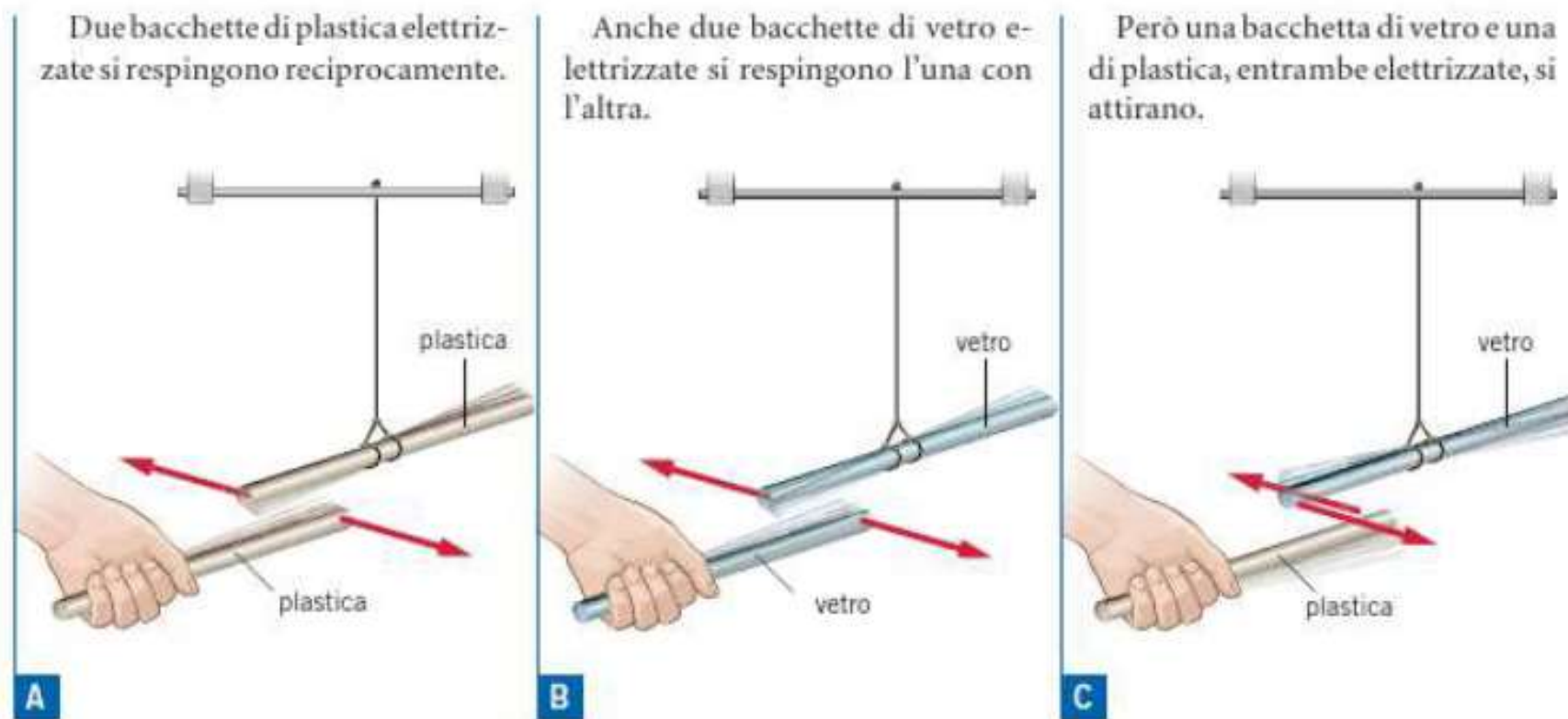


L'elettricità



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

Due oggetti elettrizzati possono attrarsi o respingersi.



L'ipotesi di Franklin

Possiamo spiegare questo fenomeno, ipotizzando che esistano **due tipi di carica elettrica**:

- **carica elettrica positiva**
- **carica elettrica negativa**

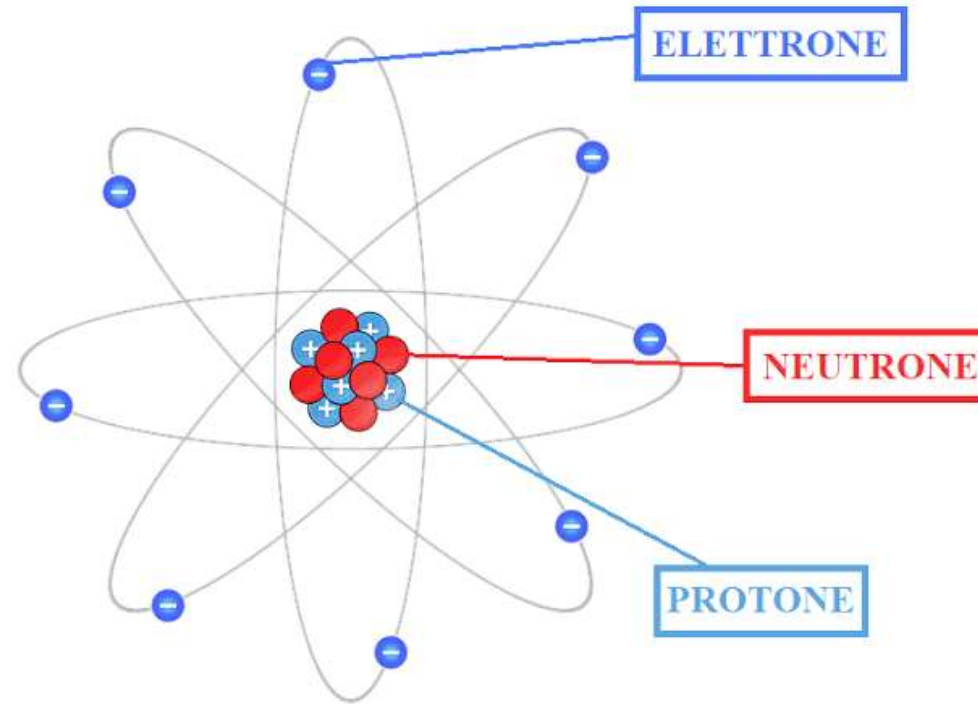
L'INTERAZIONE TRA CARICHE ELETTRICHE

Due cariche elettriche dello stesso segno, siano esse positive o negative, si respingono, mentre due cariche elettriche di segno opposto si attraggono.

