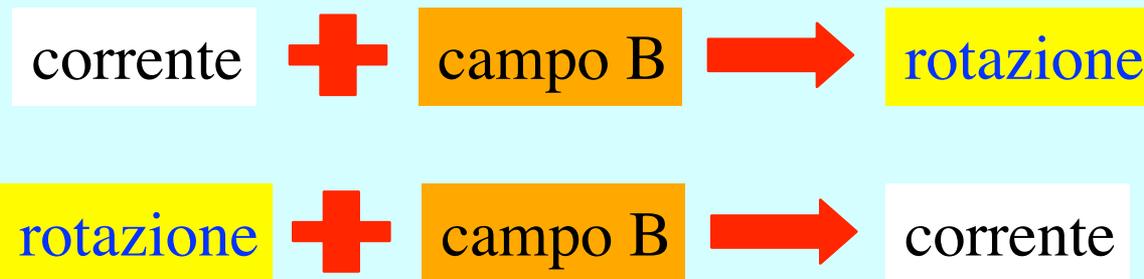


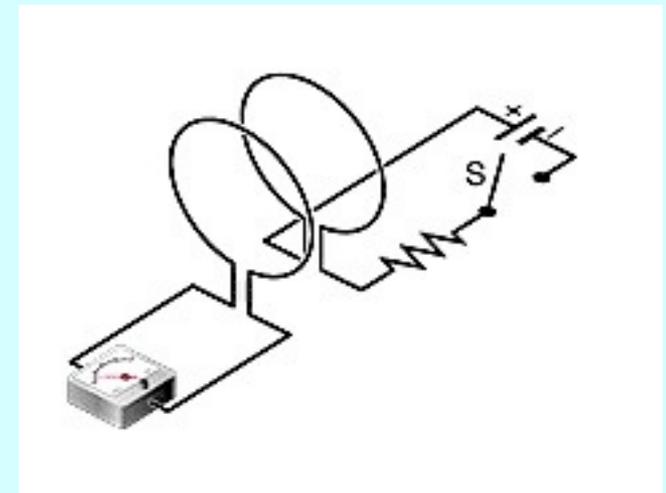
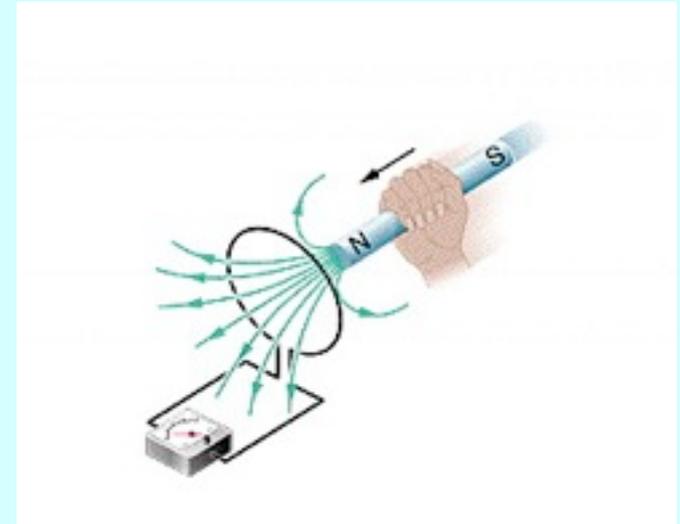
# Lezione 19 - Induzione elettromagnetica

- Una *spira percorsa da corrente* è equivalente ad un momento magnetico: se si pone questa spira in un campo magnetico esterno essa subisce un *momento torcente*
- Si verifica anche la situazione simmetrica: se una *spira immersa in un campo magnetico* esterno viene fatta *ruotare* a causa di un momento torcente, nella spira inizierà a *circolare una corrente*
- Il secondo fenomeno viene chiamato ***induzione elettromagnetica*** e la corrente generata viene chiamata ***corrente indotta***



# Variazioni di flusso

- Avvicinando ed allontanando la barretta magnetica dalla spira si nota sul galvanometro la comparsa di una corrente. La corrente cessa se spira e barretta sono ferme l'una rispetto all'altra
- Chiudendo l'interruttore, un transiente di corrente percorre uno dei circuiti: contemporaneamente appare una corrente nel secondo circuito. La corrente cessa finito il transiente



