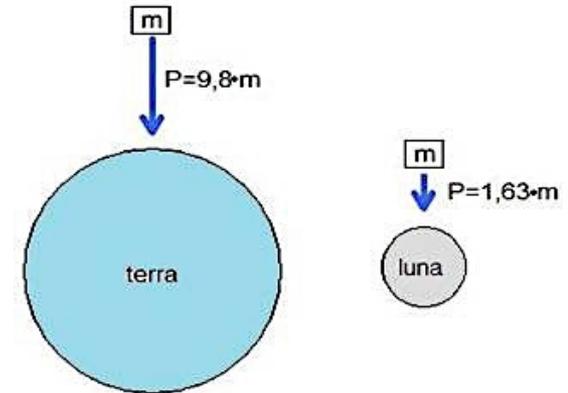
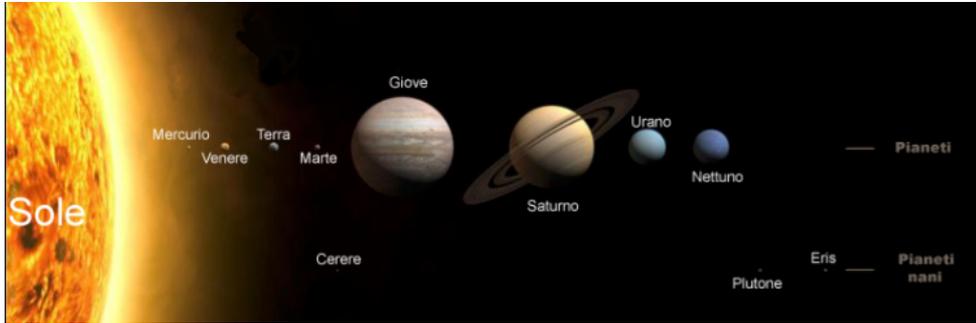


Elettrostatica

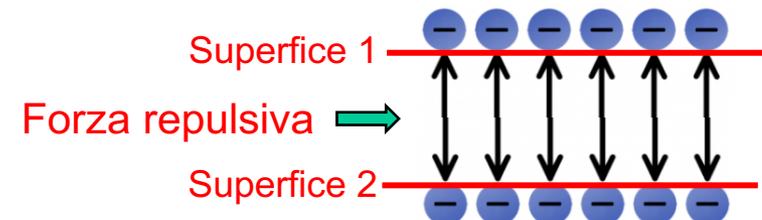
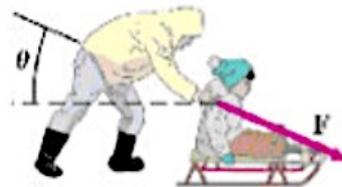
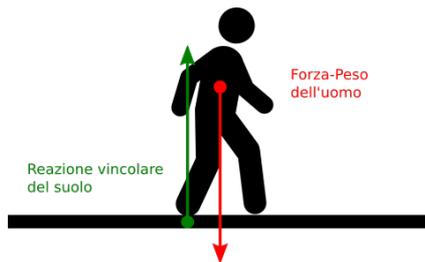


Interazione Elettrica

L'unica *interazione fondamentale* che abbiamo trattato esplicitamente finora è la **forza gravitazionale**, che però – come abbiamo già avuto modo di sottolineare – diventa rilevante solo in presenza di grandi masse (come quelle dei pianeti o delle stelle).



La stragrande maggioranza dei fenomeni di interazione che coinvolgono gli oggetti dotati di masse relativamente piccole quali quelli con cui abbiamo a che fare quotidianamente non possono dunque essere dovuti alla forza di gravità: infatti quasi tutte le forze di cui abbiamo parlato fino a questo momento, quali le forze intermolecolari, le forze elastiche, la forza normale, le forze di attrito e tutte le altre forze di contatto, sono in ultima analisi riconducibili ad un'*altro tipo di interazione fondamentale* e cioè all'**interazione elettrica** a livello atomico (vedremo più avanti che l'interazione elettrica è intimamente legata a quella *magnetica* e dunque si parlerà di '*interazione elettromagnetica*').

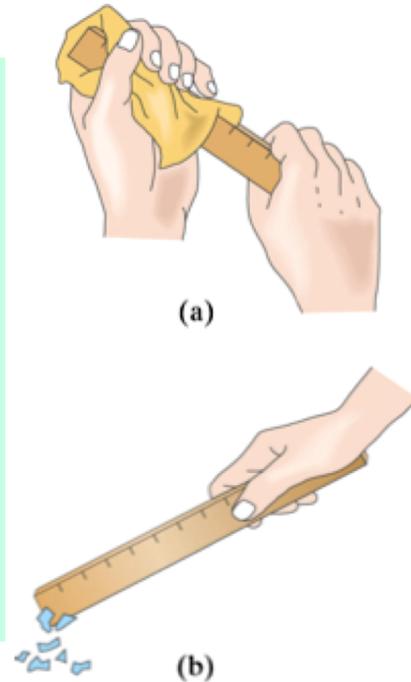


Elettricità Statica

La parola **elettricità** deriva dal sostantivo greco *'elektron'* che vuol dire *'ambra'*: l'**ambra** è una resina pietrificata di cui già gli antichi avevano scoperto la proprietà di attrarre polvere o frammenti di foglie se strofinata con un panno.



