

## **Modulo 9. Parte prima**

### **Carica e materia**

#### **9.1 BREVI CENNI STORICI INTORNO ALL'ELETTROMAGNETISMO**

La scienza dell'elettricità affonda le sue radici nel 600 a.C. quando si osservò che dei pezzetti di paglia sono attratti da un pezzo di ambra strofinato.

Anche lo studio del magnetismo nacque dall'osservazione che un minerale presente in natura, la magnetite, attrae il ferro.

Le due scienze, apparentemente indipendenti, si svilupparono in modo separato fino al 1820. Nel 1820 Oesterd osservò che un filo percorso da corrente elettrica può influire su una bussola ad ago magnetico.

I fenomeni elettrici e quelli magnetici, per i quali, fino a quel momento, si pensava non vi fosse nessun tipo di legame, furono studiati insieme in una nuova scienza: quella dell'elettromagnetismo. Vi furono altri ricercatori che diedero un contributo significativo a questa nuova scienza, fra questi Faraday.

Le leggi dell'elettromagnetismo furono scritte nella forma a noi nota da James Clerk Maxwell e sono meglio conosciute come "equazioni di Maxwell". Altri fisici contribuirono alla chiarificazione della teoria di Maxwell; fra questi Heaviside e Lorentz.

Maxwell dedusse, inoltre, che la natura della luce è quella di un'onda elettromagnetica e, così, la scienza dell'ottica fu connessa a quella dell'elettricità e del magnetismo.

#### **9.1.2 CARICA E MATERIA**

Strofinando con un panno di seta due bacchette di vetro, quest'ultime avvicinate l'una all'altra, si respingono.

Strofinando una bacchetta di plastica con della pelle, ed una bacchetta di vetro con un panno di seta, esse, avvicinate l'una all'altra, si attraggono.

Tali semplici esperimenti testimoniano che nell'universo esistono delle forze, di natura elettrica, in alcuni casi attrattive ed in altri repulsive.

Per convenzione la carica elettrica trasmessa dalla seta al vetro è definita positiva, mentre quella trasmessa dalla pelle alla plastica è definita negativa, ma questa, per l'appunto è solo una scelta, si sarebbe potuto decidere esattamente l'opposto. L'unità di misura della carica elettrica è il Coulomb, e si indica con la lettera "C".

Per spiegare il fenomeno dell'elettrizzazione è opportuno riferirsi al modello atomico della materia. Sappiamo che il modello di un atomo è composto da un nucleo contenente a sua volta delle particelle più piccole: i protoni ed i neutroni e da una nube di particelle ancora più piccole e più leggere dei protoni e dei neutroni, detti elettroni, che orbitano intorno al nucleo.

I protoni hanno una massa pari a circa  $1,67 \times 10^{-27}$  kg ed una carica positiva pari a  $1,6 \times 10^{-19}$  C. I neutroni hanno una massa circa uguale a quella dei protoni ma non hanno carica elettrica, gli elettroni, infine, hanno una massa circa mille e ottocento volte minore rispetto a quella dei protoni ed una carica uguale in modulo ma negativa.

Un atomo d'idrogeno, ad esempio, è composto da un nucleo in cui vi è un solo protone ed un elettrone che vi orbita intorno.

In condizioni normali, la carica elettrica dell'intero atomo è zero, in quanto sarebbe data dalla somma algebrica delle cariche del protone e dell'elettrone: Indicando con  $Q_{\text{tot}}$  la carica totale dell'atomo d'idrogeno si avrebbe:

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{elettrone}} + Q_{\text{protone}} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} - 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} = 0$$

Se allontanassimo l'unico elettrone presente, rimarrebbe soltanto il protone, carico positivamente e non si avrebbe più la neutralità elettrica dell'atomo.

Tutti gli atomi hanno un numero di protoni ed un numero di elettroni uguale e pertanto sono neutri; poiché la materia è composta da tanti atomi, anch'essa è neutra. Ciò è valido anche per la bacchetta di vetro dell'esempio precedente: essa, in condizioni normali, è neutra in quanto ogni suo atomo è neutro. Strofinandola con un panno di seta, un certo numero di elettroni degli atomi del vetro, quelli più lontani dal nucleo e più debolmente attratti, si trasferiscono alla seta, così gli atomi del vetro, avendo subito una sottrazione di elettroni, avranno più protoni che elettroni e non saranno più neutri ma possiederanno una carica positiva.