# Legge di induzione di Faraday

- La legge di induzione di Faraday permette di riassumere i fenomeni appena visti
- Essa lega le *correnti indotte* con le *variazioni di flusso* del campo magnetico attraverso la superficie racchiusa dalle spire stesse

$$\Phi_B = \int_{\text{sup } A} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

flusso del campo B attraverso la superficie A  
(unità di misura di  $\Phi$ : 1 weber = 1 T·m<sup>2</sup>)

$$\mathcal{E}_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Legge di Faraday: la f.e.m. indotta su una spira è uguale all'opposto della derivata temporale del flusso magnetico

# Flusso concatenato

- Se la spira è fatta di più avvolgimenti (in numero di  $N$ ) si parla di *flusso concatenato* e si ha

$$\mathcal{E}_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

- Alcuni modi per variare il flusso e generare una f.e.m.
  - variare l'intensità di B
  - deformare le spire o spostarle rispetto al campo
  - variare l'angolo tra B ed il vettore che rappresenta la superficie attraverso la quale si calcola il flusso (ad esempio ruotando la spira)

# Legge di Lenz

- Per trovare la direzione della f.e.m. indotta si può applicare la *legge di Lenz*:
  - la corrente indotta in una spira ha verso tale che il campo magnetico da lei stessa generato si oppone alla variazione di flusso
- Quando si avvicina la barretta il campo magnetico (e quindi il flusso) attraverso la spira aumenta inducendo una corrente
- La corrente indotta ha verso tale da generare un campo magnetico *opposto* a quello della barretta

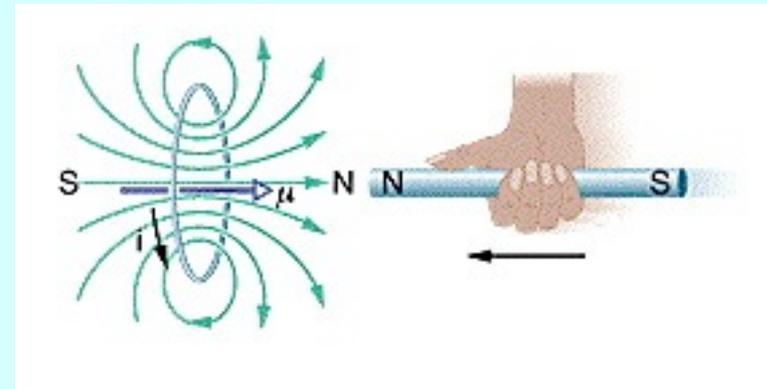


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

# Legge di Lenz II

- la barretta si *avvicina* alla spira con il suo *polo Nord*: il flusso aumenta e quindi  $i$  circola in modo da opporsi con  $B_i$  a questo aumento
- la barretta si *allontana* con il *polo N* verso la spira:  $i$  inverte la sua direzione
- la barretta si avvicina con il Polo Sud verso la barretta: il flusso aumenta ed  $i$  circola in modo da opporsi (si noti che  $B$  è opposto al caso a)
- la barretta si allontana con il Polo S verso la barretta:  $i$  inverte la sua direzione rispetto al caso c)

