

## LA MACCHINA IN CORRENTE CONTINUA

### Generalità e particolari costruttivi

La macchina in corrente continua è reversibile, cioè può funzionare sia come generatore (dinamo), trasformando energia meccanica in energia elettrica, sia come motore (effettuando la trasformazione inversa).

La Fig.1 mostra le parti costituenti una macchina in c.c. a quattro poli.

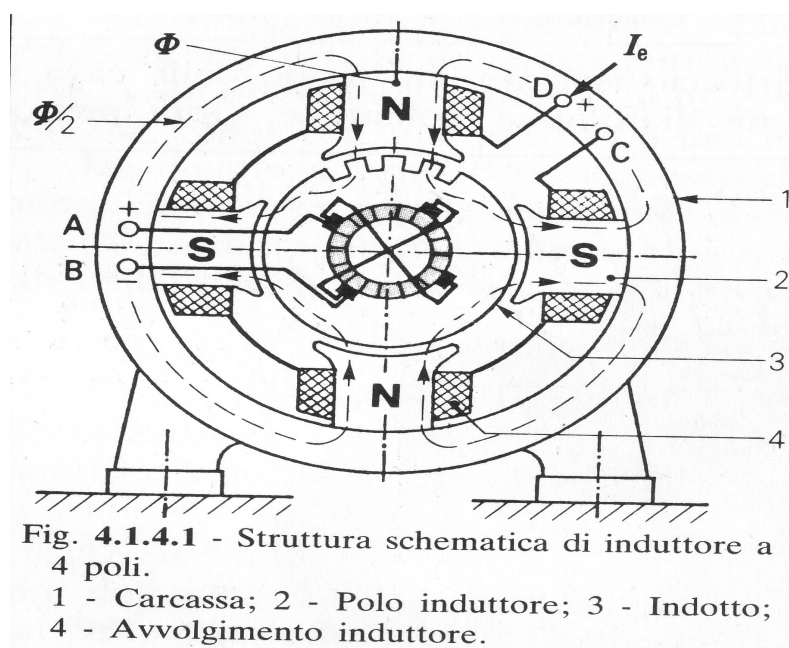


Fig. 4.1.4.1 - Struttura schematica di induttore a 4 poli.  
1 - Carcassa; 2 - Polo induttore; 3 - Indotto;  
4 - Avvolgimento induttore.

Fig.1- Struttura di un induttore a quattro poli: 1- carcassa; 2- polo induttore; 3 – indotto; 4 – avvolgimento induttore.

**Sistema induttore.** E' ricavato nello statore della macchina: si compone di un nucleo di ferro massiccio, di 4 poli radiali, nel nostro esempio, le cui espansioni (*scarpe polari*) sono realizzate mediante lamierini per ridurre le perdite nel ferro; da un *avvolgimento induttore* eccitato in corrente continua  $I_e$ , che ha lo scopo di generare il campo magnetico induttore.

**Sistema d'indotto:** è ricavato nel rotore ed è costituito da un nucleo realizzato con lamierini, essendo il campo magnetico nel rotore variabile, e dall'*avvolgimento d'indotto* chiuso in cortocircuito.

## LA DINAMO

### Principio di funzionamento

La dinamo è un generatore di corrente continua (diversamente dall'alternatore che è un generatore di corrente alternata). La schematizzazione in Fig.2 rappresenta un sistema induttore bipolare entro il quale ruota a velocità angolare  $\Omega$  costante il sistema indotto.

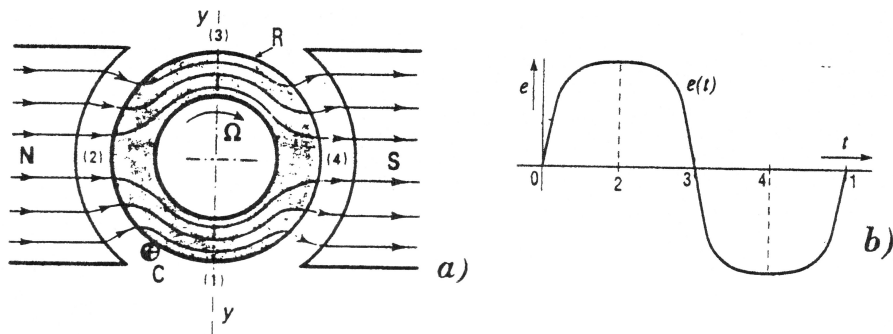


Fig.2- Sistema induttore bipolare: a) con indotto rotante; b) F.e.m. indotta alternata.

