


## Generazione di una f.e.m. sinusoidale

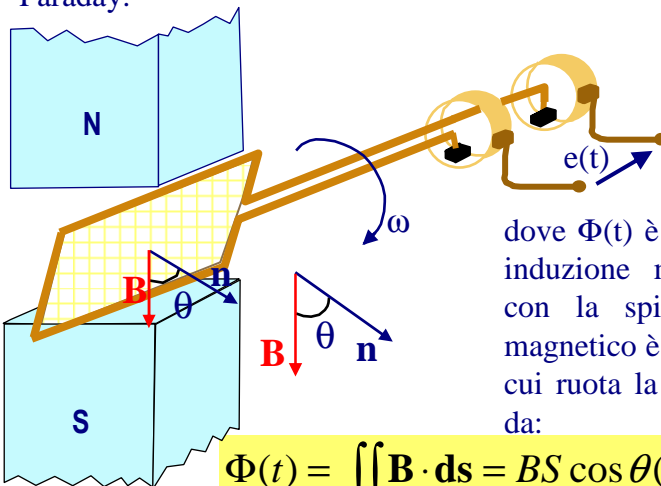
La configurazione di principio di un generatore di f.e.m. sinusoidale è costituita da una spira fatta ruotare da un motore primo ad una velocità angolare costante  $\omega$  in presenza di un campo magnetico uniforme  $B$  generato da un magnete permanente o elettromagnete.



---

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno

La tensione che viene prelevata alle spazzole sarà data dalla legge di Faraday:



$$e(t) = - \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

dove  $\Phi(t)$  è il flusso del campo di induzione magnetica concatenato con la spira. Poiché il campo magnetico è uniforme nella zona in cui ruota la spira questo sarà dato da:

$$\Phi(t) = \iint_{S_{spira}} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = BS \cos \theta(t) = \Phi_M \cos \omega t$$

Man mano che la spira ruota con velocità angolare  $\omega$  nel campo magnetico, la f.e.m.  $e(t)$  varia con legge sinusoidale:

$$e(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega\Phi_M \sin \omega t = E_M \sin \omega t$$

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno

**generazione di una f.e.m. sinusoidale**

$$v(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = \oint_{\gamma} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{t} dl =$$

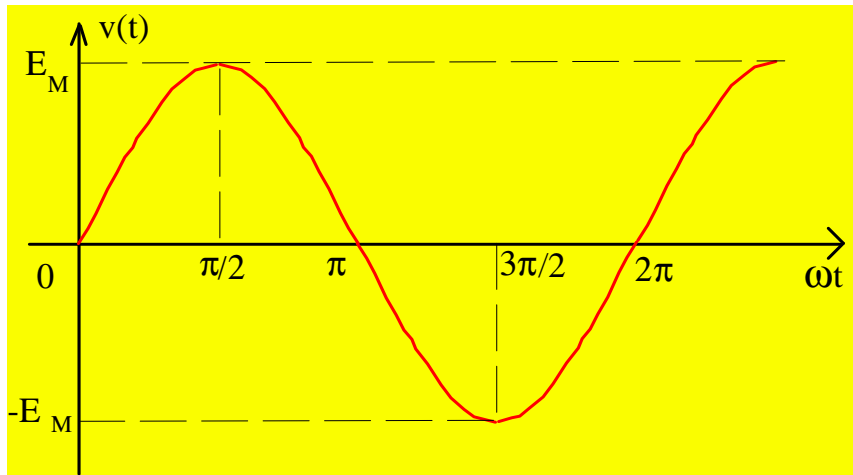
$$v(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = \oint_{\gamma} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{t} dl =$$

$$-\frac{d}{dt}(BS \cos \omega t) = \omega BS \sin \omega t = E_M \sin \omega t$$

