

Il Campo Elettrico

Introduzione

Nel paragrafo precedente abbiamo parlato della forza elettrostatica con la quale interagiscono due cariche elettriche poste ad una certa distanza. Sappiamo che la legge che quantifica questa interazione, nota come forza elettrostatica di Coulomb (1736 - 1806), dice che la forza elettrostatica a cui sono mutuamente sottoposte due cariche poste nello spazio vuoto, è proporzionale alle due cariche e all'inverso del quadrato della loro distanza radiale. La forza elettrostatica di Coulomb è una forza che nel vuoto agisce "a distanza".

Un'altra famosa legge dell'inverso del quadrato è la legge di forza che regola la mutua interazione nel vuoto di due masse. Questa legge è nota come Legge di Gravitazione Universale, introdotta dal fisico britannico Isaac Newton (1642 – 1727) nei suoi *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (traduzione: "Principi matematici della filosofia naturale").

Già un secolo prima di Coulomb le forze "a distanza" erano note ma difficilmente intuibili. Newton stesso ammise di non riuscire proprio a capire come sia possibile un'interazione a distanza tra due corpi dotati di massa.

A questo punto è giusto porci la domanda su cosa accadrebbe alla Terra se improvvisamente dovesse scomparire il Sole dal sistema solare. Supponendo di poter osservare ciò che avviene, di sicuro dalla Terra continuerà ad essere visibile il Sole per circa otto minuti. Questo a causa della velocità di propagazione della luce (circa trecentomila chilometri al secondo), che pure essendo elevatissima è comunque una quantità finita (il Sole dista mediamente dalla Terra centocinquantomilioni di chilometri). Ma è notevole osservare che la Terra perderà istantaneamente la sua gravità, svincolandosi dal sistema solare seguendo la tangente alla "vecchia" orbita nel punto relativo all'istante in cui il Sole è scomparso.

Ma come fa la Terra ad accorgersi istantaneamente della scomparsa del Sole? Ma c'è altro ancora. Anche Plutone, pianetino del sistema solare più lontano dal Sole, perderebbe istantaneamente la sua gravità, così come accadrebbe a Mercurio, il pianeta del sistema solare più vicino al Sole.

Sappiamo che un segnale non può viaggiare a velocità infinita. La velocità "limite" di un qualsiasi segnale è proprio la velocità della luce, limite invalicabile. Se tanto Mercurio quanto Plutone dovessero comportarsi in base ad un'informazione ricevuta, data la distanza, Mercurio si libererebbe dalla gravità molto prima di Plutone. Invece i due pianeti perderebbero istantaneamente la gravità dal Sole. Quindi la forza a distanza non può essere dovuta ad una qualche "informazione", ma a qualcosa di diverso.

Per superare questo ostacolo pensiamo ad un esempio che possa spiegare la natura della gravitazione. In seguito cercheremo di estendere ciò che avremo appreso al caso dell'interazione elettrostatica.

Immaginiamo di tendere molto bene un lenzuolo e di poggiare su di esso una pallina da pingpong che, come è noto, è molto leggera. Il lenzuolo teso, che nel nostro esempio rappresenta lo spazio, non risulta alterato per effetto della pallina che abbiamo posto su di esso. Se il lenzuolo è ben teso, e noi lo supponiamo, la pallina da pingpong resterà ferma su di esso. Immaginiamo ora di porre sul lenzuolo una sfera di piombo piena. A causa della sua massa il lenzuolo subirà una piegatura, modificando visivamente la propria geometria. La pallina da pingpong, essendo stata modificata la geometria dello spazio che la circonda (il lenzuolo si è incurvato) è "costretta" istantaneamente a muoversi cadendo, se la distanza lo permette, sulla sfera di piombo. È così che possiamo spiegare gli effetti istantanei di una forza a distanza.

Se ci riferiamo esclusivamente al caso della gravitazione, possiamo dire che una massa posta nello spazio modifica la geometria dello spazio stesso, in modo che ogni altra massa presente, istantaneamente, risente di questa modificazione, mutando il proprio stato di moto, inerzia permettendo.

Ricapitolando possiamo affermare che quando una forza agisce a distanza vuol dire che qualcosa è mutato nella geometria dello spazio in cui la forza stessa agisce.

Nel caso della forza elettrostatica, essendo essa stessa una forza a distanza, avviene quanto detto nel caso della forza gravitazionale.

Una carica elettrica posta nello spazio modifica la geometria dello spazio stesso in modo che ogni altra carica, che a sua volta modifica lo spazio, risente della presenza della prima. Il fisico britannico Michael Faraday (1791 – 1867) introdusse il concetto di **campo** proprio per superare le difficoltà logiche insite nel concetto di forza a distanza.

Diciamo che una carica posta nello spazio genera un *campo elettrico* attorno a se che rappresenta la modificazione della geometria dello spazio, di cui abbiamo parlato in precedenza.

