

Unità didattica 6

La carica elettrica

Competenze

- **Definire il Coulomb, l'unità di carica elettrica secondo il SI**
- **Spiegare il fenomeno dell'elettrizzazione per contatto, per strofinio e per induzione.**
- **Distinguere i materiali conduttori dagli isolanti**
- **Descrivere le particelle fondamentali della materia: elettrone, protone, neutrone.**
- **Confrontare la Legge di Newton con la Legge di Coulomb e risolvere problemi sulle cariche elettriche.**

Lo scienziato si comporta come un investigatore, un moderno Sherlock Holmes, quando, con appropriate indagini sperimentali, cerca di spiegare la natura elettrica della materia che ci circonda. Lo scienziato usa le evidenze sperimentali sia dirette che indirette, i famosi indizi, per costruire un'immagine mentale delle cose che non si possono osservare a occhi nudi.

Gran parte dei fenomeni che puoi osservare sono spiegabili in termini di due forze soltanto: la forza gravitazionale e la forza elettromagnetica. In questa unità apprenderai i fondamenti dell'elettrostatica e delle prove sperimentali che rivelano l'esistenza della carica elettrica sui corpi.

I fenomeni elettrici non sono per te oggetti misteriosi, a cominciare dal fulmine e dal primo esperimento di elettrostatica che, forse, da bambino hai fatto, cioè l'elettrizzazione per strofinio degli oggetti.

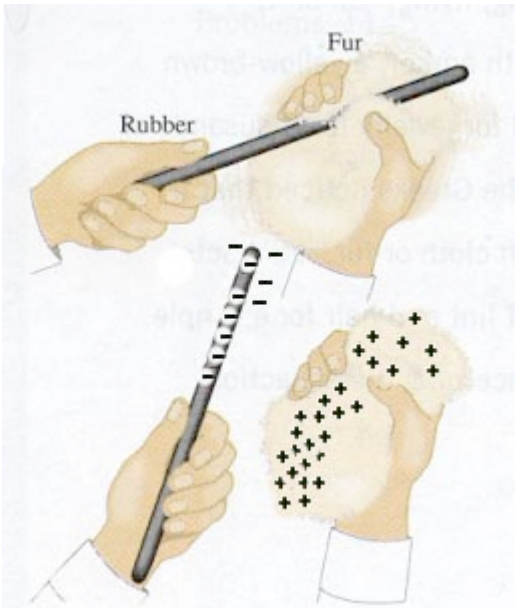
1 Fenomeni elementari elettrici

La storia dell'elettricità comincia da molto lontano. I Greci avevano scoperto che oggetti di ambra, strofinati con un panno di lana, attiravano la paglia sminuzzata. I Greci chiamavano elektron l'ambra e il termine elettricità, che noi usiamo per descrivere l'insieme dei fenomeni elettrici, deriva proprio dal nome greco di ambra. In maniera arbitraria Benjamin Franklin, intorno al 1750, stabilì che l'ambra (come la gomma o la plastica di oggi) diventa negativa, cioè possiede in superficie un numero maggiore di cariche negative, cedute dal panno; quest'ultimo, avendo perso cariche negative, rimane con un eccesso di cariche positive.

Puoi oggi ripetere l'esperimento dei Greci, usando oggetti di plastica e di vetro. Se strofini l'astuccio di una penna a sfera, con un panno di lana, e l'avvicini a un mucchietto di coriandoli di carta, osserverai che i pezzettini sono attratti dall'oggetto di plastica. Ripetendo l'esperimento con una bacchetta di vetro, noterai lo stesso effetto. Tali evidenze sperimentali ti fanno supporre che i materiali abbiano una speciale proprietà chiamata **carica elettrica**.

Lo strofinio ha determinato la formazione di cariche elettriche sulla plastica e sulla bacchetta di vetro. Ma cosa significa tutto questo? L'immagine mentale che sei in grado di proporre è la seguente. Inizialmente la plastica e il panno erano neutri, cioè con carica zero. Poi, lo strofinio ha tolto qualcosa da un oggetto e lo ha ceduto all'altro oggetto. In altre parole, gli atomi che compongono sia la plastica sia il panno, devono avere alcune parti positive e altre negative. Prima dello strofinio, c'era perfetto equilibrio fra cariche positive e cariche negative.

Fig. 1 La gomma e la plastica strappano gli elettroni per strofinio agli atomi del panno



Per il redattore: al posto di rubber scrivere **gomma o plastica**. Al posto di fur scrivere **panno di lana**. **Disegnare sulla bacchetta 10 cariche (-) e sul panno 10 cariche (+) !!!!**

Per il vetro accade il fenomeno opposto: il vetro cede cariche negative e diventa positivo mentre il panno si carica negativamente. Pertanto, i corpi possono acquistare una carica elettrica positiva, simile alla carica del vetro strofinato, oppure una carica elettrica negativa, simile alla plastica strofinata.

Se realizzi altri esperimenti sei capace di verificare anche che:

- **le cariche uguali, per esempio (+) e (+) oppure (-) e (-) si respingono;**
- **le cariche opposte (+) e (-) si attraggono.**

Il modello che ti suggeriscono i seguenti disegni è:

Fig. 2 Le cariche opposte si attraggono

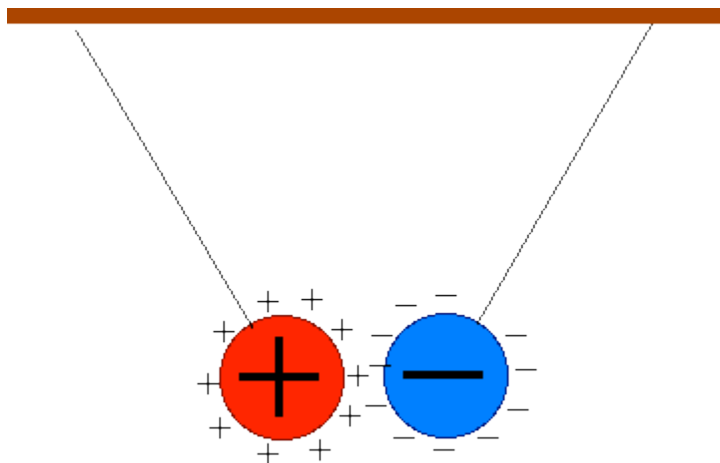
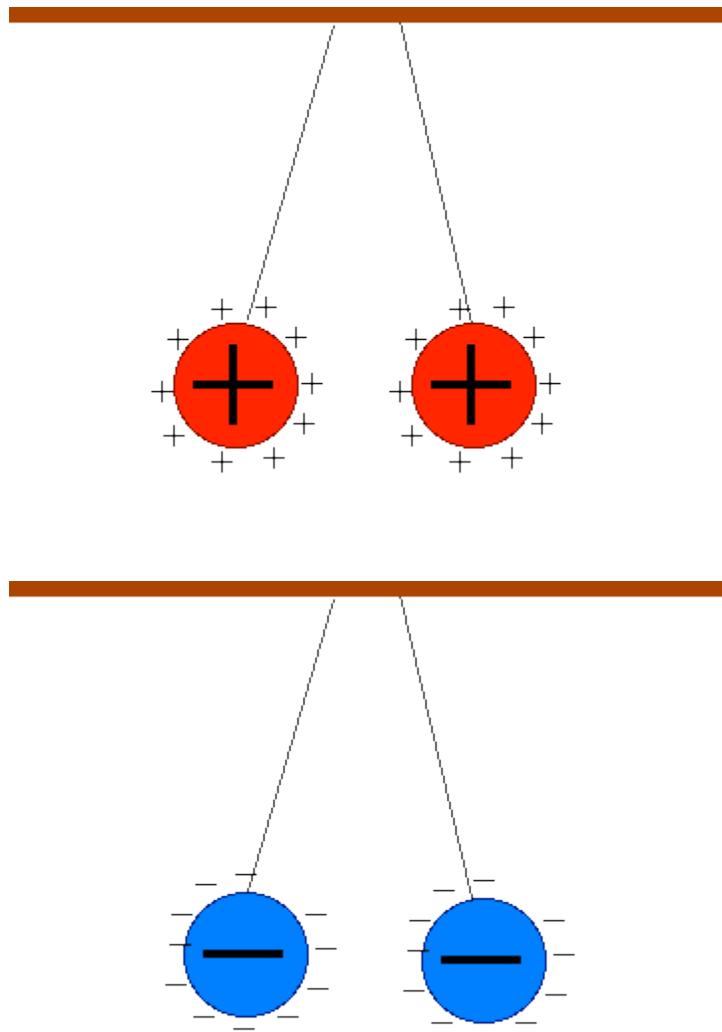


Fig. 3 Le cariche simili si respingono



Prova tu

Con un panno di lana strofina un palloncino di gomma gonfio d'aria. Subito dopo avvicina il panno al palloncino. Cosa accade ?

- A. non accade niente**
- B. il palloncino è respinto dal panno**
- C. il palloncino è attratto dal panno**
- D. il palloncino sale in aria**

2 La teoria dell'elettricità

Un corpo ha una proprietà fondamentale denominata **massa**, che misuri con la bilancia. Ma il corpo ha pure una seconda proprietà fondamentale denominata **carica elettrica**, che determini con l'elettroscopio, come vedrai più avanti. In generale, tutti gli oggetti, grandi o piccolissimi, hanno una massa e sono costituiti da una serie di cariche positive e negative. La carica complessiva di un oggetto può essere positiva, negativa oppure zero. L'oggetto ha carica elettrica complessiva uguale a zero quando le cariche positive sono bilanciate da altrettante cariche negative. Gli oggetti che ritrovi nella tua vita quotidiana hanno, in genere, una carica complessiva uguale a zero.

L'idea moderna di elettricità si basa sulla *teoria elettronica della materia*, secondo la quale gran parte dei materiali, a livello microscopico, sono formati da molecole. Le molecole sono, a loro volta, formate da atomi e gli atomi sono costituiti da un nucleo positivo, intorno al quale ruotano gli elettroni negativi. Un atomo, in genere, ha un uguale numero di protoni positivi (che compongono il nucleo insieme ai neutroni) e di elettroni negativi. Si dice quindi che

l'atomo è neutro. Allorché due differenti materiali, come la gomma e un panno di lana, sono strofinati fra loro, il materiale con maggiore affinità per gli elettroni (in questo caso la gomma) strappa gli elettroni alla lana e si carica negativamente. La lana, invece, perdendo gli elettroni si carica positivamente. Ma le cariche positive del panno di lana e le cariche negative della gomma sono numericamente uguali. Tutto ciò in obbedienza dell'importante **principio di conservazione della carica**. Secondo tale principio, la carica non può essere né creata né distrutta. Difatti, la carica totale dell'universo è costante. In sostanza:

La legge di conservazione della carica stabilisce che la carica complessiva di un sistema isolato rimane costante.

Il trasferimento di carica, fra un oggetto e l'altro, è sempre collegato a uno spostamento di elettroni. I corpi che perdono elettroni si caricano positivamente. I corpi che acquistano elettroni si caricano negativamente. Se il sistema è formato da un uguale numero di cariche positive e negative, non potrai fare niente per creare un eccesso di cariche in questo sistema, senza apportare o togliere cariche dall'esterno. Analogamente, se c'è un eccesso, diciamo di 30 cariche negative, avrai sempre questo eccesso di carica, in assenza di un'interazione del sistema con l'esterno.