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno

### generazione di una f.e.m. sinusoidale

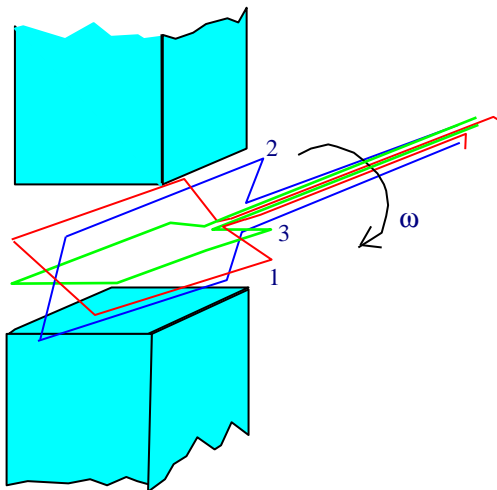
$$v(t) = E_M \sin \omega t$$



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



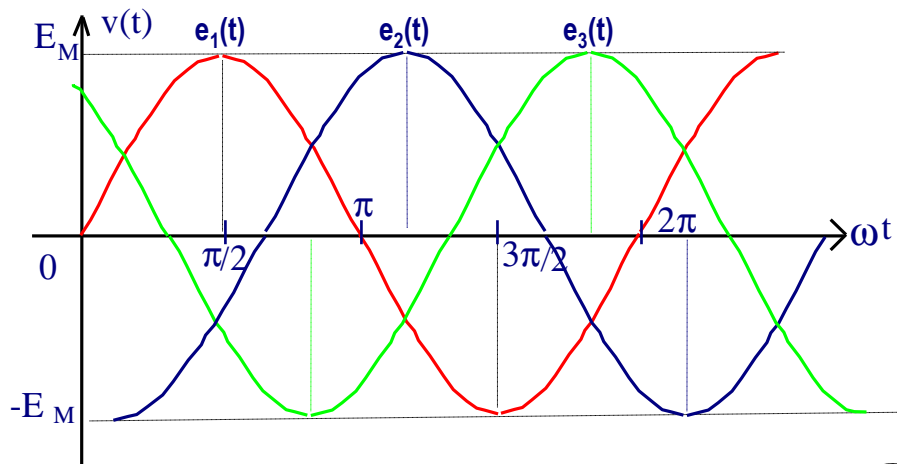
### generazione di un sistema trifase di f.e.m. sinusoidali



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



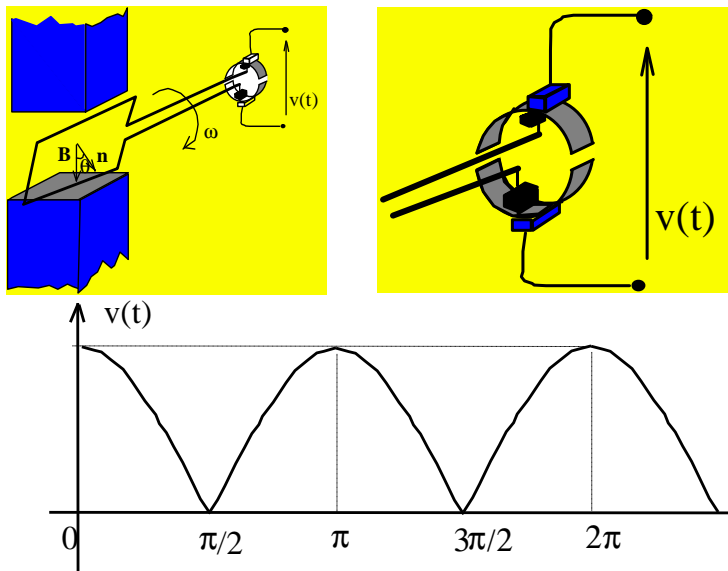
### generazione di un sistema trifase di f.e.m. sinusoidali