Campi vettoriali e campi scalari

Dato uno spazio euclideo (in esso vale la geometria euclidea) è possibile stabilire una corrispondenza biunivoca tra i punti dello spazio e i vettori. Un campo si dice vettoriale se ad ogni suo punto possiamo associare un vettore. Ci è spesso capitato di osservare in TV la rappresentazione dei venti durante le previsioni meteorologiche. Sulla cartina vengono poste diverse frecce che indicano la direzione, il verso e l'intensità del vento in ogni punto considerato. La rappresentazione meteorologica del vento così descritta è un esempio di campo vettoriale. Vedremo più avanti che sia il campo elettrico che il campo gravitazionale sono esempi di campi vettoriali.

Allo stesso modo di come abbiamo definito il campo vettoriale possiamo dire che, dato uno spazio euclideo, abbiamo un campo scalare se ad ogni punto dello spazio associamo una grandezza scalare, ossia un numero (esso può essere lo stesso per punti diversi).

Ricorrendo sempre alla meteorologia, un esempio di campo scalare lo abbiamo quando vengono esposti i valori della temperatura in corrispondenza di diverse zone geografiche. La cartina è lo spazio in esame e le temperature sono le grandezze scalari. Le due cose insieme formano il campo scalare delle temperature. Lo stesso potremmo dirlo per la rappresentazione delle pressioni (sempre ricorrendo alla meteorologia).

Vedremo più avanti che un esempio di campo scalare sarà quello rappresentato dal potenziale elettrico.

Il Campo Elettrico

Prima di entrare nel vivo del discorso abbiamo bisogno di una definizione. Vi ricordate l'esempio del lenzuolo citato sopra? Noi abbiamo usato all'inizio una pallina da pingpong sicuri che la sua esile massa non avrebbe modificato in modo visibile la geometria del lenzuolo teso. Per fare lo stesso esperimento utilizzando le cariche elettriche, la nostra pallina da pingpong questa volta deve essere una carica talmente piccola da non modificare eccessivamente lo spazio circostante. Questa carica, che chiameremo *carica di prova*, sarà per noi un protone. Il protone, lo sappiamo, possiede la carica elementare positiva, cioè $e^+ = 1.6 \times 10^{-19}$ C. Questa è la carica positiva più piccola esistente in natura. Useremo questa carica di prova come sonda, per indagare le proprietà elettriche di uno spazio in cui sia presente una carica elettrica fissa.

Supponiamo di fissare nello spazio una carica elettrica Q di valore elevato rispetto alla carica elementare ($Q \gg e$). Usiamo la carica di prova per capire come cambiano le caratteristiche dello spazio circostante la carica Q . La carica di prova sarà soggetta alla forza elettrostatica di Coulomb che in base al segno di Q sarà attrattiva o repulsiva lungo la congiungente le due cariche. In ogni punto dello spazio circostante a Q la carica di prova subirà quindi una forza che dipende dall'inverso del quadrato della distanza dalla carica Q , dall'intensità di Q (la carica di prova ha valore che possiamo considerare trascurabile), sarà diretta lungo la retta che congiunge le due cariche, avrà il verso dato dal segno di Q .

In sintesi possiamo dire che ad ogni punto dello spazio circostante a Q corrisponde un vettore che indica la forza, intesa come vettore, che subisce la carica di prova per effetto della presenza di Q. Ciò che viene fuori è un campo vettoriale che chiamiamo *campo elettrico* generato dalla carica Q.

Vogliamo ora determinare l'intensità del campo elettrico generato da una carica elettrica Q fissa nello spazio vuoto (per il momento non siamo interessati al segno della carica). Supponiamo di porre la nostra carica di prova e^+ ad una distanza r dalla carica Q. Su di essa agirà la forza elettrostatica di Coulomb, la cui intensità è data da

$$F_e = k \frac{e^+ \cdot Q}{r^2}.$$

La proprietà associativa del prodotto ci permette di scrivere la formula dell'intensità della forza elettrostatica in questo modo

$$F_e = e^+ \left(k \frac{Q}{r^2} \right).$$

Chiamiamo *intensità del campo elettrico* la quantità

$$E = k \frac{Q}{r^2}.$$

L'intensità del campo elettrico E è un vettore che ha direzione radiale (la direzione di r) e verso che dipende dal segno della carica Q.

In forma vettoriale possiamo scrivere

$$\vec{F}_e = e^+ \cdot \vec{E},$$

ossia sulla carica di prova agisce una forza elettrostatica (vettoriale) proporzionale al campo elettrico (vettoriale) generato dalla carica Q.

Il nostro discorso può essere generalizzato considerando, al posto della carica di prova, una qualsiasi carica q immersa in un campo elettrico generato dalla carica elettrica Q. Per effetto del campo elettrico generato da Q, la carica q subirà una forza elettrostatica attrattiva o repulsiva (dipende dal segno delle due cariche) di intensità

$$F_e = q \cdot E_Q,$$

avendo indicato con E_Q l'intensità del campo elettrico generato dalla carica Q.

