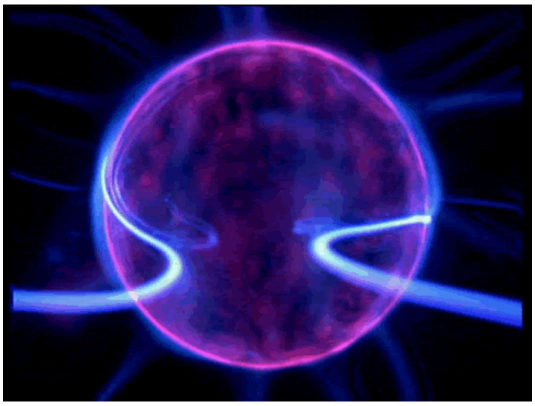
Induzione Magnetica



Per **Induzione Magnetica** si intende la generazione di una d.d.p. in un circuito dovuta alla presenza di un campo magnetico

E' fondamentale notare che in un caso statico (circuito e campo magnetico costanti) nessuna d.d.p. è prodotta per quanto forte possa essere il campo magnetico: l'Induzione appare soltanto nel caso in cui o il circuito o il campo magnetico o entrambi cambiano nel tempo.

ESPERIMENTO: d.d.p. indotta, corrente indotta

Ricordate l'esperimento fatto in classe per dimostrare l'Induzione Magnetica? Abbiamo una spira collegata ad un **voltmetro** ed un magnete permanente. Se entrambi sono fermi non si osserva nessun passaggio di corrente. Tuttavia, appena avviciniamo il magnete alla spira (o lo allontaniamo) compare una differenza di potenziale (vedi Figura 1).

Avevamo osservato la differenza di potenziale misurata dal voltmetro ed avevamo stabilito che:

- appare una differenza di potenziale solo se c'e un moto relativo tra spira e magnete. La differenza di potenziale scompare se il moto relativo cessa.
- un movimento più veloce fornisce una differenza di potenziale più intensa.
- il verso della differenza di potenziale dipende anche dal segno del polo magnetico che si muove e dal suo senso di moto. Risultava:
  - ✓ verso orario della differenza di potenziale: polo N/avvicinamento = polo S/allontanamento.
  - ✓ verso antiorario della differenza di potenziale: poloN/allontanamento = polo S/avvicinamento.

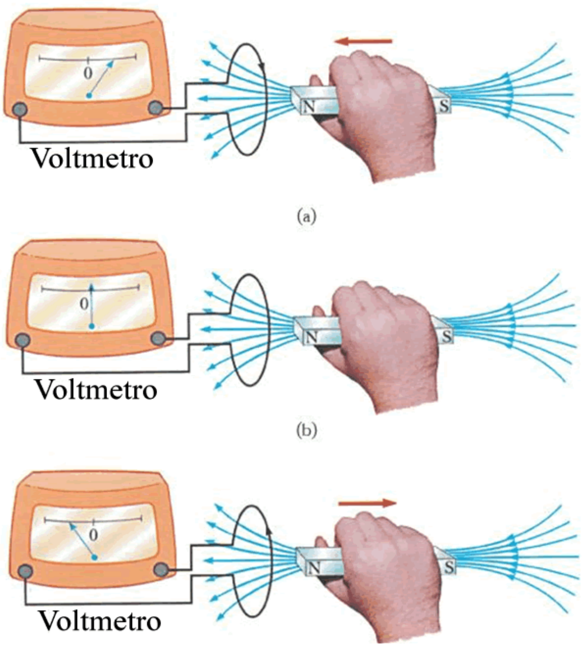


Figura 1

La differenza di potenziale indotta dal magnete si chiama, non a caso, **differenza di potenziale indotta** (ε).

E' evidente che quando sulla spira appare una differenza di potenziale indotta questa genera una corrente (**I**) secondo la formula **I = ε/R** , con **R** la resistenza della spira: la corrente I generata dalla differenza di potenziale indotta si chiama **corrente indotta**. E' evidente che la **corrente indotta è proporzionale ad ε e ne ha lo stesso verso**.

MAXWELL E FARADAY

L'esperimento descritto sopra indica che il magnetismo produce una differenza di potenziale indotta ε che è legata sia al vettore magnetico ($\vec{B}$) sia al circuito su cui appare la corrente. **Faraday**, un grande scienziato della prima metà del 1800, ricavò la legge che lega ε con $\vec{B}$: tale legge fu messa in linguaggio matematico da un grande fisico del 1800, **Maxwell**, ed adesso ha il nome di **Legge di Faraday-Neumann-Lenz**.

