

---

# **Forza Elettrica**

# **Campo Elettrostatico**

---

- Carica elettrica
- Confronto di cariche elettriche
- Legge di Coulomb
- Principio di sovrapposizione
- Campo elettrostatico
- Distribuzioni continue di carica elettrica

# Carica elettrica

- Esistono cariche **positive** e **negative**
- La carica elettrica esiste in quantità **discrete**
- La carica elettrica è **invariante** (non dipende dallo stato di moto dell'osservatore)
- La carica elettrica è **conservata** nelle interazioni in un sistema elettricamente isolato

*in un sistema elettricamente isolato la somma algebrica di tutte le cariche elettriche è costante*

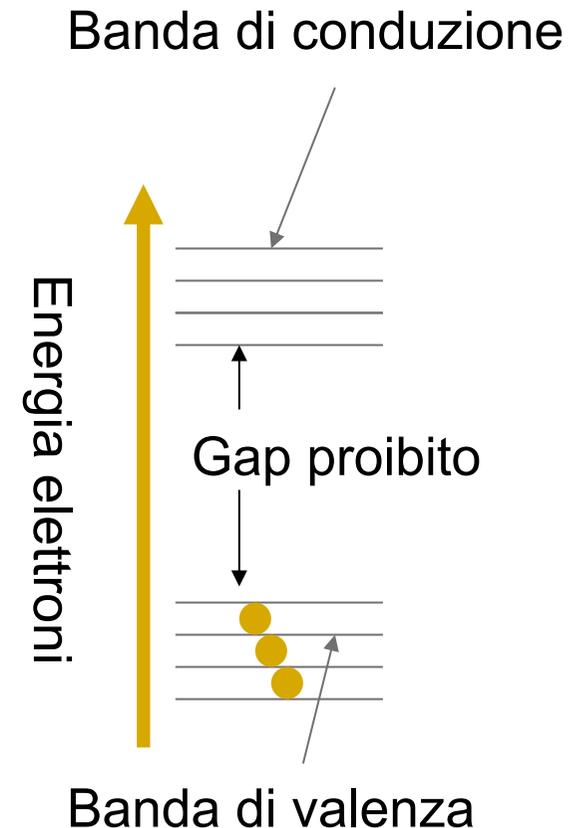
---

# Isolanti e conduttori

- **Conduttori:** non mantengono localizzata la carica elettrica. Elettroni di conduzione.
  - **Isolanti:** mantengono la carica elettrica.
    - Gap proibito tra **banda di valenza** e di **conduzione** molto ampio.
    - L'energia termica non è sufficiente a promuovere gli elettroni nella banda di conduzione.
-

# Isolanti e conduttori

- Gli elettroni più esterni sono quelli che forniscono i legami chimici (**elettroni di valenza**)
- La conduzione avviene quando gli elettroni hanno sufficiente energia cinetica per occupare la **banda di conduzione**