### 9.1.3 IL FENOMENO DELL'INDUZIONE ELETTROSTATICA

Immaginiamo un corpo di materiale metallico. Un metallo è una sostanza in cui gli elettroni dei vari atomi non sono rigidamente connessi ai loro nuclei, ma hanno una certa libertà di movimento.

Avvicinando all'oggetto metallico un corpo carico, ad esempio una bacchetta di vetro carica positivamente, la parte del metallo più vicina al vetro si caricherà di segno opposto rispetto alla carica del vetro, quindi negativamente. In tale situazione la bacchetta di vetro prende il nome di corpo induttore, mentre il metallo di corpo indotto.

L'effetto cessa quando il corpo induttore è allontanato dal corpo indotto. Da un punto di vista fisico è accaduto che gli elettroni del metallo, liberi di muoversi, sono stati attratti dalla carica positiva della bacchetta e si sono addensati nella parte di metallo più vicina alla bacchetta. Quando quest'ultima è allontanata si ripristina la distribuzione originaria di carica. Tale fenomeno altera soltanto la distribuzione di carica nel conduttore: esso è però complessivamente neutro prima e dopo che il corpo induttore venga avvicinato, in quanto nessuna carica è addizionata o sottratta.

### 9.1.4 IL PENDOLINO ELETTRICO

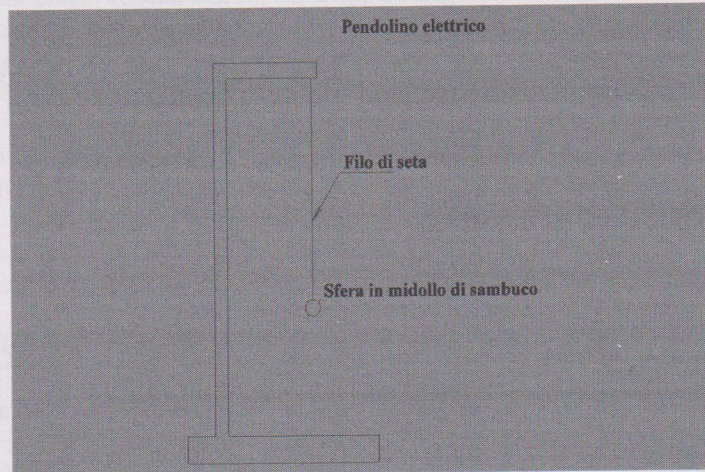
Il pendolino elettrico è un semplice dispositivo usato per rilevare la presenza di cariche elettriche.

Esso è composto da una sfera di piccole dimensioni, di polistirolo espanso o di midollo di sambuco, ricoperta da un sottile strato di alluminio o di grafite e sospesa ad un sottile filo di seta, com'è mostrato in figura.

Strofinando una bacchetta di vetro con della seta ed avvicinandola al pendolino elettrico,

## VERSO LA FISICA

osserveremmo i seguenti fenomeni:



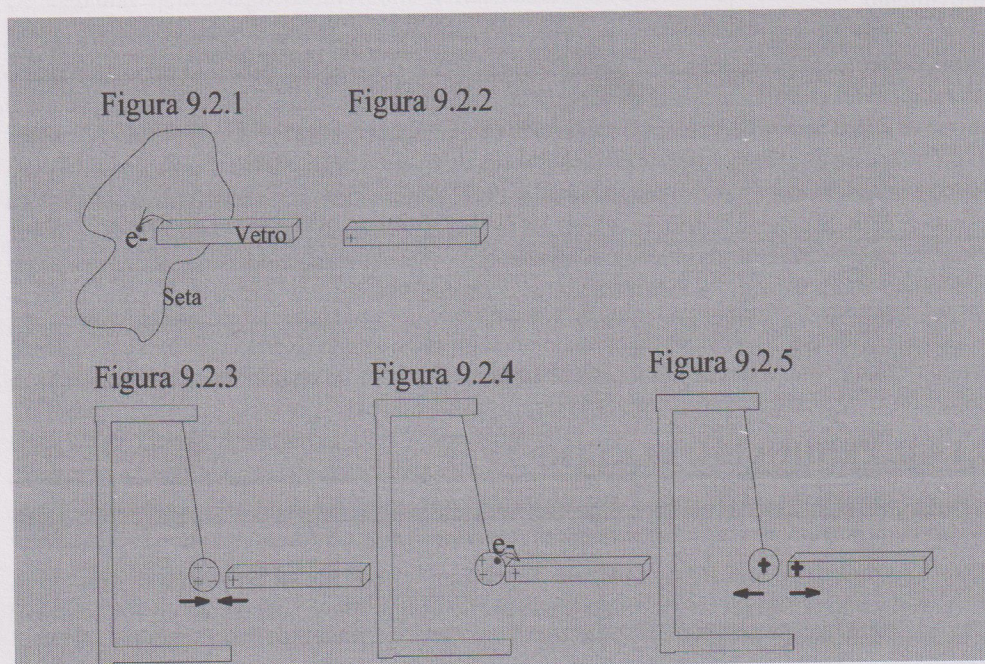
La leggerissima sfera in midollo di sambuco del pendolino sarebbe inizialmente attratta dalla bacchetta di plastica.

