

Flusso concatenato → consideriamo un campo magnetico omogeneo di induzione costante  $B$  ed una superficie piana di area  $S$  orientata rispetto al campo in modo tale che la normale  $N$  alla superficie formi un angolo  $\alpha$  con la direzione del campo; si chiama "flusso del vettore induzione magnetica attraverso la superficie  $S$ " la grandezza

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad [W] \rightarrow \text{flusso magnetico}$$

Se poi la superficie  $S$  è delimitata dal perimetro del circuito elettrico, si parla di flusso concatenato con il circuito

Consideriamo ora una bobina ad  $N$  spire in cui scorre corrente  $i$  e produce un certo flusso  $\Phi$

↳ il flusso delle singole spire passa attraverso tutte le altre  $\Rightarrow N \cdot \Phi$

Definiamo INDUTTANZA come il rapporto tra il flusso concatenato e la corrente che lo produce

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{i} \quad [H] = \left[ \frac{Wb}{A} \right]$$

lo stesso flusso passa attraverso tutte le  $N$ -spire

L'induttanza  $L$ , assieme alla resistenza  $R$  e la capacità  $C$  saranno grandezze fondamentali per lo studio di fenomeni elettromagnetici

Consideriamo ora un CAVO COASSIALE sappiamo che  $\Phi = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot d}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$

e quindi avremo che  $L = \frac{\mu_0 \cdot d}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$

Invece per un solenoide sappiamo che  $L = \frac{N \cdot \Phi}{i} = N \cdot \mu_0 \cdot n \pi R^2 = \mu_0 \cdot n^2 S d$   
con  $S = \pi R^2$  superficie  $n = \frac{N}{d}$

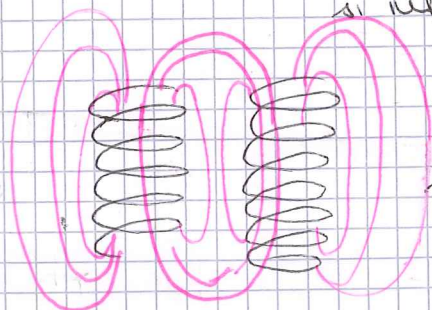
mentre l'energia che viene immagazzinata in un solenoide in cui è:

$$W_H = \frac{1}{2} \int_{\text{volume}} \mu_0 \cdot H^2 dV = \frac{1}{2} \mu_0 (nI)^2 S d = \frac{1}{2} \frac{\Phi^2}{L}$$

L'INDUTTANZA sostanzialmente indica l'energia accumulata

Mutua induttanza → fenomeno alla base delle macchine elettriche.

Consideriamo due bobine messe vicine tra loro che si influenzano a vicenda



linee di → si influenzano l'un l'altro.  
flusso



Entrambe producono un campo magnetico, uno che influenza sull'altro  
 Arrevo la MUTUA INDUTANZA definita come:

$$M_{12} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{12}}{i_1}$$

dove  $\Phi_{12}$  è il flusso prodotto da  $i_1$  che si calcola con le spire percorse dalla corrente  $i_2$  e  $N_2$  è il numero delle spire del circuito 2.

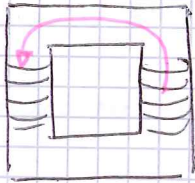
Analogamente per l'altra bobina si avrà:

$$M_{21} = \frac{N_1 \cdot \Phi_{21}}{i_2}$$

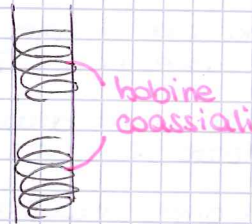
$$\text{e } \boxed{M_{12} = M_{21}}$$

Se una ha flusso nullo, l'altra bobina avrà mutua induttanza infinito.