Questo strano comportamento, comune anche ad altri materiali, quali ad esempio un pezzo di ebanite, una barretta di vetro o un righello di plastica, i quali se strofinati (a) attraggono pezzettini di carta (b), è dovuto alla cosiddetta **'elettricità statica'**: strofinando uno di questi oggetti, infatti, si produce un accumulo di **'carica elettrica'** sulla superficie venuta a contatto con il panno, ed è proprio questa carica in eccesso ad interagire con la carta. In realtà possiamo sperimentare il fenomeno dell'elettricità statica anche in molte altre occasioni, come ad esempio quando ci pettiniamo i capelli o ci togliamo un maglione di fibra sintetica o quando tocchiamo una maniglia metallica dopo essere scesi dall'automobile: in tutti questi casi si produce un accumulo di carica elettrica sul nostro corpo che deve poi essere in qualche modo smaltito.

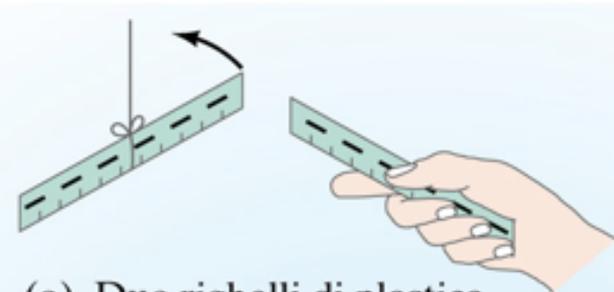


La Carica Elettrica

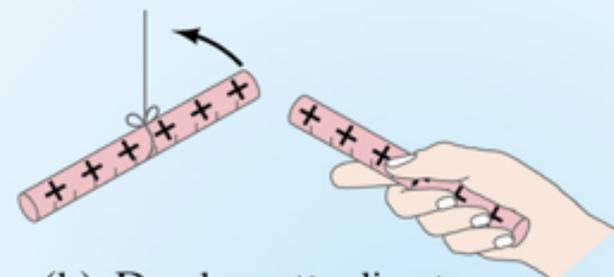
Ma cos'è la carica elettrica?

Innanzitutto è facile verificare **sperimentalmente** che, a prescindere dalla loro origine, le cariche elettriche non sono tutte uguali ma si manifestano in due diverse forme che danno luogo a **due diversi tipi di interazione elettrica**. Se infatti appendiamo ad un filo un righello di plastica e lo carichiamo strofinandolo con un panno, esso respingerà un secondo righello caricato allo stesso modo. Analogamente, si osserverà una forza repulsiva tra due barrette di vetro caricate per strofinio. Se invece avviciniamo una **barretta di vetro** carica ad un **righello di plastica** carico osserveremo una forza di attrazione. Dall'esperimento deduciamo quindi (1) che *la carica presente sulla plastica deve essere diversa da quella presente sul vetro* e (2) che *cariche elettriche uguali si respingono mentre cariche elettriche diverse si attraggono*.

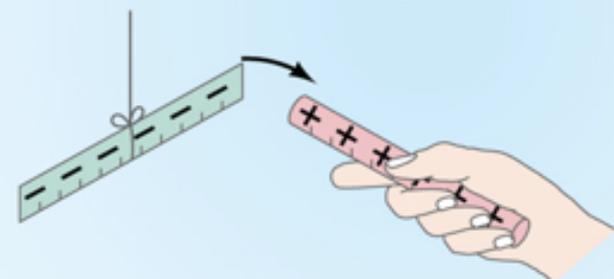
Questo tipo di comportamento mostra una prima importante **differenza** tra la forza elettrica e quella gravitazionale: mentre quest'ultima è solo attrattiva e coinvolge un solo tipo di massa, quella elettrica può essere attrattiva o repulsiva e coinvolge due tipi diversi di carica. Lo scienziato **Benjamin Franklin** (1706-1790), uno dei padri fondatori degli Stati Uniti, propose di chiamare **positiva** la carica presente sul vetro e **negativa** quella presente sulla plastica (o sull'ambra).



