

# Festival della filosofia 2016 - Agonismo

## Vinca il migliore

Formazione degli studenti di scuola superiore  
in alternanza scuola-lavoro

### CAMPO ELETTRICO

- Penna a sfera strofinata attira pezzetti di carta. E' un fenomeno elettrico.
- Studiamo il fenomeno. Strofiniamo materiali (palline) diversi con stoffe diverse:



Se preparati allo stesso modo si respingono; se preparati in modo diverso a volte si respingono e a volte si attraggono. Esistono due forme di carica elettrica. Cariche dello stesso tipo (segno) si respingono; cariche di segno opposto si attraggono. La forza elettrica (forza di Coulomb) è inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra le cariche, assunte puntiformi.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

- Perché strofinando del materiale questo si carica?
  1. I sistemi fisici tendono naturalmente ad andare verso stati di minore energia potenziale (l'acqua cade verso il basso)
  2. La materia è formata di atomi con cariche positive pesanti (nuclei) e cariche negative, molto più leggeri e mobili (elettroni). Nel complesso le cariche positive sono uguali (ed opposte) a quelle negative, cosicché la materia è neutra.



3. Strofinando materiali diversi gli elettroni tendono a trasferirsi nel materiale dove hanno energia potenziale minore (come l'acqua nei vasi comunicanti), caricando in tal modo il materiale di arrivo negativamente e lasciando il materiale abbandonato carico positivamente.

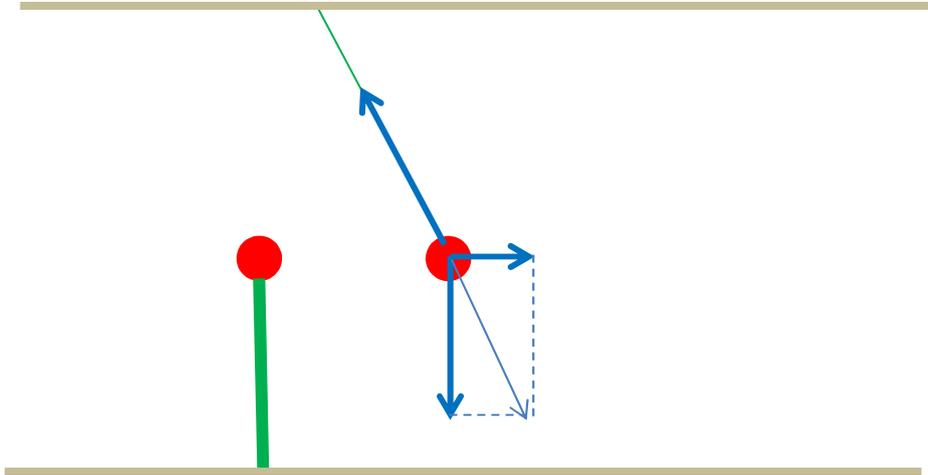
Perché, allora, la penna carica attira il pezzetto di carta che non è carico?

La penna carica attira la carica nella carta di segno contrario e respinge quella di segno uguale, deformando leggermente la disposizione delle cariche. Si dice che la carta si polarizza.



A questo punto la carica di segno contrario si trova più vicina alla penna e subisce una forza di attrazione superiore a quella repulsiva tra le cariche dello stesso segno più lontane, anche se di pochissimo.

- Equilibrio come risultato di bilanciamento tra forze contrapposte:



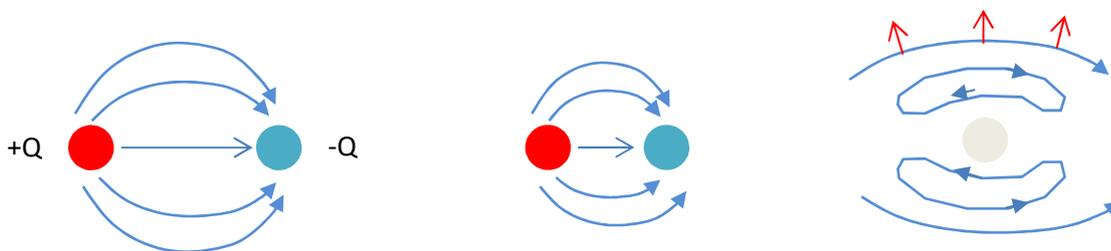
Forza a distanza?