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



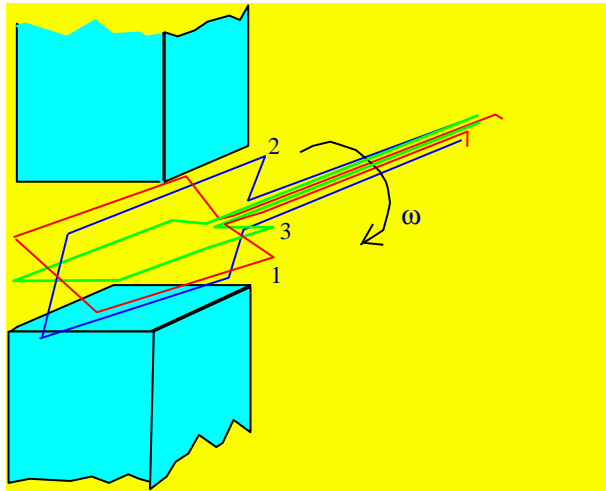
### generazione di una f.e.m. continua



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno

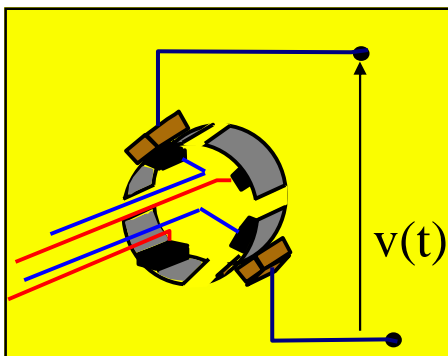


### generazione di una f.e.m. continua

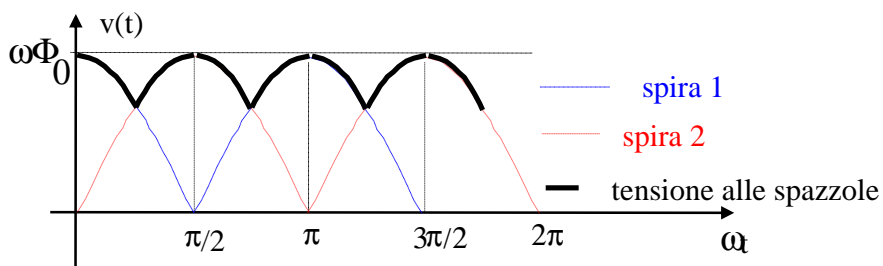


dividendo l'avvolgimento in molte spire la tensione risulterà pressoché continua.

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



dividendo l'avvolgimento in molte spire la tensione risulterà pressoché continua



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



## Conversione elettromeccanica

- La forza che si esercita su una carica in presenza di altre cariche ferme ed in moto è data dalla legge di Lorentz:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

- Nella maggior parte dei casi di interesse applicativo occorre valutare tale espressione in assenza del campo elettrostatico. In tali casi la forza risulta normale sia a  $\mathbf{v}$  che a  $\mathbf{B}$ .

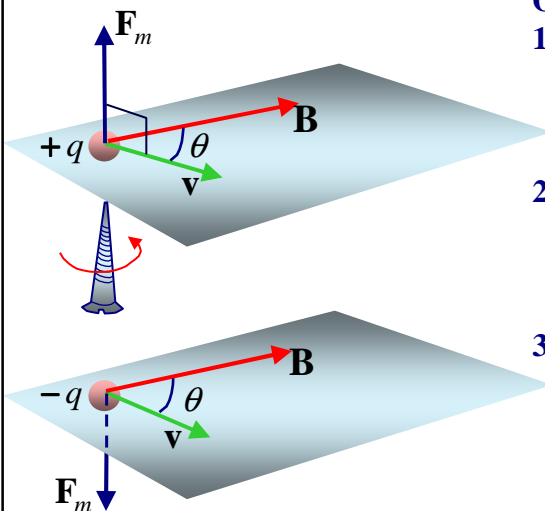
$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

- Tale espressione può essere utilizzata per valutare la f.e.m., di natura elettromagnetica, prodotta in un generatore.



