

CAPITOLO
18LA CARICA ELETTRICA
E LA LEGGE DI COULOMB

1 L'ELETTRIZZAZIONE PER STROFINIO

Un **pettine di plastica** sfregato contro un golf di lana acquista una proprietà che prima non aveva: quella di attirare a sé degli oggetti molto leggeri, come palline di polistirolo o pezzetti di carta.

Un corpo che ha acquisito la capacità di attirare oggetti leggeri è detto **elettrizzato**.

L'elettrizzazione *per strofinio* avviene in diversi tipi di oggetti (per esempio di gomma, di vetro, di ceramica) ed è anche all'origine della parola «elettricità».

Gli antichi greci non avevano a disposizione gomma o plastica, ma notarono che lo stesso fenomeno che abbiamo appena descritto aveva luogo strofinando pezzi di ambra. La parola «elettricità» deriva infatti dal greco *elektron* che significa, appunto, «ambra». Questo materiale è una resina di conifere, prodotta in epoche molto antiche (anche dieci milioni di anni fa), che si è fossilizzata.

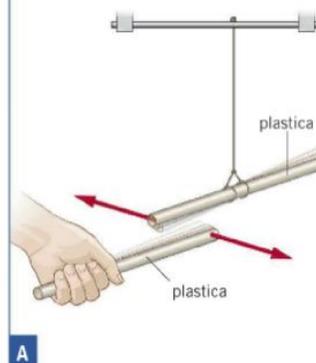
Nella **goccia di ambra** è rimasto intrappolato un insetto.

Un corpo elettrizzato attira un altro oggetto non elettrizzato. Ma cosa succede se avviciniamo due oggetti che sono stati strofinati?

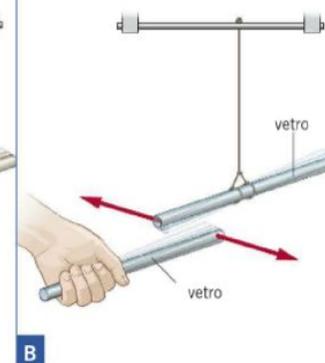


Fot. Kerem/Shotterback

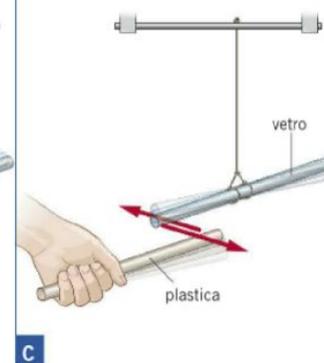
▶ Due bacchette di plastica elettrizzate si respingono reciprocamente.



▶ Anche due bacchette di vetro elettrizzate si respingono l'una con l'altra.



▶ Però una bacchetta di vetro e una di plastica, entrambe elettrizzate, si attirano.



Quindi, due oggetti elettrizzati possono attrarsi o respingersi. Strofinando altri materiali, scopriamo che alcuni si comportano come la plastica, altri come il vetro.

L'ipotesi di Franklin

Possiamo spiegare questo fenomeno facendo l'ipotesi che esistano due tipi di elettricità, o di *cariche elettriche*. Seguendo una convenzione che risale al fisico statunitense Benjamin Franklin (1706-1790), chiamiamo:

- **carica elettrica positiva** quella degli oggetti che si comportano come il vetro;
- **carica elettrica negativa** quella degli oggetti che si comportano come la plastica.

Possiamo allora affermare che:

se due corpi hanno cariche elettriche dello *stesso segno*, si respingono; invece, se hanno cariche elettriche di *segni opposti*, si attraggono.

Il modello microscopico

Nel 1897, il fisico inglese John Joseph Thomson scoprì l'elettrone, una particella di massa molto piccola (10^{-30} kg) che ha carica negativa. In seguito si comprese che tutti gli atomi contengono due tipi di particelle cariche:

- gli **elettroni**, con carica negativa,
- i **protoni**, con carica positiva.

Poiché la carica di un protone controbilancia esattamente la carica di un elettrone,

ogni **atomo**, avendo lo stesso numero di protoni e di elettroni, è **neutro**, cioè ha carica elettrica uguale a zero.

Per esempio, l'atomo di elio nella **figura 1** ha due elettroni e due protoni; quello di uranio 92 elettroni e 92 protoni.

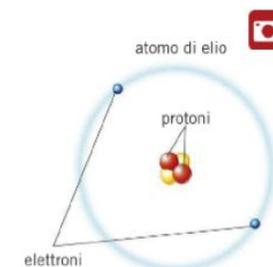
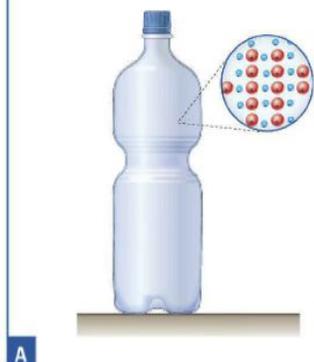


Figura 1 Configurazione schematica di un atomo di elio.

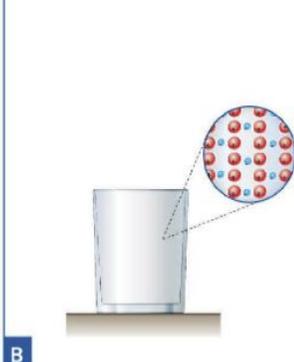
Questo modello microscopico della materia, basato su atomi neutri con protoni positivi ed elettroni negativi, spiega il comportamento elettrico dei corpi, che sono costituiti da moltissimi atomi.

Di solito i corpi sono **neutri**, perché sono costituiti da tanti «grani» (gli atomi) neutri. Quando un corpo è carico, significa che c'è uno squilibrio tra protoni ed elettroni.

► Un corpo è **negativo** quando ha più elettroni che protoni.



► Un corpo è **positivo** quando ha meno elettroni che protoni.



