

Elettrologia

Nel corso dei diversi capitoli fino a qui trattati ci siamo imbattuti in numerosi tipi di forza: forza di gravità, forza di tensione del filo, forze di attrito, spinta di Archimede, ecc... Ma quante sono le forze fondamentali della natura?

Le conoscenze attuali portano alla costruzione di un modello nel quale sono sufficienti 4 forze fondamentali per spiegare il comportamento della natura. Due di queste hanno raggio di azione infinito e sono: la **forza di gravità**, della quale abbiamo già discusso, e le **forze elettriche**, che iniziamo a trattare in questo capitolo. Le altre due hanno raggio di azione molto piccolo e sono le cosiddette forze nucleari, e più precisamente l' **interazione nucleare forte**, responsabile della stabilità del nucleo atomico, e l' **interazione nucleare debole**, che media alcuni tipi di decadimento radioattivo.

Cenni di elettrostatica

Alcuni esperimenti introduttivi

Iniziamo il nostro corso con alcune esperienze che sono facilmente riproducibili anche a casa.

Prendete un palloncino e gonfiate, strofinatelo contro il vostro maglione e avvicinatelo ad una parete o, meglio ancora, al soffitto. Con vostra meraviglia noterete che vi rimarrà "appiccicato".

Se strofinare una riga di plastica riuscirete a sollevare un pezzettino di carta unicamente avvicinandovi la riga.

Aprite il rubinetto dell'acqua in modo che l'acqua scorra in modo molto regolare e avvicinate al filo d'acqua una riga che avete appena strofinato. L'acqua verrà attirata verso la riga così che il flusso di acqua si piega.

Ed ora una esperienza un po' più impegnativa. Prendete una pallina da ping-pong, rivestitela con un foglio di alluminio e appendetela tramite un filo di cotone. Se vi avvicinate con una riga che avete appena strofinato, vedrete la pallina essere attratta dalla riga, ma attenzione, se la pallina e la riga si toccano, la pallina verrà respinta dalla riga.

Ed ora alcune esperienze che richiedo del materiale da laboratorio.

Prendete due bacchette, una di plastica e una di vetro, con un piccolo foro al centro in modo che possano essere posizionate su dei puntali (potranno così ruotare come fossero aghi di una bussola).

Strofinare una seconda bacchetta di plastica e avvicinarla alla bacchetta di plastica o a quella di vetro. Entrambe verranno attratte dalla bacchetta che avete in mano. Ripetete l'esperienza con la bacchetta di vetro e otterrete lo stesso risultato. Strofinare ora anche le bacchette che avete posizionato sui puntali. Se avvicinate alla bacchetta di vetro l'altra bacchetta di vetro vi sarà repulsione. La stessa cosa avverrà se le bacchette sono entrambe di plastica. Al contrario vetro con plastica produrrà attrazione.

Avvicinate ora alle bacchette che avete strofinato lo straccio o la pelliccia che avete usato per strofinarle e osserverete il seguente comportamento: la straccio (o la pelliccia) con cui avete strofinato la plastica attirerà la plastica e respingerà il vetro e, viceversa, quello con cui avete strofinato il vetro attirerà il vetro e respingerà la plastica.

Ancora una osservazione. Se avete strofinato le bacchette che avete posizionato sul puntale solo ad una estremità osserverete quanto segue: se la bacchetta è quella di vetro avremo dalla parte strofinata attrazione con la bacchetta di plastica e repulsione con la bacchetta di vetro e attrazione con entrambe le bacchette alla estremità non strofinata. D'altro canto la pallina ricoperta di alluminio una volta che è stata toccata da una bacchetta strofinata sentirà la repulsione da parte della bacchetta che l'ha strofinata e attrazione da parte dell'altra bacchetta indipendentemente dal punto in cui è stata toccata.

Un'ultima osservazione. Attrazione e repulsione sembrano essere più intense minore è la distanza fra gli oggetti coinvolti nel fenomeno.

Per cercare di spiegare questi comportamenti occorre far capo ad una parte della fisica chiamata **elettrostatica**.

La carica elettrica e alcune sue caratteristiche

Studiando la forza di gravità eravamo arrivati alla conclusione che la materia doveva possedere una caratteristica, che avevamo chiamato massa, che esercitava una forza attrattiva su un'altra massa.