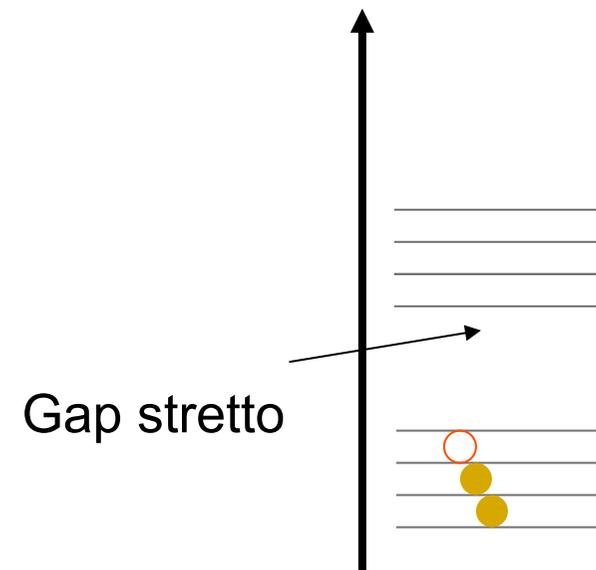
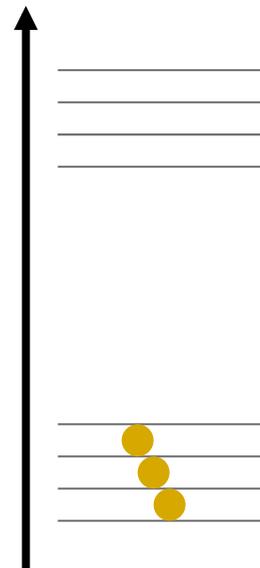
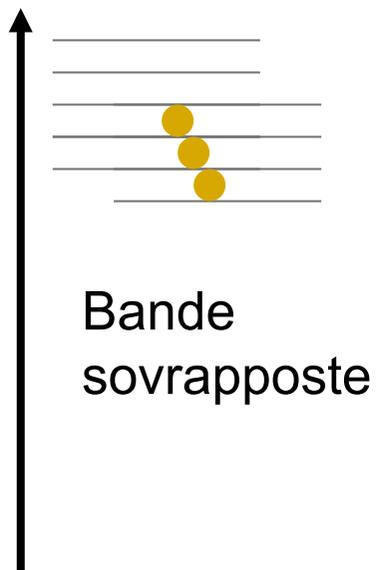
# Isolanti e conduttori

Conduttori:  
elettroni liberi

Isolanti ( $\text{SiO}_2$ )

Semiconduttori

Energia elettroni



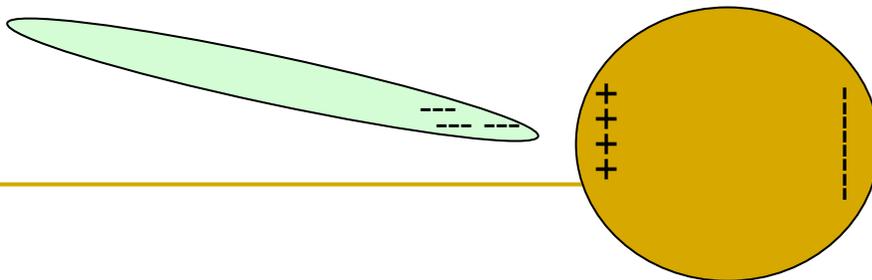
# Forza tra cariche e induzione elettrostatica

## ■ Forza tra cariche elettriche

- repulsiva (stesso segno)
- attrattiva (segno opposto)

## ■ Induzione elettrostatica

- avvicinando un **isolante carico** ad un **conduttore** gli elettroni liberi del conduttore sono attratti o respinti e si crea localmente un eccesso di carica elettrica di segno opposto a quella presente sull'isolante

