

Fisica II

UniVR - Dipartimento di Informatica

Fabio Irimie

2° Semestre 2024/2025

Indice

1	Introduzione	2
1.1	Campo e forza	2
2	Forza elettrostatica	2
2.1	Materia	3
2.2	Elettrificazione	4
2.3	Elettrostatica nel vuoto	7
2.3.1	Interazione di Coulomb	8
2.3.2	Sistema di più cariche	9

1 Introduzione

L'oggetto principale dello studio di questo corso è la **forza elettromagnetica** \vec{F}_{em} , più precisamente la **teoria di campo**.

Definizione utile 1.1. La forza è l'interazione tra due oggetti.

In natura esistono solo 4 forze che governano tutto ciò che è misurabile:

- Forza di gravità (osservata quando negli oggetti interagenti c'è massa)
- Forza elettromagnetica (osservata quando negli oggetti interagenti c'è carica)
- Forza elettrodebole forte
- Forza elettrodebole debole

Le ultime due riguardano la materia microscopica. Le prime due invece riguardano la materia macroscopica e sono forze **a lungo raggio**, cioè ha effetto anche a distanza.

Lo studio della forza elettromagnetica si può fare attraverso degli strumenti che approssimano il comportamento delle entità al livello macroscopico senza preoccuparci della natura microscopica.

1.1 Campo e forza

In fisica 1 si sono studiati i concetti delle forze, cioè ciò che agisce su un corpo con una massa, ad esempio la caduta di un grave che è attratto dalla Terra per la forza di gravità. La visione dei campi è una visione più generale e rappresenta la proprietà di un ambiente di interagire con un corpo, ad esempio un **campo** di gravità.

2 Forza elettrostatica

Facendo esperimenti che non sono analizzabili con i concetti della fisica 1 si arriva a capire che c'è una nuova interazione, la **forza elettrostatica** che ha 2 forme:

- Forza attrattiva
- Forza repulsiva

Gli oggetti sono divisi in due classi:

- Carica positiva
- Carica negativa

Gli oggetti della stessa classe si respingono, mentre quelli di classe diversa si respingono.

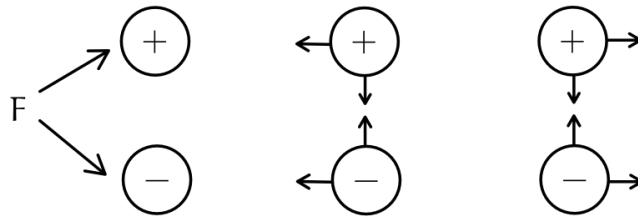


Figura 1: Tipi di carica

Definizione 2.1 (Carica elettrica). È chiamata **carica elettrica** q la proprietà che ha il corpo di esprimere la forza elettrostatica. Le proprietà di questa carica elettrica sono **indipendenti** dal meccanismo che l'ha generata, cioè può essere generata in modo diverso, ma ha sempre le stesse proprietà. Questo implica che la carica è **preesistente** in natura.

2.1 Materia

L'atomo è formato da un nucleo centrale composto da protoni, carichi positivamente, e da neutroni, senza carica. Intorno al nucleo si ha una regione in cui si ha la probabilità di trovare un'altra particella, carica negativamente, chiamata elettrone.

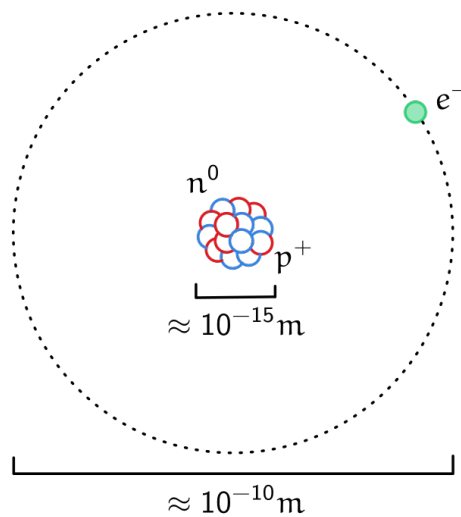


Figura 2: Struttura dell'atomo

La carica totale dell'atomo è nulla, quindi è **neutro** e di conseguenza la carica del nucleo è uguale alla carica degli elettroni, per la precisione il numero di protoni è uguale al numero di elettroni. Z è il numero atomico, cioè il numero di protoni.