Si avrebbe un contatto fra la bacchetta e la sfera.

Successivamente la sfera sarebbe respinta dalla bacchetta.

Spiegheremo adesso il fenomeno servendoci del modello atomico della materia.

Durante l'azione di strofinio un certo numero di elettroni si trasferiscono dal vetro alla seta, (figura 9.2.1), caricando positivamente la bacchetta di vetro. (figura 9.2.2).



Avvicinando la bacchetta di vetro alla sfera del pendolino (figura 9.2.3), per induzione, si genera una separazione di carica sulla sfera stessa.

La parte della sfera più vicina alla bacchetta si carica di segno opposto rispetto alla carica della bacchetta e quindi negativamente, mentre quella più lontana positivamente. La sfera e la bacchetta si attraggono in quanto la forza attrattiva fra la bacchetta e la parte della sfera carica negativamente, prevale sulla forza repulsiva fra la bacchetta e la parte della sfera carica positivamente che è più lontana.

Si ha il contatto fisico fra la sfera e la bacchetta, (figura 9.2.4), durante il quale, alcuni elettroni della sfera raggiungono la bacchetta. La sfera, prima complessivamente neutra, è adesso carica positivamente, mentre la bacchetta avendo acquistato un certo numero di elettroni dalla sfera, ha perso una parte della sua carica positiva, rimanendo tuttavia carica sempre positivamente.

In tal modo la sfera e la bacchetta avranno cariche dello stesso segno e si respingeranno. (figura 9.2.5).

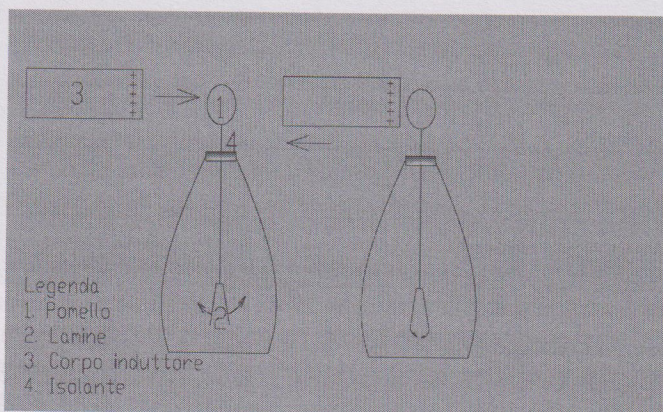
La pallina del pendolino sarà rimasta carica positivamente, per contatto.

Avvicinando qualunque corpo carico, in prossimità della sfera del pendolino, questa sarà attratta o respinta dal corpo in funzione del segno della sua carica, in tal modo il pendolino carico può rilevare la presenza di altre cariche elettriche nonché il loro segno.

### 9.1.5 L'ELETTROSCOPIO

Anche l'elettroscopio è un dispositivo atto a rilevare della carica elettrica. Esso è formato da una bacchetta metallica avente ad una delle estremità due foglioline metalliche sottili e molto leggere, generalmente in oro ed all'altra una sfera anch'essa metallica. Il tutto è contenuto in un recipiente di vetro che protegge il dispositivo e fa sì che le foglioline non si muovano per effetto degli spostamenti d'aria.

