

Fisica

Elettrostatica



Dispense del Corso di
Laboratorio di Fisica-Chimica

Elettrostatica

Prof. Quintino d'Annibale

Fisica

Elettromagnetismo



Lezione 1

Carica elettrica – legge di coulomb

Carica elettrica



La fisica dell'elettromagnetismo, combinazione dei fenomeni elettrici e magnetici, circondano la nostra vita con dispositivi che si basano su questi fenomeni.

L'elettromagnetismo fu studiato dagli antichi filosofi greci, essi scoprirono che un pezzetti d'ambra strofinato e avvicinato a pagliuzze sottili le attrae catturandole.

Oggi sappiamo che tale attrazione è dovuta a **forze elettriche**. I filosofi greci avevano anche scoperto che alcune pietre con proprietà magnetiche naturali attraggono e catturano pezzetti di ferro. Oggi sappiamo che ciò è dovuto alla **forza magnetica**.

La nuova scienza *dell'elettromagnetismo* fu sviluppata in seguito da studiosi di molti paesi. Uno dei più importanti fu **Michael Faraday**, un geniale fisico sperimentale, capace di intuizioni fisiche prodigiose, attestate dal fatto che le sue note di laboratorio non contengono neppure un'equazione. A metà del XIX secolo **James Clerk Maxwell** sintetizzò le idee di Faraday in forma matematica, introdusse molte nuove idee e pose solide basi teoriche all'elettromagnetismo.

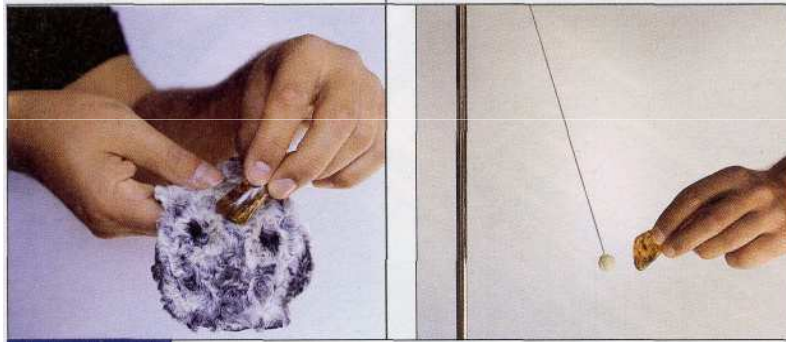


Alcuni oggetti, mostrano la proprietà che se strofinati, attraggono altri oggetti

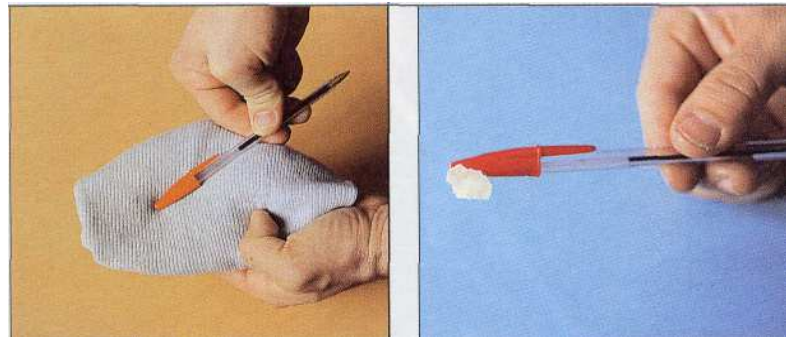
Carica elettrica



- Nel '700 venne introdotta la distinzione tra conduttori e isolanti elettrici e quella tra elettricità positiva e negativa, e proprio alla fine del secolo (1799) **Alessandro** Volta costruì il primo generatore di corrente elettrica: la **pila** che porta il suo nome.



L'ambra strofinata su una pelle di capretto attira una pallina di midollo di sambuco.



L'involucro di una penna a sfera strofinato su un panno di lana attira un frammento di carta.

