

Cariche elettriche

Elettrostatica

- Cariche elettriche
- Campo elettrico

Elettricità statica

- Molti fenomeni di esperienza comune

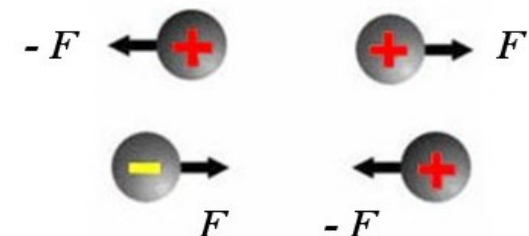
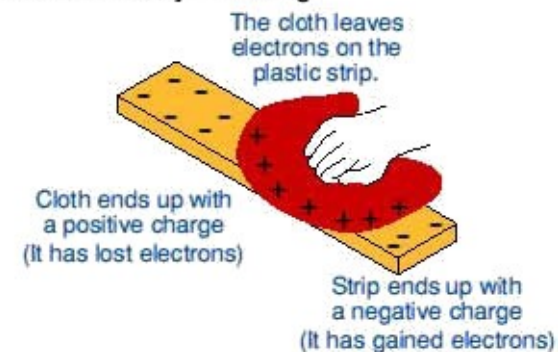


- Elettricità: ηλεκτρον (ambra)

Cariche elettriche

- Tutti questi fenomeni sono dovuti all'esistenza di *cariche elettriche*
- Si possono generare per **induzione** o per **strofinio**
 - i corpi sono intrinsecamente **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

Static electricity - rubbing



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



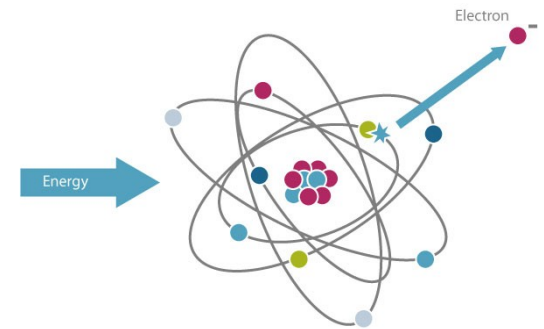
Cariche elettriche

- 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

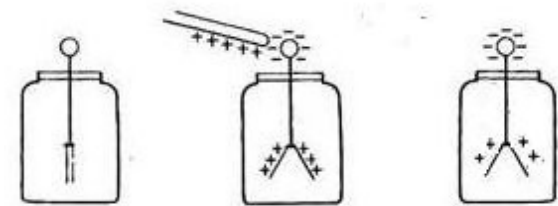
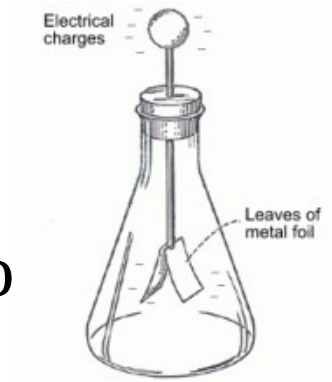
- Conservazione della carica:
 - in un sistema **isolato** la somma algebrica delle cariche elettriche è **costante**
- Tutto ciò è dovuto alla **struttura dell'atomo**
 - mediante azioni meccaniche come lo *sfregamento* è possibile sottrarre alcuni elettroni dagli atomi di un materiale trasferendoli 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



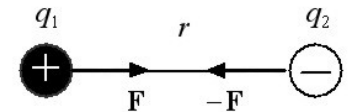
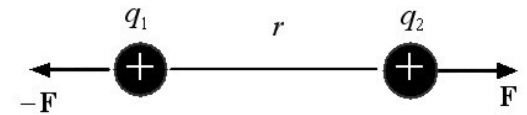
Carica elettrica

- 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

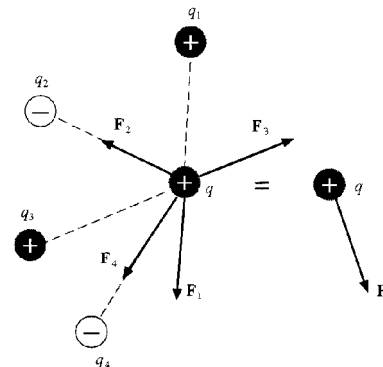
- Nel SI: $[q] = \text{C}$
 - $Q_1 = Q_2 = 1 \text{ C} @ r = 1 \text{ m} \rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$
 - » (in realtà è una grandezza derivata dalla corrente)

