

# **CORSO DI FISICA 2**

## **ELETTROSTATICA**

### **LEZIONE N° 37**

# ELETTROSTATICA

(Cenni storici)

L'elettrostatica (elettricità statica) è un fenomeno naturale di concentrazione di cariche sulla superficie di un corpo.

Il fenomeno era già noto agli antichi greci, i quali avevano notato che strofinando una bacchetta di ambra con un panno, questa acquistava la proprietà di attrarre per breve tempo delle piccole pagliuzze o dei semi.

**William Gilbert** (Colchester 1544- Londra 1603) – Medico-fisico inglese  
Egli per la prima volta, in un paragrafo non tanto lungo dell'opera *De Magnete*, vennero esposti gli studi sperimentali. In precedenza si era occupato anche dell'attrazione - repulsione tra magneti. Fu proprio Gilbert che dal nome greco dell'ambra (*èlectricon*) conio il termine elettricità.



# ELETTROSTATICA

## (Cenni storici)

**Charles Du Fay** (Parigi 1698- Parigi 1739) – Chimico francese

Egli propose un'interpretazione che si basava sull'esistenza di due fluidi: uno detto vetroso e l'altro detto resinoso.



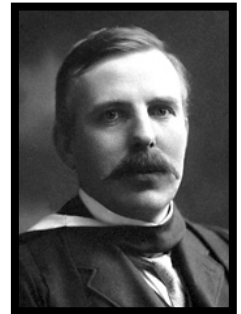
**Benjamin Franklin** (Boston 1706 - Filadelfia 1790 Statista) – editore, inventore, scrittore, diplomatico, filosofo e uomo di scienza nord-americano.

Egli propose un modello che interpretava in modo soddisfacente i fatti sperimentali consistenti, sostanzialmente, in effetti di attrazione o di repulsione fra corpi elettrizzati.



**Rutherford** (Nelson 1871 - Cambridge 1937) - Fisico neozelandese

Si scoprì inoltre la struttura atomica, affermando che l'atomo è composto dal nucleo che contiene protone [carica positiva +] e neutroni [carica neutra n] attorno alla quale ruotano gli da elettroni [carica negativa -].



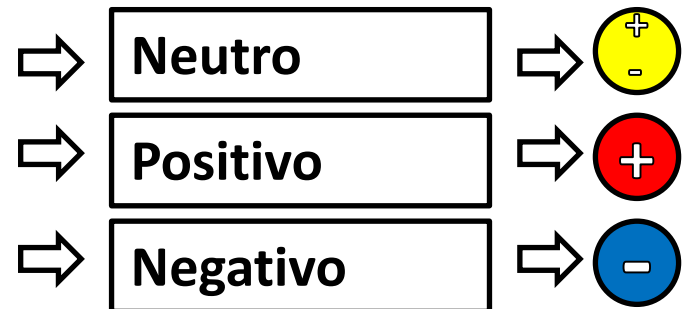
È stato proprio William Gilbert, per capire che l'elettricità non era un fluido ma una forza. Si scoprì inoltre che i responsabili delle cariche erano gli elettroni.

# ELETTROSTATICA

(Fenomeni elettrostatici)

Per capire la natura dei fenomeni elettrici è necessario studiare lo stato elettrico dei corpi.

Lo stato elettrico della materia può essere:



Come sappiamo la materia è composta da atomi costituito da cariche elettriche di segno opposto e in uguale quantità in modo che complessivamente abbia carica elettrica nulla, cioè sia neutro.

Fondamentale è la conoscenza dell'atomo per capire da dove vengono le cariche elettriche.

# ELETTROSTATICA

(Fenomeni elettrostatici)

Modello atomico

J. J. Thomson (1897)<sup>1</sup>.

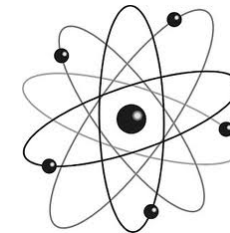
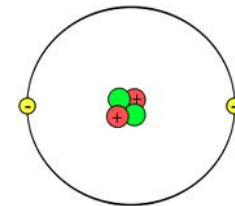
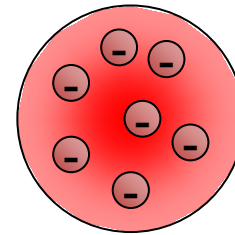
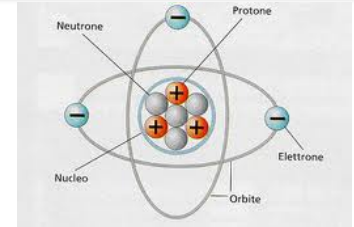
Modello dell'atomo "a panettone"

Rutherford (1911).

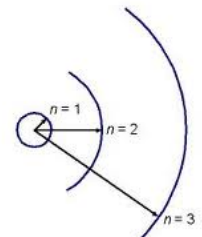
Modello dell'atomo "planetario"

Millikan (1909).

"Quantizzazione" della carica elettrica<sup>2</sup>



Raggi delle orbite dei primi tre livelli energetici dell'idrogeno



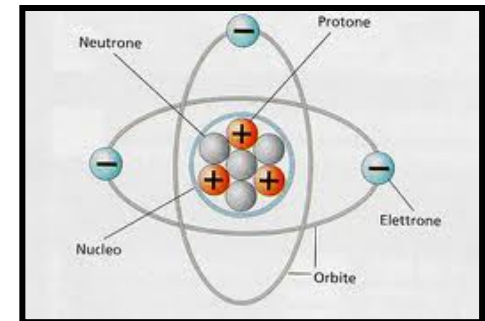
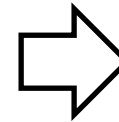
1. Scoperta dell'elettrone.
2. Tutte le cariche sono multiplo di una carica elementare.

# ELETTROSTATICA

(Fenomeni elettrostatici)

L'atomo è costituito da un **nucleo** centrale e da un certo numero di **elettroni** rotanti attorno ad esso.

Il nucleo è formato da **protoni** e **neutroni**, tenuti assieme da **forze** di grande intensità ma aventi un brevissimo raggio d'azione. I protoni hanno carica **elettrica positiva**, i neutroni **non hanno carica elettrica**; la carica degli elettroni è uguale a quella dei protoni, ma ha segno opposto, è cioè **negativa**.



Se sull'atomo non agisce alcuna causa esterna, gli elettroni continuano a ruotare intorno al nucleo senza dar luogo ad alcun fenomeno particolare.

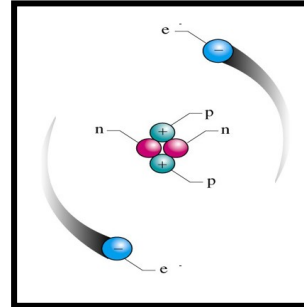
In tale condizione si dice appunto che l'atomo è elettricamente **neutro**.

# ELETTROSTATICA

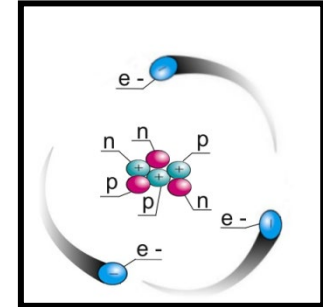
(Fenomeni elettrostatici)

Atomo è elettricamente **neutro**.

Idrogeno 2

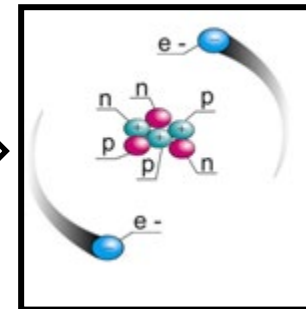


Litio 3



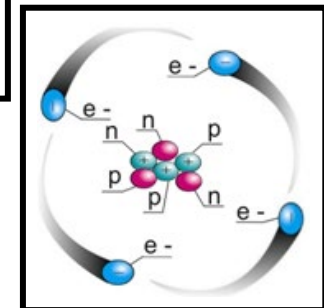
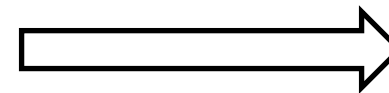
Se con mezzi adatti si **sottraggono** agli atomi di un corpo **uno o più elettroni**, diciamo che il corpo è elettrizzato:

**Positivamente**, se ha perduto elettroni (prevale in esso la carica positiva dei protoni del nucleo).



Litio 3+

**Negativamente**, se ha acquistato elettroni (prevale in esso la carica negativa degli elettroni).



Litio 3-

La carica negativa o positiva dipende se si aggiunge o toglie elettroni in quanto i protoni sono indisponibili.

# ELETTROSTATICA

(Fenomeni elettrostatici)

*Per convenzione i fisici hanno stabilito* che i corpi si definiscono carichi:

✓ **Negativamente** se si comportano come la **plastica**

✓ **Positivamente** se si comportano come il **vetro**

Sperimentalmente si può vedere che tra due corpi carichi si esercitano forze attrattive o repulsive, questo dipende dal tipo di carica ossia:

Si respingono se i due corpi elettricamente carichi entrambi **positivamente** o entrambe **negativamente**.

Si attraggono se i due corpi sono elettricamente caricati uno **positivamente** e il secondo **negativamente**.



# ELETTROSTATICA

## (Modalità di elettrizzazione)

I metodi per elettrizzare (caricare) un corpo sono riportati sinteticamente in tabella

Metodo	Descrizione	Meccanismo	Materiali
<b>Strofinio</b>	Strofinare fra loro due corpi	Si strappano gli elettroni presenti sulla superficie dei corpi	Isolanti o conduttori (con manico isolante)
<b>Contatto</b>	Mettere a contatto un corpo neutro con uno carico	Spostamento di cariche da un corpo all'altro	Conduttori
<b>Induzione</b>	Mettere corpo carico vicino a conduttore scarico divisibile in due. Dividendo in due il conduttore prima di allontanare l'induttore ho suddiviso la carica	Le cariche sul conduttore subiscono al forza elettrica e si ridistribuiscono.	conduttori

# ELETTROSTATICA

(Modalità di elettrizzazione: **Strofinio**)

**Strofinando** una bacchetta di :  
ambra, ebanite, plastica, vetro,  
plexiglas , ecc.

con un panno di: lana, foulard di  
seta, pelliccia di gatto, ecc.

La bacchetta diventa in grado di  
attrarre piccoli oggetti (pezzetti di  
carta, piccoli semi, paglia..)



**I corpi elettrizzati esercitano forze anche su corpi non elettrizzati**

# ELETTROSTATICA

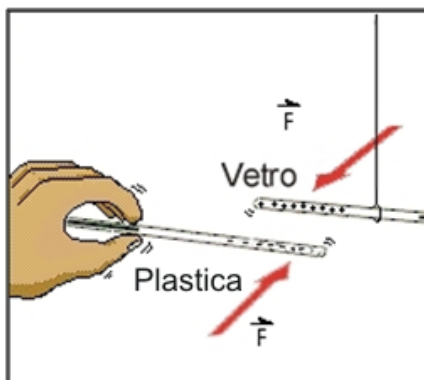
(Modalità di elettrizzazione: **Strofinio**)

Per esempio, se con un panno di lana si strofina due bacchette una di vetro e l'altra di plastica entrambe si caricano ma di segno opposto infatti:

✓ La bacchette di plastica si carica negativamente

✓ La bacchette di vetro si carica positivamente

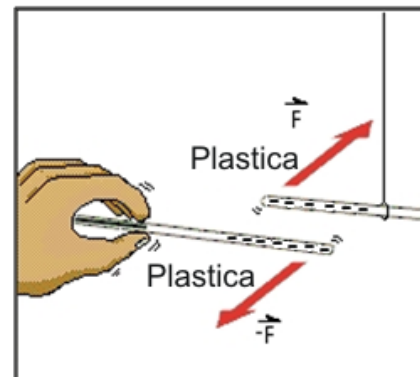
Questo si può mettere in evidenza, sospendendo una delle due bacchette con un filo mentre l'altra si avvicina ad esse.