Prova tu

Una bacchetta di vetro si carica positivamente per strofinio con un panno di seta. La seta si carica perché:

- A. guadagna elettroni**
- B. guadagna protoni**
- C. perde elettroni**
- D. perde protoni.**

Prova tu

Un astuccio di plastica è strofinato con un panno di lana e acquista una carica di $-4 \cdot 10^{-7}$ C. La carica sul panno di lana sarà:

- A. $-2 \cdot 10^{-7}$ C**
- B. $-4 \cdot 10^{-7}$ C**
- C. $+2 \cdot 10^{-7}$ C**
- D. $+4 \cdot 10^{-7}$ C**

Prova tu

Le proprietà fondamentali di qualsiasi oggetto sono:

- A. la massa e il peso**
- B. la massa e la carica**
- C. la massa e il volume**
- D. il peso e la carica.**

Un'altra importantissima proprietà della carica elettrica è la quantizzazione. La carica di un corpo, in pratica, non può variare con continuità, come la velocità, l'accelerazione, il lavoro e tante altre grandezze, finora incontrate nel tuo studio, ma solo a salti. La più piccola variazione di carica si ottiene aggiungendo o togliendo un elettrone. La carica elettrica, quindi, può assumere solo valori multipli **interi, positivi o negativi, della carica di un elettrone**. E' come per il denaro o i debiti che abbiamo e che vengono calcolati come multipli interi di un centesimo di euro. Non esistono monete da $3,8 \cdot 10^{-2}$ € o da $\sqrt{2} \cdot 10^{-2}$ € così come non esistono cariche elettriche $3,8$ o $\sqrt{2}$ volte la carica dell'elettrone. Qualsiasi carica elettrica Q si esprime come:

$$Q = n \cdot \text{carica elettrone}$$

con n appartenente ai numeri interi ($0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$).

3 Conduttori e isolanti

La forza con cui i materiali trattengono gli elettroni più esterni è il criterio utilizzato per classificare i materiali come conduttori o come isolanti. In alcuni materiali gli elettroni più esterni si spostano facilmente. *La libertà di movimento degli elettroni più esterni dei metalli conferisce a questi materiali la proprietà di condurre l'elettricità.* Gli elettroni mobili più esterni dei metalli si chiamano **elettroni di conduzione**. Tutti i metalli sono considerati buoni **conduttori dell'elettricità**.

In altri materiali, per esempio la plastica e il legno, gli elettroni sono strettamente legati agli atomi e non li abbandonano facilmente. Tali materiali sono ritenuti buoni **isolanti elettrici**. I **semiconduttori**, infine, sono una classe di materiali con proprietà intermedie fra i conduttori e gli isolanti. La conducibilità dei semiconduttori (per esempio, germanio e silicio) è controllata dalle particolari impurità (altri atomi come boro e fosforo) che questi materiali contengono. Riassumendo, i materiali si suddividono in tre categorie sulla base della facilità con cui permettono il movimento delle cariche elettriche:

- si chiamano **conduttori** i materiali che contengono cariche elettriche mobili, come i metalli e le soluzioni elettrolitiche (per esempio, una soluzione di acqua e sale);
- si chiamano **semiconduttori** i materiali che posseggono cariche mobili solo in particolari condizioni di composizione e di temperatura, come il silicio dei circuiti elettronici (usati da radio, TV e computer);
- si chiamano **isolanti** gli altri materiali che non contengono cariche mobili, come il legno, la gomma e la plastica in genere.

Conviene aggiungere qualche altro dettaglio sulle soluzioni che conducono l'elettricità. Queste soluzioni sono chiamate **soluzioni elettrolitiche**. La conduzione dell'elettricità in tali soluzioni è diversa dalla conduzione nei metalli. Nei metalli, come hai appreso, gli elettroni mobili esterni determinano il passaggio dell'elettricità. *Nelle soluzioni elettrolitiche, per esempio acqua e sale, sono gli ioni positivi e gli ioni negativi che trasportano l'elettricità.* Ma che cosa sono gli ioni ?

Si chiamano ioni gli atomi o gruppi di atomi con carica elettrica positiva o negativa.

Gli ioni positivi sono soprannominati **cationi** (per esempio il *catione* sodio, Na^{+1} , del sale comune) e quelli negativi **anioni** (per esempio l'*anione* cloruro, Cl^{-1} , del sale comune). La formazione degli ioni è dovuta anch'essa a un trasferimento di elettroni. Gli anioni negativi si ottengono, infatti, perché alcuni atomi hanno una naturale tendenza ad accettare elettroni. I cationi positivi derivano dall'opposta proprietà di cedere elettroni ad altri atomi o gruppi di atomi. Anche in questo fenomeno la carica di uno ione è determinata dal numero di elettroni che l'atomo o gruppi di atomi perdono oppure acquistano.

4 Elettrizzazione per strofinio e per contatto

I fenomeni sull'elettricità statica sono noti a tutti. Di notte, quando ti spogli, si possono osservare piccoli lampi. Tali scariche sono dovute all'elettricità statica, accumulatasi sui materiali sintetici dei tuoi indumenti. Nelle giornate fredde e secche, aprendo la portiera della macchina, può capitare di ricevere una piccola scossa. Pure questo fenomeno è conseguenza della elettricità statica.

Per quanto concerne l'elettrizzazione, si può dare ai corpi una carica positiva oppure negativa con tre diverse modalità: **per strofinio, per contatto e per induzione**. Comincia a imparare come si carica un oggetto **per strofinio**. Questa modalità è utilizzata per creare sui materiali una carica elettrica positiva oppure negativa. Tutti i materiali si possono caricare per strofinio, a cominciare dai materiali isolanti. Se strofini una bacchetta di plastica col panno di lana, la bacchetta si caricherà negativamente (**figura. Disegnare una bacchetta con 6 cariche negative e, a fianco, un panno con 6 cariche positive**). Se, invece, strofini col panno una bacchetta di vetro, la bacchetta si caricherà positivamente e il panno negativamente. I due fenomeni, apparentemente diversi, dipendono da una proprietà degli elettroni, che hanno una naturale tendenza a trasferirsi da un materiale all'altro. Nel primo caso si trasferiscono dal panno alla

plastica. Nel secondo fenomeno dal vetro al panno di lana. La seguente tabella classifica, in maniera approssimata, i principali materiali che perdono o acquistano elettroni per strofinio.