Elettrone e protone hanno, in modulo, la stessa carica:

$$|q_{e^-}| = q_{p^+}$$

L'elettrone è una **particella elementare**, indivisibile e la sua carica è detta **carica elementare**, cioè la più piccola unità di carica osservabile e vale:

$$e^- = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$$

La **carica elettrica** in natura è quindi **quantizzata**, ovvero deve essere un multiplo della carica dell'elettrone. Inoltre la carica non si può generare, si può **solo trasferire**.

Definizione 2.2 (Legge di conservazione della carica). In un sistema isolato, cioè che non interagisce con altri sistemi, la carica totale Q si conserva.

I componenti della materia hanno due comportamenti:

- **Conduttore**: ad esempio il metallo, in cui gli elettroni sono liberi di muoversi
- **Dielettrico** (isolante): ad esempio il vetro, in cui le cariche non sono libere di muoversi, quindi vincolate, cioè non si riesce a strappare gli elettroni dall'atomo. Se si avvicina una carica positiva al dielettrico si avrà una deformazione delle cariche, ma non si ha una separazione di carica:

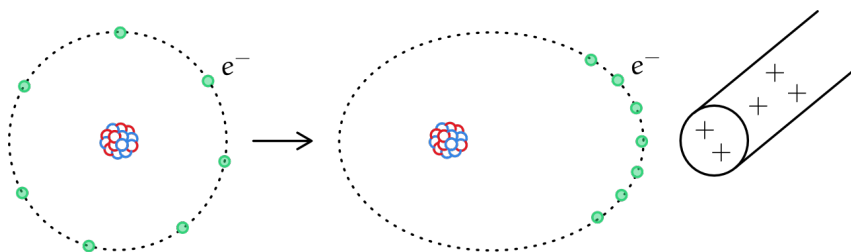


Figura 3: Deformazione delle cariche

2.2 Elettificazione

L'elettificazione è il trasferimento di carica da un corpo all'altro. Ci sono 3 meccanismi di elettificazione:

- **Strofinio**: Si prende una bacchetta di vetro e un panno di lana e si strofina la bacchetta. La bacchetta, inizialmente, non è carica e meccanicamente con lo strofinio si strappano gli elettroni dagli atomi. La bacchetta diventa carica positivamente e il panno negativamente. Si avranno quindi le cariche q^+ della bacchetta e q^- del panno. Per la legge di conservazione della carica si ha:

$$|q^-| = q^+$$

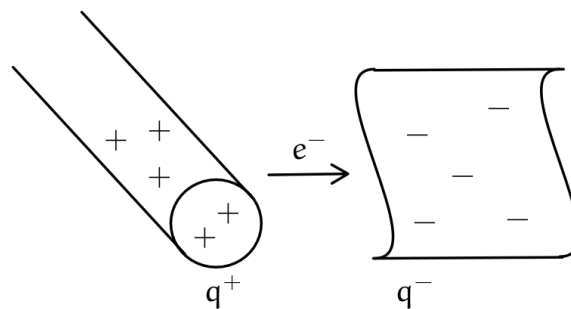


Figura 4: Strofinio

- **Induzione elettrostatica:** Con la precedente bacchetta caricata positivamente si avvicina un oggetto metallico e si nota che le cariche negative $-Q$ del metallo si avvicinano il più possibile alla bacchetta respingendo le cariche positive $+Q$ creando una **separazione di carica per induzione**. La carica totale rimane nulla perchè non sono migrati elettroni.

$$|-Q| = +Q$$

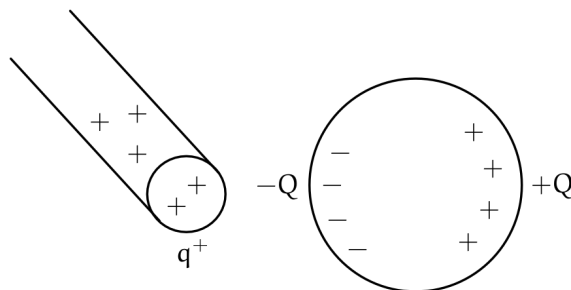


Figura 5: Induzione elettrostatica

Se si allontana l'oggetto metallico si avrà una separazione meno potente.