Quindi un corpo carico contiene cariche di tutti e due i tipi; però soltanto gli elettroni sono mobili e possono trasferirsi da un corpo all'altro.

Infatti, come mostra anche la **figura 1**, negli atomi i protoni sono legati tra loro (insieme ai neutroni) e formano un corpuscolo detto nucleo. Per questa ragione i protoni non sono liberi di muoversi e non abbandonano l'atomo a cui appartengono.



ANIMAZIONE

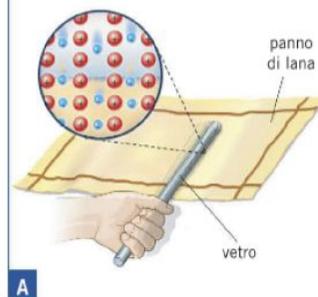
Corpi negativi e corpi positivi
(1 minuto e mezzo)

- Un corpo **negativo** ha un eccesso di elettroni;
- un corpo **positivo** ha una mancanza di elettroni.

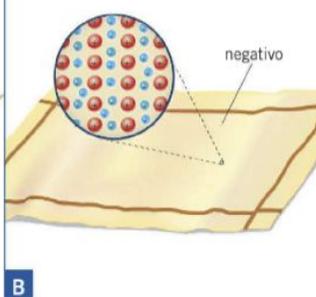


Che cosa succede, a livello microscopico, durante lo strofinio?

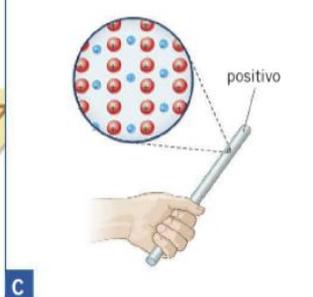
► Strofinando il vetro con la lana, degli elettroni passano dal vetro alla lana.



► Il panno, che ora ha più elettroni di prima, è carico negativamente.



► Il vetro, che invece ha perso degli elettroni, è carico positivamente.



La carica totale è rimasta sempre la stessa. Prima dello strofinio c'era equilibrio e il vetro e la lana erano neutri. Dopo, c'è un eccesso di elettroni nel panno e una mancanza nel vetro, per cui entrambi i corpi sono elettrizzati.

L'elettrizzazione per strofinio ha luogo in diverse occasioni nella vita quotidiana: per esempio, in una giornata secca la carrozzeria di un'automobile in moto si può caricare per attrito con l'aria. Ma anche lo sfregamento di una felpa di *pile* con lo schienale di una poltrona in materiale sintetico può portare all'elettrizzazione della persona seduta. In questi e altri casi l'elettrizzazione può essere rivelata dalla *scintilla* che scocca tra la persona che si è caricata e un altro oggetto.

Nelle zone molto fredde questo fenomeno è particolarmente rilevante perché a bassa temperatura l'umidità dell'aria è praticamente uguale a zero e l'aria secca non disperde le cariche. Per esempio, nella **base di Amundsen-Scott**, che è posta al Polo Sud, sono a disposizione vari tipi di strutture che servono per scaricare l'elettricità statica e che vengono utilizzate continuamente; altrimenti, il contatto con un oggetto metallico o anche solo una stretta di mano potrebbero dar luogo a forti scosse elettriche.



2 I CONDUTTORI E GLI ISOLANTI

Un oggetto di plastica, gomma o vetro si carica per strofinio. Invece, se strofiniamo con un panno un oggetto di metallo, non sempre riusciamo a elettrizzarlo.

Prima prendiamo in mano un cucchiaino di metallo e lo strofiniamo con un panno di lana. Osserviamo che il cucchiaino non attrae i pezzettini di carta (**figura 2**).

Poi impugniamo il cucchiaino con dei guanti di plastica. Dopo averlo di nuovo strofinato, osserviamo che il cucchiaino si elettrizza e attrae i pezzi di carta.

Questo esperimento ci dice che tutti gli oggetti si possono caricare per strofinio, ma alcuni, in particolari circostanze, non sono in grado di trattenere la carica elettrica. Per esempio, gli oggetti di metallo perdono la carica quando sono a contatto con le mani nude.

- Le sostanze come la plastica, che si caricano sempre quando sono strofinate, si chiamano **isolanti** elettrici.
- Le sostanze come i metalli o il nostro corpo, che si comportano in modo diverso, si dicono **conduttori** elettrici.

Questa distinzione non è assoluta: tutte le sostanze possono essere ordinate secondo la capacità di trattenere, o di lasciare fluire, le cariche elettriche. Esistono quindi sostanze più o meno conduttrici oppure più o meno isolanti.

La plastica e il vetro sono ottimi isolanti mentre i metalli, in particolare il rame e l'argento, sono ottimi conduttori.



Figura 2 Per caricare il cucchiaino per strofinio occorre indossare un guanto di materiale isolante.

Il modello microscopico

Gli esperimenti di strofinio possono essere spiegati facendo queste ipotesi:

- negli **isolanti** tutte le cariche occupano delle posizioni fisse e non possono spostarsi;
- nei **conduttori** vi sono cariche elettriche che si muovono liberamente.

Per esempio, nei conduttori metallici vi sono degli *elettroni liberi*, che si spostano con facilità da un atomo all'altro. In un isolante, invece, gli elettroni sono molto legati ai protoni dell'atomo e difficilmente se ne allontanano.

Perché, secondo questo modello microscopico, il cucchiaio di metallo non si elettrizza quando lo impugniamo con le mani nude?

Come mostra la **figura 3**, durante lo strofinio gli elettroni passano dal panno al cucchiaio, poi arrivano a terra attraverso il nostro corpo, che è un conduttore.

Usando i guanti di plastica gli elettroni si fermano nel cucchiaio, perché sono bloccati dalla plastica, che è un materiale isolante.



Figura 3 Il cucchiaio si elettrizza per strofinio, ma le cariche sono continuamente scaricate a terra tramite la mano e il corpo, che sono conduttori.