Il conduttore attivo **C** dell'indotto, durante la rotazione del cilindro taglia le linee di forza del campo induttore e diviene sede di una f.e.m. alternata che compie un periodo completo ad ogni giro del rotore.

Il **piano y-y**, passante per le posizioni (1) e (3), ove il campo magnetico è nullo e la f.e.m. si inverte, prende il nome di *piano neutro*.

In pratica si distribuiscono uniformemente nelle cave poste sulla periferia del rotore più conduttori attivi (matasse), opportunamente collegati fra di loro in modo da sommarne le f.e.m. indotte nei singoli conduttori e si dispone un sistema di contatti striscianti (spazzole-collettore a lamelle di rame crudo isolate tra loro con mica), detto **commutatore**, capace di prelevare una f.e.m. leggermente pulsante e riportarla su due morsetti esterni (+) e (-).

Ciascun conduttore attivo (matasse) viene saldato alla parte alta della lamella detta *bandiera* (fig.3). Le spazzole, di *grafite* o *metalgrafite*, sono solidali con lo statore.

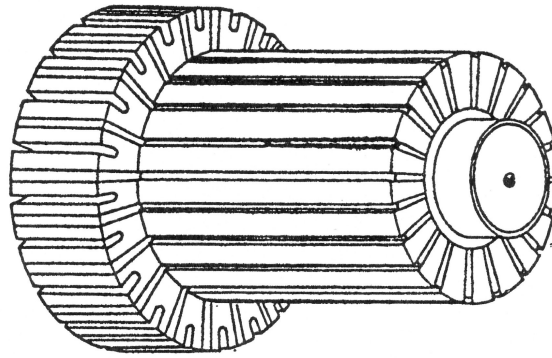


Fig.3 – Collettore a lamelle.

A causa della simmetria con la quale i conduttori sono collocati sul tamburo rotorico, la f.e.m. alternata in ciascun conduttore risulta sfasata di un angolo pari ad  $\alpha = p \cdot 360^\circ / N$  rispetto a quella nel conduttore adiacente (Fig.4a). Nel nostro caso, ipotizzando un numero di conduttori attivi  $N = 16$  ed essendo il numero di coppie polari  $p = 1$ , avremo  $\alpha = 22,5^\circ$ . Gli  $N$  conduttori si trovano in serie tra di loro così che è nulla la f.e.m. complessiva che agisce nell'indotto essendo questa data dalla somma vettoriale di  $N$  vettori uguali in intensità e disposti a stella simmetrica.

