

## Lezione 35: La forza elettrica

### 35.1. L'unità di misura della carica

Nella scorsa lezione abbiamo usato, per misurare la carica, la sua unità di misura naturale: la carica del protone. Si tratta dell'unità naturale in quanto non esistono, come abbiamo visto, cariche più piccola di essa: ogni carica positiva osservabile, quindi, sarà multipla di quella del protone (ed ogni carica negativa, naturalmente, sarà multipla di quella dell'elettrone).

Ogni volta che carichiamo un corpo, tuttavia, il numero di elettroni che spostiamo è davvero enorme: le cariche, quindi, sono espresse da numeri scomodi, perché il loro ordine di grandezza è grandissimo. Conviene quindi scegliere un'unità di misura più grande e di conseguenza più comoda, ed è proprio quello che è stato fatto nel definire l'unità di carica nel Sistema Internazionale.

L'unità scelta si chiama coulomb, e il suo simbolo è  $C$ . Ne vedremo la definizione esatta nel corso della lezione 41. Per ora ci accontentiamo di una definizione provvisoria:

*chiamiamo coulomb la carica di  $6.24 \cdot 10^{18}$  protoni,  
ovvero diciamo che la carica di un protone è  $1.60 \cdot 10^{-19}$  coulomb.*

Nel prossimo paragrafo vedremo come questa unità sia grande rispetto ai fenomeni di elettrizzazione dei corpi che stiamo considerando in queste lezioni.

### 35.2. La forza di Coulomb

Abbiamo detto che cariche dello stesso segno si respingono, mentre cariche di segno opposto si attraggono. Quanto è intensa la forza reciproca che esercitano l'una sull'altra? A questa domanda rispose Charles Coulomb con i suoi esperimenti condotti negli anni intorno al 1780. I risultati di tali esperimenti sono sintetizzati nella Legge di Coulomb:

*due cariche puntiformi  $Q_1$  e  $Q_2$ , poste ad una distanza  $r$ , interagiscono con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle due cariche, inversamente proporzionale al quadrato della distanza. In formula:*

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

L'espressione *cariche puntiformi* significa che gli oggetti carichi che interagiscono sono molto piccoli rispetto alla distanza che li separa. Quando gli oggetti non sono puntiformi, la legge di Coulomb vale se la distribuzione di carica sui due oggetti ha

simmetria sferica: il termine  $r$  nella formula è in questo caso la distanza tra i centri delle due sfere.

Le forze che agiscono sulle due cariche hanno la stessa intensità e direzioni opposte, come previsto dalla terza legge della dinamica. Entrambe giacciono sulla retta che congiunge i due centri, come si vede nella prossima figura (► fig.35.1):

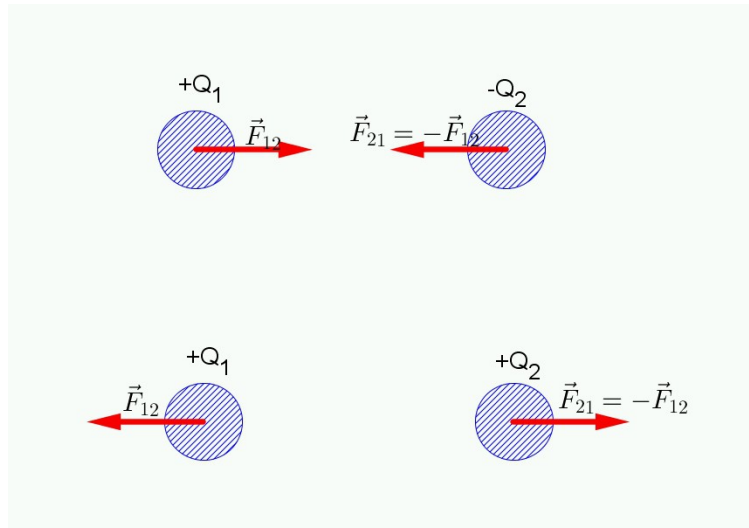


Fig.35.1 Le forze che agiscono sulle due cariche hanno la stessa intensità e direzioni opposte

### 35.3. La misura della costante di interazione.

Quanto vale la costante di interazione  $K$ ? Per rispondere a questa domanda basta fare qualche esperimento. Poiché  $K = \frac{F \cdot r^2}{Q_1 \cdot Q_2}$ , la cosa più semplice da fare sarebbe prendere due cariche da un coulomb, e porle alla distanza di un metro: il valore misurato per la forza (espressa in newton), ci direbbe il valore della costante, espresso in  $N \cdot m^2 / C^2$ . Il problema è che la carica di un coulomb è davvero una carica enorme, impossibile da concentrare sopra un oggetto qualsiasi. E se anche riuscissimo a farlo, troveremmo una forza di interazione davvero strepitosa! Più ragionevolmente possiamo prendere due cariche da 1 microcoulomb ( $1 \mu C = 10^{-6} C$ ), e porle alla distanza di 10 cm: così facendo scopriamo che esse interagiscono con una forza che è circa 0.9 N. Ricaviamo quindi:

$$K = \frac{F \cdot r^2}{Q_1 \cdot Q_2} = \frac{9 \cdot 10^{-1} N \cdot 10^{-2} m^2}{10^{-12} C^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

In realtà oggi non è più necessario fare esperimenti per misurare la costante elettrica  $K$ , esattamente come non ha più senso misurare la velocità della luce. Il metro è definito in modo tale che la velocità della luce sia *esattamente* 299792458 m/s. Oggi il valore di  $K$ , espresso in  $N \cdot m^2 / C^2$ , è *esattamente*  $8.9875517873681764 \cdot 10^9$ , cioè un

numero che è un decimilionesimo del quadrato di 299792458! Un valore esatto, dunque: il perché sarà chiaro nella lezione 44, nella quale vedremo come la velocità della luce sia legata ai valori delle costanti di interazione elettrica e magnetica.