Linee di forza di un campo elettrico

Supponiamo ora di voler osservare tutte le possibili traiettorie di una carica di prova posta nel campo elettrico generato da una carica Q positiva. La carica di prova si muoverà sempre in linea retta e verrà continuamente respinta da Q. Essa risentirà in ogni punto dello spazio di una forza repulsiva che varia come l'inverso del quadrato della distanza, in accordo con la legge di Coulomb.

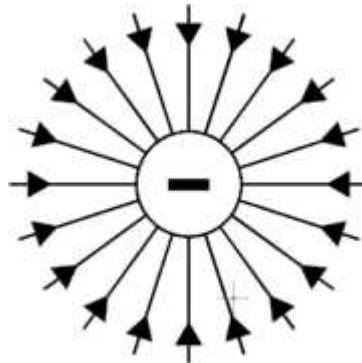
Ogni singola traiettoria tenuta dalla carica di prova per effetto della forza esercitata su di essa dalla presenza della carica Q viene chiamata *linea di forza*. Tutte assieme formano le linee di forza del campo elettrico. Queste linee sono dette *uscenti* se la carica Q è positiva (in questo caso la carica Q viene detta *sorgente*), mentre sono chiamate *entrantanti* se Q è negativa (in questo caso la carica Q viene detta *pozzo*).

Esempi di linee di campi elettrici

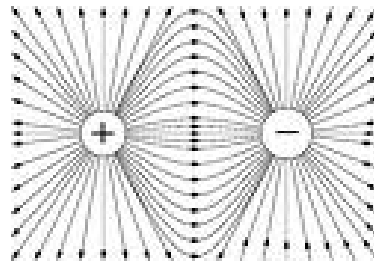
Linee di forza del campo elettrico generato da una carica positiva:



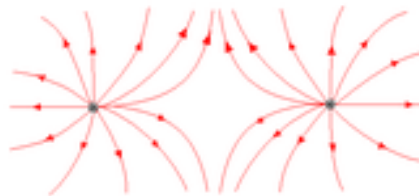
Linee di forza del campo elettrico generato da una carica negativa:



Linee di forza del campo elettrico generato da un dipolo elettrico (due cariche uguali ed opposte):



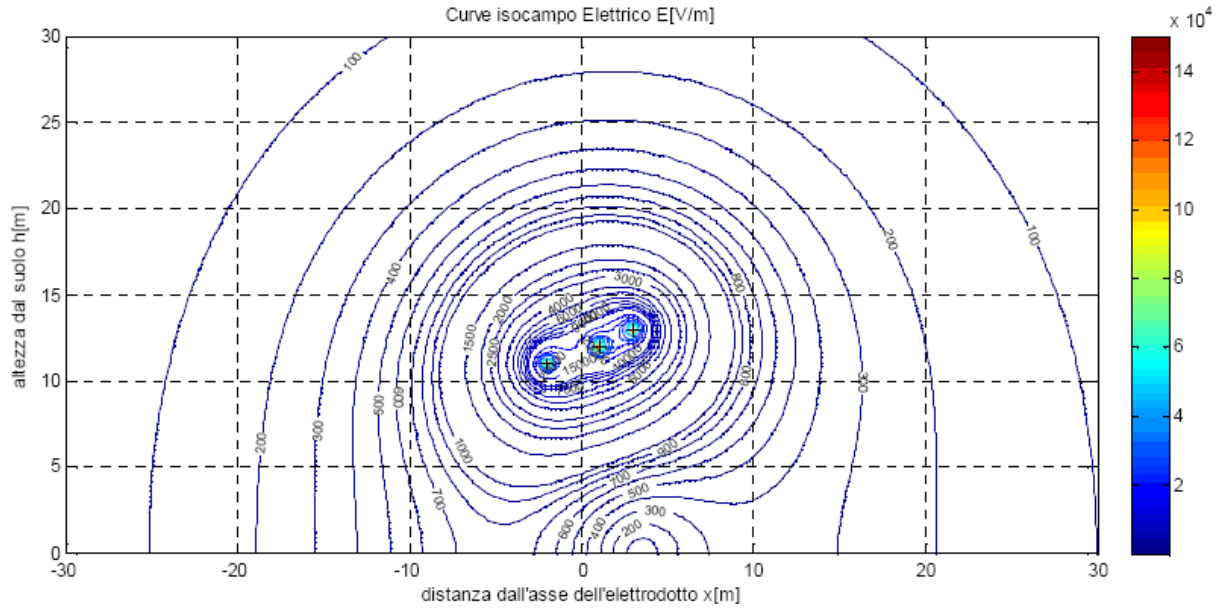
Linee di forza del campo elettrico generato da due cariche positive uguali:



Linee di forza di un campo elettrico uniforme (due piastre parallele caricate con carica uguale ed opposta):



Linee di forza del campo elettrico generato da un elettrodo (non regolare):



Linee di forza (distribuzione) del campo elettrico generato da due campioni di sangue umano esposti ad una frequenza di 1950 MHz:



Prof Valerio CURCIO