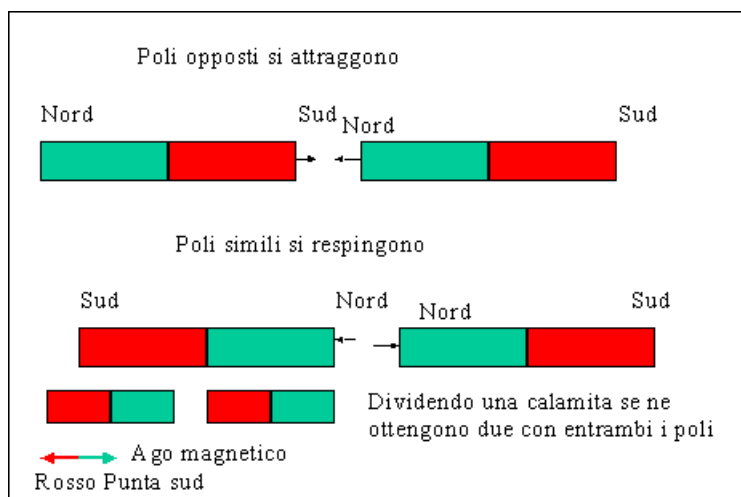


## MAGNETISMO. [TORNA ALL'INDICE](#)

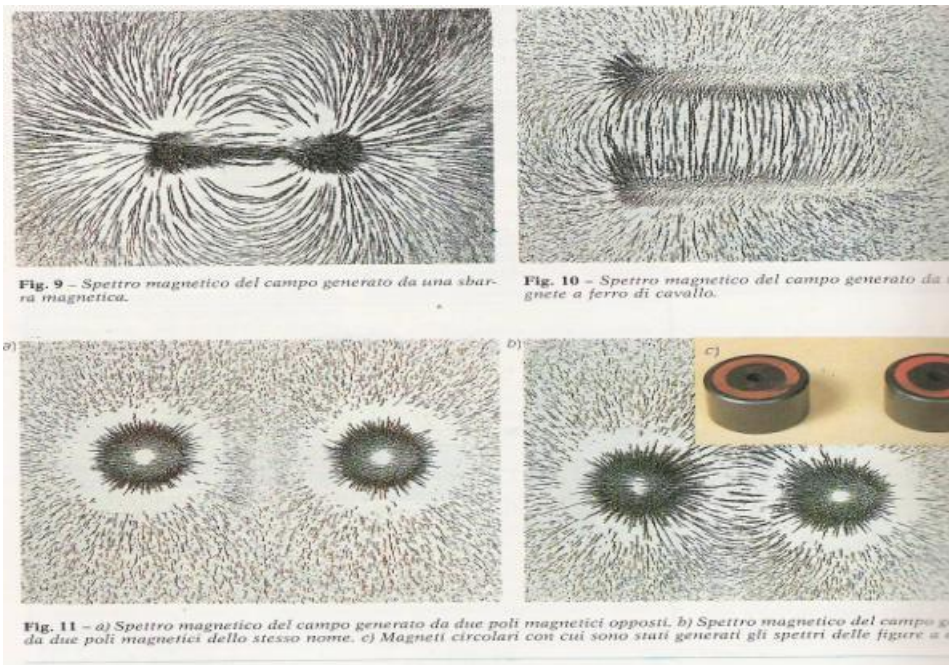
Fin dal VI secolo a.C si sa che la magnetite, minerale ferroso, di cui un grosso giacimento fu trovato vicino a Magnesia, ha la proprietà di attirare, specialmente alle sue estremità, chiamati poli, la limatura di ferro o dei pezzi di ferri. Tutti i corpi che hanno questa caratteristica vengono chiamati calamite. Un ago magnetico è una calamita, che è a forma di ago ed è libera di ruotare attorno ad un asse verticale, passante per il suo centro. Un ago magnetico sulla superficie terrestre si dispone con una punta verso il nord geografico e con l'altra sempre verso il sud geografico. Da ciò le due estremità del magnete vengono chiamate polo Nord e polo Sud. Ogni calamita ha un polo nord e un polo sud. Se avviciniamo due calamite si può notare che poli simili si respingono e poli contrari si attraggono. Se sono affacciati due poli nord o due poli sud si ha repulsione, se invece si affacciano un polo nord e un polo sud si attraggono. Si può notare l'affinità con le cariche elettriche (cariche di segno eguale si respingono, di segno opposto si attirano). Mentre però nel caso delle cariche elettriche si può avere la carica elettrica negativa o positiva separata da quella opposta, nel caso delle calamite non si può ottenere un polo nord separato da un polo sud. Nella stessa calamita sono sempre contemporaneamente presenti i due poli. Se infatti si spezza una calamita si ottengono due nuove calamite più piccole con la presenza di entrambi i poli, comunque si procede nella suddivisione. Non esiste, fino ad oggi, il polo magnetico singolo, ma abbiamo a disposizione sempre un dipolo magnetico.