Tale legge non lega direttamente il campo magnetico $\vec{B}$ con ε ma piuttosto il **flusso di $\vec{B}$** [$\Phi(\vec{B})$] con ε. Perciò adesso facciamo la conoscenza con questa legge

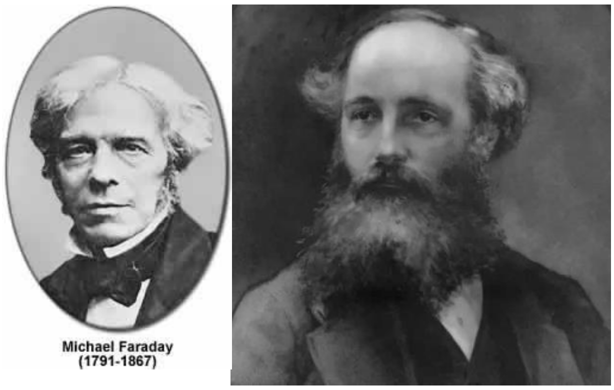


Figura 2

LEGGE DI FARADAY-NEUMANN-LENZ

Noi abbiamo integrato le esperienze di Laboratorio descritte nel primo paragrafo di questi appunti con quelle presentate nel video al link "Induzione: Intro" al sito "Fisica Facile". Il video è stato descritto e commentato da voi nella scheda "Scheda di comprensione del video: Induzione: Intro": siamo giunti alla conclusione che la **d.d.p. indotta** (ε) gode di queste proprietà:

Se indichiamo con: **ε la d.d.p. indotta** , **B il vettore magnetico** , **Δt il tempo di variazione di B** , **Area_ATTRAVERSATA l'area attraversata dal vettore $\vec{B}$**: allora si ha:

$\varepsilon \ \alpha \ \Delta B$ (2a)

$\varepsilon \ \alpha \ 1/\Delta t$ (2b)

$\varepsilon \ \alpha \ Area\_{ATTRAVERSATA}$ (2c)

Mettendo insieme le tre proporzioni (2a), (2b), (2c) otteniamo:

$$\varepsilon \ \alpha \ \frac{\Delta B \cdot Area_{ATTRAVERSATA}}{\Delta t} \qquad (2d)$$

Il prodotto $B \cdot Area\_{ATTRAVERSATA}$ ha il nome di **Flusso di $\vec{B}$** [$\Phi(\vec{B})$]:

$\Phi(\vec{B}) = B \cdot Area\_{ATTRAVERSATA}$ (3) - **definizione del Flusso di $\vec{B}$**

In queste due righe è definito il **Flusso di $\vec{B}$**

Grazie alla definizione di **Flusso di $\vec{B}$** posso scrivere la proporzionalità (2d) come:

$\varepsilon \ \alpha \ \Delta\Phi(\vec{B})/\Delta t$ (4a)

A questo punto è necessario trovare la **costante di proporzionalità** fra ε e $\Phi(\vec{B})$. Essa fu determinata sperimentalmente dal fisico **Emil Lenz** nel 1834: risultò essere "-1". Cosicché possiamo scrivere l'eq. (4a) come:

$\varepsilon = -\Delta\Phi(\vec{B})/\Delta t$ (4b) - **Legge di Faraday-Neumann-Lenz**

L'eq. (4b) fu ricavata sperimentalmente da **Faraday** e **Neumann** con l'apporto successivo di **Lenz**, cosicché ha il nome di **Legge di Faraday-Neumann-Lenz**.

Nota che la Legge di Faraday-Neumann-Lenz afferma che **una d.d.p. indotta è generata soltanto quando cambia il flusso magnetico**. Ciò conferma le nostre osservazioni sperimentali le quali mostravano che si produceva una d.d.p. indotta soltanto quando il campo magnetico dentro il circuito veniva fatto variare: quando esso restava costante [$\Delta\Phi(\vec{B})=0$] non vi era alcuna d.d.p. indotta.

FLUSSO DI B [Φ(B)]

L'eq. (4b) è alla base di tutti i fenomeni di Induzione: in essa appare un nuovo operatore matematico, il **Flusso di $\vec{B}$** definito dall'eq. (3): perciò è bene approfondirne la conoscenza ed imparare come calcolarlo.