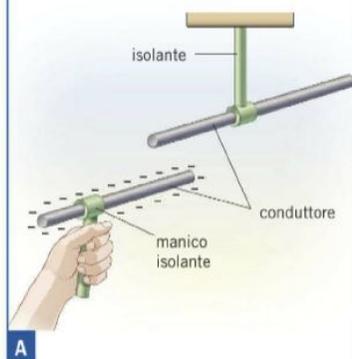


Quindi, quando teniamo in mano il cucchiaio senza guanti, gli elettroni transitano nel cucchiaio e non si accumulano elettrizzando.

Nei **cavi che trasportano l'energia elettrica**, gli elettroni si muovono lungo il filo di metallo e non si scaricano a terra attraverso il traliccio, perché tra i fili e il traliccio ci sono gli *isolatori*, costituiti da materiale isolante.

L'elettrizzazione per contatto

► Abbiamo un primo conduttore, carico, che impugniamo con un manico isolante, e un secondo conduttore neutro.



► Mettendo in contatto i due conduttori, parte della carica del primo passa al secondo. Ora anch'esso è carico.



All'inizio il primo conduttore era negativo, perché aveva un eccesso di elettroni. Una parte di questi elettroni è fluiva nel secondo conduttore, che a sua volta è diventato negativo.

Questo esperimento mette in luce che

! i conduttori possono essere elettrizzati **per contatto**.

L'elettrizzazione per contatto permette di suddividere una carica in *n* parti uguali. Per esempio, immaginiamo di avere una sfera carica e altre due sfere, identiche ma scariche. Ponendo le tre sfere a contatto (**figura 4**), per simmetria la carica si distribuisce allo stesso modo su di esse: se le si stacca, si ottengono tre sfere elettrizzate, ciascuna con una carica che è 1/3 di quella della sfera carica di partenza.

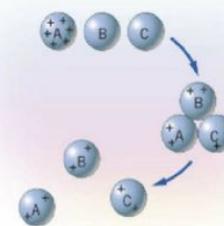
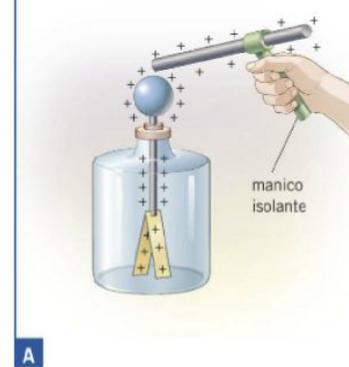


Figura 4 Metodo per dividere una carica in tre parti uguali, usando sfere identiche.

3 LA DEFINIZIONE OPERATIVA DELLA CARICA ELETTRICA

L'**elettroscopio** (**figura 5**) è uno strumento che serve per sapere se un oggetto è carico. È formato da un'asta metallica verticale, con in alto una sferetta conduttrice e in basso due fogliette conduttrici molto sottili. Il tutto è contenuto in un recipiente di vetro che serve da protezione e da sostegno.

► Se si tocca la sferetta con un oggetto elettrizzato, parte della carica passa all'asta e, così, si distribuisce in tutto il dispositivo fino alle foglioline.



► Le foglioline risultano cariche dello stesso segno e si respingono. Così, la loro divaricazione attesta che l'oggetto in esame è elettricamente carico.

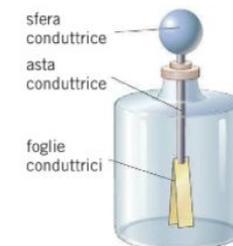
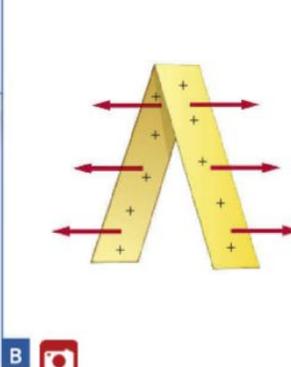


Figura 5 Elettroscopio a foglie.

! Un oggetto è carico se, messo a contatto con l'elettroscopio, fa divaricare le sue foglie.



IN LABORATORIO

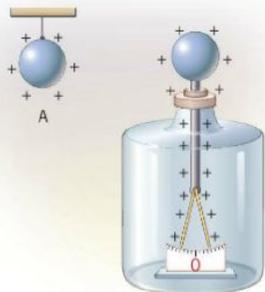
- Funzionamento di un elettroscopio
- Video (2 minuti)
- Test (3 domande)



La misura della carica elettrica

L'elettroscopio permette di confrontare in modo operativo due cariche elettriche, per sapere quale delle due è più grande. Prendiamo due sferette conduttrici uguali, che abbiamo prima caricato per contatto.

► Tocchiamo l'asta dell'elettroscopio con la sferetta A e osserviamo la divaricazione delle foglioline.



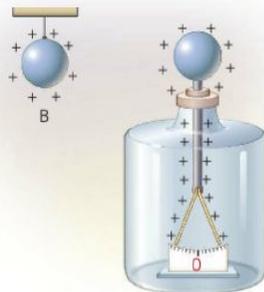
A

► Poi scarichiamo l'elettroscopio (per esempio toccando l'asta con le dita), in modo da riportarlo nella sua condizione iniziale.



B

► Ora poniamo l'elettroscopio a contatto con la sferetta B e osserviamo di nuovo l'angolo formato dalle due foglioline.



C

Se nei due casi gli angoli formati dalle foglioline sono uguali, anche le cariche sulle due sferette erano uguali. Altrimenti la carica maggiore era quella che ha fatto divaricare di più le foglie. In linea di principio,

! per misurare la carica elettrica, si sceglie una carica come unità di misura, poi si tara l'elettroscopio con una scala che misuri le divaricazioni delle foglioline.

Il coulomb

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura della carica elettrica è il **coulomb** (simbolo C), dal nome dello scienziato francese Charles Augustin de Coulomb (1736-1806). Definiamo il coulomb a partire dalla carica dell'elettrone.

