

## 1. INTRODUZIONE

In questa sezione tratteremo alcuni fenomeni legati al concetto di elettricità e magnetismo. Le leggi che regolano questi fenomeni sono estremamente importanti dal punto di vista non solo teorico, ma anche tecnologico. Esse infatti permettono di sfruttare elettricità e magnetismo in innumerevoli applicazioni. Come esempi particolarmente semplici possiamo pensare all'elettrolisi che è utilizzata per alimentare molti tipi di macchine o alle onde elettromagnetiche, di fondamentale importanza per le telecomunicazioni.

La scoperta dei fenomeni elettrici e magnetici è molto antica (ad esempio fenomeni di magnetismo sono già noti nella stessa classe). Tuttavia una comprensione approfondita di questa parte della fisica è osservata solo, nell'1800, culminata con la formulazione delle leggi di Maxwell, che descrivono in modo estremamente accurato i fenomeni elettrici e magnetici ed in particolare la relazione tra questi due classi di fenomeni. Le leggi di Maxwell, in particolare, mostrano come i fenomeni elettrici e magnetici fanno parte di una stessa categoria di fenomeni fisici e quindi devono necessariamente essere considerati come un tutt'uno. Per questa ragione si parla di solito di ELETTROMAGNETISMO per riferirsi a tutta questa classe di fenomeni.

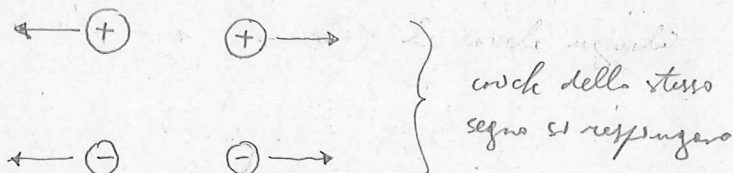
## 2. ELETTROSTATICA

Trovanti semplici esperimenti si può dimostrare l'esistenza di fenomeni elettrici. Per esempio sfregando una bacchetta di vetro sulla seta si nota che la bacchetta acquista la proprietà di attrarre dei piccoli pezzetti di plastica. Si può notare che un simile fenomeno avviene sfregando della gomma. Inoltre si nota che due bacchette di vetro "elettrizzate" per sfregamento tendono a respingersi quando poste vicine. Lo stesso avviene accostando due bacchette di gomma elettrizzate. Viceversa se si avvicina la bacchetta di vetro a quella di gomma, le due si attraggono.

Queste semplici osservazioni dimostrano l'esistenza di due cariche elettriche di tipo diverso, che sono convenzionalmente chiamate positive e negative (i nomi sono dovuti a Benjamin Franklin che assegnò carica positiva alla bacchetta di vetro e negativa a quella di gomma). Oggi sappiamo che le cariche positive sono associate ai protoni (costituenti dei nuclei atomici), mentre quelle negative sono associate agli elettroni (che circolano "come una nuvola" il nucleo atomico).

Come abbiamo visto cariche elettriche dello stesso segno si respingono, mentre cariche di segno opposto si attraggono.

III. 2



$(+) \rightarrow \leftarrow (-)$  cariche di segno opposto si attraggono.

Un altro risultato sperimentale fondamentale è il fatto che la carica elettrica si conserva. Cioè la somma delle cariche di un sistema isolato (considerando le cariche con il loro segno) rimane costante.

Nel processo comune di elettrostatica non solo la carica complessiva si conserva, ma anche le stesse cariche negative (cioè gli elettroni) e positive (cioè i protoni) si conservano. [Questo non è più vero per i fenomeni nucleari, per i quali il numero di elettroni e protoni può variare, conservando comunque la carica elettrica totale, cioè la differenza tra protoni ed elettroni.]

Un altro fatto molto importante è l'uguaglianza in modulo della carica elettrica dell'elettrone e del protone:

$$\text{carica protone} = +e \quad \text{carica elettrone} = -e$$

(vedremo in seguito quanto vale  $e$ ). Le cariche elettriche in natura sono quindi sempre multiple intere della carica fondamentale  $e$ .

Cerchiamo ora di capire cosa succede con lo strofinio delle bacchette di gomma e di vetro. Nel caso della gomma lo strofinio fa acquisire alla bacchetta degli elettroni in eccesso (sottracendoli alla superficie su cui si strofina), quindi la bacchetta acquista una carica netta negativa  $= -Ne$  dove  $N$  è il numero di elettroni in eccesso. Nel caso del vetro succede il processo opposto, la bacchetta perde elettroni, quindi sulla bacchetta rimangono dei protoni "spati" dando una carica netta positiva  $= Ne$  dove  $N$  è il numero di elettroni persi.