(a) Due righelli di plastica carichi si respingono



(b) Due barrette di vetro cariche si respingono



(c) Una barretta di vetro carica attrae un righello di plastica carico

Conservazione della Carica Elettrica

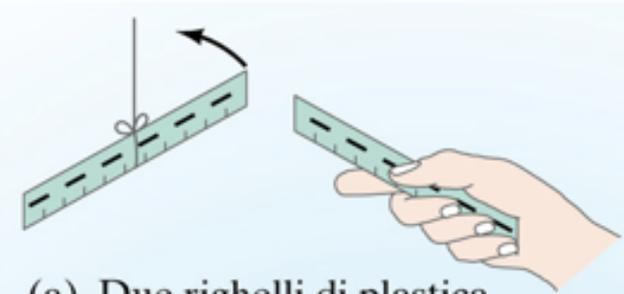


Benjamin Franklin
(1706-1790)

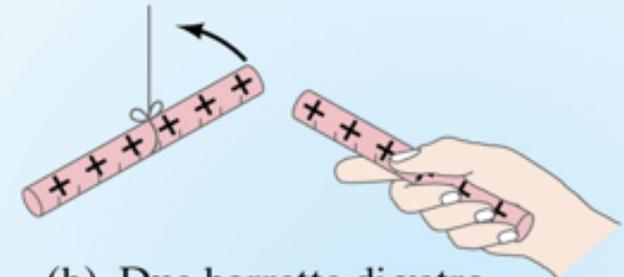
Franklin si accorse anche che se una certa quantità di carica viene prodotta su un oggetto (ad esempio il righello di plastica strofinato), la **stessa** quantità, ma di tipo opposto, deve essere prodotta su un secondo oggetto (ad es. il panno con cui l'abbiamo strofinato).

Questo implica che durante un qualsiasi processo fisico la somma algebrica delle cariche in gioco non deve cambiare, cioè **la variazione totale della carica elettrica deve essere nulla!** Se un oggetto, o in generale una regione di spazio, acquisisce una carica elettrica positiva, allora una uguale quantità di carica negativa deve essere prodotta in una regione o in un oggetto vicino: ciò significa che, proprio come avviene per l'energia in un sistema isolato, *la carica non si crea nè si distrugge* ma si conserva: è questa la **legge di conservazione della carica elettrica**, una legge fondamentale della fisica valida oltre la fisica classica, fino alla fisica nucleare e particellare.

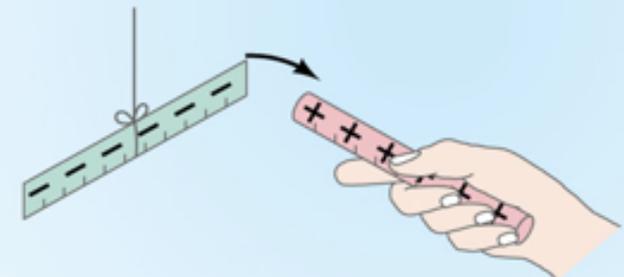
Ma allora **cosa accade esattamente** quando carichiamo per strofinio un righello di plastica o una barretta di vetro inizialmente neutri? Visto che la carica elettrica non può essere creata nè distrutta, **qual'è la sua origine** in questo tipo di esperimenti?



(a) Due righelli di plastica carichi si respingono



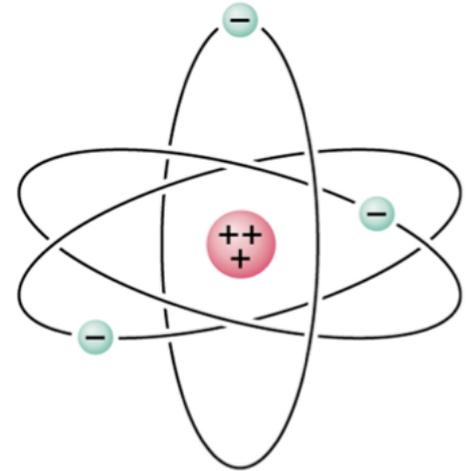
(b) Due barrette di vetro cariche si respingono



(c) Una barretta di vetro carica attrae un righello di plastica carico

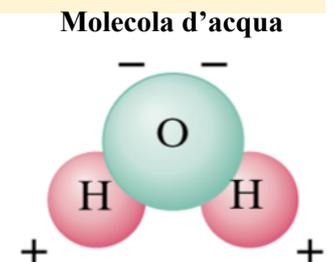
Interpretazione dei Fenomeni Elettrici

Solo nel secolo scorso si capì che una comprensione profonda dei fenomeni elettrici non poteva prescindere dalla conoscenza della struttura atomica: il più semplice **modello dell'atomo** prevede, come sappiamo, un nucleo relativamente pesante composto da **protoni** carichi positivamente (oltre che da **neutroni**, elettricamente neutri), circondato da uno o più **elettroni** carichi negativamente. L'aspetto più importante di questo modello è che protoni ed elettroni hanno esattamente la stessa quantità di carica, ma di segno opposto, cosicchè **gli atomi** – che normalmente contengono protoni ed elettroni in egual numero – **sono complessivamente neutri**.



Sappiamo che nei solidi i nuclei degli atomi oscillano attorno alle loro posizioni di equilibrio nel reticolo cristallino ma alcuni dei loro elettroni si muovono più o meno liberamente. Quando **strofiniamo** con un panno un oggetto solido neutro (il righello o la barretta) accade quindi che un certo numero di elettroni vengono strappati ai loro nuclei e si trasferiscono dall'oggetto al panno (nel caso della barretta di vetro) o dal panno all'oggetto (nel caso del righello di plastica): **gli atomi che perdono o acquisiscono elettroni vengono detti "ioni"** e restano carichi positivamente nel primo caso (barretta) e negativamente nel secondo (righello), dotando così a loro volta di una carica complessiva positiva o negativa gli oggetti a cui appartengono.

