

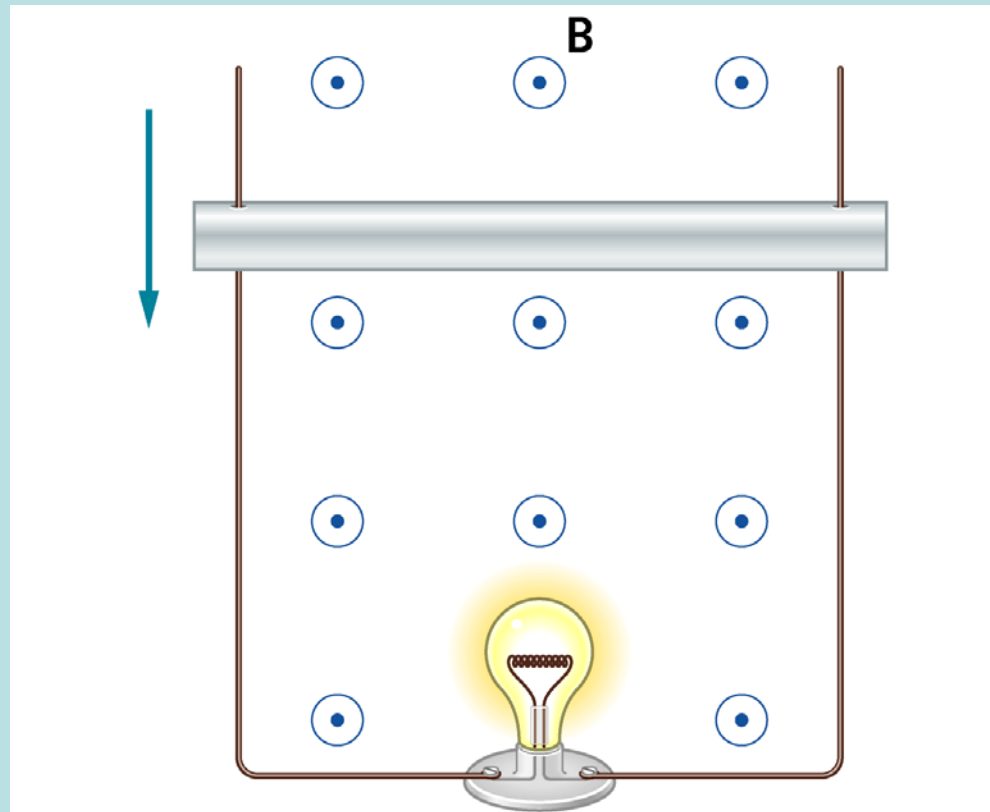
approfondimenti

Lavoro meccanico ed energia elettrica

Autoinduzione e induttanza
Circuiti RL

Trasformatori e trasporto di energia elettrica

Lavoro meccanico ed energia elettrica -trattazione qualitativa



$$\Delta\Phi_{\mathbf{B}} \neq 0$$



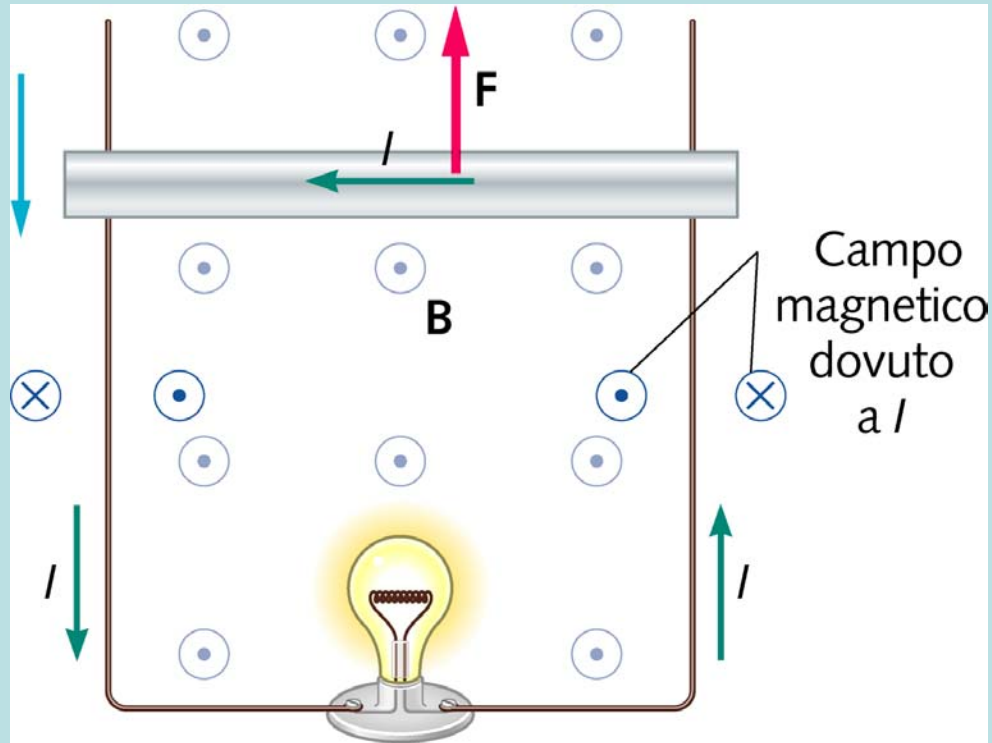
$\mathcal{E}_{\text{indotta}}$



I_{indotta}

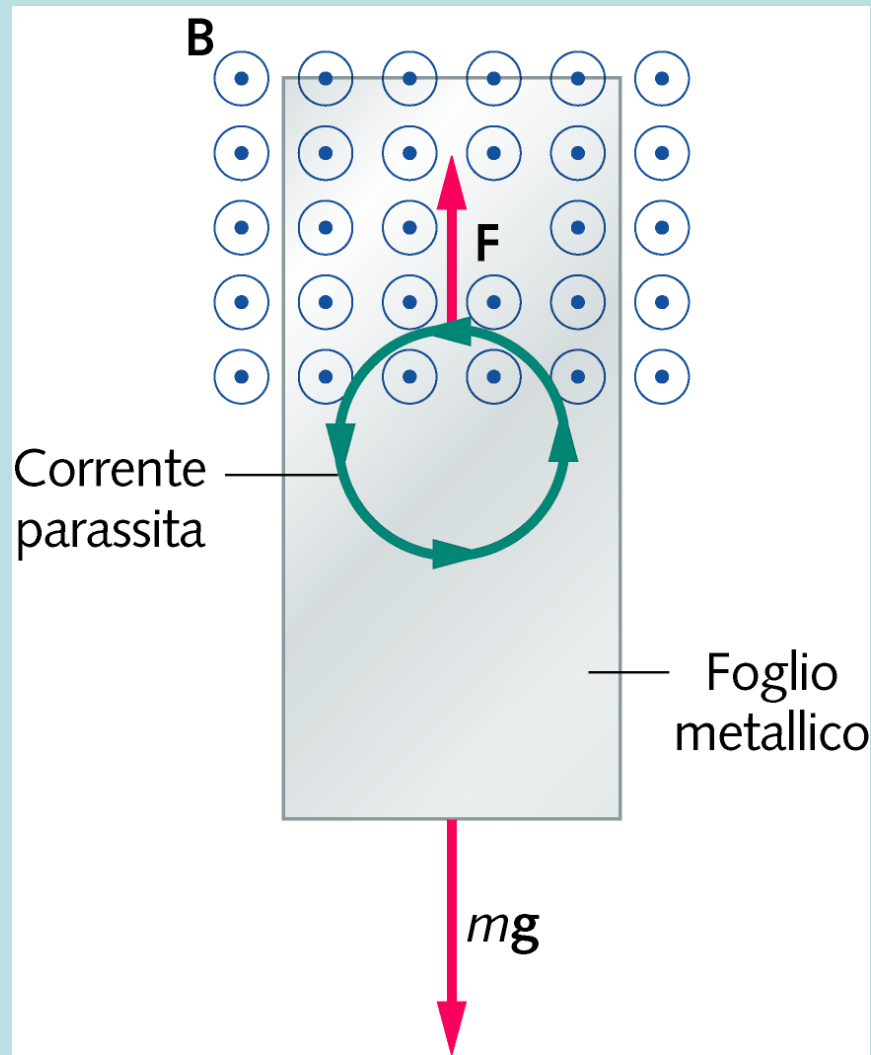
La lampadina
si accende

La barretta cade ... il flusso diminuisce



Verso della corrente indotta: antiorario (legge di Lenz)

N.B. La corrente indotta interagisce con il campo magnetico fornendo una forza verso l'alto che **frena** la caduta della barretta