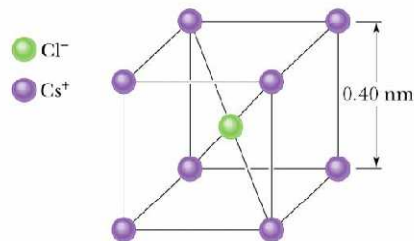
Carica elettrica

Diversi sono gli esempi che si possono citare per analizzare la forza elettrica, va evidenziato che un corpo è carico elettricamente se presenta un eccesso di carica di un segno o dell'altro (convenzionalmente positivo e negativo).

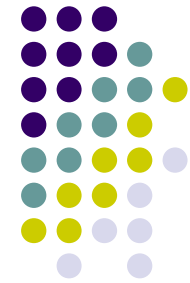
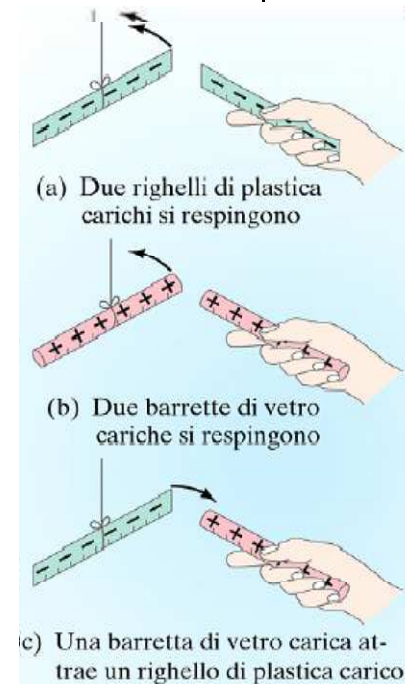
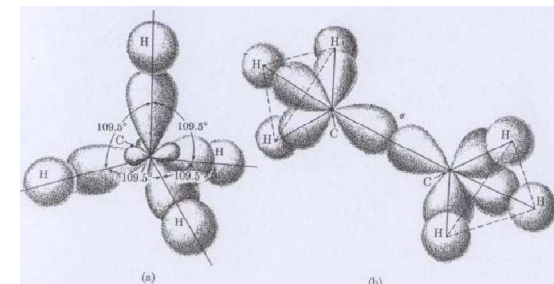
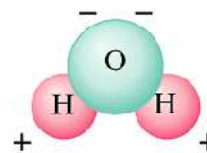
Si osserva che :

- due rigelli di plastica carichi elettricamente posti in vicinanza si respingono;
- due barrette di vetro cariche, si respingono;
- una barretta di vetro e un righello di plastica carico, si attraggono

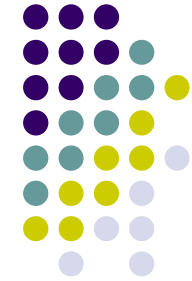
Struttura della materia



Molecole polari

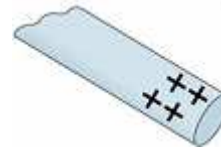


Conduttori e isolanti



Dal punto di vista elettrico la materia si suddivide in due sottoinsiemi:

- Conduttori
- Isolanti



Barretta di metallo neutra

Conduttori: cariche libere di muoversi

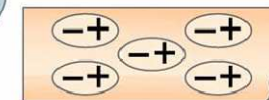
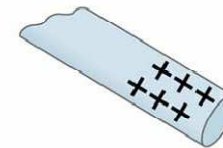
I **conduttori** sono sostanze attraverso cui le cariche si muovono abbastanza liberamente; ne sono esempio i metalli (come il rame nei fili elettrici), il corpo umano e l'acqua di rubinetto.



L'elettrizzazione avviene per movimento di cariche, per cui si ha separazione tra positive e negative

Isolanti: cariche sono parzialmente vincolate

I **non conduttori**, altrimenti detti **isolanti**, sono sostanze in cui le cariche non possono muoversi liberamente; esempi ne sono la gomma (come il rivestimento dei fili elettrici), la plastica, il vetro e l'acqua chimicamente pura.