Si può, per analogia con il caso elettrico e gravitazionale, interpretare l'azione che agisce su una calamita come dovuta al campo magnetico, generato dall'altra calamita.

In genere si dirà che un punto P dello spazio è sede di un campo magnetico, se, ponendo in esso, un ago magnetico, libero di ruotare attorno ad un asse centrale,

questo si dispone in una certa direzione che è posizione di equilibrio. Se lo giriamo torna nella precedente posizione, che corrisponde alla posizione in cui le due forze, agenti sui poli, avranno le rette di azioni coincidenti, in modo che il momento della coppia di forze sia nullo. La direzione del campo magnetico sarà data dalla retta congiungente i due poli dell'ago e il verso sarà dal sud al nord dell'ago stesso. Se in un campo magnetico si dispone una serie di piccoli aghi magnetici, essi si dispongono su particolari linee, dette linee di forze, il cui verso è quello del campo magnetico. Se le linee di campo sono fra di loro parallele il campo magnetico sarà costante. La visualizzazione delle linee di forze si può ottenere disponendo attorno al magnete della limatura di ferro. I pezzettini di ferro saranno tanti aghi magnetici, che si orienteranno secondo le linee di campo del campo magnetico.

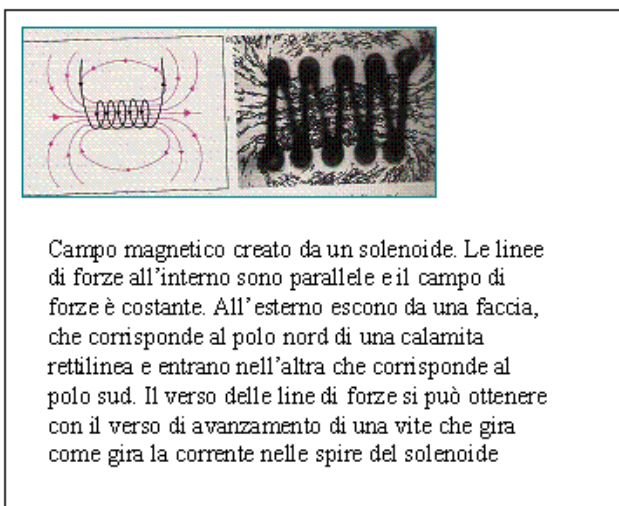
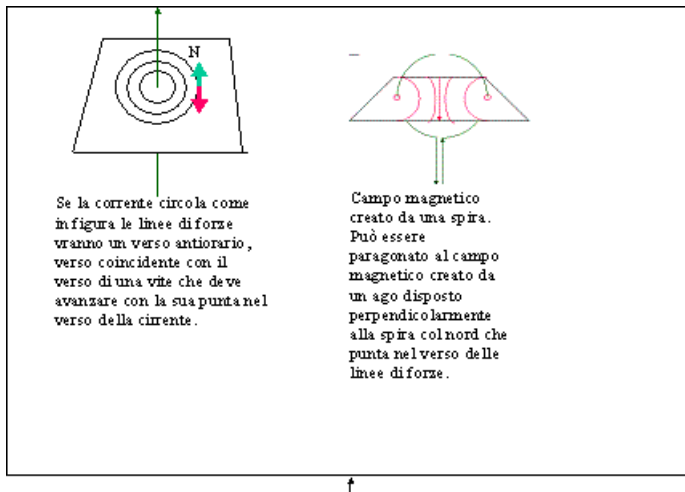


Le linee di forze di un campo magnetico vanno sempre dal polo Nord al polo sud del magnete che genera il campo. Il fatto che l'ago magnetico sulla superficie terrestre, in assenza di magneti nelle vicinanze, si dispone nella direzione nord-sud geografico, ci dice che la terra è sede di un campo magnetico, la cui causa non conosciamo.