Per il redattore: le scritte possono diventare vignette ?

Tabella 1 Materiali che si caricano per strofinio

Carica per strofinio		
1	Mani secche	
4	Capelli	
5	Nylon	Perdono
6	Vetro	facilmente
7	Lana	gli elettroni
8	Pelliccia	e si caricano
9	Piombo	positivamente
10	Seta	(+)
11	Alluminio	
12	Carta	
13	Cotone	↑
14	Legno	
15	Ambra	
16	Gomma	↓
17	Rame	
18	Argento	
19	Oro, Platino	
20	Poliestere	Tendono a
21	Polistirolo	conservare gli
22	Poliuretano	elettroni e si
23	Polietilene (scotch)	caricano
24	PVC	negativamente
25	Silicio	(-)
26	Teflon	

Prova tu

Quale materiale, strofinato con un panno di seta, acquista una carica positiva ?

- A. gomma
- B. nylon
- C. polistirolo
- D. ambra

Ora imparerai come si carica un corpo **per contatto**. La carica si forma per semplice contatto di un corpo carico con un corpo neutro.

L'elettrizzazione per contatto è prodotta da un corpo carico, quando viene a contatto col corpo neutro.

Alcuni elettroni si trasferiscono dal corpo carico (se negativo) al corpo neutro oppure viceversa (se positivo) gli elettroni passano dal corpo neutro a quello con un eccesso di cariche positive.

Nei buoni conduttori, come i metalli, la carica si distribuisce su tutta la superficie esterna, perché cariche dello stesso segno si respingono (fig.).

Fig. 5 Le cariche elettriche si accumulano sulle punte dei conduttori. Anche quando le cariche si formano all'interno dei conduttori, le forze elettriche di repulsione fra cariche uguali le fanno spostare sulla superficie esterna del conduttore.



Per il disegnatore: modificare il disegno

Il conduttore, in definitiva, assumerà una carica parziale dello stesso segno del corpo carico. Le cariche, in eccesso, si disporranno sulla superficie esterna, ma non all'interno del conduttore (fig.). Il tipo di distribuzione della carica dipenderà dalla geometria del conduttore. Sulle superfici appuntite del conduttore ci sarà un accumulo di cariche. La densità di carica elettrica sulle punte è maggiore che nel resto del conduttore. A causa di questa elevata densità di carica, l'aria adiacente alle punte si ionizza e diventa conduttrice. I pericolosi fenomeni di scarica elettrica delle punte sono dovuti all'aria ionizzata nelle vicinanze delle punte. Siccome la carica elettrica si concentra sulla superficie esterna, è possibile schermare apparecchiature, fili e persone posizionandoli dentro una gabbia metallica (la famosa gabbia di Faraday).

Puoi provare facilmente l'efficacia della *schermatura elettrica* ponendo un telefonino acceso dentro un forno a microonde spento. Il telefonino non risponderà alle chiamate, se il forno è sufficientemente schermato. In molti circuiti elettronici, le apparecchiature e i fili sono *schermati*, ossia sono ricoperti di rete metallica. Negli isolanti, invece, la carica si distribuisce sia dentro che sulla superficie dell'oggetto.

5 Elettrizzazione per induzione

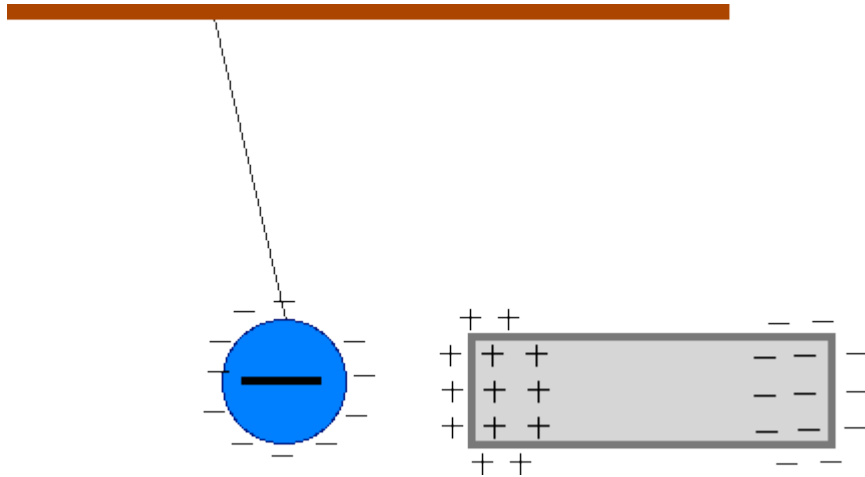
I corpi carichi attraggono o respingono gli elettroni, come hai già visto. Tale proprietà può essere usata per muovere gli elettroni da un posto all'altro dei corpi metallici.

L'elettrizzazione per induzione si ottiene avvicinando un oggetto carico a un altro oggetto neutro.