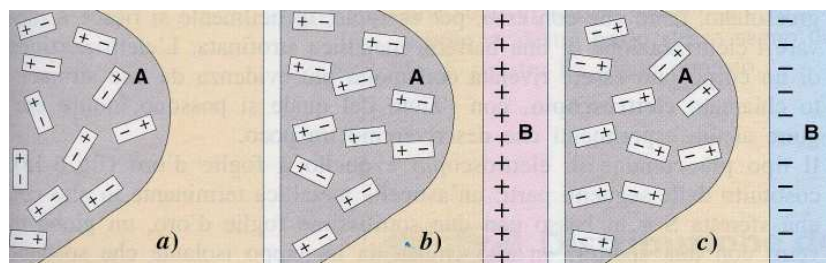
Isolante

L'elettrizzazione si ha in base alla teoria dei dipoli, per orientamento dei dipoli.

Conduttori e isolanti



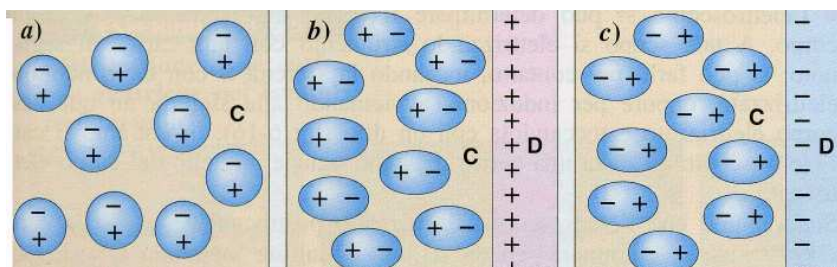
Approfondiamo sugli isolanti (non conduttori)



Polarizzazione elettrica per orientamento delle molecole

Se il corpo non elettrizzato è un isolante (quasi del tutto privo di elettroni liberi), per spiegare l'attrazione che esso subisce da parte di un corpo elettrizzato bisogna fare riferimento alle sue caratteristiche strutturali.

Vi sono molecole che, pur essendo elettricamente neutre, non hanno il centro delle cariche positive coincidente con quello delle negative; esse vengono dette **molecole polari** e sono dei veri e propri **dipoli elettrici**, rappresentabili con dei bastoncini recanti cariche opposte alle estremità.



Polarizzazione elettrica per deformazione delle molecole.

In altre molecole, dette **apolari**, il centro delle cariche positive coincide con quello delle negative (fig. a). Se però vicino a un corpo C costituito da tale tipo di molecole ne viene messo uno D elettrizzato, la loro struttura elettrica si deforma a causa dello spostamento che subiscono gli elettroni; esse diventano cioè polari e quindi C viene attratto da D (fig. b-c). Si parla in questo caso di polarizzazione elettrica **per deformazione** delle molecole.

Carica elettrica

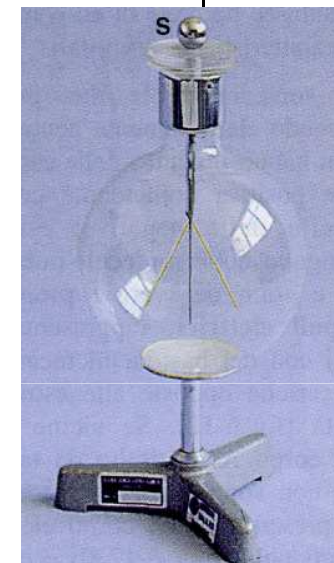
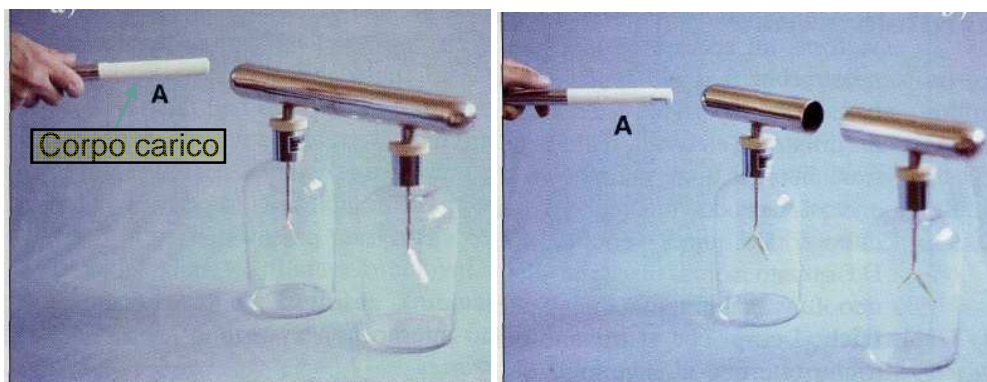


L'elettroscopio a foglie d'oro

L'elettroscopio è uno strumento con cui è possibile rilevare la carica elettrica. Sia per contatto sia per induzione.

