

CORRENTI ELETTRICHE e CAMPI MAGNETICI

Lezione 5
Lezione 6
Lezione 7

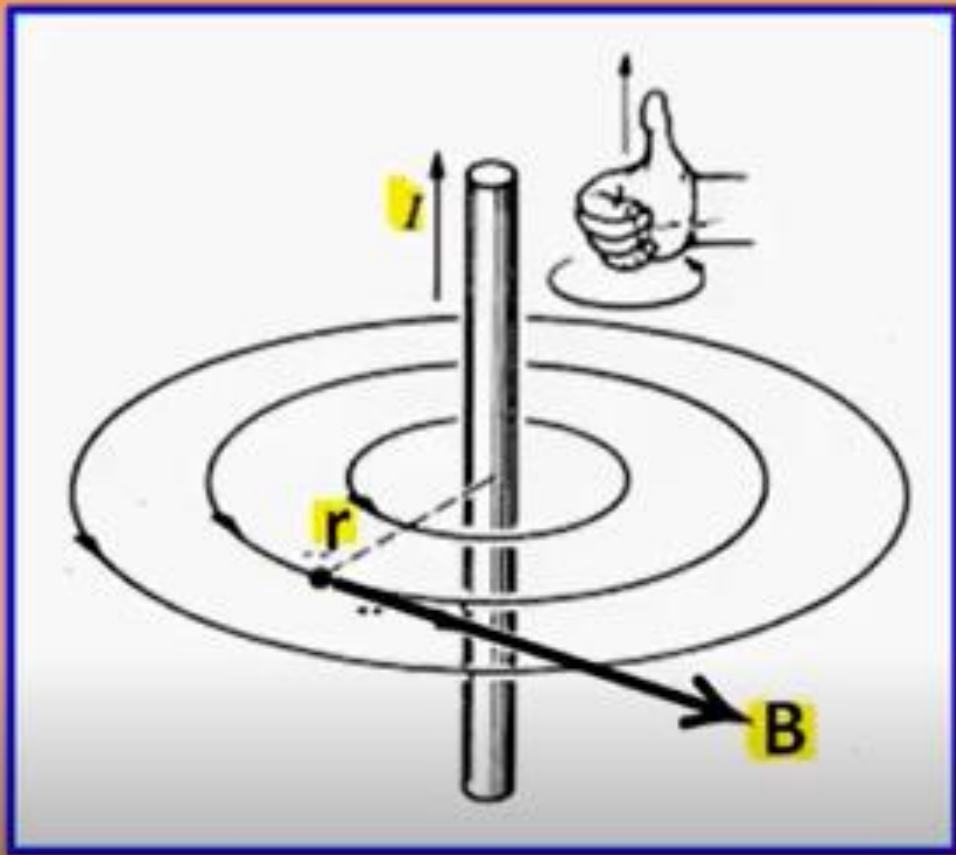
Correnti elettriche e campi magnetici, Autoinduzione, Mutua Induzione e Induttori



**Occhio alle diapositive con questo simbolo ...
potrebbero essere oggetto di verifica !**

Campi magnetici generati dalla corrente

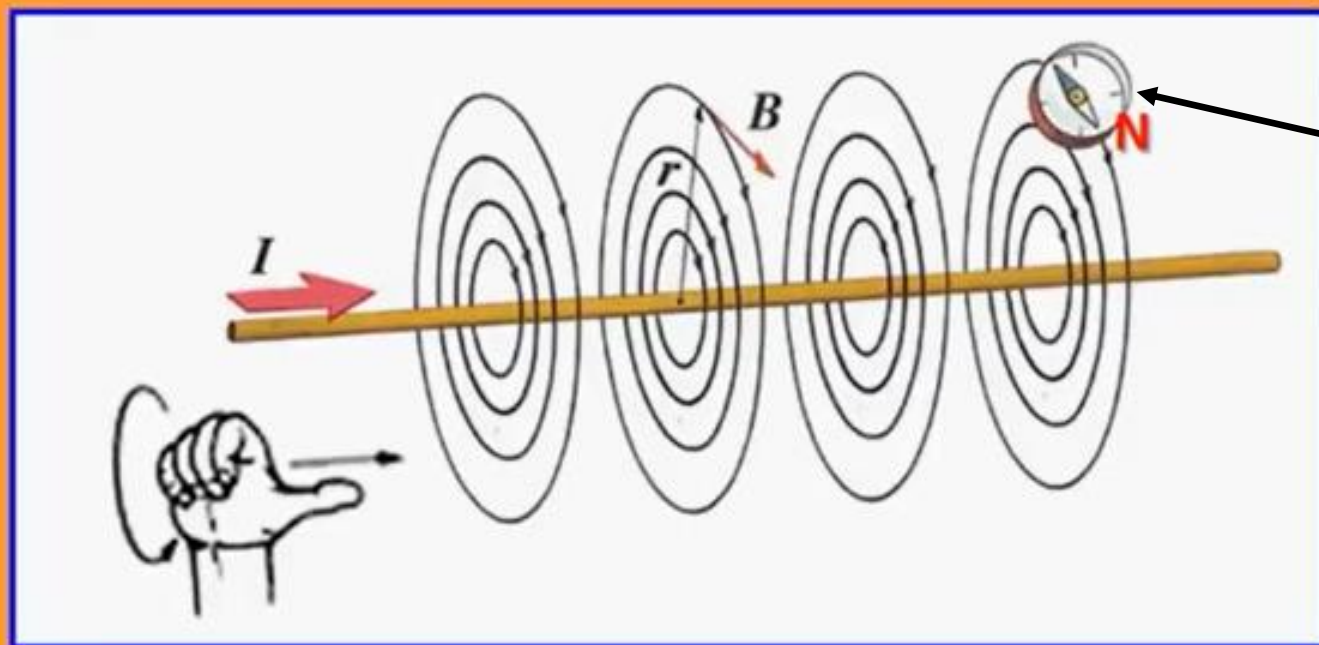
2



- Nel 1820 il fisico olandese Oersted ha scoperto che un filo rettilineo percorso da una corrente I genera un campo magnetico e quindi una induzione magnetica B (*il campo dipende dal mezzo in cui è immerso il filo e quindi dalla sua μ*).
- **Le linee di forza del campo B sono:**
 1. circonferenze concentriche;
 2. poste su piani perpendicolari al filo;
 3. Più dense vicino al filo e via via più diradate;
 4. Orientate in modo «destrorso» (regola della manodestra come in figura).

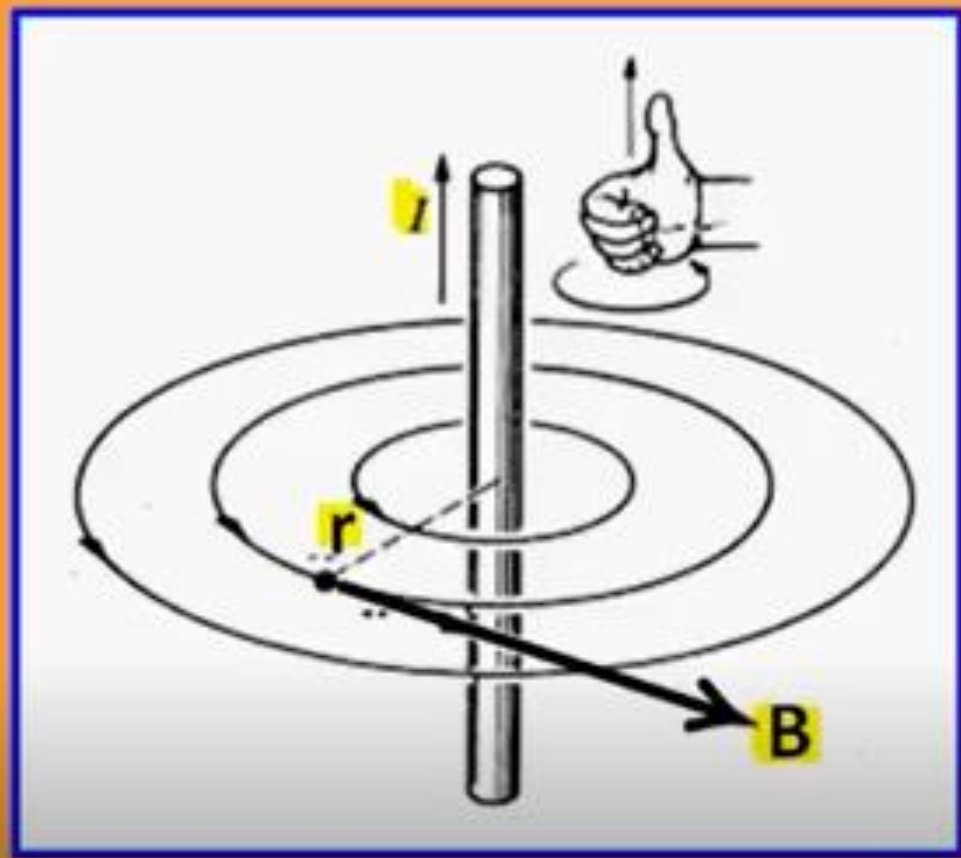
Campi magnetici generati dalla corrente

3



- Per rilevare la presenza del campo basterebbe prendere tanti «magnetini di prova» e verificare come si orientano.