**Vetro  
Plastica**



**Si attraggono**



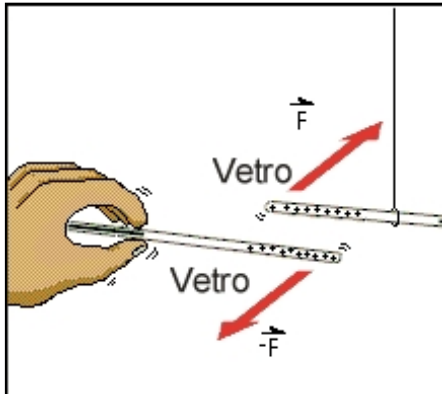
**Plastica  
Plastica**



**Si respingono**

# ELETTROSTATICA

(Modalità di elettrizzazione: **Strofinio**)

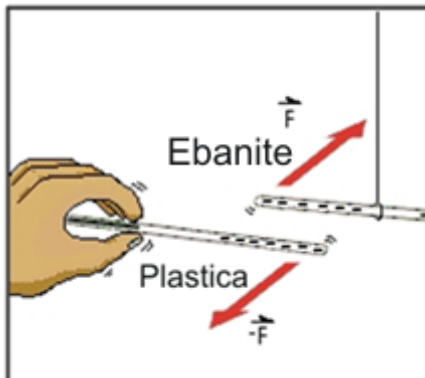


Vetro  
Vetro



Si respingono

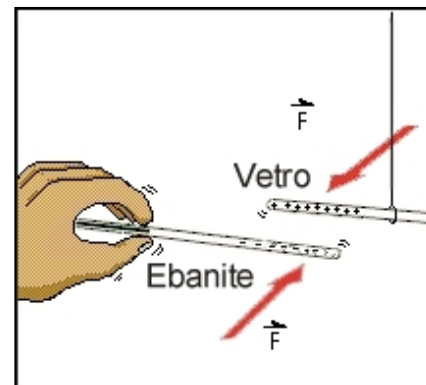
Ogni materiale si elettrizza in modo diverso (negativamente o positivamente) per esempio se prendiamo l'ebanite (legno), questo si carica negativamente (opposto al vetro infatti:



Plastica  
Ebanite



Si respingono



Vetro  
Ebanite



Si attraggono

# ELETTROSTATICA

(Modalità di elettrizzazione: **Contatto**)

I conduttori possono essere elettrizzati anche mettendoli a contatto con un corpo elettricamente carico.

Metodo:

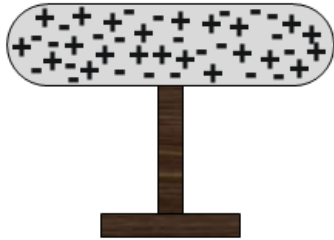
Con un conduttore con manico isolante, elettrizzato per strofinio o con un altro sistema si tocca un altro conduttore isolato da terra, la carica si divide fra i due.

Il secondo conduttore di conseguenza rimane carico

La presenza di carica può essere messa in luce tramite un *elettroscopio a foglie*

# ELETTROSTATICA

(Modalità di elettrizzazione: **Induzione**)



Corpo neutro da caricare

Supponiamo di avere due sfere metalliche, isolate da terra mediante un manico di plastica, l'una carica positivamente e l'altra neutra.



Corpo carico

Avvicinando le due sfere per effetto della forza di attrazione elettrica, gli elettroni liberi presenti sulla superficie della sfera neutra tenderanno a concentrarsi nella parte della sfera più vicina alla sfera carica positivamente, mentre sulla parte più lontana si produrrà una concentrazione di cariche positive.



Corpo caricato



Corpo carico

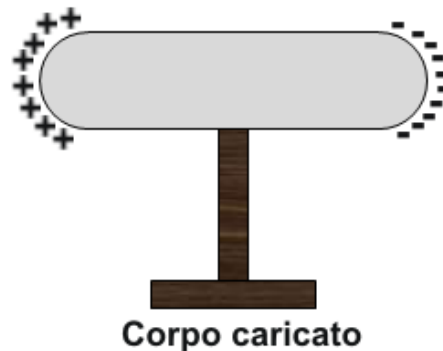
# ELETTROSTATICA

(Modalità di elettrizzazione: **Induzione**)

Sulla sfera neutra si dice che è stata indotta una separazione di cariche.

Il corpo così caricato fino a quando si mantiene vicino il corpo carico presenta da una parte un eccesso di cariche positive e dalla parte opposta un eccesso di cariche negative.

Il corpo si è caricato senza né contatto né strofinio.



Se la sfera carica, viene allontanata, le cariche si ridistribuiscono e tutto torna neutro.

# ELETTROSTATICA

## (Conduttori e isolanti)

Esistono dei corpi che apparentemente non vengono elettrizzati per strofinio, questi sono metallici.

Questo avviene perché i metalli sono conduttori di elettricità, quindi, quando vengono elettrizzati, le cariche elettriche che si producono sulla loro superficie non restano confinate dove sono state generate, ma scorrono liberamente al loro interno, passano alla nostra mano (anche noi siamo conduttori) e lungo il nostro corpo si scaricano a terra.

I metalli possono essere elettrizzati applicando un manico di plastica, o di un'altra sostanza isolante.

Nei metalli gli atomi sono talmente vicini che qualche elettrone esterno viene a trovarsi nel campo elettrico dell'atomo più vicino.

Per questo motivo qualche elettrone esterno per atomo diventa libero di muoversi da un atomo all'altro. Questi vengono chiamati elettroni di conduzione.



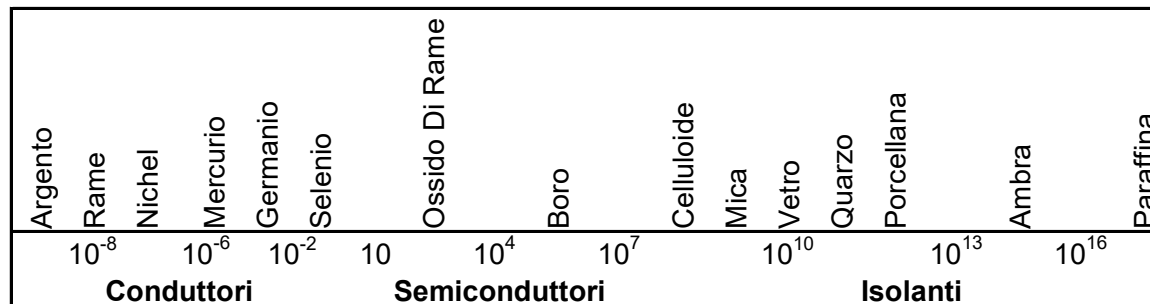
# ELETTROSTATICA

## (Conduttori e isolanti)

I materiali possono essere classificati:

- **Conduttori (metalli...):** Sono i materiali che permettono alle cariche elettriche di fluire via. Le cariche possono liberamente spostarsi.
- **Isolanti (plastica, vetro...):** Sono i materiali nei quali la carica non si può muovere. Le cariche rimangono localizzate nel punto in cui sono state prodotte.
- **Semiconduttori:** hanno proprietà intermedie

In generale i metalli sono buoni conduttori di elettricità mentre materiali come la plastica e la gomma sono isolanti.



# ELETTROSTATICA

(Misura della carica elettrica U.M.)

- L'unità di misura della carica elettrica è il **Coulomb ( C )**.
- Il Coulomb è una grandezza derivata, definita tramite l'ampere.  
$$1 [A] = 1 [C] / 1[s] \rightarrow 1 [C] = 1 [A] 1[s]$$
- **Due punti materiali hanno una carica di 1 C ciascuno se, posti alla distanza di un metro, si respingono con una forza pari a  $9 \times 10^9$  N**
- 1 C è una carica molto grande
- Carica elettrone:  $- e = -1,6 \times 10^{19} C$
- La carica elettrica elementare viene considerata quella dell'elettrone tutte le altre cariche sono un **multiplo intero carica elettrica dell'elettrone**

# ELETTROSTATICA

(Conservazione della carica elettrica)

**La carica totale** (somma algebrica delle cariche elettriche) **di un sistema isolato si conserva**, qualunque siano i fenomeni che si verificano al suo interno.

## ***Esempio***

- Se si elettrizza per strofinio una bacchetta con un panno si carica positivamente (o negativamente), di quanto si carica negativamente (o positivamente) il panno.
- Anche nei **decadimenti** a livello di fisica **subnucleare** la carica si conserva sempre.  $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$

# ELETTROSTATICA

(Caratteristiche della forza elettrica)

Fino a questo punto abbiamo:

- ✓ verificata sperimentalmente l'esistenza di cariche elettriche positive e negative
- ✓ Definita operativamente la carica (tramite elettroscopio)
- ✓ Introdotta la differenza fra conduttori e isolanti

Bisogna definire in che misura le forze elettriche dipendono dalle cariche possedute e in che modo si esercitano.

# ELETTROSTATICA

## (Legge di Coulomb)

Per corpi estesi non è possibile trovare una forma semplice per esprimere l'intensità della forza.

Per questo si ricorre al modello della carica puntiforme per queste Coulomb ha introdotto una legge relativamente semplice.

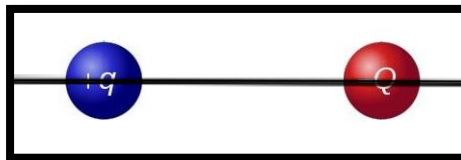
Essendo una forza una grandezza vettoriale bisogna definire:

✓ L'**intensità** della forza vale:

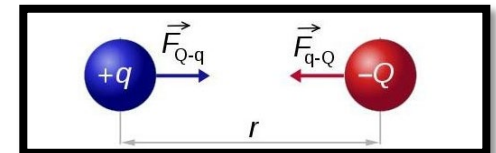
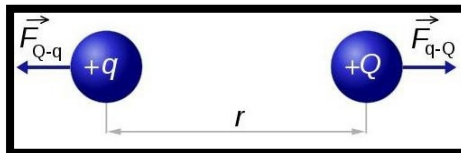
$$F = k_0 \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Dove  $k_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$   
Si chiama **Costante di Coulomb** nel vuoto.

✓ La **direzione** della forza è quella della congiungente le due cariche



✓ Il **verso** è attrattivo se le cariche hanno segno opposto, repulsivo altrimenti



# ELETTROSTATICA

(Analogia forza elettrica - forza di gravitazione universale)

$$F = k_0 \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

- **$k_0$  costante naturale**
- **Forza a distanza**
- **Intensità inversamente proporzionale a quadrato della distanza**
- **Può essere sia attrattiva che repulsiva**
- **Agisce solo fra corpi dotati di carica elettrica**
- **Cambia al variare del mezzo in cui sono poste le cariche**
- **$k_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$**

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

- **G costante naturale**
- **Forza a distanza**
- **Intensità inversamente proporzionale a quadrato della distanza**
- **È solamente attrattiva**
- **Agisce solo fra tutti i corpi**
- **Non cambia al variare del mezzo in cui sono poste le masse**
- **$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$**

# ELETTROSTATICA

(Forza di Coulomb nella materia)

La legge di Coulomb, precedentemente esposta vale solo nel vuoto, infatti abbiamo posto per  $k_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$  chiamandola **Costante di Coulomb** nel vuoto.