TRASFORMATORE = trasforma la tensione e funziona con i principi di mutua induttanza



Flusso prodotto

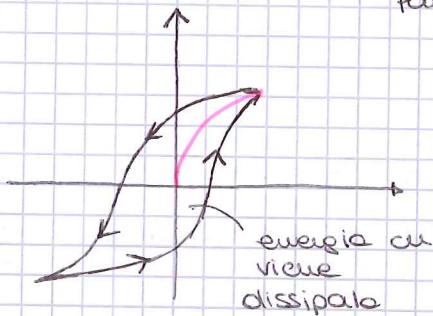


Tutto dipende da come sono avvolte le bobine (dalle al verso della corrente):

- se i flussi si sommano il segno è POSITIVO
- se i flussi si sottraggono il segno è NEGATIVO

CICLO di ISTERESI

→ risultato cui si ottiene nel momento in cui si cerca di magnetizzare un metallo  
 Parte del lavoro viene dissipato sotto forma di calore  
 ↓ (attenzione al possibile SURRISCALDAMENTO)



Voglio quindi avere un'area più piccola, non molto più facile magnetizzare e smagnetizzare il filo di ferro

Sappiamo che la densità di energia immagazzinata è:

$$W_H = \frac{1}{2} B \cdot H$$

$$\text{dove } B = \mu(H) \cdot H$$

La densità di energia dissipata in un ciclo di isteresi è quindi:

$$W_d = \oint_{\text{ciclo}} dW_H = \frac{1}{2} \oint_C B dH + \frac{1}{2} \oint_C H dB = \text{Area del ciclo (quadrato)}$$



## CAMPI VARIABILI nel TEMPO

Sappiamo che un campo elettrico produce un campo magnetico MA vale anche il viceversa

↳ in particolare un campo magnetico VARIABILE può produrre un campo elettrico

Legge di Faraday:  $\text{fem} = -\frac{d\Phi}{dt}$  [V] volt

forza elettromotrice

↳ tensione che si produce nel conduttore

Ma affinché ciò valga il circuito deve essere CHIUSO (anche se non necessariamente formato da un conduttore continuo)

Il segno negativo  $\ominus$  indica che la fem tende sempre ad opporsi alla causa che l'ha generata → LEGGE di LENZ

La forza elettromotrice può generarsi da 3 situazioni diverse:

1. Il campo magnetico varia all'interno di una spira fissa
2. Il campo magnetico è fisso, varia la sezione della spira
3. Variano sia il campo magnetico che l'area della spira

Se il percorso è un solenoide chiuso  $\text{fem} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$

dove  $\oint$  dipende dal percorso CHIUSO

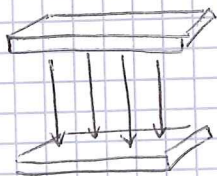
La DIFFERENZA di POTENZIALE non dipende dal percorso in un campo elettrostatico, in un campo variabile invece dipende dal percorso: la forza elettromotrice viene allora chiamata TENSIONE (quella usata nelle reti reali)

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$$

## CORRENTE di SPOSTAMENTO

Un condensatore alimentato con tensione continua è equivalente a un circuito aperto

↳ Deve esserci una corrente che possa chiudere il circuito e' la CORRENTE di SPOSTAMENTO e si la ad' aggiungere alla corrente di conduzione normale



$$j_d = \frac{\partial D}{\partial t}$$

CORRENTE di SPOSTAMENTO

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + I_d = I + \int_S \frac{\partial D}{\partial t} ds$$

$$\text{con } D = \epsilon \left( \frac{V}{d} \right)$$

$$I_d = \int_S j_d ds = \int_S \frac{\partial D}{\partial t} ds = C \cdot \frac{dV}{dt} \quad \left. \vphantom{\int_S} \right\} \text{ varia la tensione nell'intervallo di tempo.}$$



## EQUAZIONI di MAXWELL

Nel 1873 Maxwell riunì in un sistema di equazioni le 4 EQUAZIONI fondamentali che descrivono un sistema elettromagnetico

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = \int_{vol} \rho \, dv \\ \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0 \\ \oint_E \mathbf{E} \, d\mathbf{L} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \, d\mathbf{s} \\ \oint_L \mathbf{H} \, d\mathbf{L} = I + \int_S \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \, d\mathbf{s} \end{array} \right.$$

$$\text{dove } \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad \text{e} \quad \mathbf{D} = \mu \mathbf{E}$$

$$\oint_S \mathbf{j} \, d\mathbf{s} = - \frac{dq_i}{dt}$$

formule di continuità delle cariche.