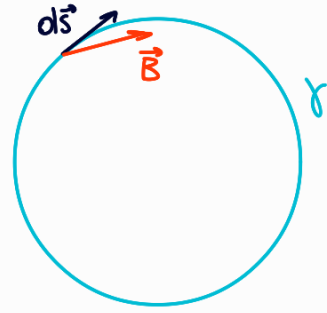


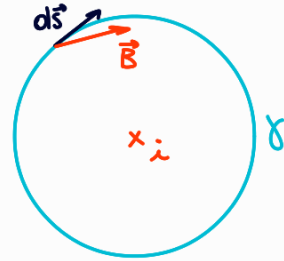
Ricordiamo che la legge di ampere consente di calcolare l'integrale

$$\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$



Se il campo magnetico è prodotto da un filo rettilineo percorso da corrente:

$$\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 4\pi k_m \cdot i$$



Non ci basta fare un calcolo su un singolo filo, vogliamo un'formula più generale.

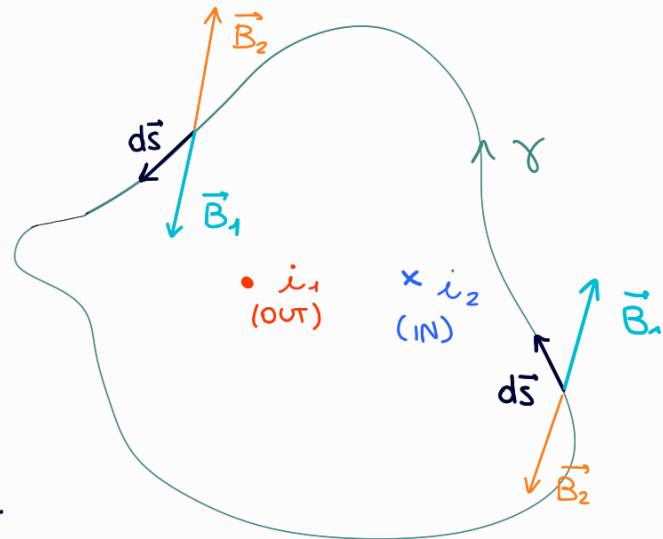
Supponiamo di avere una corrente i_1 e da una corrente (entrante) i_2

$$\begin{aligned} \oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} &= \oint_{\gamma} (\vec{B}_1 + \vec{B}_2) \cdot d\vec{s} \\ &= \oint_{\gamma} \vec{B}_1 \cdot d\vec{s} + \oint_{\gamma} \vec{B}_2 \cdot d\vec{s} + \dots \end{aligned}$$

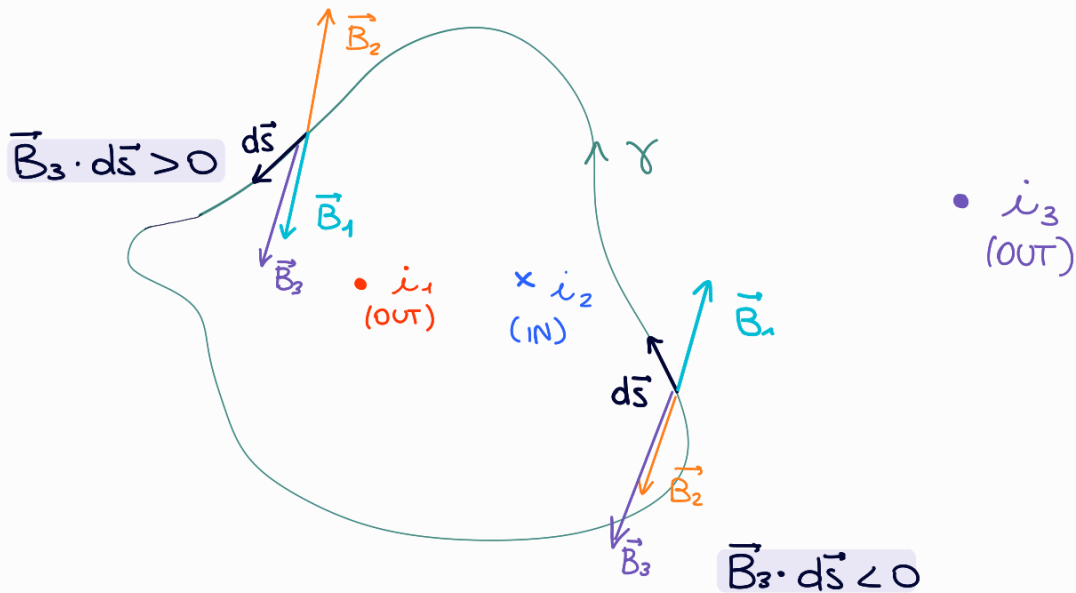
$$= 4\pi k_m i_1 \ominus 4\pi k_m i_2$$

perché le correnti hanno versi opposti

$$\Rightarrow \vec{B}_1 \cdot d\vec{s} > 0 \quad \text{e} \quad \vec{B}_2 \cdot d\vec{s} < 0$$