Campi magnetici generati dalla corrente

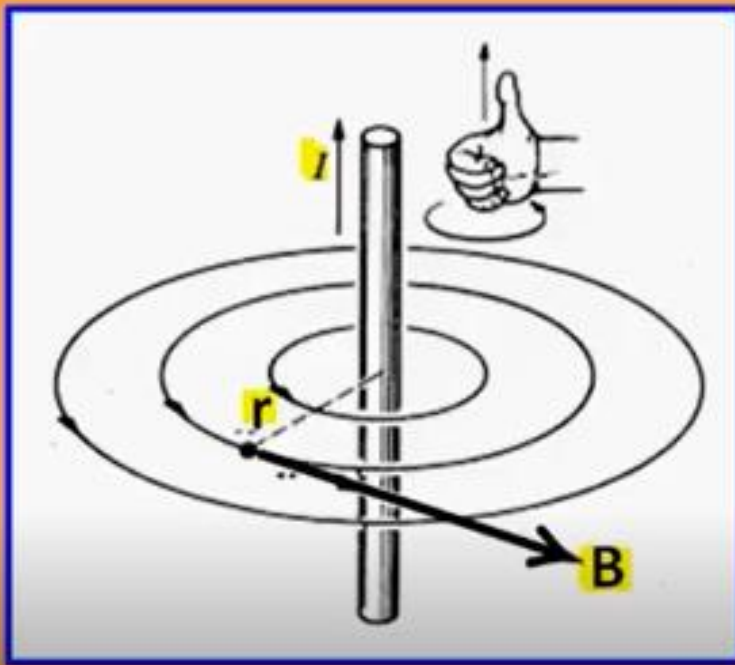


L'intensità dell'induzione magnetica B dipende quindi dalla corrente I , dal mezzo in cui il filo è posto (μ) e dalla distanza dal filo (r) secondo la seguente formula:

Legge di
Biot-Savart

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

Campi magnetici generati dalla corrente



Dalla Legge di Biot-Savart possiamo anche ricavare l'intensità del campo magnetico I .

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$



$$H = \frac{B}{\mu}$$

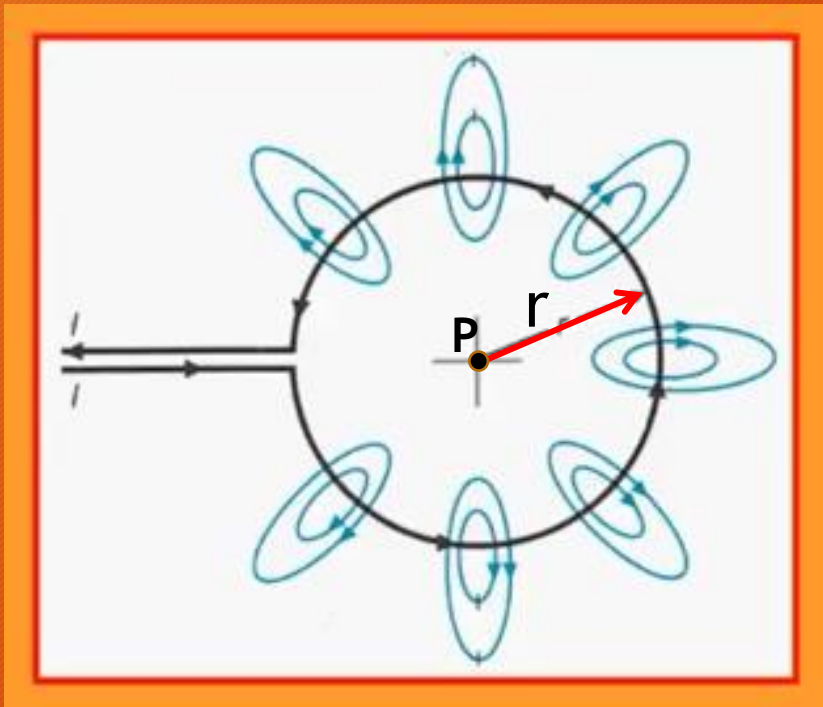


$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Campi magnetici generati dalla corrente



Altre forme cioè di sagome di fili genereranno forme di campi magnetici differenti. Una forma importante è quella di una **spira circolare** come rappresentata nella seguente figura.



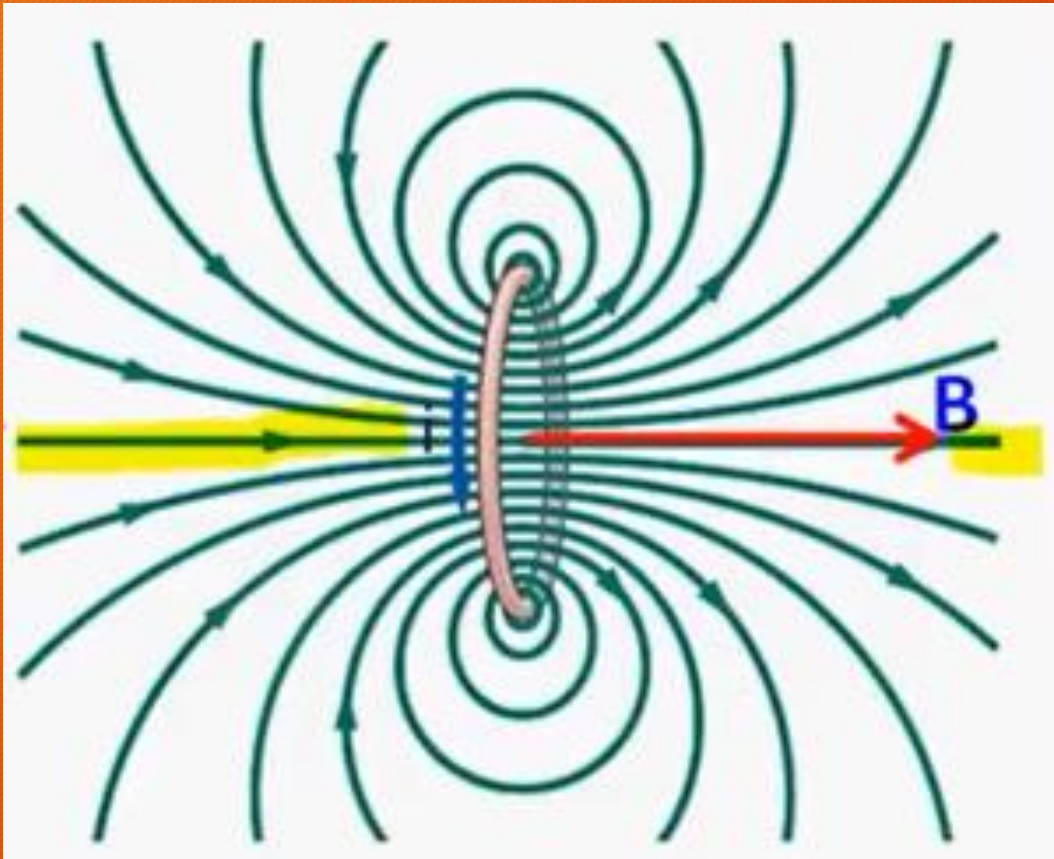
Al centro della spira, nel punto P il campo magnetico presenta il suo valore massimo che si può ricavare con le seguenti formule:

$$B = \frac{\mu I}{2 r}$$

$$H = \frac{I}{2 r}$$

Campi magnetici generati dalla corrente

7



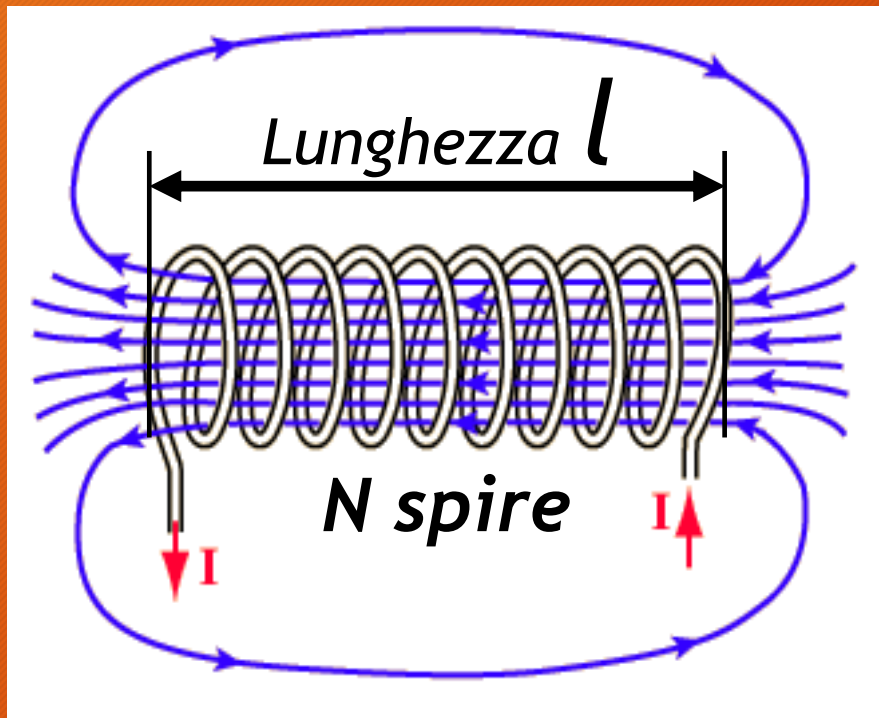
Nella figura riportata si vedono meglio le linee di forza del campo magnetico in particolare quella che passa per il centro della spira dove l'induzione magnetica abbiamo già visto che assume il valore massimo:

$$B = \frac{\mu I}{2 r}$$

Campi magnetici generati dalla corrente



Un'altra forma importante è quella di una bobina di **lunghezza l** (detta **solenoid**) costituita da **N spire** come nella seguente figura.