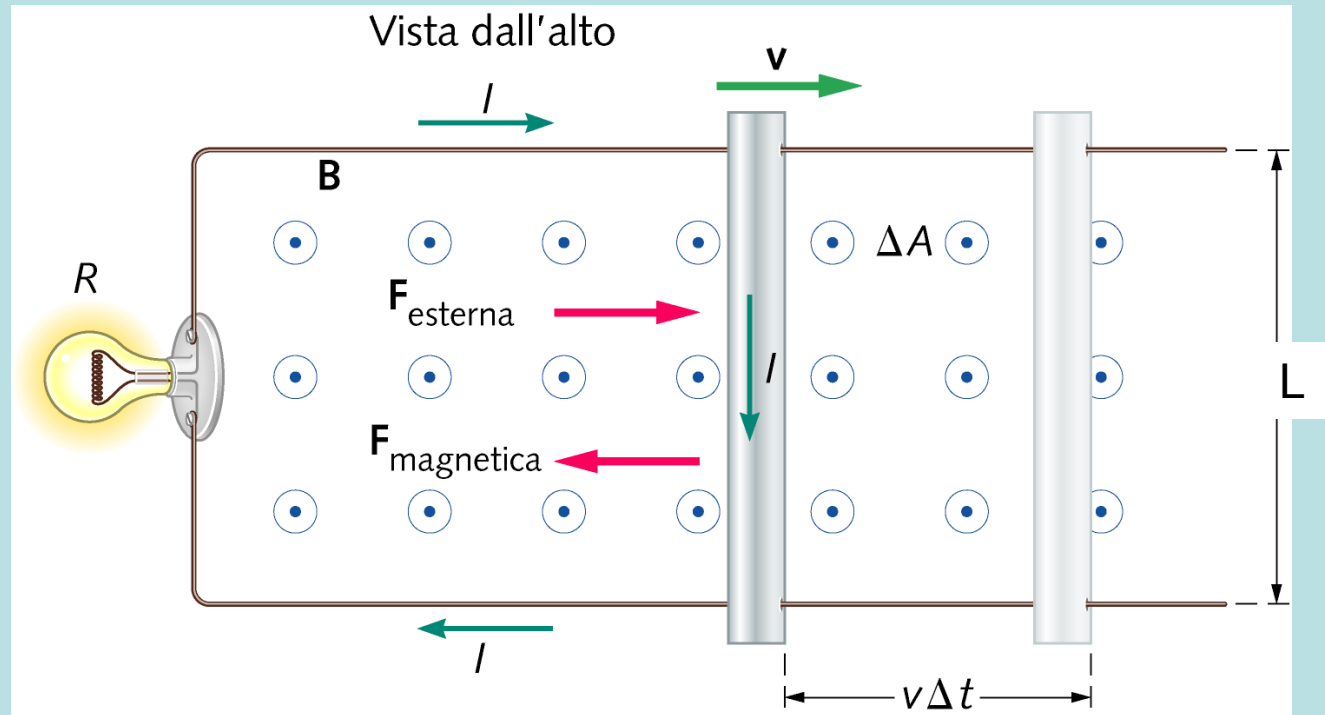


Dissipazione di energia meccanica in energia termica
dovuta alle **correnti parassite**

Lavoro meccanico e conversione in energia elettrica -trattazione quantitativa

$$\Delta t$$
$$\Delta \Phi_B = B \Delta A$$

$$\Delta A = L v \Delta t$$



$$|\mathcal{E}_{\text{indotta}}| = - \Delta \Phi / \Delta t$$
$$= B L (v \Delta t) / \Delta t$$