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno

$$\mathbf{F}_m = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \rightarrow \quad F_m = qvB \sin \theta$$



Osservazioni:

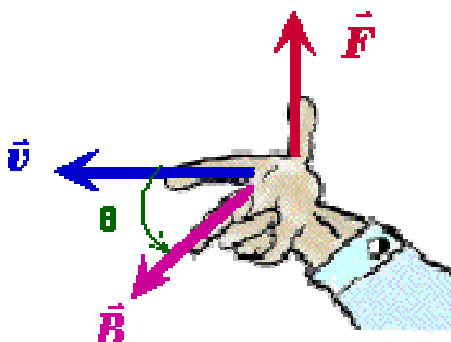
- La forza è diretta ortogonalmente al piano formato dai vettori  $\mathbf{v}$  e  $\mathbf{B}$  (regola della vite destrorsa);
- $F_m$  è nulla quando  $\mathbf{v}$  è parallela a  $\mathbf{B}$  ed è massima e pari a  $qvB$  quando  $\mathbf{v}$  è ortogonale a  $\mathbf{B}$ ;
- Poiché  $F_m$  è sempre ortogonale a  $\mathbf{v}$ , essa non compie lavoro su  $q$ ; pertanto, l'energia cinetica di  $q$  rimane inalterata.



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno

## Regola della mano destra

$$\mathbf{F}_m = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



Per determinare la direzione ed il verso della forza di Lorentz si può utilizzare la regola della mano destra:

Si punta l'indice nella direzione e verso del moto della carica (o del verso positivo di  $I$ ), il dito medio nella direzione e verso di  $B$ . La direzione ed il verso della forza sono quelle del dito pollice.

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



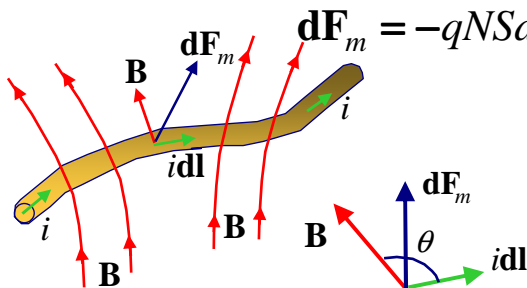
## Forza su un conduttore percorso da corrente

La corrente in un conduttore è dovuta al moto degli elettroni descritto dal vettore densità di corrente:

$$\mathbf{J} = -qN\mathbf{v}$$

in un tratto di conduttore di lunghezza  $dl$  e di sezione  $S$  sono contenuti  $NSdl$  elettroni e la forza risultante è data da:

$$d\mathbf{F}_m = -qNSdl\mathbf{v} \times \mathbf{B} = dlS\mathbf{J} \times \mathbf{B} = d\mathbf{v}\mathbf{J} \times \mathbf{B}$$



Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



Questa legge, detta legge elementare di Laplace, è alla base delle applicazioni elettromeccaniche delle interazioni tra correnti e campo magnetico (macchine elettriche).

$$d\mathbf{F}_m = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B}$$

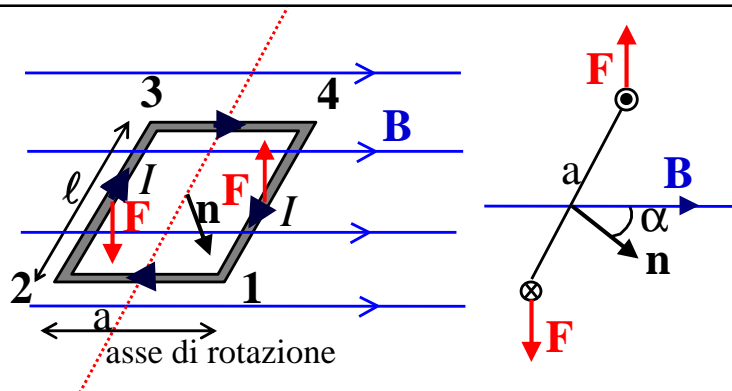
e quindi per un circuito

$$\mathbf{F} = \oint_{\gamma} (I \mathbf{t} \times \mathbf{B}) dl$$

Nel caso generale di un conduttore massiccio possiamo considerare i singoli tubi di flusso di  $\mathbf{J}$ :

$$\mathbf{F} = \iiint_V (\mathbf{J} \times \mathbf{B}) dv$$

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



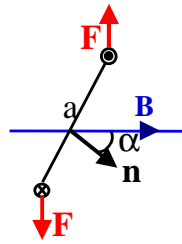
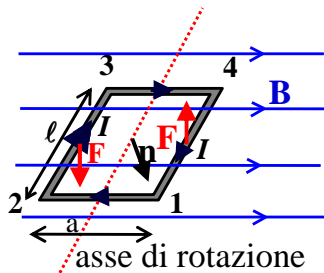
Calcoliamo la coppia che si esercita su una spira, libera di ruotare intorno ad un asse, in presenza di un campo magnetico

$$\mathbf{C} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \quad \text{dove } r \text{ è il braccio}$$

Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno







Applichiamo la legge della forza alla spira rettangolare. Essendo  $dl$  parallelo a  $B$  lungo i lati 1-2 e 3-4, non vi sarà forza agente su tali lati.

$$\mathbf{F} = \oint_{\gamma} (I \mathbf{t} \times \mathbf{B}) dl = \int_2^3 (I \mathbf{t} \times \mathbf{B}) dl + \int_4^1 (I \mathbf{t} \times \mathbf{B}) dl =$$

$$\int_0^l (I \mathbf{t} \times \mathbf{B}) dl + \int_l^0 (I \mathbf{t} \times \mathbf{B}) dl = \mathbf{F} - \mathbf{F} = 0$$

dove, poiché  $B$  è uniforme, si ha  $|\mathbf{F}| = I l B$



Poiché le forze agiscono in punti diversi della spira esse danno origine ad una coppia

$$|\mathbf{C}| = |\mathbf{r} \times \mathbf{F}| = a l B \sin \alpha$$

Il prodotto  $a l$

rappresenta l'area  $S$  della spira.

$$|\mathbf{C}| = I S B \sin \alpha$$



Indicando con  $m$  il momento di dipolo magnetico

$$\mathbf{m} = I\mathbf{S}\mathbf{n}$$

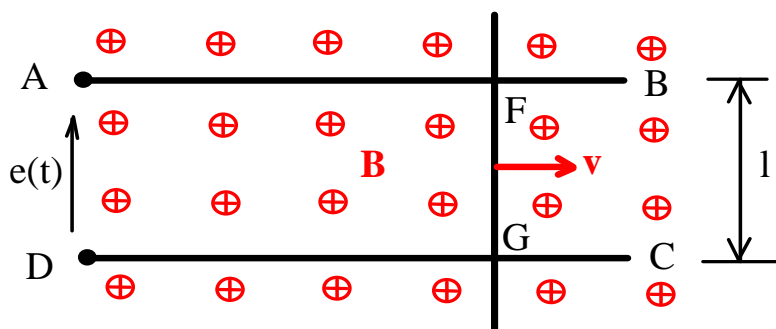
la coppia sarà esprimibile come

$$\mathbf{C} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

Tale espressione vale per campo magnetico uniforme.

La coppia è diretta in modo da ridurre  $\alpha$  ovvero in modo che  $m$  e  $B$  siano nella stessa direzione.

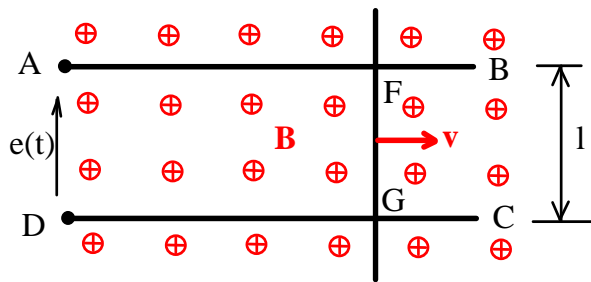
Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno



Consideriamo il semplice schema in figura nel quale il tratto FG di conduttore è libero di scorrere con velocità  $v$  senza attrito in presenza di un campo magnetico uniforme  $B$ .