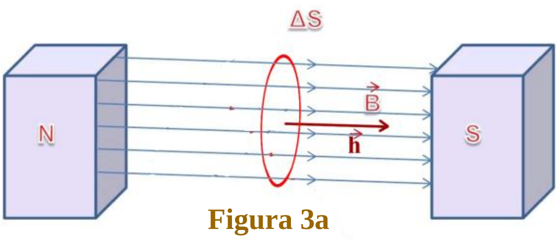


Figura 3a

Calcolo del Flusso di B [Φ(B)]: area proiettata

Guarda la Figura 3a, 3b: mostrano il vettore $\vec{B}$ che attraversa una superficie ΔS.

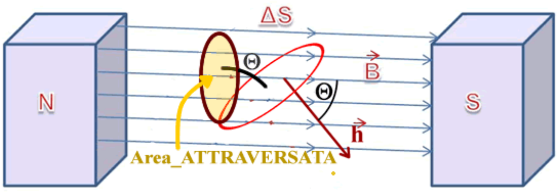


Figura 3b

Nel caso in cui il vettore $\vec{B}$ sia **perpendicolare** a ΔS (Figura 3a) si ha che l'Area attraversata da $\vec{B}$ è proprio tutta l'Area del circuito: scrivo: Area_ATTRAVERSATA = Area → l'eq. (3) diventa:

$$\Phi(\vec{B}) = B \cdot Area \qquad (5a)$$ -quando $\vec{B}$ è perpendicolare a ΔS-

"**Area**" rappresenta l'area della superficie ΔS.

Nel caso in cui il vettore $\vec{B}$ sia inclinato rispetto alla superficie, **l'Area_ATTRAVERSATA coincide con la proiezione dell'Area della superficie perpendicolare al vettore $\vec{B}$** ($Area_\perp$, vedi Figura 3b). L'eq. (3) diventa:

$$\Phi(\vec{B}) = B \cdot Area_\perp \qquad (5b)$$

Calcolo del Flusso di B [Φ($\vec{B}$)]: angolo di inclinazione

In Fisica è sempre necessario misurare una proprietà: perciò quando il vettore $\vec{B}$ è inclinato rispetto alla superficie è indispensabile trovare un modo per misurarne l'inclinazione.

Voi sapete già che **l'inclinazione fra un vettore ed una superficie** si misura grazie al vettore perpendicolare alla superficie (vettore $\vec{h}$ di Figura 3a, 3b, 4a): l'angolo di inclinazione di $\vec{B}$ rispetto alla superficie è l'angolo fra $\vec{B}$ ed il vettore $\vec{h}$ perpendicolare alla superficie (angolo ϑ di Figura 3a, 3b, 4a).

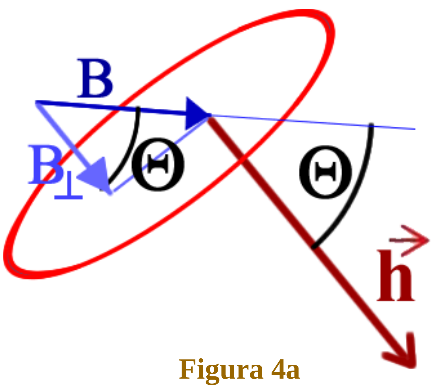


Figura 4a

L'angolo di inclinazione ϑ permette di misurare il valore di $Area_\perp$: dalla Figura 3b è evidente che $Area_\perp = Area \cdot \cos(\vartheta)$ →

$$\Phi(\vec{B}) = B \cdot Area \cdot \cos(\vartheta) \qquad (5c)$$

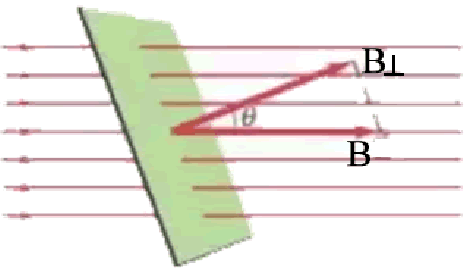


Figura 4b

Posso cambiare l'ordine di moltiplicazione dell'eq. (5c) e scrivere: $\Phi(\vec{B}) = B \cdot \cos(\vartheta) \cdot Area$. $B \cdot \cos(\vartheta)$ coincide con la componente di $\vec{B}$ perpendicolare alla superficie ($B_\perp$, vedi Figure 4a, 4b), cosicché scrivo:

$$\Phi(\vec{B}) = B_\perp \cdot Area \qquad (5d)$$

Le eq. (5b), (5c), (5d) sono tre modi diversi del tutto equivalenti di scrivere l'equazione del Flusso di $\vec{B}$ attraverso l'Area della superficie.