Il modello microscopico

Anche i corpi *elettricamente neutri*, contengono **particelle cariche**:

- particelle con **carica negativa** -> **elettroni**
- particelle con **carica positiva** -> **protoni**

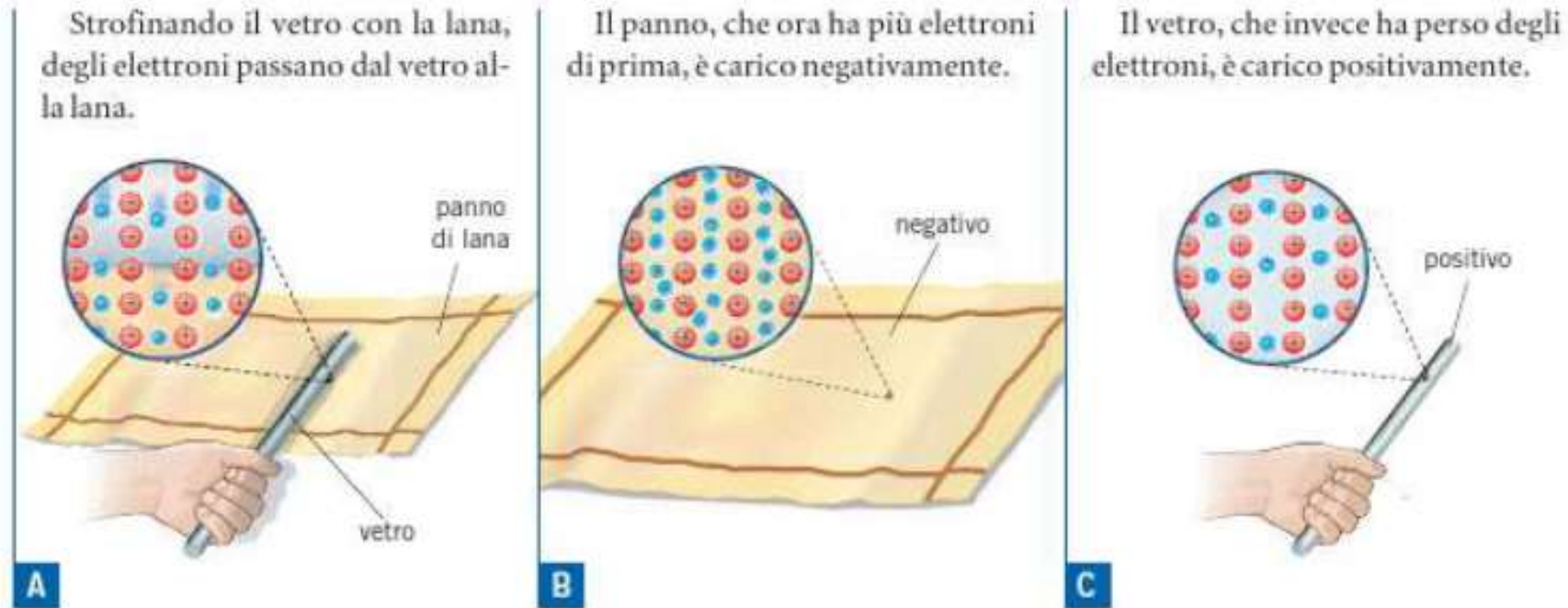


Ogni **atomo**, avendo lo stesso numero di protoni e di elettroni, è **neutro**, cioè ha carica elettrica uguale a zero.

Il modello microscopico della materia, basato su atomi neutri, spiega il comportamento elettrico dei corpi, che sono costituiti da tantissimi atomi.

Quando un **corpo** è **carico**, significa che c'è uno squilibrio tra elettroni e tra protoni.

Che succede, a livello microscopico, durante lo strofinio?



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.

Conduttori e isolanti

Tutti gli oggetti si possono caricare per strofinio, ma alcuni non sono in grado di trattenere la carica elettrica.

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.

