

# Elettrostatica

Elettrostatica studia l'interazione fra corpi stazionari dotati di carica.

**Fenomeno di elettrizzazione:**

**per strofinamento:** operazione che produce cariche opposte su coppia oggetti  
(es: vetro con seta, ambra con pelliccia).

**per contatto:** passaggio elettricità fra corpi a contatto elettrizzati e non elettrizzati.

Due tipi di elettrizzazione: **positiva e negativa.**

(esempio: ambra strofinata ha carica negativa, vetro ha carica positiva).

Due palline metallo a contatto entrambe con ambra o entrambe con vetro elettrizzati → si respingono

Due palline metallo a contatto una con ambra e una con vetro elettrizzati → si attraggono

**La forza è a lungo raggio, nella direzione della retta passante fra le due palline e può assumere segno opposto**

**Parentesi: l'effetto da strofinamento è detto *triboelettrico*.**

Due materiali diversi trasferiscono cariche elettriche dall'uno all'altro, portando a una differenza di potenziale. Questo avviene quando gli atomi dei due materiali si trovano così vicini che possono strappare e cedere e- all'altro materiale.

Gli e<sup>-</sup> (o l'assenza di e<sup>-</sup>) rimarranno localizzati dove è avvenuto lo scambio se il materiale non è conduttivo, accentuando la differenza

di potenziale, mentre si redistribuiranno in caso si tratti di materiale conduttivo.

Attenzione: le tensioni statiche ottenute in questo modo possono essere facilmente di migliaia di Volts. Non vengono quasi avvertite da una persona ma possono danneggiare un microprocessore se non propriamente protetto. Si parla di protezione da ESD (electrostatic discharge) che si deve adottare per determinati strumenti sensibili.

## Conduttori ed isolanti

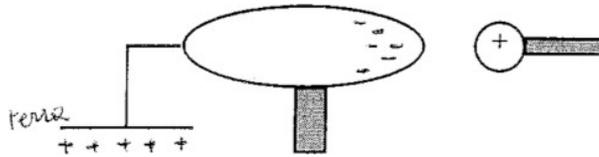
Nei conduttori si ha presenza di elettroni liberi di muoversi

Corpo carico positivamente avvicinato a conduttore isolato (non elettrizzato) → il conduttore viene elettrizzato nella parte vicina al corpo carico (con carica opposta a quella del corpo)

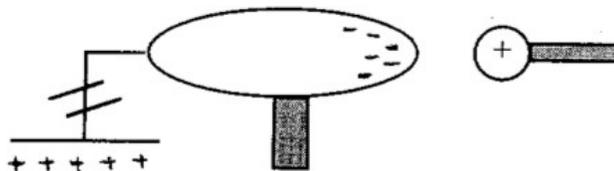


La carica totale nel conduttore e' zero, ma elettroni si sono spostati per induzione nella parte vicino corpo carico lasciando deficienza di elettroni nell'altra parte

## Elettrizzazione per induzione



Conduttore collegato a terra → elettroni fluiscono da terra per neutralizzare parte positiva lontana da corpo carico (terra perde elettroni, ma la terra e' un serbatoio talmente grande di elettroni da potersi considerare infinito rispetto alle nostre applicazioni).  
Rimane la carica vicina al corpo carico.