Se un corpo carico si avvicina allo strumento le foglioline si divaricano tanto più quanto maggiore è la carica e, ritorna nella posizione iniziale se lo si allontana. Se viene a contatto con la carica esso rimane elettrizzato con le foglioline divaricate.

Alcuni esperimenti



Avvicinando una bacchetta carica (foto 1), entrambi gli elettroscopi segnano una carica per induzione. Staccando i due elementi collegati agli elettroscopi, si nota che essi segnalano la presenza di carica nei corpi collegati.

Ciò si spiega solo con una migrazione di cariche da un corpo all'altro tale da lasciarli nei due tronconi entrambi carichi e di segno opposto.

Carica elettrica



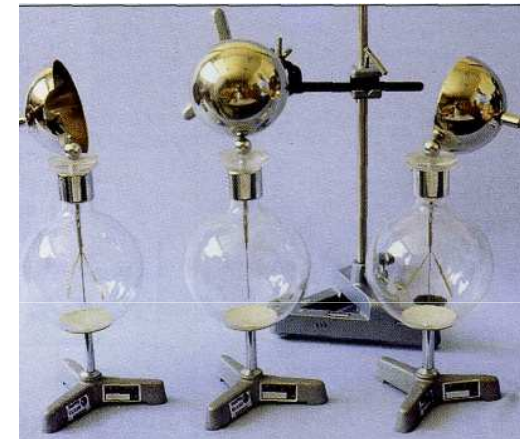
Distribuzione della carica



La sfera metallica è elettrizzata, lo dimostra la divergenza delle foglioline dell'elettroscopio.



Due semisfere ca-ve, tenute mediante manici iso-lanti, vengono messe a contatto della sfera elettrizzata, avvol-gendola completamente.



Le cariche elettriche si distribuiscono tutte sulle semisfere esterne, mentre la sfera diviene elettricamente neutra; ciò si rileva osservando le foglioline di ciascuno dei tre elettroscopi.

Legge di Coulomb

Dalla esperienza di Coulomb si desume che la forza di attrazione tra due cariche q , è direttamente proporzionale alle cariche q , infatti Posto "x" come distanza fissa tra le cariche, tra di esse si esercita una forza F che:

raddoppia con $2q$;
triplica con $3q$

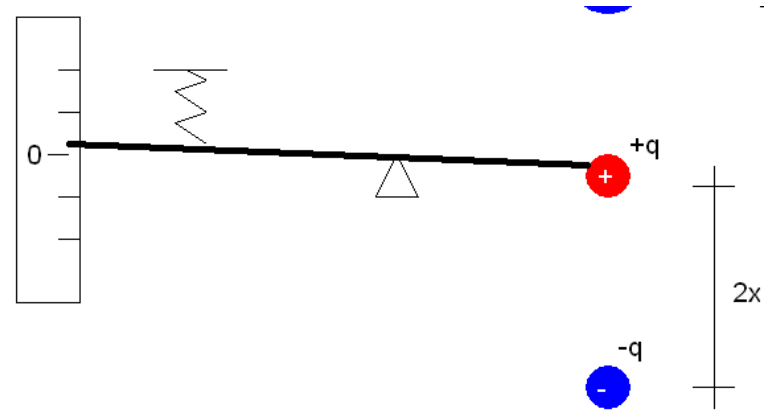
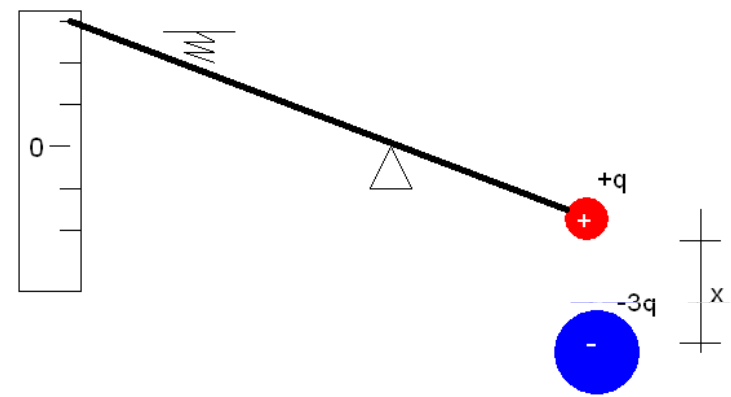
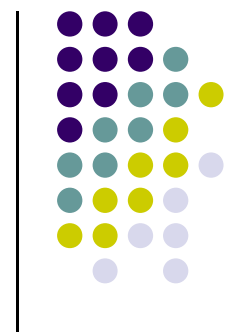
$$F \propto q \cdot q$$