$$\mathcal{E}_{\text{indotta}} = BLv$$

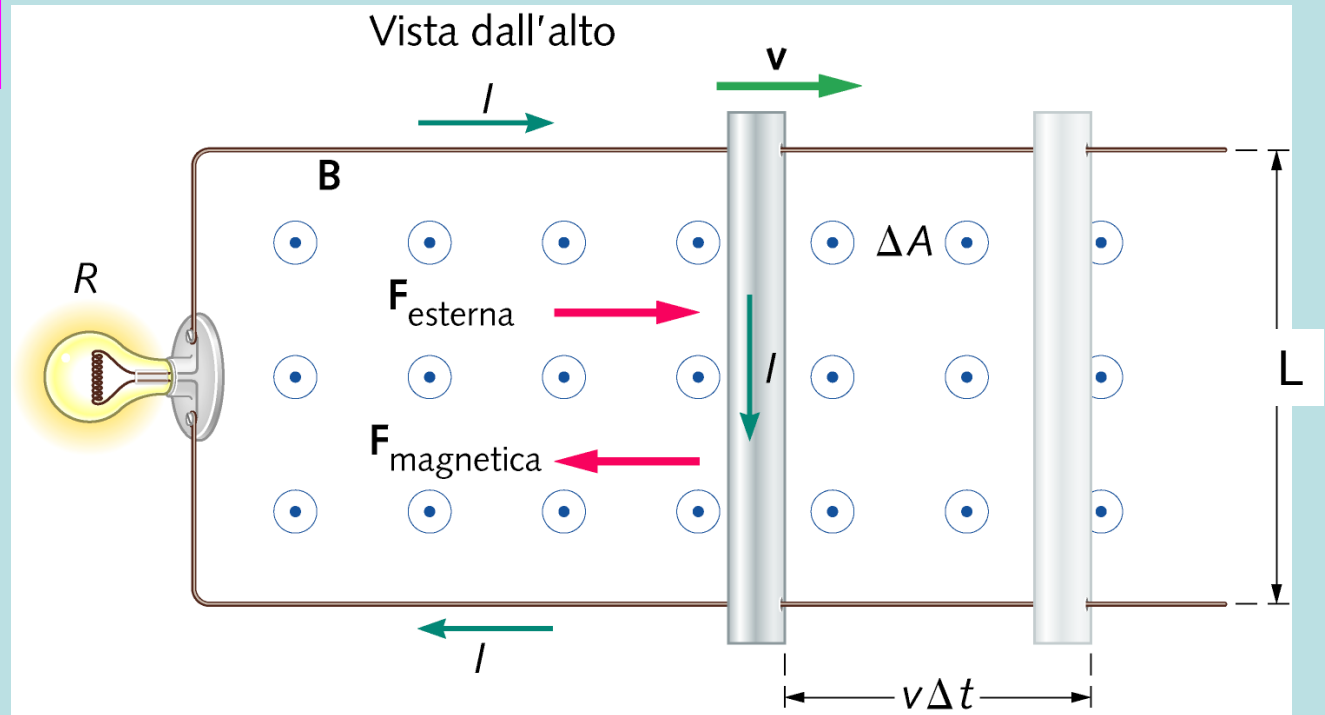


$$I_{\text{indotta}} = BLv / R$$

Lavoro meccanico e conversione in energia elettrica -trattazione quantitativa

$$I_{\text{indotta}} = BLv / R$$

$$F_{\text{magn}} = ILB$$
$$= (BLv/R)LB$$
$$= B^2vL^2/R$$



$$P_{\text{meccanica}} = F_{\text{esterna}} v = (B^2vL^2/R)v = (BLv)^2/R$$

$$P_{\text{elett}} = I^2R = (BLv)^2/R$$

Principio fondamentale per la
produzione di energia elettrica

Generatore elettrico

Energia meccanica
in entrata

Striscia metallica

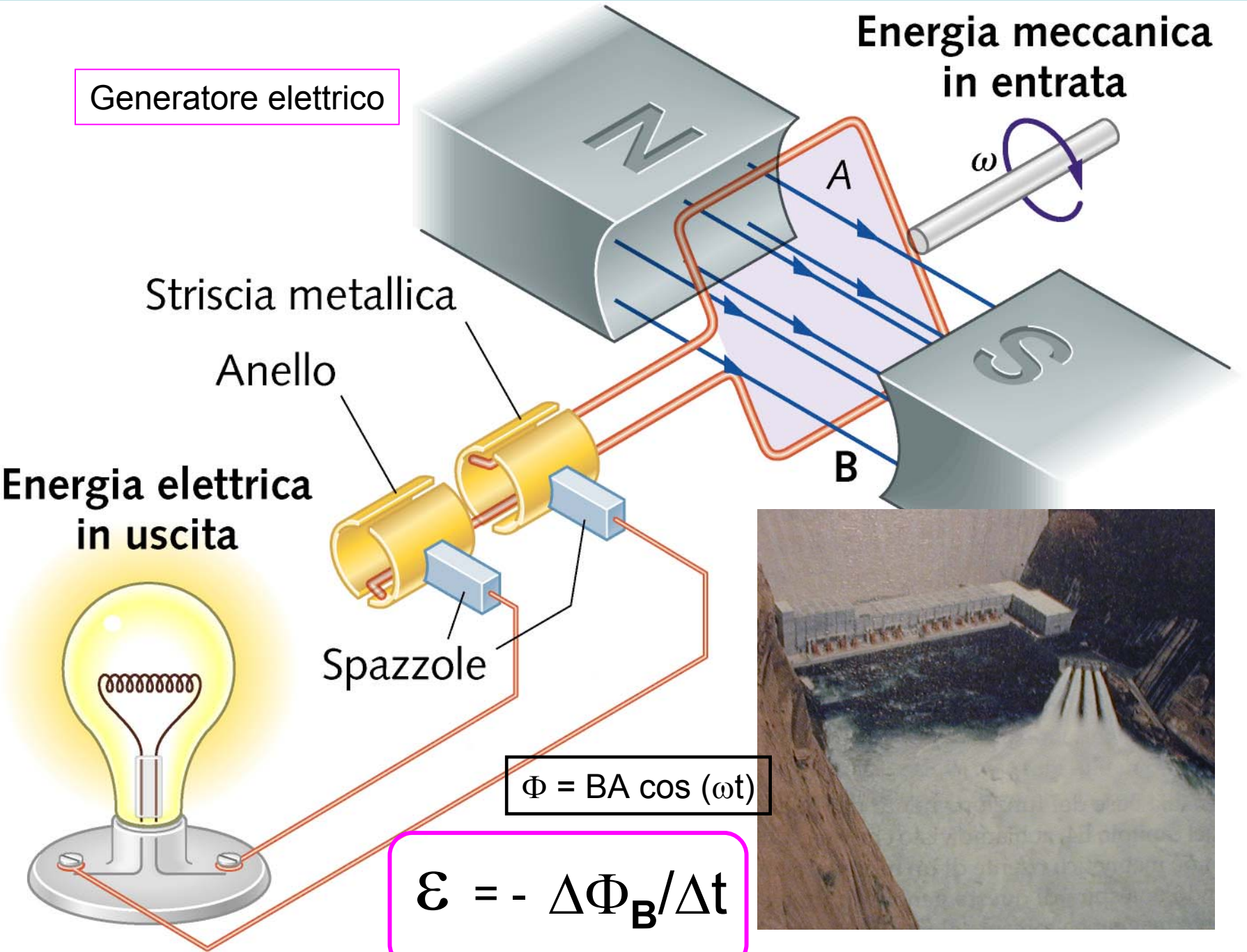
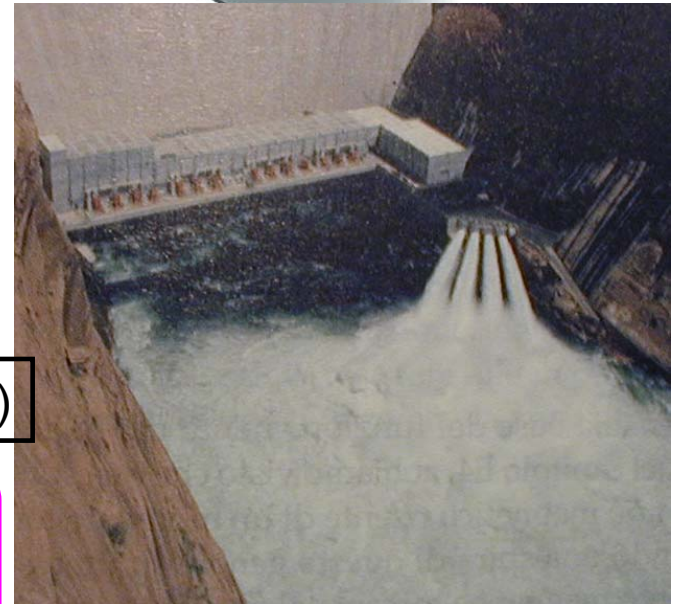
Anello

