

# **Cariche elettriche**

# Elettrostatica

---

- Cariche elettriche
- Campo elettrico

# Elettricità statica

---

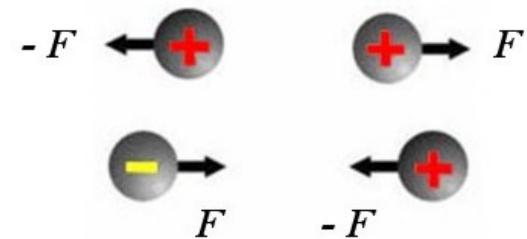
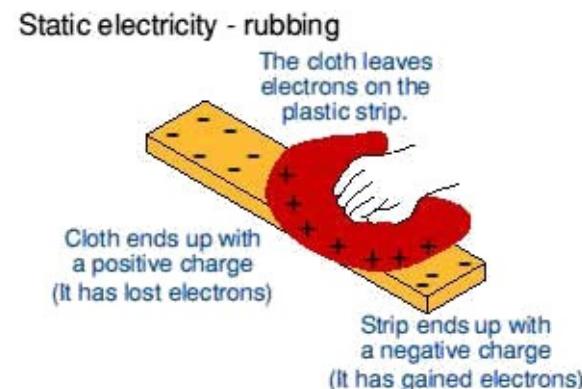
- Molti fenomeni di esperienza comune



- Elettricità: ηλεκτρον (ambra)

# Cariche elettriche

- Tutti questi fenomeni sono dovuti all'esistenza di *cariche elettriche*
- Si possono generare per **induzione** o per **strofinio**
  - i corpi sono intrisicamente **neutri**
  - azioni meccaniche determinano la **separazione** delle cariche di segno **opposto**
- Le cariche elettriche possono essere di due tipi, dette **positive** e **negative**
  - cariche opposte si attraggono, cariche omologhe si respingono



# Cariche elettriche

---

- Per **contatto** è possibile trasmettere la carica
- I corpi possono essere suddivisi in **isolanti** e **conduttori**
  - negli isolanti le cariche sono **immobili**  
» restano ferme là dove sono state depositate
  - nei conduttori invece le cariche libere sono **libere** di muoversi



# Cariche elettriche

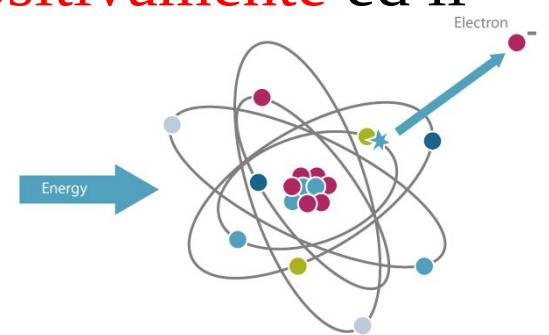
---

- Se un corpo carico e un corpo neutro vengono collegati da
  - un **conduttore** → la carica si **trasmette** dal primo al secondo
  - un **isolante** → **nessuna** trasmissione di carica
- Metalli e leghe sono buoni conduttori
  - in quanto la loro struttura reticolare è tale per cui alcuni elettroni sono liberi di muoversi all'interno del reticolo
- Altri materiali sono isolanti
  - in essi gli elettroni sono strettamente legati ciascuno al proprio atomo
  - alcuni, come Ge e Si, sono **semiconduttori**

# Cariche elettriche

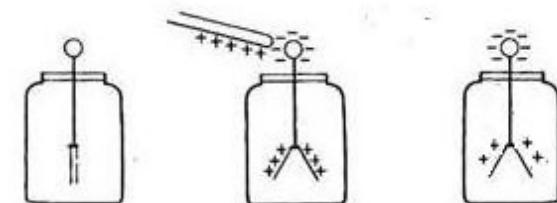
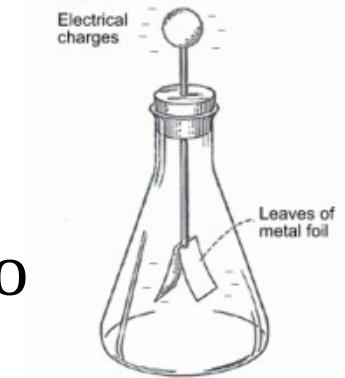
- Conservazione della carica:
  - in un sistema **isolato** la somma algebrica delle cariche elettriche è **costante**
- Tutto ciò è dovuto alla **struttura dell'atomo**
  - mediante azioni meccaniche come lo *sfregamento* è possibile sottrarre alcuni elettroni dagli atomi di un materiale trasferendoli all'altro
    - » in questo modo il primo risulterà carico **positivamente** ed il secondo **negativamente**