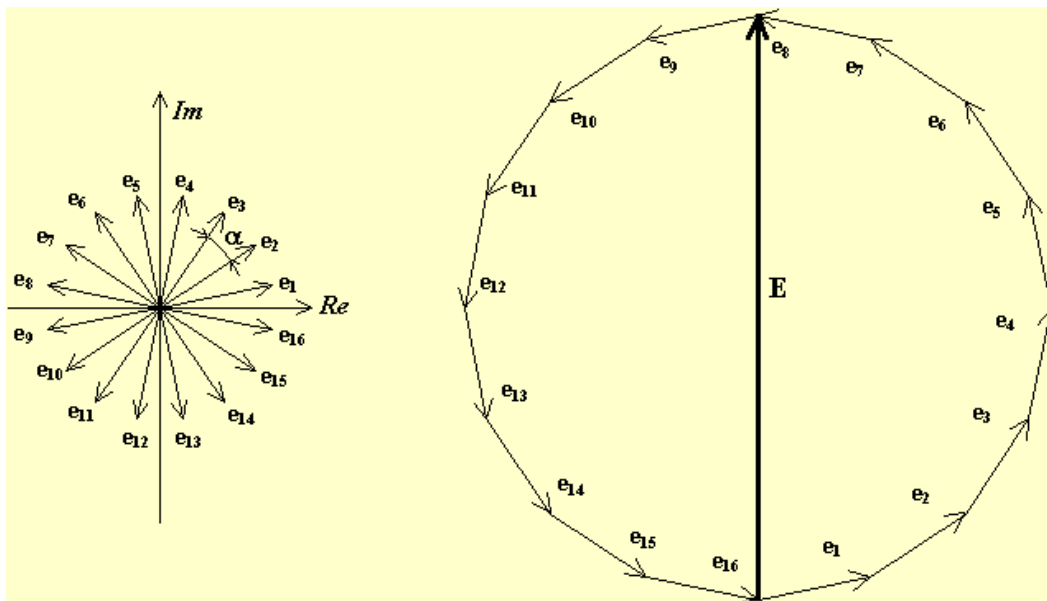


Fig.4 – Rappresentazione vettoriale delle f.e.m. indotte: a) in ciascun conduttore collocato sul tamburo rotorico; b) spezzata delle f.e.m. dei singoli conduttori e f.e.m. massima sulle spazzole.

Non è invece nulla la somma delle f.e.m. di una metà dei conduttori. Ad esempio la somma delle f.e.m. dei conduttori da 1 a 8 sarà pari ad  $E$  (Fig.4b).

Se disponiamo due spazzole **A** e **B** (vedere figura in basso) in corrispondenza degli interassi polari avremo che la f.e.m. tra tali spazzole varrà costantemente  $E$ . La spazzola **A** è positiva e la **B** negativa. In tal modo, nel funzionamento a vuoto, tra le spazzole è

disponibile una tensione  $V_{AB} \equiv E$ . Se si collega una resistenza  $R_u$  si ha l'erogazione di corrente continua  $I$  [A] (Fig.5a). La Fig.5b indica l'andamento della  $E$ , leggermente ondulato. Per migliorare il livellamento della tensione generata occorre prevedere un adeguato numero di lamelle nel collettore oppure impiegare appositi filtri.

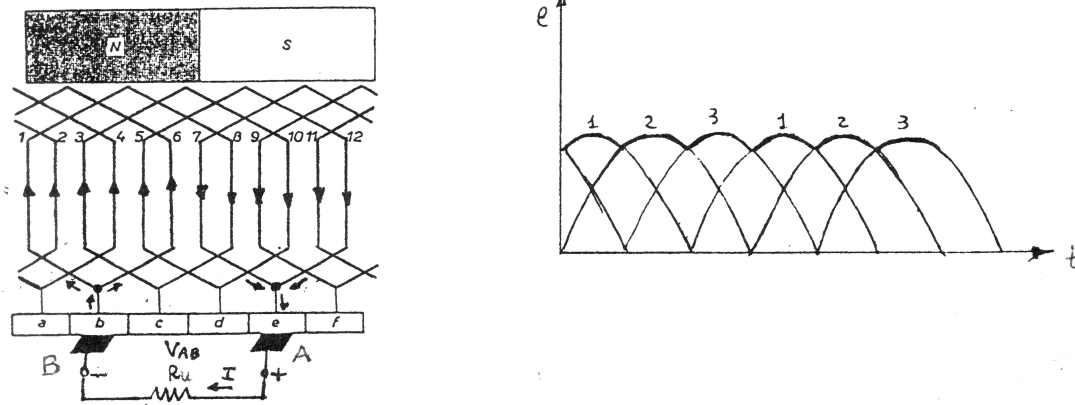


Fig.5 – a) Tensione disponibile sulle spazzole con carico collegato; b) andamento della tensione raddrizzata dal commutatore fornita dalla dinamo.