**In un mezzo isolante, la forza elettrica è minore di quella misurata nel vuoto.**

Il rapporto fra la forza  $F_{vuoto}$  nel vuoto e la forza  $F_{mezzo}$  in un mezzo è una costante indipendente dalle cariche che dipende solo dal materiale e che si chiama costante dielettrica relativa

$$\epsilon_r = \frac{F_{vuoto}}{F_{mezzo}}$$

$\epsilon_r \geq 1$  sempre (vale 1 solo nel vuoto)

$\epsilon_r$  è un numero puro

Tabella - Costante dielettrica relativa

Mezzo	$\epsilon_r$	Mezzo	$\epsilon_r$	Mezzo	$\epsilon_r$
Aria	1,00059	Alcol etilico	28	Plexiglas	3,4
Vapor acqueo	1,00060	Zucchero	3,3	PVC	4,5
Acqua	80	Vetro	5-15	Ambra	2,8
Ghiaccio	75	Silicio	12	Legno	3-7

# ELETTROSTATICA

(Forza di Coulomb nella materia)

Come detto precedentemente in un mezzo la forza che agisce tra due cariche è inferiore a quella nel vuoto. Questo dipende solo dalla presenza della materia, infatti nella legge di coulomb cambia solo il coefficiente di proporzionalità K (costante di Coulomb).

Nel vuoto assume il valore di K è:



$$K_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \cdot [\text{C}^{-2} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2]$$

Mentre nella materia:



$$K_r = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

$\epsilon_0$  = costante dielettrica del vuoto =  $8.86 \cdot 10^{-12} [\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}]$ .

$\epsilon_r > 1$  costante dielettrica del mezzo relativa al vuoto.

**Alla luce di quanto detto la forza di Coulomb può essere espressa:**

$$F_{VUOTO} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F_{MEZZO} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



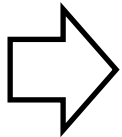
# ELETTROSTATICA

(Forza di Coulomb nella materia: approfondimenti)

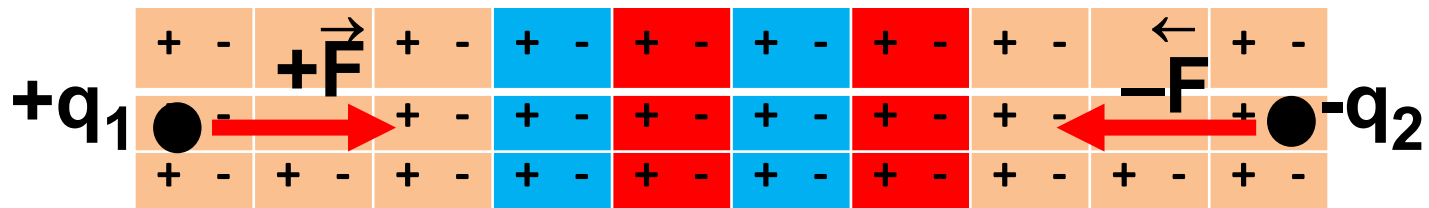
## Forza di Coulomb nel vuoto e nella materia – Schematizzazione



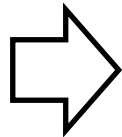
Nel vuoto



$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



Nella materia



$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

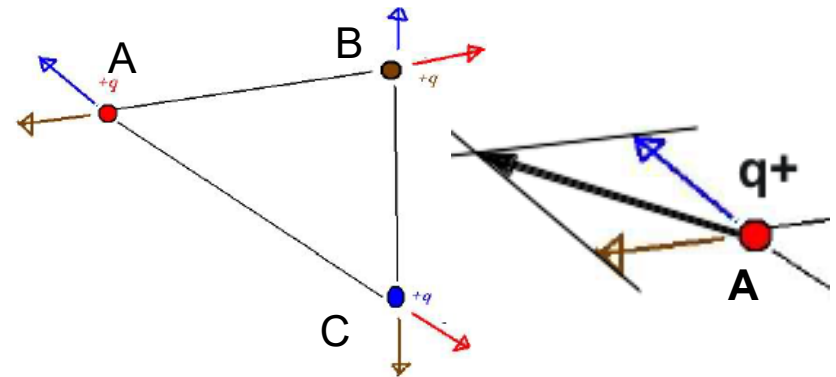
# ELETTROSTATICA

(Principio di sovrapposizione degli effetti)

L'esperienza mostra che per le cariche elettriche vale il **principio di sovrapposizione**

Se una carica  $q$  si trova in presenza di più cariche  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_N$ , la carica  $q$  subisce una forza pari alla somma delle forze che subirebbe in presenza di ciascuna carica singolarmente.

Esempio: Tre cariche elettriche uguali disposte a formare il triangolo isoscele ABC con la base  $AB=1/2$  del lato obliquo AC



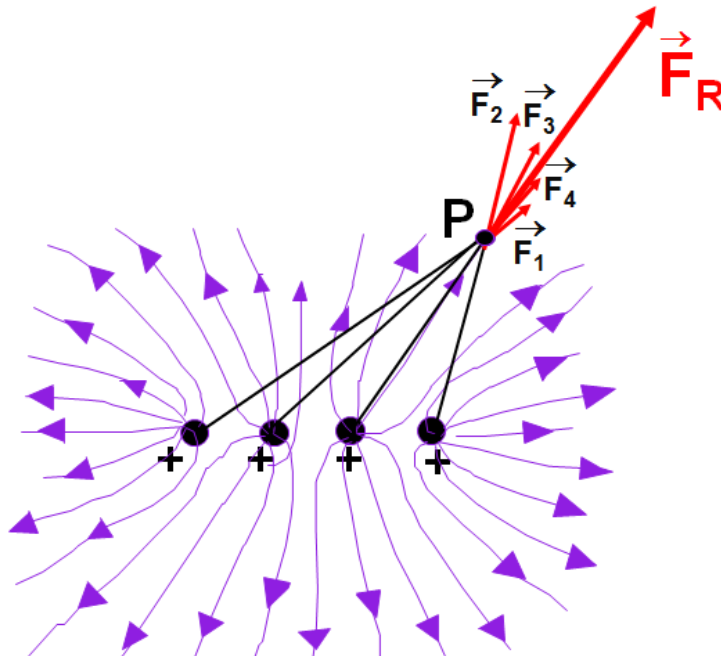
L'effetto globale sulla carica A è rappresentato dalla risultante delle due forze agenti sulla carica dovute alla carica B e C (sovrapposizione degli effetti)

# ELETTROSTATICA

(Principio di sovrapposizione degli effetti)

## PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE DEI CAMPI ELETTRICI

L'intensità del campo elettrico generato da un numero qualsiasi di cariche è uguale alla somma dei campi elettrici che le varie cariche genererebbero da sole.



$$\vec{F}_R = \sum_1^n \vec{F}_i$$

$$\vec{E}_R = \sum_1^n \vec{E}_i$$

# ELETTROSTATICA

## (Campo elettrostatico)

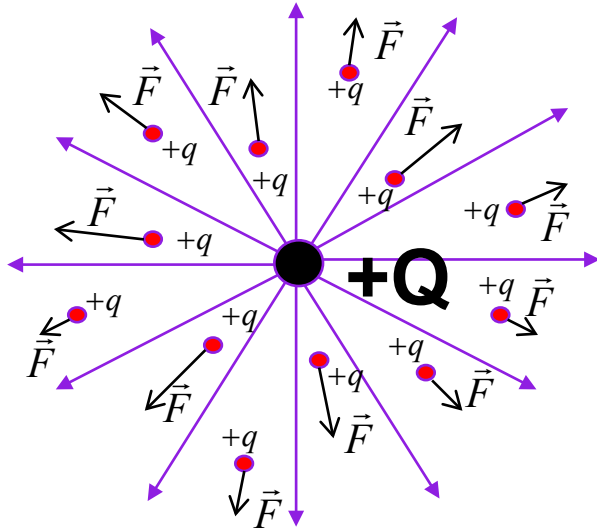
Qualsiasi corpo su cui si trovano cariche elettriche crea intorno a sé un **campo elettrico**. La difficoltà sta nel fatto che esso non è visibile all'occhio umano proviamo a metterlo in evidenza.

Allo scopo prendiamo una carica elettrica puntiforme **Q** essa genererà nella regione di spazio circostante un **CAMPO ELETTRICO**.

Per evidenziarlo ci serviamo di una piccola “carica di prova” **q+** (sempre positiva per convenzione) spostandola in più punti del campo si può intuire come è la sua forma.

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico)

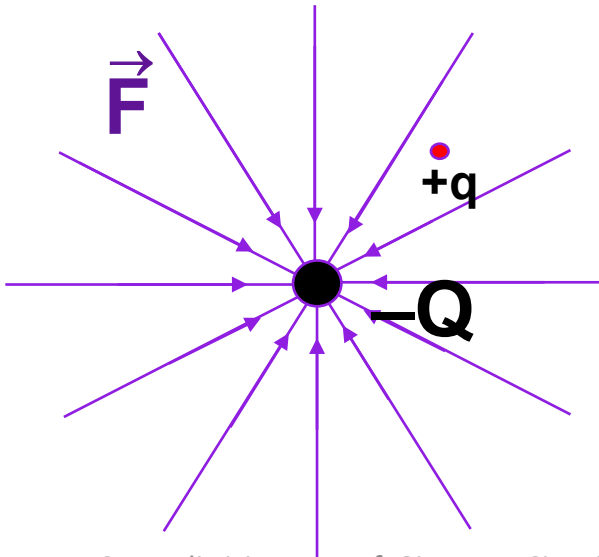


Come appena visto la forza che agisce sulla carica di prova:

- È sempre diretta radialmente
- Ha verso sempre uscente (verso l'esterno);
- ha intensità determinata dalla legge di coulomb che nel vuoto vale:

$$F = k_0 \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

**Campo radiale uscente**



Lo stesso ragionamento può essere fatto per il campo creato da una carica  $Q^-$  in questo caso la forza che agisce sulla carica di prova:

- È sempre diretta radialmente
- Ha verso sempre entrante (verso l'interno);

**Campo radiale entrante**

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Intensità)

Introducendo una nuova grandezza (che non dipenda dalla carica di prova come la forza di Coulomb) chiamata intensità del campo elettrico **E (vettore)** definita come:

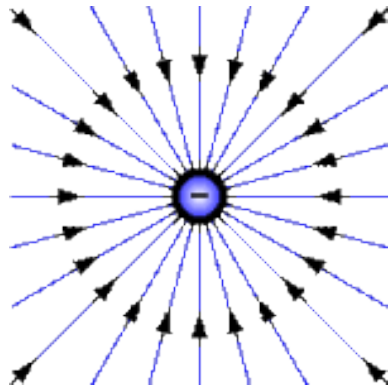
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

L'intensità del campo **E** è un vettore avente la stessa direzione della forza in quanto **q** è per definizione sempre positiva. L'unità di misura è:

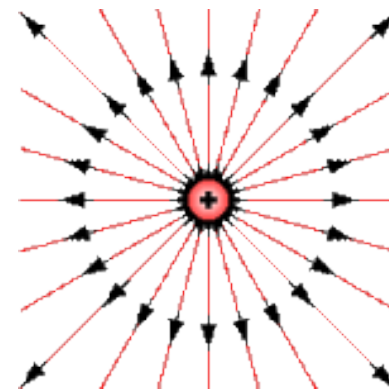
$$\left[ \frac{N}{C} \right]$$

Da questo si possono rappresentare graficamente i campi generati dalle due cariche elettriche  $Q+$  e  $Q-$

$Q- \rightarrow$  Campo radiale entrante



$Q+ \rightarrow$  Campo radiale uscente



# ELETTROSTATICA

(Campo elettrico: approfondimento- Intensità del )

Come appena visto l'intensità del campo elettrico è dato da:

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

Ricordando che la forza elettrostatica nel vuoto è data:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

Da cui si ricava:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2 \cdot q} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

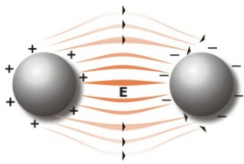
Ponendo:

$$K_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}$$

Si ha:

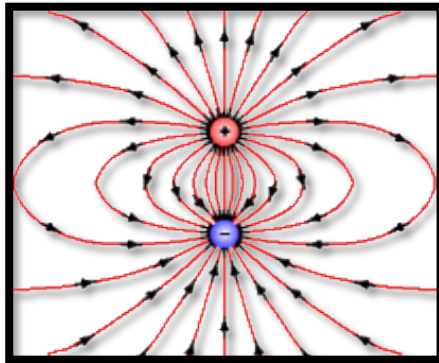
$$\vec{E} = K_0 \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Per quanto riguarda l'unità di misura si rimanda a quando si affronterà il potenziale elettrico



# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico di due cariche elettriche)

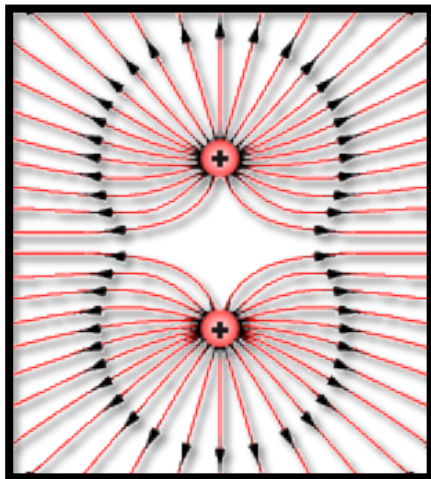


Linee di forza generate da due cariche opposte

Nel caso di due cariche di segno opposto le linee di forza che si verranno a formare saranno come quelle nella figura accanto.