### ESPERIENZA DI OERSTED.

Nel 1820 il fisico danese Oersted notò che un ago magnetico, posto nelle vicinanze di un filo conduttore, quando questo è percorso da corrente, si dispone perpendicolarmente alla linea congiungente il filo e il punto dove è posto. La corrente che scorre nel filo genera intorno a sé un campo magnetico le cui linee di forze sono delle circonferenze che hanno il centro in corrispondenza del filo. I

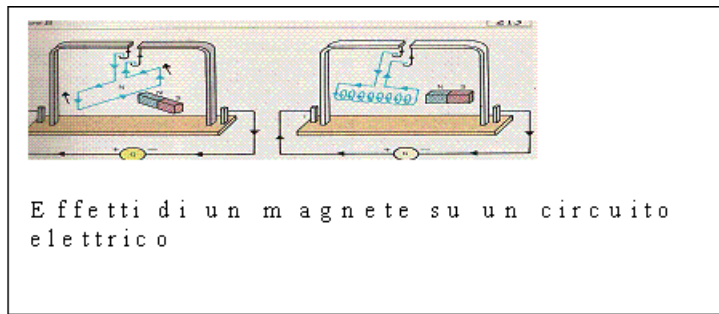
circuiti elettrici, percorsi da corrente, come i magneti naturali creano nello spazio circostante un campo magnetico. Nella figura vi sono alcuni esempi.



Le correnti elettriche che circolano nei circuiti elettrici si comportano come delle calamite, creano intorno a sé un campo magnetico, agiscono cioè su un ago magnetico, facendolo orientare in una certa direzione.

I circuiti elettrici percorsi da corrente d'altra parte subiscono anche gli stessi effetti se posti in un campo magnetico generato da una calamita.

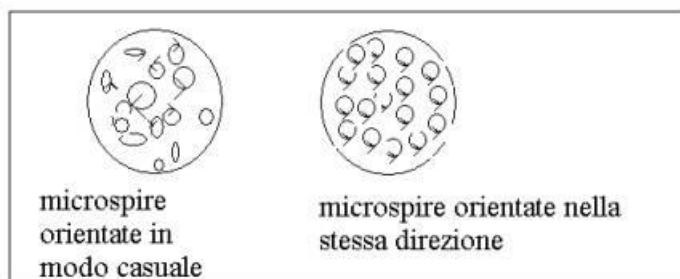
La spira, che corrisponde ad un ago magnetico perpendicolare al suo piano, se posto in un campo magnetico, generato da un magnete naturale, si dispone con la sua superficie perpendicolarmente alle linee di forze del campo. Un solenoide, che è simile ad una calamita rettilinea, avrà una faccia(nord) che è respinta dal polo nord e attratta dal polo sud di una calamita e un'altra faccia(sud) che si comporta all'inverso.



## IPOTESI DI AMPÈRE.

I circuiti elettrici e le calamiti sono equivalenti, poiché generano entrambi un campo magnetico e posti in un campo magnetico sono sottoposti agli stessi effetti. Come mai due enti all'apparenza così diversi si comportano dal punto di vista magnetico nello stesso modo? Ampère a tal proposito fece la seguente ipotesi:

Tutti i materiali possiedono al loro interno delle spire microscopiche percorse da microcorrenti. Ognuna di questa spira genera un campo magnetico microscopico. Siccome però dette microspire sono in genere orientate in modo casuale la somma dei campi magnetici microscopici si annulla e il materiale non dà luogo a un campo magnetico macroscopico. Se invece, come accade nelle calamiti, le microspire hanno tutte la stessa orientazione, la somma è diversa da zero e si crea perciò un campo magnetico macroscopico. L'acciaio o il ferro, che comunemente non sono dei magneti, posti in un campo magnetico subiscono il fenomeno dell'orientamento delle microspire e diventano perciò anche essi dei magneti..