La presenza dell'oggetto carico, vicino a un conduttore neutro, costringe alcuni elettroni del conduttore a spostarsi. Puoi fare l'esperimento tu stesso, se prendi una barretta metallica. La barretta ha una carica complessiva uguale a zero, perché il numero di cariche positive è uguale al numero di cariche negative. Tuttavia, avvicinando la barretta all'oggetto carico si verifica un fenomeno, la separazione di alcune cariche positive della barretta da altrettante cariche negative. La pallina elettricamente carica (+ oppure -) **induce** la separazione di una porzione di cariche negative della barretta dalle cariche positive. Si possono verificare due casi:

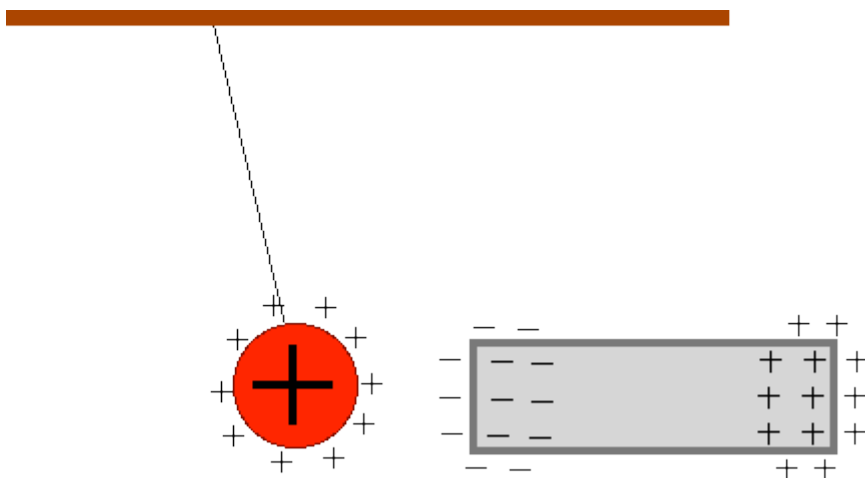
Primo caso. Sulla estremità a sinistra della barretta prevalgono le cariche positive che attraggono **la pallina negativa**. Si ricorda che si spostano soltanto le cariche negative, gli elettroni, da una estremità all'altra di un oggetto metallico.

Fig. 7 Il fenomeno dell'induzione di un oggetto carico negativamente su una barretta metallica.



Secondo caso. A sinistra della barretta prevalgono le cariche negative che attraggono **la pallina positiva**.

Fig. 8 Il fenomeno dell'induzione di un oggetto carico positivamente su una barretta metallica.



Nell'elettrizzazione per induzione il corpo carico viene avvicinato al conduttore, ma non è mai a contatto. Se il corpo metallico è collegato alla terra (la terra è neutra, ma può fornire

o togliere elettroni a un corpo) mediante un filo oppure attraverso il nostro corpo, la carica accumulata all'estremità destra si scaricherà al suolo. Appena viene rimossa la connessione con la terra, il corpo conduttore avrà acquistato una carica di segno opposto a quella dell'oggetto carico.

Riassumendo, per caricare un corpo metallico per **induzione** si prendono le seguenti precauzioni:

- si avvicina un corpo carico al conduttore, senza toccarlo;
- l'estremità del conduttore, vicina al corpo carico, assume la carica opposta;
- l'estremità del conduttore più lontana viene collegata al suolo, per scaricare le cariche in eccesso;
- interrotto il collegamento con la terra, il conduttore assume la carica opposta a quella del corpo carico.

6 Le interazioni delle forze fondamentali

Tutti i fenomeni che sei in grado di osservare sono spiegabili in termini di due forze: la forza gravitazionale e la forza elettromagnetica. Solitamente sostieni che le forze fondamentali agiscono a distanza ossia senza che ci sia il contatto diretto dei corpi e delle cariche. Ma c'è un altro modo per descrivere le interazioni a distanza. Se consideri una massa di un oggetto oppure una carica qualsiasi (positiva o negativa) come qualcosa che può modificare lo spazio che le circonda, allora le altre masse e le altre cariche interagiranno con tale spazio modificato. I fisici hanno chiamato **campo** lo spazio in cui una massa oppure una carica fanno sentire le loro azioni di attrazione e di repulsione.

La ricerca scientifica non ha saputo ancora trovare una convincente risposta alla domanda: quale relazione esiste fra forza gravitazionale e forza elettromagnetica?

Se confronti la forza gravitazionale con la forza elettrica, che è la più semplice manifestazione della forza elettromagnetica, potrai registrare molte differenze significative e due somiglianze.

Hai appreso che la gravitazione è la legge universale di attrazione a distanza fra le masse, che Newton definì così:

Il modulo della forza di attrazione, che si esercita fra due masse, è direttamente proporzionale al prodotto delle masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che le separa.

Questa forza è soltanto attrattiva → $F = G \times \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Costante masse dei corpi (kg)

Distanza dei corpi (m)

La forza di attrazione gravitazionale, come tutte le forze, è una grandezza vettoriale.

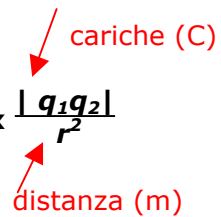
In cui G è la piccolissima costante di gravitazione universale ($6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot (\text{kg})^{-2}$), m_1 e m_2 sono le masse in kg e r la distanza dei corpi.

Ora studierai come si comportano le cariche elettriche.

La forza elettrica che si esercita fra due oggetti non a contatto, aventi una carica elettrica, ubbidisce a una legge simile a quella di Newton: **la legge di Coulomb**. Questa legge fu scoperta dallo scienziato francese Charles Coulomb (1736 - 1806) nella seconda metà del settecento, intorno al 1785.

Il modulo della forza che si esercita (repulsiva o attrattiva) fra le cariche è direttamente proporzionale al prodotto delle cariche e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che le separa:

Questa forza è sia attrattiva che repulsiva $\rightarrow F = k \times \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$



in cui il simbolo $|q_1 q_2|$ stabilisce che il prodotto delle cariche, che può essere anche negativo, risulti positivo, in quanto F è il modulo della forza.

In matematica $|-2| = 2$ ed il simbolo $|a|$ si chiama valore assoluto di a . Il simbolo $| |$ non fa che moltiplicare per -1 i numeri negativi e lasciare invariati quelli positivi.

