

Lezione 36: Il campo elettrico

36.1. La definizione del campo elettrico

Nelle scorse lezioni abbiamo imparato a calcolare la forza che una carica Q esercita su una carica q posta nelle sue vicinanze. Ora proviamo a procedere in un modo un po' diverso: diciamo cioè che la carica Q modifica lo spazio che la circonda. Altri oggetti carichi, posti nei pressi della carica Q , avvertono questa variazione dello spazio in cui sono collocati, e reagiscono ad essa sperimentando una forza. Stiamo cioè ragionando in termini di campo, esattamente come avevamo fatto nella lezione 12, parlando di campo gravitazionale. Ora, naturalmente, parleremo di campo elettrico: lo indicheremo con la lettera E . Scelta una carica di prova q , per convenzione positiva, il campo elettrico E si definisce così:

Il campo elettrico in un punto dello spazio è la forza per unità di carica che viene sperimentata da una carica di prova q collocata, ferma, in tale punto. Si tratta di un campo vettoriale, indicato con il simbolo \vec{E} .

La formula che lo definisce è quindi: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

La definizione appena vista ha due conseguenze importanti:

- l'unità di misura del campo elettrico è il newton / coulomb, in simboli N/C,
- il vettore campo elettrico ha la stessa direzione del vettore forza, perché il vettore forza viene moltiplicato per il termine $1/q$, che è positivo.

36.2. Un esempio numerico

Questo esempio è del tutto analogo a quello che considerammo nella lezione 12, calcolando il campo gravitazionale generato dal Sole ad una distanza di 150 milioni di km da sé. In quella occasione usammo come corpo di prova la Terra, che proprio a quella distanza si trova.

Ora ci domandiamo quale sia il campo elettrico che una carica sorgente di $5 \mu\text{C}$ (cioè una carica di $5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$) genera ad una distanza di 3 m dal suo centro.

Dobbiamo quindi risolvere l'equazione $F = K \frac{Q \cdot q}{r^2}$ AND $E = \frac{F}{q}$. Otteniamo un risultato che non dipende dal valore della carica di prova che abbiamo scelto:

$$E = \frac{K \cdot Q}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{9} = 5 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Poiché la carica sorgente è positiva, la forza sulla carica di prova è repulsiva, quindi il campo elettrico, in qualunque punto, ha la stessa direzione della semiretta che ha origine nella carica sorgente e che passa per quel punto.

Diciamo quindi che una carica sorgente di $5 \mu\text{C}$ genera, a una distanza di 3 m dal suo centro, un campo elettrico la cui intensità è $E = 5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$. Una qualunque carica di prova, posta proprio a quella distanza dalla carica sorgente, avverte la presenza del campo: sente una forza repulsiva la cui intensità è $F = q \cdot E$. Se, nell'esempio precedente, usiamo una carica di prova $q = 10 \text{ nC}$ (cioè 10^{-8} C), e la poniamo alla distanza di 3 m dalla carica sorgente di $5 \mu\text{C}$, essa sente una forza repulsiva di intensità $F = 10^{-8} \text{ C} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ N/C} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ N}$.

Naturalmente avremmo potuto fare lo stesso calcolo in modo diretto:

$$F = K \frac{Q \cdot q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-8}}{9} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Qual è allora il vantaggio dell'aver spezzato il problema in due parti, calcolando prima il campo generato dalla carica sorgente, e poi la forza che il campo provoca sulla carica di prova? La risposta è la stessa che già demmo nella lezione 12: i campi non sono finzioni di tipo matematico, al contrario hanno un'esistenza reale, si muovono nello spazio, trasportano energia ed informazioni. Quante volte vi è capitato di muovervi avanti e indietro con il telefonino, perché non si riesce a trovare il campo? Quando finalmente il campo si trova (si tratta proprio di un campo elettrico e magnetico, come vedremo nelle prossime lezioni) accade qualcosa di molto concreto: gli elettroni di conduzione che si trovano nell'antenna del telefono reagiscono alla presenza del campo, e cominciano ad oscillare su e giù lungo l'antenna. Il campo è stato prodotto da un'opportuna sorgente (a sua volta un'antenna, una fra le tante della fitta rete che copre il nostro territorio), ha viaggiato attraverso lo spazio, ha prodotto i suoi effetti sugli elettroni della vostra antenna. Il risultato è il flusso di energia e informazioni che scambiate tramite il vostro apparecchio.

36.3. Immagini del campo gravitazionale

Nel caso del campo gravitazionale abbiamo considerato un solo tipo di sorgenti degne di nota: stelle, pianeti, o comunque oggetti celesti di grande massa e di simmetria almeno approssimativamente sferica. I campi che questi oggetti generano si possono descrivere mediante linee che convergono verso il centro della sfera (► fig.36.1a): la linea che passa per un punto qualsiasi dello spazio intorno alla sorgente ha la stessa direzione del vettore campo in quel punto. Una massa di prova, cioè, subisce una forza diretta verso il centro della sfera: lasciata libera a sé stessa si muove seguendo la linea che passa per il punto in cui si trova.