Al centro del solenoide, il campo magnetico presenta il suo valore massimo che si può ricavare con la seguente formula:

con:

L = lunghezza [m]

N = numero di spire

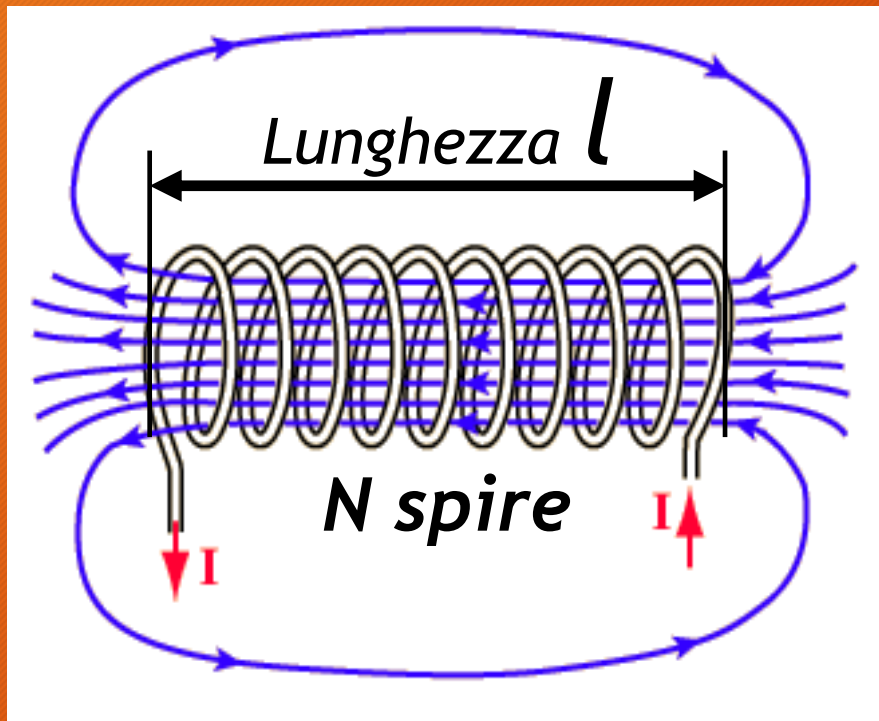
I = corrente circolante [A]

$$B = \frac{\mu N I}{l}$$

Campi magnetici generati dalla corrente



Al centro del **solenoid**e, si hanno quindi:



$$\mathbf{B} = \frac{\mu \mathbf{N I}}{l}$$



$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{N I}}{l}$$

con:

L = lunghezza [m]

N = numero di spire

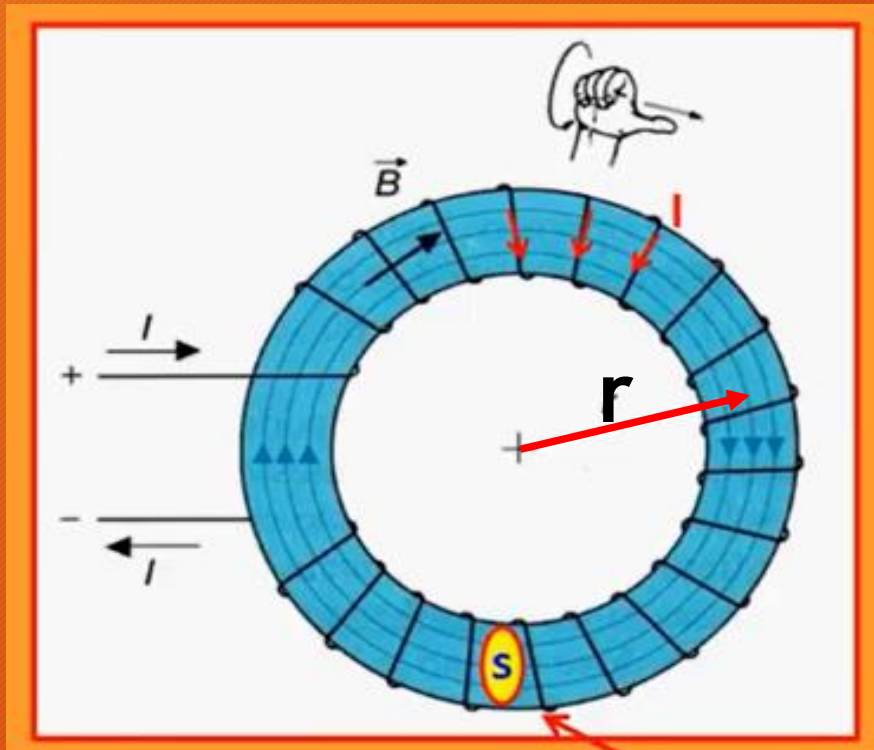
I = corrente circolante [A]

Campi magnetici generati dalla corrente

10



Un'altra forma importante è quella del **solenoido toroidale** («*ciambella*») che è rappresentato nella seguente figura.



Al centro del toroide, il campo magnetico presenta il suo valore massimo che si può ricavare con la seguente formula:

con:

r = raggio del toroide [m]

N = numero di spire

I = corrente circolante [A]

$$B = \frac{\mu N I}{2\pi r}$$

$$H = \frac{N I}{2\pi r}$$

Materiale ferromagnetico di permeabilità μ

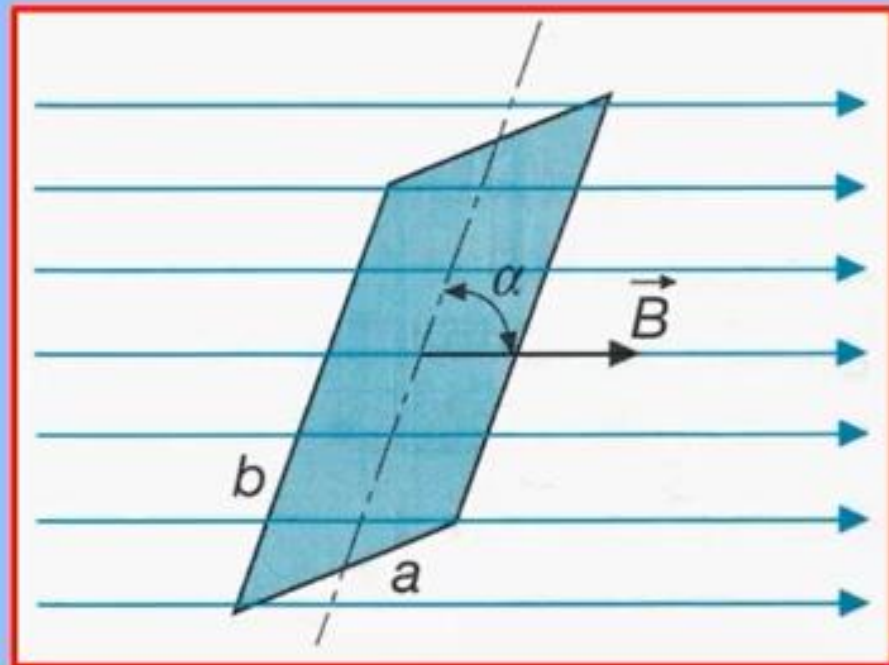
Flusso magnetico Φ attraverso una superficie S

11



Abbiamo già detto che:

SI DEFINISCE **FLUSSO MAGNETICO Φ** RELATIVO ALLA SUPERFICIE **S** CONSIDERATA IL NUMERO DELLE LINEE DI CAMPO CHE L'ATTRAVERSANO NELL'UNITÀ DI TEMPO.