Gli oggetti così caricati per strofinio mantengono la loro carica per un po' di tempo ma poi tornano allo stato neutro o perchè i loro elettroni in eccesso sfuggono nell'aria attratti dalle **molecole d'acqua fortemente polarizzate** presenti nell'atmosfera oppure, viceversa, perchè i loro ioni positivi strappano gli elettroni debolmente legati a tali molecole d'acqua.

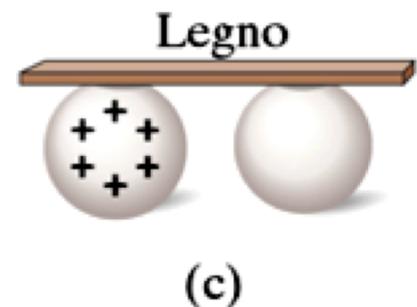
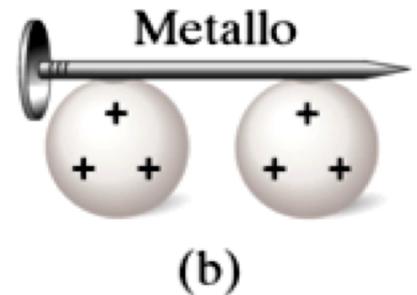
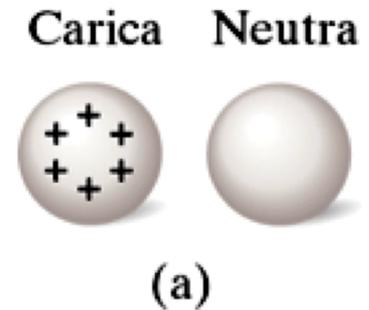


Isolanti e Conduttori

Facciamo adesso un altro semplice **esperimento**: consideriamo due sferette metalliche identiche, una neutra e una dotata di una carica molto elevata, ad esempio positiva (a); se poniamo a contatto con entrambe un oggetto metallico, per esempio un chiodo, noteremo che in brevissimo tempo anche la sferetta originariamente neutra si caricherà positivamente (b); se invece poniamo a contatto con le due sferette una bacchetta di legno o un pezzo di gomma, noteremo che la sferetta inizialmente neutra rimane neutra (c).

Questo esperimento ci permette di **dividere i materiali in due categorie**, a seconda del loro comportamento relativamente ai fenomeni elettrici: i materiali che si comportano come il chiodo metallico vengono detti **“conduttori”**, mentre quelli che si comportano come il legno o la gomma vengono detti **“isolanti”**. Quasi tutti i materiali presenti in natura possono essere classificati come conduttori o isolanti: **i metalli sono in generale buoni conduttori di elettricità** poiché gli elettroni, essendo debolmente legati ai loro nuclei, circolano abbastanza liberamente al loro interno (si parla in tal caso di “elettroni liberi” o “di conduzione”); **gli elettroni di un materiale isolante invece sono fortemente legati ai rispettivi nuclei** e dunque non sono in grado di condurre carica elettrica (o comunque lo fanno in quantità scarsamente apprezzabile).

Alcuni tipi di materiali, come ad es. il silicio o il germanio, appartengono invece ad una categoria intermedia tra conduttori e isolanti e vengono quindi detti **“semiconduttori”** (che, come noto, sono alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici a stato solido quali i transistor, i diodi e i diodi ad emissione luminosa - i cosiddetti LED).



Riassumendo...