Legge di Coulomb

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

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

- ϵ_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

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

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



Campo elettrico

- Se si hanno più cariche

$$\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i$$

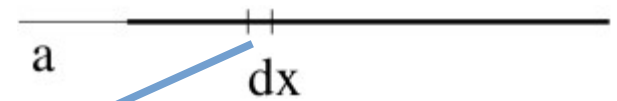
– perchè le forze si sommano

- Noto \mathbf{E}


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


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

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

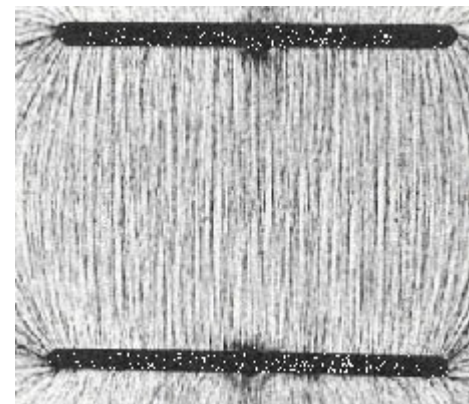
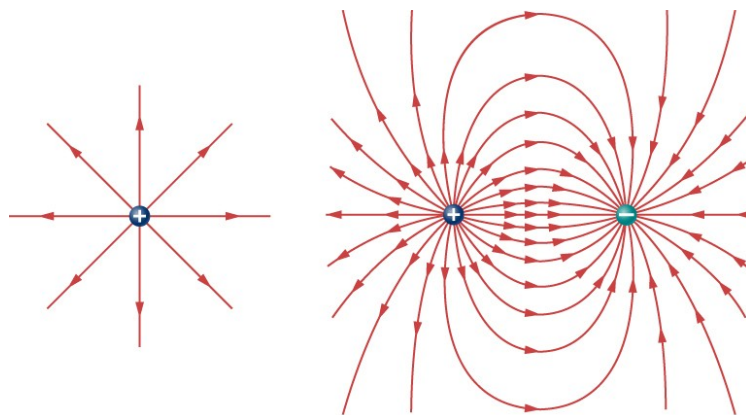
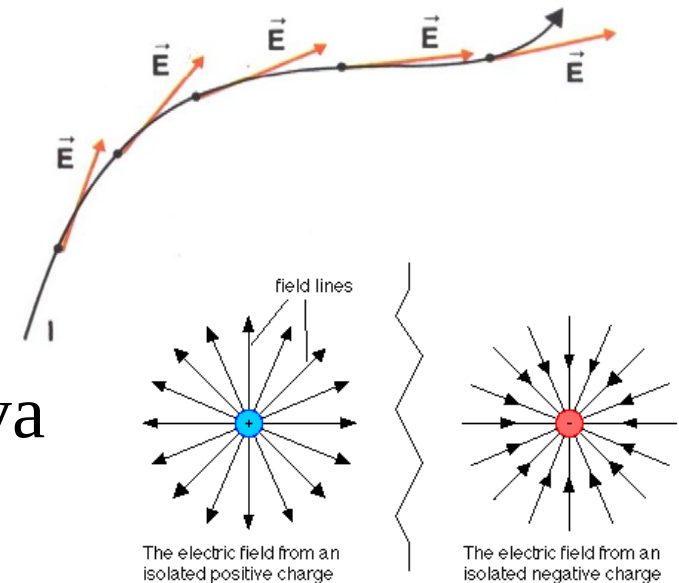
densità di carica $\lambda = \frac{Q}{l}$ \Rightarrow $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{\lambda dx}{x^2} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{a+l} =$

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

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

Linee di campo

- Visualizzazione grafica del campo elettrico
 - sempre tangenti a \vec{E}
 - ne indicano direzione e verso
 - più dense dove \vec{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 \mathbf{E} su una retta perpendicolare all'asse del dipolo e a distanza r da esso