Questa struttura elementare però fu scoperta solo fra la fine del secolo XIX e i primi venti anni del XX. Prima di allora era solo noto il fatto che la materia opportunamente strofinata può assumere una carica, che si manifesta con la capacità di attrarre o respingere altri oggetti carichi



# Carica elettrica

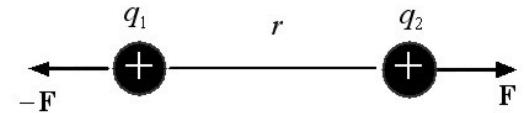
- Definizione operativa della carica elettrica
- Elettroscopio a foglie
  - avvicinando una carica le foglioline si allontanano
- Definizione di carica
  - cariche uguali  $\leftarrow$  stessa separazione
  - separazione maggiore  $\rightarrow$  carica maggiore
  - separazione predefinita  $\rightarrow$  unità di carica



# Legge di Coulomb

- Due cariche esercitano una **forza** tra loro

– attrattiva o repulsiva

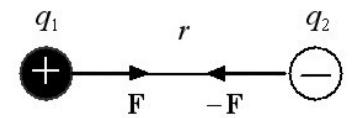


- Forza: diretta lungo la **congiungente** e di modulo

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



Legge di Coulomb



- Nel SI:  $[q] = C$

–  $Q_1 = Q_2 = 1 \text{ C}$  @  $r = 1 \text{ m} \rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$

» (in realtà è una grandezza derivata dalla corrente)

# Legge di Coulomb

- La costante  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$

- Nel S.I.

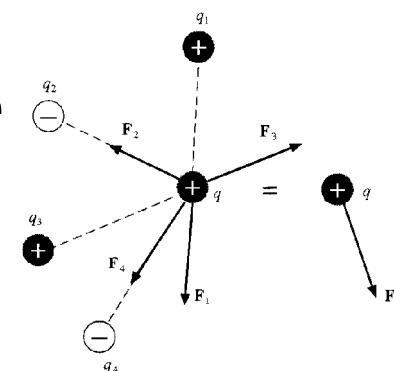
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \rightarrow \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

- $\epsilon_0$  : costante dielettrica del vuoto

- $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N m}^2$

- Se ci sono >2 cariche si applica il principio di sovrapposizione

- la forza risultante è la somma delle singole forze fra coppie di cariche



# Campo elettrico

---

- Una carica elettrica *modifica* lo spazio **circostante**
- Tale influsso della carica sullo spazio circostante prende nome di **campo elettrico**
- Per rivelare il campo elettrico si usa una **carica di prova**  $q$  studiandone il comportamento
  - per convenzione  $q > 0$
- Il campo elettrico generato da una carica  $Q$  è

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

- Nel SI:  $[E] = \text{N/C}$

# Campo elettrico

---

- Se si hanno più cariche

$$E = \sum_i E_i$$

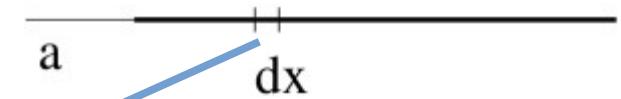
- perchè le forze si sommano

- Noto  $E$

$$\xrightarrow{\quad} F = q E \quad \xrightarrow{\quad} \quad a = \frac{F}{m} = \frac{q}{m} E \quad \xrightarrow{\quad} \quad a(t) \Rightarrow v(t), s(t)$$

# Esempio di calcolo di $E$

- Sbarra lunga  $l$  uniformemente carica (carica totale  $Q$ )
  - calcolo di  $E$  su un punto lungo la direzione della sbarra a distanza  $a$
- Per ragioni di simmetria  $E$  è diretto lungo l'asse verso l'esterno
  - ogni elemento  $dx$  contribuisce con



$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{x^2} \quad \rightarrow \quad E = \int_a^{a+l} dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{dq}{x^2}$$