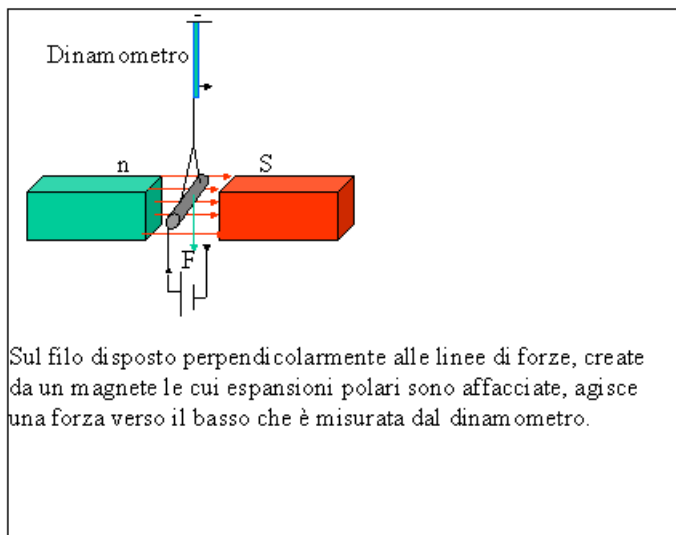
Ampère con la sua ipotesi riesce a spiegare tutto il magnetismo, sia quello delle calamiti che quello dei circuiti percorsi da corrente come dovuto ad una unica causa la corrente, che può circolare nei circuiti macroscopici o nei microcircuiti all'interno dei materiali.

Dopo la metà dell'ottocento, siccome la corrente elettrica venne spiegata come spostamento di cariche elettriche elementari all'interno dei conduttori, si pensò che è il movimento delle cariche elettriche, che, avvenendo o all'interno dei conduttori o anche nel vuoto, genera il campo magnetico. A tal proposito Rowland prese un disco di materiale isolante e lo caricò di cariche positive o negative. Se il disco è fermo si genera solo un campo elettrico, se invece il disco è

in rotazione, si comporta come una spira, percorsa da corrente, e genera un campo magnetico. E' perciò il moto delle cariche che genera un campo magnetico. Le microspire che ipotizzò Ampère sono costituite dalle orbite degli elettroni che girano attorno al nucleo degli atomi.

## DEFINIZIONE DEL VETTORE B

Abbiamo finora definito la direzione e verso del campo magnetico e come esso si genera. Vediamo ora di definire anche l'intensità del campo magnetico. Nel caso elettrico ci siamo serviti di una carica di prova e, siccome la forza su di essa agente è direttamente proporzionale alla carica stessa, il campo elettrico è stato definito come rapporto fra la forza e la carica stessa. Nel caso del campo magnetico non possiamo servirci del polo magnetico, in quanto esso non esiste in modo isolato. Ci serviremo invece di un filo rettilineo percorso da corrente. Su un tale filo, percorso da corrente agisce una forza, che dipende anche dall'orientazione del filo. La forza è nulla se il filo è disposto parallelamente alle linee di forze del campo ed è massima se esso è disposto perpendicolarmente alle linee di forze del campo. Inoltre tale forza è perpendicolare sia alla direzione del filo che alle linee di forze del campo. Il verso della forza si può ottenere con la regola delle tre dita della mano sinistra. Si dispongono il pollice, l'indice e il medio perpendicolarmente. Se si dispongono l'indice, nella direzione del campo, e il medio, nella direzione della corrente, il pollice ci dà il verso della forza.