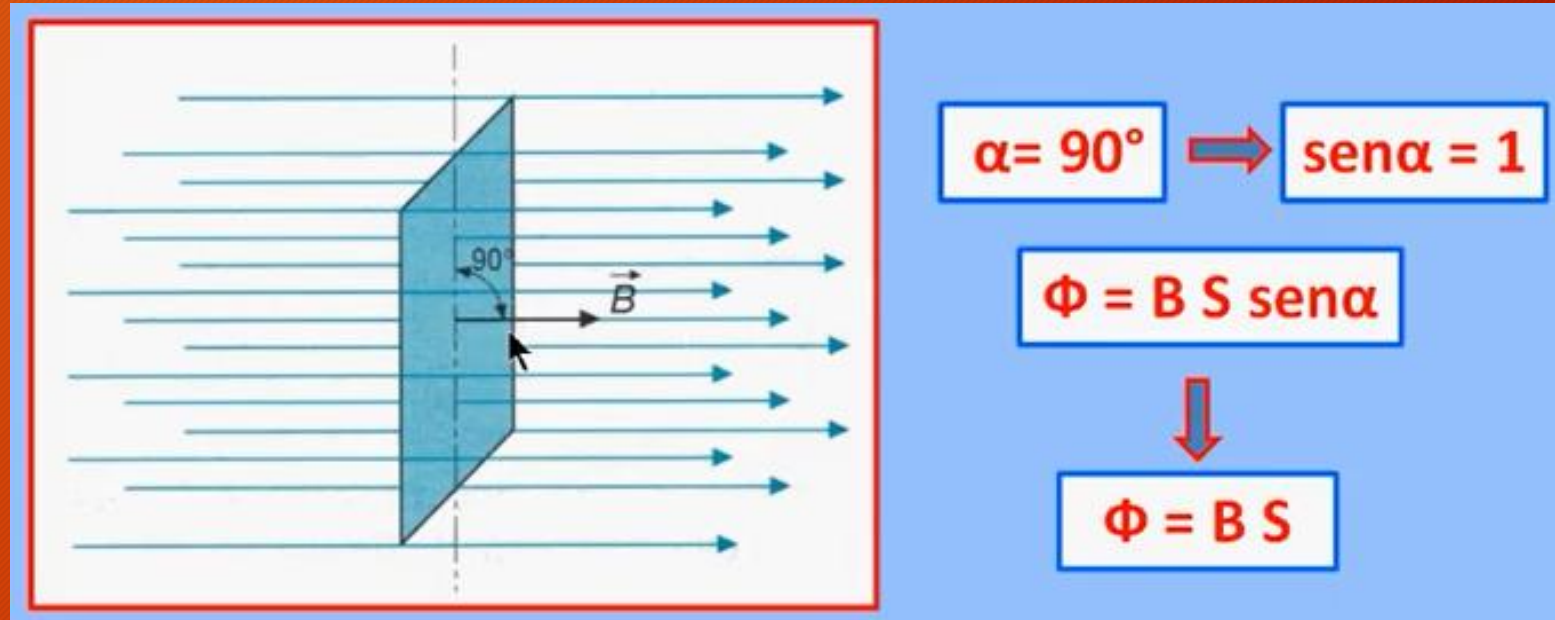
Weber [Wb]

$$\Phi = B S \sin \alpha$$

Flusso magnetico Φ attraverso una superficie S

12 😊

Se la superficie S è perpendicolare alle linee di forza si ha:



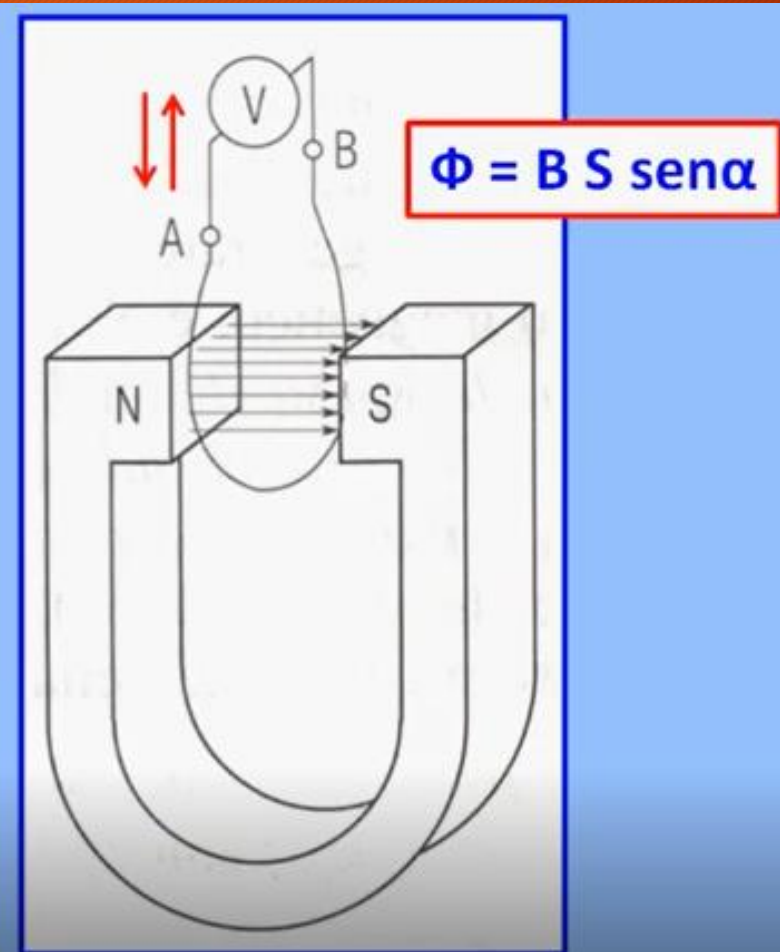
Se invece la superficie S è parallela alle linee di forza si ha:

$\alpha = 0^\circ \Rightarrow \text{sen}\alpha = 0$ $\Phi = B S \text{ sen}\alpha \Rightarrow \Phi = 0$

Induzione elettromagnetica e Forza elettromotrice (f.e.m.)

13

PER INDUZIONE
ELETTROMAGNETICA SI
INDICA IL FENOMENO IN BASE
AL QUALE AVVIENE LA
GENERAZIONE DI UNA FORZA
ELETTROMOTRICE (f.e.m.)
ALL'INTERNO DI UN CIRCUITO
ELETTRICO CONDUTTORE
QUANDO SI VERIFICA UNA
VARIAZIONE DEL FLUSSO
MAGNETICO CONCATENATO
CON IL CIRCUITO STESSO.

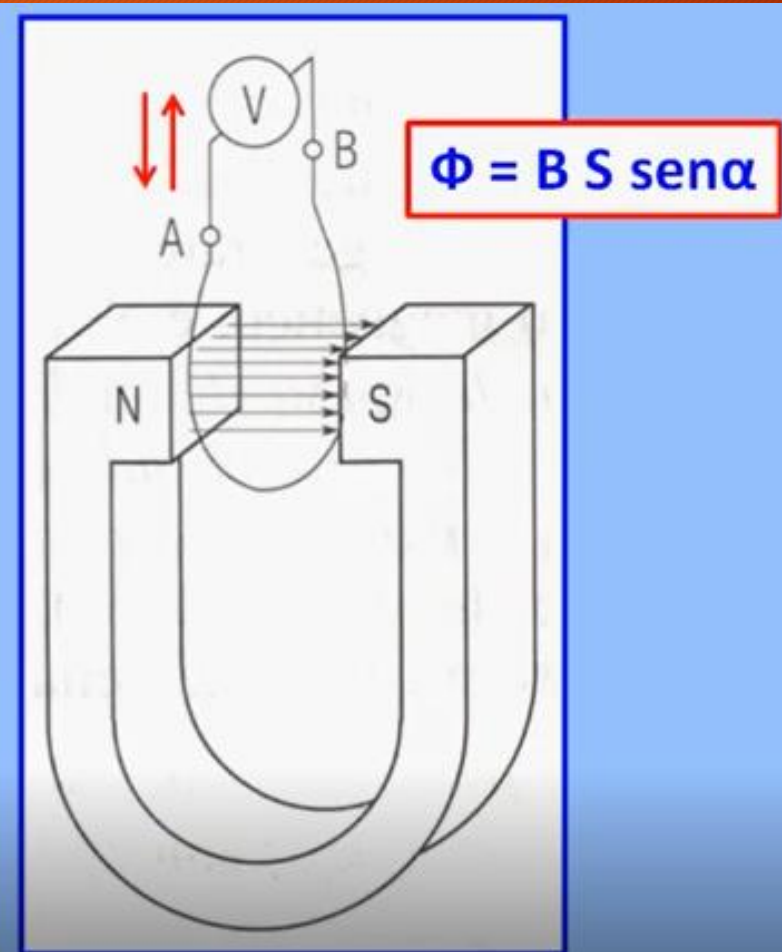


Finchè non si sposta la spira (in alto o in basso oppure non si ruota) oppure finchè non si sposta il magnete non si ha una tensione indotta (f.e.m.) e quindi non circola corrente nella spira.

Induzione elettromagnetica e Forza elettromotrice (f.e.m.)

14

PER INDUZIONE
ELETTROMAGNETICA SI
INDICA IL FENOMENO IN BASE
AL QUALE AVVIENE LA
GENERAZIONE DI UNA FORZA
ELETTROMOTRICE (f.e.m.)
ALL'INTERNO DI UN CIRCUITO
ELETTRICO CONDUTTORE
QUANDO SI VERIFICA UNA
VARIAZIONE DEL FLUSSO
MAGNETICO CONCATENATO
CON IL CIRCUITO STESSO.



Se si sposta la spira (in alto o in basso oppure la si ruota) oppure si sposta il magnete si ha una tensione indotta V (f.e.m.) e quindi circolerà corrente nella spira.

Induzione elettromagnetica e Forza elettromotrice (f.e.m.)

15



Quindi se il flusso che si concatena con la spira varia cioè $\Delta\Phi \neq 0$ allora, finché varia, si ha una tensione (detta tensione indotta o forza elettromotrice f.e.m.) e quindi una corrente (detta corrente indotta).

Legge di Faraday-Neumann-lenz o Legge dell'induzione elettromagnetica

IL VALORE DELLA f.e.m. INDOTTA $v(t)$ IN UN CIRCUITO È DIRETTAMENTE PROPORZIONALE ALLA VARIAZIONE $\Delta\Phi_c$ DEL FLUSSO CONCATENATO E INVERSAMENTE PROPORZIONALE ALL'INTERVALLO DI TEMPO Δt DURANTE IL QUALE SI HA TALE VARIAZIONE.