Avvicinando al pomello di un elettroscopio un corpo elettricamente carico, ad esempio una bacchetta di vetro, senza farla venire a contatto con esso, (figura 9.2.1), vedremo le foglioline divaricarsi e riavvicinarsi se l'oggetto carico viene allontanato, (figura 9.2.2).



Tale fenomeno è dovuto all'induzione elettrostatica: quando il corpo induttore si avvicina al pomello si ha una separazione di carica che produce un addensamento di carica negativa sul pomello e positiva sulle foglioline, il fenomeno cessa quando si allontana il corpo induttore.

Nell'esempio fatto, il corpo è soltanto avvicinato al pomello dell'elettroscopio senza venirne a contatto; se si ha il contatto, una parte della carica del corpo si trasferisce, tramite il pomello e l'asta metallica, alle foglioline dell'oscilloscopio che rimarranno divaricate anche quando il corpo induttore si allontana.

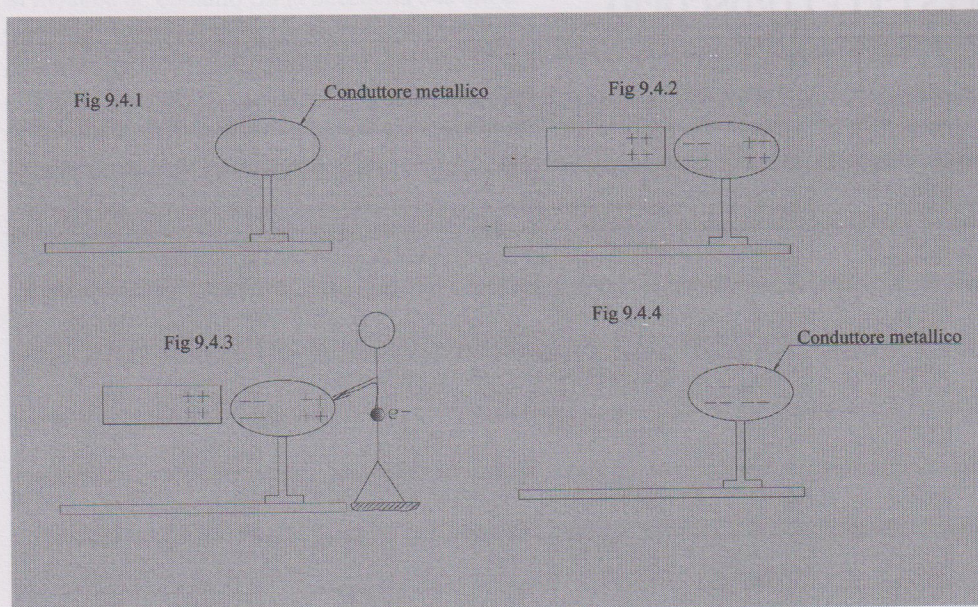
Un elettroscopio può essere utilizzato, ad esempio, per stabilire il segno di una certa carica elettrica, in questo modo:

Si carica l'apparecchio per contatto, ad esempio con una bacchetta di vetro carica positivamente. Le foglioline saranno divaricate per effetto della carica che la bacchetta ha ceduto all'elettroscopio.

Avvicinando un corpo carico positivamente al pomello dell'elettroscopio, le foglioline divergeranno ancora di più se la carica dell'oggetto è positiva, mentre l'angolo da esse formato diminuirà se la carica è negativa. In tal modo è possibile esprimersi sul segno della carica del corpo in esame.

### 9.1.6 ELETTRIZZAZIONE PER INDUZIONE

Il fenomeno dell'induzione elettrostatica ci permette di caricare elettricamente un conduttore metallico.



Si consideri un corpo metallico (Fig 9.4.1).

Si avvicina a tale corpo una bacchetta, ad esempio di vetro, carica positivamente (fig 9.4.2). Per induzione la parte di conduttore vicina alla bacchetta si caricherà negativamente, mentre quella lontana positivamente (Fig 9.4.2).

Toccando il conduttore con un dito la carica positiva a destra è neutralizzata da elettroni richiamati dalla terra.