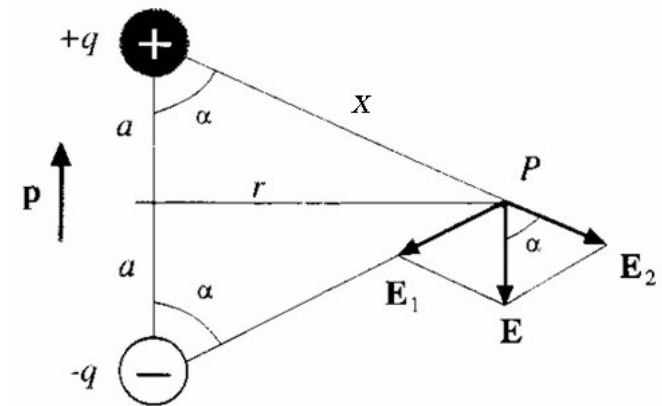
$$\mathbf{E}_{tot} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

ma in modulo

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



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



Dipolo elettrico

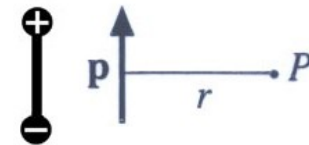
- A grande distanza dal dipolo $r \gg a$

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

decresce col **cubo**
della distanza!

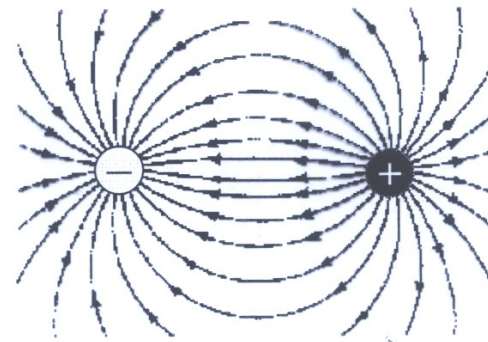
(perchè le due cariche in parte
si schermano l'un l'altra)

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



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

- Linee di campo di un dipolo



Dipolo elettrico

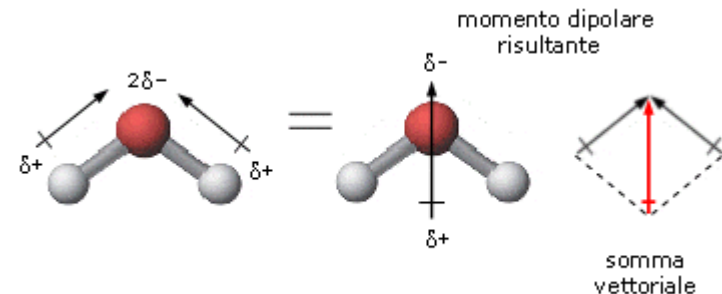
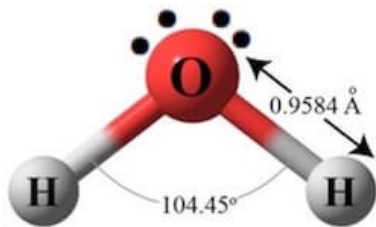
- Se il dipolo elettrico è **immerso** in un campo elettrico **uniforme** E , su di esso agisce un **momento meccanico**
 - il cui modulo è dato da

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

- vettorialmente

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \wedge \mathbf{E}$$

- Es: molecola di **acqua**

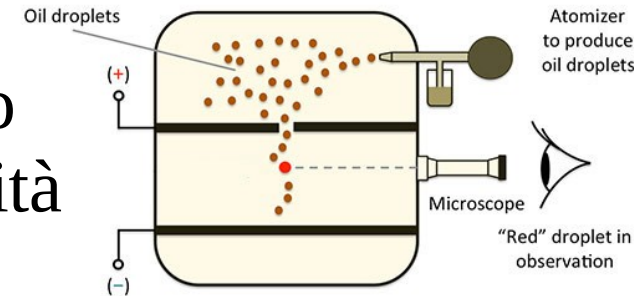


Esperienza di Millikan

- 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 $v'_{lim} \rightarrow$ si calcola l'accelerazione $a \rightarrow$ si ricava F
 - m , g e E sono noti \rightarrow 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 $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 - **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**)