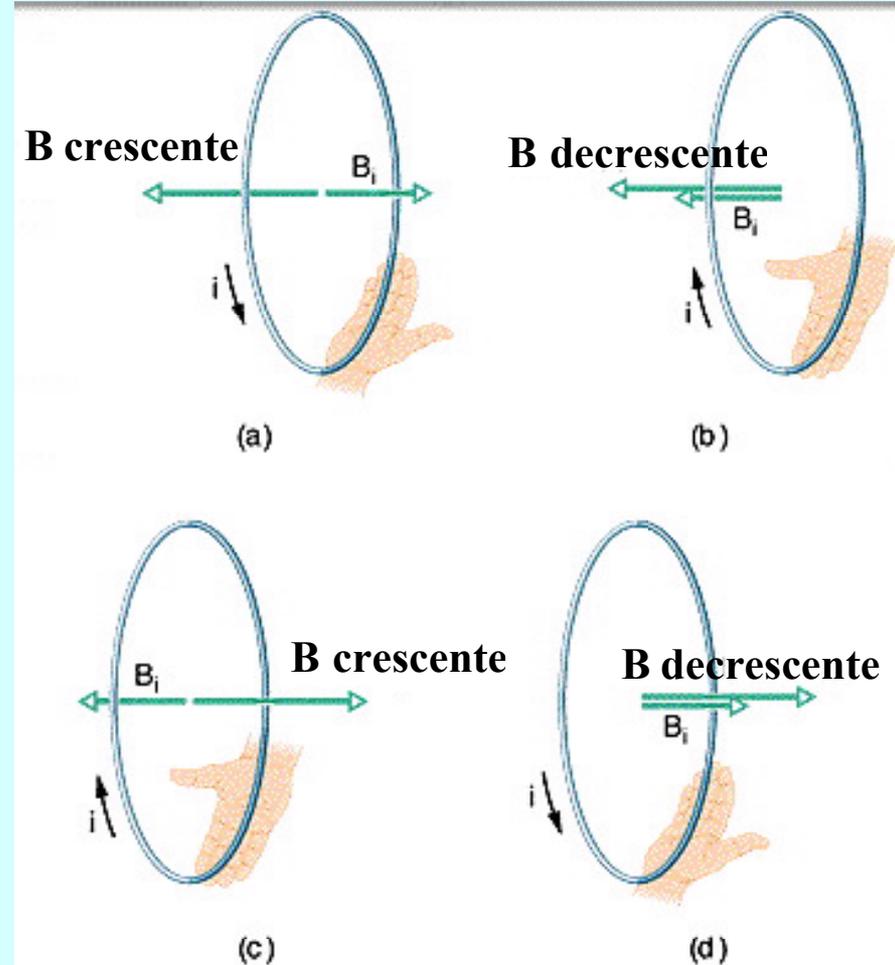


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

# Corrente indotta ed energia in un circuito

illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

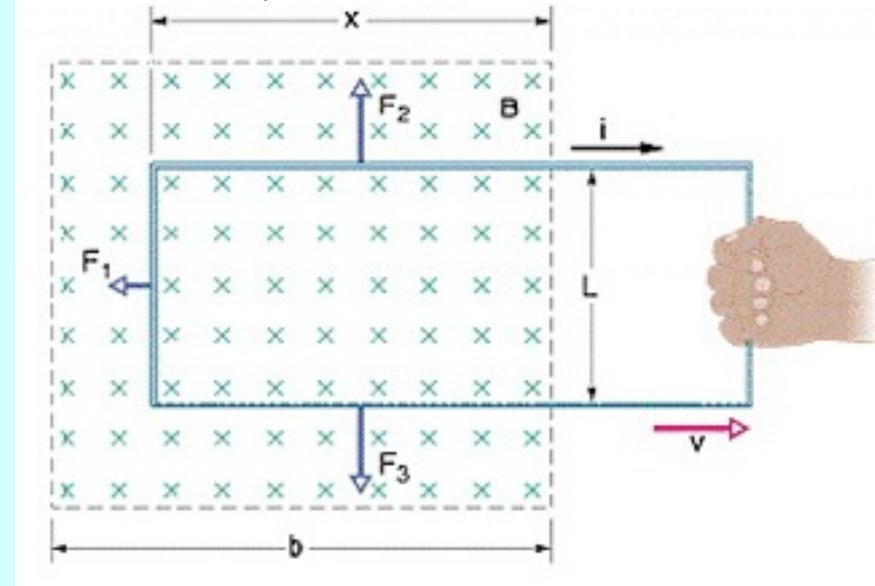
Il flusso di  $B$  attraverso il circuito in figura vale  $\Phi = BLx$

Per cui si ha

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} BLx = BL \frac{dx}{dt} = BLv$$

e quindi la f.e.m. indotta è

$$\mathcal{E} = -BLv$$



circuito tirato con velocità  $v$  attraverso un campo  $B$  uniforme

La corrente  $i$  che circola nella spira dovuta della f.e.m. indotta *dissiperà energia per effetto Joule* a causa della resistenza  $R$  del circuito stesso:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{BLv}{R}$$



$$P_{diss} = i^2 R = \left( \frac{BLv}{R} \right)^2 R = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$$

# Correnti di Foucault

- A causa dell'induzione, quando un pezzo di materiale conduttore si muove immerso in un campo magnetico si generano al suo interno delle correnti
- Queste correnti, dette di Foucault, o anche *parassite*, causano dissipazione di energia che deve essere rimpiazzata dall'esterno