La forza elettrica (di attrazione o di repulsione), come tutte le forze, è una grandezza vettoriale e si scrive con la freccia in testa.

Dove k è una costante di proporzionalità, che dipende dal materiale in cui i due corpi carichi distanti sono collocati (per esempio, nel vuoto, in aria, in acqua,..). Mentre q_1 e q_2 sono le cariche e r è la distanza che le separa.

Le somiglianze fra legge di Newton e la legge di Coulomb sono due. La prima: le due leggi hanno una simile formulazione, come noti scrivendo affiancate le due equazioni.

La seconda somiglianza fra le due leggi è la seguente: la forza gravitazionale e la forza elettrica interagiscono a distanza e sono due grandezze vettoriali. Le due forze decrescono come l'inverso del quadrato della distanza dei corpi e rispettivamente delle cariche di $1/r^2$. Le due forze diminuiscono decisamente al crescere della distanza dei corpi e delle cariche.

Quali sono, invece, le differenze ?

Le differenze principali fra forza gravitazionale e forza elettrica sono quattro:

1. *la forza gravitazionale interessa le masse dei corpi mentre la forza elettrica interessa le cariche elettriche positive e negative dei corpi;*
2. *la forza gravitazionale è soltanto attrattiva;*
3. *la forza elettrica può essere sia attrattiva che repulsiva. Se la forza elettrica fosse solo attrattiva, come la forza di gravità, noi tutti saremmo ridotti in un sottile foglio di carta velina. Nel nostro corpo le forze attrattive fra le cariche elettriche sono bilanciate dalle forze repulsive;*
4. *la forza elettrica è miliardi di miliardi di miliardi di miliardi di volte più potente della forza di gravità ed è la sola forza che agisce fra gli atomi e le molecole dei corpi.*

Quanto è grande la forza elettrica ? La repulsione fra due uomini, distanti 1 metro, con cariche uguali (1% degli elettroni in più nei due corpi), ha calcolato Richard Feynman, sarebbe sufficiente per sollevare un "peso" uguale a quello dell'intera Terra !

Sai che l'unità di massa nel Sistema Internazionale è il chilogrammo, kg. Ma qual è l'unità di carica ? Nel SI l'unità di misura della carica elettrica è il **Coulomb** (simbolo **C**). Partendo dalla legge di Coulomb, l'unità di misura della carica elettrica si definisce nella seguente maniera:

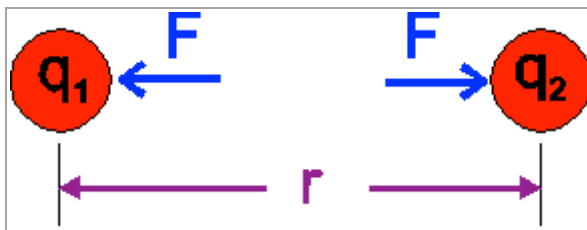
Il Coulomb è la carica elettrica (q_1) che nel vuoto respinge una seconda carica uguale (q_2), distante 1 metro, con la forza di circa $9 \cdot 10^9$ N.

Scrivendo diversamente la formula di Coulomb si possono calcolare il valore di k e stabilire le sue unità di misura:

$$k = (F \cdot r^2)/(q_1 \cdot q_2) = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

La tabella sottostante riassume gli aspetti più significativi della legge di Coulomb.

Tabella 2 Legge di Coulomb nel vuoto



$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

Modulo della forza di Coulomb

Per il redattore: Introdurre il simbolo $|q_1q_2|$ nell'equazione

F è la forza di attrazione o di repulsione fra le cariche.

k è la costante che dipende dal materiale in cui sono immerse le cariche. Nel vuoto:

$$k = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

q₁ è la quantità di carica 1 misurata in Coulomb.

q₂ è la quantità di carica 2 misurata in Coulomb

r è la distanza delle due cariche.

Come si afferma nella definizione, il valore di k trovato si riferisce a due cariche nel vuoto. La forza, di attrazione o di repulsione, è dunque massima nel vuoto (e un po' meno nell'aria). Se ci sono, tuttavia, altri materiali interposti fra le cariche, le forze di attrazione e di repulsione saranno minori.

A conclusione di questo argomento, devi sapere che in altri importanti capitoli della fisica e della chimica troverai traccia della Legge di Coulomb. La forza d'attrito, la forza del vento, la forza del legame chimico, ecc., non sono altro che manifestazioni *complesse* della Legge di Coulomb.

Come si determina la forza elettrica? Il seguente esempio ti mostra come si può calcolare il **modulo** della forza elettrica fra due cariche.

Esempio 1

Qual è la forza fra due palline sospese in aria distanti 6 cm? La prima pallina ha una carica di $+0,2 \cdot 10^{-6}$ coulomb mentre la seconda ha una carica di $-0,5 \cdot 10^{-6}$ coulomb. La forza è attrattiva o repulsiva?

Soluzione

Si inseriscono i dati nella formula di coulomb e si calcolala il modulo della forza :

$$F = k |q_1q_2|/r^2 = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2} \times (|+ 0,2 \times 10^{-6}\text{C} \times - 0,5 \times 10^{-6}|)/(0,06 \text{ m})^2 =$$

$$= 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2} \times (|- 0,10 \times 10^{-12}| \text{ C}^2)/0,36 \times 10^{-2}\text{m}^2 =$$

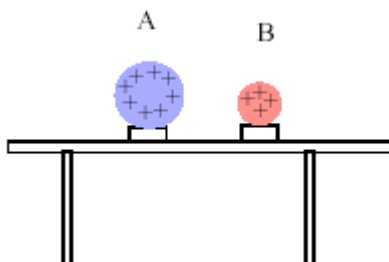
$$= 0,9 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2} \times \text{C}^2/0,36 \times 10^{-2}\text{m}^2 = 2,5 \times 10^{-3} \times 10^2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \cdot \text{C}^2 =$$

$$= 2,5 \times 10^{-1}$$

Essendo le due cariche di segno opposto, la forza è attrattiva.