Il sistema costituito dalle cariche opposte prenderà il nome di *dipolo elettrico*.

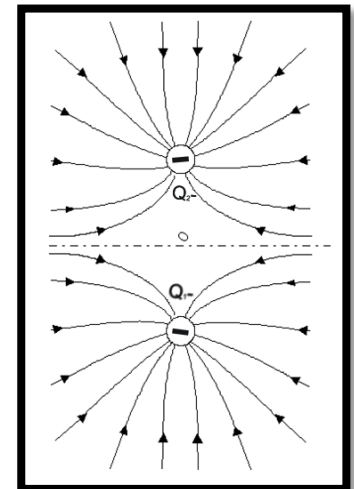
Le linee di forza che escono dalla carica positiva sono in uguale numero a quelle che entrano nella carica negativa.



Linee di forza generate da due cariche uguali

Nel caso di due cariche di segno uguale (+) le linee di forza che si verranno a formare saranno come quelle nella figura accanto.

Nel caso in cui le cariche sono tutte due negative il campo è entrante (-)





# ELETTROSTATICA

(Campo elettrico caratteristiche delle linee di forza )

Le linee di forza sono:

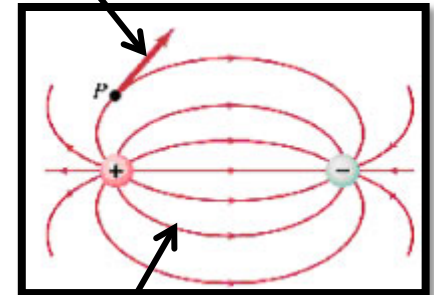
✓ quelle linee la cui **tangente** in ogni punto ha la stessa direzione del campo elettrostatico in quel punto.

✓ Esse non si incrociano mai, hanno direzione generalmente variabile e **verso sempre da una carica positiva ad una negativa**.

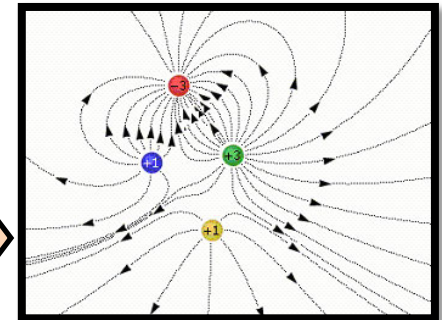
✓ Le linee di campo **non sono vettori**, ma **linee continue orientate** che nascono (o muoiono) nelle cariche sorgenti del campo.

Campo generato da quattro cariche tre positive e una negativa.

Forza elettrica



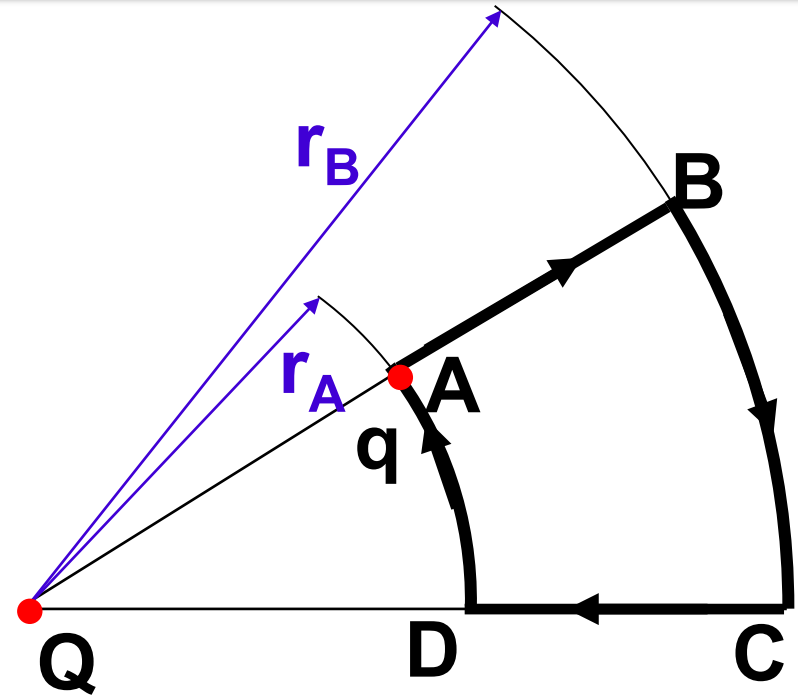
Linee di forza



# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Energia potenziale)

Per poter parlare di energia potenziale è necessario dimostrare che il campo elettrostatico è un campo di forze conservativo. Per questo prendiamo il campo creato da una **carica elettrica puntiforme**  $Q$  e facciamo spostare una carica di prova lungo ABCD (**percorso chiuso**) e **calcoliamo il lavoro**.



**Il lavoro eseguito dalla** forza elettrostatica lungo il percorso ABCD è la somma dei lavori dei singoli tratti AB,BC,CD,DA.

$$L = L_{ABCD} = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA}$$

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Energia potenziale)

**il lavoro eseguito dalla** forza elettrostatica, nel vuoto, lungo il percorso AB e CD è dato:

$$L_{AB} = K_0 \cdot q \cdot Q \cdot \left[ \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right] = -L_{CD} = L_1$$

**Mentre il lavoro eseguito dalla** forza elettrostatica lungo il percorso AC e DA è nullo in quanto forza e spostamento sono ortogonali

$$L_{BC} = L_{DA} = 0$$

**Sommando i lavori dei singoli tratti si ottiene:**

$$L_{ABCD} = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA} = L_1 + 0 - L_1 + 0 = 0$$

Si può concludere che il **lavoro** lungo una traiettoria chiusa in un campo elettrostatico è **nullo**.

Si può dimostrare che il lavoro **non dipende dalla traiettoria** seguito dalla carica ma dal **punto iniziale e finale**.

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Energia potenziale)

È chiaro quindi che il **campo elettrico è conservativo**.

Possiamo quindi parlare di **energia potenziale**.

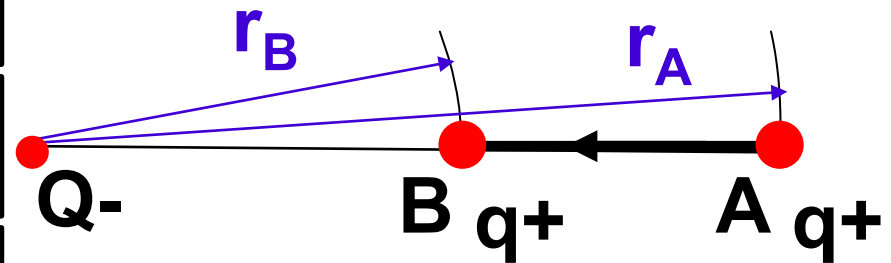
**Esempio per una carica puntiforme.**

Possiamo dimostrare che in A l'**energia potenziale**, ponendola uguale a zero all'infinito, è pari a:

Mentre in B l'energia potenziale pari è pari a:

Infatti il lavoro, nel voto, per portare la carica di prova **q+** da A a B è:

Lavoro nullo implica anche variazione di energia potenziale nulla e così si dimostra che una superficie equipotenziale



$$E_{P_A} = K_0 q \cdot Q \cdot \frac{1}{r_A}$$

$$E_{P_B} = K_0 q \cdot Q \cdot \frac{1}{r_B}$$

$$L_{AB} = K_0 q \cdot Q \cdot \left[ \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right]$$

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Potenziale elettrico)

Come già visto l'energia **potenziale elettrica** dipende dalla carica di prova.

È utile servirsi di una grandezza che sia indipendente della carica di prova e dipendente solo dal punto del campo elettrico, la grandezza è chiamata **potenziale elettrico** e vale:

**Si definisce potenziale elettrico il lavoro compiuto dalla forza elettrica per spostare la carica dall'infinito fino a quel punto.**

Sostituendo nell'equazione del potenziale elettrico quella dell'intensità del campo si ottiene:

$$V_A = \frac{E_{PA}}{q} = \frac{K_0 \cdot q \cdot Q \cdot \frac{1}{r_A}}{q}$$

$$\Rightarrow V_A = K_0 \cdot Q \cdot \frac{1}{r_A}$$

$$V_A = \frac{E_{PA}}{q}$$

$$V_A = - \frac{L_{A\infty}}{q}$$

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Potenziale elettrico)

**Il Potenziale Elettrico è una proprietà dello spazio e delle sorgenti di carica, come è il Campo Elettrico:**

✓  $V(x,y,z)$  è un campo scalare

✓ Il potenziale è funzione solo della posizione

**Per una carica puntiforme per il potenziale si ha:**

**Nella materia**

$$V_M(r) = \frac{E_{pr}}{q} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}$$

**Nel vuoto:**

$$V_V(r) = \frac{E_{pr}}{q} = K_0 \cdot \frac{Q}{r}$$

Mentre la differenza di potenziale nelle materia

$$\Delta V = V_B - V_A$$

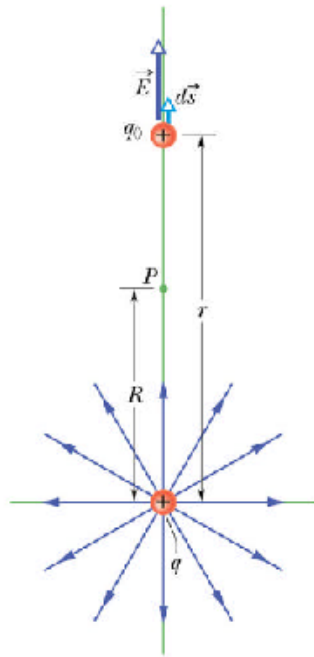
$$\Delta V = V_B - V_A = \left( \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r_B} \right) - \left( \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r_A} \right) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Potenziale elettrico)



La rappresentazione grafica del potenziale elettrico è rappresentato nelle figure seguenti rispettivamente per una carica positiva e negativa



Q+: repulsivo

Q -: attrattivo

La forza elettrica fa muovere le cariche positive da punti a potenziale maggiore verso punti a potenziale minore

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Potenziale elettrico)

Per muovere una carica in un campo  $E$ , dobbiamo applicare una forza eguale ed opposta a quella cui è soggetta la carica a causa della presenza del campo  $E$ .