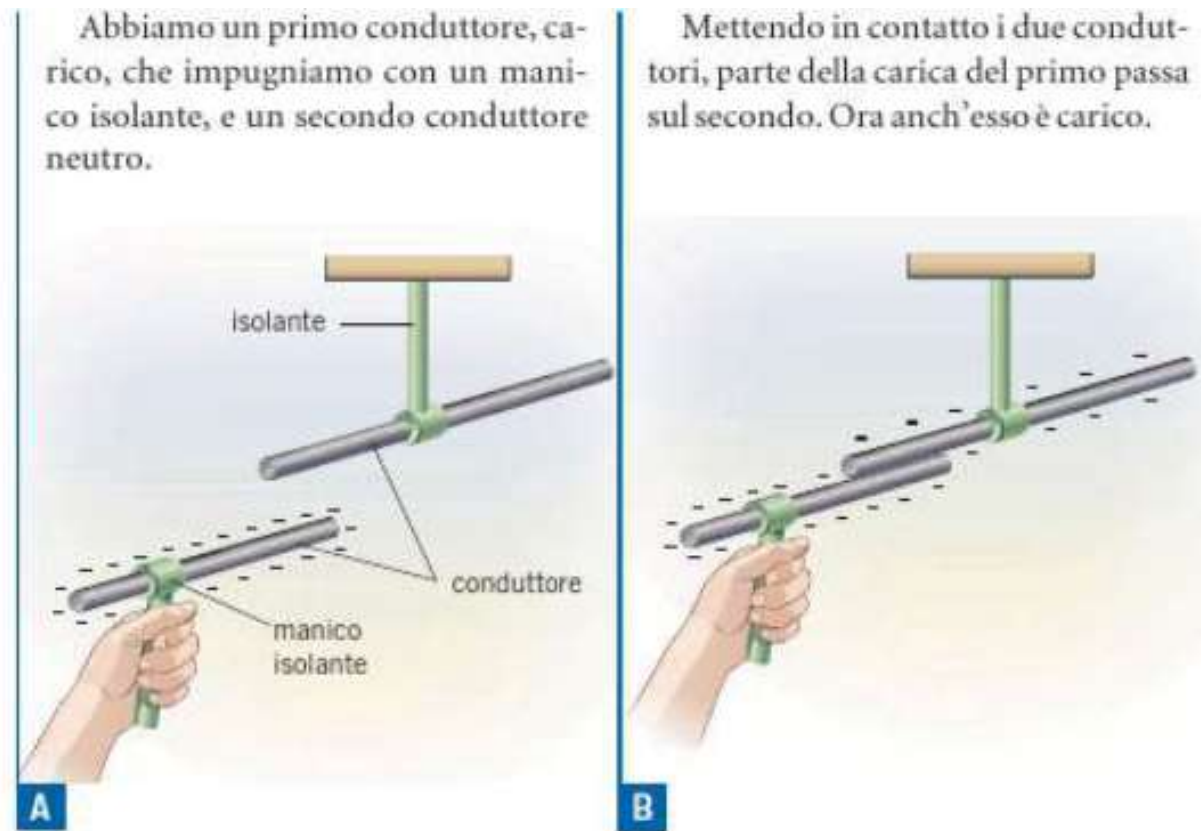


- Le sostanze come la plastica e il vetro, che si caricano sempre quando sono strofinate, si chiamano **isolanti** elettrici.
- Le sostanze come i metalli o il nostro corpo, che si comportano in modo diverso, si dicono **conduttori** elettrici.

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** ci sono cariche elettriche che si muovono liberamente.

Elettrizzazione per contatto

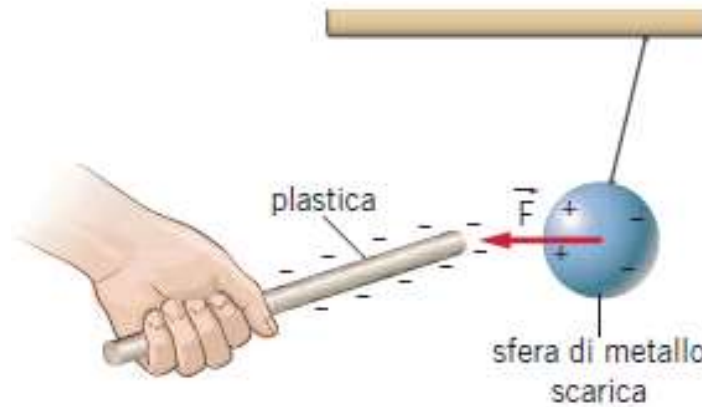


All'inizio, il primo conduttore era negativo perché aveva un eccesso di elettroni. Una parte di questi elettroni è fluita nel secondo conduttore, che a sua volta è diventato negativo.

Questo esperimento mette in luce che **i conduttori possono essere elettrizzati per contatto.**

Elettrizzazione per induzione

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



- 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 attraverso la bacchetta.

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

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

I metodi di elettrizzazione

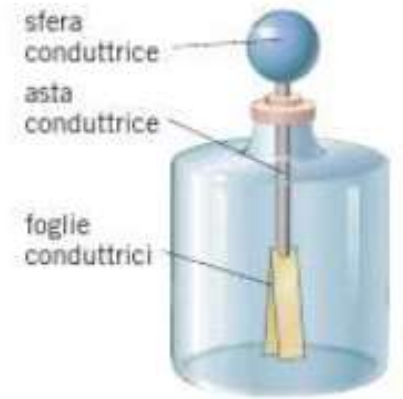
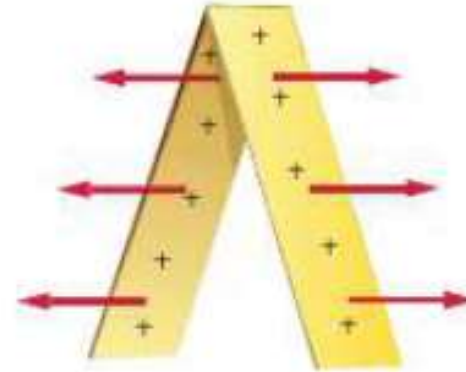
I metodi di elettrizzazione			
Metodo	Descrizione	Meccanismo	Materiali
Per strofinio	Si ottiene strofinando tra loro due corpi.	Elettroni passano da un oggetto (che si carica positivamente) a un altro (che si carica negativamente).	Isolanti o conduttori impugnati con un manico isolante.
Per contatto	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.

Come si misura la carica elettrica?

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.

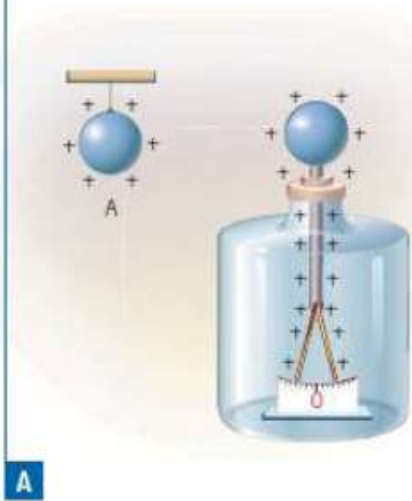


Comprendo che un **oggetto** è **carico**, se messo a contatto con l'elettroscopio, fa divaricare le sue foglie.