Se il filo è disposto nella posizione di forza massima, cioè perpendicolarmente alla direzione del campo magnetico, l'esperienza ci insegna che la forza è direttamente proporzionale alla lunghezza del filo e all'intensità di corrente che circola nel filo. Sarà perciò:

$$\frac{F}{LI} = K \quad 1$$

$$\frac{F}{LI} = B \quad 2$$

$$\text{Tesla} = \frac{N \cdot m}{A \cdot m^2} = \frac{\text{Joule} \cdot s}{\text{Coulomb} \cdot m^2} = \frac{\text{Volt} \cdot s}{m^2} \quad 3$$

La costante dipende dal campo magnetico, varia cioè se cambiamo il campo magnetico, cambiando calamita o punto in cui è posto il filo se il campo non è costante. Il rapporto perciò fra la forza agente sul filo e  $I \cdot L$  ci dà una misura di una proprietà del campo che chiamiamo vettore induzione magnetica  $B$  (2).

L'unità di misura di questa nuova grandezza è  $N/(A \cdot m) = \text{tesla}$ .

Se moltiplichiamo numeratore e denominatore per metro si ha 3

Usando un filo percorso da corrente possiamo misurare tramite la formula precedente i campi magnetici. D'altra parte se conosciamo  $B$  la forza che agisce sul filo disposto perpendicolarmente al campo magnetico è  $F = BLI$ .

### **Induzione magnetica di un solenoide**

Consideriamo un solenoide e misuriamo il vettore  $B$ , disponendo un filo percorso da corrente perpendicolarmente alle sue linee di forze.

Il vettore  $B$  del campo magnetico, creato dal solenoide, è direttamente proporzionale alla corrente che circola nel solenoide e al numero delle spire per unità di lunghezza del solenoide. Ponendo  $n = N/L$  con  $N$  numero totale delle spire e  $L$  lunghezza del solenoide sarà:

$$B = \mu_0 n I$$

con  $\mu_0$ , costante di proporzionalità, chiamata permeabilità magnetica del vuoto e che vale  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ v} \cdot \text{s} / (\text{A} \cdot \text{m})$ .

Se il solenoide è avvolto attorno ad un materiale sarà:

$$B = \mu_r B_0 = \mu_r \mu_0 n I.$$

Il vettore  $B$  diventa cioè  $\mu_r$  volte il valore che si avrebbe nel vuoto. La costante  $\mu_r$  dipende dal materiale, è un numero puro e prende il nome di permeabilità magnetica relativa.

Se  $\mu_r < 1$  sarà  $B < B_0$  e le sostanze si dicono diamagnetiche.

Se  $\mu_r > 1$  sarà  $B > B_0$  e le sostanze si dicono paramagnetiche.

Se  $\mu_r \gg 1$  sarà  $B \gg B_0$  e le sostanze si dicono ferromagnetiche.

Le elettrocalamite sono dei solenoidi, con le spire avvolte attorno ad una sostanza ferromagnetica in modo che con correnti non troppo alte  $B$  sarà grande e quindi la forza che dette elettrocalamite esercitano è alta.

Quando un solenoide ha le spire avvolte attorno ad una sostanza, al campo magnetico creato dalla corrente che circola nelle spire del solenoide bisogna aggiungere il campo magnetico generato dalla magnetizzazione del materiale. Per le sostanze diamagnetiche tale campo avrà verso opposto rispetto al campo ( $B < B_0$ ) delle correnti, mentre per le sostanze paramagnetiche e ferromagnetiche avrà lo stesso verso. Infatti ogni atomo possiede dei microcircuiti, che sono le orbite degli elettroni. Se queste microspire, a livello atomico, sono orientate in modo da dare una microspira diversa da zero, esse sotto l'effetto del campo magnetico macroscopico, creato dalla corrente del solenoide, tenderanno ad orientarsi nella stessa direzione e verso dando luogo ad un campo magnetico macroscopico che va ad aggiungersi a quello generato dalla corrente del solenoide. Sarà perciò  $B = B_0 + B_s$ . Il campo magnetico dovuto all'orientazione delle spire  $B_s = \chi B_0$  dipenderà dal campo magnetico dovuto alla corrente del solenoide, che è il campo orientante.