Conduttori e isolanti

vi sono materiali che favoriscono il passaggio di elettricità

come per esempio i metalli e l'acqua



il rame



per questa loro caratteristica si chiamano **buoni conduttori**



svolgono cioè la funzione di **isolanti**

altri materiali non lasciano passare l'elettricità

cattivi conduttori

si tratta per esempio della plastica, del vetro, della ceramica, del legno

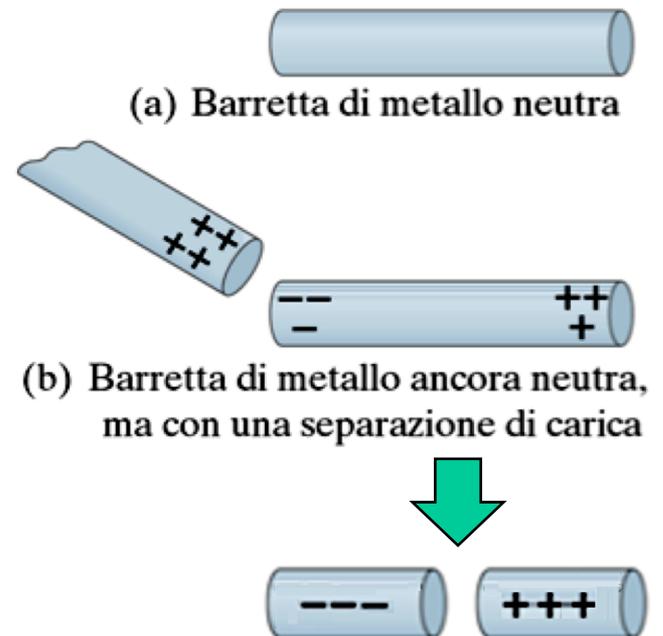
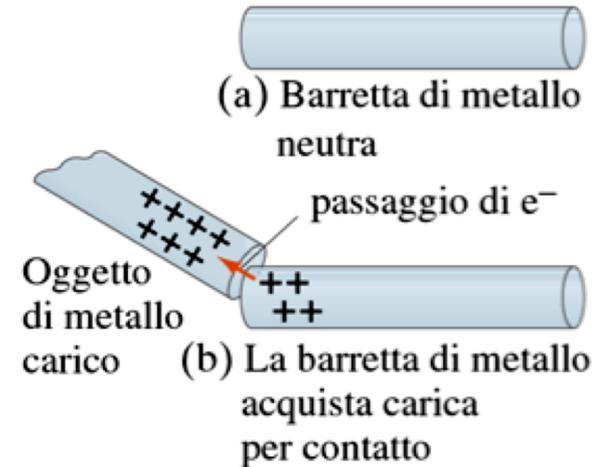


i fili elettrici di rame sono avvolti nella plastica in modo che l'elettricità non fuoriesca lungo il suo percorso

Caricamento per Conduzione e per Induzione

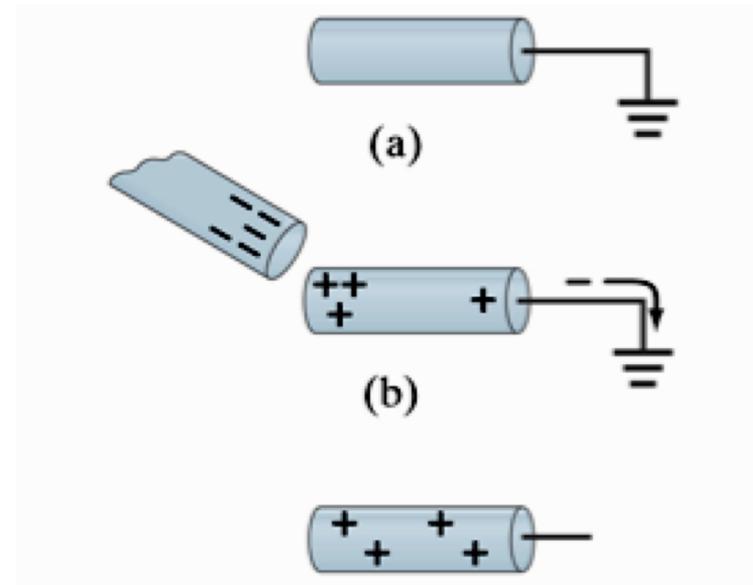
Quando un oggetto metallico dotato di carica positiva viene posto a contatto con un oggetto metallico neutro (una barretta, ad es.), gli elettroni liberi della barretta vengono attratti dall'oggetto carico positivamente e alcuni vi si trasferiscono, lasciando così la barretta stessa carica positivamente: è quello che si chiama **“trasferimento di carica per conduzione”**, fenomeno che lascia alla fine i due oggetti in gioco con cariche dello stesso segno.

Se invece l'oggetto metallico carico positivamente viene solo **avvicinato** alla barretta metallica neutra, ma **senza che i due corpi vengano a contatto**, gli elettroni liberi della barretta, pur non potendo abbandonarla, si muovono verso l'estremità più vicina all'oggetto carico positivamente lasciando così **un'eccedenza di carica positiva** all'estremità opposta: in tal caso si dice che alle due estremità della barretta è **stata indotta una carica elettrica, senza trasferimento di cariche**. Si noti che la barretta è ancora globalmente neutra ma le sue cariche positive e negative sono state separate: **se venisse spezzata, da essa si formerebbero due barrette dotate di cariche opposte**.

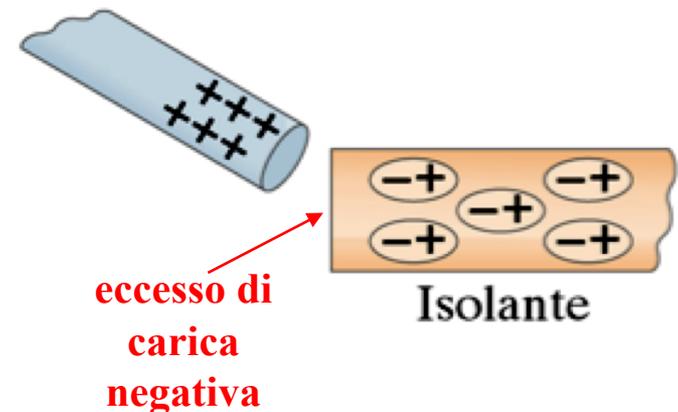


Caricamento per Conduzione e per Induzione

Se invece la barretta fosse stata collegata al suolo mediante un filo conduttore (“**messa a terra**” o “**a massa**”), avvicinando ad essa un corpo carico, ad es. negativamente, l’estremità più vicina al corpo **si caricherebbe positivamente per induzione** a causa della migrazione degli elettroni liberi verso l’altra estremità, quella messa a terra, da cui confluirebbero nel terreno (che rappresenta una riserva di carica infinita): **tagliando il filo, la barretta resterebbe così carica positivamente.**