Gli esperimenti che abbiamo appena compiuto mostrano che la materia deve possedere un'altra caratteristica attraverso la quale è possibile osservare azioni attrattive e repulsive fra corpi. Di questa nuova caratteristica, che chiameremo **carica elettrica** (o più semplicemente carica), devono esistere due tipi diversi, quella che caratterizza il vetro strofinato detta **carica vetrosa** o **positiva** e quella della plastica strofinata detta **carica resinosa**¹ o **negativa**. Cariche dello stesso tipo si respingono, cariche di tipo diverso si attraggono.

Normalmente non si osservano fenomeni elettrici (al contrario della gravità che è sempre presente) e pertanto la materia deve presentarsi di norma priva di carica in uno stato chiamato **neutro**. L'espressione "priva di carica" non è del tutto corretta, meglio sarebbe "priva di carica in eccesso". Un corpo si trova in uno stato elettricamente neutro quando in esso il numero di cariche positive e quello delle cariche negative si equivalgono.

Strofinando un pezzo di plastica o uno di vetro non si fa altro che passare delle cariche da un corpo (la plastica o il vetro) all'altro (lo straccio o la pelliccia). In questa situazione un corpo si dice elettricamente carico.

Questo fatto è associato ad una importante legge della natura: la legge della **conservazione della carica**. Caricando un corpo per strofinio non si creano cariche ma si spostano cariche da un corpo all'altro.

In alcuni casi le cariche rimangono localizzate (se si strofina una bacchetta ad una sola estremità il suo comportamento è diverso dall'estremità non strofinata). In altri casi le cariche si distribuiscono su tutto il corpo (la pallina rivestita di alluminio si carica in maniera omogenea se viene a contatto con una bacchetta carica). Esistono pertanto corpi che permettono alle cariche di muoversi (o almeno permettono ad un tipo di carica di muoversi) e altri invece no. Corpi che permettono alle cariche di spostarsi sono composti da materiali detti **conduttori**, corpi che non permettono alle cariche di muoversi sono composti da materiali **isolanti**.

Nella fisica moderna la carica elettrica è stata identificata come una proprietà caratteristica delle particelle elementari. In un famoso esperimento, Millikan dimostrò che la carica elettrica presente su un corpo qualsiasi è un multiplo intero di una **carica elementare** corrispondente appunto alla carica di un protone (carica positiva) e di un elettrone (carica negativa). Questa caratteristica è detta **quantizzazione della carica**.

Negli esperimenti effettuati in classe non è possibile osservare questa caratteristica in quanto il numero di cariche che vengono coinvolte è enorme al punto tale che sembra possibile caricare un corpo in modo continuo invece che in maniera granulare.

¹ Il termine resinoso deriva da ambra, resina fossile. I primi studi dei fenomeni risalgono probabilmente al filosofo greco Talete, che studiò le proprietà elettriche dell'ambra, la resina fossile che se viene sfregata attrae altri pezzetti di materia: il suo nome greco era electron (ἤλεκτρον), e da questo termine deriva la parola «elettricità».

La legge di Coulomb

Ma quanto è grande la forza di attrazione o repulsione fra cariche?

Alla fine del diciottesimo secolo Charles Augustin de Coulomb pubblicò i risultati dei suoi esperimenti, effettuati con uno strumento chiamato bilancia di torsione, sulle forze fra cariche elettriche. Egli osservò che tali forze erano proporzionali alle cariche presenti su un corpo, alle cariche presenti sull'altro corpo e inversamente proporzionali all'inverso della distanza al quadrato.

Egli non fece altro che verificare che la legge di forza fra cariche elettriche aveva la stessa forma della legge di gravità enunciata da Newton più di un secolo prima.

Chiamata Q_1 la carica presente su un corpo e Q_2 quella presente sul secondo corpo la forza elettrica fra le due cariche è data dalla seguente formula:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}, \text{ dove } d \text{ è la distanza fra le cariche.}$$

La costante k dipende dall'unità di misura scelta per la carica elettrica. Utilizzando il sistema internazionale e quindi il coulomb (simbolo del coulomb: C) quale unità di misura per la carica il valore della costante è:

$$k = 8,98755 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}, \text{ spesso approssimata a } k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}.$$

