingegneri, Geometri, Capimastri, Assistenti ed Impresari — in formato tascabile di 508 pag. - 75 tabelle e 12 tavole fuori testo . . . . . L. 1.200,—
- PROF. P. VANNELLI** — *Matematica d'officina* — riassunti, complementi e applicazioni pratiche per il tecnico meccanico — Volume di 400 pagine con tre tabelle prontuario . . . . . L. 650,—
- PROF. C. CORNADI . P. VANNELLI** — *Corso di disegno di macchine con esercizi di disegno geometrico* — pag. 372 con 632 fig. - 170 tabelle - 32 tavole L. 1.400,—
- PROF. P. VANNELLI** — *Disegno di macchine e geometrico per scuole professionali a tipo industriale e per scuole tecniche industriali:*  
 Vol. 1<sup>o</sup> pag. 84 . . . . . L. 500,—  
 Vol. 2<sup>o</sup> pag. 100 . . . . . L. 600,—  
 Vol. 3<sup>o</sup> pag. 96 . . . . . L. 650,—
- PERITO ING. G. FAGIOLI** — *Come devo conoscere il motore Diesel* — *Come devo condurre l'autocarro a ciclo Diesel* - Norme teorico pratiche. Contiene le principali disposizioni del Codice della strada e le norme di legge per ottenere la patente di 1<sup>o</sup> . 2<sup>o</sup> . 3<sup>o</sup> grado con 100 illustrazioni e due tavole a colori . . . . . L. 500,—
- GEOM. N. GIOVINE** — *Curve circolari nei lavori di costruzione per uso dei tecnici e costruttori* . . . . . L. 500,—

Inviare commissioni e vaglia alla Società Editrice VANNINI — Brescia



BIBLIOTECA TECNICA VANNINI

RENATO TRAMAGLIA

**AVVOLGIMENTI STATORICI  
PER MOTORI  
A CORRENTE ALTERNATA**

*Volume di 136 pagine  
con 57 illustrazioni e 43 tavole  
con prefazione dell'ing. A. Poletti*

**IL VADEMECUM PER GLI OPERAI AVVOLGITORI**



SOCIETÀ EDITRICE VANNINI - BRESCIA