### Funzionamento a vuoto

La dinamo si dice funzionante a vuoto quando, con l'induttore eccitato con la corrente  $I_e$  [A] e l'indotto trascinato in rotazione da un motore primo a velocità costante  $n$  [g/1'], ha i morsetti d'uscita aperti, ovvero  $I = 0$ ,  $R_u = \infty$ . In tali condizioni è nulla anche la corrente nell'avvolgimento rotorico e l'unico flusso presente nella macchina è quello induttore principale  $\Phi_0$  [Wb].

La f.e.m. che si raccoglie tra le spazzole ha l'espressione:

$$E_0 = K \cdot \Phi_0 \cdot n$$

Si osserva come la f.e.m. a vuoto (e quindi anche la tensione d'uscita a vuoto) sia direttamente proporzionale al flusso per polo ed alla velocità. Variando l'una o l'altra di queste due grandezze è possibile variare la tensione generata dalla dinamo.

## Funzionamento a carico - Reazione d'indotto

Si manifesta quando alla dinamo, eccitata e trascinata in rotazione, è applicata una resistenza di carico  $R_u$  [ $\Omega$ ]. In tali condizioni la dinamo eroga corrente continua  $I$  [A].

In queste condizioni di funzionamento, al campo magnetico induttore principale  $H_0$  si sovrappone il campo magnetico d'indotto  $H_i$  generato dalla corrente rotorica e ciò comporta una distorsione del campo magnetico.

## La commutazione

Quando un conduttore dell'indotto passa da una *via interna* all'altra si dice che il conduttore è in commutazione. All'atto della commutazione si ha che la corrente  $I_c$  [A] nel conduttore cambia verso ed il contatto strisciante tra spazzola e lamelle del collettore viene sottoposto ad importanti sollecitazioni termiche.

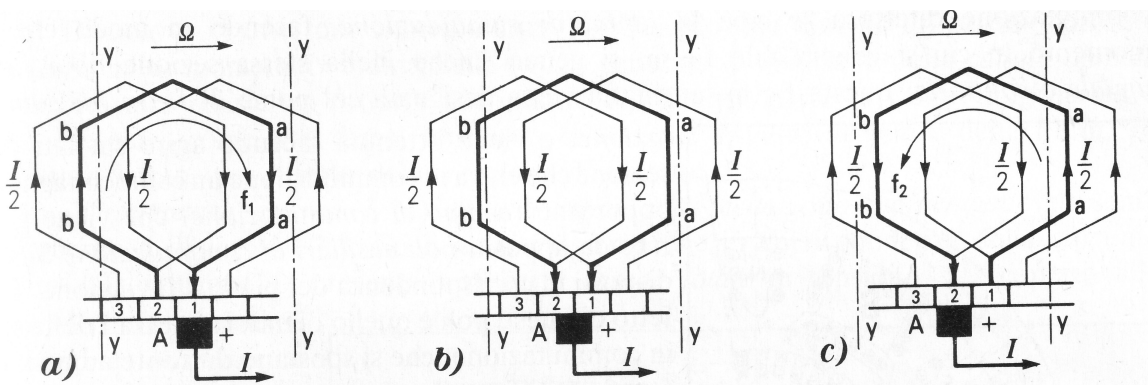


Fig.7 – i tre tempi in cui si compie la commutazione.

Passando dalla posizione a) alla posizione c) della Fig.7, la corrente che percorre la spira a-b, passa da  $I/2$  ad un valore uguale ma di segno opposto.

## Schemi elettrici delle dinamo:

E' il caso delle piccole dinamo dove il sistema induttore è costituito da un magnete permanente.

### 1) con eccitazione derivata

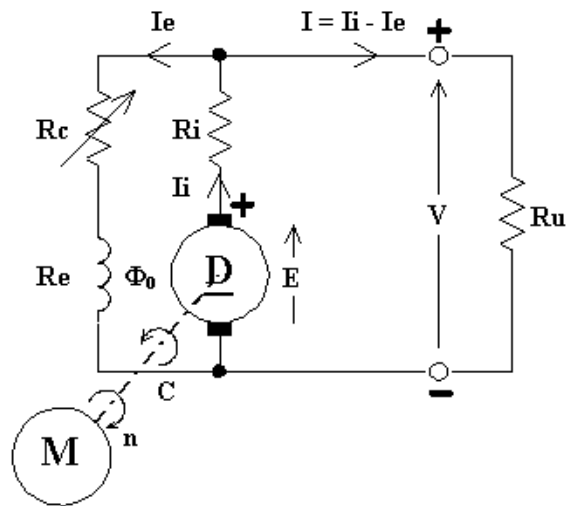


Fig.10 – Schema elettrico di una dinamo con eccitazione derivata.