Prendiamo ora una corrente all'esterno di γ , i_3 (uscente)



$$\Rightarrow \oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint (\vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3) \cdot d\vec{s}$$

$$= \oint_{\gamma} \vec{B}_1 \cdot d\vec{s} + \oint_{\gamma} \vec{B}_2 \cdot d\vec{s} + \oint_{\gamma} \vec{B}_3 \cdot d\vec{s}$$

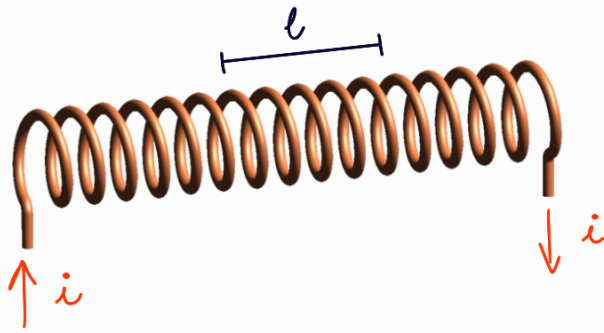
$$= 4\pi k_m i_1 - 4\pi k_m i_2$$

per metà del percorso $\vec{B}_3 \cdot d\vec{s} > 0$ e
per l'altra metà $\vec{B}_3 \cdot d\vec{s} < 0$

$$\Rightarrow \oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 4\pi k_m \sum_k i_k$$

La somma è solo sulle correnti concatenate;
Il segno è deciso dalla regola della mano destra.

SOLENOIDE RETTILINEO DI LUNGHEZZA INFINITA

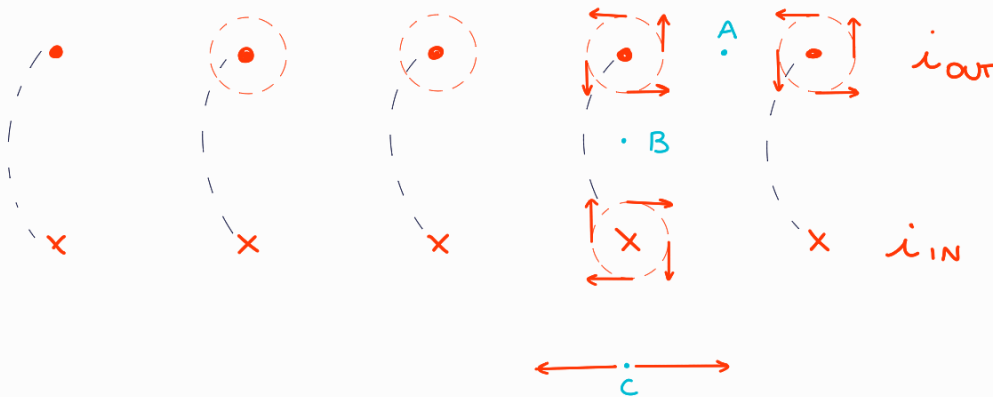


Prendiamo un tratto di solenoide di lunghezza l :

il numero di avvolgimenti per unità di lunghezza è dato da $n = \frac{N}{l}$

Legge di Ampere
$$\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 4\pi k_m \sum_k i_k$$

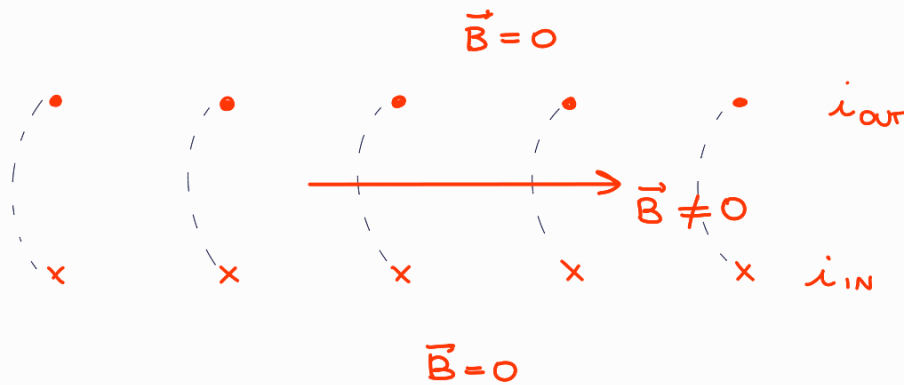
Prendiamo una sezione di solenoide:



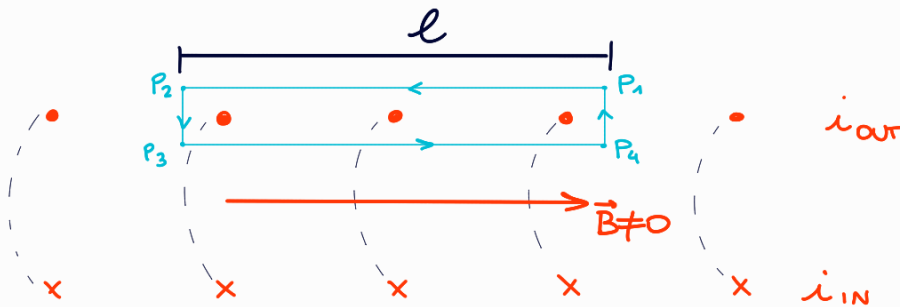
Abbiamo disegnato le linee di campo:

- Nei punti tra un filo e l'altro, soggetto all'effetto di due correnti uscenti (punto A), il campo è nullo;
- Se invece siamo sull'asse del filo (punto B), cioè tra una corrente uscente e una entrante, vediamo che il campo magnetico è diverso da zero;
- Se prendiamo ancora un punto al di fuori del solenoide (punto C), vediamo che il contributo del campo magnetico è nullo.

In definitiva possiamo vedere che il campo magnetico nel solenoide è diverso da zero ed è diretto lungo l'asse del solenoide.



Quindi quanto vale il campo magnetico? Usiamo la legge di Ampere



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{P_2}^{P_3} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{P_3}^{P_4} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{P_4}^{P_1} \vec{B} \cdot d\vec{s} =$$

esterno al solenoide $\Rightarrow = 0$

sopprime solo $l i$

$= 0$
perché o $\vec{B} = 0$ (parte esterna)
o $\vec{B} \perp d\vec{s}$

$$= \int_{P_3}^{P_4} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{P_3}^{P_4} B \cdot ds = B \cdot l$$

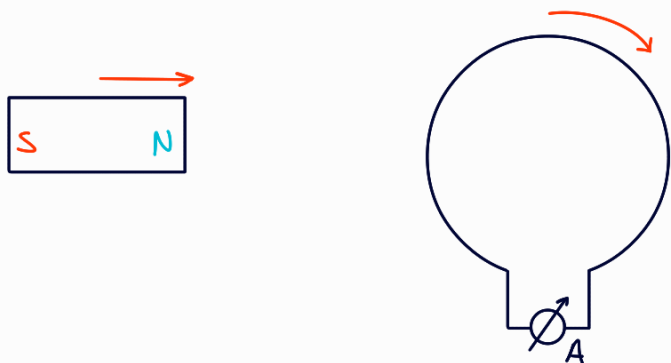
ma so anche che $B l = 4\pi k_m (n l) i$

$$\Rightarrow B = 4\pi k_m n i$$

con $4\pi k_m = \mu_0$

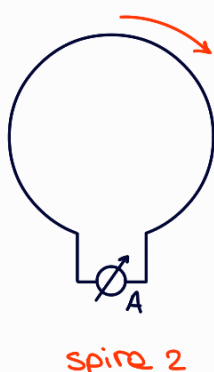
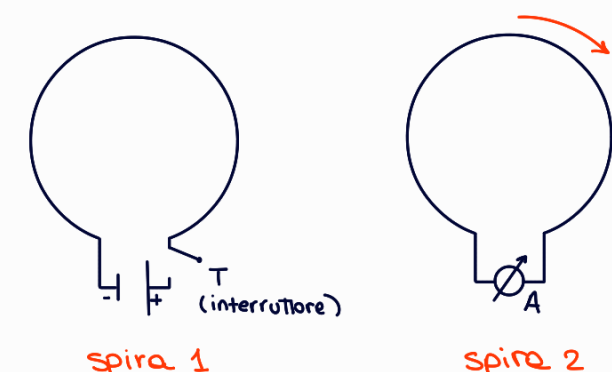
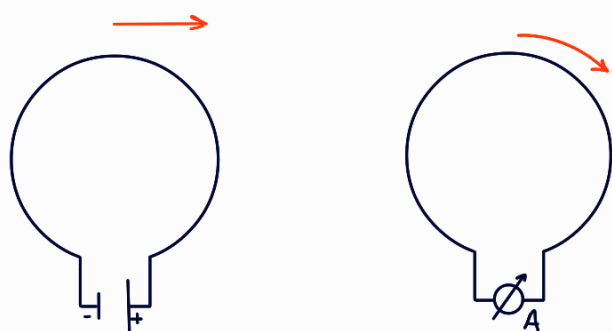
INDUZIONE ELETTROMAGNETICA — LEGGE DI FARADAY-LENZ