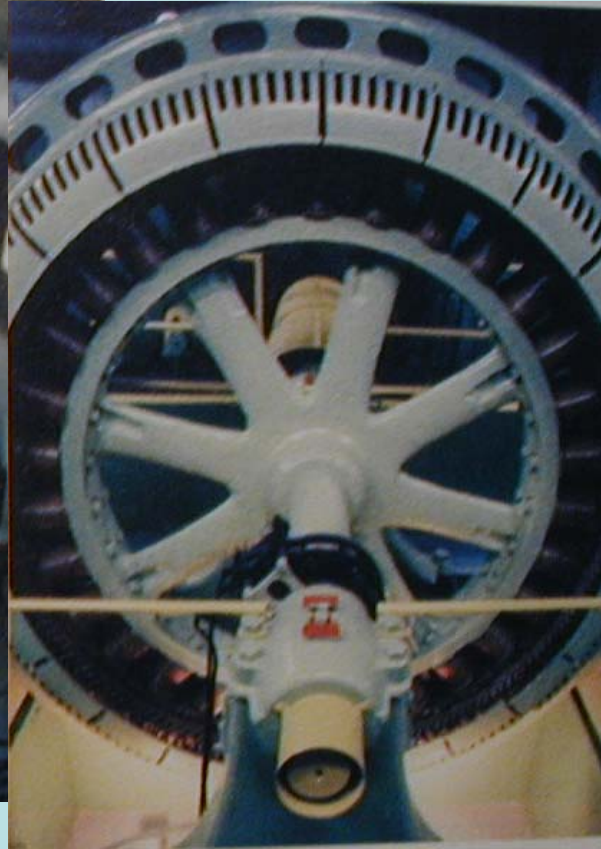
Energia elettrica
in uscita

Spazzole

$$\Phi = BA \cos(\omega t)$$

$$\mathcal{E} = - \Delta\Phi_B / \Delta t$$

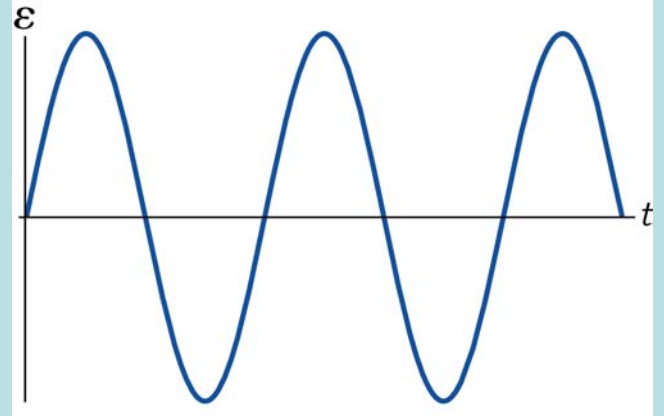


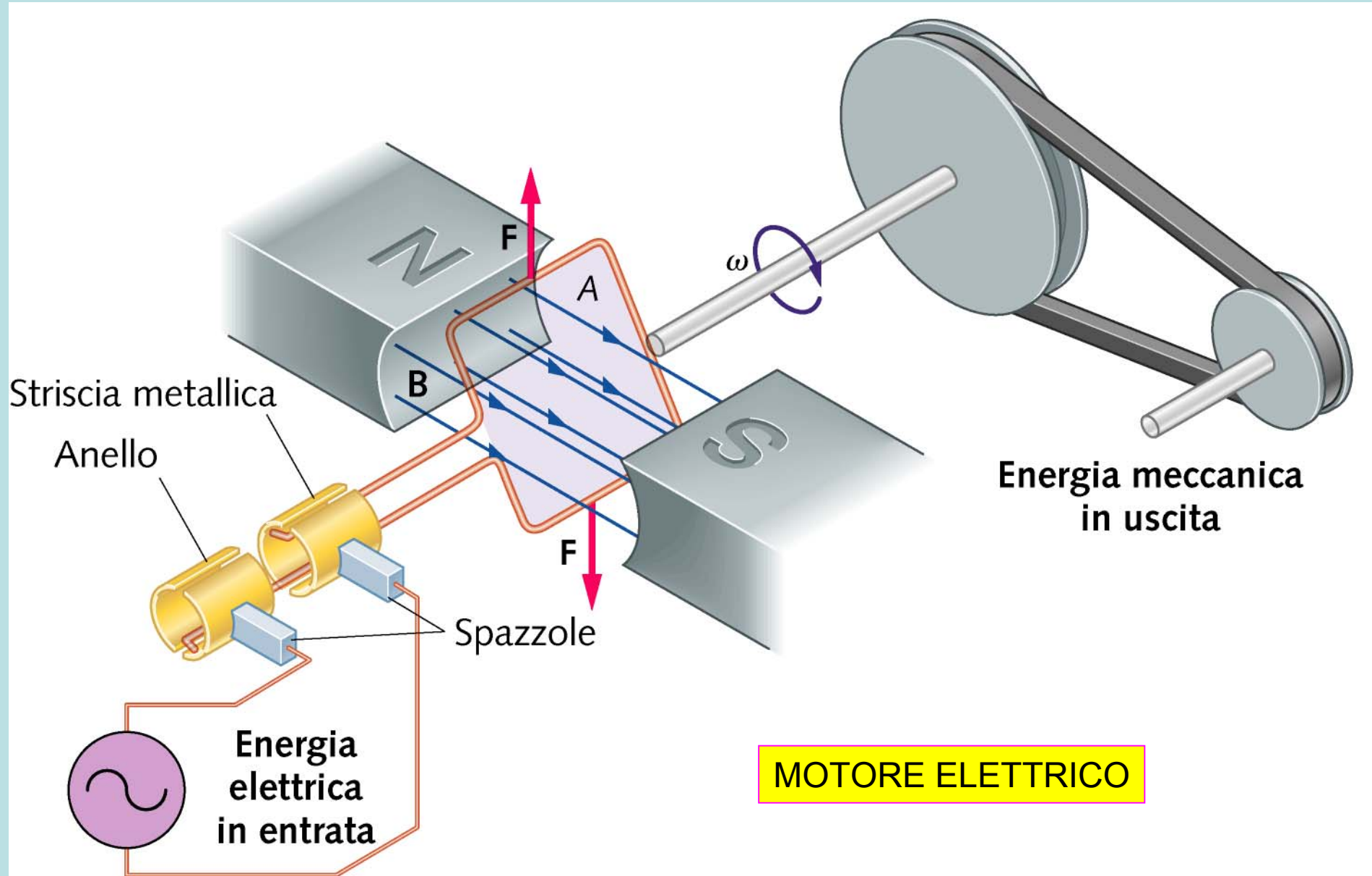


$$\mathcal{E} = - d\Phi/dt$$

$$\mathcal{E}(t) = BA\omega \sin (\omega t)$$

Generatore di corrente alternata





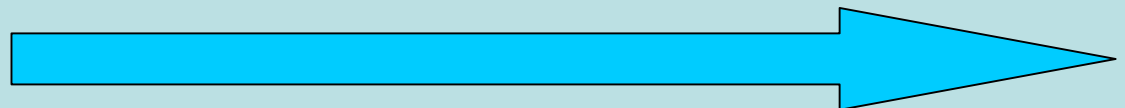
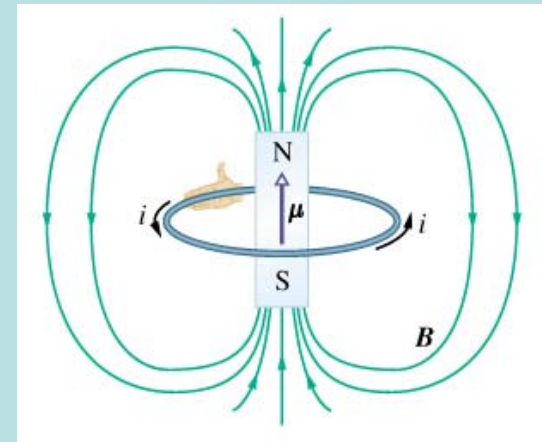
autoinduzione

Legge di Faraday
dell'induzione elettromagnetica

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi_S(\mathbf{B})}{\Delta t}$$

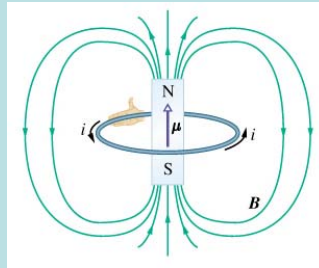
La fem indotta in una spira è uguale alla **variazione del flusso di \mathbf{B}** attraverso la spira diviso l'intervallo di tempo **Δt in cui avviene tale variazione** (mutua induzione)

Questo è vero anche quando \mathbf{B} è generato dalla corrente che circola nella spira stessa!
(**auto induzione**)



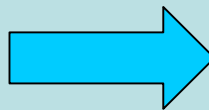
Chiudendo l'interruttore la corrente aumenta con il tempo ...

Il campo magnetico varia ...