Una carica positiva passerà da un potenziale più alto ad uno più basso guadagnando Energia Cinetica, ovvero la forza del campo elettrico compirà un lavoro.

Mentre una carica positiva passerà da un da un punto a potenziale più basso a quello più alto è necessario “spendere” energia – svolgere un lavoro esterno (ovvero la particella potrebbe perdere energia cinetica)



# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Potenziale elettrico-unità di misura)

Considerato che il potenziale elettrico è definito dal lavoro diviso la carica:

$$V_A = - \frac{L_{A\infty}}{q}$$

Unità di misura del **potenziale elettrico V** nel S.I. è  $\Rightarrow \left[ \frac{J}{C} \right] = [V]$

Energie molto piccole spesso vengono misurate in **[eV]** (elettronvolt):  
**1 [eV]** = energia corrispondente al lavoro richiesto per spostare una carica elementare **e** (elettrone o protone) attraverso una differenza di potenziale di **1[V]**.

$$1[eV] = (1 \cdot e) \cdot 1[V] = (1.60 \cdot 10^{-19}) [C] \cdot \left[ \frac{1J}{1C} \right] = 1.60 \cdot 10^{-19} [J]$$

# ELETTROSTATICA

(Campo elettrostatico: Intensità del campo e potenziale elettrico)

Ricordando che il potenziale in un punto A è:

$$V_A = K_0 \cdot Q \cdot \frac{1}{r_A}$$

E l'intensità del campo nello stesso punto è:

$$\vec{E}_A = K_0 \cdot \frac{Q}{r_A^2}$$

Da questo si può definire l'unità di misura dell'intensità del campo elettrico.

$$\vec{E}_A = K_0 \cdot \frac{Q}{r_A} \cdot \frac{1}{r_A} = V_A \cdot \frac{1}{r_A} = \frac{V_A}{r_A}$$

$$|\vec{E}_A| = \frac{V_A}{r}$$

$$E_r \Rightarrow \frac{\text{Volt}}{\text{metro}} = \left[ \frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

Unità di misura dell'intensità del campo elettrico  $\vec{E}$  nel S.I. =  $\frac{\text{Volt}}{\text{metro}} = \left[ \frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$

# ELETTROSTATICA

(Bastoni di ebanite e di vetro)



**Funzione:** Elettizzazione per strofinio.

Questi bastoni si elettrizzano fortemente.

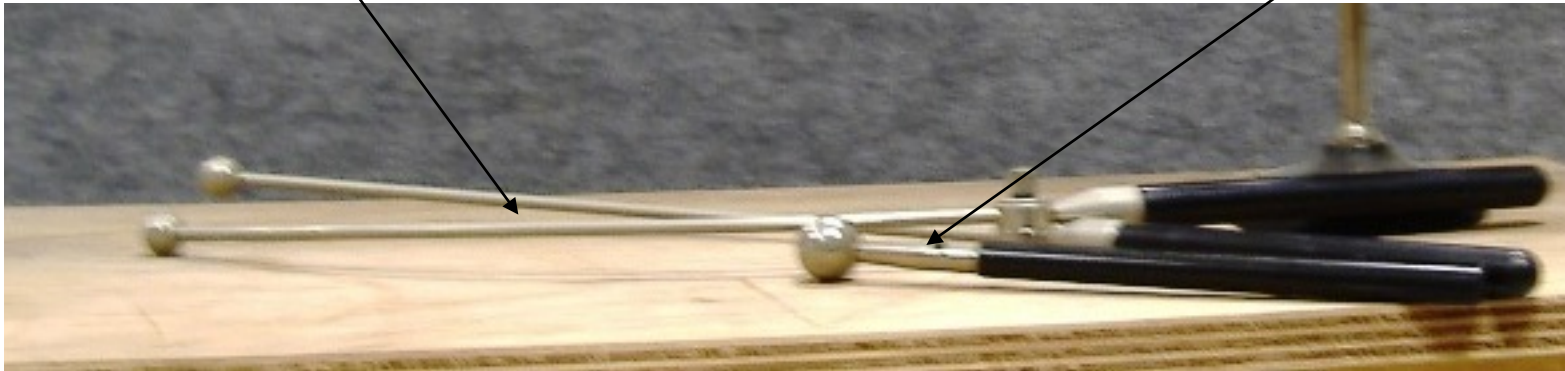
- ✓ Il bastone di ebanite é lavorato dall'ebanite grezza con pomice ed acqua.
- ✓ Il bastone di vetro è smerigliato per metà della sua lunghezza.
- ✓ Il bastone metallico con manico isolante serve per vedere il comportamento degli isolanti e dei conduttori.

# ELETTROSTATICA

(Sferette metalliche con manico isolante )

Doppia

Semplice



**Funzione:** Trasferimento di cariche.

Queste sfere metalliche hanno il gambo isolato.

- ✓ Sfera doppia montate tipo forbice.
- ✓ Sfera singola.

# ELETTROSTATICA

(Pendolino elettrico)

**Funzione:** Mette in evidenza le cariche elettriche

## **Descrizione**

Pendolo costituito da pallina di polistirolo appesa a filo seta o nylon.

Avvicinando alla pallina una bacchetta di plastica precedentemente elettrizzata, si osserva che la pallina si muove.

Se appendo due palline, e le elettrizzo, posso verificare che si allontanano.



# ELETTROSTATICA

(Elettroforo di A. Volta )

L'elettroforo, ideato da A. Volta intorno al 1775, rappresenta una prima rudimentale macchina elettrostatica a induzione in grado di accumulare e separare cariche elettriche.

È costituito:

- Da uno supporto;
- Da una lastra di resina fissato sul supporto;
- Da un disco metallico dotato di manico isolante (*scudo*).

Strofinando con pelle di gatto (o panno ) la lastra di resina si carica negativamente per strofinio.



# ELETTROSTATICA

(Elettroforo di A. Volta )

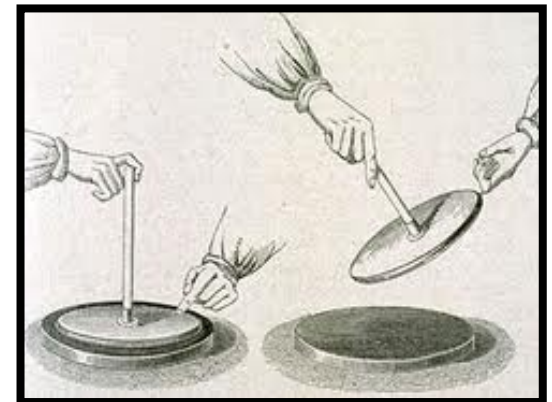
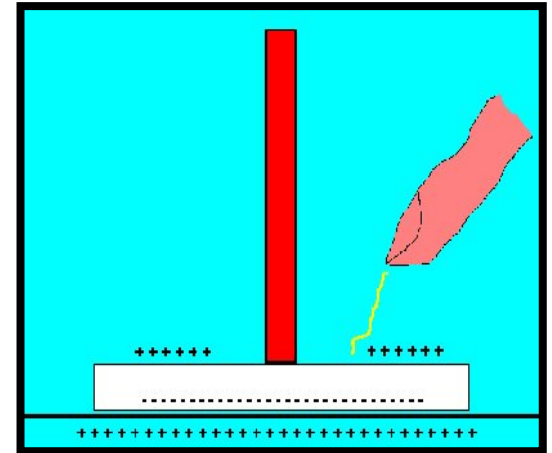
Si pone poi lo scudo a contatto con lo strato di resina.

Per induzione lo scudo si carica di segno positivo sulla faccia prospiciente la resina e di segno negativo sulla faccia superiore.

Toccando con un dito la faccia superiore, le cariche negative si scaricano a terra e scocca una scintilla.

Se si solleva lo scudo e si scarica l'elettricità positiva.

Lo scudo rimane così carico positivamente.



# ELETTROSTATICA

(Elettroscopio a foglioline d'oro)

È formato da una ampolla di vetro

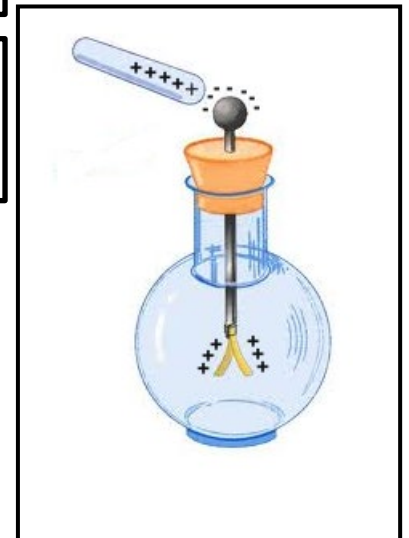
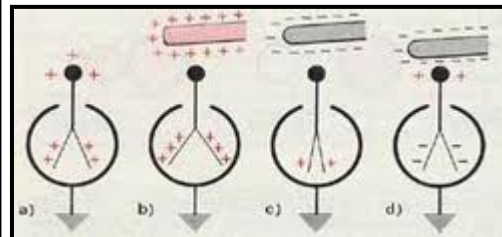
Strofinando la bacchetta di ebanite con uno straccio di lana o altro, avvicinarla allo strumento:

Si osserva che le foglioline divergono dalla posizione verticale, in funzione della carica della bacchetta e della distanza.

Rimangono divergenti se la bacchetta si ferma e si riavvicinano quando si allontana la bacchetta.

In figura:

- a) Elettroscopio carico positivamente;
- b) Ritoccato con bacchetta positiva si ricarica di più;
- c) Avvicinando senza toccare una bacchetta carica negativamente
- d)



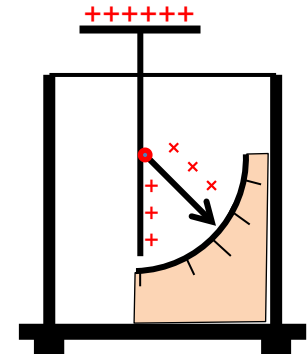
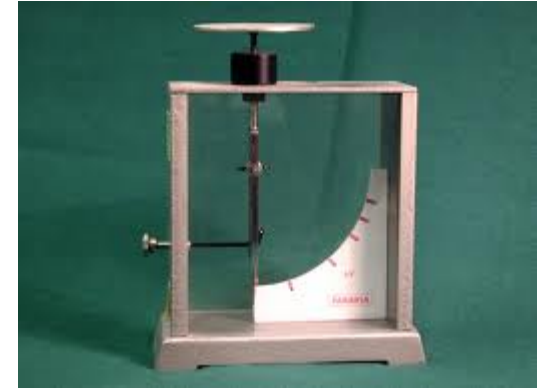


# ELETTROSTATICA

(Elettrometro)

Presente una lancetta che si muove lungo un quadrante, sotto l'azione della repulsione elettrostatica.

Toccando l'elettrodo con una bacchetta strofinata, la lancetta si solleva, e a secondo, della tacca indicate sulla scala, dove si ferma è possibile eseguire una valutazione qualitativa della quantità di carica depositata su di essa.



