

LA LEGGE DI COULOMB E LA COSTANTE DIELETTICA

In questa lezione esamineremo:

- la legge di Coulomb
- la costante dielettrica
- la conservazione e quantizzazione della carica elettrica

La legge di Coulomb

La legge di Coulomb

La forza F che si esercita tra due cariche elettriche puntiformi q e Q poste a una certa distanza r è direttamente proporzionale al valore delle cariche ed è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza, ossia:

$$F = k \frac{q \cdot Q}{r^2} \quad [40.1.]$$

Questo è il risultato, noto con il nome di **legge di Coulomb**, a cui pervenne il fisico francese Charles Coulomb (1736-1806) verso la fine del Settecento.

La precisazione che le cariche devono essere puntiformi è necessaria per poter determinare il valore di r , che diventerebbe indefinibile qualora le cariche fossero distribuite in uno spazio più esteso. La [40.1.] può essere riscritta sotto la forma:

$$F = \pm k \frac{q \cdot Q}{r^2} \quad [40.2.]$$

Il segno "+" o "-" sta a indicare che la forza in questione può essere attrattiva o repulsiva. Se, convenzionalmente, si assegna alle forze repulsive il segno "+", allora se le due cariche sono dello stesso segno il loro prodotto è positivo e, quindi, la forza è repulsiva e viceversa. La costante k ha un valore che dipende dalle unità di misura scelte per la carica elettrica, dalla distanza e dalla natura del mezzo interposto tra le cariche stesse. Nel *SI*, dove r è misurata in metri e q è misurata in coulomb, k risulta (nel vuoto e nell'aria) pari a:

$$k = 8,988 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$



1. La forza coulombiana, cioè quella che si esercita tra due cariche elettriche, è molto più grande di quella gravitazionale.

Che cos'è il coulomb

Il **coulomb (C)** è la **carica elettrica** che attraversa in **1 secondo** una **sezione** per molti conduttori percorso dalla **corrente elettrica costante di 1 ampere (1)**, ossia: $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$ dell'e-

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampere} \cdot 1 \text{ secondo}$$

Ripetendo la misura di F in mezzi diversi dal vuoto o dall'aria si trova che F è inferiore e diversa da mezzo a mezzo.

Di conseguenza anche il valore di k varia al variare del mezzo. Ora, poiché in alcune formule di elettrologia compare al numeratore il coefficiente irrazionale 4π , si suole porre nella legge di Coulomb la costante k pari a:

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

Ciò permette di riscrivere la legge di Coulomb nella seguente forma:

$$F = \pm \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

La costante dielettrica assoluta

dove il coefficiente ϵ è detto **costante dielettrica assoluta** del mezzo in cui sono poste le due cariche.

Tale forma di espressione della legge di Coulomb permette di eliminare dalle formule di calcolo, che in questo ambito sono derivate dalla legge di Coulomb, il fattore 4π che compare al numeratore.

Nel linguaggio scientifico si è soliti indicare i mezzi diversi dal vuoto o dall'aria semplicemente con il termine **dielettrici**.

N.B. La **forza coulombiana**, cioè la **forza** che si esercita tra due cariche elettriche, è **enormemente più grande** di quella **gravitazionale**. Per averne un'idea, si pensi che la **forza elettrica repulsiva** tra le cariche elettriche di due protoni è circa **1036 volte più grande** di quella **attrattiva gravitazionale** che sussiste tra questi ultimi.

Osserviamo, infine, che la carica di 1 C, pur essendo di valore compatibile con le cariche elettriche abitualmente in gioco negli usi correnti, è, però, estremamente grande rispetto alla carica e dell'elettrone. Infatti il valore di e è il seguente:

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

La carica dell'elettrone viene definita **carica elementare**. Questa espressione intende dire che la carica dell'elettrone non può essere ulteriormente suddivisa e che ogni altra carica è sempre composta di un multiplo intero di e .

1. Ricordiamo che nel SI l'ampere è definito come l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli rettilinei, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di 1 m l'uno dall'altro nel vuoto, produrrebbe tra i due conduttori la forza di $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ su ogni metro di lunghezza.

La costante dielettrica

Il valore che k assume nel vuoto è il seguente:

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

dove ϵ_0 rappresenta la **costante dielettrica assoluta del vuoto**. Il valore di ϵ_0 si ricava dal valore di k nel vuoto, nel modo seguente:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot k} \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

Se indichiamo con F_0 e con F_m le forze che si esercitano tra due cariche poste alla stessa distanza, rispettivamente, nel vuoto e in un mezzo m , abbiamo:

$$\frac{F_0}{F_m} = \epsilon_r$$

La costante dielettrica relativa

Il valore ϵ_r è detto **costante dielettrica relativa** del mezzo considerato. La legge di Coulomb in un mezzo con costante dielettrica relativa ϵ_r è espressa dall'equazione:

$$F = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

per cui possiamo scrivere:

(costante dielettrica assoluta) $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$

La tab. 1 qui sotto riporta i valori di alcune costanti dielettriche relative.