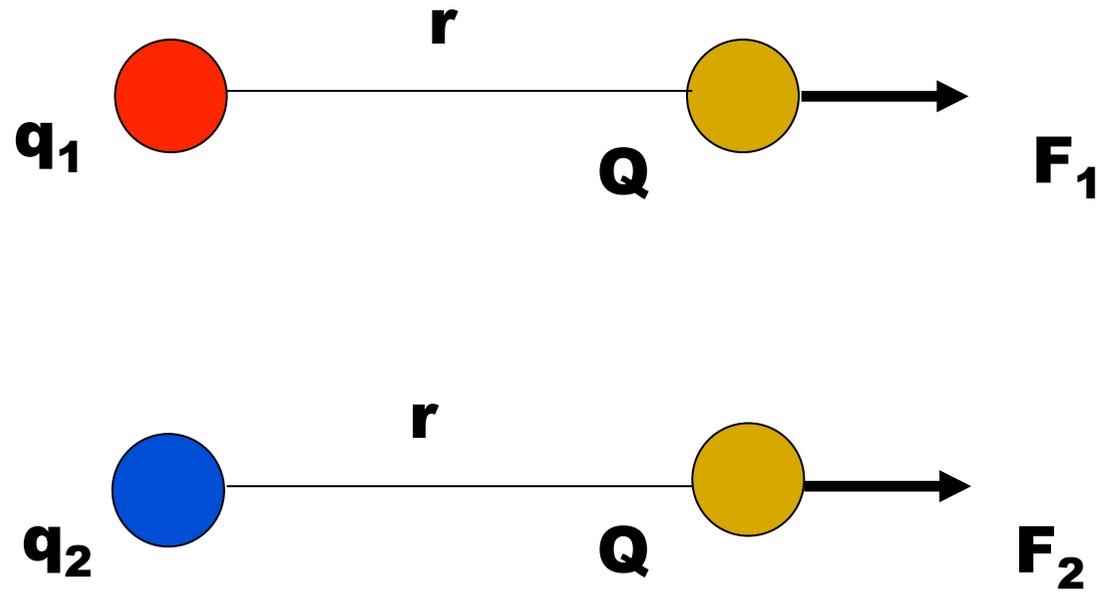


---

# **Elettroscopio: rivelazione di carica elettrostatica**

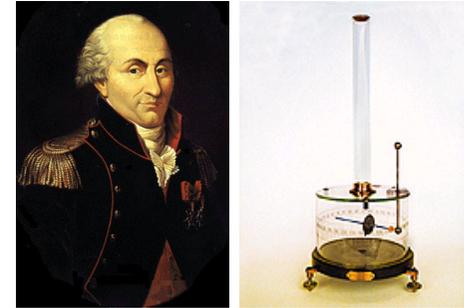


# Misura della carica elettrica



$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{q_1}{q_2}$$

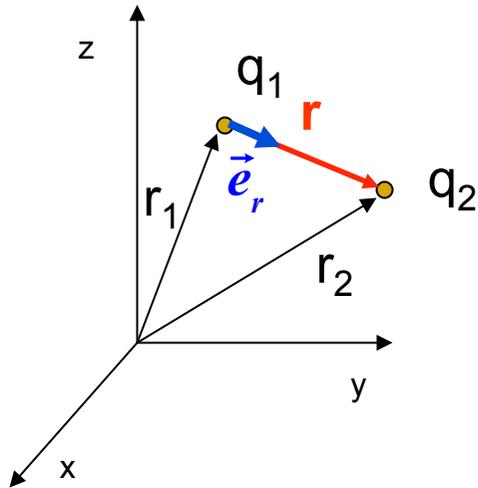
# Legge di Coulomb



$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

Forza **centrale**

Forza su  $q_2$  dovuta a  $q_1$



$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$\vec{e}_r = \left( \frac{x_2 - x_1}{r}, \frac{y_2 - y_1}{r}, \frac{z_2 - z_1}{r} \right)$$

$$F_x = K \frac{q_1 q_2}{r^2} (\vec{e}_r)_x = K q_1 q_2 \frac{x_2 - x_1}{[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]^{3/2}}$$

# Dimensioni della carica elettrica

- Usando il sistema “*LMT*” (es MKS) la **carica elettrica** è una **quantità derivata**
- Nel **SI** si sceglie l'unità di misura della “corrente elettrica” (la studieremo più avanti): l'*Ampere* (A)
- La carica elettrica è derivata:  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \times 1 \text{ s}$
- Da misure di forze si determina  $K$

$$[K] = [F]L^2[Q]^{-2} = ML^3T^{-2}Q^{-2} = \frac{N m^2}{C^2}$$

$$K = 8.9875 \cdot 10^9 \frac{N m^2}{C^2} \simeq 9 \cdot 10^9 \frac{N m^2}{C^2}$$

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

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = 8.8542 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

---

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

$$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$1 \text{ C} \sim 1/e = 6.24 \cdot 10^{18} \text{ elettroni}$$

---

# Esempi

- Strofinio di sferette: si spostano  $\sim 10^{12}$  elettr.

$$Q = 10^{12}e \sim 10^{-7} \text{ C}$$

2 sferette ad 1cm:

$$F = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (10^{-7})^2}{(10^{-2})^2} \approx 0.9 \text{ N}$$

- Rapporto forza gravitazionale/elettrica atomo di idrogeno:

$$m_e = 9.1091 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

$$m_p = 1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\frac{|F_g|}{|F_e|} = \frac{Gm_em_p}{e^2} \times 4\pi\epsilon_0 \simeq \frac{6.7 \cdot 10^{-11} \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 1.7 \cdot 10^{-27}}{9 \cdot 10^9 (1.6 \cdot 10^{-19})^2} \simeq 4.5 \cdot 10^{-40}$$