La macchina può funzionare solo se in essa è presente un adeguato magnetismo residuo.

### 3) Con eccitazione serie

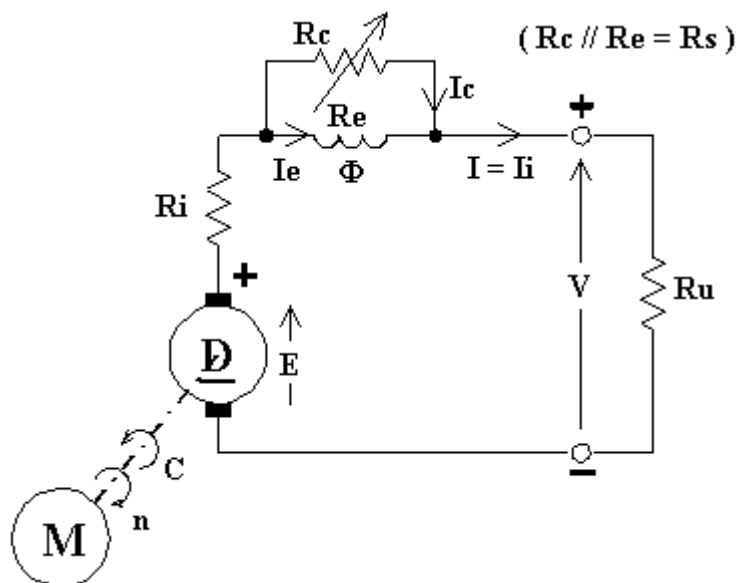


Fig.11 – Schema elettrico di una dinamo con eccitazione serie.

Anche in questo caso la macchina può funzionare solo se in essa è presente un adeguato magnetismo residuo. Per ridurre la tensione occorre diminuire  $R_c$  in modo tale che diminuisca la corrente di eccitazione  $I_e$ , viceversa per aumentare la tensione.

Al crescere della corrente erogata (cioè al variare della resistenza di carico da infinito a zero) cresce anche la corrente di eccitazione e, quindi,  $E_0$  e, con essa, la tensione d'uscita  $V$ .

### 3) con eccitazione composta

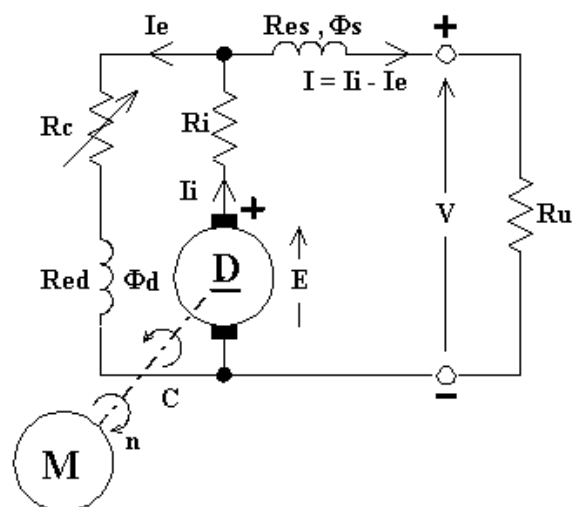


Fig.12 – Schema elettrico di una dinamo con eccitazione composta.

Su ciascun polo induttore della dinamo vengono poste due bobine anziché una (Fig.13); la prima **Red** composta di molte spire di piccola sezione eccitata in derivazione, la seconda **Res** composta di poche spire di grande sezione eccitata in serie (è percorsa dalla stessa corrente assorbita dal carico).