Tab. 1. Costanti dielettriche relative.

2. Il fenomeno della dissociazione elettrolitica – fondamentale per l'esplicarsi delle funzioni degli organismi viventi – è possibile grazie all'elevato valore della costante dielettrica relativa all'acqua.



sostanza	ϵ_r
aria	1.0005
acqua	81
olio	2.2
petrolio	2.1
carta	2.3
paraffina	2.1
porcellana	5.3
mica	5.4
vetro	6

Come si vede dagli esempi riportati, i valori di ϵ_r sono sempre maggiori di 1. Per la stragrande maggioranza dei casi, tale valore non è molto alto. Fa eccezione l'acqua, che ha un elevato valore di ϵ_r .

Ebbene, il fenomeno della dissociazione elettrolitica, che è di vitale importanza per l'esplicarsi delle funzioni degli organismi viventi, è proprio dovuto – come vedremo in seguito – a tale elevato valore della costante dielettrica relativa dell'acqua.

La conservazione e la quantizzazione della carica elettrica

Legge di conservazione della carica elettrica

In un **sistema supposto isolato**, la **somma delle cariche positive e negative si mantiene costante**.

Tale enunciato afferma che in un sistema isolato la carica elettrica totale è, istante per istante, sempre la stessa.

Tutte le osservazioni fatte in proposito hanno sempre confermato tale assunto che, pertanto, può essere ritenuto l'enunciato di una vera e propria legge, la **legge di conservazione della carica elettrica**: tale legge sarebbe contraddetta dal verificarsi di un evento che portasse alla creazione, in un sistema isolato, di una carica elettrica di un determinato segno, senza la contemporanea comparsa di una carica uguale di segno opposto. Ma il verificarsi di un simile evento non è mai stato osservato.

L'esperimento condotto dal fisico americano Robert Millikan ha dimostrato che in natura la carica elettrica si presenta sempre come un multiplo di una ben determinata quantità: la carica e dell'elettrone.

In seguito, altre esperienze hanno non solo confermato questo comportamento, ma hanno anche messo in luce il fatto che tutte le particelle elementari posseggono cariche

che uguali. Per esempio, il protone e l'elettrone sono due particelle diverse per molti aspetti; ma la carica positiva del protone è esattamente uguale a quella negativa dell'elettrone. Tale fatto è stato verificato – con una precisione molto elevata – valutando la neutralità elettrica dell'atomo di idrogeno (infatti, si ricorderà che l'idrogeno è un elemento composto di un solo elettrone e di un solo protone).

A tutt'oggi, pertanto, la quantizzazione della carica elettrica appare una legge di natura, non smentita dai risultati di alcuna ricerca effettuata per dimostrare il contrario.

TEST

- 1 Enuncia la legge di Coulomb.
- 2 Scrivi l'equazione relativa alla forza elettrica.
- 3 Definisci la carica elettrica di 1 coulomb (C).
- 4 A quale distanza si trovano due cariche, rispettivamente, di $3 \cdot 10^{-5}$ C e $4 \cdot 10^{-5}$ C, perché si respingano con una forza di 100 N nel vuoto?
- 5 Quale valore hanno due cariche uguali che, poste alla distanza di 2 m nel vuoto, si respingono con una forza di 20 N?
- 6 Quale carica viene definita elementare?
- 7 "La costante dielettrica dell'acqua ha un valore piuttosto basso rispetto a quello di altre sostanze".
Vero o falso?
- 8 Enuncia la legge di conservazione della carica elettrica.
- 9 Quale scopo aveva l'esperienza condotta da Robert Millikan?
- 10 "Tutte le particelle elementari possiedono cariche uguali".
Vero o falso?

ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Verifica della legge di Coulomb

Introduzione

La legge di Coulomb afferma che la forza F che si esercita tra due cariche elettriche puntiformi q e Q poste a una certa distanza r è direttamente proporzionale al valore delle cariche ed è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza, ossia:

$$F = k \frac{q Q}{r^2}$$

Tale forza è di natura repulsiva se le due cariche hanno lo stesso segno, attrattiva se sono di segno opposto.

Scopo dell'esperienza: verificare la legge di Coulomb.

Avvertenza: l'esperienza è di importanza fondamentale nello studio dell'elettrostatica, anche se di difficile esecuzione.