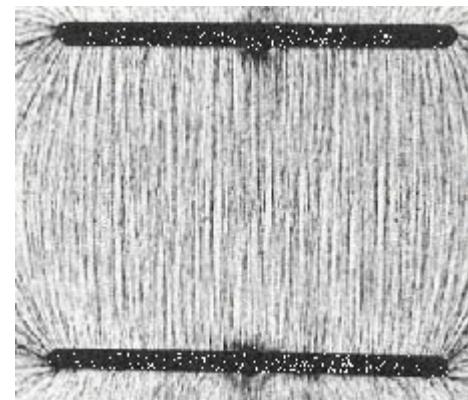
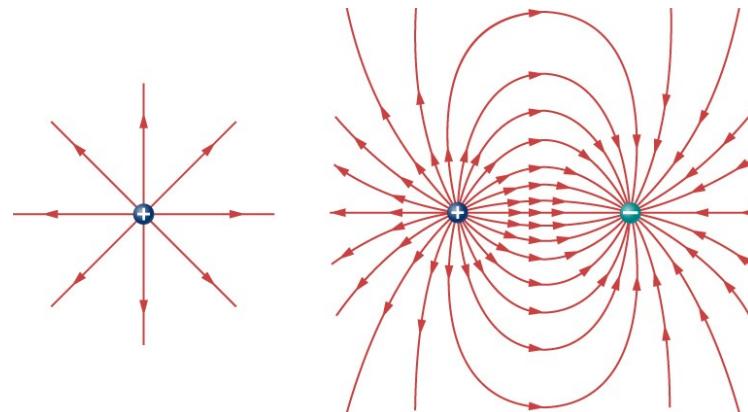
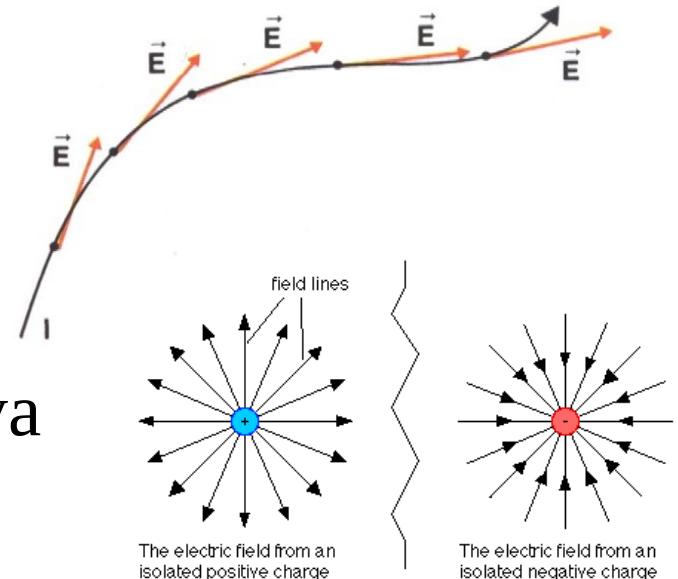
densità  
di carica  $\lambda = \frac{Q}{l}$   $\rightarrow$   $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{\lambda dx}{x^2} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \left[ -\frac{1}{x} \right]_a^{a+l} =$

$$= \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda l}{a(a+l)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{a(a+l)}$$

$a \gg l$   $\rightarrow E \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{a^2}$

# Linee di campo

- Visualizzazione grafica del campo elettrico
  - sempre tangenti a  $\vec{E}$
  - ne indicano direzione e verso
  - più dense dove  $E$  più intenso
  - dalla carica positiva alla carica negativa
- Es.:



# Dipolo elettrico

- Coppia di cariche di segno **opposto** a distanza **costante** ( $d = 2a$ )
- Calcolo di  $E$  su una retta perpendicolare all'asse del dipolo e a distanza  $r$  da esso

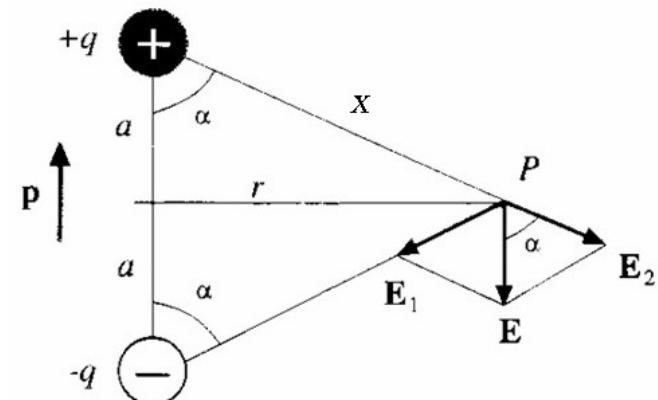
$$\mathbf{E}_{tot} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

ma in modulo

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{a^2+r^2}$$



$$\begin{aligned} E_{tot} &= 2E_1 \cos \alpha = 2E_1 \frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{a^2+r^2} \frac{2a}{\sqrt{a^2+r^2}} = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{(a^2+r^2)^{3/2}} \end{aligned}$$



# Dipolo elettrico

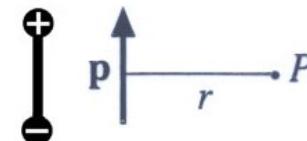
- A grande distanza dal dipolo  $r \gg a$

$$E_{tot} \simeq \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{r^3}$$

decresce col **cubo** della distanza!