Inoltre se F è la forza di attrazione alla distanza "x", si determina, come a parità di cariche la forza varia con la stessa, secondo la *legge dell'inverso del quadrato* della distanza:

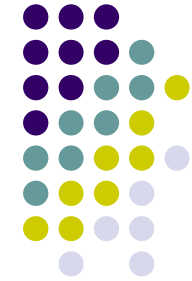
diventa $\frac{1}{4}$ a $2x$,
 $\frac{1}{9}$ a $3x$, ecc.

$$F \propto \frac{1}{x^2}$$

Legge di Coulomb
$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

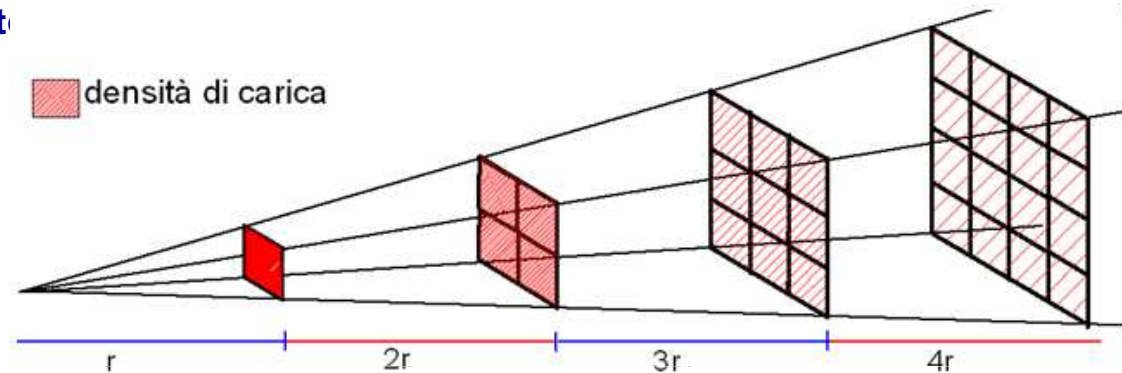


Legge di Coulomb



Legge dell'inverso del quadrato

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$



Se da uno spruzzatore mandiamo una quantità q di vernice rossa, nella ipotesi che si diffonda secondo le linee di figura, ponendo una tavoletta a distanza r , la vernice colpirà una superficie S con densità:

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

Se allontaniamo la tavoletta fino a raddoppiare la distanza $2r$, la quantità di vernice q , colorerà una superficie pari a $4S$, ma la densità sarà:

$$\sigma_1 = \frac{q}{4S} = \frac{1}{4} \sigma$$

Se triplichiamo la distanza $3r$, la vernice colorerà una superficie pari a $9S$, ma la densità sarà:

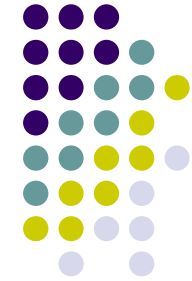
$$\sigma_2 = \frac{q}{9S} = \frac{1}{9} \sigma$$