Legge di
Faraday-Neumann-Lenz

$$v(t) = - \frac{\Delta\Phi_c}{\Delta t}$$

In presenza di N spire
la $v(t)$ deve essere
moltiplicata per N !!!

Induzione elettromagnetica e Forza elettromotrice (f.e.m.)

16



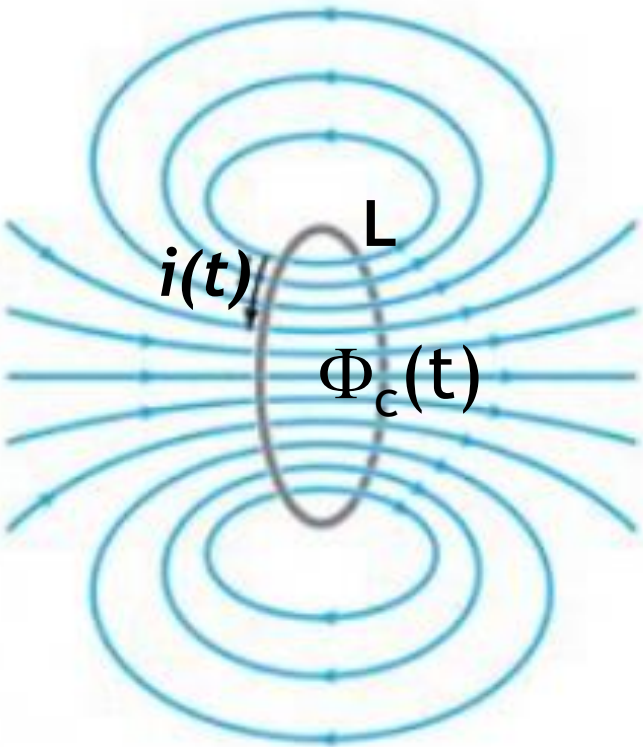
Il segno meno nella formula della tensione indotta $v(t)$ indica che:

IL VERSO DELLA f.e.m. INDOTTA È SEMPRE TALE DA PRODURRE UN EFFETTO CHE SI OPPONE ALLA VARIAZIONE DI FLUSSO CHE L'HA GENERATA.

«Il segno meno in pratica rappresenta l'inerzia del sistema che tende ad opporsi alla variazione del campo»

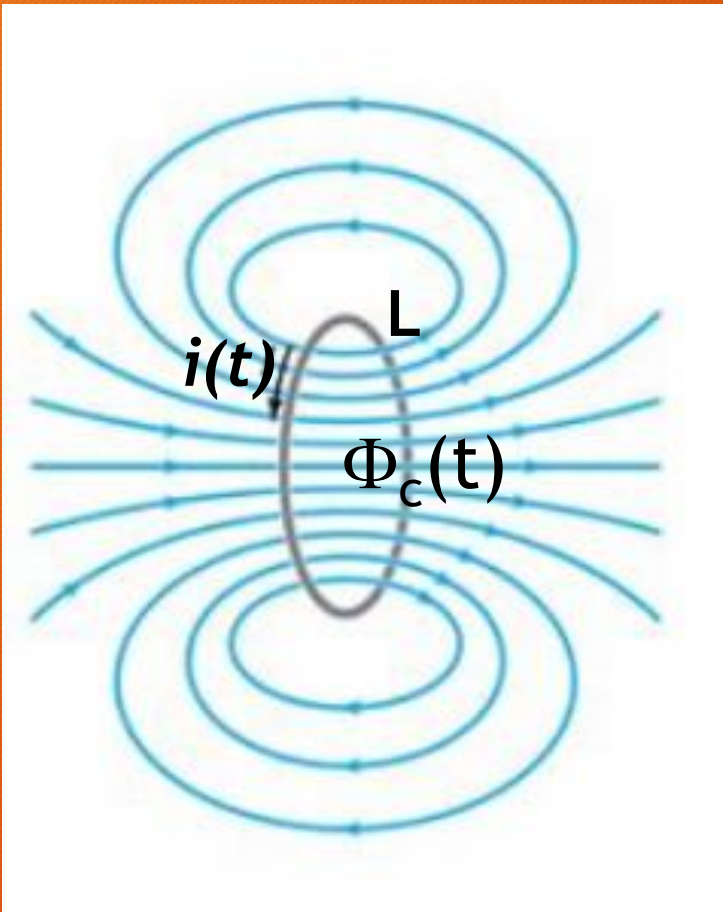
Prima di schematizzare sinteticamente questo argomento guardiamo questo bel video ([clicca qui](#))

.



1. Prendiamo una spira percorsa dalla corrente $i(t)$.
2. Si genera un campo magnetico rappresentato dalle linee di forza in figura che si concatenano con il circuito.
3. Indichiamo con $\Phi_c(t)$ il flusso concatenato con il circuito.
4. Si osserva che il flusso concatenato cresce proporzionalmente alla corrente con la seguente legge:

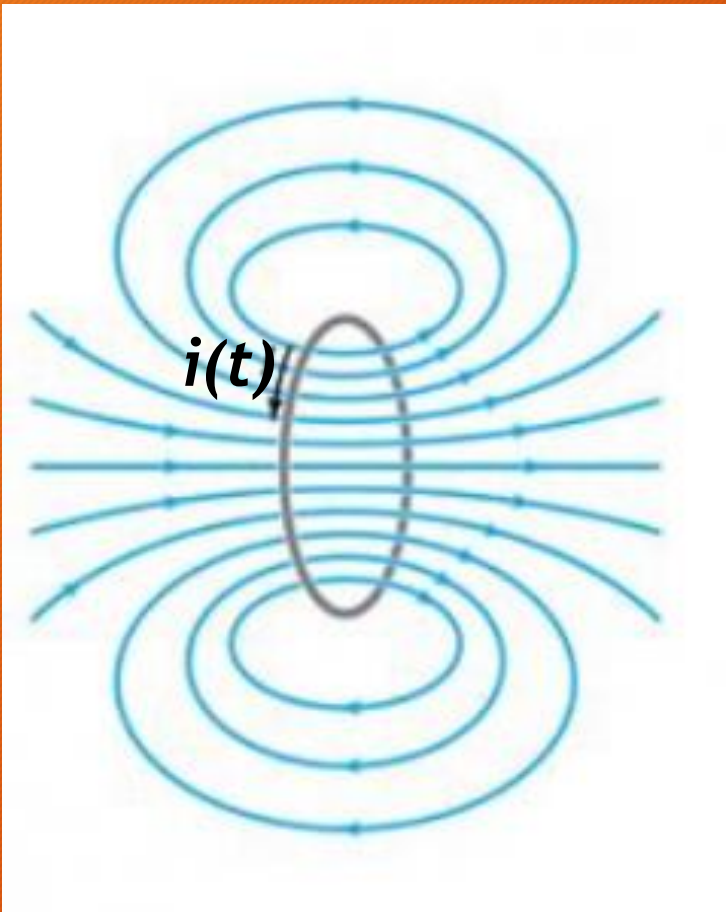
$$\Phi_c(t) = L i(t)$$



5. Il parametro L nella formula prende il nome di coefficiente di autoinduzione detto anche **INDUTTANZA** e si misura in Henry [H].

$$\Phi_c(t) = L i(t)$$

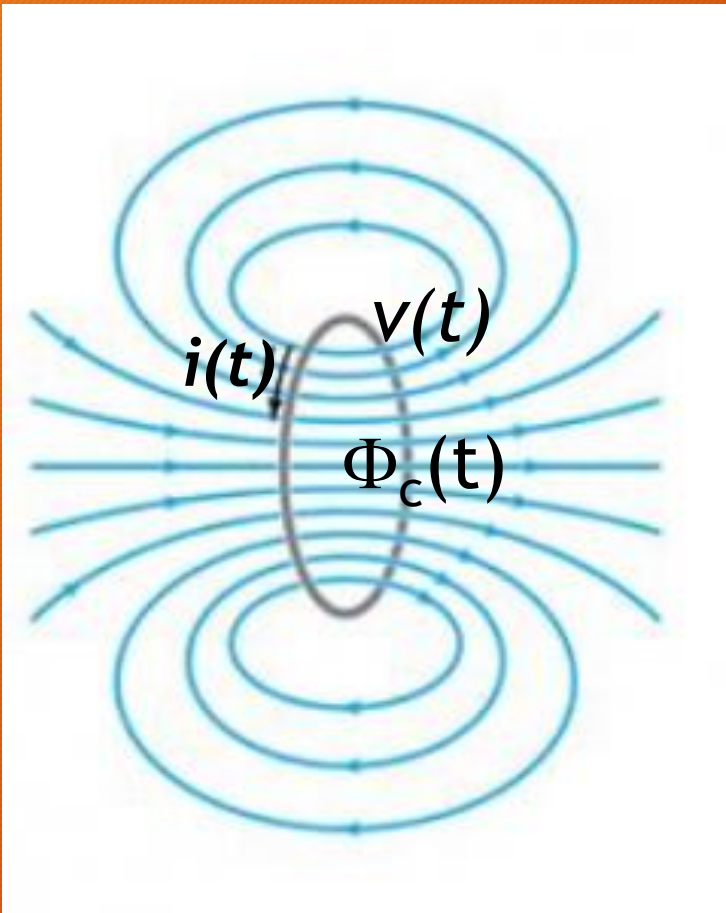
6. Se μ è costante il parametro L dipende solo dalle caratteristiche geometriche del circuito.