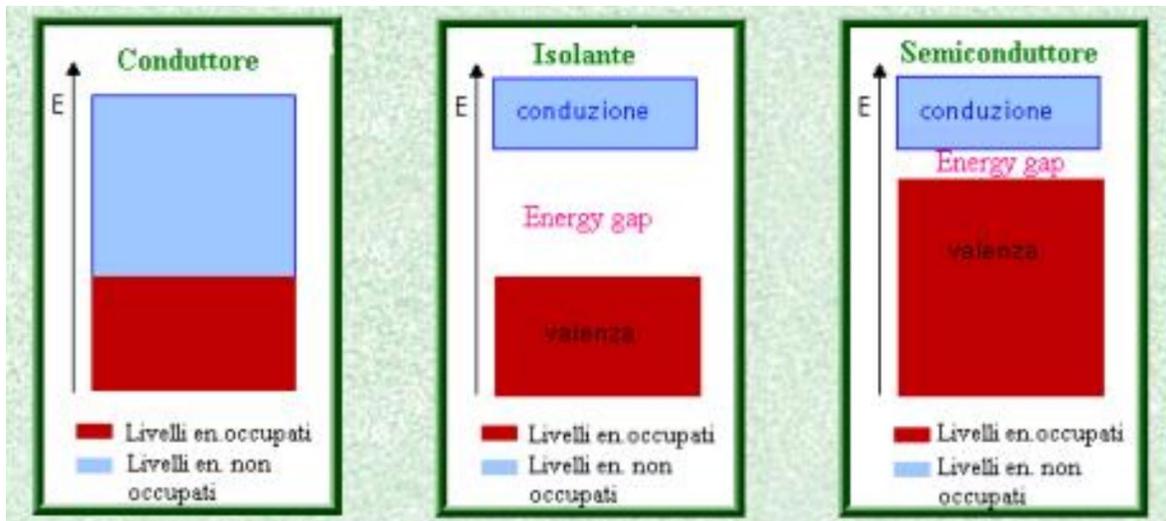
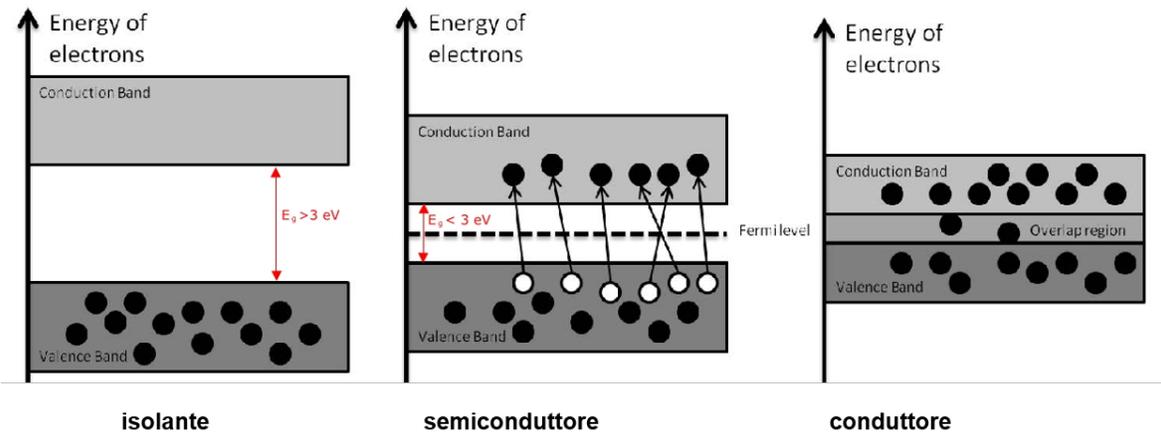


Tagliamo connessione con la terra. Se ora allontaniamo corpo carico il conduttore conserva eccesso di carica negativa → elettrizzato

negativamente. Si sarebbe potuto elettrizzarlo positivamente avvicinandogli un corpo carico negativamente

**Parentesi: cosa sono i conduttori?**

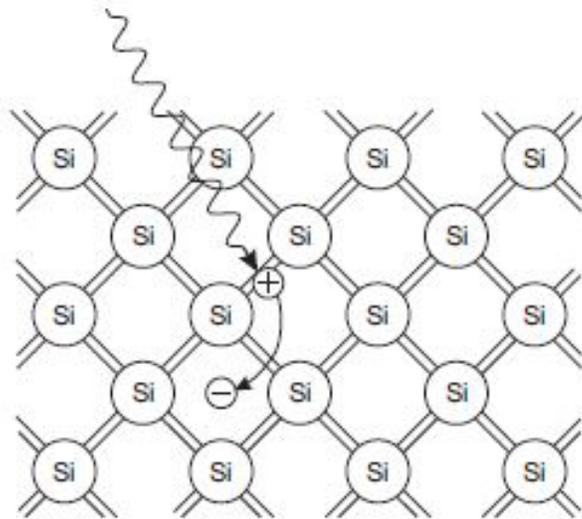
Se prendiamo il modello atomico a shell, con gli elettroni che occupano determinati livelli energetici attorno al nucleo, posso considerare diversi casi:



Nei **conduttori**, i livelli energetici di valenza, ovvero i piu' esterni, sono sovrapposti ai livelli di conduzione, ovvero i livelli in cui gli elettroni sono liberi di spostarsi dal proprio nucleo. Essi possono essere quindi facilmente separati dall'atomo e creare una corrente.