NO. Una carica genera un campo, il campo elettrico  $E$ , e la seconda carica risente l'effetto del campo.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \quad ; \quad F = Q_2 E$$

Possiamo dirlo con certezza, perché il campo resta anche quando le cariche che l'hanno prodotto si sono cancellate!

Le linee di forza di un campo indicano in ogni punto la direzione del campo in quel punto. Qui sotto è rappresentato, molto schematicamente, il campo prodotto da un dipolo elettrico, cioè da due cariche, diciamo puntiformi, di segno contrario.



Se le due cariche si avvicinano fino a sovrapporsi ed annullarsi, il campo generato precedentemente si allontana nello spazio, ma non scompare e se ne possono misurare gli effetti su cariche di prova. Se il dipolo oscilla si genera un campo oscillante che si propaga nello spazio: è un'onda elettromagnetica:

## CAMPO MAGNETICO

-Oltre ai fenomeni elettrici sono presenti fenomeni magnetici: la bussola si orienta verso nord, le calamite attirano il ferro, etc.



Anche i magneti hanno due polarità, dette nord e sud. Polarità uguali si respingono; polarità opposte si attraggono. Tuttavia non esistono “cariche magnetiche” isolate, cioè monopoli magnetici. Se si divide in due un magnete permanente, ogni pezzo ha le due polarità:

Arrivare alla spiegazione di questi fenomeni richiede un po' più di sforzo.

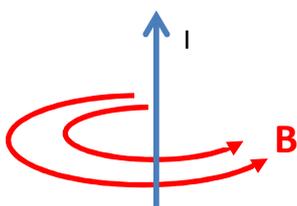
- Se ponendo una carica ferma in un punto, questa non sente alcuna forza, in quel punto non è presente un campo elettrico. Se nello stesso punto la stessa carica possiede una velocità e in tal caso essa sente una forza (che risulta proporzionale alla sua velocità e ad essa ortogonale), allora è presente un campo magnetico  $B$ , definito dalla forza che esso produce secondo la formula della Forza di Lorentz:

$$F = q v \times B$$

Ora, una carica ferma per un osservatore in un sistema inerziale può essere in moto per un altro osservatore in un diverso sistema, pure inerziale. Questo ci dice che campo elettrico e campo magnetico sono strettamente collegati. In effetti essi sono manifestazioni di uno stesso campo, detto campo elettromagnetico.

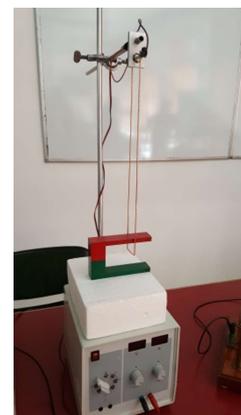
Come le cariche in moto avvertono la presenza di un campo magnetico, così esse sono anche quelle che producono il campo magnetico:

Il campo magnetico è prodotto da cariche in moto, e quindi dalle correnti.

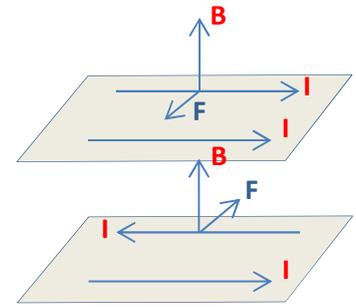


Regola della mano destra, della mano sinistra, della vite, della corrente personalizzata ...

Il campo magnetico agisce su cariche in movimento, e quindi anche su correnti elettriche.



Fili percorsi da correnti elettriche producono campi magnetici tali che, agendo su altre correnti presenti, fanno sì che queste si attraggono se sono correnti parallele, si respingono se le correnti sono antiparallele.