1. Se nel circuito (nell'esempio fatto a spira) la corrente varia allora varia anche il flusso concatenato ($\Delta\Phi_c$) e, come abbiamo già visto, nasce una tensione $v(t)$ che è data da:

$$v(t) = -\frac{\Delta\phi_c}{\Delta t}$$

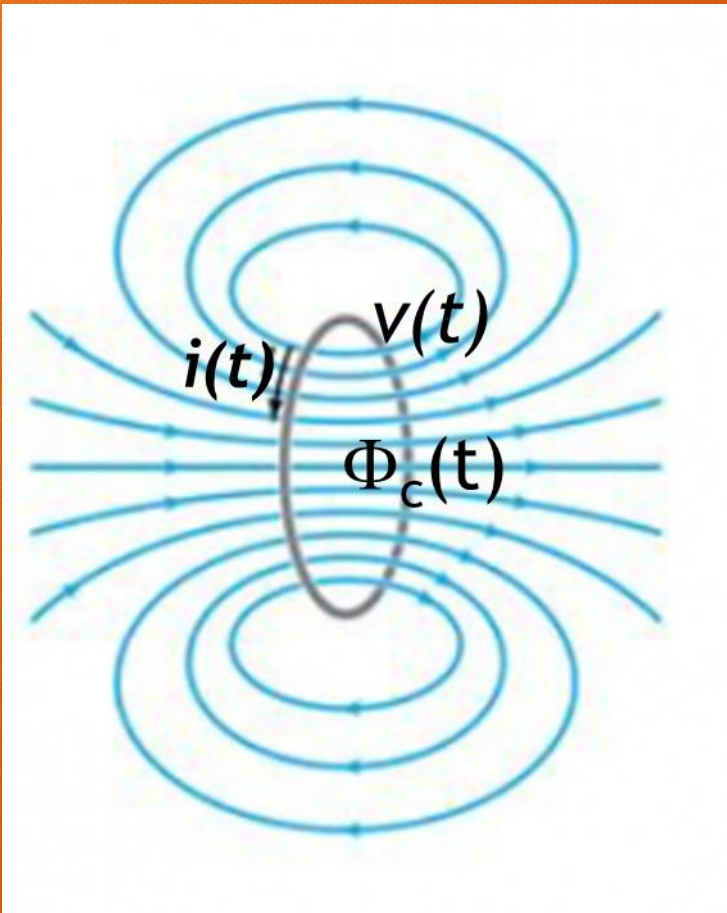
Poiché la tensione che si genera è causata dal circuito stesso la tensione indotta viene detta **tensione autoindotta**.



1. Se nel circuito (nell'esempio fatto a spira) la corrente varia allora varia anche il flusso concatenato ($\Delta\Phi_c$) e, come abbiamo già visto, nasce una tensione $v(t)$ che è data da:

$$v(t) = - \frac{\Delta\phi_c}{\Delta t}$$

Poiché la tensione che si genera è causata dal circuito stesso la tensione indotta viene detta **tensione autoindotta** o meglio **forza elettromotrice autoindotta**.

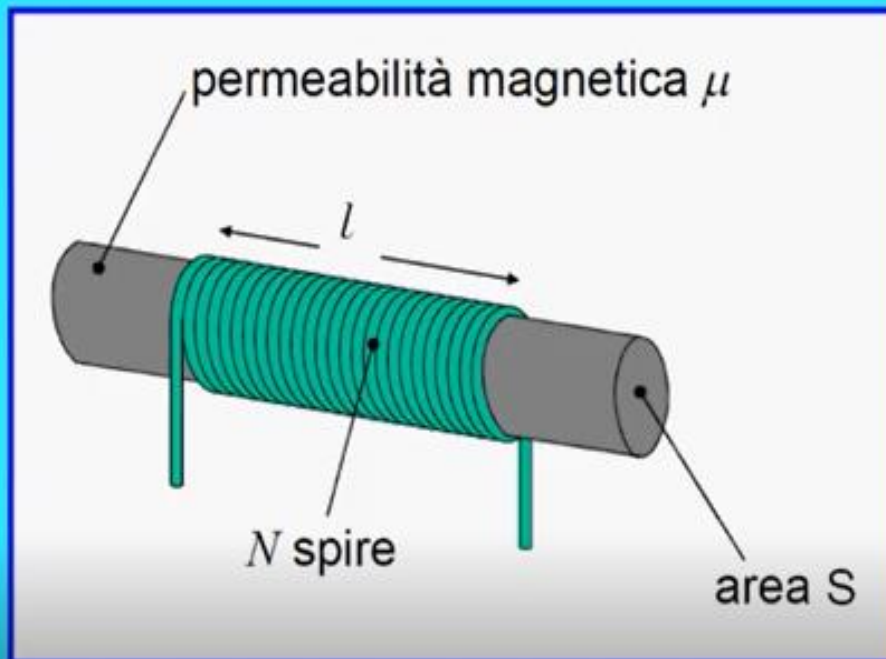


2. La forza elettromotrice autoindotta $v(t)$ si calcola con la seguente formula:

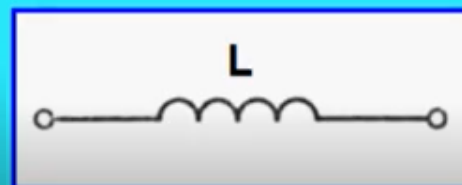
$$\begin{aligned} v(t) &= - \frac{d\Phi_c}{dt} \\ \Phi_c(t) &= L i(t) \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad v(t) = - L \frac{di}{dt}$$



L'INDUTTORE È REALIZZATO CON UN FILO CONDUTTORE (RAME O ALLUMINIO) AVVOLTO IN MANIERA DA REALIZZARE UNA BOBINA ELETTRICA DI N SPIRE. IL FILO È SMALTATO IN MODO DA ISOLARE OGNI SINGOLA SPIRA.



$$L = \mu \cdot \frac{N^2 S}{l}$$



Simbolo INDUTTORE

Calcolo della induttanza L [H] di un solenoide.

Il solenoide può avere all'interno un nucleo di materiale ferromagnetico (in tal caso $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$) oppure nulla cioè aria (e quindi $\mu = \mu_0$).

l = lunghezza [m]

S = sezione [m²]

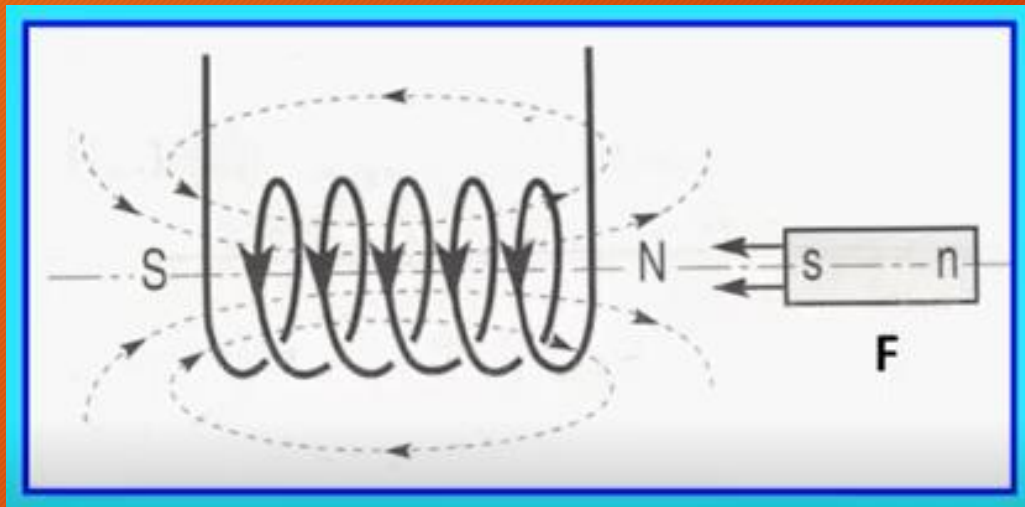


Energia immagazzinata in un induttore.

Quando un induttore viene alimentato con una corrente I immagazzina al suo interno una energia magnetica che è una energia potenziale che viene restituita quando cessa la corrente.

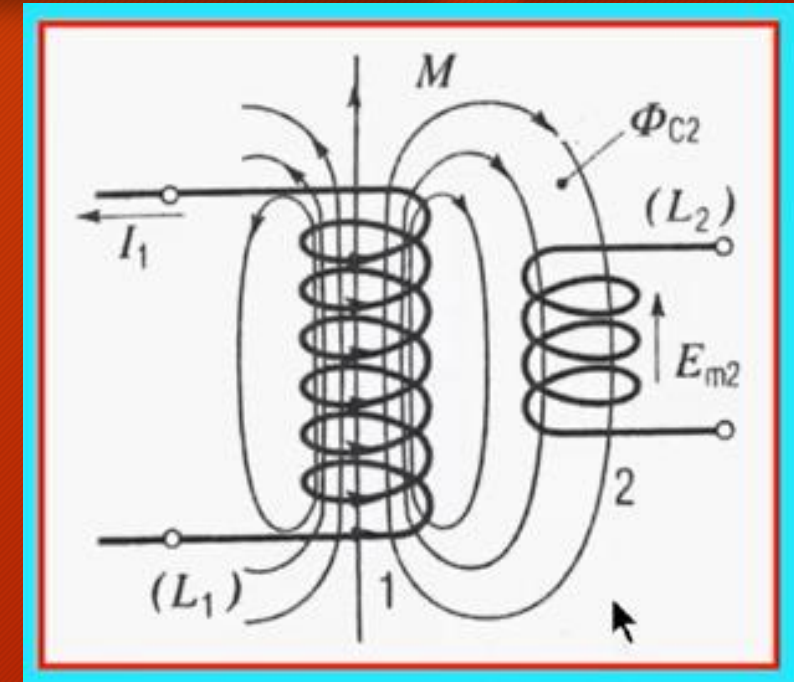
Questa energia si può calcolare con la seguente formula:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$



Questa energia può essere impiegata per attirare verso il solenoide un pezzo di materiale ferromagnetico poiché il solenoide è di fatto «diventato» equivalente ad una calamita.