Se quadruplichiamo la distanza $4r$, la vernice colorerà una superficie pari a $16S$, ma la densità sarà:

$$\sigma_3 = \frac{q}{16S} = \frac{1}{16} \sigma$$

È questa **Legge dell'inverso del quadrato della distanza**

Legge di Coulomb



Date due particelle (o *cariche puntiformi*) con cariche di modulo q_1 e q_2 e separate da una distanza r , la **forza elettrostatica** di attrazione o repulsione scambiata tra di esse ha intensità:

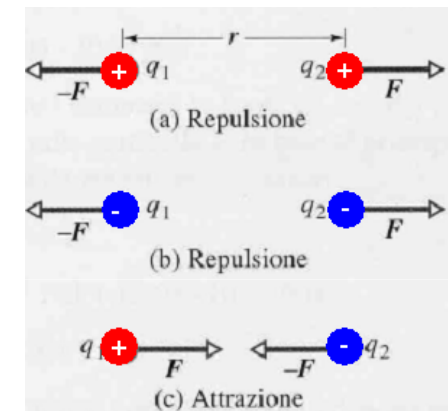
$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad \vec{F} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{r}$$

La direzione della forza \mathbf{F} che ciascuna particella esercita sull'altra, è data dalla retta passante per le due cariche, il verso dipende dal segno delle cariche.

L'espressione ha la stessa forma di quella che *Newton* introdusse per la forza di gravitazione universale fra due particelle con massa m_1 ed m_2 e separate da una distanza r .

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

Nell'equazione la costante k (*chiamata costante di Coulomb*), per analogia con la costante G , potrebbe essere chiamata *costante elettrostatica*. Entrambe sono leggi che dipendono dall'inverso del quadrato della distanza, ed entrambe coinvolgono una proprietà di interazione delle particelle, la massa in un caso e la carica nell'altro. Una differenza tra le due leggi è che *le forze gravitazionali sono sempre attrattive*, mentre *le forze elettrostatiche possono essere attrattive o repulsive* secondo che le due cariche abbiano segno opposto o uguale.



Legge di Coulomb



La legge di Coulomb, è valida persino per l'atomo, descrivendo in modo corretto la forza tra il nucleo carico positivamente e ciascuno degli elettroni carichi negativamente, sebbene la meccanica classica newtoniana sia insufficiente in questo ambito e venga sostituita dalla fisica quantistica. Questa semplice legge tiene anche correttamente in conto le forze che legano gli atomi tra di loro nel formare le molecole e le forze che si esercitano tra gli atomi e le molecole insieme per formare i solidi e i liquidi.

La carica elettrica q nel S.I. ha unità di misura "C" (coulomb) definita come Ampère*secondo dalla relazione dell'intensità A.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Definisce i come la carica che attraversa una data sezione nell'unità di tempo

La costante k

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

ϵ costante dielettrica del mezzo, tiene conto del comportamento elettrico del mezzo materiale in cui la forza si manifesta.

Nel vuoto

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} C^2 / (Nm^2)$$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 Nm^2 / C^2$$

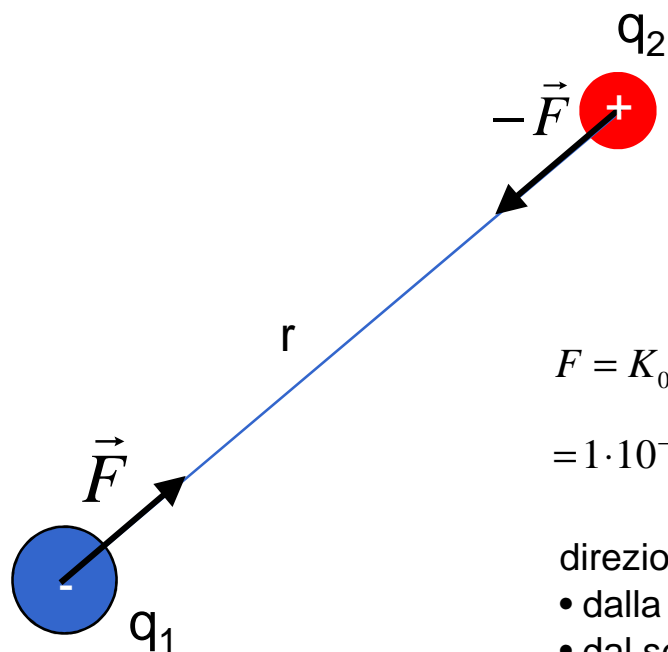
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Costante dielettrica relativa del mezzo
 $\epsilon_{aria} \sim 1$, $\epsilon_{acqua} \sim 80$



Legge di Coulomb

Calcolare la forza che si esercita tra due cariche q_1 e q_2 rispettivamente di $-2 \cdot 10^{-7} \text{C}$ e $5 \cdot 10^{-6} \text{C}$ poste nel vuoto alla distanza di 3m.