Come ben sappiamo, la forza elettrica, come tutte le forze, è una grandezza vettoriale. La formula che abbiamo scritto poche righe sopra ci fornisce solo il modulo. Dato che le cariche possono essere sia positive che negative e che il modulo di una forza è sempre un valore positivo, avremmo fatto meglio a scrivere:

$$F = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}, \text{ oppure, chiamato } \vec{r}_{12} \text{ il vettore fra la carica } Q_1 \text{ e la carica } Q_2, \text{ scriviamo la forma vettoriale della}$$

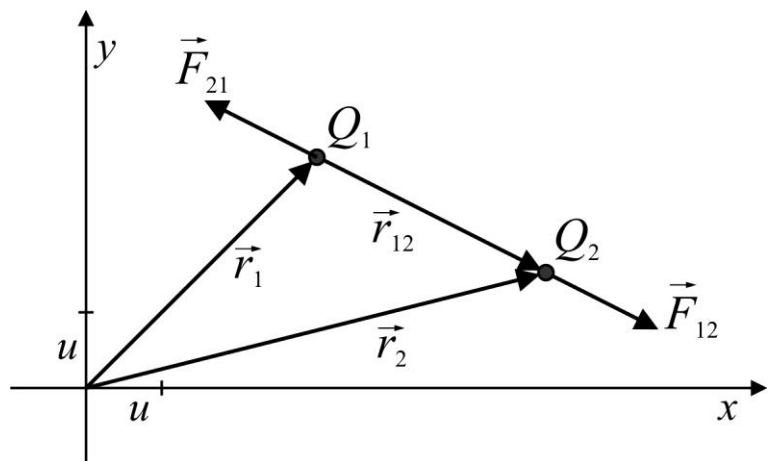
forza elettrica esercitata da Q_1 su Q_2 in questo modo:

$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}, \text{ dove } \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \text{ è un vettore}$$

unitario con direzione quella del segmento che unisce le due cariche e verso da Q_1 su Q_2 .

Con questa formulazione i segni delle cariche diranno se la forza è repulsiva o attrattiva.

Nel disegno a lato è rappresentata la situazione in cui le due cariche sono dello stesso tipo, entrambe positive o negative così che la forza elettrica risulta repulsiva.



Useremo la notazione vettoriale solo quando risultasse essere indispensabile a facilitare i calcoli. In tutti gli altri casi calcoleremo il modulo della forza senza preoccuparci dei segni delle cariche e decideremo la direzione e da che parte (verso) agisce la forza in base ai dati del problema.

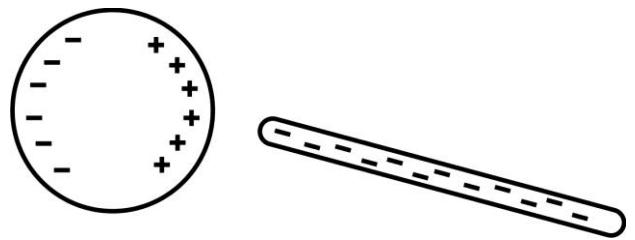
L'induzione elettrostatica

La legge di Coulomb permette di comprendere in maniera molto diretta la maggior parte dei fenomeni presi in considerazione negli esempi iniziali. In particolare da una spiegazione sulla presenza di forze attrattive e repulsive (cariche dello stesso tipo si respingono, di tipo diverso si attraggono) e sull'intensità della forza in funzione della distanza (essa decresce con l'inverso del quadrato) quando i due corpi in esame sono elettricamente carichi.

Un po' meno immediata è la comprensione dei fenomeni di attrazione e repulsione in presenza di un solo corpo elettricamente carico.

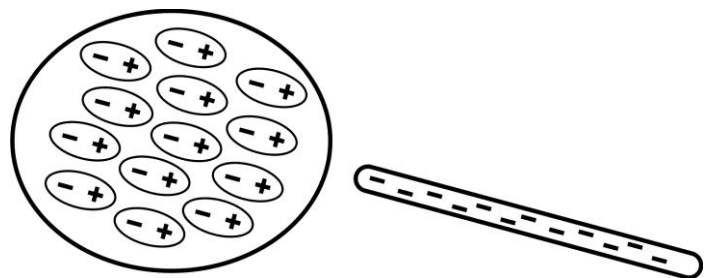
Cominciamo con il considerare il caso in cui il corpo non elettricamente carico sia composto da materiale conduttore. Quando avvicinavamo la bacchetta elettricamente carica alla pallina rivestita di un foglio di alluminio (conduttore) osservavamo che la pallina era attratta dalla bacchetta elettricamente carica sia che essa fosse fatta di vetro oppure di plastica.