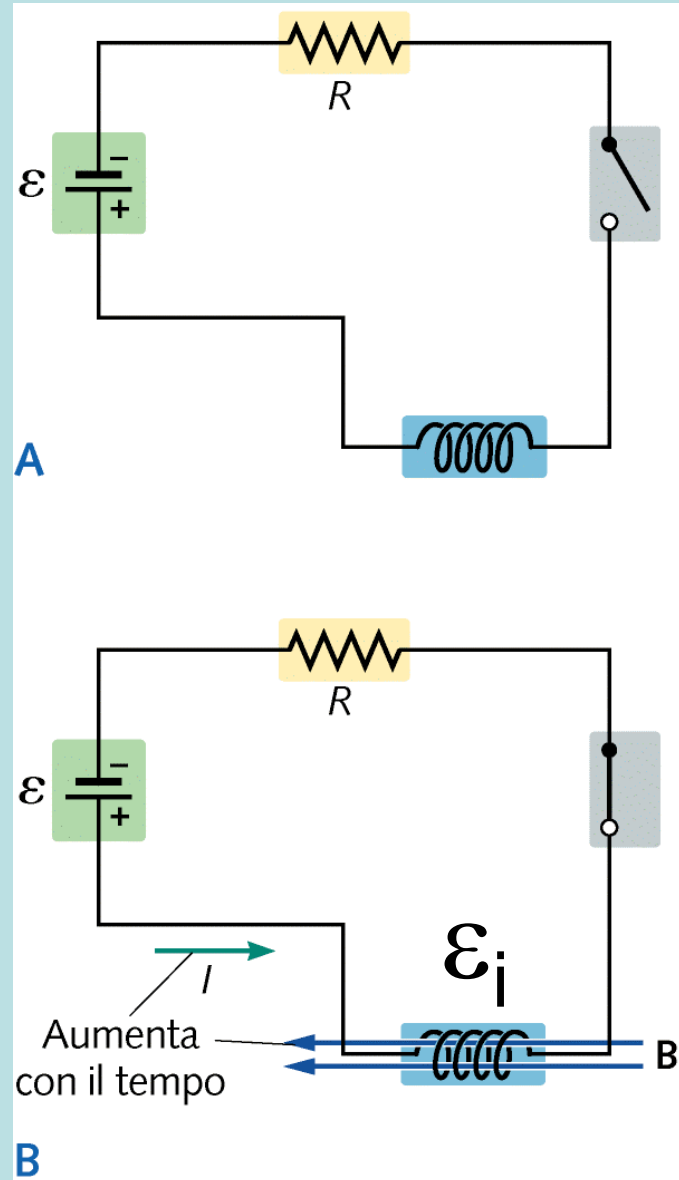


$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi_S(B)}{\Delta t}$$

... e viene prodotta una fem autoindotta

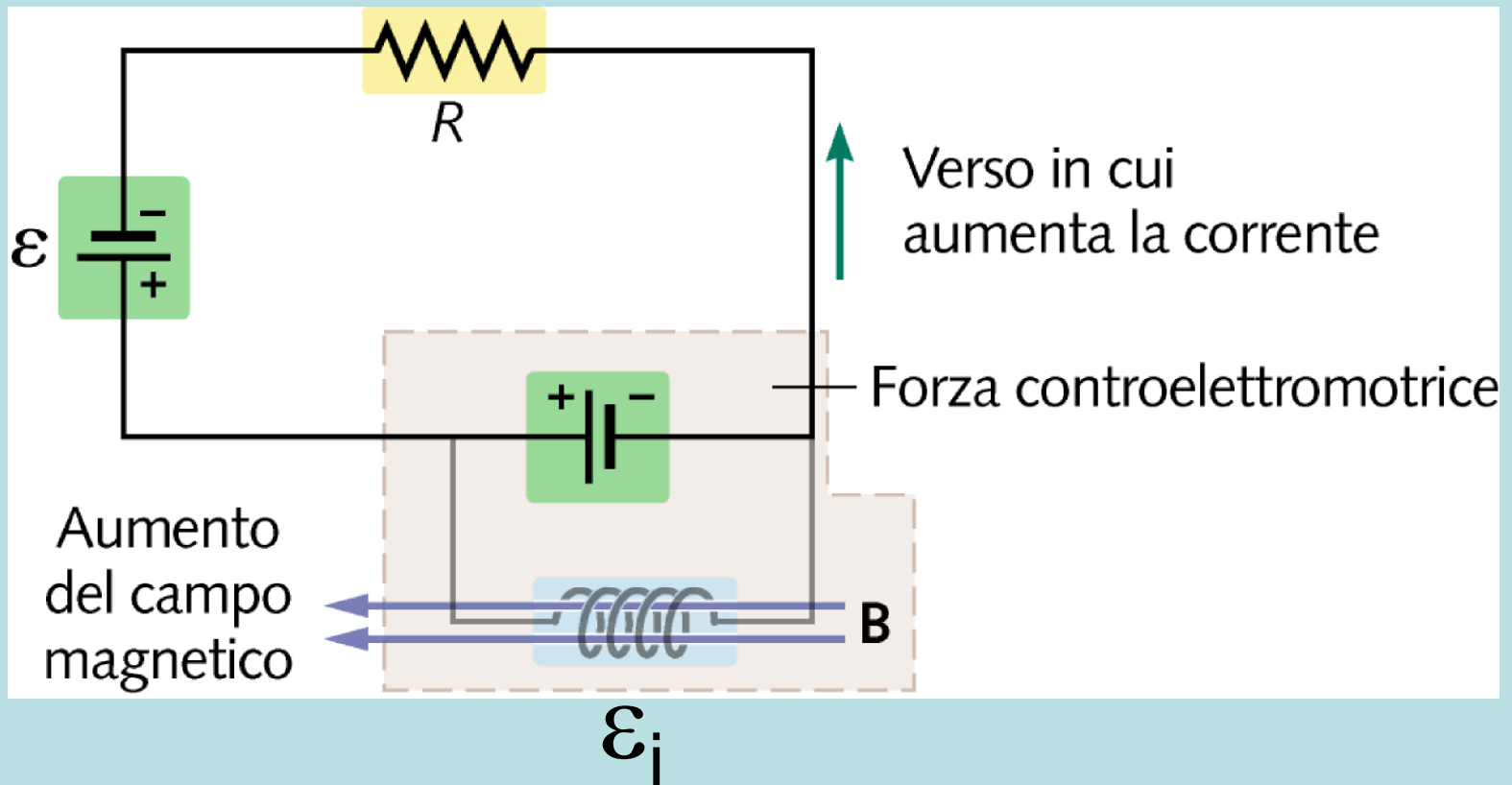


autoinduzione



Forza controelettromotrice

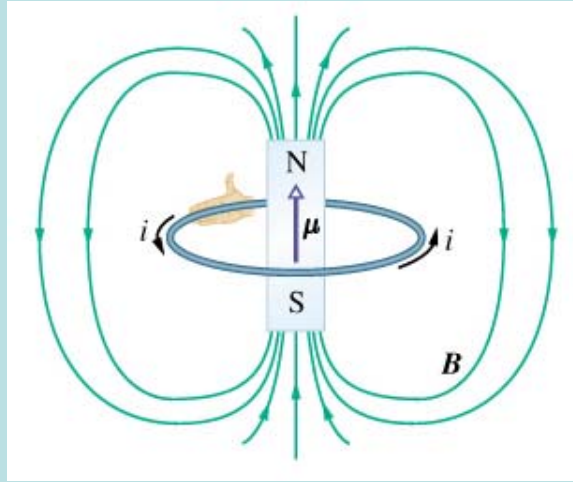
Per la legge di Lenz la fem autoindotta si oppone alla variazione di flusso che la ha creata ...



Induttanza

$$B \propto i$$

$$\Phi \propto i$$



$$L = \Phi/i$$

Nel S.I. l'unità di misura della induttanza è l'**Henry**
 $H = \text{volt sec} / \text{ampere}$

L'induttanza di un circuito elettrico dipende essenzialmente dalla sua geometria

ed è una sua proprietà caratteristica come la resistenza.

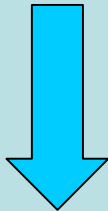
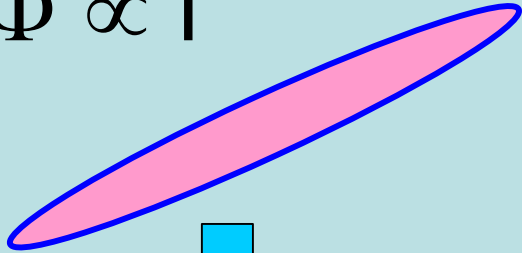
Utilizzando la definizione di induttanza la fem autoindotta si scrive:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi(B)}{\Delta t} = - L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Oppure in forma differenziale ... $\mathcal{E}_i = - L di/dt$

Induttanza di un solenoide di N spire di area A e lungo l

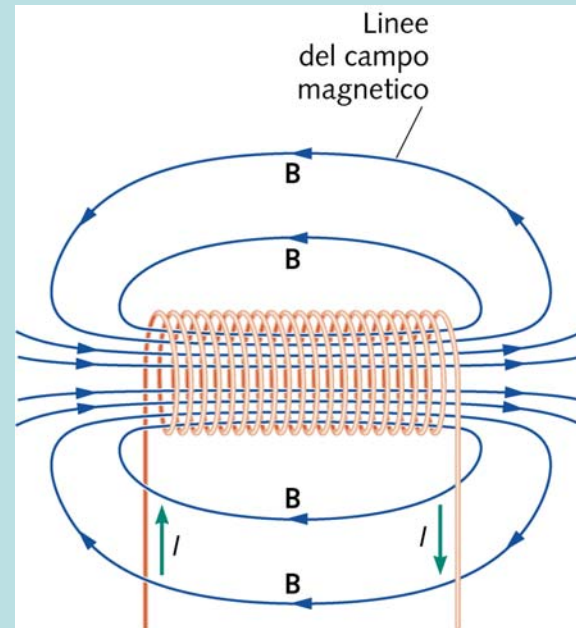
$$\Phi \propto i$$



$$L = \Phi/i$$

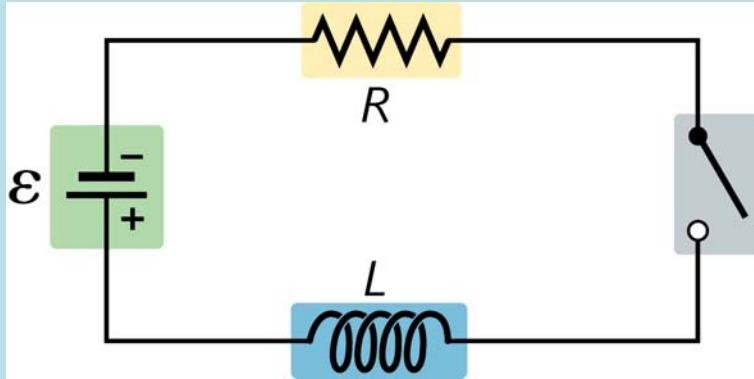
(per una spira)

Per N spire ...



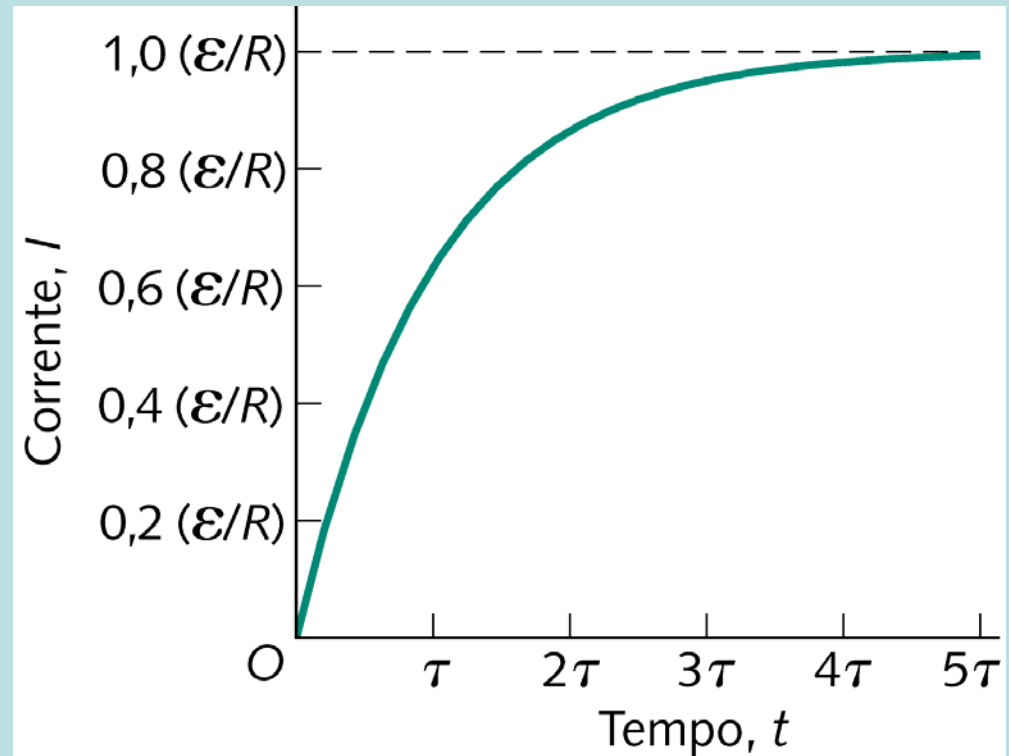
$$\begin{aligned} L &= N \Phi/i \\ &= N \mathbf{BA} 1/i \\ &= N \mu_0 n i A 1/i \\ &= \mu_0 n^2 A l \end{aligned}$$