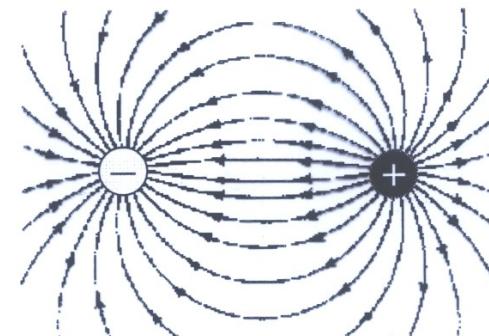
(perchè le due cariche in parte si schermano l'un l'altra)

- **Momento di dipolo:**  $dq = 2aq$



$$E_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{p}}{r^3}$$

- Linee di campo di un dipolo



# Dipolo elettrico

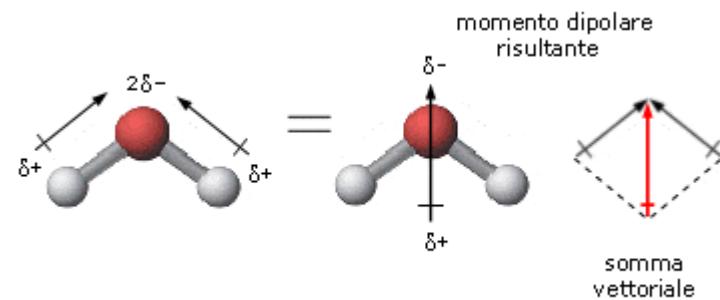
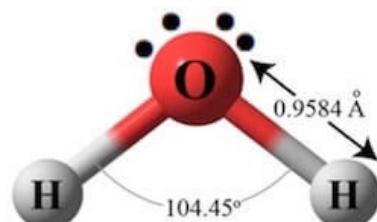
- Se il dipolo elettrico è **immerso** in un campo elettrico **uniforme  $E$** , su di esso agisce un **momento meccanico**
  - il cui modulo è dato da

$$\tau = F d \sin \theta = q d E \sin \theta = p E \sin \theta$$

- vettorialmente

$$\tau = p \wedge E$$

- Es: molecola di **acqua**



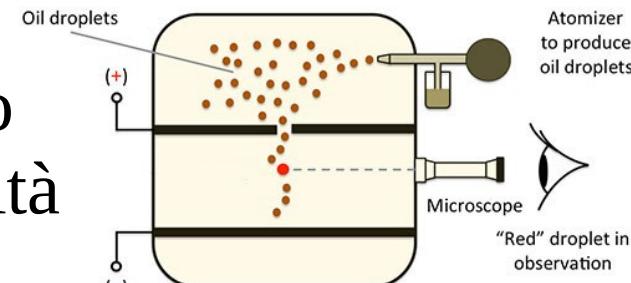
# Esperienza di Millikan

---

- La carica elettrica
  - a livello **macroscopico** (sembra) **continua**
    - » quindi può assumere **qualunque** valore
  - a livello **microscopico**: (è) **discreta**
    - » quindi può assumere *solo multipli interi* di una *carica fondamentale*
- 1909: esperimento di Millikan
  - verifica della carica discreta
  - misura della carica fondamentale

# Esperienza di Millikan

- Apparato sperimentale
  - microscopiche **goccioline** di olio in moto in un **campo elettrico uniforme** di intensità regolabile
- Prima fase: assenza di campo elettrico
  - le gocce cadono di moto **accelerato**, ma raggiungono rapidamente la **velocità limite**, quindi cadono di moto **uniforme** con  $v = v_{lim}$ 
    - » a causa dell'attrito dell'aria
  - con un telemicroscopio si misura lo **spostamento** → si determina  $v_{lim}$  → dalla legge di Stokes si ricava il **raggio**  $r$



# Esperienza di Millikan

---

- dal raggio si ricava il volume  $V$  e quindi, nota la densità dell'olio, la massa  $m$

$$m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

- Seconda fase: si accende il campo elettrico
  - a causa dello **sfregamento** con l'ugello dello spruzzatore alcune gocce acquistano una **carica** elettrica  $q$
  - forza sulle gocce cariche:  $F = mg + qE$
  - si misura la **nuova** velocità limite  $v'_{lim}$  → si calcola l'accelerazione  $a$  → si ricava  $F$
  - $m$ ,  $g$  e  $E$  sono noti → si ricava  $q$

# Esperienza di Millikan

---

- Nonostante gli strumenti di misura fossero in grado di misurare cariche *molto più piccole*, Millikan trovò che
  - la **minima** carica misurata era **sempre** pari a  $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$  C
  - **tutte** le cariche misurate erano *sempre* **multipli interi** di questa carica minima  $Q = N q$
- Ciò dimostra che in realtà la carica è quantizzata
- Oggi sappiamo che questo valore corrisponde alla carica dell'**elettrone** (e del **protone**)