! Tutti gli elettroni dell'Universo hanno la stessa carica (negativa) $-e$, il cui valore numerico è $-e = -1,6022 \times 10^{-19}$ C.

Per ottenere una carica negativa di -1 C occorrono quindi

$$\frac{1}{1,6022 \times 10^{-19}} = 6,2414 \times 10^{18}$$

elettroni.

Finora non è mai stata osservata una carica più piccola di quella dell'elettrone e tutte le particelle elementari conosciute hanno una carica che è un multiplo (positivo o negativo) della

! carica elettrica elementare $e = 1,6022 \times 10^{-19}$ C.

Conservazione della carica elettrica

Torniamo a considerare la bacchetta di vetro caricata con un panno di lana: prima e dopo, la carica totale è sempre la stessa. Prima dello strofinio c'era equilibrio e il vetro e la lana erano neutri. Dopo, c'è un eccesso di elettroni nel panno e una mancanza nel vetro, per cui i due corpi sono elettrizzati con cariche di uguale valore e di segno opposto.

Questo fenomeno è un esempio di una proprietà generale, detta **legge di conservazione della carica elettrica**:

! in un sistema chiuso la somma algebrica delle cariche elettriche si mantiene costante, qualunque siano i fenomeni che in esso hanno luogo.

Sistema fisico chiuso
Un sistema fisico si dice **chiuso** se non scambia materia con l'esterno.

4 LA LEGGE DI COULOMB

Consideriamo due corpi puntiformi e indichiamo con Q_1 e con Q_2 le cariche elettriche che si trovano su di essi. La forza elettrica che si esercita tra di esse è descritta dalla **legge di Coulomb**, secondo cui

! il valore della forza elettrica tra due cariche puntiformi è:

- direttamente proporzionale a ciascuna carica,
- inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

Questo è riassunto nella formula

! $F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ (1)

forza di Coulomb (N) ————— prima carica (C)
seconda carica (C)

costante di proporzionalità (N·m²/C²) ————— distanza (m)

Se le cariche sono nel vuoto, la costante di proporzionalità k_0 vale:

$$k_0 = 8,99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Questo valore numerico non può essere ricavato da alcun ragionamento ed è, perciò, una **costante naturale** determinata sperimentalmente. Essa è la sintesi di tantissime misure che danno lo stesso risultato.

Mantenendo fissa la distanza r :

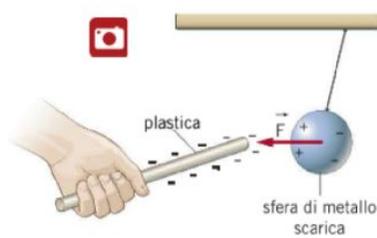
- se si triplica una delle cariche, anche il valore della forza triplica;
- se si dimezza una delle cariche, anche il valore della forza si riduce alla metà.

ESPERIMENTO VIRTUALE

- Gioca
- Misura
- Esercitati



7 L'ELETTRIZZAZIONE PER INDUZIONE



Se avviciniamo una bacchetta elettrizzata a una pallina di metallo scarica, appesa a un filo isolante (figura 11), osserviamo che la bacchetta attrae la pallina.

Come fa un corpo carico ad attrarne uno scarico? La ragione sta nella legge di Coulomb, secondo la quale la forza elettrica diminuisce rapidamente con l'aumentare della distanza.

Figura 11 Per effetto dell'induzione una sfera conduttrice neutra è attratta da una bacchetta elettrizzata.

Nell'esempio della figura:

- la bacchetta di plastica, carica negativamente, respinge gli elettroni che sono liberi di muoversi dentro la sfera conduttrice.
- Di conseguenza, la superficie della sfera vicina alla bacchetta diventa positiva (mancano elettroni), mentre la superficie lontana diventa negativa (ci sono elettroni in più).
- Per la legge di Coulomb, l'attrazione tra cariche vicine è maggiore della repulsione tra cariche lontane: quindi la sfera è attratta verso la bacchetta.

Nel complesso il conduttore è ancora neutro, ma la carica non è più distribuita in modo uniforme.

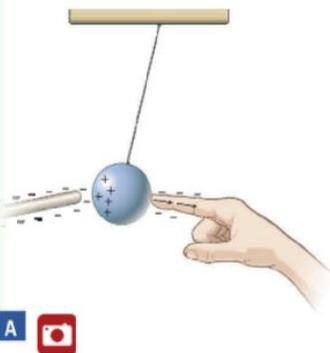
Si chiama **induzione elettrostatica** la redistribuzione di carica causata, in un conduttore neutro, dalla vicinanza di un corpo carico.



L'induzione elettrostatica è reversibile: basta allontanare la bacchetta elettrizzata e sulla sfera le cariche, positive e negative, tornano a mischiarsi.

Mediante l'induzione elettrostatica è possibile caricare un conduttore neutro.

► Se si tocca la sfera con un dito, mantenendo vicino la bacchetta elettrizzata, gli elettroni si allontanano attraverso il nostro corpo, che è un conduttore.



► Dopo aver tolto il dito e avere allontanato la bacchetta elettrizzata, la sfera rimane carica positivamente, perché mancano elettroni.



Gli elettroni, attraverso il nostro corpo, finiscono al suolo, che è un conduttore capace di accumulare carica elettrica in grande quantità.

Mettere a terra un conduttore significa collegarlo al suolo mediante un altro conduttore (per esempio, il nostro corpo o un filo metallico), che consente il passaggio delle cariche. Nella figura 12 è disegnato il simbolo della messa a terra.

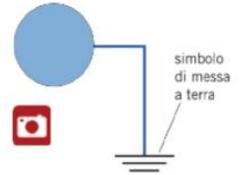


Figura 12 Una sfera metallica collegata a terra.