# Esempio

## ■ Perfetta neutralita` della materia

Supponiamo che  $q_e = -e$ ,  $q_p = e + \Delta q \rightarrow \Delta q = q_p - e = e f = 1.6 \times 10^{-19} f$

Che forza agirebbe tra 2 sfere di ferro di massa  $M = 1$  kg poste alla distanza di 1 m? ( $Z = 26$ ,  $A = 55$ )

Se  $n_p (= n_e)$  e` il numero di protoni (elettroni), avremo:

$$\Delta Q = n_p \Delta q = 1.6 \times 10^{-19} f n_p$$

$$n_p = Z N_{\text{Atomi}} = \frac{Z N_A}{A} M = 6 \times 10^{23} \frac{Z}{A} M = 6 \times 10^{23} \frac{26}{55} \times 1000 \approx 2.8 \times 10^{26}$$

$$F = \frac{\Delta Q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2.6 \times 10^{-38} n_p^2 f^2}{1^2} \approx 2.3 \times 10^{-28} n_p^2 f^2 = 1.8 \times 10^{25} f^2$$

Con  $f = 10^{-9}$  la forza sarebbe di circa  $2 \times 10^7$  N !! (limite  $f < 10^{-21}$ )

# Esempio

Due cariche  $q_1=+50$  nC e  $q_2=+100$  nC si trovano rispettivamente nelle posizioni:

$$\vec{r}_1 = 2\vec{e}_x + 4\vec{e}_y \text{ cm}$$

$$\vec{r}_2 = 6\vec{e}_x + 7\vec{e}_y \text{ cm}$$

Calcolare la forza che  $q_1$  esercita su  $q_2$ .

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{u}}{r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3}$$

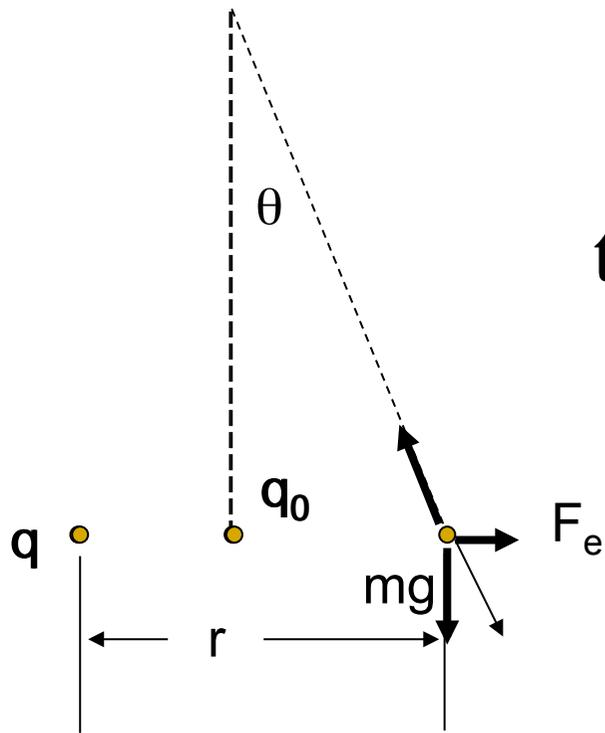
$$\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = 4\vec{e}_x + 3\vec{e}_y \text{ cm}$$

$$|\vec{r}_2 - \vec{r}_1| = \sqrt{16 + 9} = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$F_x = 4.5 \times 10^{-5} \frac{4 \times 10^{-2}}{125 \times 10^{-6}} \approx 1.4 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \times 50 \times 100 \times 10^{-18} = 4.5 \times 10^{-5} \text{ Nm}^2 \quad F_y = 4.5 \times 10^{-5} \frac{3 \times 10^{-2}}{125 \times 10^{-6}} \approx 1.1 \times 10^{-2} \text{ N}$$

# Esempio



$$\tan \vartheta = \frac{F_e}{F_g} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2 mg}$$