Notate che in condizioni standard la materia ha lo stesso numero di protoni ed elettroni (questo è vero per gli atomi in condizioni standard) quindi la carica netta è nulla. Bisogna notare che una quantità di ordine  $1 \text{ cm}^3$  di materia contiene  $\sim 10^{23}$  atomi (ognuno dei quali contiene diversi elettroni e protoni) quindi il numero di cariche elementari è molto elevato. Gli effetti elettrici non avvengono soltanto solo perché la carica netta è nulla.

I vari materiali possono essere classificati a seconda di come si comportano relativamente allo scambio di elettroni.

- CONDUTTORI: materiali nei quali un buon numero di elettroni sono relativamente liberi, non fortemente legati alle molecole. Questi elettroni possono spostarsi facilmente e quindi trasportare correnti elettriche lungo il conduttore.

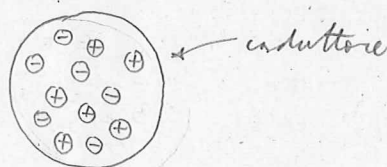
- ISOLANTI: materiali nei quali tutti gli elettroni sono fortemente legati alle molecole e non possono spostarsi. In questo caso il materiale si oppone allo spostamento di carica.

Esistono anche materiali con proprietà intermedie, in cui gli elettroni liberi esistono ma sono in numero relativamente basso. Questi sono detti semiconduttori (un esempio è il silicio).

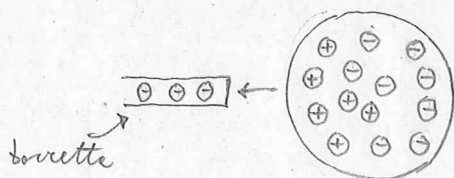
Esempi di conduttori sono i metalli, mentre buoni isolanti sono il vetro o le plastiche.

Bisogna notare che il trasporto di carica nei materiali (la cosiddetta elettricità) avviene solo tramite lo scambio di elettroni. I protoni, invece sono nel nucleo degli atomi e non si spostano (almeno nei conduttori metallici).

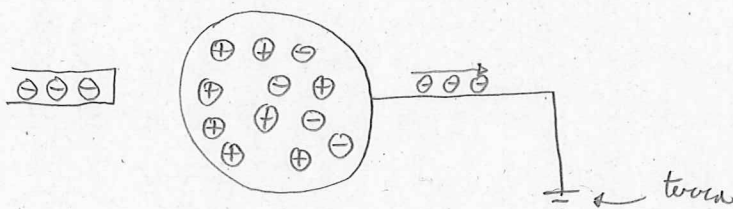
Vediamo ora come si distribuiscono le cariche in un conduttore. Quando il conduttore è scarico (ovvero non ha carica netta) cariche negative e positive sono distribuite uniformemente



Se avviciniamo una bacchetta elettrizzata ad un conduttore, ad es. della gomma con carica negativa, le cariche positive nel conduttore verranno attratte, mentre le negative respinte. Si creerà quindi un eccesso di carica positiva da un lato. Essendo le cariche opposte più vicine si avrà un fenomeno di attrazione tra la bacchetta e il conduttore.

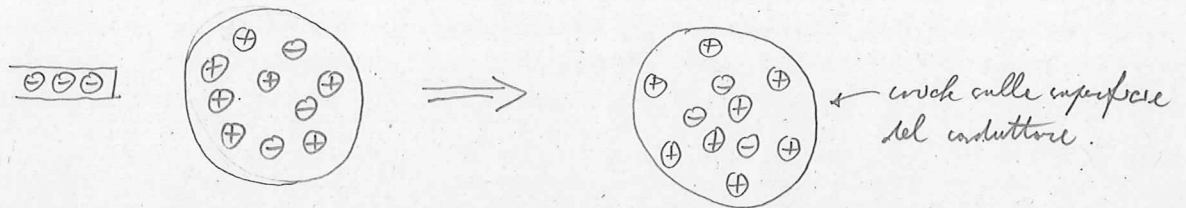


Se si collega il conduttore alla terra allora parte delle cariche negative fluisce verso la terra, lasciando una carica netta sul conduttore.