L'elettroforo di Volta

Il fenomeno dell'induzione elettrostatica viene sfruttato nell'**elettroforo di Volta**, inventato dallo scienziato italiano Alessandro Volta (1745-1827). Esso è costituito da un piatto metallico collegato a un manico isolante e appoggiato su un supporto isolante (per esempio, un disco di plastica). Il suo utilizzo richiede una serie di passaggi:

1. Prima si elettrizza il supporto per strofinio.
2. Poi si appoggia sul supporto carico il piatto metallico, che si carica per induzione (figura 13). Se il supporto ha carica negativa, la faccia inferiore del piatto è positiva mentre quella superiore è negativa.
3. Toccando il piatto con un dito, le cariche negative che si trovano sulla faccia superiore si scaricano a terra e il piatto rimane carico positivamente.



Figura 13 Elettroforo di Volta.

È ora possibile afferrare il piatto carico con il manico isolante e usarlo per fare esperimenti di elettrostatica.



Una volta esaurita la carica presente sul piatto, per averne altra basterà appoggiarlo di nuovo sul supporto isolante (che è ancora elettrizzato e, quindi, non va strofinato tutte le volte) e ripetere il procedimento da capo.

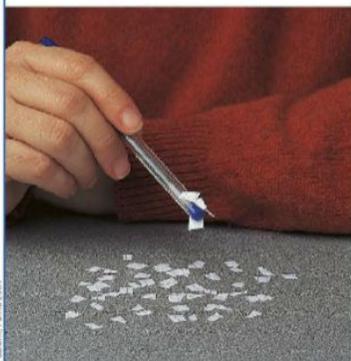
I metodi di elettrizzazione

Metodo	Descrizione	Meccanismo	Materiali
Per strofinio	Si ottiene strofinando tra loro due corpi.	Elettroni passano da un oggetto (che si carica positivamente) a un altro (che si carica negativamente).	Isolanti o conduttori impugnati con un manico isolante.
Per contatto	Si ottiene mettendo a contatto un corpo elettricamente neutro con uno caricato in precedenza.	Una parte delle cariche che si trovano sul corpo elettrizzato si sposta su quello che era neutro.	Avviene in maniera molto efficace tra corpi conduttori. Un corpo isolante può cedere solo le cariche che si trovano su quella parte che è in diretto contatto con il corpo neutro.
Per induzione	Si pone un corpo carico (induttore) in prossimità di un conduttore scarico (indotto) costruito in modo da poterlo suddividere in due parti. Senza allontanare il corpo induttore, si separano le due parti del conduttore indotto.	A causa dell'induzione elettrostatica le cariche del corpo neutro si separano: quelle dello stesso segno della carica inducente si allontanano da essa, quelle di segno opposto le si avvicinano.	Due conduttori posti dapprima vicini e poi allontanati.

La polarizzazione

In un isolante gli elettroni non sono liberi di muoversi. Tuttavia, se avviciniamo un oggetto carico a un isolante, gli elettroni nelle molecole si spostano di poco, in modo da creare una piccola ma diffusa redistribuzione di carica.

► Una penna di plastica, che è stata elettrizzata per strofinio, riesce ad attrarre i pezzettini di carta che sono di materiale isolante.



A

► La penna respinge gli elettroni della carta, in modo che le cariche di segno opposto siano nel complesso più vicine rispetto alle cariche dello stesso segno.



B

Per la legge di Coulomb l'attrazione prevale sulla repulsione e i pezzettini di carta sono attratti dalla penna.



Si chiama **polarizzazione** la redistribuzione di carica in un isolante neutro, causata dalla vicinanza di un corpo carico.

ANIMAZIONE

Polarizzazione e costante dielettrica (1 minuto)

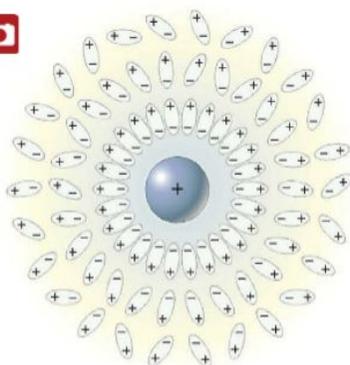


Figura 14 Distribuzione delle molecole di un materiale isolante, in presenza di una carica.

La polarizzazione spiega come mai la forza di Coulomb è minore quando le cariche sono poste in un materiale isolante.

Per esempio, una carica positiva sferica attrae verso di sé gli elettroni delle molecole che la circondano (figura 14).

In questo modo la carica positiva è schermata dallo strato di cariche negative che la avvolge e, come risultato, interagisce più debolmente con le altre cariche presenti nella stessa zona di spazio.

Ciò provoca una diminuzione della forza elettrica e, di conseguenza, il valore della costante dielettrica relativa ϵ , risulta maggiore di 1.

LA CARICA ELETTRICA

I corpi si possono elettrizzare, assumendo una carica elettrica totale di segno positivo o negativo: cariche di segno uguale si respingono, cariche di segno diverso si attraggono.

Elettrizzazione

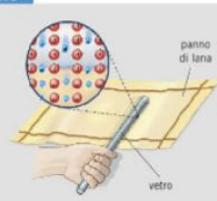
Gli elettroni possono passare da un corpo all'altro. Un corpo elettrizzato negativamente ha un eccesso di elettroni; un corpo elettrizzato positivamente ha una mancanza di elettroni.

Isolanti e conduttori

- Negli *isolanti* (plastica, ceramica) le cariche non possono spostarsi.
- Nei *conduttori* (ferro, corpo umano) vi sono cariche elettriche libere di muoversi.

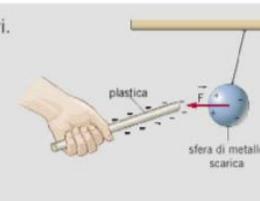
Elettrizzazione per strofinio

Strofinando il vetro con la lana lo si può elettrizzare, cioè gli elettroni passano dal vetro alla lana.



Induzione

- Riguarda i conduttori.
- È la redistribuzione di carica, in un conduttore neutro (sfera metallica), causata dalla vicinanza di un corpo carico (plastica).
- Permette di caricare un conduttore neutro.