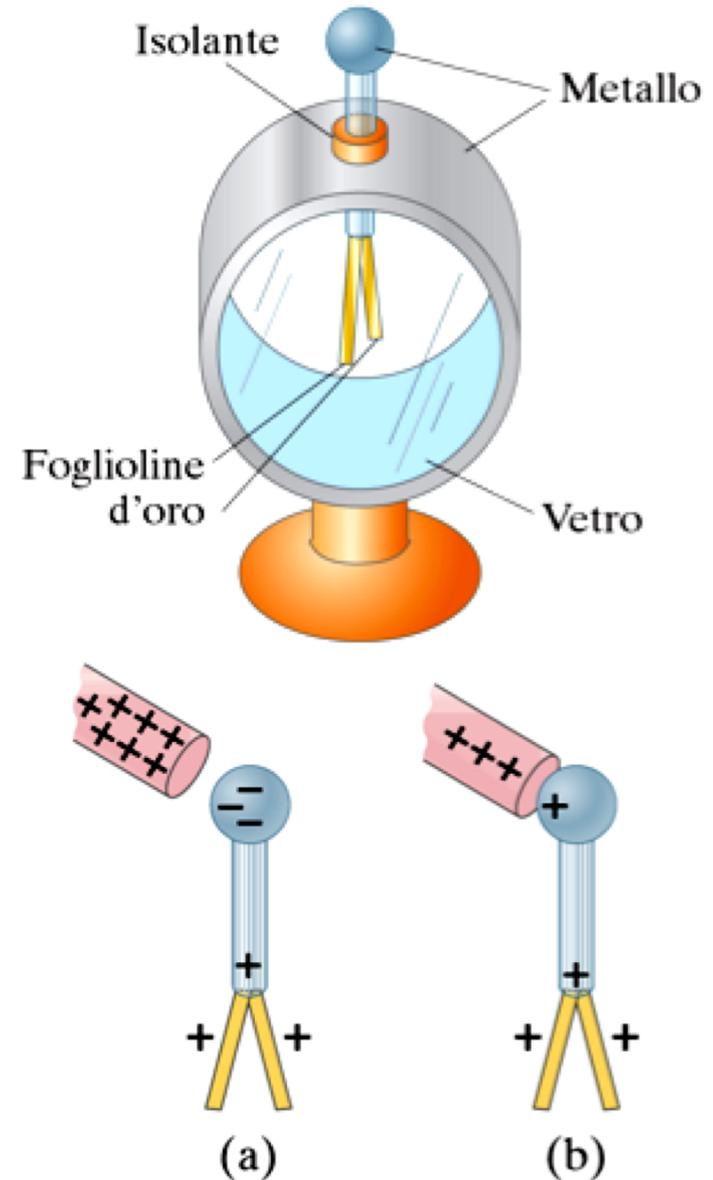
Anche negli **isolanti** è possibile produrre una separazione di carica per induzione: stavolta gli elettroni non sono liberi di muoversi ma solo di spostarsi leggermente all’interno delle molecole di una barretta isolante (che in questo modo si **polarizzano**), generando così un **eccesso di carica negativa in prossimità del corpo carico positivamente** ad essa accostato.