Negli **isolanti** invece, c'è un intervallo di energia proibito tra i livelli di valenza e quelli di conduzione: è quasi impossibile per un elettrone passare nella banda di conduzione e spostarsi. Non c'è corrente.

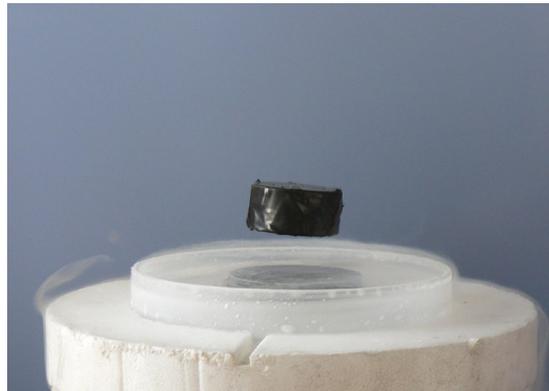
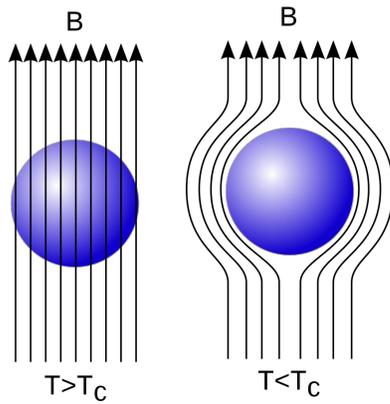
NOTA: Esistono poi i **semiconduttori**, l'intervallo proibito esiste ma è piccolo, quindi come in un interruttore posso decidere quando creare una corrente fornendo abbastanza energia agli elettroni da potergli far saltare l'intervallo e trasferirsi in banda di conduzione. Sono come interruttori: se fornisco abbastanza energia (tramite aumento temperatura/agitazione termica o tramite impulso esterno) diventano conduttori, altrimenti sono isolanti. Possiamo usarli come rivelatori di particelle, anche per applicazioni mediche come terapia a irraggiamento con protoni o nuclei pesanti, rivelazione di emissione PET, monitoraggio i fasci per radiografie ad alta risoluzione



*Struttura a reticolo del cristallo e rottura del legame dell'elettrone*

Infine abbiamo anche i **superconduttori**: alcuni materiali sotto una certa temperatura sono caratterizzati da resistenza elettrica nulla e espulsione del campo magnetico. Possono quindi essere usati per trasportare una grande quantità di corrente senza perdite, oppure per

creare un forte campo magnetico con delle bobine dalle dimensioni molto ridotte. Anche questi materiali hanno applicazioni mediche come ad esempio nei sistemi clinici di risonanza magnetica nucleare.

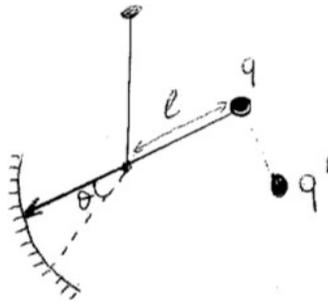


## Legge di Coulomb

E' la legge che descrive la **forza fra due cariche elettriche**.

Coulomb fu il primo a verificarla sperimentalmente.

Consideriamo una sferetta con carica  $q$  all'estremita' di una bacchetta isolante sospesa orizzontalmente mediante un filo a torsione.



Ad essa viene avvicinata sferetta con carica  $q'$ .

La sferetta sospesa viene respinta e si ha torsione del filo di angolo  $\theta$ .