L'**elettroscopio** si usa per misurare la carica elettrica. È un oggetto metallico collegato a delle lamelle metalliche chiamate foglie:

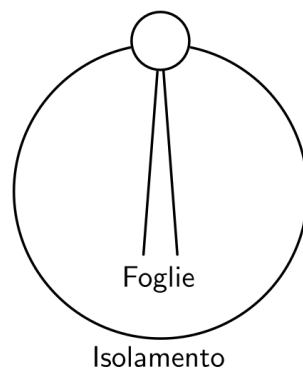


Figura 6: Elettroscopio

Si misura la carica avvicinando la bacchetta e si osserva la forza repulsiva tra le foglie dovuta alla repulsione tra le cariche positive della bacchetta e dell'elettroscopio:

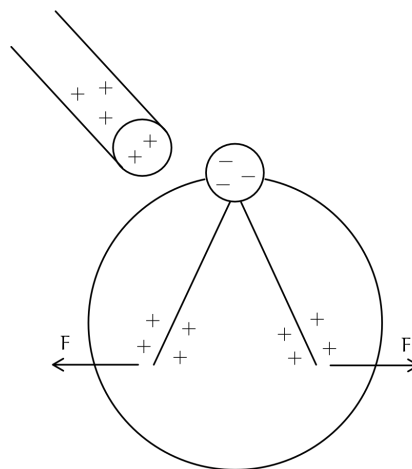


Figura 7: Elettroscopio durante una misurazione

Se si allontana la bacchetta la separazione delle foglie diminuisce.

- **Contatto** Se si prende un oggetto metallico caricato positivamente e si mette a contatto con un filo conduttore le cariche si sposteranno sul filo, elettrificandolo:

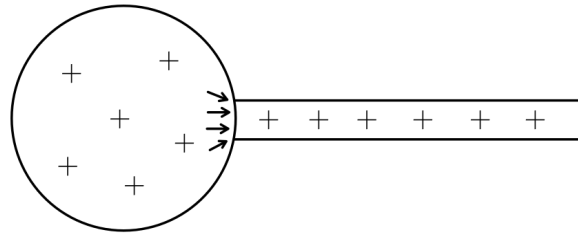


Figura 8: Elettificazione per contatto

Se si attacca il filo a terra l'oggetto si scarica perchè le cariche migrano verso la terra, cioè un conduttore immensamente più grande e quindi la carica si distribuisce su tutta la superficie della terra e sull'oggetto metallico rimane una carica **approssimativamente nulla**:

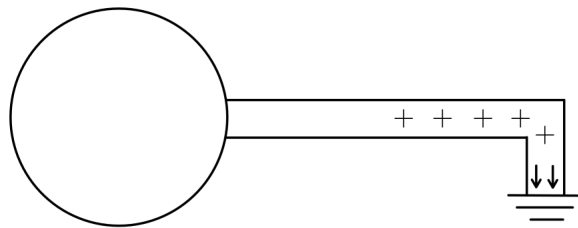


Figura 9: Scarica a terra

2.3 Elettrostatica nel vuoto

Fatti sperimentali:

Si crea un esperimento che permette di osservare il fenomeno che si vuole modellare. Si prende una bilancia di torsione formata da un filo torcente a cui è appesa un'asta con una carica q_1^+ su un'estremità. Se si avvicina una carica dello stesso segno q_2^+ si osserva che viene applicata una forza repulsiva \vec{F}_{el} che fa torcere il filo con un momento torcente:

$$\tau_{filo} = (k\theta) = \tau_{el} = \vec{d} \times \vec{F}$$

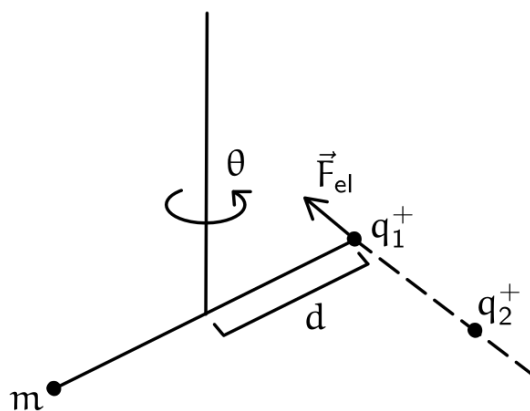


Figura 10: Bilancia di torsione

2.3.1 Interazione di Coulomb

Dai fatti sperimentali si nota che il modulo della forza è proporzionale al prodotto delle cariche e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra le cariche:

$$|F_{el}| = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Si osserva anche che la forza elettrica F_{el} è una forza **centrale**, cioè la forza è diretta lungo la retta che congiunge le due cariche.

k è la costante di Coulomb e vale:

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

dove ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto. L'unità di misura della carica è il Coulomb:

$$[q] = C$$

Consideriamo la terna cartesiana con due cariche positive q_1^+ e q_2^+ descritte dai raggi vettori \vec{r}_1 e \vec{r}_2 . Sulla carica q_2^+ viene applicata una forza \vec{F}_{12}



Figura 11: Forza elettromagnetica

Notazione:

- Chiamo il vettore che va da \vec{r}_1 a \vec{r}_2 \vec{r}_{12} .
- Il versore è indicato con \hat{r} e rappresenta il vettore unitario:

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

Calcoliamo la forza \vec{F}_{12} che agisce su q_2^+ da q_1^+ :

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)^2} \frac{(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \cdot \hat{r}_{12} \quad [\text{N}]$$

2.3.2 Sistema di più cariche

Con più cariche si osserva che vale il principio di sovrapposizione, cioè due fenomeni si sommano in modo lineare; e vale la terza legge di Newton, cioè l'azione-reazione ($\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$).

Consideriamo un sistema discreto con n cariche q_1, q_2, \dots, q_n e osserviamo la carica q_0 . Ognuna di queste cariche sarà descritta dal suo raggio vettore.

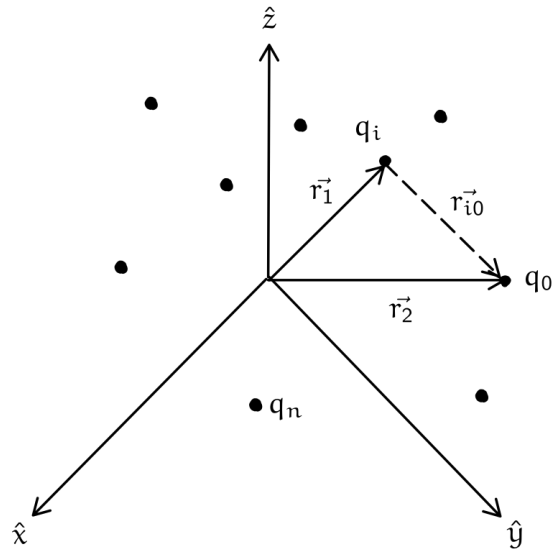


Figura 12: Forza elettromagnetica con più cariche

La forza che la carica q_i agisce su q_0 è:

$$\vec{F}_{i0} = \frac{q_i q_0}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\hat{r}_{i0}}{r_{i0}^2}$$

dove $\vec{r}_{i0} = \vec{r}_0 - \vec{r}_i$.

Applichiamo questa formula osservando una ad una tutte le cariche come fatto per q_0 per calcolare la forza totale applicata sulla carica q_0 :

$$\vec{F}_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_0}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\hat{r}_{i0}}{r_{i0}^2} \quad [\text{N}]$$

Questa forza ha direzione uguale alla somma delle forze.