Come si misura la 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.

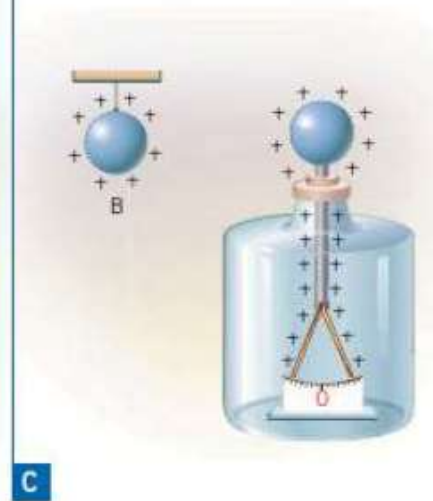
Tocchiamo l'asta dell'elettroscopio con la sferetta *A* e osserviamo la divaricazione delle foglioline.



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



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



Nel SI, l'unità di misura della carica elettrica è il **Coulomb (C)**.

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.

La legge di Coulomb

Consideriamo due corpi puntiformi e indichiamo con Q_1 e 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

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

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

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

È abituale scrivere la costante k_0 della legge di Coulomb come $k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ (2)

con $\epsilon_0 \rightarrow$ **costante dielettrica del vuoto** e il cui valore numerico è $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N m^2}$

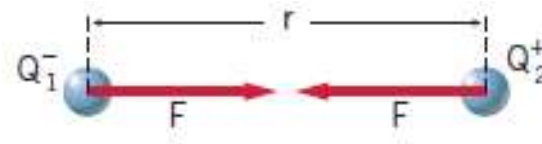
Utilizzando la (2), possiamo riscrivere la Legge di Coulomb per cariche poste nel vuoto come:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (3)$$

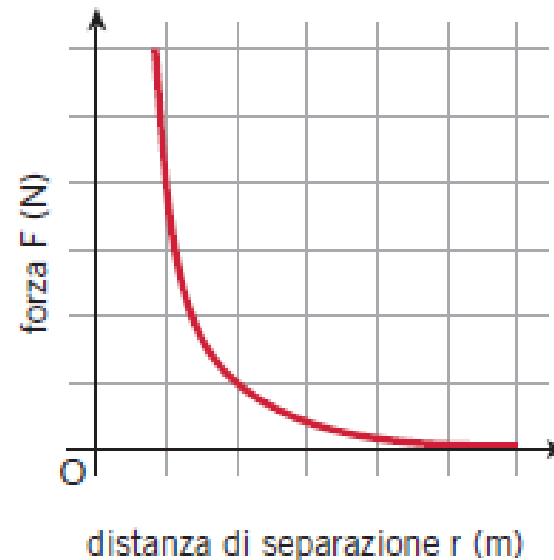
Direzione e verso della forza

La direzione della forza elettrica è quella della retta che congiunge le due cariche puntiformi.

- Se le due cariche Q_1 e Q_2 hanno lo stesso segno, la forza è positiva e queste si respingono;
- Se le due cariche Q_1 e Q_2 hanno segni diversi, la forza è negativa e le due cariche si attraggono.



Nel grafico in figura, è illustrato l'andamento della forza di Coulomb in funzione della distanza r tra le cariche :

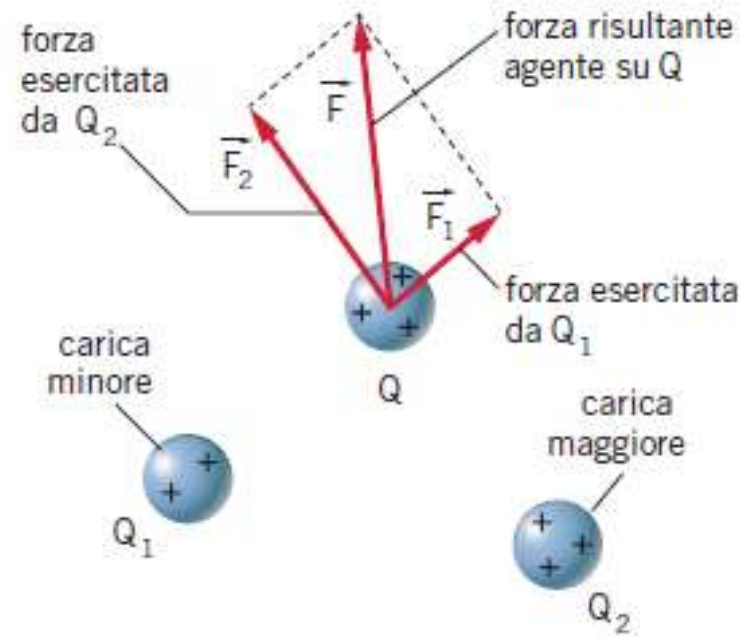


Il principio di sovrapposizione

Una carica puntiforme può risentire contemporaneamente delle forze elettriche generate da numerose cariche presenti nelle vicinanze. In questo caso:

la forza totale che agisce su una carica elettrica è uguale alla somma vettoriale delle singole forze che agirebbero su di essa se ciascuna delle altre cariche fosse presente da sola.