L'unità di misura del flusso è Tesla·m² , chiamata **Weber** (**Wb**)

Segno del Flusso

Il segno del Flusso è indicato dal verso di $\vec{B}$. Se $\vec{B}$ punta nel verso scelto come positivo allora il Flusso è positivo, altrimenti è negativo. Il modo più semplice per calcolare il Flusso è quello di scegliere in partenza come segno positivo quello di $\vec{B}$, cosicché $\Phi(\vec{B})$ sia sempre positivo.

Esempi di Flusso

Calcola in Weber il flusso d'Induzione di una superficie piana con area di 40 cm^2, che è immersa in un campo magnetico uniforme $\vec{B}$ di modulo uguale a $5{,}60 \cdot 10^{-2}$ Tesla. L'angolo ϑ fra $\vec{h}$ e $\vec{B}$ nel primo caso sia di 0°, nel secondo di 60°, nel terzo di 90° e nel quarto di 150°.

- Prima soluzione per ϑ=0°: $\Phi(\vec{B}) = 22{,}4 \cdot 10^{-5}$ Weber.
- Seconda soluzione per ϑ =60°: $\Phi(\vec{B}) = 11{,}2 \cdot 10^{-5}$ Weber.
- Terza soluzione per ϑ=90°: $\Phi(\vec{B}) = 0$ (la superficie piana perpendicolare al vettore $\vec{B}$, ruotata di 90°, è parallela alle linee di forza di $\vec{B}$ e il flusso, in questo terza soluzione, è nullo.)
- Quarta soluzione per ϑ=150°: $\Phi(\vec{B}) = -11{,}2 \cdot 10^{-5}$ Weber. Nota che in quest'ultimo caso il segno del Flusso è negativo perché $\vec{B}$ punta dalla parte opposta rispetto al verso positivo.

Adesso è giunta l'ora di fissare i concetti essenziali di questi appunti.

Lo scopo degli appunti è quello di trovare la relazione fra d.d.p. indotta e campo magnetico partendo da alcune osservazioni sperimentali e proseguendo con calcoli matematici.

Abbiamo introdotto l'argomento descrivendo i risultati di una serie di osservazioni che abbiamo eseguito nel Laboratorio di Fisica.

Dopodiché abbiamo osservato un video dal quale abbiamo ricavato tre relazioni di proporzionalità: (2a), (2b), (2c). Abbiamo condensato le tre proporzionalità in un'unica legge: la proporzionalità (2d).

Abbiamo poi introdotto il **Flusso di $\vec{B}$** [$\Phi(\vec{B})$] con l'eq (3): $\Phi(\vec{B}) = B \cdot Area\_{ATTRAVERSATA}$: abbiamo riscritto la proporzionalità (2d) sotto forma di Flusso di $\vec{B}$, ottenendo la proporzionalità (4a).

Come ultimo passaggio abbiamo usato la costante di proporzionalità trovata da Lenz ed abbiamo trasformato la proporzionalità (4a) nella eq. (4b), che è il risultato finale di tutto il nostro operare: essa ha il nome di **Legge di Faraday-Neumann-Lenz** ed è alla base di tutti i fenomeni di Induzione Magnetica.

Dopodiché abbiamo approfondito la conoscenza del **Flusso di $\vec{B}$**, in quanto esso è alla base della Legge di Faraday-Neumann-Lenz

Abbiamo definito il **Flusso di $\vec{B}$** quando $\vec{B}$ è perpendicolare alla superficie attraversata: eq. (5a).

Per calcolare il Flusso di $\vec{B}$ quando $\vec{B}$ è inclinato rispetto alla superficie abbiamo sfruttato la Figura 3b per definire la proiezione dell'Area su $\vec{B}$ ($A_\perp$): abbiamo ottenuto l'eq. (5b).

Per poter misurare l'inclinazione di $\vec{B}$ rispetto alla superficie abbiamo definito **l'angolo di inclinazione** (ϑ): grazie all'angolo ϑ abbiamo potuto calcolare $A_\perp$ ottenendo l'eq. (5c).

Infine abbiamo usato le Figure (3b), (4a), (4b) per calcolare $\Phi(\vec{B})$ usando la proiezione ortogonale di $\vec{B}$ sulla superficie ($B_\perp$) ottenendo così l'eq. (5d).

Abbiamo poi detto come trovare il segno del Flusso.

Infine, abbiamo fatto alcuni esempi di calcolo del Flusso.