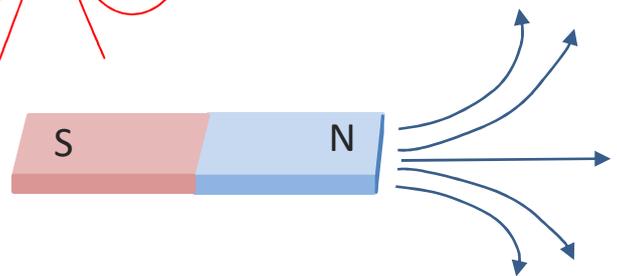
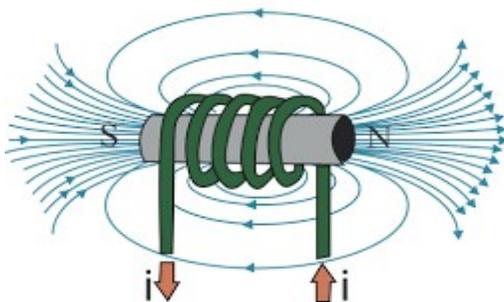
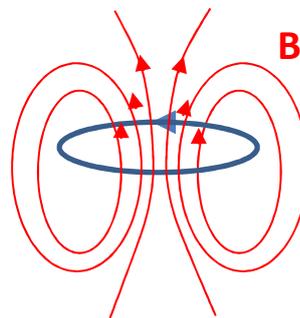


### Spira e solenoide

Una spira (circolare, rettangolare ...) percorsa da corrente genera un campo magnetico di forma analoga al campo elettrico prodotto da un dipolo elettrico. Si dice che la spira costituisce un dipolo magnetico:

Se si sovrappongono più spire il campo B è proporzionalmente più intenso.

Tante spire coassiali formano un solenoide



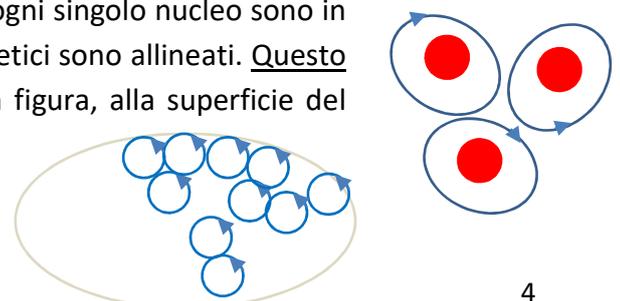
Il campo magnetico del solenoide ha la stessa forma di un magnete della stessa forma.

Se il campo magnetico è prodotto dalle correnti, quali correnti, analoghe a quelle di un solenoide, producono il campo di un magnete?

### **ALCUNE PROPRIETA' MAGNETICHE DELLA MATERIA**

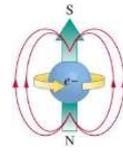
Gli elettroni atomici ruotando attorno ai nuclei, formano delle correnti. Si possono avere diversi casi:

- Le correnti attorno a ogni singolo nucleo, mediate sugli elettroni, è nulla.
- Le correnti attorno a ogni singolo nucleo sono diverse da zero, ma la media sugli atomi è nulla.
- Infine, si può dare il caso in cui le correnti attorno a ogni singolo nucleo sono in media diverse da zero e i corrispondenti dipoli magnetici sono allineati. Questo è il caso del magnete permanente. Come si vede in figura, alla superficie del materiale esiste una corrente netta non nulla.



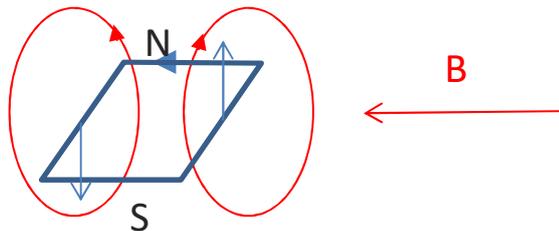
## Lo spin

Le particelle cariche hanno un dipolo magnetico intrinseco  $\mu$ , come se fossero trottole cariche in rotazione. In effetti hanno anche un momento angolare  $s$  (momento della quantità di moto) intrinseco, detto spin, ma il rapporto tra i due non è quello previsto per il moto di cariche classiche ruotanti.



## **EFFETTO DEL CAMPO MAGNETICO SU SPIRE (E SU DIPOLI MAGNETICI)**

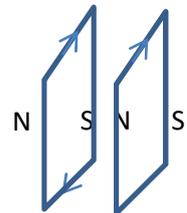
Consideriamo l'effetto di un campo magnetico su una spira, per comodità rettangolare:



La forza di Lorentz tende a ruotare la spira in modo tale che il suo momento magnetico si allinei con  $B$ .