Si puo' studiare la forza di repulsione:

variando  $q$

variando  $q'$

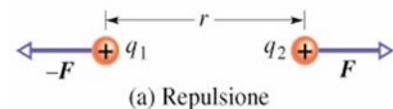
variando la distanza  $r$  fra  $q$  e  $q'$

### Forza di Coulomb

$$F = k \frac{qq'}{r^2}$$

Cariche puntiformi  $\rightarrow$  direzione forza lungo la congiungente

Dipende da distanza, entita' e segno cariche, e dalla costante  $k$  di Coulomb



Il verso forza dipende se forza e'

**attrattiva** o **repulsiva**

(se cariche segno opposto o stesso segno)

## Unita' di misura della carica elettrica

Si e' introdotto l'unita' di carica nel sistema internazionale chiamato **Coulomb**.

Introducendo il Coulomb la costante k non e' adimensionale:

$$[k] = [M L^3 T^{-2} Q^{-2}]$$

Si definisce:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$\epsilon_0$  = costante dielettrica del vuoto (la piu' bassa possibile)

$$\epsilon_0 = 8.86 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$k = 8.98 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Se il mezzo non e' il vuoto si usa costante dielettrica del mezzo:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

$\epsilon_r$  = costante dielettrica relativa (coefficiente adimensionale)

La forza di Coulomb e':

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2}$$

**Coulomb (C)** e' definito quindi come:

la quantita' di carica che posta ad 1 m di distanza da una carica uguale, nel vuoto, la respinge con una forza di  $8.98 \cdot 10^9$  N

## Campo elettrico

Un corpo carico e' un corpo circondato da campo di forze: regione dello spazio dove altri corpi carichi sono soggetti a forze.

La forza su un corpo carico puo' esser vista come **interazione corpo-campo elettrostatico** prodotto da una o molte cariche distribuite nello spazio.

Questo campo e' il **campo elettrico**.

Il campo pervade tutto lo spazio, puo' essere nullo o diverso da zero, e agisce su corpi carichi, ovvero corpi contenenti un numero diverso di cariche elementari positive e negative.

Per lo studio degli effetti del campo si introduce una "carica di prova" (piccola come dimensioni e carica) con carica positiva +q che si fa muovere all'interno del campo elettrico trascurandone la distorsione che provoca sul campo che si sta misurando.

Essa e' soggetta a forza elettrica F.

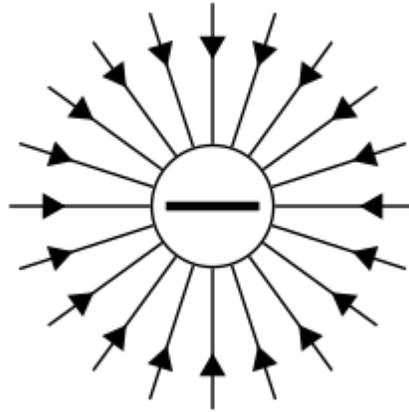
Definiamo **intensita' del campo elettrico**:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

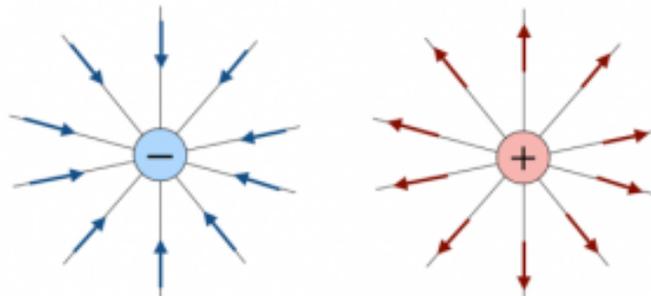
E' **grandezza vettoriale**, con modulo, direzione e verso.

Unita' di misura: rapporto **Newton/Coulomb**

**Linee di forza del campo:** famiglia di curve tangenti in ogni punto ai vettori del campo → rappresentano la direzione e verso in cui la carica di prova sarebbe spinta dalla forza del campo.



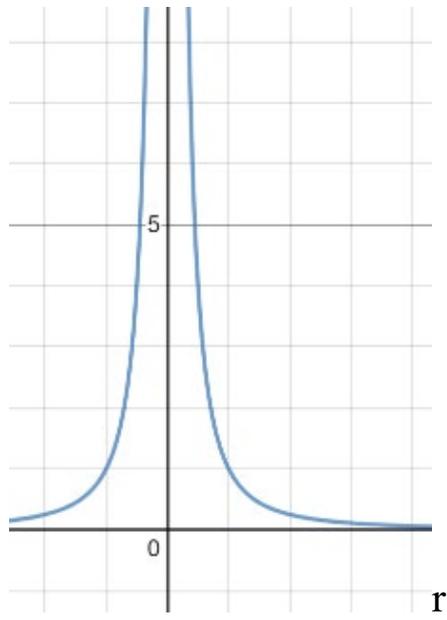
Linee di forza vanno da carica positiva a carica negativa.