Questo risultato sperimentale è detto **principio di sovrapposizione** ed è illustrato in figura:



La forza elettrica e la forza gravitazionale

La forza elettrica tra due cariche ha la stessa forma matematica della forza gravitazionale di Newton tra due masse:

$$F_N = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4)$$

dove G è la **costante di gravitazione universale** ed è pari a $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

Confronto tra forza elettrica e forza gravitazionale		
	Forza elettrica	Forza gravitazionale
Tipo di forza	a distanza	a distanza
Dipendenza dalla distanza	inverso del quadrato	inverso del quadrato
Direttamente proporzionale a:	prodotto delle cariche	prodotto delle masse
Valori delle grandezze caratteristiche	cariche positive e negative	masse solo positive
Verso della forza	attrattivo e repulsivo	solo attrattivo

La forza di Coulomb nella materia

La forza di Coulomb che si esercita in un mezzo materiale tra due cariche puntiformi Q_1 e Q_2 , poste a distanza r è:

$$F_m = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1Q_2}{r^2} \quad (5)$$

Si usa definire una nuova costante, indicata con ϵ , attraverso la relazione: $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ (6)

ϵ è detta **costante dielettrica assoluta** del mezzo considerato. Si può riscrivere quindi la legge di Coulomb nella forma generale:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1Q_2}{r^2} \quad (7)$$

Costanti dielettriche relative ($T = 298$ K)	
ambra	2,8
carta	2,1
legno	3-7
PVC	4,5
silicio	12
vetro	5-10
zucchero	3,3
alcol etilico (etanolo)	24-26
ghiaccio (268 K)	75
acqua	80
vapore acqueo* (393 K)	1,00060
aria (273 K)*	1,00056

*a pressione normale ($1,01 \times 10^5$ Pa).

Il vettore campo elettrico

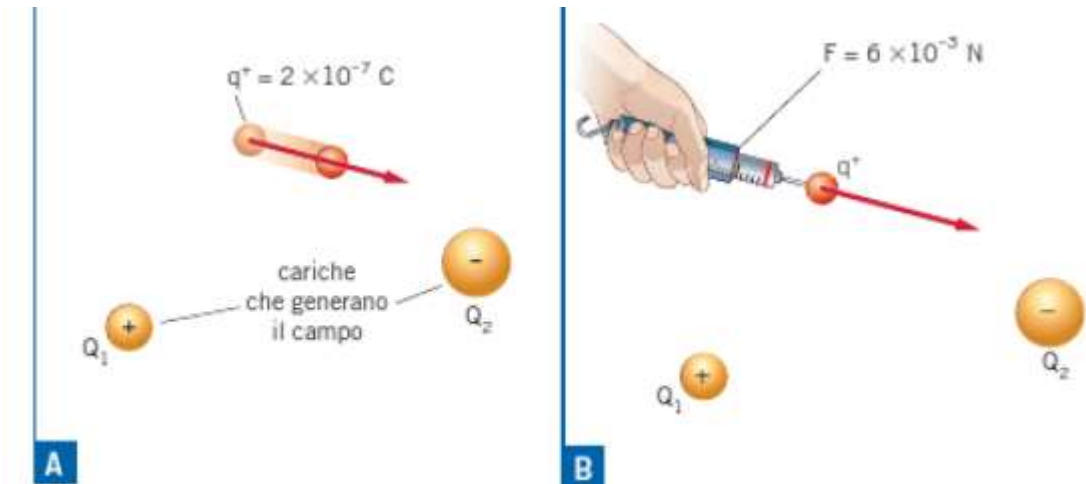
Il concetto di campo elettrico è costruito a partire da due idee:

- la presenza di una carica elettrica Q_1 modifica le caratteristiche dello spazio che la circonda; in particolare cambia le proprietà in un punto B in cui si trova una seconda carica Q_2 ;
- la carica Q_2 avverte una forza elettrica, che è dovuta alle nuove proprietà della zona di spazio in cui essa si trova.

Si dice che la carica Q_1 *genera* un campo elettrico e che la zona di spazio in cui si possono avvertire forze elettriche è *sede* di un campo elettrico. La forza elettrica che agisce sulla carica Q_2 permette di constatare che nel punto B esiste un campo elettrico.

Per determinare il campo elettrico in un punto dello spazio, si mette una carica di prova positiva, q^+ , in quel punto, poi:

- si osserva la direzione e il verso della forza;
- si misura con un dinamometro il valore della forza.



Il vettore campo elettrico

Per ottenere il valore del campo elettrico, si divide il modulo della forza F per la carica di prova, q^+ :

$$E = \frac{F}{q^+}$$

Il campo elettrico si misura in N/C .

La direzione e il verso del vettore campo elettrico sono gli stessi della forza che agisce sulla carica di prova positiva, q^+ .

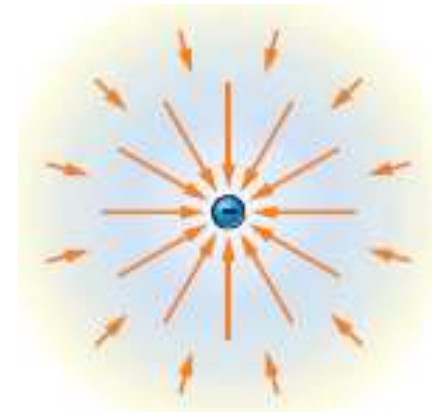
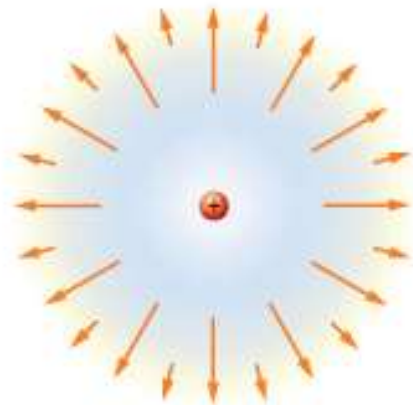
La forza F , che agisce sulla carica di prova dipende:

- dalle cariche che generano il campo;
- dal punto in cui è posizionata la carica q^+ ;
- dal valore della carica di prova q^+ .