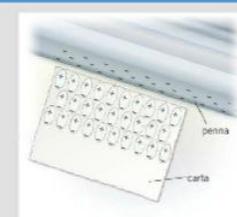
Elettrizzazione per contatto

Parte della carica presente su un conduttore elettrizzato passa a un secondo conduttore che viene a contatto con esso.



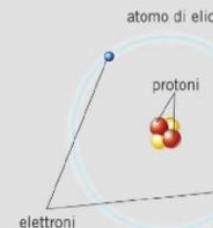
Polarizzazione

- Riguarda i conduttori.
- È la redistribuzione di carica, in un conduttore neutro (sfera metallica), causata dalla vicinanza di un corpo carico (plastica).
- Permette di caricare un conduttore neutro.



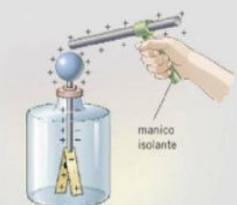
Carica elementare

- È l'opposto della carica dell'elettrone.
- Vale $e = 1,6021 \times 10^{-19}$ C.
- Tutte le particelle elementari conosciute hanno una carica che è un multiplo (positivo o negativo) di e .



Carica elettrica

- Un oggetto è carico se, messo a contatto con un elettroscopio, fa divaricare le sue fogliole.
- Per misurare la carica elettrica si sceglie una carica come unità di misura, poi si tara l'elettroscopio con una scala che misuri le divaricazioni delle foglioline.
- La carica elettrica si misura in Coulomb (C).





DOMANDE SUI CONCETTI

1 Un pezzetto di ambra strofinato e una bacchetta di vetro strofinata si attirano. Puoi concludere che l'ambra respinge un oggetto elettrizzato che il vetro attira?

2 Attacca sul piano del tavolo due strisce di nastro adesivo lunghe circa 10 cm e poi staccale velocemente, l'una dopo l'altra. Ora prova ad avvicinarle.



► Cosa noti? Come spieghi questo fenomeno?

3 In un giorno con poca umidità, strofina avanti e indietro una decina di volte un palloncino gonfio con un golf, poi avvicinalo ai tuoi capelli.

► I capelli sono attratti dal palloncino?

► Il palloncino è un conduttore o un isolante?

4 Spesso, quando d'inverno scendi dall'auto, prendi la scossa chiudendo la portiera. Per evitare questo fenomeno alcuni automobilisti fissano alla carrozzeria catene o strisce metalliche che dall'auto arrivano a terra. Spiega a che cosa servono e come funzionano.

5 Su un giornale leggi la seguente notizia: «Il Professor Rossi e la sua équipe hanno scoperto che alcune cellule irradiate con raggi X si caricano positivamente con una carica $q = +0,8 \times 10^{-19} \text{ C}$ ». La notizia contiene sicuramente almeno un errore di stampa. Quale?

6 Su un giornale leggi la seguente notizia: «Il Professor Bianchi e la sua équipe hanno scoperto che un nucleo di uranio, che contiene 92 protoni, può trasformarsi in un nucleo di plutonio, che contiene 94 protoni, emettendo tre elettroni». La notizia contiene sicuramente almeno un errore. Perché?

7 Le foglioline di un elettroscopio sono divaricate dopo essere state caricate positivamente. L'elettroscopio viene poi in contatto con un corpo carico. A seguito di questo contatto le foglioline risultano più divaricate di prima. Puoi concludere

senz'altro che il secondo corpo aveva anch'esso carica positiva?

8 Due piccole sfere A e B , elettricamente cariche e distanti tra loro, si attraggono. La sfera A attrae anche una terza piccola sfera C , carica anch'essa. Di che tipo è la forza elettrica tra le sfere B e C ?

9 Tre corpi elettricamente carichi possono attrarsi reciprocamente?

10 Per quale motivo nell'esperimento di Coulomb è conveniente posizionare il manubrio in posizione perpendicolare al segmento che congiunge le due cariche?

11 Immagina di definire la costante dielettrica di un materiale isolante relativa, per esempio, al silicio, invece che al vuoto. In questo caso, quale sarebbe il valore della costante dielettrica relativa dell'acqua?

12 Un pezzetto di ambra strofinato e una bacchetta di vetro strofinata si attirano. Puoi concludere che l'ambra respinge i pezzetti di carta che il vetro attira?

13 Hai a disposizione un panno, una bacchetta di vetro, una di plastica e una sfera metallica sospesa a un gancio metallico. Come puoi elettrizzare negativamente la sfera?

PROBLEMI



3 LA DEFINIZIONE OPERATIVA DI UNA CARICA ELETTRICA

1 Un nucleo di plutonio-239 contiene 94 protoni e 145 neutroni. Un protone ha una carica positiva uguale alla carica elementare e .

► Calcola la quantità di carica che contiene.

[$1,506 \times 10^{-17} \text{ C}$]

2 Il nucleo dell'atomo di ossigeno è composto da 8 protoni e 8 neutroni, mentre il nucleo dell'atomo

CAPITOLO
21FENOMENI
DI ELETTROSTATICA1 LA DISTRIBUZIONE DELLA CARICA
NEI CONDUTTORI IN EQUILIBRIO
ELETTROSTATICO

Fase transiente

Quando si carica un conduttore, la carica elettrica viene conferita a zone particolari del corpo e poi si ridistribuisce su tutto il conduttore. In questo capitolo si esamina la configurazione assunta dalle cariche stesse al termine della fase di redistribuzione, quando il sistema elettrico torna all'equilibrio.

Questo capitolo è dedicato allo studio delle proprietà elettriche dei corpi **conduttori** carichi in equilibrio elettrostatico.

Si chiama **equilibrio elettrostatico** la condizione in cui tutte le cariche presenti sui conduttori che costituiscono il sistema in esame sono ferme.