# ELETTROSTATICA

(Sfera di Coulomb )

**Funzione:** Mostrare la distribuzione della carica elettrica nei metalli.

## **Descrizione**

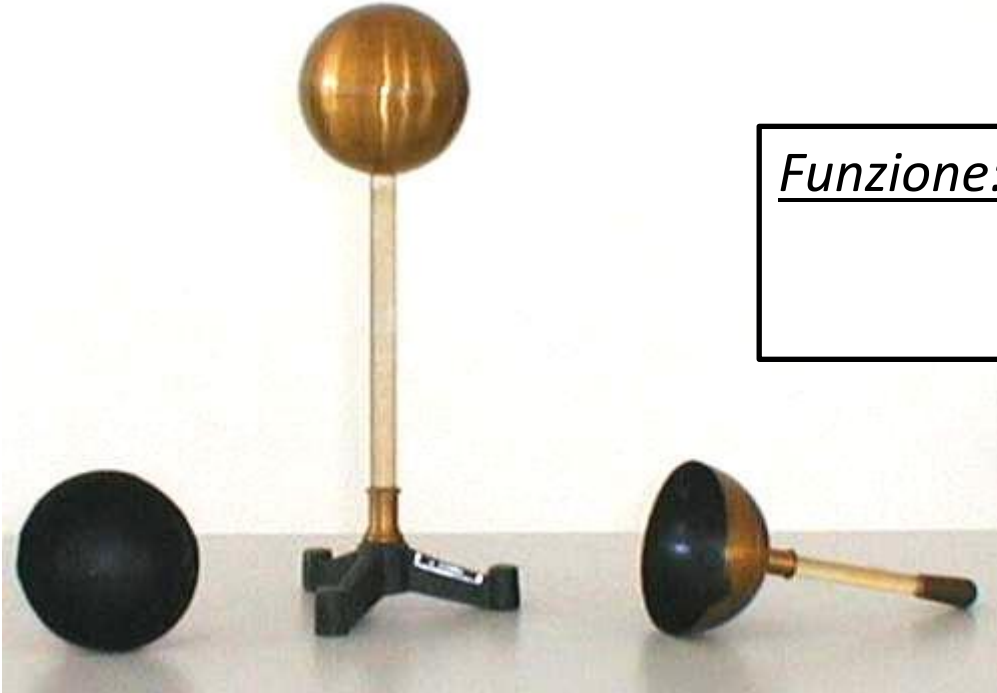
Con apertura superiore e piano di prova per le esperienze sulla distribuzione superficiale della carica elettrica. Caricata in un modo qualunque una piccola sfera isolata e introdotta nell'interno della sfera, si potrà dopo verificare che la carica portata sulla superficie interna è totalmente passata sulla superficie esterna.



# ELETTROSTATICA

(Sfera isolata ed emisferi di Cavendish)

Funzione: Mostrare la distribuzione superficiale della carica elettrica nei metalli.



Comprende una sfera metallica isolata e due emisferi cavi con impugnature isolanti, che coprono esattamente la sfera. Se le due calotte vengono staccate contemporaneamente, la carica posseduta dalla sfera si trasferisce sulle due calotte.

# ELETTROSTATICA

(Pozzo di Beccaria-Faraday)

**Funzione: Mostrare la distribuzione della carica elettrica nei metalli.**



## Descrizione

Un contenitore cilindrico metallico é sospeso tramite dei fili a tre colonnine poste ad angolo di 120 gradi. Inoltre é presente un coperchio a doppia parete, che si adatta al cilindro e che sostiene una sfera metallica isolata con bacchetta di materiale isolante scorrevole a frizione lungo l'asse del coperchio.

Ponendo all'interno del cilindro la sfera carica, la superficie esterna si carica per induzione per cui le palline dei pendolini vengono attratte.

Se poi si mette a contatto la sfera con la parte interna del cilindro si potrà constatare che tutta la sua carica è passata nel cilindro.

# ELETTROSTATICA

(Apparecchio di Riess)

**Funzione:** Mostrare la distribuzione delle cariche indotte.

## **Descrizione**

Il sostegno isolante su treppiede porta una sfera isolata, uno schermo dielettrico di vetro verniciato, e un conduttore cilindrico isolato con tre pendolini. In corrispondenza delle due estremità e della regione mediana (neutra) del conduttore. Una carica positiva sulla sfera determina una carica negativa indotta nella regione più bassa del conduttore cilindrico e una carica positiva nella parte superiore, cosicché divergono i due pendolini estremi e rimane a posto quello di mezzo.

La natura delle cariche indotte si può verificare accostando successivamente ai due pendolini estremi un bastone di ebanite e di vetro strofinati.

Se invece si tocca con la mano il conduttore cilindrico, allora esso viene a far parte di un grande conduttore che comprende la persona dell'operatore e la terra. La parte più vicina alla sfera influenzante sarà dunque il conduttore cilindro e la mano dell'operatore, e su di esso si avrà la carica indotta opposta a quella della sfera.

Difatti, se si allontana la mano e nello stesso tempo si scarica la sfera, i tre pendolini si alzano e tutto il conduttore cilindrico presenta carica contraria a quella della sfera.



# ELETTROSTATICA

(Conduttore cilindrico isolato)

**Funzione:** Mostrare la distribuzione delle cariche indotte.



## **Descrizione**

**E formato da un cilindro metallico su supporto isolante e pendolini alle due estremità. Serve per esperienze sulle cariche indotte e sulla densità elettrica alla superficie di un conduttore che presenta diverse curvature.**

# ELETTROSTATICA

(Scampanio elettrico)

**Funzione:** Mostrare le attrazioni e repulsioni elettriche.



## **Descrizione**

Su una base rettangolare di legno sono poste due astine di materiale isolante ai cui estremi stanno due campanelli. Un piccolo battente in metallo pende da una terza asta posta tra le altre due.

Collegando i campanelli ai poli di una macchina elettrostatica il battente viene attratto alternativamente dai due campanelli.

Se uno dei campanelli viene posto a terra e l'altro caricato per contatto l'oscillazione va man mano diminuendo. Ciò perché il campanello caricato va perdendo la sua carica elettrica.

# ELETTROSTATICA

(Scampanio elettrico)

**Funzione:** Mostrare le attrazioni e repulsioni elettriche.

## Descrizione



Un campanello è ancorato ad un asta verticale. Altre due campanelli sono sospesi ai lati del primo. Tra di loro pendono due palline metalliche.

Collegando a terra il campanello centrale ed ad una macchina elettrostatica quelli laterali, le due palline vengono caricate per induzione ed attratte da questi ultimi e poi respinte verso il campanello centrale perché si caricano dello stesso segno. A contatto col campanello centrale si scaricano e si ripete il ciclo.



# ELETTROSTATICA

(Bilancia di torsione)

**Funzione:** Per la misura di piccolissimi momenti di rotazione, delle forze in un campo omogeneo, nel campo magnetico prodotto da conduttori percorsi da corrente.



## **Descrizione**

E' formata da un telaio su piastra base pesante con sostegno per l'oggetto in esperimento. Ha una testa di torsione con cerchio graduato. Un recipiente ed un banderuola per lo smorzamento. Uno specchio concavo per evidenziare la rotazione.

# ELETTROSTATICA

(Generatore a nastro)

## Funzione

Fornisce delle correnti di bassissima intensità ad alta tensione.



## Descrizione

Il conduttore è sorretto da due colonne di Plexiglass montate su base di materiale sintetico pressato, nella quale si trova il motore che fa ruotare il nastro. La velocità di rotazione del motore è regolabile. L'elettrodo ad alta tensione è una specie di gabbia di Faraday in rete metallica con boccia da 4 mm. Il contro elettrodo viene collegato mediante una boccia collegata alla base.

# ELETTROSTATICA

(Bottiglia di Leyda scomponibile)

**Funzione:** Studiare le caratteristiche della bottiglia.



## Descrizione

Armatura di lamiera di acciaio inox. Impugnatura per sollevare dall'apparecchio l'armatura interna. Si carica; la bottiglia nel modo comune e la si scarica con l'eccitatore, facendo osservare la lunghezza della scintilla. Si ripete la carica e si depone la bottiglia sul tavolo. Facendo uso dell'impugnatura isolante annessa, si estrae l'armatura interna e la si scarica. Si toglie il bicchiere, prendendolo solo per l'orlo, e lo si posa sul tavolo o meglio su una lastra isolante, e si scarica l'armatura esterna. In ultimo si ricomponne la bottiglia, avendo cura di introdurre l'armatura interna sostenendola con l'impugnatura isolante. Accostando l'eccitatore, si ottiene ancora una scintilla quasi uguale a quella osservata prima. E ovvio notare che l'esperienza riesce bene in ambiente secco e ventilato.

# ELETTROSTATICA

(Apparecchio di Riess )

**Funzione:** Mostrare la distribuzione delle cariche indotte.

## **Descrizione**

Il sostegno isolante su treppiede porta una sfera isolata, uno schermo dielettrico di vetro verniciato, e un conduttore cilindrico isolato con tre pendolini. In corrispondenza delle due estremità e della regione mediana (neutra) del conduttore. Una carica positiva sulla sfera determina una carica negativa indotta nella regione più bassa del conduttore cilindrico e una carica positiva nella parte superiore, cosicché divergono i due pendolini estremi e rimane a posto quello di mezzo.

La natura delle cariche indotte si può verificare accostando successivamente ai due pendolini estremi un bastone di ebanite e di vetro strofinati.

Se invece si tocca con la mano il conduttore cilindrico, allora esso viene a far parte di un grande conduttore che comprende la persona dell'operatore e la terra. La parte più vicina alla sfera influenzante sarà dunque il conduttore cilindro e la mano dell'operatore, e su di esso si avrà la carica indotta opposta a quella della sfera.

Difatti, se si allontana la mano e nello stesso tempo si scarica la sfera, i tre pendolini si alzano e tutto il conduttore cilindrico presenta carica contraria a quella della sfera.



# ELETTROSTATICA

(Isolatore Mascart)

**Funzione:** Isolamento in varie esperienze.



## **Descrizione**

Modello a piatto metallico sostenuto da una colonna di vetro, che si eleva dal fondo del recipiente destinato a contenere l'acido solforico concentrato. E' il migliore sostegno isolante conosciuto. Quando l'apparecchio è fuori d'uso conviene liberarlo dall'acido solforico, che per l'umidità dell'aria si diluisce rapidamente e deve quindi essere sostituito.

# ELETTROSTATICA

(Sgabello isolante)

**Funzione:** Isolamento in varie esperienze.



## **Descrizione**

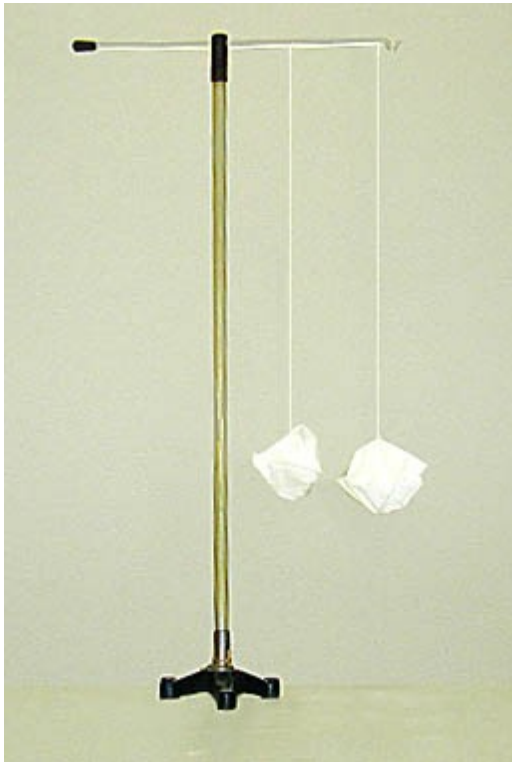
Lo sgabello ha un piano di legno con attestature. I quattro piedi di vetro sono fissati con ghiera di ottone. Con questo sgabello si può elettrizzare, per strofinio, una persona eretta su di esso.

La persona toccherà con un dito la pallina o il piatto di un elettroscopio, mentre i suoi abiti vengono battuti a colpi rapidi con un pannolano o con una pelle di gatto.