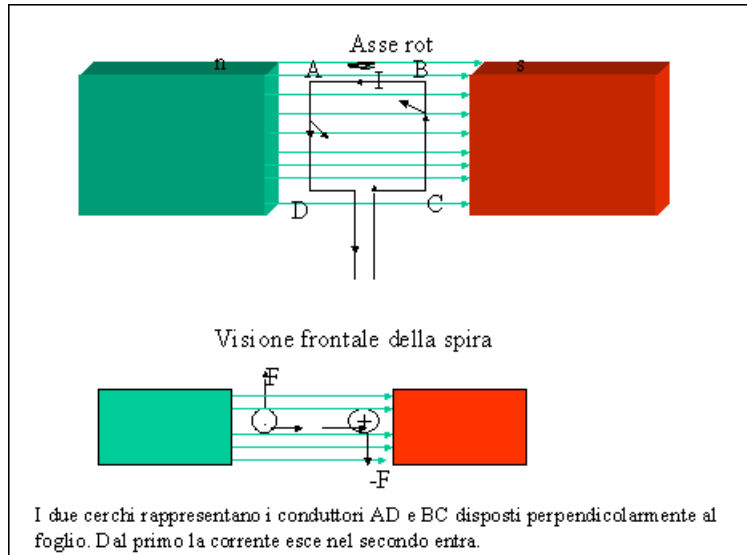
$$B = B_0 + \chi B_0 = (1 + \chi) B_0 = \mu_r B_0 \text{ con } \mu_r > 1 \text{ (sostanze para o ferromagnetiche).}$$

Se le orbite degli elettroni sono orientate in modo che la somma delle microspire ci dà una microspira atomica con corrente nulla, l'effetto della orientazione non ci sarà, ma ci sarà l'effetto della precessione di Larmor. Gli elettroni in moto subiranno una forza che tende a farli girare in senso opposto in modo da creare un campo magnetico, che ha verso opposto a quello generato dalla corrente del solenoide. Questo effetto si ha per tutte le sostanze, ma, essendo molto piccolo, è visibile quando non c'è l'orientazione delle microspire. In questo caso sarà

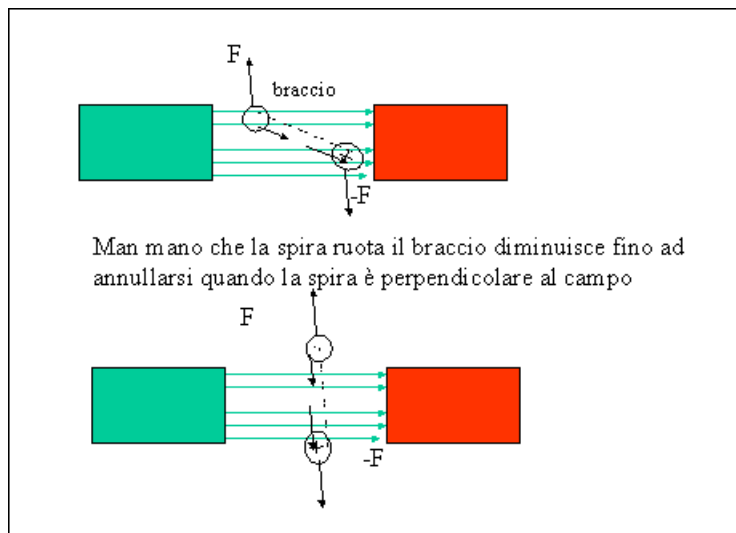
$$B = B_0 - B_s; B = B_0 - \chi B_0 = (1 - \chi) B_0 = \mu_r B_0 \text{ con } \mu_r < 1 \text{ (sostanze diamagnetiche).}$$

## MOMENTO AGENTE SU UNA SPIRA PERCORSA DA COPRRENTE.

Se poniamo una spira percorsa da corrente in un campo magnetico essa ruota e si dispone con la sua posizione perpendicolarmente alle linee di forze del campo magnetico. Vediamo di determinare il momento di rotazione della spira.