Applicando la Legge di Coulomb, è possibile calcolare il modulo della forza cercata:

$$F = K_0 \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{3^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{9} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

direzione e verso della forza, sono date rispettivamente:

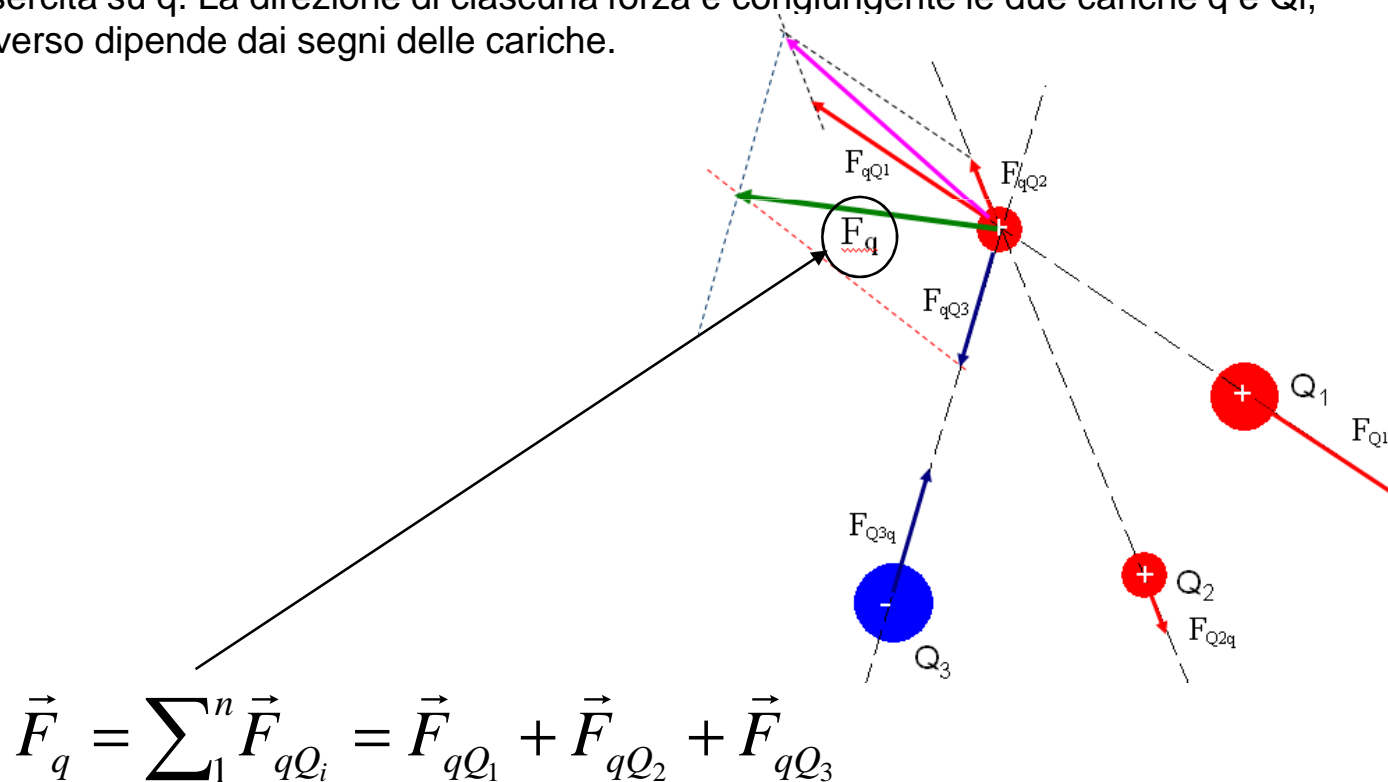
- dalla linea congiungente le cariche;
- dal segno delle stesse (attrattivo se diverso, repulsivo se uguale)