# ELETTROSTATICA

(Pendolino elettrico a cestelli di carta)

**Funzione: Utile in varie esperienze di elettrostatica**



## **Descrizione**

E' formato da leggerissimi palloncini di carta velina. Il piede è di metallo. La colonna è una bacchetta di vetro verniciato, con raccordo di ebanite ed asticella scorrevole. Il sostegno ha grandi dimensioni per non agire induttivamente sui pendolini elettrizzati ed è scomponibile. I fili di sospensione sono in seta e partono da un anello metallico, che serve per trasportare ed appendere i palloncini al gancio terminale dell'asticella.

# ELETTROSTATICA

(Rete metallica)

**Funzione:** Mostrare la distribuzione della carica elettrica nei metalli.

## **Descrizione**

Una rete di ottone pieghevole è munita sulle due facce di numerose strisce di carta velina colorate in modo differente. La rete è sostenuta da due piedi isolanti molto pesanti, in modo che essa conserva la forma che le si dà, e cioè piana, concava e ad S. Con una catenella si unisce la rete col conduttore di una macchina elettrostatica, e si osserva che nel primo caso (rete piana) le strisce di carta si sollevano sulle due facce; nel secondo caso si sollevano solo quelle della faccia esterna (superficie convessa); anzi, con opportuna rotazione dei sostegni sul loro asse, durante l'esperienza si può rovesciare la rete e allora si vedranno alzarsi le strisce che prima erano basse e viceversa; nel terzo caso, della stessa faccia metà delle strisce si alzeranno e metà rimarranno basse. Questo apparecchio molto semplice è il più sicuro e comodo per dimostrare che la carica elettrica si distribuisce sulla superficie esterna dei conduttori.





# ELETTROSTATICA

(Gabbia di Faraday)

**Funzione:** Mostrare che la carica sulla superficie di un conduttore non esercita alcuna azione nei punti interni ad esso.



## **Descrizione**

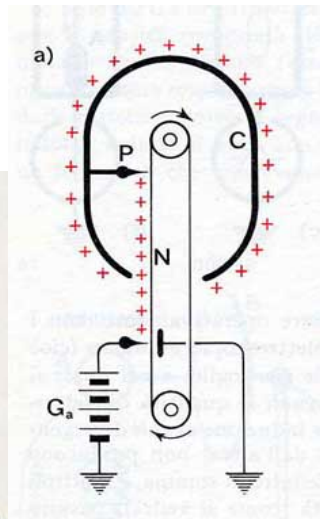
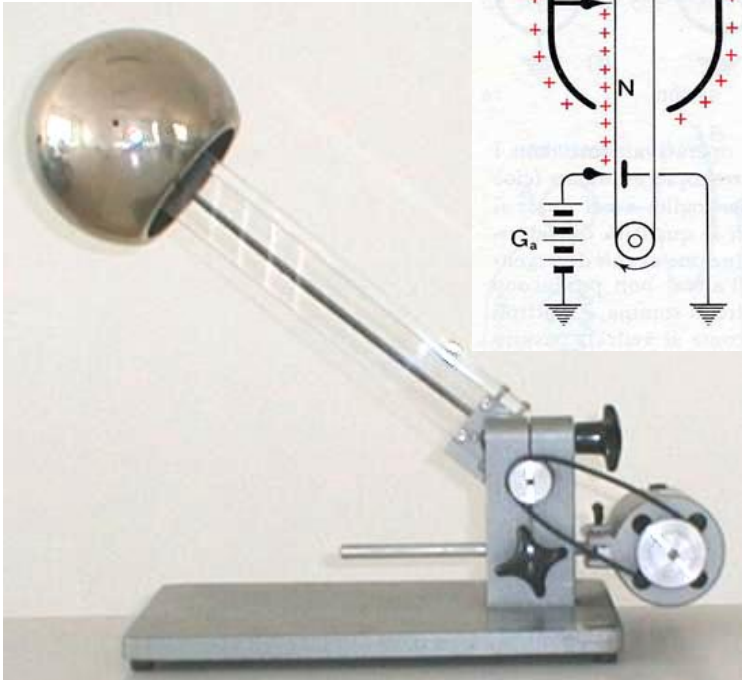
La gabbia è formata da una rete metallica cilindrica che termina con una calotta sferica.

Le esperienze servono a provare che all'interno della gabbia non esistono fenomeni di induzione, né forza elettrica, né cariche elettriche.

# ELETTROSTATICA

(Generatore a nastro -Van der Graaf. )

**Funzione:** Fornisce delle correnti di bassissima intensità ad alta tensione.



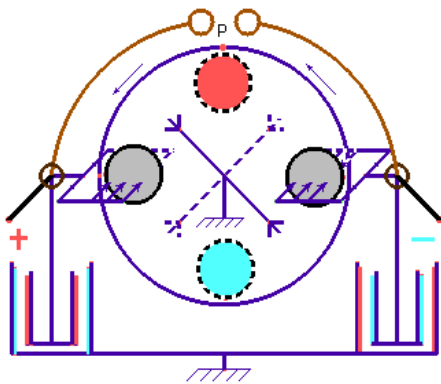
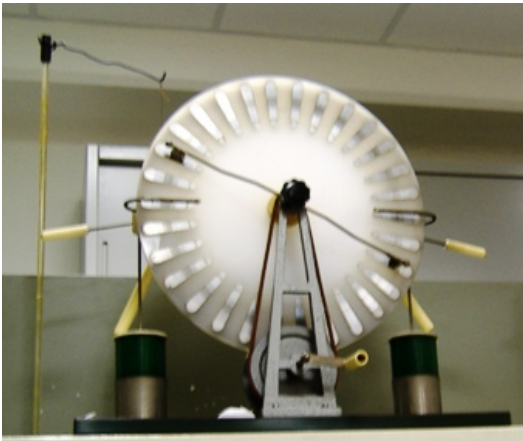
## Descrizione

Il conduttore è sorretto da due colonne di Plexiglass montate su base di materiale sintetico pressato, nella quale si trova il motore che fa ruotare il nastro. La velocità di rotazione del motore è regolabile. L'elettrodo ad alta tensione è una specie di gabbia di Faraday in rete metallica con boccola da 4 mm. Il contro elettrodo viene collegato mediante una boccola collegata alla base.

# ELETTROSTATICA

(Macchina di Wimhurst )

**Funzione:** Generatore di cariche - Macchina di Wimshurst



Schema di funzionamento della macchina di Wimshurst

## Descrizione

La **macchina di Wimhurst** serve per generare scariche elettriche e per accumulare cariche dentro opportuni condensatori. Consiste di due dischi isolati ricoperti di strisce d'alluminio, che vengono posti in movimento da una manovella uno in senso contrario all'altro. Su entrambi i lati sono sistemate due aste metalliche che terminano con due spazzole (in basso a destra), aiutata da alcune punte metalliche (in alto a destra) a raccogliere tutta l'elettricità statica dovuta allo sfregamento. Le cariche così raccolte vengono accumulate dentro le due bottiglie di Leyda visibili in basso a sinistra.

# ELETTROSTATICA

(Elettroscopio a foglie d'oro)

**Funzione:** Mette in evidenza le cariche elettriche



## **Descrizione:**

È costituito da una bottiglia di vetro, con tappo isolante, nel quale è presente un foro, attraverso il quale passa un'asta verticale conduttrice che porta, in fondo, due sottilissime lastre d'oro.

Toccando con un corpo carico l'estremità uscente dell'asta, si osserva che le foglie si separano, perché si elettrizzano per contatto con cariche del medesimo segno fra le quali si esercitano forze repulsive

L'elettroscopio a foglie, se dotato di una scala graduata per misurare la separazione delle foglie, permette di dare una **definizione operativa** di carica elettrica

# ELETTROSTATICA

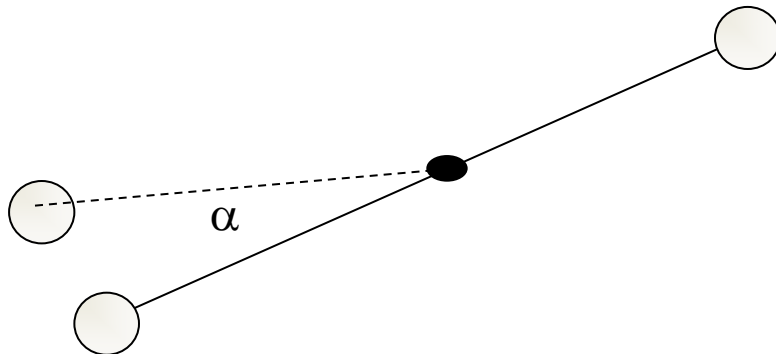
(Bilancia di torsione)

**Funzione:** Mette in evidenza le cariche elettriche

## Descrizione:

Bilancia appesa a un filo, con una pallina conduttrice e un contrappeso. Altra pallina conduttrice fissa.

Misurando di quanto ruota il manubrio su una scala graduata (misura di  $\alpha$ ), si risale all'intensità della forza.



# ELETTROSTATICA

(Condensatore di Epino a piastre mobili)

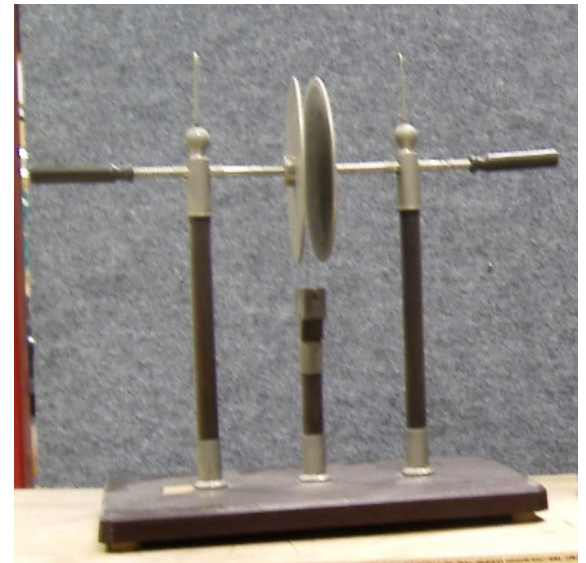
**Funzione:** Accumulo di cariche elettriche

**Descrizione:**

È un condensatore piano, la cui capacità dipende dalla distanza fra i due dischi e dal dielettrico interposto.

Si verifica la variazione della capacità caricando uno dei dischi con una macchina elettrostatica, mettendo il secondo a terra e usando un elettroscopio.

Se si collegano i dischi con i poli di una macchina elettrostatica, vengono ad accumularsi cariche uguali ma di segno opposto. Situate in massima parte sulle facce interne dei piatti, sugli spigoli dei piatti.



# ELETTROSTATICA

## (Campo elettrico: Esercizi)

### Esercizio: 1

Come varia l'intensità della forza **F** se una delle due cariche elettriche raddoppia la sua intensità?

### Soluzione

$$\text{Dati: } Q_1 \rightarrow Q_1 = 2Q_1$$

Se nella formula della legge sostituiamo al posto di  $Q_1$  la quantità  $2Q_1$ , otteniamo:

$$F' = k \frac{(2Q_1)Q_2}{r^2} = 2k \frac{Q_1Q_2}{r^2} = 2F$$

Concludiamo che l'intensità della forza elettrica **F raddoppia**.

### Esercizio: 2

Come varia l'intensità della forza **F** se entrambe le cariche elettriche raddoppiano la loro intensità?

### Soluzione

$$\text{Dati: } Q_2 = 2Q_2 \rightarrow Q_1 = 2Q_1$$

Se nella formula della legge sostituiamo al posto di  $Q_1$  e  $Q_2$ , rispettivamente, le quantità  $2Q_1$  e  $2Q_2$ , otteniamo:

$$F' = k \frac{(2Q_1)(2Q_2)}{r^2} = 4k \frac{Q_1Q_2}{r^2} = 4F$$

Concludiamo che l'intensità forza elettrica **F quadruplica**.