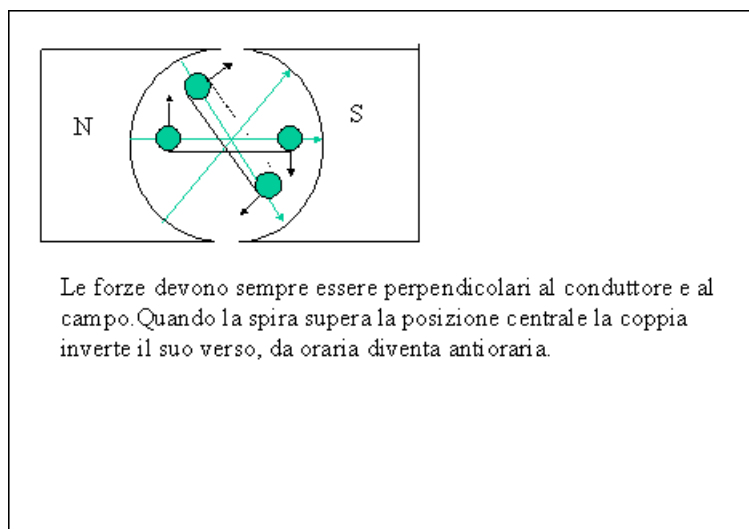


Sui conduttori AD e BC , perpendicolari alle linee di forze agiscono due forze, perpendicolari ai conduttori e alle linee di forze, che sono eguali in intensità e contrarie in verso come si può dedurre dalla regola della mano sinistra. Queste due forze la cui intensità  $F=B \cdot AD \cdot I$  danno luogo ad una coppia di forze il cui momento orario è  $F \cdot b$  con  $b$  distanza fra le due rette d'azione. Nella posizione considerata della spira il braccio coincide esattamente con il lato AB della spira. Sarà perciò  $M=B \cdot AD \cdot AB \cdot I=B \cdot S \cdot I$  con  $S$  superficie della spira. Se la spira ruota la coppia diminuisce, perché le forze rimangono identiche, ma diminuisce il braccio.



Possiamo perciò dire che se la spira è parallela la coppia è massima ed il momento è eguale a  $B \cdot S \cdot I$ , se la spira è perpendicolare al campo la coppia è nulla e perciò questa è la posizione di equilibrio..

Se le espansioni polari del magnete sono sagomate a semisfere, le linee di forze, che sono sempre perpendicolari alla superficie dei poli, non sono parallele, ma passeranno tutte per un unico punto che è il centro delle due semisfere che costituiscono i poli. IN questo caso una spira è sempre parallela al campo, ameno che non si trovi nella posizione centrale. Il momento è perciò sempre eguale  $B \cdot S \cdot I$  e cioè direttamente proporzionale all'intensità di corrente che circola nella spira.



### Amperometri.

Gli amperometri sono costituiti da una spira collegata in serie al circuito, in modo che in essa circoli la corrente che si vuol misurare, immersa fra le espansioni polari di un magnete come in figura e munita di un ago, che è solidale alla spira.

Quando in essa circola corrente nel senso opportuno su di essa agisce un momento orario, direttamente proporzionale alla intensità di corrente  $I$ . Quando la spira ruota o si estendono delle molle o si torce un filo collegato alla spira, che creano un momento antiorario direttamente proporzionale all'angolo di rotazione  $\alpha$ . La spira ruota perciò fino a quando i due momenti non sono eguali. Nella posizione in cui si ferma sarà

$$B \cdot S \cdot I = k \cdot \alpha.$$

Dalla misura di  $\alpha$ , che determiniamo tramite l'indice si può ottenere  $I$ .

Questi amperometri sono detti magneto-elettrici.

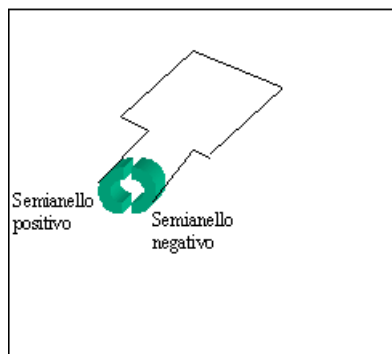
Se al posto della calamita, si mette un solenoide, avvolto attorno a un materiale ferromagnetico sagomato come la calamita, e le spire del solenoide sono in serie con la spira immersa nel campo magnetico, la corrente che circola nella spira è la stessa di quella che circola nel solenoide. In questo caso pur essendo sempre  $M = B \cdot S \cdot I$ ,  $B$  a sua volta è direttamente proporzionale ad  $I$ . Perciò  $M = k' \cdot I^2$  e all'equilibrio  $k' \cdot I^2 = k \cdot \alpha$ . La scala invece di essere lineare sarà quadratica. Il verso di rotazione è indipendente da  $I$ . Cambiando il verso di  $I$  cambia anche il verso del campo, restando immutato il verso della rotazione. Se  $I$  è il doppio,  $\alpha$  sarà quattro volte maggiore.