Esempio 2

Disegna le forze che agiscono sulle due sfere cariche poggiate su due blocchi di legno. La sfera azzurra (a sinistra) ha una carica positiva doppia della sfera rossa (a destra). Se le forze sono diverse disegna due frecce di lunghezza diversa.



Soluzione

Le due sfere si respingono con una forza uguale e contraria. Pertanto, disegnerai due frecce che hanno la stessa lunghezza, ma sono dirette in opposta direzione. Questo risultato si ottiene applicando la legge di Coulomb. Se fosse nota la distanza fra i due palloni potresti calcolare anche l'intensità della forza di repulsione fra i due palloni.

Prova tu

Qual è la forza fra due palline sospese in aria distanti 10 cm ? La prima pallina ha una carica di $+ 0,5 \times 10^{-6}$ coulomb mentre la seconda ha una carica di $+ 0,4 \cdot 10^{-6}$ coulomb. La forza è di attrazione oppure di repulsione ?

7 Le cariche elettriche

La quantità di carica può essere misurata in coulomb oppure in cariche elementari (*la carica elementare è quella posseduta da un protone oppure da un elettrone*). La carica del coulomb è un'unità estremamente grande: è la carica trasportata da **$6,25 \times 10^{18}$ (6250 milioni di miliardi) di elettroni o protoni**. Nelle consuete elettrizzazioni per strofinio entrano in gioco quantità di carica minori di 10^{-6} C. Da un corpo all'altro si spostano solo qualche centinaio di miliardi di elettroni ossia una quantità assai più piccola dei 6250 milioni di miliardi di elettroni o protoni necessari per avere la carica di 1 C. D'altro canto, la carica elementare è troppo piccola per poter essere usata nelle normali misure riguardanti le cariche elettriche. Confronta le due unità:

$$1 \text{ carica elementare} = \text{carica di 1 protone} = + 1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

$$1 \text{ carica elementare} = \text{carica di 1 elettrone} = - 1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

$$1 \text{ Coulomb} = 6,25 \times 10^{18} \text{ cariche elementari} = 6,25 \times 10^{18} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} = 1 \text{ Coulomb}$$

La carica positiva elementare è il *protone*, che si trova nel nucleo di tutti gli atomi. Insieme al protone risiedono nel nucleo anche i *neutroni*, che sono particelle prive di carica elettrica. La carica elettrica elementare negativa è l'*elettrone*, che gira intorno al nucleo dell'atomo e rappresenta la più piccola unità di carica negativa, $- 1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb. Le proprietà delle tre particelle atomiche sono descritte nella seguente tabella.

Tab. 3 Le particelle elementari

Particella	Carica relativa	Carica (in C)	Massa (in kg)
Protone	+1	$+1,6 \times 10^{-19}$	$1,66 \times 10^{-27}$
Elettrone	- 1	$-1,6 \times 10^{-19}$	$9,1 \times 10^{-31}$
Neutrone	0	0	$1,67 \times 10^{-27}$

Come noti elettrone e protone hanno una carica uguale ma di segno opposto. Il protone ha una massa circa 1836 volte più grande dell'elettrone. Il neutrone ha una massa di poco superiore del protone. Siccome gli oggetti che incontri tutti i giorni sono neutri, ciò vuol dire che il numero dei protoni è uguale al numero degli elettroni di tutti gli atomi che costituiscono l'oggetto. Ogni carica è multipla intera della carica dell'elettrone (se negativa) e del protone (se positiva).

Prova tu

Una sfera ha una carica $+ 8,0 \times 10^{-17}$ coulomb. Quante cariche positive in eccesso ci sono sulla sfera ?

- A. 200**
- B. 500**
- C. 1050**
- D. 2000**

8 Il fulmine

Il fulmine è l'evento naturale causato dal gigantesco processo di carica elettrostatica delle nubi. Qual è il processo di formazione delle cariche elettriche nell'atmosfera ? Fu Benjamin Franklin a studiare sistematicamente l'elettricità statica e i relativi fenomeni di scarica. Franklin credeva che il fulmine fosse l'esito finale dell'accumulo sulle nubi di elettricità statica. Il tipo di fulmine più comune nasce dalla scarica elettrica fra la nube negativa e il sottostante suolo (fig. 10) .

Fig. 10 Le scariche elettriche dei fulmini.



Lo scienziato americano scoprì pure che le cariche elettriche sono attratte dagli oggetti appuntiti. Ecco perché è molto pericoloso rifugiarsi, durante il temporale, sotto gli alberi. Le punte dei rami attirano fortemente le cariche elettriche e possono favorire la scarica mortale del fulmine. Il parafulmine, inventato da Franklin, è la pratica applicazione della sua scoperta. Il parafulmine è costituito da un'asta metallica che porta in cima alcune punte aguzze. L'asta è collegata al suolo, tramite un robusto cavo di rame, per scaricare a terra le cariche elettriche oppure i fulmini attratti dalle punte del parafulmine.

Fotografa l'esperimento

- 1. Riesci a spostare un righello sospeso a un filo e in equilibrio mediante l'attrazione di un oggetto di plastica o gomma elettrizzato per strofinio ?**
- 2. Prova lo stesso esperimento con un filo d'acqua che scorre dal rubinetto. Se al posto dell'oggetto di plastica, elettrizzato per strofinio, usi una bacchetta di vetro elettrizzata, quali fenomeni osservi ?**
- 3. Realizza una foto digitale di un fulmine.**

Verifica la conoscenza

1. Un corpo carico positivamente dovrà avere:
 - A. un eccesso di neutroni
 - B. un eccesso di elettroni
 - C. una mancanza di protoni
 - D. una mancanza di elettroni

2. Quale risposta riguardante l'elettrostatica è corretta ?
 - A. cariche simili si respingono
 - B. cariche simili si attraggono
 - C. cariche opposte si respingono
 - D. cariche neutre si attraggono

3. Quale risposta riguardante l'elettrostatica è corretta ?
 - A. un oggetto caricato negativamente ha perso protoni
 - A. un oggetto caricato negativamente ha guadagnato protoni
 - B. un oggetto carico negativamente ha guadagnato elettroni
 - D. un oggetto carico positivamente ha guadagnato protoni.