L'Elettroscopio

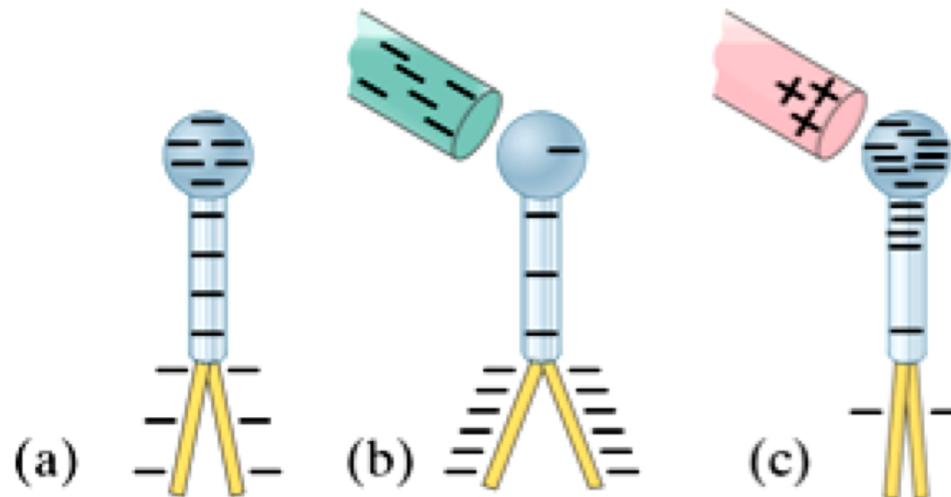
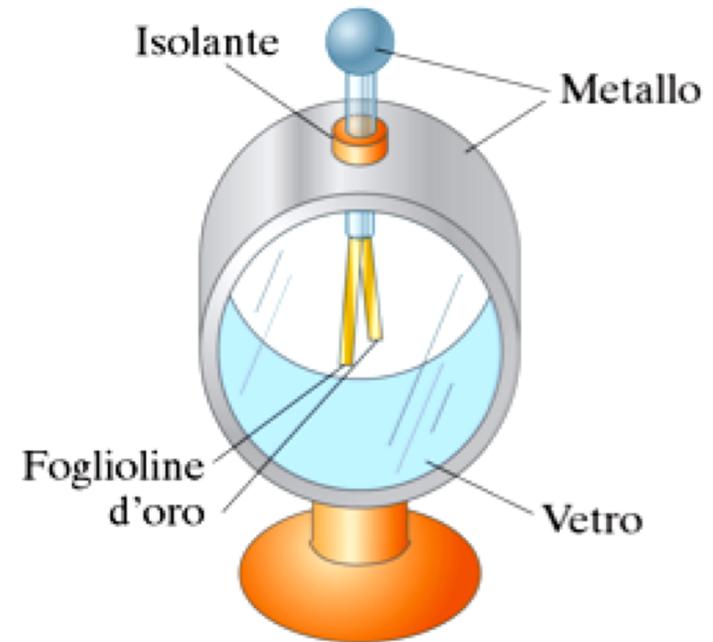
Per segnalare la presenza di carica in un oggetto è possibile utilizzare un **elettroscopio**, che è un dispositivo costituito da due **foglioline** metalliche mobili, tipicamente d'oro, poste dentro un contenitore ed isolate elettricamente da esso. Le foglioline sono invece collegate ad una **sferetta** metallica esterna per mezzo di una barretta conduttrice: quando un oggetto carico positivamente viene avvicinato alla sferetta di un elettroscopio scarico, gli elettroni vengono attratti **per induzione** verso la pallina lasciando un eccesso di carica positiva sulle foglioline, che dunque si respingono (a); se invece l'oggetto carico viene posto a contatto con la pallina, quest'ultima viene caricata **per conduzione** e tale carica si trasferisce anche alle foglioline che, nuovamente, si respingono (b).

In entrambi i casi la separazione tra le foglioline è proporzionale alla carica totale presente su di esse, ma *l'esperimento non riesce a stabilire quale sia il segno della carica dell'oggetto avvicinato all'elettroscopio* (i procedimenti visti sopra potrebbero infatti ripetersi utilizzando una carica negativa e il risultato sarebbe esattamente lo stesso!).



L'Elettroscopio

Se invece carichiamo preventivamente l'elettroscopio per conduzione, ad esempio negativamente (a), dunque con le foglioline inizialmente separate, diventa possibile **discriminare la carica dell'oggetto avvicinato**: se tale carica è **negativa** (b), elettroni supplementari verranno indotti sulle foglioline, che si respingeranno ulteriormente; se è **positiva** (c), alcuni elettroni verranno invece attratti verso la pallina lasciando le foglioline meno cariche e dunque riducendone la separazione.

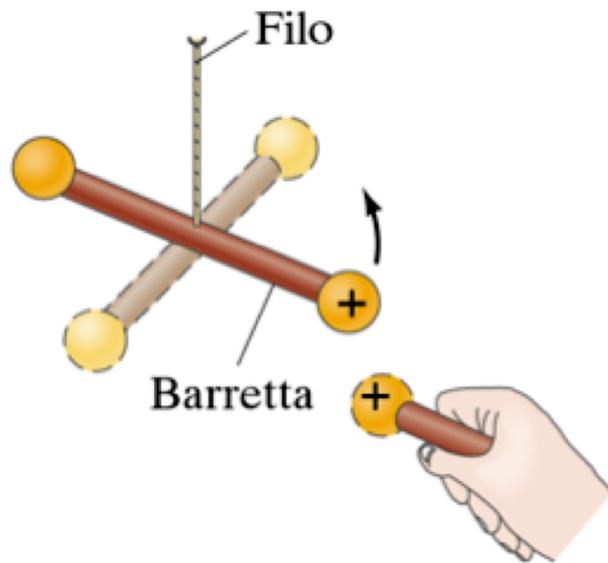


La Legge di Coulomb

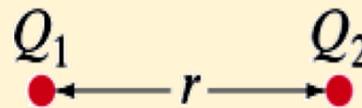
Abbiamo visto dunque che le cariche elettriche sono di due tipi e interagiscono mediante una **forza elettrica** che può essere sia attrattiva che repulsiva. Il primo a determinare con precisione l'espressione esatta dell'intensità della forza elettrica fu l'ingegnere e fisico francese **Charles-Augustin Coulomb**, il quale verso la fine del XVIII secolo eseguì una serie di esperimenti con una bilancia di torsione simile a quella usata da Cavendish per determinare il valore della costante di Gravitazione Universale.