Il valore di  $K$  che abbiamo fin qui discusso, e che negli esercizi approssimeremo a  $9.00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ , si riferisce all'interazione di due cariche poste nel vuoto. Se le due cariche sono immerse in un mezzo materiale il valore della costante  $K$  è più piccolo. Ciò significa che la forza elettrica è più piccola di quella che si ha nel vuoto. Questa osservazione è naturalmente collegata a quanto avevamo detto nella lezione 33: la velocità della luce, in un mezzo materiale, è più piccola della velocità con cui la luce si propaga nel vuoto.

#### 35.4. Un altro modo di scrivere la formula

Nei libri di Fisica la legge di Coulomb si scrive di solito in un modo diverso. Il contenuto della legge non cambia, come è ovvio, semplicemente si usa scrivere in modo diverso la costante di interazione:

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

La costante  $\epsilon_0$  si chiama permittività del vuoto. Poiché conosciamo il valore esatto di  $K$ , il valore esatto della permittività del vuoto è  $\epsilon_0 = 1 / 4\pi K$ : il problema è che  $K$  ha 17 cifre significative, mentre il termine  $\epsilon_0$ , ottenuto dividendo il reciproco di  $K$  per il quadruplo di  $\pi$ , è un termine irrazionale. La sua approssimazione a 4 cifre significative è:  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$ .

Qual è il vantaggio di riscrivere la legge di Coulomb usando una costante irrazionale invece di una razionale? Il fatto è che il termine  $4\pi r^2$  rappresenta l'area di una sfera di raggio  $r$ : la formula, così riscritta, si può interpretare dicendo che l'effetto provocato dalla carica  $Q_1$  si "diluisce" sopra una superficie sferica di area  $4\pi r^2$ , sulla quale è collocata la carica  $Q_2$ .

#### 35.5. Il principio di sovrapposizione

Le forze elettriche sono vettori, quindi si sommano con le consuete regole di somma che valgono per i vettori. Se una carica  $q$  interagisce con due cariche  $Q_1$  e  $Q_2$ , la forza complessiva che agisce su  $q$  si calcola sommando le forze dovute alle interazioni con  $Q_1$  e  $Q_2$  separatamente. La prossima figura (► fig.35.2) chiarisce questa semplice idea.

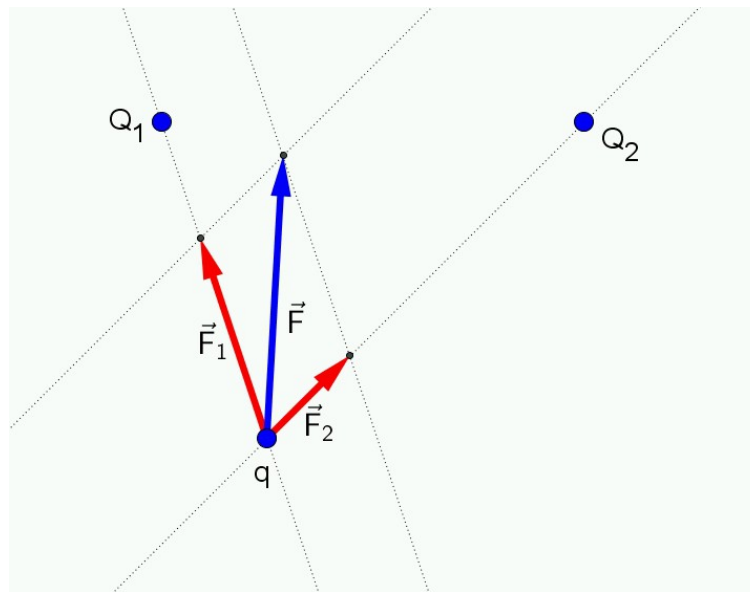


Fig.35.2 La carica  $q$  interagisce con due cariche  $Q_1$  e  $Q_2$ :  
la forza che agisce su  $q$  è la somma vettoriale delle forze prodotte da  $Q_1$  e  $Q_2$

### 35.6. Un confronto tra la forza gravitazionale e quella elettrica

L'equazione di Coulomb per la forza elettrica somiglia molto all'equazione di Newton per la forza gravitazionale:

$F_{\text{elettrica}} = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$	$F_{\text{gravitazionale}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$
$K = 9.00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$	$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

Entrambe le equazioni affermano che la forza di interazione è inversamente proporzionale al quadrato della distanza che separa i due oggetti che interagiscono. Entrambe mostrano che la forza è proporzionale al prodotto delle quantità che ne sono la causa: cariche nel caso elettrico, masse in quello gravitazionale.

Esistono d'altra parte differenze non meno importanti delle analogie:

- la forza gravitazionale è solo attrattiva, mentre quella elettrica è attrattiva o repulsiva, a seconda dei segni delle cariche che interagiscono;
- la costante  $K$  che caratterizza l'interazione elettrica è 20 ordini di grandezza maggiore della costante  $G$  che caratterizza l'interazione gravitazionale.

Per valutare gli effetti di quest'ultima osservazione, provate a calcolare le due forze di attrazione (elettrica e gravitazionale) che si esercitano tra un protone e un elettrone posti alla distanza di 1 cm: la massa dell'elettrone è  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , quella del protone è  $m_p = 1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Notate come l'interazione elettrica, a parità di distanza, sia incredibilmente più intensa di quella gravitazionale.