Questi amperometri sono chiamati elettrodinamici.

I voltometri funzionano come gli amperometri, solo che in serie alla spira è inserita una elevata resistenza. L'insieme della spira e della resistenza è inserito in parallelo al circuito. Una parte piccolissima della corrente del circuito passa in detto ramo. La differenza di potenziale sarà  $R \cdot I_v$ , dove  $R$  è la resistenza del voltmetro e  $I_v$  è la corrente che circola nella spira.

## MOTORI ELETTRICI

I motori elettrici sono costituiti da spire, poste in un campo magnetico, come per gli amperometri. Le estremità della spira strisciano, tramite due contatti striscianti, spazzole, su due semianelli collegati al polo positivo e negativo di un generatore. Immaginiamo la spira, disposta parallelamente al campo. Se in essa circola corrente, su di essa agisce una coppia di forze che la fa ruotare. Dopo una rotazione di 90 gradi la coppia sulla spira si annulla, ma essa, per inerzia supera questa posizione e viene a trovarsi con il conduttore che prima era sotto il polo nord al polo sud e viceversa. Contemporaneamente la spazzola che prima strisciava sul semianello positivo ora striscia su quello negativo e viceversa. La coppia che agisce sulla spira non cambia verso.



## FORZA DI LORENTZ.

Sappiamo che su un filo percorso da corrente, posto in un campo magnetico, agisce una forza  $F=B*L*I$  e che la intensità di corrente è la carica che attraversa una sezione del conduttore in un secondo. In un conduttore metallico la corrente è dovuta al moto degli elettroni di conduzione, che con una certa velocità media, si spostano da potenziale minore a quello maggiore. Calcolando il numero di elettroni che passano ad ogni secondo attraverso la sezione del conduttore e moltiplicando per la carica di un elettrone e sappiamo anche la intensità di corrente. I cerchi verdi in figura rappresentano gli elettroni di conduzione che si spostano da polo negativo a positivo con una velocità media  $v$ . Gli elettroni che nel tempo  $\Delta t$  attraversano  $S$  sono tutti quelli che si trovano nel volume compreso fra  $S$  e  $S'$ , distanti fra di loro lo spazio che gli elettroni percorrono in  $\Delta t$  pari a  $v*\Delta t$ . Se  $N$  è il numero totale di elettroni di conduzione del conduttore,  $N/V$  è il numero per unità di volume.

$$\frac{N}{V} \text{ (numero elettroni per unità di volume)} \quad \frac{N}{S*L}$$

$$\frac{N}{V} * v * \Delta t * S \text{ (numero di elettroni compresi fra } S \text{ e } S' \text{ e che in } \Delta t \text{ attraversano } S)$$

$$\frac{N}{S*L} * v * \Delta t * S * e \text{ (carica che in } \Delta t \text{ attraversano } S)$$

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{N}{L} * v * e; \quad F = B * L * I = B * L * \frac{N}{L} * v * e;$$

La forza  $F$  che agisce sul conduttore può essere quindi la somma della forza  $f$  che

agisce sui singoli elettroni che si muovono all'interno del campo con velocità  $v$  perpendicolare al campo. Tale forza, chiamata forza di Lorentz, agisce ogni qualvolta una carica si muova all'interno di un campo magnetico, sia se il movimento avviene all'interno del conduttore, sia se avviene nel vuoto e vale  $f=B*v*q$  ed è perpendicolare sia al campo che alla velocità. Il verso di tale forza si può ottenere con la regola della mano sinistra, sostituendo al verso della corrente il verso della velocità se la carica è positiva, il verso opposto se la carica è negativa. Da notare che essendo la forza perpendicolare alla velocità, essa è una forza centripeta, che provoca quindi non una variazione dell'intensità della velocità, ma una variazione nella sua direzione di propagazione.