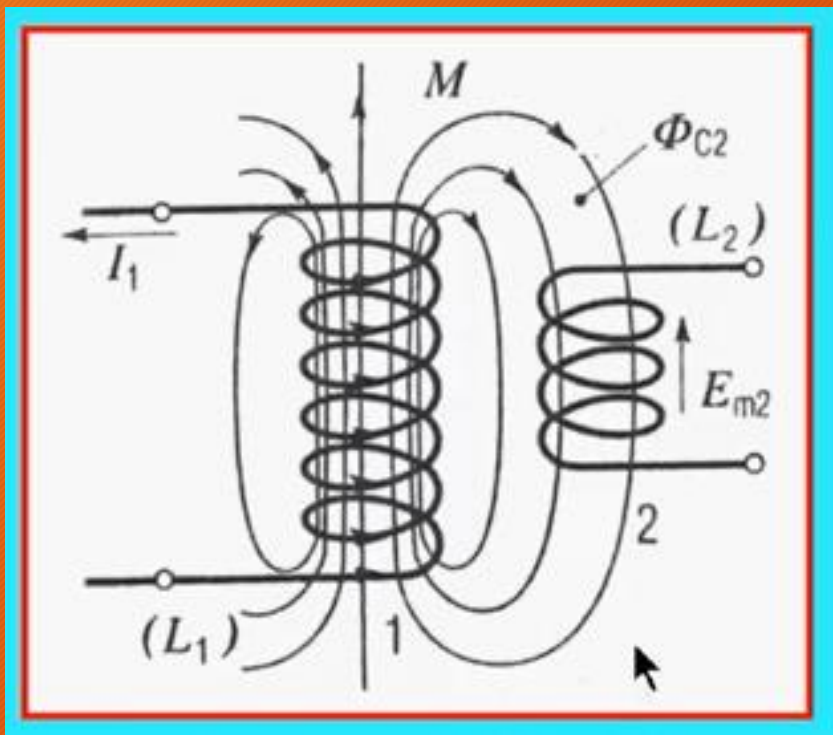
1. Quando nel circuito (solenoidale posto a sinistra) circola corrente si genera un flusso magnetico;
2. Il flusso magnetico generato (linee di forza) si concatenano con il circuito posto a destra (cioè si richiudono in parte passando all' con il circuito posto a destra);
3. Se la corrente varia il $\Phi_c(t)$ varia e si genera nel secondo circuito una tensione indotta e quindi una corrente indotta.



DUE CIRCUITI, ELETTRICAMENTE SEPARATI, SI DICONO **MUTUAMENTE ACCOPPIATI** QUANDO LA CIRCOLAZIONE DI CORRENTE IN UNO DEI CIRCUITI PRODUCE UN FLUSSO MAGNETICO CHE VA A CONCATENARSI, TOTALMENTE O PARZIALMENTE, ANCHE CON L'ALTRO CIRCUITO.

Mutua induzione

26 ☺



Il flusso concatenato con il circuito 2 è proporzionale alla corrente circolante nel circuito 1, cioè:

La costante di proporzionalità indicata con M è detto
«**COEFFICIENTE DI MUTUA INDUZIONE**»

$$\Phi_{C2} = M I_1$$

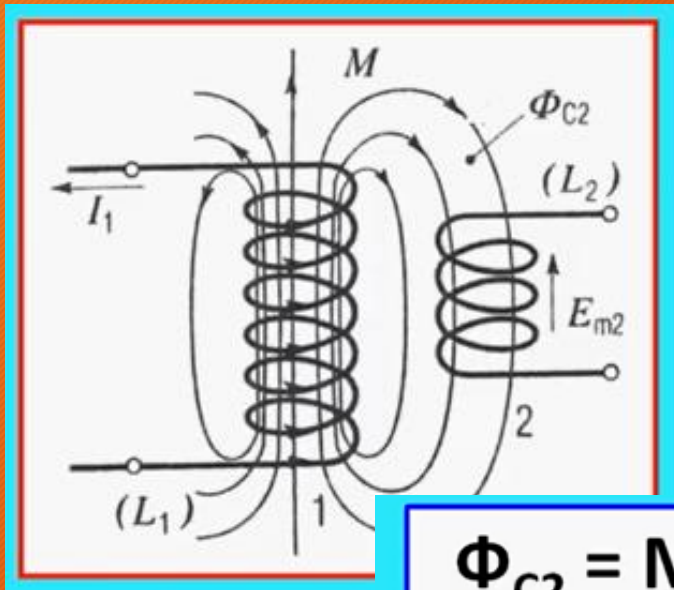
Anche M come L si misura in Henry [H]

Se la corrente circolasse nel circuito 2 allora:

$$\Phi_{C1} = M I_2$$

Forza elettromotrice di mutua induzione

27



$$\Phi_{C2} = M I_1$$

La forza elettromotrice di mutua induzione è quella che, quando circola la corrente I_1 nel primo circuito si genera ai capi del secondo circuito.

Indicandola con E_{m2} si ricava dalla seguente formula:

$$E_{m2} = -M \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

SE I_1 VARIA NEL TEMPO, VARIA Φ_{C2} E DI CONSEGUENZA SI GENERA UNA f.e.m. AUTOINDOTTA e_a NELL'AVVOLGIMENTO 1 E UNA f.e.m. DI MUTUA INDUZIONE e_{m2} NELL'AVVOLGIMENTO 2.

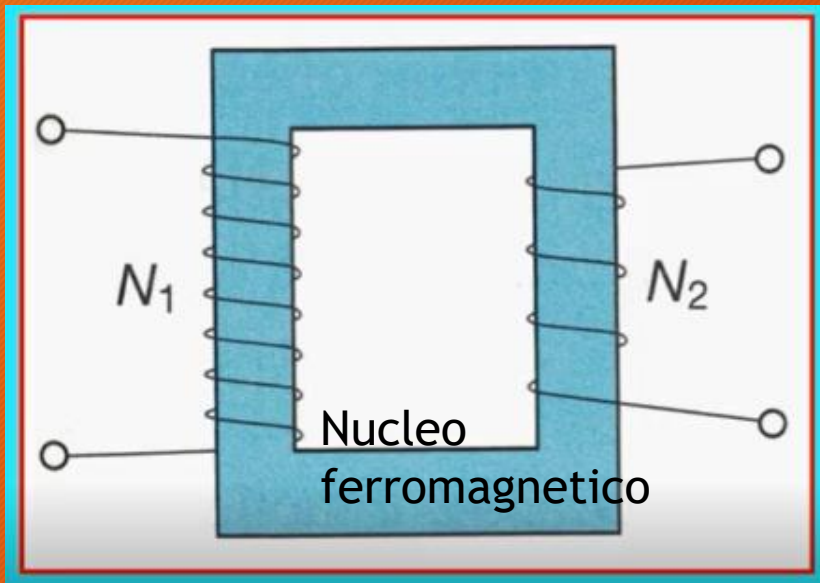
$$e_{m2} = -M \frac{di_1}{dt}$$

Forza elettromotrice di mutua induzione

28



Anche il coefficiente **M** (mutua induttanza) come L (induttanza) dipende dalle caratteristiche geometriche del circuito



Per aumentare il flusso concatenato cioè per migliorare l'accoppiamento le bobine vengono avvolte su uno stesso «nucleo di materiale ferromagnetico» che come abbiamo detto «attira verso di sé il maggior numero di linee di forza.