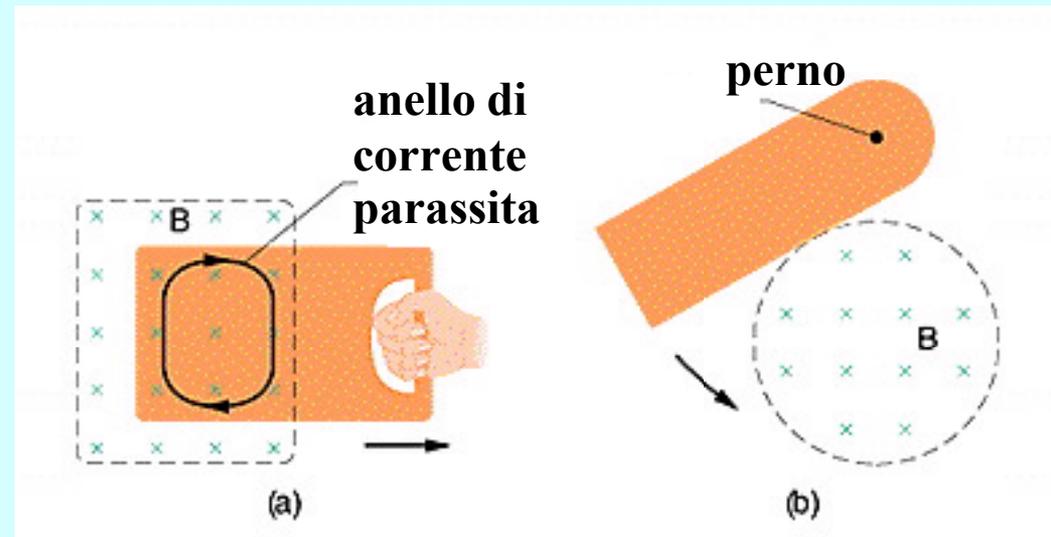


illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano

# Campi elettrici indotti

- Possiamo guardare il fenomeno dell'induzione di una corrente sotto un altro punto di vista:
  - se in un conduttore circola una corrente indotta, allora è chiaro che ci deve essere un campo elettrico che muova le cariche
  - questo *campo elettrico indotto esiste* ed è altrettanto reale quanto i campi generati da cariche statiche
- Concludiamo quindi che un campo magnetico variabile genera un campo elettrico
- Quanto appena detto è una riformulazione della legge dell'induzione di Faraday

# Campo elettrico indotto II

- a) un campo  $\mathbf{B}$  variabile induce una fem  $\mathcal{E}$  e quindi una corrente  $i$  nell'anello
- b) il campo elettrico indotto  $\mathbf{E}$  è diretto come in figura e per muovere una carica  $q$  lungo l'anello compie un lavoro

$$L = \mathcal{E}q$$

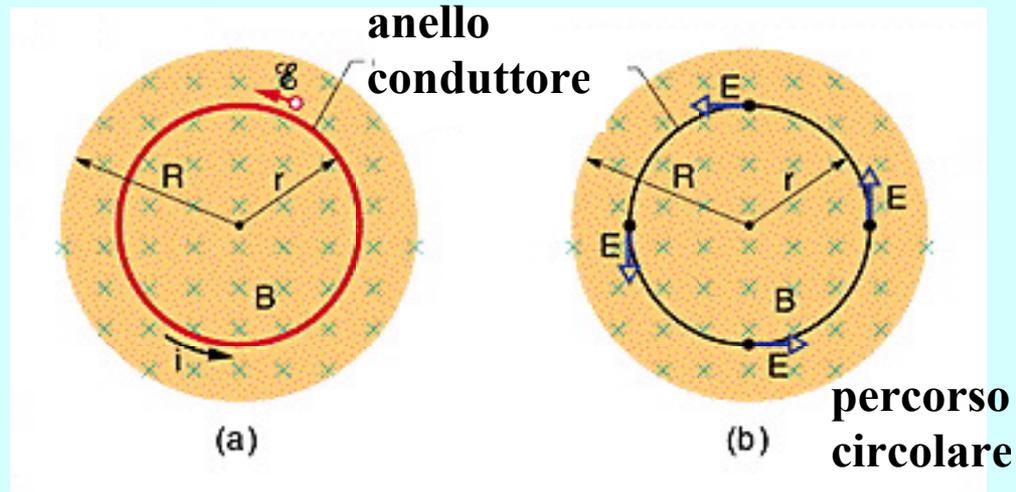
Il lavoro compiuto da  $\mathbf{E}$  è anche