Vediamo tre situazioni in cui un magnete viene spostato rispetto ad una spira collegata ad un amperometro:



Più si avvicina il magnete alla spira, più saranno le linee di campo che la attraversano.

In corrispondenza a questo spostamento si nota una variazione nell'amperometro.



In questo caso: aprendo e chiudendo l'interruttore si osservano dei picchi di corrente nell'amperometro.

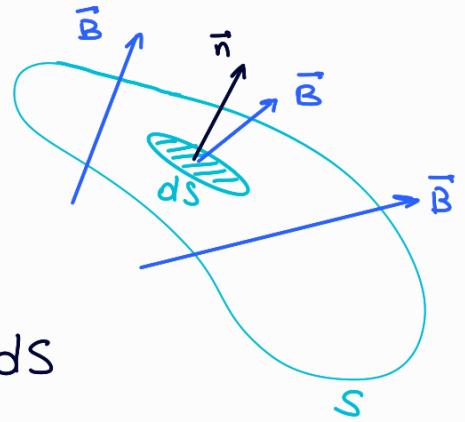
spira 1



Nei tre casi vediamo che nella colonna di sinistra ci sono dei campi magnetici che causano variazioni nella corrente nella colonna di destra perchè cambia il numero delle linee di campo magnetico che attraversano l'amperometro.

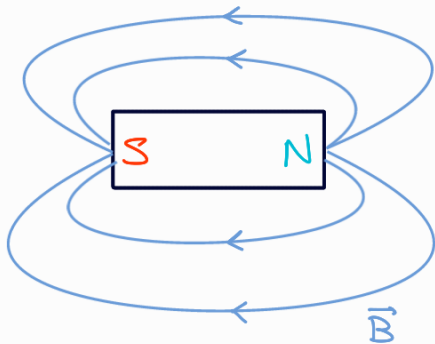
È necessario introdurre il concetto di **flusso del campo magnetico**.

$$\Phi_{\vec{B}} = \int_S \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$



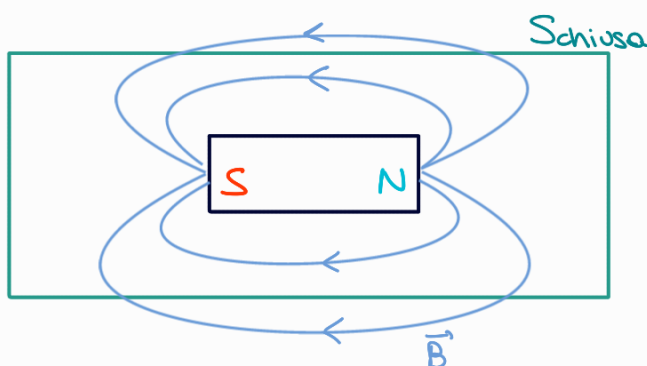
- Il campo magnetico è lo stesso per tutti i punti dS
- \vec{n} definisce come è orientato dS
- Il flusso del campo magnetico definisce il numero di linee di campo che attraversano una superficie.

Per cosa il flusso del campo magnetico differisce dal flusso del campo elettrico ?



In un magnete abbiamo sempre linee che escono dal polo nord ed entrano nel polo sud.
Inoltre non esiste il monopolo magnetico: non posso isolare un polo.

Racchiudiamolo in una superficie chiusa:



$$\oint_{S_{chiusa}} \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$

Il numero di linee entranti è uguale al numero di linee uscenti:

$$\Rightarrow \Phi_{\vec{B}} = 0$$

Il flusso del campo magnetico attraverso una superficie chiusa è sempre nullo.

Legge di Faraday-Lenz

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi_{\vec{B}}}{dt}$$

Quando abbiamo un magnete e una spira (come i tre casi visti sopra) si manifesta una **forza elettromotrice indotta** uguale alla variazione nel tempo del flusso del campo magnetico cambiata di segno.