Ci ricorderemo di questa convenzione specialmente quando affronteremo la corrente: nel caso della corrente di  $e^-$ , che normalmente affrontiamo nell'esperienza quotidiana, essa va in senso contrario al campo elettrico, visto che gli elettroni sono attratti dal polo positivo.

Il campo  $E$  dipende in maniera quadratica inversa dalla distanza dalla carica, quindi avrà un andamento del tipo:

$$E$$



$$E = k \frac{Q}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

## Campo elettrico di una carica puntiforme +Q

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

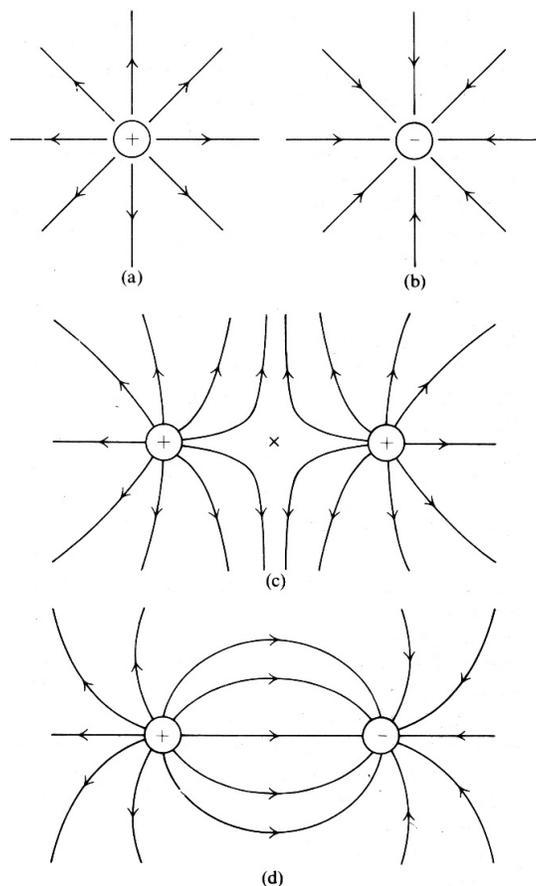
Infatti si ricava dalla forza di Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2}$$

Il campo ha simmetria sferica.

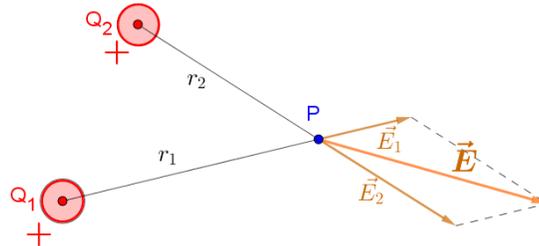
Le linee di forza di carica +Q vanno verso l'esterno.

Se la carica e' -Q le linee vanno verso l'interno.



Linee di campo sono piu' fitte dove il campo elettrico e' piu' intenso. Nel punto medio tra due cariche dello stesso segno il campo e' nullo.

Il campo generato da due cariche e' uguale al campo risultante dalla sovrapposizione dei due campi: in ogni punto il vettore campo risultante sara' la somma dei vettori dei singoli campi



1) Esercizio Idrogeno: l'e- di un atomo di H ruota intorno al protone, a una distanza di 0.053nm. Qual e' il campo elettrico dovuto al protone alla distanza in cui si trova l'elettrone?

2) Esercizio dipolo

Due cariche (-1.5nC e 1.5nC sono poste a 1.2 cm di distanza fra loro). Qual e' l'intensita' del campo elettrico totale lungo la linea che collega le cariche a 1.2 cm dalla carica positiva, dalla parte opposta rispetto alla negativa?

L'insieme delle due cariche e' detto Dipolo. Che carica ha il dipolo?