La localizzazione della carica

Gli esperimenti mostrano che:

all'equilibrio, la carica elettrica presente in eccesso nei conduttori si trova tutta sulla loro superficie esterna.

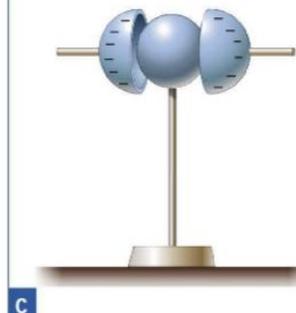
► Per esempio, elettrizziamo una sfera conduttrice (dotata di un sostegno isolante) fornendole una carica Q .



► Poi mettiamola a contatto con due semisfere metalliche scariche (con manici isolanti) che seguono la forma della sfera.



► Dopo averle allontanate, osserviamo che la sfera non è più elettrizzata. La carica si è portata sulle due semisfere esterne.



Quindi, la carica si è spostata dalla zona più interna (la sfera elettrizzata all'inizio dell'esperimento) a quella più esterna.

Un altro esperimento che dà lo stesso risultato è quello del cosiddetto *pozzo di Faraday*, in cui un conduttore carico A (per esempio la sfera sostenuta da un filo isolante rappresentata nella figura 1) viene inserito in un recipiente metallico P fino a toccarne la superficie interna.

Ciò che si vede è che A rimane completamente scarico, mentre la sua carica si porta sulla superficie esterna di P .

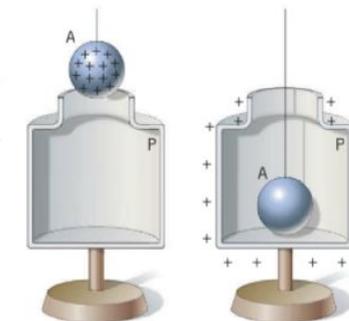


Figura 1 La sfera A si scarica completamente quando viene a contatto con l'interno del recipiente metallico P .

Il valore della densità superficiale di carica

Su una sfera che non subisce forze elettriche esterne, per simmetria la carica si dispone in modo uniforme. In altre parole, se si considera una parte di sfera di area ΔS e si misura la carica ΔQ che si trova su di essa, si vede che la densità superficiale di carica

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

risulta sempre la stessa, in modo indipendente dalla forma, dall'estensione e dalla posizione, sulla sfera, della superficie di area ΔS .

Ma ciò non è più vero se il conduttore carico ha una forma irregolare. Gli esperimenti, infatti, mostrano che

la carica si concentra nelle parti del conduttore in equilibrio elettrostatico che hanno una curvatura più accentuata, mentre il valore della densità di carica σ è minore dove la forma della superficie è meno incurvata e ancora più piccolo nelle zone in cui il conduttore è incavato.

La **figura 2** illustra il concetto, mostrando che la carica prelevata sulla punta (caso a) fa divaricare con un angolo maggiore le foglioline di un elettroscopio, mentre la carica prelevata da zone sempre meno appuntite del conduttore (casi b e c) le fa divaricare di un angolo sempre minore.

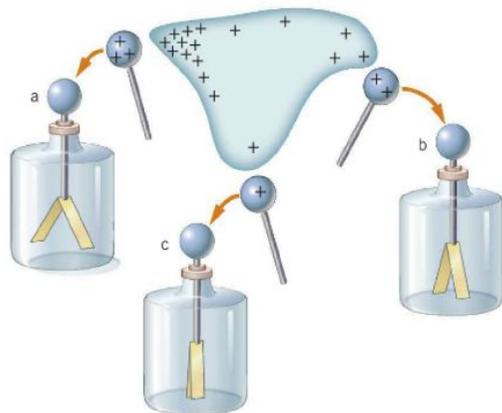


Figura 2 La densità di carica è maggiore sulle parti del conduttore che hanno una curvatura più accentuata.

2 IL CAMPO ELETTRICO E IL POTENZIALE IN UN CONDUTTORE ALL'EQUILIBRIO

Esaminiamo ora le proprietà del campo elettrico e del potenziale elettrico sulla superficie di un conduttore carico in equilibrio elettrostatico e all'interno di esso.

Il campo elettrico all'interno di un conduttore carico in equilibrio

Anche se la carica *netta* presente su un conduttore si porta sulla sua superficie esterna, al suo interno si ha una carica totale *nulla* formata dall'insieme di moltissime cariche dei due segni. Se il corpo è conduttore, alcune di queste cariche sono libere di muoversi: in un conduttore metallico si tratta delle cariche negative trasportate dagli elettroni.

Possiamo affermare che

! all'interno di un conduttore carico in equilibrio elettrostatico il campo elettrico è nullo.

Infatti, se il campo elettrico all'interno del conduttore non fosse nullo:

- le cariche libere al suo interno si muoverebbero per effetto di \vec{E} ;
- se le cariche si muovono, il conduttore non è in equilibrio elettrostatico come si è ipotizzato.

Si riconosce, quindi, che la condizione di equilibrio elettrostatico richiede che, all'interno del conduttore, valga la condizione $\vec{E} = 0$.

Il campo elettrico sulla superficie di un conduttore carico in equilibrio

! Sulla superficie di un conduttore carico in equilibrio elettrostatico il campo elettrico ha direzione perpendicolare alla superficie stessa.

La dimostrazione è simile a quella precedente: supponiamo, per assurdo, che \vec{E} non sia perpendicolare alla superficie (**figura 3**). Allora il suo componente $\vec{E}_{//}$, parallelo alla superficie, darebbe origine a una forza elettrica capace di muovere le cariche elettriche presenti sulla superficie esterna del conduttore.

Ma ciò è in contraddizione con l'ipotesi che il conduttore si trovi in equilibrio. Quindi $\vec{E}_{//}$ deve essere nullo e, di conseguenza, \vec{E} deve essere perpendicolare alla superficie del conduttore.