Le linee del campo elettrico

Per rappresentare il vettore campo elettrico, si usano le **linee di campo**. Esse hanno le seguenti proprietà:

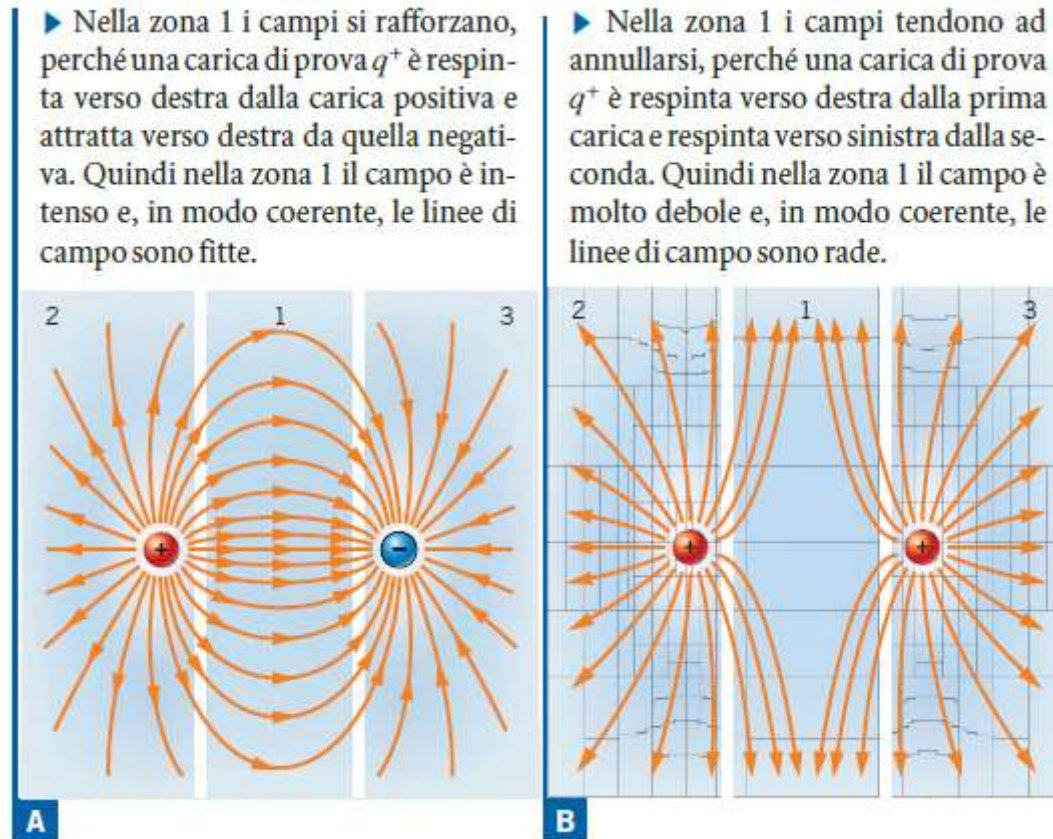
- sono orientate nel verso del vettore campo elettrico;
 - escono dalle cariche positive ed entrano in quelle negative;
 - la loro densità è direttamente proporzionale all'intensità del campo elettrico.
-
- Se la carica che crea il campo è *positiva*, le linee di forza del campo elettrico sono dirette verso l'esterno.
 - Se la carica che crea il campo è *negativa*, le linee di forza del campo elettrico sono dirette verso l'interno.



In entrambi i casi, le linee sono semirette che hanno origine nella carica al centro. Esse sono dense vicino alla carica e si diradano man mano che si allontanano. Questo significa che il campo è più intenso vicino alla carica ed è più debole lontano, in accordo con il fatto che il campo elettrico di una carica puntiforme diminuisce con l'inverso del quadrato della distanza.

Il campo di due cariche puntiformi

Esaminiamo i campi di due cariche uguali, nel primo caso di segni opposti e nel secondo caso tutte e due positive. Osserviamo le linee del campo nella zona 1 compresa tra le due cariche.



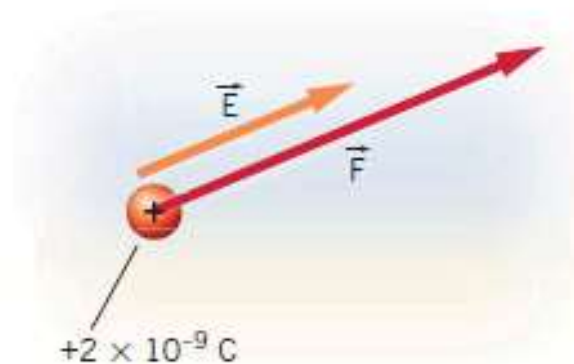
Nelle zone esterne 2 e 3, il campo assomiglia a quello della carica puntiforme più vicina. Per esempio, nella zona 2, il campo è simile a quello di una sola carica positiva, perché l'altra carica, che è lontana, fa sentire poco la sua influenza.

La forza elettrica

Noto il campo elettrico, si può calcolare la forza che agisce su qualsiasi carica.

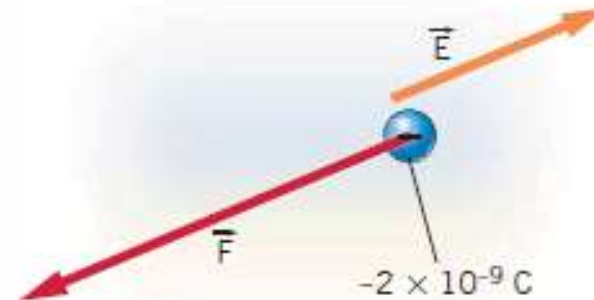
$$F = qE$$

► Se la carica q è positiva, il campo elettrico e la forza hanno la stessa direzione e lo stesso verso.