Circuiti RL

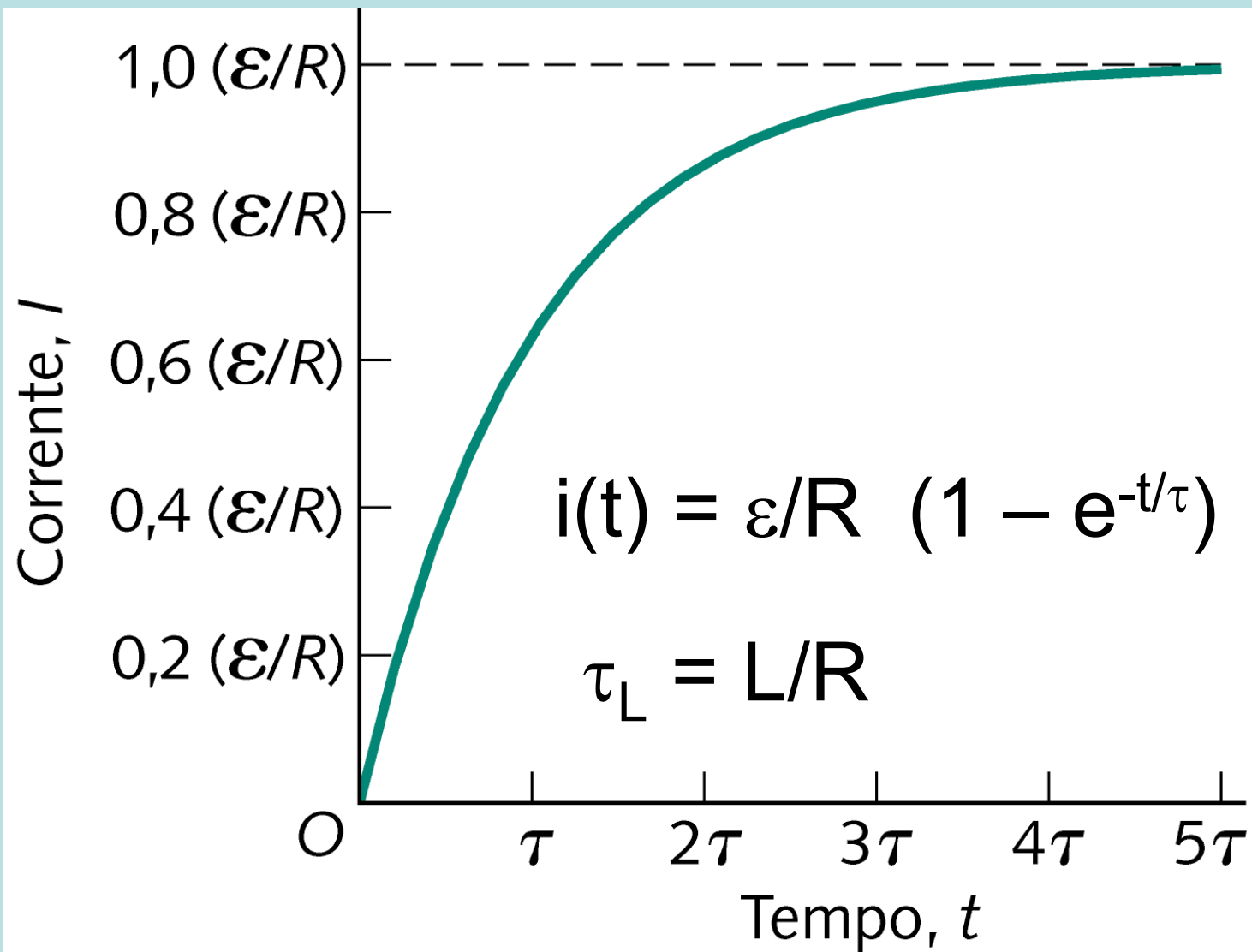


Chiudendo l'interruttore, per la Legge delle maglie si ha:

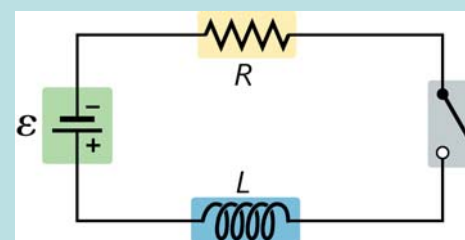
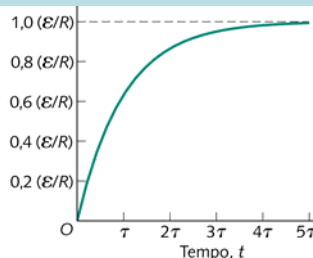
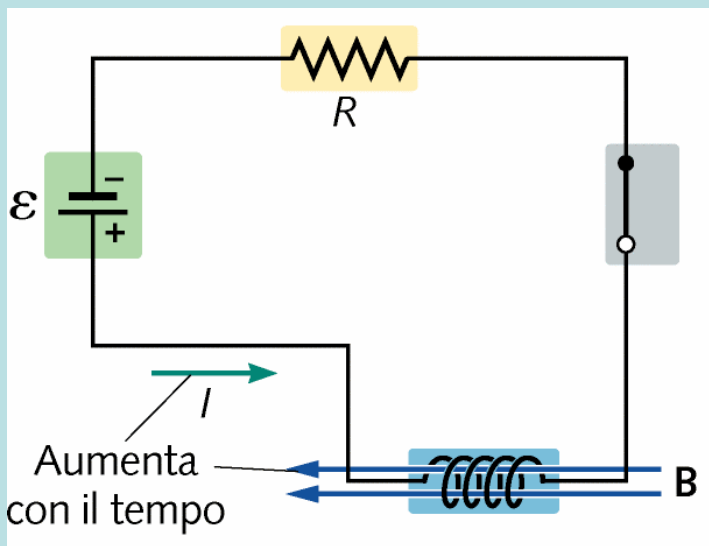
$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} - i R = 0$$



Sperimentalmente si osserva che la corrente non raggiunge subito il valore previsto dalla legge di ohm. Ciò è dovuto alla fem autoindotta...



Energia magnetica



$$\epsilon - L \left(\frac{di}{dt} \right) - i R = 0$$

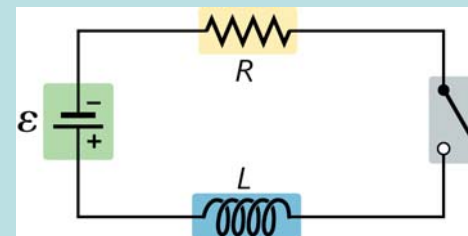
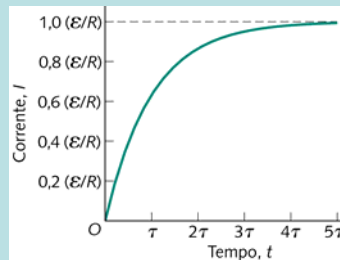
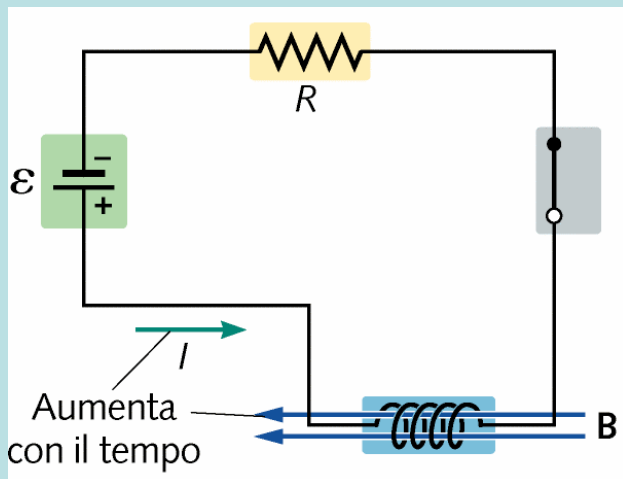
$$i \epsilon = L i \left(\frac{di}{dt} \right) + i^2 R$$