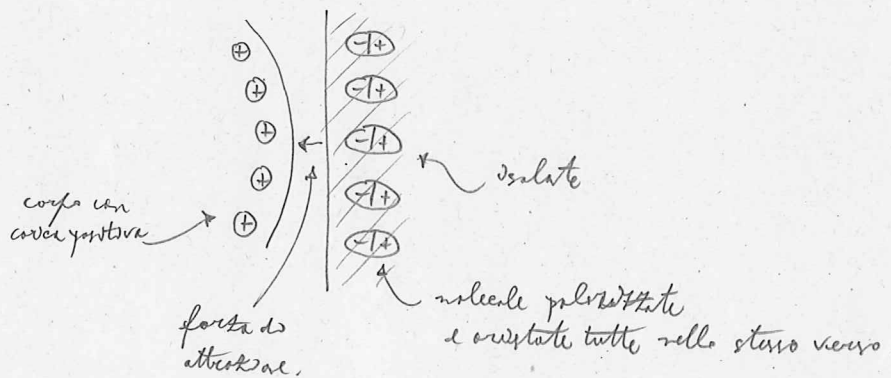


Quando il conduttore è scollegato dalla terra una carica netta positiva  
 è ancora presente. Se la boccetta è allontanata la carica (che non può più fluire via)  
 rimane sul conduttore e si ridistribuisce sulla superficie del conduttore. Questo  
 si può capire dal fatto che le cariche dello stesso segno si respingono, quindi cercano  
 di allontanarsi quanto più possibile le une dalle altre disponendosi sulla superficie.



Questo fenomeno che permette di caricare un conduttore si dice INDUZIONE.

Quando invece avviciniamo una boccetta carica ad un isolante gli elettroni non si possono  
 spostare liberamente, però le molecole si deformano in modo da ridisporre le cariche opposte  
 dal lato della boccetta. Poiché le cariche opposte sono più vicine che quelle di segno  
 uguale, si origina una forza di attrazione. Questo fenomeno di "polarizzazione" delle molecole  
 spiega perché una boccetta elettrizzata attira la carta che è un isolante.



## 2.2. LA LEGGE DI COULOMB

Vediamo ora quanto vale la forza tra cariche elettriche e quale è l'unità di misura della  
 carica elettrica. L'ho sperimentato fatto da Charles Coulomb (1736-1806) notò che  
 la forza tra due cariche "puntiformi" (ovvero che possono essere approssimate come un punto,  
 così le cui dimensioni sono sufficientemente piccole, come ad es. per gli elettroni o i protoni) è  
 data da

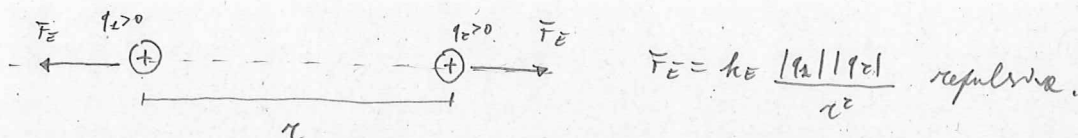
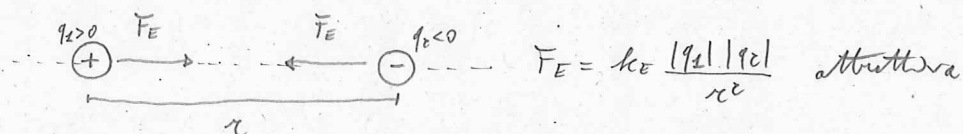
$$F_E = k_E \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad \text{LEGE DI COULOMB}$$

dove  $q_1$  e  $q_2$  sono le cariche elettriche delle due particelle,  $r$  è la loro distanza e  $k_E$   
 è detta costante di Coulomb e vale

$$k_E = 8.9876 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2.$$

Le cariche elettriche si misurano in Coulomb (simbolo C)

Bisogna sottolineare che la forza tra due cariche è diretta lungo la congiungente le due cariche ed è attrattiva nel caso in cui  $q_1 \cdot q_2 < 0$ , mentre è repulsiva se  $q_1 \cdot q_2 > 0$ .



Per il principio di azione e reazione le forze che agiscono sulle due cariche sono uguali e opposte. Nel caso di più cariche vale la solita legge di composizione delle forze.