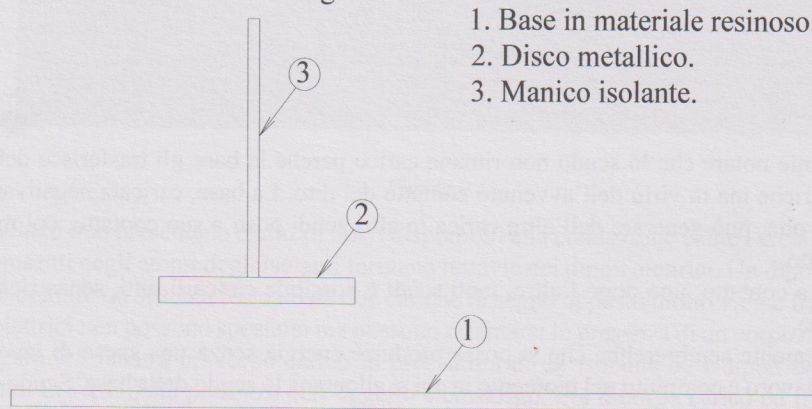
Allontanando, in ordine, il dito ed il corpo induttore, il conduttore rimane carico negativamente. Si può anche spiegare il fenomeno della carica del conduttore pensando che, il conduttore stesso, il corpo umano e la terra si comportano come un unico conduttore che subisce il fenomeno dell'induzione elettrostatica. La parte di quest'unico conduttore più vicina al corpo induttore, si carica negativamente, mentre la parte più lontana, la terra, si carica positivamente.

### 9.1.7 L'ELETTROFORO DI VOLTA

L'elettroforo di Volta è una macchina elettrostatica ed è pertanto in grado di produrre cariche elettriche, essa fu ideata da Alessandro Volta nel 1775. Il principio di funzionamento di questa macchina è basato sull'induzione elettrostatica.

Descriveremo adesso, con l'ausilio delle seguente figura, la struttura di tale macchina.

Figura 9.3



1. Base in materiale resinosa.
2. Disco metallico.
3. Manico isolante.

Essa è composta da una base in materiale resinosa ed un disco metallico dotato di un manico isolante.

Per utilizzare la macchina si procede in questo modo:

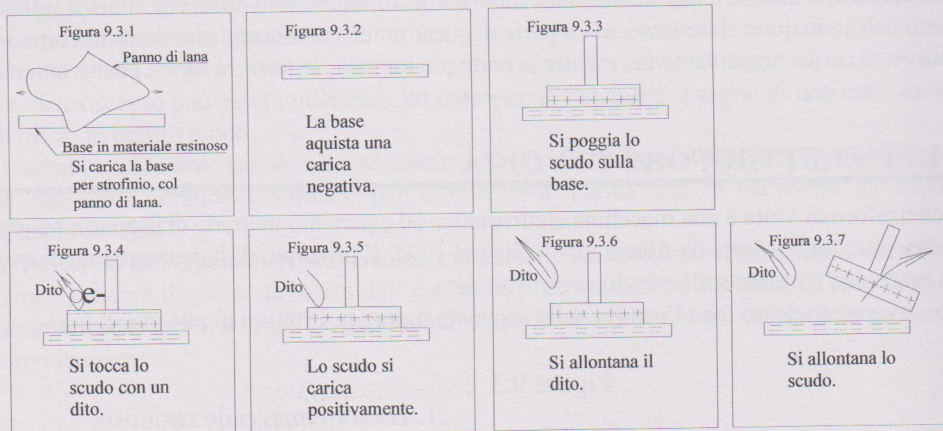
Si carica per strofinio la base con un panno di lana (fig. 9.3.1) ed essa assume così una carica negativa (fig 9.3.2).

Si poggia il disco metallico, detto anche scudo, sulla base (Fig 9.3.3).

2.1 Poiché il contatto fra la superficie dello scudo e quella della base è parziale, si ha un fenomeno d'induzione elettrostatica, così la parte dello scudo a contatto con la base si caricherà positivamente mentre la faccia superiore negativamente. È chiaro che la carica complessiva dello scudo è zero. Il contatto con la base ha prodotto soltanto una separazione di carica.

3. Si tocca con un dito il disco com'è mostrato in figura.

3.1 Tale operazione consente alla carica negativa presente nella parte superiore dello scudo, di trasferirsi alla terra. D'altra parte, quando il dito viene a contatto con lo scudo, lo scudo stesso, il corpo umano e la terra formano un unico conduttore di cui la parte più lontana è la terra. Sempre in virtù del fenomeno d'induzione elettrostatica, lo scudo, cioè la parte più vicina al corpo induttore che in questo caso è la base negativa, si caricherà positivamente. Allontanando in un secondo tempo, in ordine, il dito e lo scudo, quest'ultimo rimarrà carico positivamente.