Potenza utilizzata per creare il campo magnetico

Energia necessaria per aumentare la corrente i di una quantità infinitesima di

$$dU_B = L i di$$

Energia magnetica

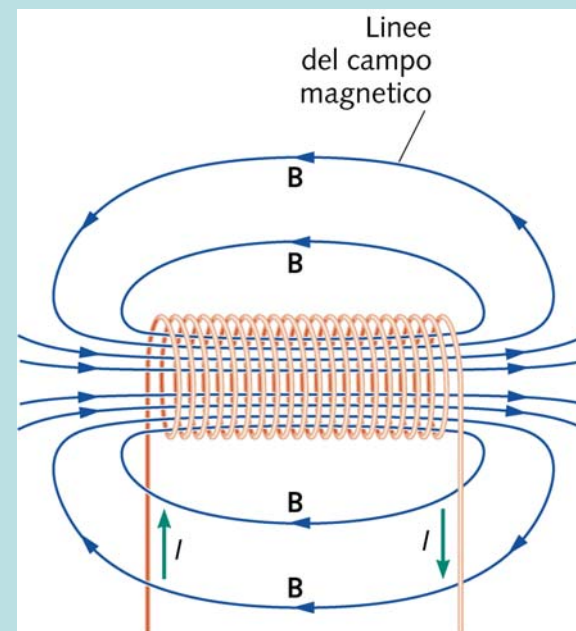


$$dU_B = L i di$$

Energia necessaria per aumentare la corrente i di una quantità infinitesima di

$$U_B = \int L_0 i di = \frac{1}{2} L i^2$$

Energia immagazzinata nel campo magnetico

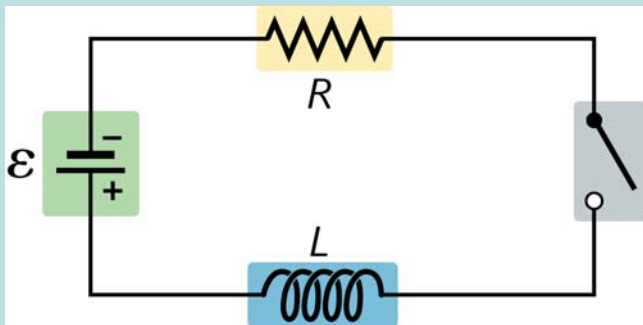


Oppure in modo meno rigoroso ma più intuitivo...

La fem necessaria per portare la corrente da 0 a I si scrive:

$$\varepsilon = L (\Delta i / \Delta t) \equiv L (I / T)$$

$$\begin{aligned} \text{con } \Delta i &= I - 0 \\ \Delta t &= T - 0 \end{aligned}$$



e la potenza media $P_m = I_m V$

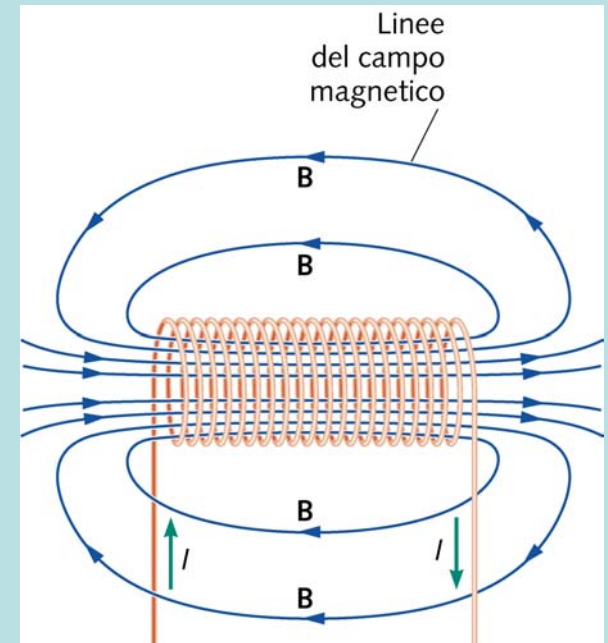
$$P_m = \frac{1}{2} I \varepsilon = \frac{1}{2} I L (I / T) \quad \text{con } I_m = \frac{1}{2} I$$

$$U_B = P_m T = \frac{1}{2} L I^2$$

densità di energia magnetica

Energia immagazzinata nel campo magnetico

$$U_B = \frac{1}{2} L i^2$$



Per un solenoide con N spire di area A e lungo l :