4. Un corpo carico positivamente dovrà avere:
 - A. un eccesso di neutroni
 - B. un eccesso di elettroni
 - C. una mancanza di protoni
 - D. una mancanza di elettroni

5. Quale affermazione, riguardante i metalli, è corretta ?
 - A. tutti gli elettroni del metallo si muovono liberamente, all'interno di un oggetto metallico;
 - B. gli elettroni più esterni dei metalli sono liberi di muoversi;
 - C. i protoni dei metalli sono liberi di muoversi da un'estremità all'altra;
 - D. l'estremità positiva di un metallo ha acquistato protoni.

6. Quale affermazione, riguardante gli isolanti, è corretta ?
 - A. gli isolanti si caricano solo positivamente
 - B. gli isolanti si caricano solo negativamente
 - C. gli isolanti si caricano per strofinio
 - D. gli isolanti posseggono elettroni liberi.

7. Una sfera metallica viene caricata perché:
 - A. acquista elettroni da una bacchetta di vetro elettrizzata
 - B. cede elettroni a una bacchetta di vetro elettrizzata
 - C. i protoni si muovono dalla bacchetta alla sfera
 - D. la bacchetta di vetro assorbe protoni dalla sfera.

8. Un oggetto neutro è attratto da un oggetto carico perché l'oggetto neutro:
 - A. ha le sue cariche ridistribuite
 - B. cede alcune cariche all'ambiente
 - C. cambia la sua carica complessiva per conduzione
 - D. cambia la sua carica complessiva per induzione.

9. La forza di gravità è:
 - A. neutralizzabile
 - B. rivolta verso il basso
 - C. attrattiva
 - D. molto forte

10. Due cariche alla distanza di un metro esercitano una forza N. Se raddoppiamo ciascuna carica, qual è forza risultante ?
 - A. 2 N
 - B. 4 N
 - C. 8 N
 - D. 1 N

11. Una bacchetta di gomma è strofinata col panno di lana e acquista $- 2 \cdot 10^{-6}$ coulomb di carica. Sul panno la carica sarà:

- A. $+1 \cdot 10^{-6}$ C
- B. $+2 \cdot 10^{-6}$ C
- C. $-1 \cdot 10^{-6}$ C
- D. $-2 \cdot 10^{-6}$ C

12. Una carica di 10 cariche elementari è uguale a:

- A. $1,6 \cdot 10^{-18}$ C
- B. $1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- C. $6,25 \cdot 10^{19}$ C
- D. $6,25 \cdot 10^{18}$ C

13. L'unità di carica nel SI è:

- A. la carica dell'elettrone
- B. la carica del protone
- C. la carica del neutrone
- D. il coulomb

14. Due sfere identiche portano le seguenti cariche: A ($+5 \cdot 10^{-6}$ coulomb) e B ($+7 \cdot 10^{-6}$ coulomb). Se le sfere sono messe a contatto e poi sono separate, qual è la carica sulla sfera A ?

- A. $-1 \cdot 10^{-6}$ coulomb
- B. $+1 \cdot 10^{-6}$ coulomb
- C. $+6 \cdot 10^{-6}$ coulomb
- D. $+12 \cdot 10^{-6}$ coulomb

15. Un corpo manterrà la sua carica negativa se:

- A. mantiene lo stesso eccesso di elettroni
- B. mantiene lo stesso eccesso di protoni
- C. continuamente riceve gli elettroni che perde
- D. continuamente riceve i protoni che perde

16. Il numero di elettroni in eccesso su una sfera con carica $-16 \cdot 10^{-17}$ coulomb è circa:

- A. 1000
- B. 16
- C. 100
- D. 400

17. Una sfera A ha una carica di +2 unità e una sfera B identica alla A ha una carica - 4 unità. Se le due sfere sono poste a contatto e poi sono separate, la carica di ciascuna sfera sarà:

- A. -1 unità
- B. - 2 unità
- C. +1 unità
- D. +4 unità

18. Una goccia d'olio ha una carica di $-16 \cdot 10^{-19}$ C. Quanti elettroni in eccesso ci sono sulla goccia ?

- A. 2
- B. 4
- C. 8
- D. 10

19. Quanti elettroni in eccesso ci sono su una pallina di Ping Pong che ha una carica di - 8 nanocoulomb (10^{-9} C) ?

- A. 5 miliardi
- B. 5 milioni
- C. 50 miliardi
- D. 500 miliardi.

20. Per caricare la sfera di un generatore di Van de Graaff, la carica viene aggiunta all'interno della sfera perché:

- A. la carica si concentra all'interno
- B. non c'è carica sulla superficie esterna della sfera
- C. la carica si distribuisce sia all'interno che all'esterno
- D. la carica fluisce più facilmente dall'interno all'esterno.

21. Due elettroni, in quiete, si respingono perché hanno la stessa carica elettrica ($-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$), ma si attirano a causa della forza gravitazionale perché hanno una massa ($9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$). Quale sarà l'effetto risultante?

- A. attrattivo
- B. repulsivo
- C. nullo

22. Il rapporto tra i moduli delle forze elettrica e gravitazionale per due elettroni, distanti un metro, è:

- A. $4,2 \cdot 10^{42}$
- B. $4,2 \cdot 10^{-42}$
- C. 10^{42}
- D. 10^{-42}