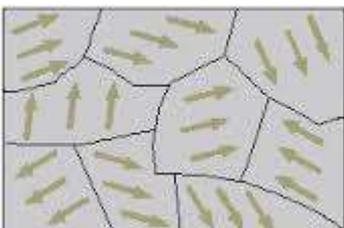
Se il campo magnetico non è uniforme, allora agisce anche una forza netta.

Finalmente siamo in grado di capire perché i magneti si attraggono o si respingono. Abbiamo visto che un magnete permanente è tale in quanto ha correnti superficiali di origine atomica. Se studiamo il caso più semplice di due dipoli magnetici affacciati costituiti da due spire quadrate percorse da corrente. Se le correnti sono concordi nelle due spire, alcuni tratti hanno correnti parallele, altri antiparallele, ma le parallele sono più vicine e quindi complessivamente le due spire si attraggono. Se ricordiamo l'equivalenza tra la spira e il dipolo magnetico, concludiamo che poli magnetici opposti si attraggono. Viceversa se le spire sono percorse da correnti antiparallele ... si respingono.



## Ferromagnetismo

Resta da capire perché nei magneti permanenti i dipoli magnetici sono tutti allineati.



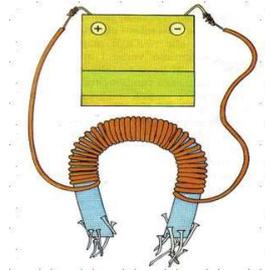
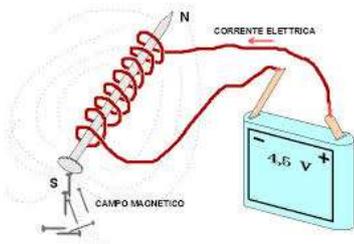
In alcuni materiali, detti ferromagnetici, l'interazione fra i dipoli magnetici è tale che essi tendano ad allinearsi tra loro parallelamente. La causa non è banale ed è stata compresa solo abbastanza recentemente. Così si formano spontaneamente delle zone del materiale dove i momenti magnetici sono allineati, detti domini magnetici.

Se si applica un campo magnetico dall'esterno abbastanza intenso i vari domini si allineano tra loro. In alcuni materiali, detti ferromagnetici duri i dipoli atomici restano allineati anche dopo che il

campo esterno viene rimosso. Quello che resta è un magnete permanente. Nei ferromagnetici dolci dopo che è stato rimosso il campo esterno non rimane magnetizzazione permanente.

### Elettrocalamita

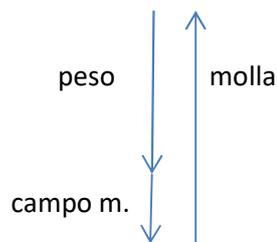
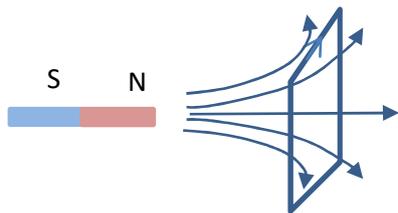
Se una barra di una sostanza ferromagnetica dolce viene inserita in un solenoide percorso da corrente, si magnetizza e diventa un magnete (elettrocalamita).



Infine, se la barra di cui sopra è inserita solo parzialmente nel solenoide, viene attratta verso il centro del solenoide.

Equilibrio di forze contrapposte:

con o senza corrente la molla deve bilanciare forze opposte diverse.



### **LE EQUAZIONI DI MAXWELL**

A metà dell'800 Maxwell ha sistemato la teoria dell'elettromagnetismo con la formulazione di quattro famose equazioni che coinvolgono campo elettrico, campo magnetico e le loro sorgenti. Il primo clamoroso risultato di queste equazioni è che da esse si ricava un'equazione che descrive la propagazione di campi e.m. variabili come onde con una velocità di propagazione pari a quella sperimentale della luce, indicando che la luce è un'onda e.m.

Le equazioni di M. indicano anche che un campo elettrico variabile è sempre associato a un campo magnetico e, viceversa, un campo magnetico variabile è associato a un campo elettrico. Così, se attraverso una spira conduttrice passa un flusso di campo magnetico variabile, il campo elettrico che nasce fa circolare una corrente nella spira (forza elettromotrice indotta)

Le quattro equazioni per i campi si riducono a due se scritte in termini di potenziali elettrodinamici e a una sola in termini relativistici