# ELETTROSTATICA

## (Campo elettrico: Esercizi)

### Esercizio: 3

Due cariche puntiformi  $Q_1$  e  $Q_2 = 7[C]$  sono poste a una distanza di  $3[m]$ . Calcolare l'intensità della carica  $Q_1$  sapendo che il modulo della forza elettrica è di  $F = 1 \cdot 10^6[N]$ .

### Soluzione

$$\text{Dati: } Q_1=Q_2= 7 [C]$$

$$r=3[m]$$

$$F= 1 \cdot 10^6[N]$$

Dall'espressione della legge di Coulomb si ottiene:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Rightarrow Q_1 = \frac{F \cdot r^2}{k \cdot Q_2}$$

Sostituendo i dati si ha:

$$Q_1 = \frac{10^6 \cdot 9}{9 \cdot 10^9 \cdot 7} = \frac{10^6}{7 \cdot 10^9} = \frac{1}{7} \cdot \frac{10^6}{10^9} = 0,14 \cdot 10^{6-9} = 0,14 \cdot 10^{-3} = 1,4 \cdot 10^{-4}C$$

### Esercizio: 4

Determinare la distanza tra due cariche puntiformi  $Q_1 = 6[C]$  e  $Q_2 = 5[C]$  sapendo che interagiscono con una forza pari a  $F = 1 \cdot 10^{12} [N]$ .

### Soluzione

$$\text{Dati: } Q_1= 6 [C]$$

$$Q_2= 5 [C]$$

$$F= 1 \cdot 10^{12}[N]$$

Dall'espressione della legge di Coulomb si ottiene:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Rightarrow r^2 = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{F} \Rightarrow r = \sqrt{k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{F}}$$

Sostituendo i dati si ha:

$$r = \sqrt{9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 5}{10^{12}}} = \sqrt{270 \cdot 10^{9-12}} = \sqrt{270 \cdot 10^{-2}} = \sqrt{20 \cdot 10^{-2}} = 5,1 \cdot 10^{-1} = 0,51m = 51cm$$



# ELETTROSTATICA

(Campo elettrico: Esercizi)

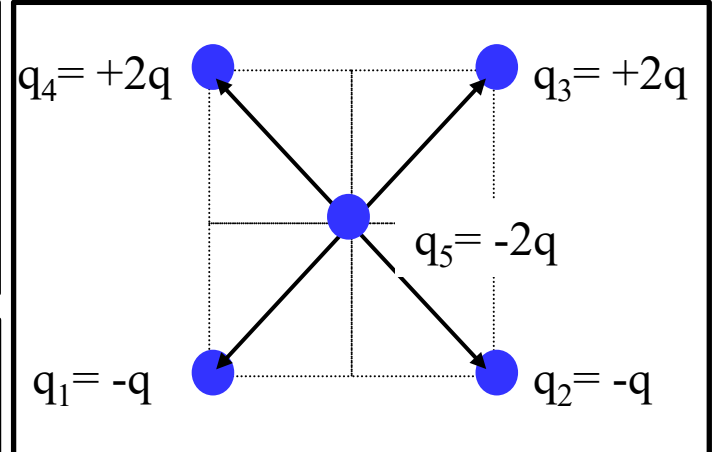
## Esercizio: 5

Date cinque cariche disposte nello spazio come in figura, calcolare la forza che agisce sulla carica centrale sapendo che  $q=2\text{[C]}$  ed il quadrato ha il lato di  $2\text{ [cm]}$

**Dati:**  $q=2\text{[C]}$

$2q=4\text{[C]}$

$L=2\text{ [cm]}$



## Soluzione

Sulla carica centrale agiranno quattro forze dovute alle quattro cariche ai vertici del quadrato il modulo si determina con Coulomb.

$$F_{1,5} = k \frac{Q_1 \cdot Q_5}{r^2} = 8,99 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 4}{0,0141^2} = 3,62 \cdot 10^{14} \text{ [N]}$$

$$F_{3,5} = k \frac{Q_3 \cdot Q_5}{r^2} = 8,99 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 4}{0,141^2} = 7,19 \cdot 10^{14} \text{ [N]}$$

$$F_{2,5} = F_{1,5} = 3,62 \cdot 10^{14} \text{ [N]}$$

$$F_{4,5} = F_{3,5} = 7,24 \cdot 10^{14} \text{ [N]}$$

La direzione delle forze sono quelle delle diagonali del quadrato (retta congiungente le due rispettive cariche)

# ELETTROSTATICA

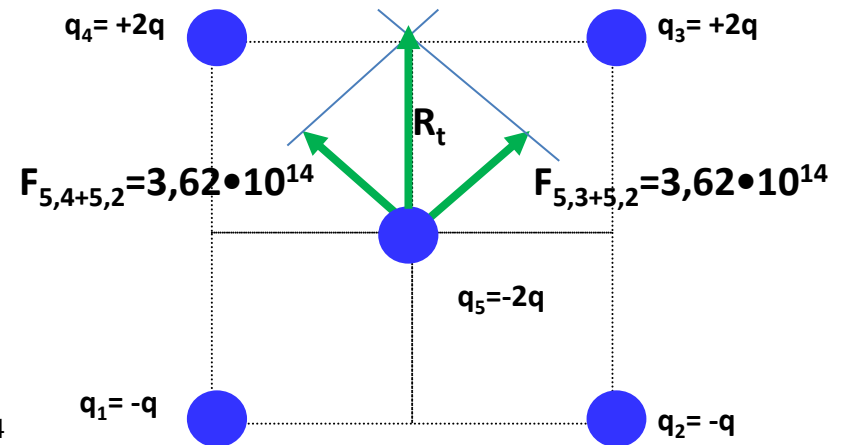
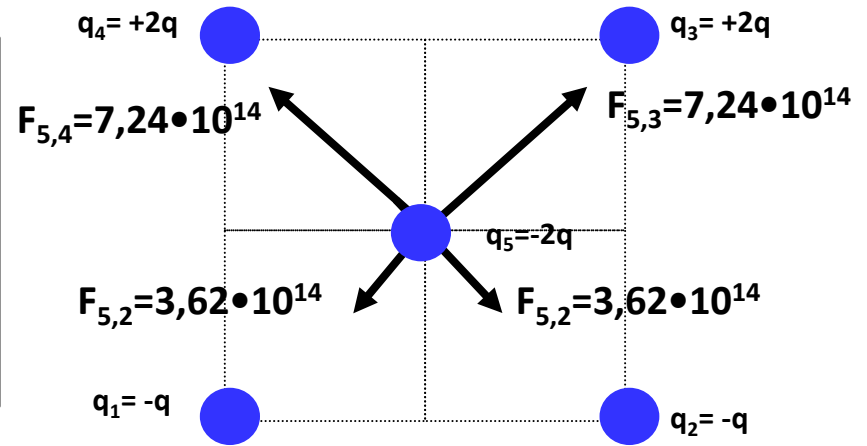
## (Campo elettrico: Esercizi)

Per determinare la risultante si può adoperare il metodo grafico. Per semplificare le forze  $F_{5,4}$  e  $F_{5,2}$  Sono contrapposte come le forze  $F_{5,3}$  e  $F_{5,2}$  di conseguenza sommandole si ottengono due forze di intensità pari a  $3,62 \cdot 10^{14}$  N

La risultante totale è ottenuta sommando le forze  $F_{5,4+5,2}$  e  $F_{5,3+5,2}$  pari a  $3,62 \cdot 10^{14}$  N

Utilizzando il teorema di Pitagora si ottiene:

$$R_t = \sqrt{(3,62 \cdot 10^{14})^2 + (3,62 \cdot 10^{14})^2} = 5,12 \cdot 10^{14}$$



# ELETTROSTATICA

## (Campo elettrico: Esercizi)

### Esercizio: 6

Si determini la differenza di potenziale  $V_f - V_i$ , muovendo una carica di prova dal punto iniziale al punto finale lungo un percorso parallelo alla direzione di campo. I due punti iniziale e finale si trovano sulla stessa linea di un campo elettrico uniforme ad una distanza di  $d=5$  [cm] e l'intensità del campo  $E=5$  [V/m].

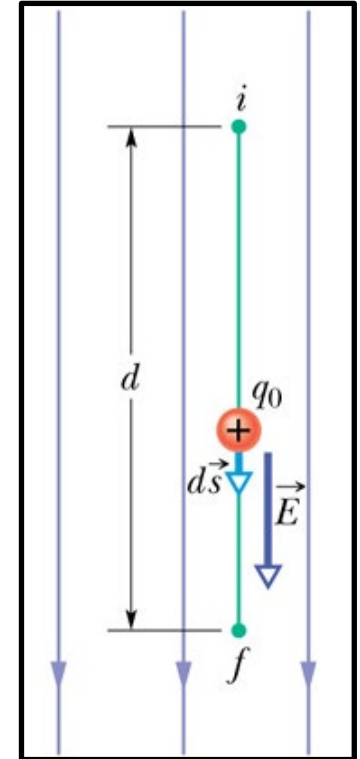
**Dati:**  $d=5$  [cm]=0,05 [m]

$E=5$  [V/m]

### Soluzione

$$L_{f,i} = F \cdot d = V_f - V_i = E \cdot d = 5 \cdot 0,05 = 0,25[V]$$

$$L = \vec{F} \cdot \vec{s} = q \vec{E} \cdot \vec{s} = q(V_B - V_A)$$



(a)

# ELETTROSTATICA

## (Campo elettrico: Esercizi)

### Esercizio: 7

Date tre cariche disposte su di una circonferenza di raggio  $r=6$  [cm] come in figura, calcolare la forza che agisce sulla terza carica sapendo che  $q=2$  [C] ed il quadrato ha il lato di 2 [cm]

**Dati:**  $q=2$  [C]       $3q=6$  [C]       $r=6$  [cm]

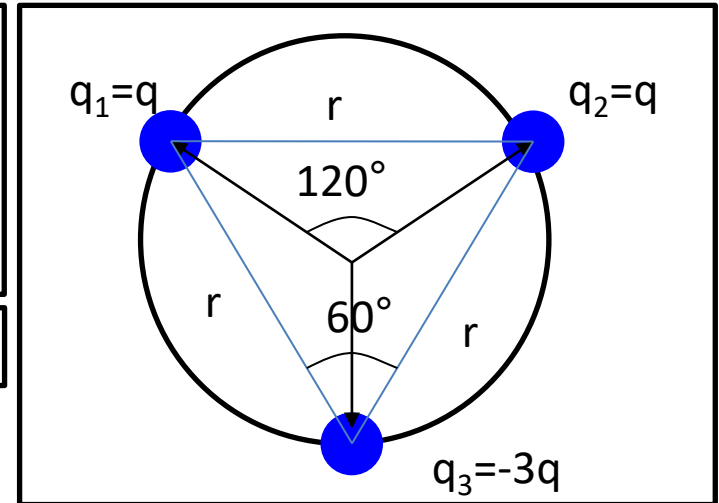
### Soluzione

Ricordando che la corda di un cerchio è data:

Sulla carica tre agiscono due forze dovute alle  $q_1$  e  $q_2$  il loro modulo si determina con Coulomb.

Sommando vettorialmente le due forze, ricordando che la risultante è la diagonale maggiore del rombo avente lato pari alla forza e angolo acuto uguale a  $60^\circ$

$$\text{Risultante} = 2 \cdot 1 \cdot \cos 30^\circ = 2 \cdot 0,06 \cdot \cos(30^\circ) = 0,10 \text{ [m]}$$



$$L. \text{ Corda} = 2 \cdot r \cdot \cos \alpha = 2 \cdot 0,06 \cdot \cos(60^\circ) = 0,06 \text{ [m]}$$

$$F_{3,1} = F_{3,2} = k \frac{Q_3 \cdot Q_1}{r^2} = 8,99 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 2}{0,06^2} = 3,00 \cdot 10^{13} \text{ [N]}$$