È importante notare che lo scudo non rimane carico perché la base gli trasferisce delle cariche elettriche ma in virtù dell'avvenuto contatto del dito. La base, caricata negativamente una sola volta, può generare dell'altra carica in altri scudi posti a suo contatto, col metodo già descritto.

Mettendo a contatto, uno dopo l'altro, tanti scudi è possibile caricarli tutti, senza ricaricare mai la base.

Apparentemente sembrerebbe che si possa produrre energia senza una spesa di lavoro. In realtà del lavoro è compiuto nel momento in cui si allontana lo scudo dalla base. Scudo e base hanno, infatti, cariche di segno opposto e si attraggono; per allontanarli l'uno dall'altra, un agente esterno dovrà compiere un lavoro contro la forza di attrazione elettrostatica fra scudo e base. È proprio la spesa di tale lavoro che produce energia.

### 9.1.8 LA POLARIZZAZIONE DEGLI ISOLANTI

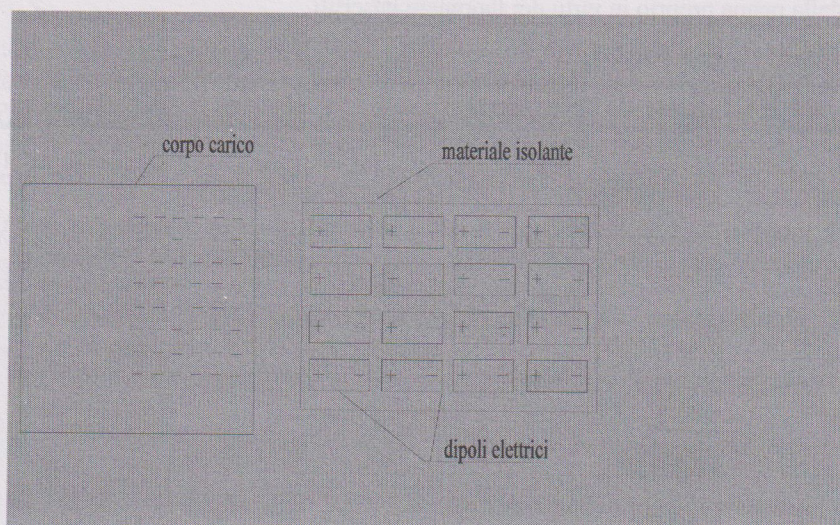
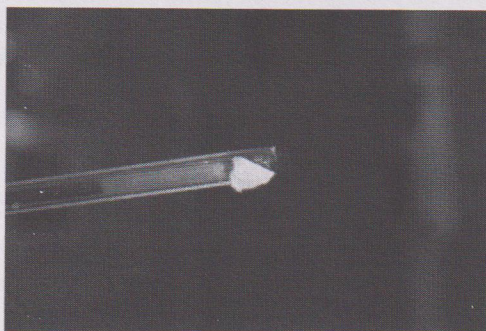


Figura 9.5

Gli isolanti non presentano elettroni liberi disponibili alla conduzione come i metalli. Le cariche presenti negli atomi degli isolanti formano tuttavia dei dipoli elettrici. Un dipolo elettrico si può definire un sistema formato da due cariche di segno opposto molto vicine fra loro. I dipoli elettrici non possono spostarsi ma possono orientarsi in presenza di un corpo elettrizzato. La figura 9.5 mostra un corpo carico in prossimità di un isolante ed i dipoli dell'isolante orientati in virtù della presenza dell'oggetto elettrizzato. Fra il corpo carico ed il dielettrico si generano delle forze di natura elettrica. In particolare vi saranno delle forze attrattive fra le cariche del corpo elettrizzato e le cariche positive dei dipoli e delle forze repulsive fra le cariche del corpo elettrizzato e le cariche negative dei dipoli. Poiché le cariche positive dei dipoli sono più vicine al corpo elettrizzato rispetto a quelle negative, la forza d'attrazione supera quella di repulsione ed in definitiva il corpo elettrizzato attrae il dielettrico.



Tale fenomeno spiega perché alcuni corpi elettrizzati sono in grado di attrarre piccoli pezzetti di carta o di paglia. È possibile fare un semplice esperimento con una comune penna a sfera