$$L = \oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = qE2\pi r$$

Si conclude allora che  $\mathcal{E} = 2\pi rE$

e si **riformula così la legge dell'induzione di Faraday**

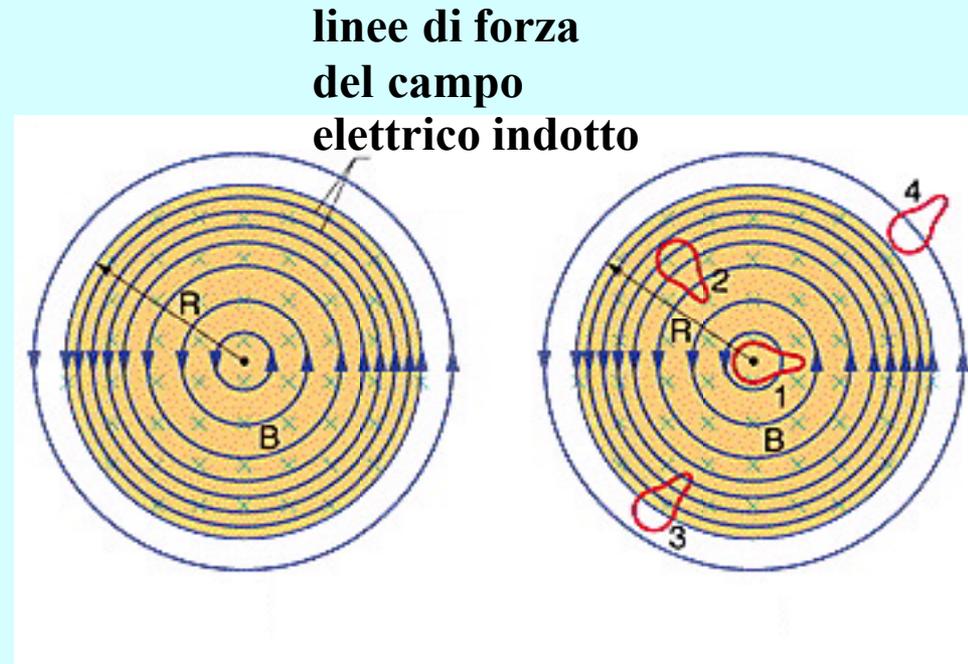
$$\mathcal{E} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$



# Considerazioni sul potenziale

- Osserviamo innanzitutto che il campo elettrico indotto deve esistere anche in assenza dell'anello di rame
- Questo campo elettrico tuttavia è diverso da quelli generati da cariche statiche sotto un importante aspetto: l'integrale del campo elettrico indotto lungo una linea chiusa non è nullo, bensì pari alla f.e.m.

$$\mathcal{E} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$



- Non ha senso quindi parlare di potenziale elettrico in relazione ai campi elettrici indotti

# Induttanza

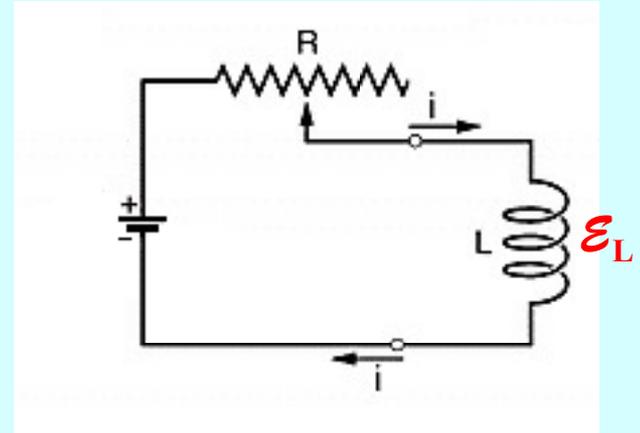
- Un dispositivo usato per produrre un campo magnetico (ad esempio un solenoide) noto in una certa regione di spazio può essere chiamato **induttore** (analogia con il condensatore nel caso del campo elettrico)
- Dato allora un certo dispositivo si definisce la sua induttanza  $L$  che, come la capacità, è una quantità che dipende solo dalle caratteristiche dell'induttore stesso

$$L = \frac{N\Phi}{i}$$

unità di misura dell'induttanza: 1 Henry = 1 H = 1 T·m<sup>2</sup>/A

# Autoinduzione

- Se in una bobina si fa passare una corrente variabile, il flusso magnetico varia e quindi si genera una f.e.m. ai capi della bobina
- Questa f.e.m. si dice autoindotta ed è legata all'induttanza della bobina stessa



$$L = \frac{N\Phi}{i}$$

$$Li = N\Phi$$

$$\mathcal{E}_L = -\frac{d(N\Phi)}{dt}$$

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{di}{dt}$$

f.e.m. autoindotta