Legge di Coulomb

La legge di Coulomb, come la legge di Newton obbedisce al principio di sovrapposizione

Se sussistono più di due cariche, la forza che tutte queste cariche esercitano su una carica q , F_q , è **la somma vettoriale** delle forze che ciascuna carica Q_i esercita su q . La direzione di ciascuna forza è congiungente le due cariche q e Q_i , il verso dipende dai segni delle cariche.

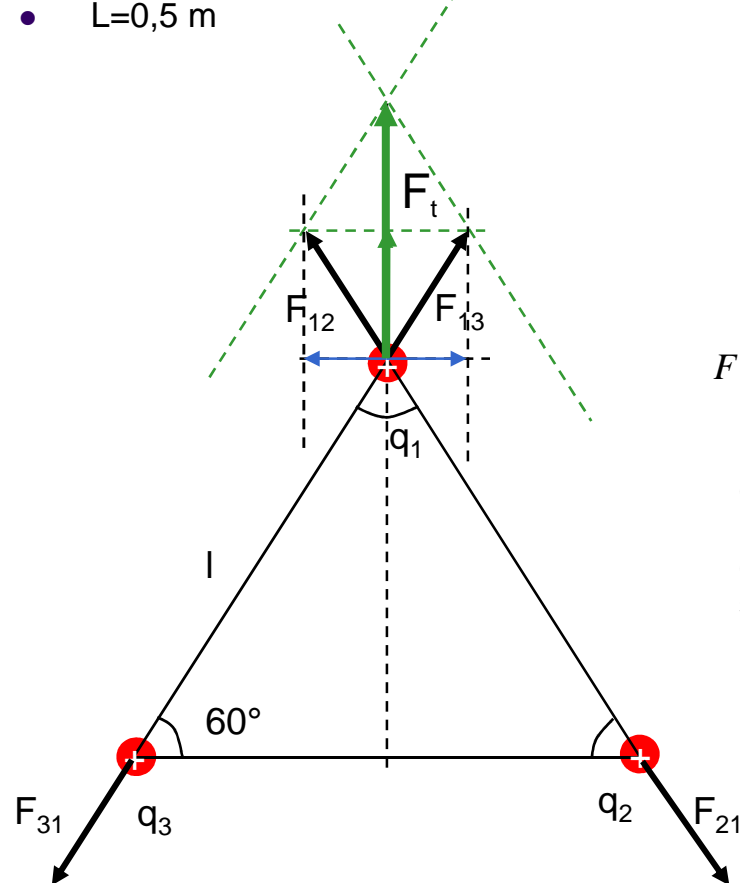


Legge di Coulomb



Tre cariche puntiformi positive, sono disposte sui vertici di un triangolo equilatero e si trovano nel vuoto, calcolare la forza risultante sulla carica q_1 .

- $q_1 = q_2 = q_3 = q = 3 \cdot 10^{-9} \text{C}$
- $L = 0,5 \text{ m}$



Essendo le cariche uguali ed essendo poste sui vertici di un triangolo equilatero le distanze tra le esse sono uguali ($r=l$), pertanto anche le forze in modulo lo sono.

$$F_{12} = F_{13} = F$$

$$F = K_0 \frac{q \cdot q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(3 \cdot 10^{-9})^2}{0,5^2} = 9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-18}}{2,5 \cdot 10^{-1}} = 3,24 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

Dal disegno si evidenzia, che le componenti orizzontali delle forze che agiscono su q_1 si annullano (sono uguali ed opposte) quindi la risultante sarà data dalla somma delle componenti verticali anche esse uguali ma concordi. La componente verticale di ognuno sarà:

$$F_v = F \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Pertanto

$$F_t = 2F \frac{\sqrt{3}}{2} = F \sqrt{3} = 3,24 \cdot 10^{-1} \sqrt{3} \cong 0,56 \text{ N}$$