Ma se allarghiamo appena un po' lo sguardo, subito ci rendiamo conto che la situazione è più complessa (► fig.36.1b): un veicolo che viaggia dalla Terra verso la Luna si troverà, prima o poi, in zone in cui l'attrazione gravitazionale della Luna prevale su quella della Terra. In punti molto vicini alla Terra l'attrazione gravitazionale della Luna sarà trascurabile: le linee che passano per questi punti hanno più o meno la stessa direzione di quelle viste nella parte a) della figura. Lo stesso possiamo dire delle linee che attraversano punti vicini alla superficie della Luna: la loro direzione, almeno approssimativamente, è quella del centro della Luna. Nei punti in cui le due attrazioni sono confrontabili, la direzione della linea diventa più complicata: il vettore campo, che otteniamo sommando i due campi prodotti da Terra e Luna, sarà in ogni caso tangente alla linea che passa per quel punto.

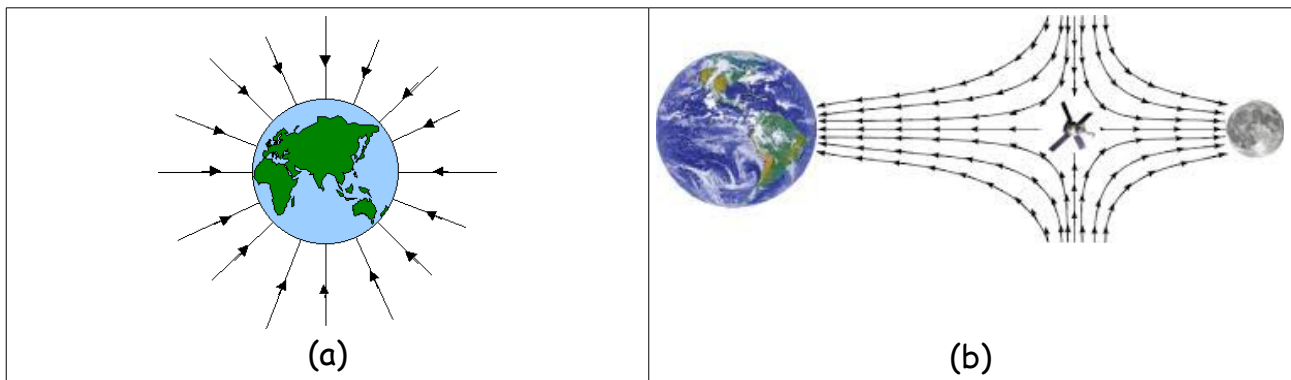


Fig.36.1 a) linee del campo gravitazionale nelle vicinanze della Terra
b) linee di campo gravitazionale per il sistema Terra - Luna

In generale:

si definisce linea di campo una curva ideale che ha come tangente in ogni punto la direzione del vettore del campo stesso

36.4. Immagini del campo elettrico

Le linee del campo gravitazionale possiamo solo immaginarle, quelle del campo elettrico si possono visualizzare in un modo semplice ed ingegnoso. Le prossime immagini (► fig.36.2) mostrano quello che accade quando una manciata di piccoli semi viene sparsa in modo uniforme sopra la superficie dell'acqua, nella quale vengono immersi elettrodi carichi, dei quali possiamo far variare la forma e il segno della carica. I piccoli semi si caricano per induzione: la carica positiva si concentra presso un'estremità, quella negativa presso l'estremità opposta. L'estremità positiva si orienta nella direzione del campo elettrico, quella negativa nella direzione opposta. Si formano così delle lunghe catene di semi, catene che visualizzano la forma delle linee di campo elettrico.