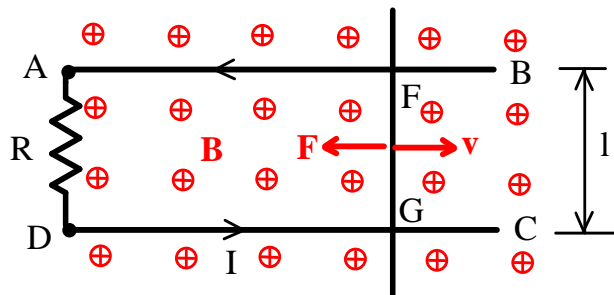
Prof. V. Tucci - Corso di Complementi di Elettrotecnica  
Dip. di Ing. dell'Informazione e Ing. Elettrica - Università di Salerno





Il circuito AFGC sarà sede di una variazione di flusso che darà luogo ai morsetti AD ad una f.e.m. pari a

$$e(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{S_\gamma} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} ds = -\frac{d}{dt} (Blvdt)$$

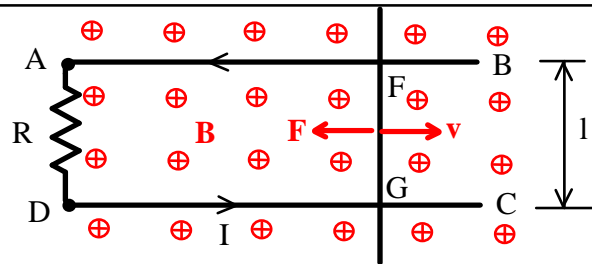


Se i morsetti AD sono chiusi su un carico esterno (una resistenza R) il circuito sarà sede di una corrente. Tale corrente produrrà una forza che agirà sul tratto FG contrastando il moto di tale tratto.

Il modulo di tale forza è:

$$F = IlB$$



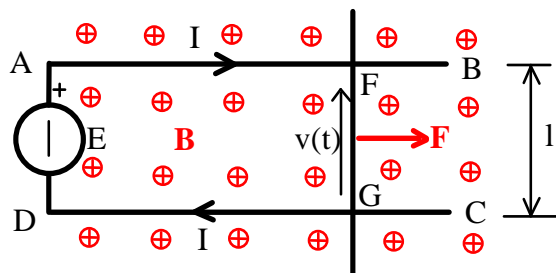


Per mantenere in moto il tratto HG occorrerà fornire dall'esterno un'energia meccanica data da:

$$dL_m = Fvdt = IlBvdt \Rightarrow P_m = IlBv$$

La potenza meccanica (in condizioni ideali) è interamente convertita in potenza elettrica (funzionamento da generatore)

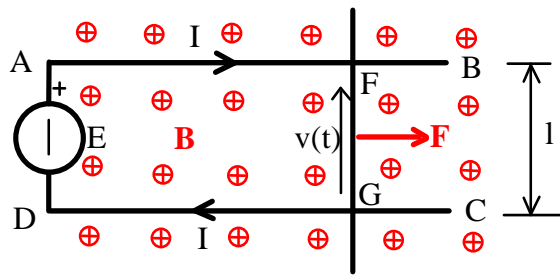
$$P_m = P_e = EI$$



Se invece abbiamo che il lato AD è alimentato da un generatore di f.e.m. E, tale da far circolare nel conduttore una corrente I, sul tratto FG libero di scorrere agirà una forza

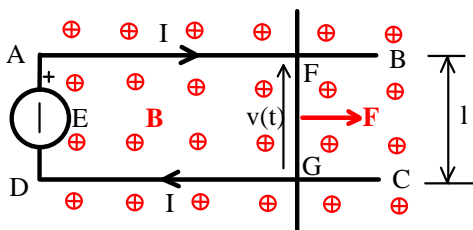
$$F = IlB$$





Tale forza porrà in movimento il conduttore: si avrà una variazione di flusso e quindi la nascita di una f.e.m. indotta pari a

$$v(t) = \frac{d\Phi}{dt} = B \frac{dS}{dt} = Blv$$



Tale tensione si opporrà alla f.e.m. del generatore e quindi alla circolazione della corrente I. Per mantenere un tale valore di corrente occorrerà fornire una potenza elettrica pari a

$$P_e = EI$$

Questa potenza sarà convertita in potenza meccanica (funzionamento da motore)

$$P_e = EI = P_m = BlvI$$

Reversibilità del funzionamento delle macchine elettriche.