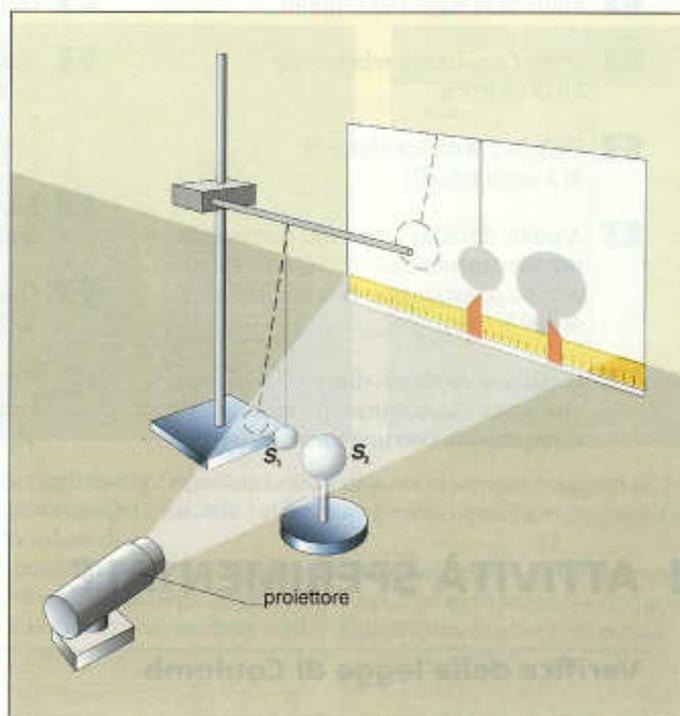
Occorre infatti prestare molta attenzione a che l'atmosfera circostante gli strumenti non sia umida, per non far scaricare in breve tempo le sfere; inoltre queste ultime dovrebbero essere lontane da altri corpi (tavolo, sostegni, operatore) poiché le cariche indotte su questi perturbano il fenomeno.

Materiali occorrenti: 3 sferette di stagnola, filo di nylon, sostegno isolante, proiettore, schermo con scala graduata.

Procedimento

- Per l'esperimento si usa un dispositivo come quello in *fig. 3*.
La sferetta S_1 è sospesa mediante un filo di nylon in modo che possa oscillare in un piano verticale; la sferetta S_2 è posta su un sostegno isolante.
- Il proiettore serve a proiettare sullo schermo graduato le ombre delle due sferette. Una terza sferetta, uguale alle precedenti, servirà per eseguire l'esperienza.
- In posizione di riposo, con le due sferette scariche, segna sulla scala la posizione dell'ombra di S_1 e di S_2 e misura la distanza d tra esse. Carica, quindi, le due sferette con cariche dello stesso segno.
La forza repulsiva che si genera farà sì che le due sferette si allontanino e così anche le loro ombre.

Fig. 3



- Prendi nota della posizione di S_1 ; lo spostamento S che essa ha subito è, in prima approssimazione, una misura indiretta della forza coulombiana.
- Misura la distanza iniziale d : $d = \dots$
- Misura lo spostamento S : $S = \dots$
- Misura la distanza iniziale $2d$: $2d = \dots$
- Misura lo spostamento S : $S = \dots$
- Misura la distanza iniziale $3d$: $3d = \dots$
- Misura lo spostamento S : $S = \dots$
- Scarica le sferette e prendi nota sulla scala della posizione delle ombre.
- Ricarica le sferette e misura gli spostamenti a carica intera, a metà carica e a un quarto di carica.
- Misura a carica intera: $S = \dots$
- Misura a carica dimezzata: $S = \dots$
- Misura a un quarto di carica: $S = \dots$

Domande

L'esperienza realizzata porta a due delle seguenti conclusioni. Indica le risposte che ritieni siano esatte.

1. La forza coulombiana è direttamente proporzionale alla distanza.
2. La forza coulombiana è inversamente proporzionale alla distanza.
3. La forza coulombiana è inversamente proporzionale al quadrato della distanza.
4. La forza coulombiana è direttamente proporzionale al quadrato delle cariche.
5. La forza coulombiana è direttamente proporzionale alle cariche.
6. La forza coulombiana è inversamente proporzionale alle cariche.



Elaborazione al computer

Preparazione del foglio

- Scrivi nella cella A1 l'etichetta *dist.(d)* e in A2..An i valori delle distanze iniziali a cui sono poste le due sfere cariche.

	A	B	C	D
1	<i>dist.(d)</i>	<i>spost.(s)</i>	<i>dist.(d')</i>	<i>spost.(s')</i>
2
3
...
n	...			

- Scrivi nella cella B1 l'etichetta *spost(s)* e in B2..Bn gli spostamenti misurati in corrispondenza delle diverse distanze iniziali.
- Scrivi nella cella C1 l'etichetta *dist.(d')* e in C2 il valore della distanza iniziale a cui vengono poste le due sfere.
- Scrivi nella cella D1 l'etichetta *spost(s')* e nelle celle D2..D4 gli spostamenti registrati a carica intera, a metà carica e a un quarto di carica.

Rappresentazione grafica

- Attiva la procedura *Grafo*.
- Scegli una rappresentazione *x, y*.
- Indica come asse delle *x* la zona A2..An.
- Indica come asse delle ordinate la zona B2..Bn.
- Titola.
- Visualizza.