A

► Se la carica q è negativa, il campo elettrico e la forza hanno la stessa direzione e versi opposti.



B

Il campo elettrico di una carica puntiforme

L' intensità del campo elettrico E di una carica puntiforme Q in un punto, nel vuoto, a distanza r da essa è:

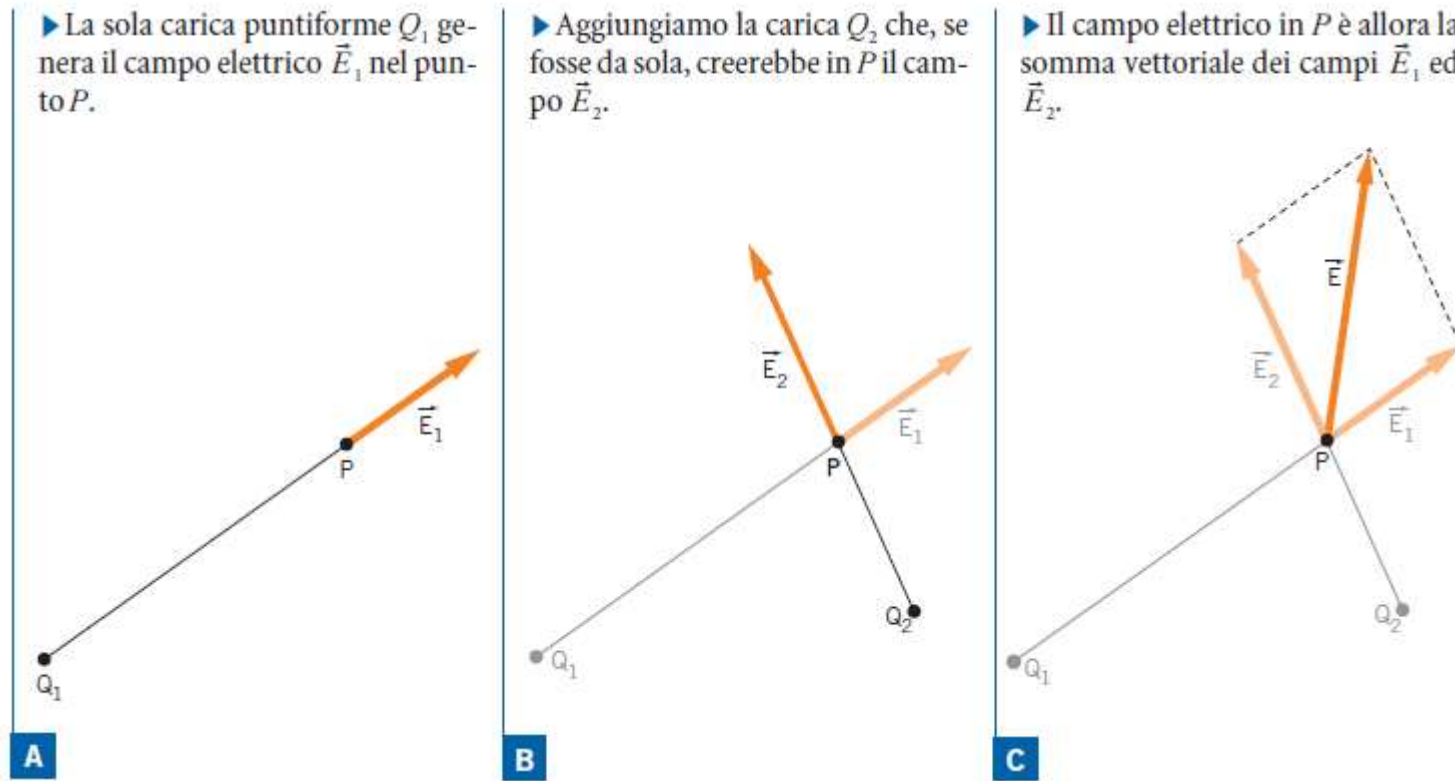
$$E = k_0 \frac{Q}{r^2}$$

Quando le cariche sono immerse in un *mezzo materiale isolante*, la forza di Coulomb è ridotta di un fattore ε_r . Di conseguenza, il valore del campo elettrico E_m , sarà:

$$E_m = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q}{r^2}$$

Campo elettrico di più cariche puntiformi

Nello spazio possono essere presenti diverse cariche puntiformi. Per esempio, immaginiamo che ci siano due cariche positive, Q_1 e Q_2 .



I diversi campi elettrici in uno stesso punto si sommano con la regola del parallelogramma.

L'energia potenziale elettrica

Anche per la forza elettrica, si può definire un'energia potenziale.

In particolare, per un sistema di due cariche puntiformi Q_1 e Q_2 , poste a distanza r , l'energia potenziale è:

$$U(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r}$$

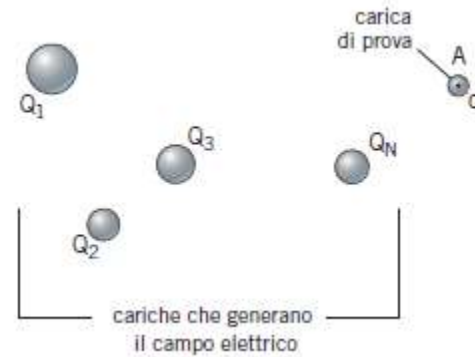
L'andamento dell'energia potenziale $U(r)$ in funzione della distanza r tra le due cariche dello stesso segno, è mostrato in figura:



Come si nota, U si annulla quando r diventa infinitamente grande.

Il potenziale elettrico

Si consideri un sistema fisico costituito da N cariche elettriche $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$ e si studi il loro effetto complessivo in un punto A dello spazio. Per farlo, si considera nel punto A, una carica di prova q .