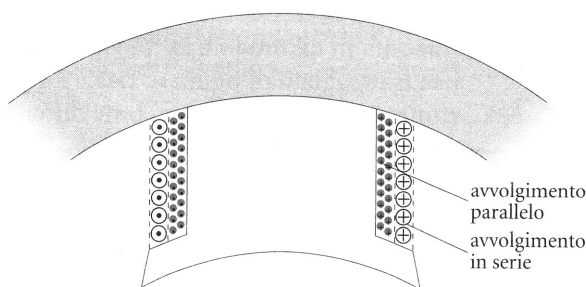


Fig.13 – Disposizione degli avvolgimenti induttori serie e parallelo sul polo.

Dimensionando opportunamente il numero di spire degli avvolgimenti d'eccitazione in derivazione ed in serie si riesce a far sì che la caratteristica esterna sia praticamente costante nel primo tratto.

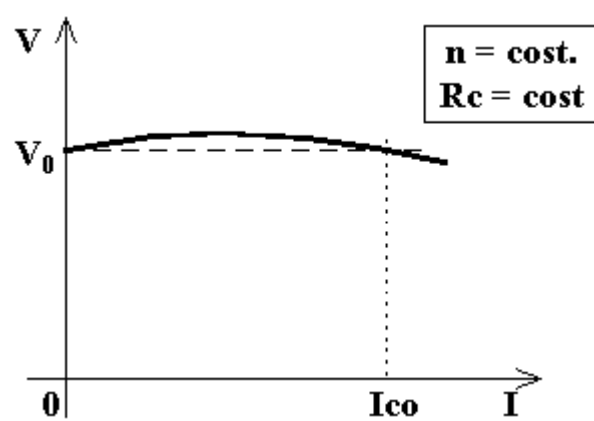


Fig.14 – Caratteristica esterna della dinamo con eccitazione composta



## Perdite e rendimento

**P<sub>m</sub>**, perdite meccaniche per attrito e ventilazione;

**P<sub>fe</sub>**, perdite nel ferro a vuoto; sono localizzate nell'indotto, interessato da un flusso variabile, e nelle testate delle espansioni polari;

**P<sub>ec</sub>**, perdite per eccitazione, dovute all'effetto Joule negli avvolgimenti induttori e nel reostato di campo: **P<sub>ec</sub> = (R<sub>e</sub> + R<sub>c</sub>)·I<sub>e</sub><sup>2</sup>** ;

**P<sub>j</sub>**, perdite Joule negli avvolgimenti d'indotto: **P<sub>j</sub> = R<sub>i</sub>·I<sub>i</sub><sup>2</sup>** ;

**P<sub>s</sub>**, perdite nelle spazzole;

**P<sub>ad</sub>**, perdite addizionali; sono perdite nel ferro dell'indotto che si aggiungono a quelle a vuoto a causa della distorsione dovuta alla reazione d'indotto, pari all'**1%** della potenza nominale erogata.

Si definisce rendimento:

$$\eta = \frac{P}{P_a} = \frac{V \cdot I}{V \cdot I + \sum \text{Perdite}}$$

**P = V·I** potenza elettrica erogata. **P<sub>a</sub>** = potenza meccanica fornita dal motore primo. Il **η** massimo cade a **3/4** del pieno carico.

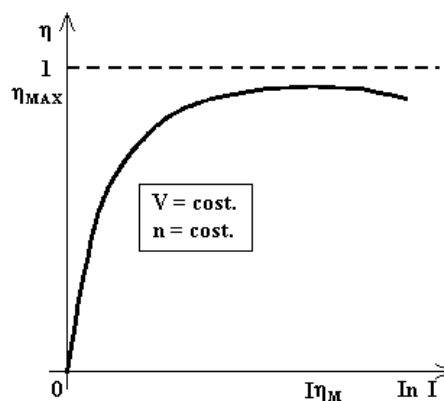


Fig.15 – Curva del rendimento della dinamo in funzione della corrente di carico