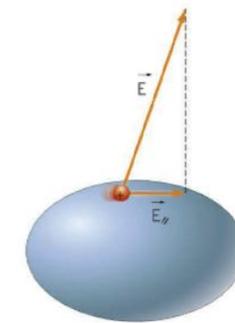


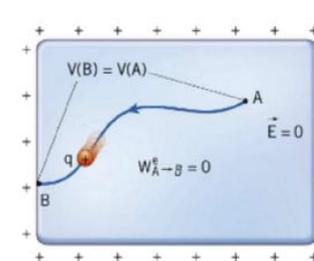
Figura 3 Il vettore $\vec{E}_{//}$, se esistesse, provocherebbe un moto di cariche lungo la superficie del conduttore.

Il potenziale elettrico in un conduttore carico in equilibrio

! Il potenziale elettrico ha lo stesso valore in tutti i punti all'interno e sulla superficie di un conduttore carico in equilibrio elettrostatico.

Per dimostrarlo, scegliamo due punti *A* e *B* del conduttore. Nella **figura 4** uno di essi è sulla superficie del conduttore e l'altro è al suo interno, ma il ragionamento si applica anche se si trovano entrambi sulla superficie o entrambi all'interno.

In tutti questi casi possiamo trasportare una carica di prova *q* da *A* a *B* attraverso un percorso tutto contenuto all'interno del conduttore, dove il campo elettrico è nullo.



ANIMAZIONE

Potenziale elettrico in un conduttore in equilibrio elettrostatico (1 minuto)

Figura 4 Il cammino *AB* è tutto contenuto all'interno del conduttore, dove il campo elettrico è nullo.

Di conseguenza il lavoro $W_{A \rightarrow B}$ fatto dalle forze elettriche su *q* in tale tragitto è uguale a zero:

$$W_{A \rightarrow B} = 0.$$

Per la formula (10) del capitolo «Il potenziale elettrico», la differenza di potenziale tra i punti *A* e *B* è

$$V(B) - V(A) = -\frac{W_{A \rightarrow B}}{q} = 0.$$

Quindi, per ogni coppia di punti *A* e *B* del conduttore, si ha $V(A) = V(B)$: tutti i punti del conduttore si trovano allo stesso potenziale.

In particolare,

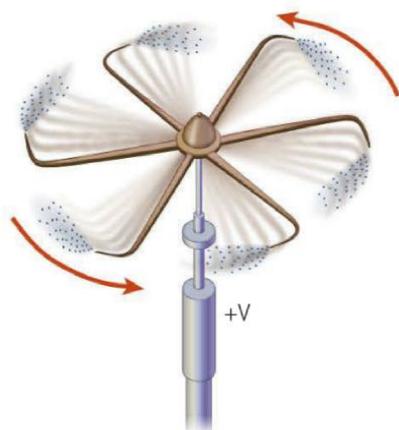
! la superficie esterna di un conduttore carico in equilibrio elettrostatico è sempre una superficie equipotenziale.

in prossimità delle punte di un conduttore carico il campo elettrico è molto intenso.

Così le molecole ionizzate, che sono sempre presenti nell'aria, sono attratte verso la punta o respinte da essa a seconda del loro segno. Questo fenomeno, conosciuto come **potere delle punte** ha conseguenze sperimentali.

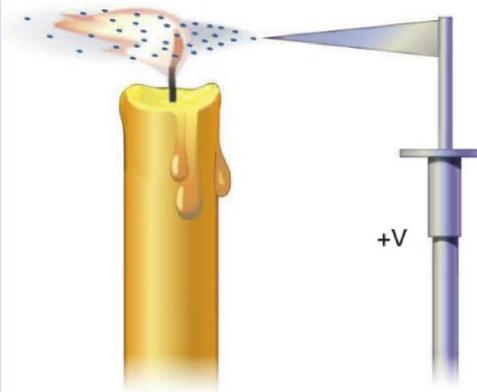


► Le molecole dello stesso segno sono respinte e, per la terza legge, l'arganetto ruota all'indietro.



A

► Le molecole respinte da una punta carica fissa creano una corrente d'aria che piega la fiamma.



B

IN LABORATORIO



Potere delle punte in un conduttore carico

- Video (2 minuti)
- Test (3 domande)



Il potere delle punte è utilizzato anche per la realizzazione di filtri elettrostatici che servono, per esempio, a ridurre le emissioni inquinanti di un camino industriale. Lungo il cammino dei fumi si trovano delle punte cariche che creano un movimento di molecole ionizzate. Queste vanno a caricare le particelle presenti nei fumi, che poi possono essere attratte ed eliminate da elettrodi carichi elettricamente posti nel camino lungo il percorso di uscita dell'aria inquinata.

Le convenzioni per lo zero del potenziale

Per conoscere il potenziale elettrico in tutti i punti dello spazio, come ci si propone di fare quando si affronta il problema generale dell'elettrostatica, bisogna prima decidere dove si pone lo zero del potenziale. Le scelte più comuni sono tre.

1. **All'infinito:** nella formula (11) del capitolo «Il potenziale elettrico» si è posto uguale a zero il potenziale elettrico nei punti che si trovano a distanza infinita dalla carica puntiforme Q che genera il campo. In generale,

la scelta di porre uguale a zero il potenziale dei punti infinitamente lontani è vantaggiosa quando il campo elettrico è generato da un numero finito di cariche puntiformi.

2. **Al potenziale di terra:** nelle applicazioni industriali e in altri contesti produttivi si usa porre uguale a zero il potenziale elettrico a cui si trova la Terra. Così, quando si dice che «un conduttore si trova a un potenziale di 20 000 V» si intende che 20 000 V è la differenza tra il potenziale del conduttore in esame e quello della Terra.

La connessione a terra

Nei casi più semplici si può realizzare una connessione a terra collegando l'impianto a un palo metallico conficcato nel terreno o a un tubo metallico sotterraneo. Quando serve un'efficienza maggiore si interra, possibilmente in una zona in cui il terreno si mantiene umido, un conduttore piano di dimensioni adeguate.