$$L = \mu_0 n^2 A l \quad \text{e} \quad B = \mu_0 n i$$

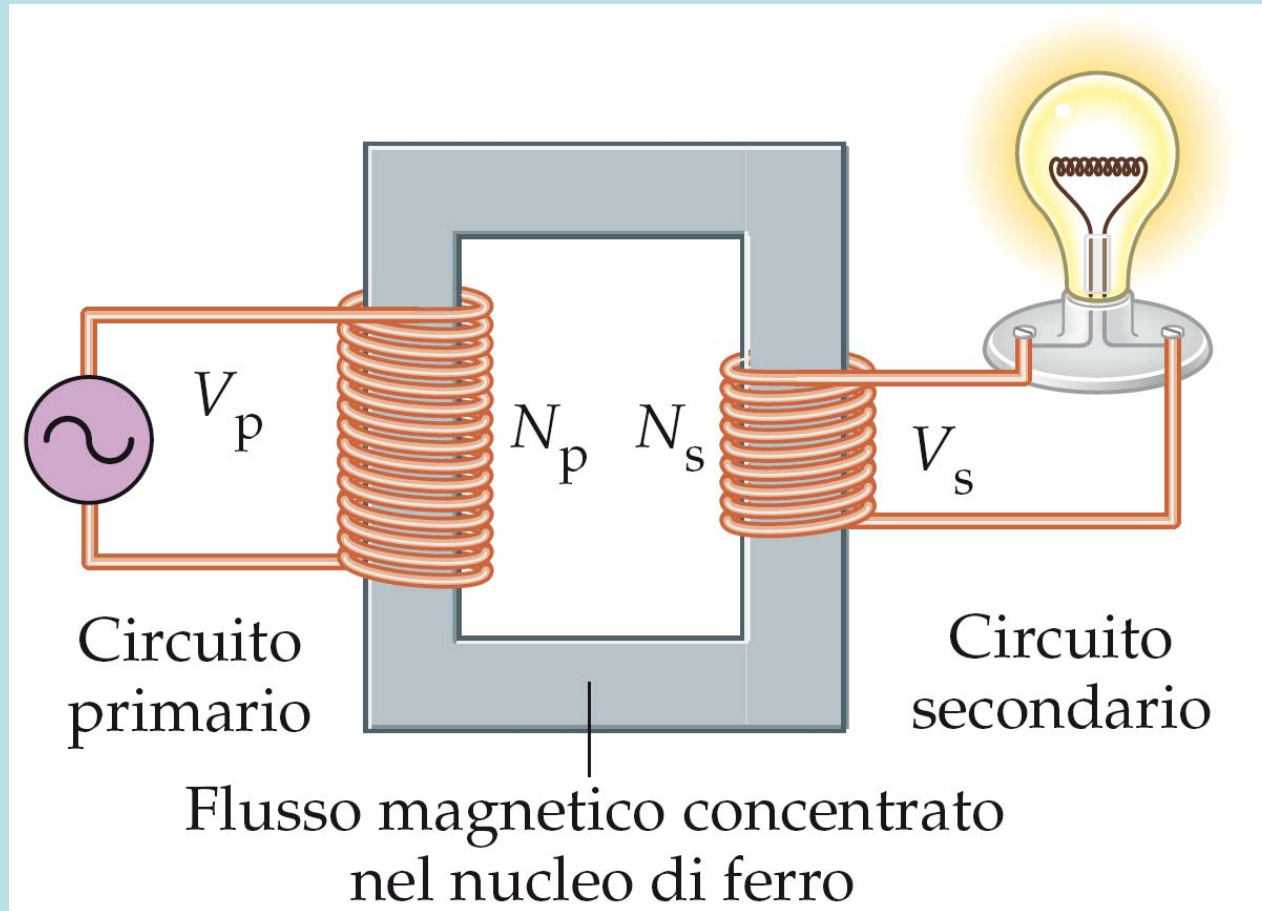
$$u_B = U_B / \text{Volume}$$

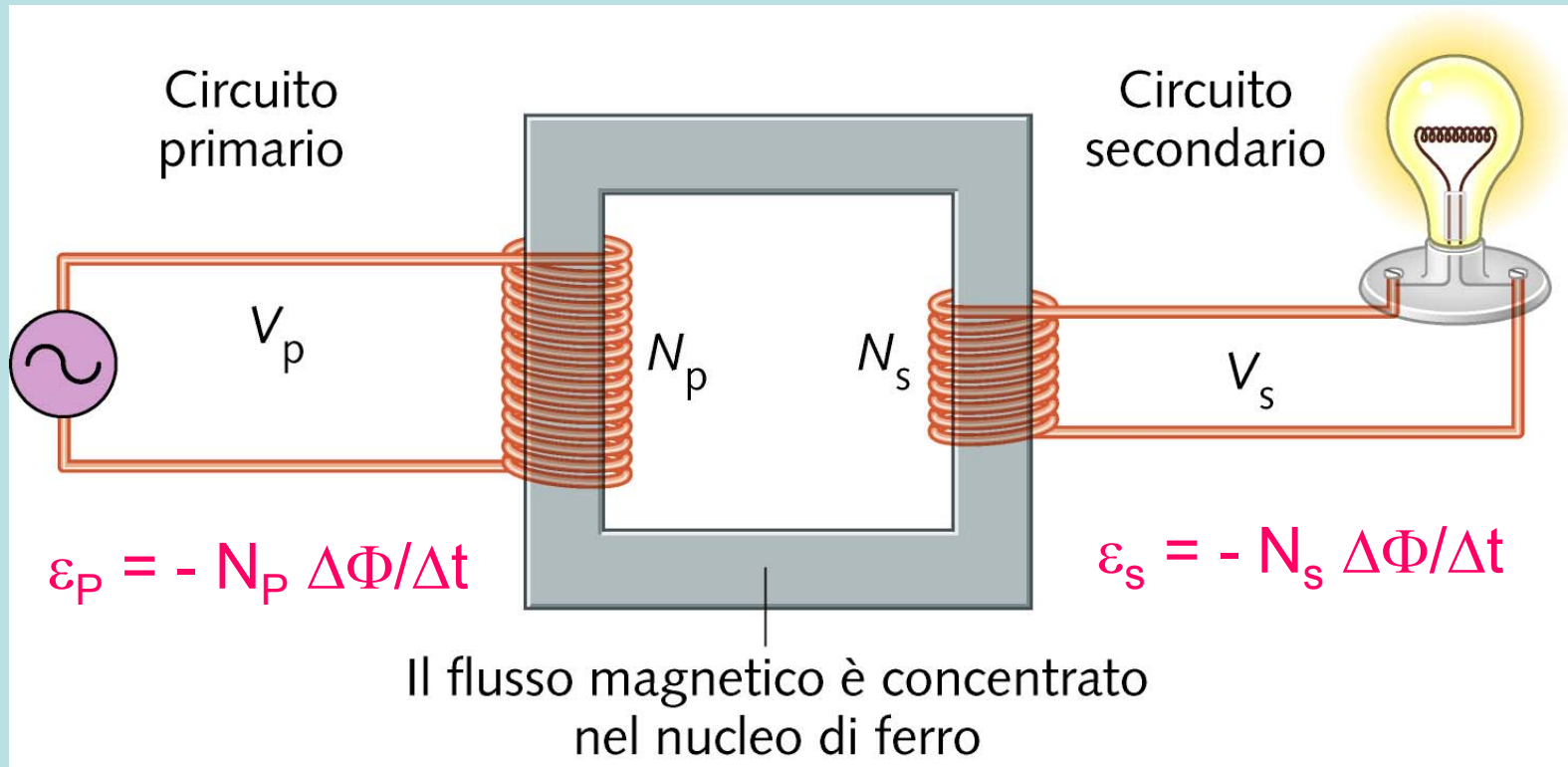
densità di energia magnetica

$$u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

I trasformatori

Si utilizza un trasformatore per modificare il valore della tensione associata a una corrente alternata

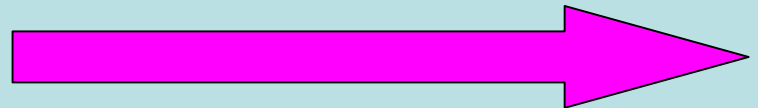




Il flusso di B attraverso ciascuna spira $\Delta\Phi/\Delta t$ delle due bobine è lo stesso

$$\epsilon_p / \epsilon_s = N_p / N_s$$

e se le resistenze sono trascurabili ...



dopo aver applicato la legge di Faraday a entrambe le bobine otteniamo

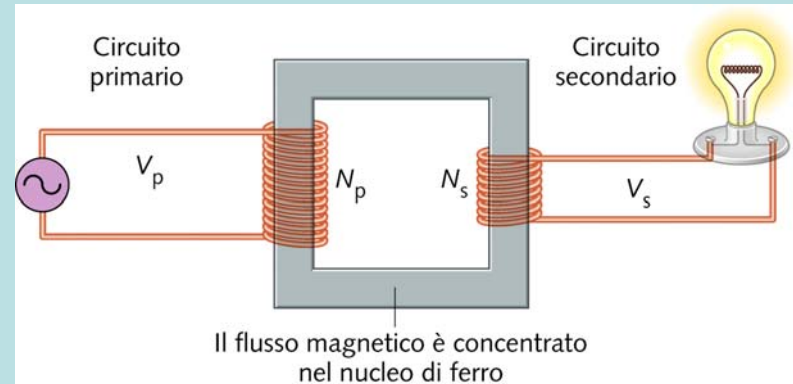
l'equazione del trasformatore

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

(p indica la bobina primaria, s la bobina secondaria)

$$V_P / V_S = N_P / N_S$$

$$V_S = (N_S / N_P) V_P$$



Per la conservazione della energia
la potenza media impegnata dal primario
deve essere uguale a quella del secondario:

$$I_P V_P = I_S V_S$$

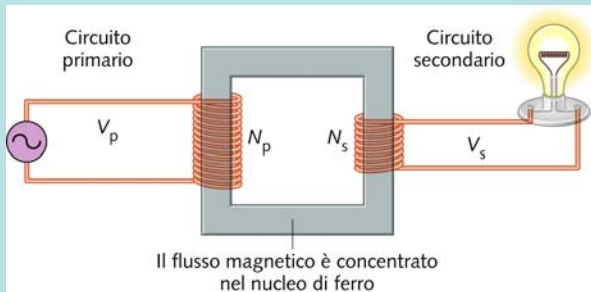
In entrambi i circuiti la potenza deve essere la stessa; perciò a una tensione inferiore corrisponde una corrente più elevata

Equazione del trasformatore (corrente e tensione)

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

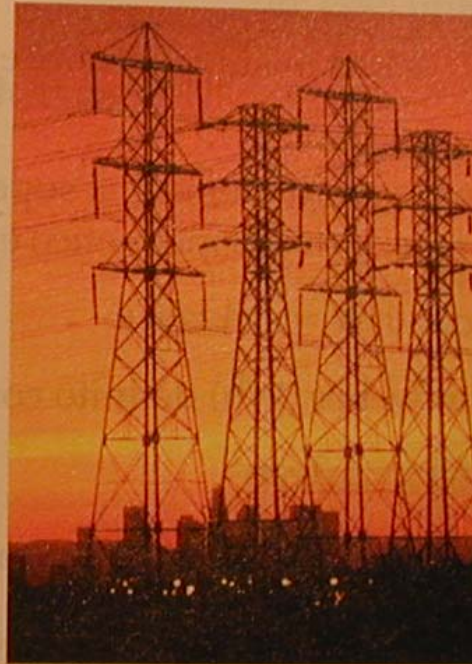
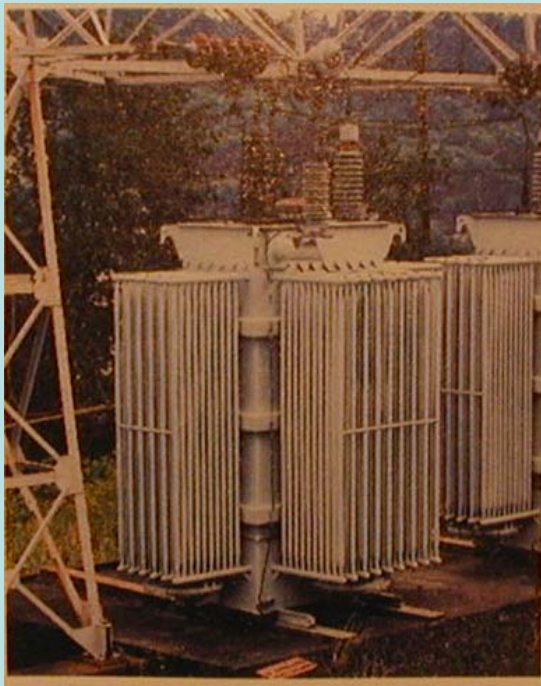
$$V_p / V_s = I_s / I_p$$

Trasporto di energia elettrica



Le perdite dovute ad effetto Joule vengono minimizzate trasferendo energia elettrica ad alta tensione e bassa intensità di corrente

$$P_{\text{JOULE}} = i^2 R$$



Il processo inverso favorisce poi la sicurezza dell'utilizzatore...