L'energia potenziale complessiva U_A , relativa alla carica q nel punto A in presenza delle N cariche che generano il campo, è data dalla somma $U_A = U_1 + U_2 + \dots + U_N = \sum_{i=1}^n U_i$

Sulla base di questa grandezza, si definisce il potenziale elettrico V_A del punto A attraverso la relazione:

$$V_A = \frac{U_A}{q}$$

Inoltre, mettendo la carica di prova q in un altro punto B dello spazio, il potenziale V_B nel punto B è

$$V_B = \frac{U_B}{q}$$

e la **differenza di potenziale elettrico** tra i due punti B e A è $\Delta V = V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q} = -\frac{W_{AB}}{q}$

dove W_{AB} è il lavoro fatto dalla forza elettrica sulla carica di prova q durante il suo spostamento dal punto A al punto B.

Il potenziale di una carica puntiforme

Si metta in un punto P una carica di prova q.

Il potenziale elettrico generato da una carica puntiforme Q in un punto P a distanza r da essa, è :

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r}$$

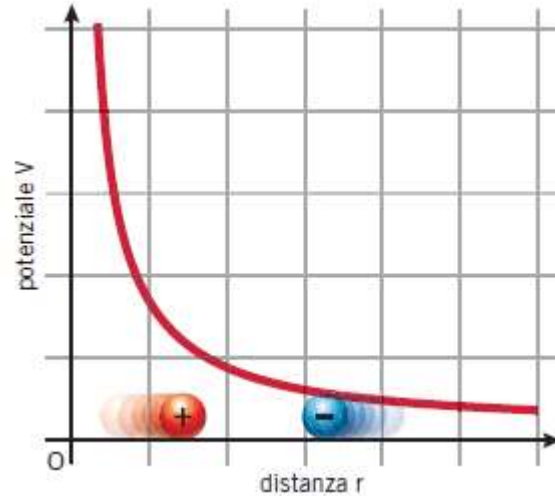
Il potenziale elettrico è positivo o negativo a seconda del segno della carica ed è nullo nei punti che sono infinitamente distanti da Q. La sua unità di misura è il Volt.

Se il campo elettrico è generato da più cariche, il potenziale elettrico in un punto P dove non vi siano cariche è la somma algebrica dei potenziali che si misurerebbero in P se ciascuna delle cariche che generano il campo fosse presente da sola.

Il moto delle cariche elettriche

Se la forza elettrica compie un lavoro positivo mentre la carica positiva q si sposta da A verso B, la differenza di potenziale $\Delta V = V_B - V_A$ è negativa, cioè si ha $V_A > V_B$. Il moto naturale delle cariche positive è quindi da punti a potenziale maggiore verso punti a potenziale minore.

Per le cariche negative, vale la proprietà opposta: il lavoro è positivo quando la differenza di potenziale è positiva.



Una particella carica immersa in un campo elettrico E è soggetta alla forza elettrica $F = qE$, che le imprime un'accelerazione pari a $a = \frac{qE}{m}$

- Se $q > 0$, l'accelerazione ha lo stesso verso del campo;
- Se $q < 0$, l'accelerazione ha verso opposto a E .

Il moto delle cariche elettriche

Il tipo di moto dipende sia dalla struttura del campo (se è uniforme o non uniforme) sia dall'angolo tra la velocità iniziale v_0 e le linee di forza del campo E .

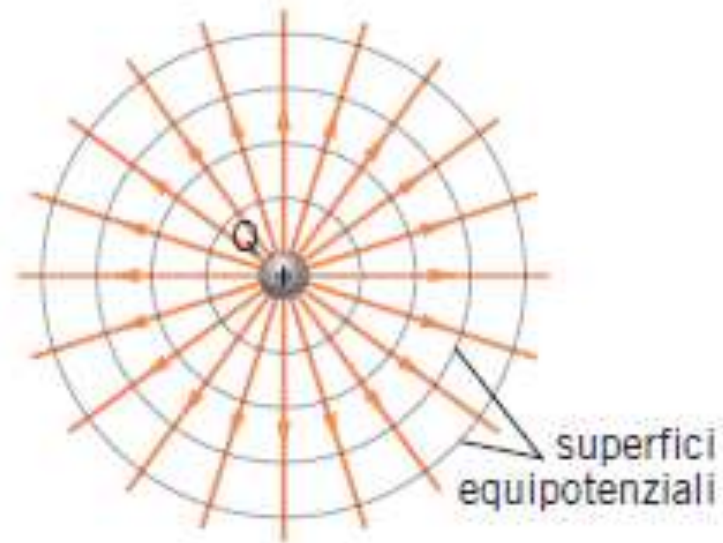
Campo	Condizione iniziale	Tipo di traiettoria
Uniforme	$v_0 = 0$ oppure $v_0 \parallel E$	Rettilinea
Uniforme	$v_0 \perp E$	Parabolica
Radiale	$v_0 \perp E$ e $F_e = F_c$	Circolare uniforme

Le superfici equipotenziali

Il potenziale elettrico è rappresentato dalle **superfici equipotenziali**, dove per superficie equipotenziale si intende il luogo dei punti dello spazio in cui il potenziale elettrico assume lo stesso valore.

Le superfici equipotenziali del campo elettrico generato da una carica puntiforme Q sono formate dai punti che hanno la stessa distanza r dalla carica, cioè da superfici sferiche con centro in Q .

In figura sono illustrate in sezione queste superfici equipotenziali sferiche:



Come si nota, in ogni punto, la superficie equipotenziale è perpendicolare alla linea di campo che passa per quel punto.

Equilibrio elettrostatico

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

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 .



A

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



B

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



C

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

Si ringrazia per l'attenzione!

Dott.ssa Annarosa Caputo

Nota: Tutte le immagini presenti in questa presentazione sono state tratte dal testo: «L'Amaldi per i licei scientifici.blu», Zanichelli.