Charles Coulomb
(1736-1806)



Per mezzo dei suoi esperimenti con la bilancia di torsione Coulomb si rese conto che l'intensità (modulo) della forza elettrica che un corpo di carica Q_1 esercita su un secondo corpo di carica Q_2 , di piccole dimensioni, era **direttamente proporzionale** alla carica esistente su ciascuno dei due corpi mentre era **inversamente proporzionale** al quadrato della distanza r tra i loro centri. Da ciò dedusse immediatamente che la forma funzionale dell'intensità della forza elettrica dovesse essere del tipo:



$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

con k costante di proporzionalità: è questa la famosa **Legge di Coulomb**, che fornisce appunto il valore del **modulo** della forza elettrica che si esercita tra due corpi carichi posti ad una distanza r .

La Legge di Coulomb

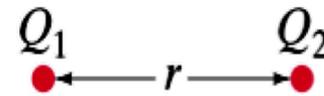
Abbiamo visto dunque che le cariche elettriche sono di due tipi e interagiscono mediante una **forza elettrica** che può essere sia attrattiva che repulsiva. Il primo a determinare con precisione l'espressione esatta dell'intensità della forza elettrica fu l'ingegnere e fisico francese **Charles-Augustin Coulomb**, il quale verso la fine del XVIII secolo eseguì una serie di esperimenti con una bilancia di torsione simile a quella usata da Cavendish per determinare il valore della costante di Gravitazione Universale.



Charles Coulomb
(1736-1806)

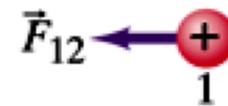
Forza di Coulomb

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



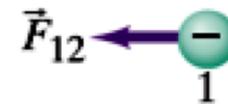
La **direzione** della forza è quella della retta congiungente i due corpi laddove il **verso** dipende invece, come ci aspettavamo, dal segno delle cariche: se i segni delle cariche sono **concordi** i corpi si respingono (dunque i vettori della forza elettrica punteranno all'esterno come nelle figure a e b) mentre se sono **discordi** i corpi si attraggono (e i vettori della forza elettrica punteranno l'uno verso l'altro, all'interno, come in figura c). Quest'ultimo caso, in cui la forza elettrica è attrattiva, è perfettamente analogo al caso della forza gravitazionale che si esercita tra due masse (come vedremo più avanti).

F_{12} = forza su 1
dovuta a 2

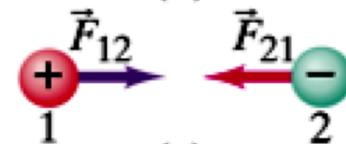
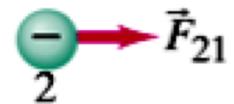


(a)

F_{21} = forza su 2
dovuta a 1



(b)



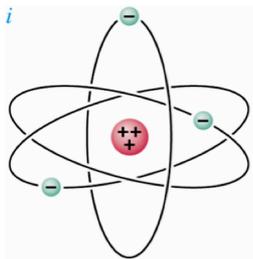
(c)

Un pò di definizioni...

Nel Sistema Internazionale (SI) l'unità di misura della carica elettrica è (guarda caso!) il **Coulomb (C)**, che però non è un'unità fondamentale ma deriva dall'unità di misura della corrente elettrica (come vedremo più avanti...). Nel SI la costante k che compare nella Legge di Coulomb vale esattamente $k = 8.988 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$, ovvero – approssimando a due sole cifre significative – $k = 9.0 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$. Ciò significa che *il Coulomb può essere definito come quella quantità di carica che posta su ciascuno di due oggetti puntiformi a distanza di 1.0 m dà origine a una forza elettrica di modulo $9.0 \cdot 10^9 \text{ N}$* : notare che questa forza è veramente enorme, equivalendo al peso di circa un milione di tonnellate!



Charles Coulomb
(1736-1806)



Di solito dunque non si ha a che fare con cariche dell'ordine dei Coulomb ma solo con loro sottomultipli: le cariche generate strofinando pettini o righelli, per esempio, sono al più dell'ordine dei microcoulomb ($1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{C}$). La carica di un **elettrone** invece è ovviamente molto più piccola, anzi per la precisione è la carica più piccola osservata in natura, ed è pari a $-e$, dove $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ è la cosiddetta “**carica elementare**”, definita positiva: poichè la carica degli oggetti macroscopici deriva, in ultima analisi, da un eccesso o un deficit di elettroni, la carica totale presente su un corpo qualsiasi deve sempre essere un multiplo di e . Per questo motivo si dice che **la carica è “quantizzata”**, cioè può assumere solo valori discreti $1e$, $2e$, $3e$, e così via, anche se essendo il valore di e molto piccolo essa appare macroscopicamente come una grandezza fisica continua (si consideri che in $1 \mu\text{C}$ ci sono circa 10^{13} elettroni!).