Note le induttanze dei due avvolgimenti (L_1 e L_2) M si calcola con la formula:

Il parametro K dipende dall'accoppiamento ($K=1$ è l'accoppiamento perfetto) K è sempre compreso tra 0 e 1

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

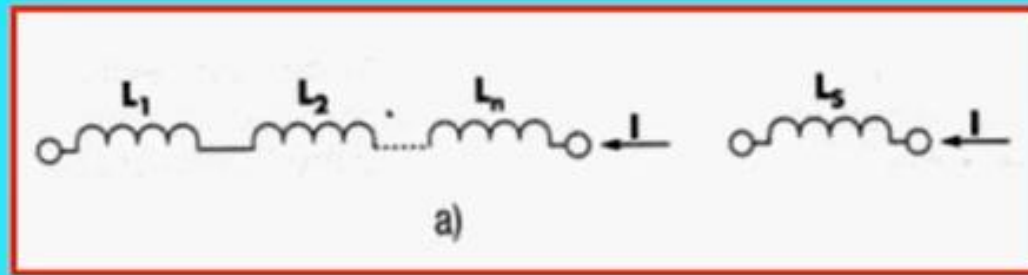
Induttori in serie e in parallelo

29

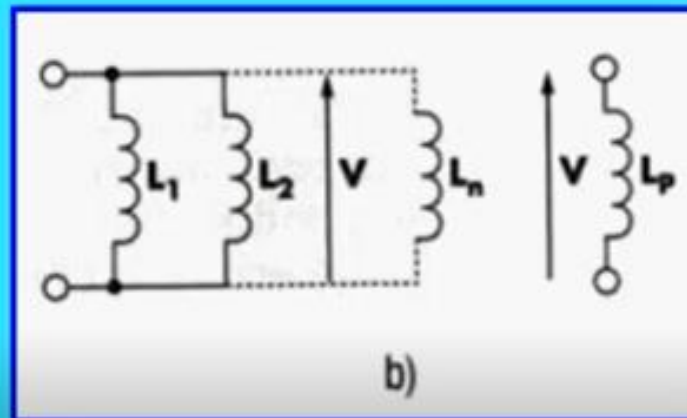


Gli induttori come tutti i bipoli passivi che abbiamo visto (resistenze e condensatori) si possono collegare in serie o in parallelo.

Le formule di semplificazione sono riportate in figura.



$$L_S = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$



$$L_P = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Forza magnetica su fili percorsi da corrente

30

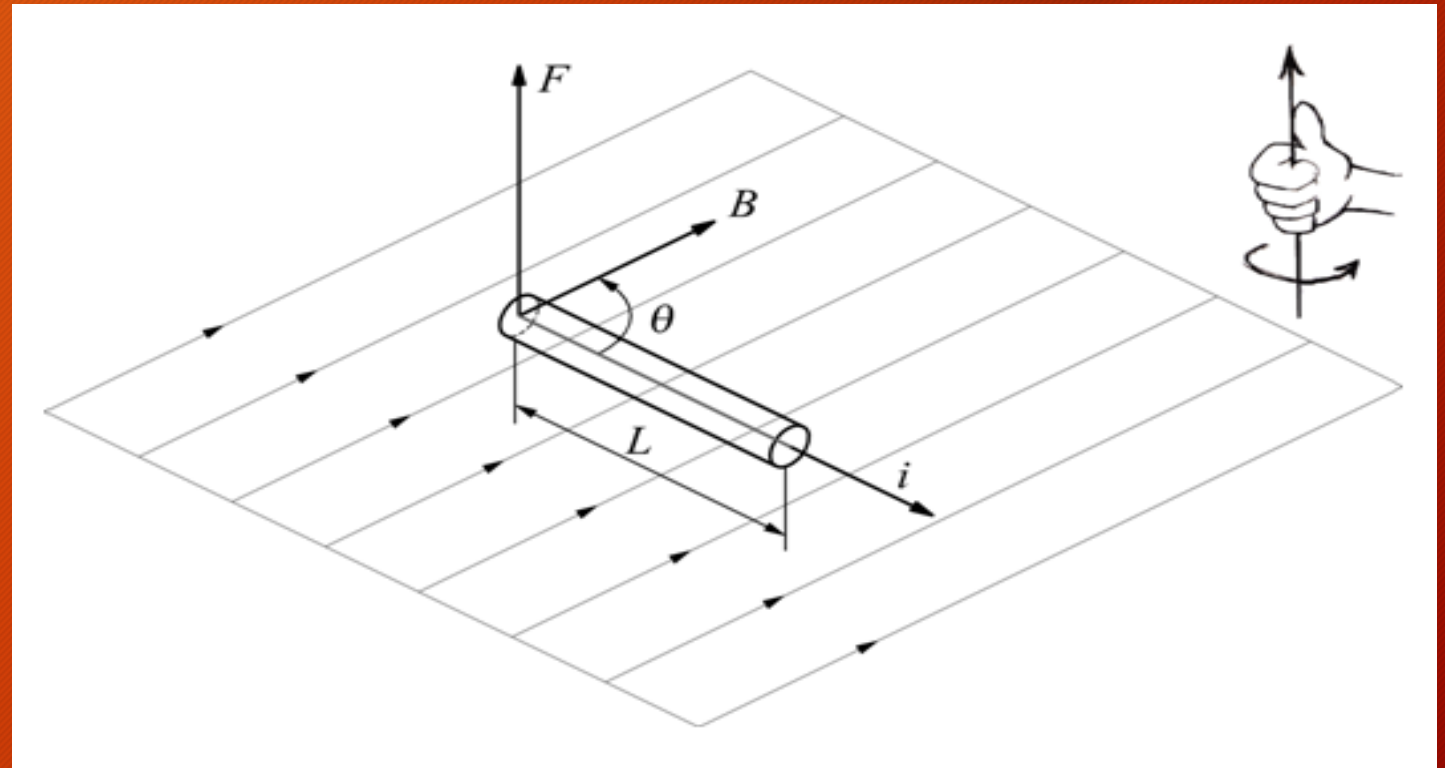


C'è ancora almeno una cosa da sapere!!

Quando un conduttore di lunghezza L [m] è percorso da una corrente elettrica I [A] viene posto in un campo magnetico B [T], esso è soggetto ad una forza F [N] perpendicolare al piano formato da I e B e verso individuato con la regola della mano destra (vedi figura).

L'intensità della forza è data da:

$$F = I \cdot B \cdot L \cdot \sin\theta$$



Forza magnetica su fili percorsi da corrente

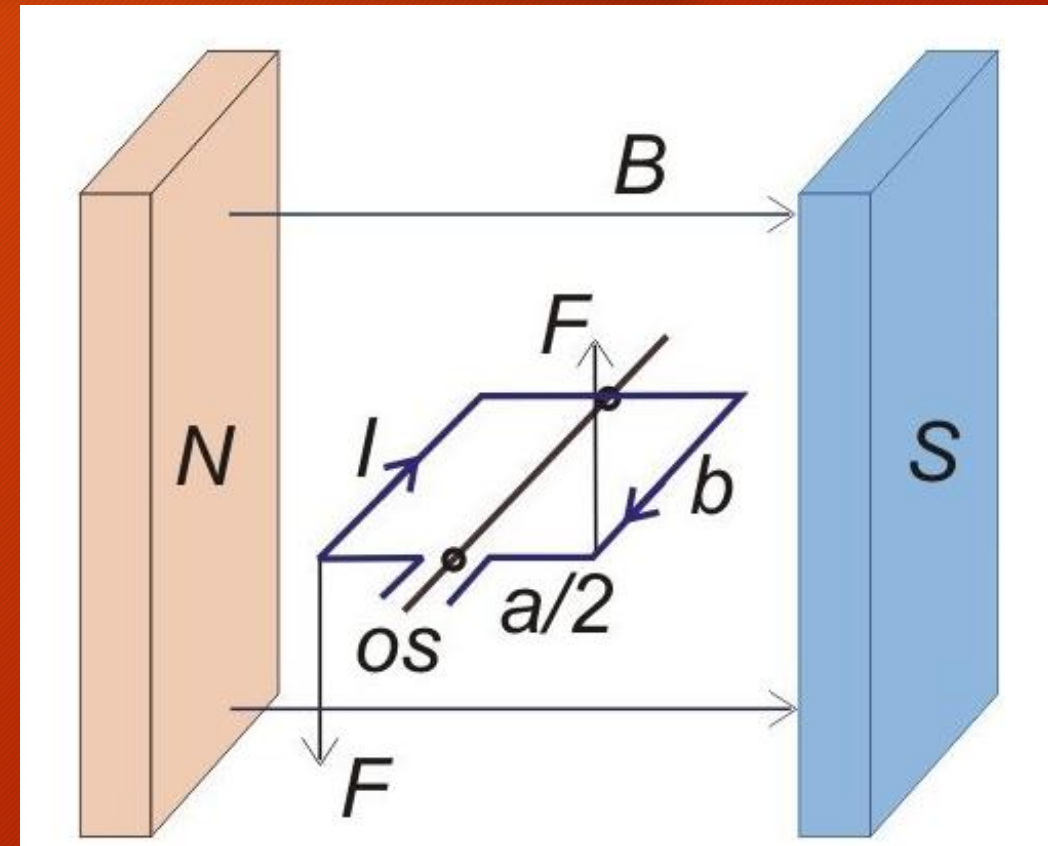
31

Guardiamo la figura a fianco e cerchiamo di capire perché è importante sapere che si genera una forza sui conduttori immersi in un campo magnetico.

Il circuito (spira) è soggetto a due forze F che generano due momenti pari a

$M_1 = M_2 = F \cdot (a/2)$ e quindi ad un momento totale $M_t = M_1 + M_2 = F \cdot a$ che mette in rotazione la spira in senso antiorario !!!!

(è il nostro primo piccolo motorino !!!)



Bibliografia

- *Tecnologie elettrico-elettroniche e applicazioni - Vol.1 - M. Coppelli B- Stortoni - Ed. Mondadori*

Sitografia:

- https://it.wikipedia.org/wiki/Wikipedia_in_italiano
- https://www.youtube.com/watch?v=qzSYJ3_ocBg
- <https://www.youtube.com/watch?v=SQLHChu86Dg>
- <http://www.edutecnica.it/>