La spiegazione è la seguente. Supponiamo che la bacchetta fosse quella di plastica, caricata cioè con carica negativa. Quando avviciniamo la bacchetta carica, essa esercita una forza attrattiva sulle cariche positive del conduttore e repulsiva sulle sue cariche negative. In un conduttore le cariche possono muoversi (in realtà in un metallo a muoversi sono solo le cariche negative, cioè gli elettroni, ma il risultato è lo stesso). Di conseguenza assisteremo ad una migrazione di cariche (negative) che porta ad un eccesso di carica negativa nella parte del conduttore lontana dalla bacchetta e ad un eccesso di carica positiva (in realtà ad un difetto di carica negativa) nella zona del conduttore vicino alla bacchetta fino a che si ristabilisce una situazione di equilibrio, vale a dire che su ciascuna singola carica la forza risultante è nulla. In questa nuova situazione la distanza media fra le cariche positive nel conduttore e quelle negative della bacchetta risulta minore della distanza media fra quelle negative del conduttore e della bacchetta. Dato che le cariche, benché non più omogeneamente distribuite, restano nel conduttore, e che la forza fra cariche decresce con il quadrato della distanza, si assiste globalmente ad un fenomeno di attrazione, dovuto ad una maggiore forza attrattiva sulle cariche positive rispetto a quella repulsiva sulle cariche negative.



Questo fenomeno è chiamato **induzione elettrostatica**.

Si prenda ora in considerazione un corpo composto da materiale isolante. Avvicinando a questo una bacchetta elettricamente carica (supponiamo ancora la bacchetta di plastica) non assistiamo ad una migrazione macroscopica di cariche come invece avveniva nel caso del corpo conduttore. Quello che avviene è che le cariche si muovono all'interno delle molecole che costituiscono il materiale isolante oppure (per



esempio nel caso dell'acqua) le molecole si orientano in modo tale che all'interno di ogni molecola la parte carica positivamente è più vicina alla bacchetta caricata negativamente che non la parte negativa. Il risultato globale è analogo in quanto la posizione media delle cariche negative è più vicina della corrispondente posizione media delle cariche positive e quindi globalmente abbiamo una attrazione maggiore rispetto alla repulsione.

L'elettroscopio

Uno strumento di semplice costruzione in grado di individuare la presenza di cariche, il loro tipo e, in una certa misura, anche la quantità e l'**elettroscopio**.

Nella sua forma più semplice è costituito da una beuta con un tappo di gomma (sia il vetro che la gomma sono materiali isolanti) nel quale è stato inserito un conduttore alla cui estremità sono disposte due lamine molto sottili e pieghevoli (nelle prime versioni erano lamine d'oro) e quindi mobili.

Avvicinando all'estremità esterna un corpo carico (la solita bacchetta di plastica) assisteremo, per induzione elettrostatica, alla migrazione di cariche negative verso le lamine.

La repulsione fra cariche dello stesso tipo allontanerà le lamine in misura tanto maggiore tanto più grande è la presenza di cariche. Man mano che si avvicina la bacchetta, le lamine si separeranno sempre di più. Se si allontana la bacchetta, le lamine torneranno ad avvicinarsi fino a tornare alla loro posizione di partenza quando la bacchetta è stata allontanata del tutto dall'elettroscopio.

Ripetendo il processo con una bacchetta di vetro carica avviene la stessa cosa.

Usando in questo modo l'elettroscopio si individua la presenza di cariche, in una certa qual misura anche la quantità, ma non si può distinguere il tipo.

Toccando con la bacchetta carica l'elettroscopio si cede parte delle cariche ad esso. Anche allontanando la bacchetta, l'eccesso di carica fa in modo che le lamine restino in qualche misura separate.

In questa situazione l'elettroscopio è pronto per distinguere il tipo di carica, o quanto meno per distinguere il tipo di carica se se ne conosce il tipo con cui era caricato il corpo che ha toccato l'elettroscopio.

Avvicinando all'elettroscopio un corpo caricato con lo stesso tipo di carica si aumenta la carica sulle lamine separandole maggiormente. Al contrario, avvicinando all'elettroscopio un corpo caricato con carica di tipo opposto, si diminuisce la carica sulle lamine che di conseguenza si avvicinano.