Come abbiamo detto le particelle elettroniche e protoniche hanno la medesima carica (per una particella libero), questa è data da

$$e = 1.60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Quindi un Coulomb corrisponde alla carica di circa  $10^{18}$  elettroni (o protoni). Questa quantità è molto grande. Infatti in effetti di elettrostatica da strapuntino soltanto si misura  $\sim 10^{-6} \text{ C}$ .

Bisogna notare che la carica elettrica non è correlata con la massa. Ad esempio per l'elettrone, il protone ed il neutrone (un altro componente del nucleo atomico) abbiamo

	CARICA (C)	MASSA (kg)
Elettrone (e)	$-1.60218 \cdot 10^{-19}$	$9.1094 \cdot 10^{-31}$
Protone (p)	$+1.60218 \cdot 10^{-19}$	$1.6726 \cdot 10^{-27}$
Neutrone (n)	0	$1.6749 \cdot 10^{-27}$

Così il protone è circa 2000 volte più pesante dell'elettrone, anche abbiamo cariche elettriche della stessa grandezza (ma segno opposto). Il neutrone invece ha una massa quasi uguale a quella del protone, ma la carica elettrica zero.

### ESERCIZIO 1. Forza elettrica nell'atomo di idrogeno

III.6

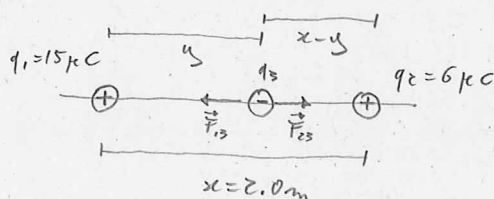
Nell'idrogeno il protone e l'elettrone sono separati da una distanza media di  $5.3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .  
Trova la forza di attrazione elettrica.

SOLUZIONE Usando la legge di Coulomb

$$F = k_E \frac{|-e| | +e|}{r^2} = (8.988 \cdot 10^8 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) \cdot \frac{(1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 8.2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

### ESERCIZIO 2. Cariche in equilibrio

Consideriamo tre cariche allineate (come in figura). Le cariche esterne sono positive con  $q_1 = 15.0 \mu\text{C}$  e  $q_2 = 6.0 \mu\text{C}$  e sono separate da  $x = 2.0 \text{ m}$ . La terza carica, negativa, è in equilibrio (forza netta nulla). Calcolare la posizione di  $q_3$ .



SOLUZIONE. Calcoliamo  $F_{13}$  ed  $F_{23}$  in funzione di  $y$ :

$$F_{13} = k_E \frac{|q_1| |q_3|}{y^2}$$

$$F_{23} = k_E \frac{|q_2| |q_3|}{(x-y)^2}$$

Per assicurare che  $q_3$  sia in equilibrio

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k_E \frac{|q_1| |q_3|}{y^2} = k_E \frac{|q_2| |q_3|}{(x-y)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{y^2} = \frac{|q_2|}{(x-y)^2}$$

Riscriviamo questa relazione come

$$|q_1| (x-y)^2 = |q_2| y^2$$

e prendendo la radice quadrata (notare che  $\sqrt{x^2} = \pm x$ ) si ha

$$\sqrt{|q_1|} (x-y) = \pm \sqrt{|q_2|} y \Rightarrow \sqrt{|q_1|} x = y (\sqrt{|q_1|} \pm \sqrt{|q_2|})$$

$$\Rightarrow y = \frac{\sqrt{|q_1|} x}{\sqrt{|q_1|} \pm \sqrt{|q_2|}} \quad (*)$$

Notiamo che  $0 < y < x$  è una condizione necessaria per l'equilibrio, quindi la sola soluzione accettabile da (\*) è quella con + al denominatore (quella con - darebbe  $y > x$ ). Quindi

$$y = \frac{\sqrt{|q_1|} x}{\sqrt{|q_1|} + \sqrt{|q_2|}} = \frac{2.0 \text{ m} \sqrt{15 \cdot 10^{-6} \text{ C}}}{\sqrt{15 \cdot 10^{-6} \text{ C}} + \sqrt{6 \cdot 10^{-6} \text{ C}}} = 1.225 \text{ m}$$

NOTA.  $\mu\text{C}$  indica un micro-Coulomb, cioè  $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$ .

Si nota anchè che il risultato non dipende da  $q_3$ . In particolare lo stesso risultato si avrebbe ottenuto con  $q_3$  positiva ( $F_{13}$  e  $F_{23}$  avrebbero verso opposto).