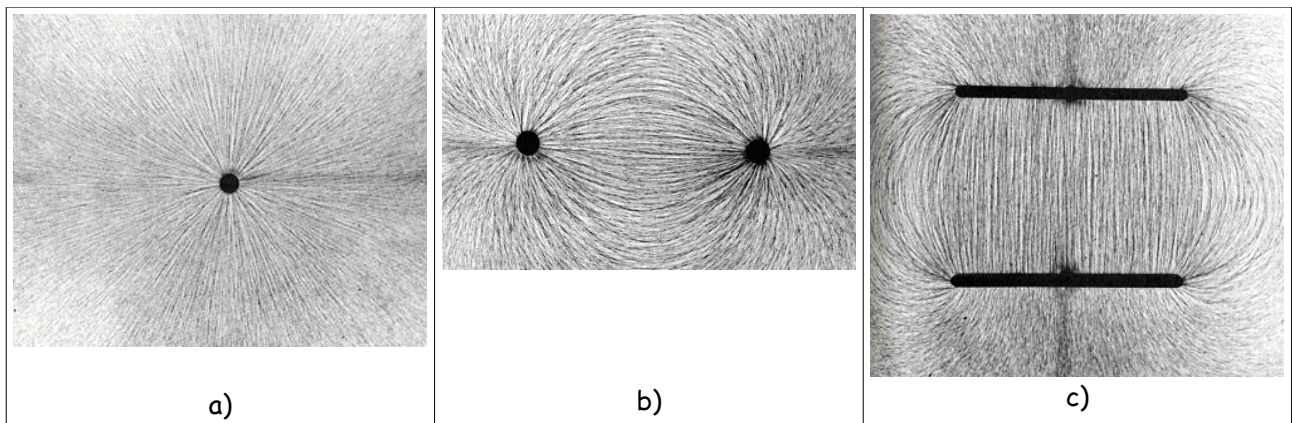


Fig.36.2 a) linee del campo elettrico prodotto da una carica puntiforme
 b) linee del campo elettrico prodotto da una coppia di cariche di segno opposto
 c) linee del campo elettrico prodotto da una coppia di piastre parallele con carica di segno opposto

L'immagine mostra quel che accade sulla superficie dell'acqua, quindi su di un piano. Tuttavia è facile immaginare come le linee di campo si distribuiscono nello spazio tridimensionale, partendo dalla sezione bidimensionale che vediamo.

L'immagine a) illustra il caso di una carica puntiforme, o comunque di una carica con simmetria sferica: le linee di campo sono semirette che si dipartono in tutte le direzioni dalla sorgente (se essa è positiva), oppure che verso di essa convergono (se negativa).

L'immagine b) mostra due sorgenti con cariche opposte: le linee di campo si dipartono dalla carica positiva, e convergono verso quella negativa. Questa disposizione di sorgenti si chiama *dipolo*: quando un corpo si carica per induzione si trasforma in un dipolo, come i semi in questo paragrafo, o come l'asta dell'elettroscopio che abbiamo visto nella figura 4 della lezione 34. Nelle immediate vicinanze delle estremità del dipolo, le linee di campo hanno un andamento molto simile a quello di una carica isolata: l'altra estremità, con la sua carica opposta, è troppo lontana per far sentire i suoi effetti.

L'immagine c) mostra due piastre piane con cariche opposte. Esse son collocate, parallele, ad una certa distanza: questa disposizione di sorgenti si chiama *condensatore*, le piastre cariche si chiamano *armature*. Nello spazio tra le armature le linee di campo sono parallele e dirette perpendicolarmente alle armature, da quella positiva a quella negativa (una carica di prova, che abbiamo detto positiva, viene infatti respinta dall'armatura di carica + e attratta da quella di carica -). Il condensatore è un dispositivo importante, perché ci permette di creare un campo uniforme nello spazio tra un'armatura e l'altra: il fatto che le linee siano parallele significa infatti che il campo ha in ogni punto la stessa direzione (e anche la stessa intensità, come vedremo tra breve). Nel caso del campo gravitazionale, per esempio quello della Terra, non abbiamo certamente un campo uniforme: le linee di campo,

infatti, convergono verso il centro della Terra. Se però consideriamo zone piccole, ad esempio una porzione di atmosfera alta pochi km, sopra una piccola porzione di superficie terrestre, allora le linee di campo sono con buona approssimazione parallele: esse convergono, infatti, in un punto distante più di 6000 km dalla zona che stiamo considerando. Il campo gravitazionale, in quella piccola zona, è praticamente uniforme.

Abbiamo detto di sfuggita che il campo tra le armature del condensatore è costante in modulo, oltre che in direzione. La cosa si può osservare direttamente dalle immagini: vediamo infatti, nei casi a) e b), che le linee di campo si fanno via via più rarefatte con l'aumentare della distanza dalle sorgenti, mentre avvicinandosi ad esse la loro densità aumenta. L'addensarsi o il rarefarsi delle linee di campo indicano, rispettivamente, il crescere o il diminuire dell'intensità del campo elettrico: esso è più intenso là dove le linee di campo sono più fitte. Nel caso della figura c) vediamo che, se non ci avviciniamo troppo ai bordi delle armature, le linee di campo hanno ovunque la stessa densità. Ciò significa che il campo elettrico, lontano dai bordi, ha modulo costante.

36.5. Dimostrazioni qualitative

Il ruolo della matematica, in questa lezione, è stato men che modesto. Ci riscattiamo nell'ultimo paragrafo, proponendo due semplici dimostrazioni.

L'immagine b) del paragrafo precedente suggerisce che il campo elettrico, lungo un asse di simmetria perpendicolare al dipolo, ha la stessa direzione del dipolo stesso. La cosa è facile da dimostrare con un po' di geometria elementare, come si può vedere dalla prossima figura (► fig.36.3)

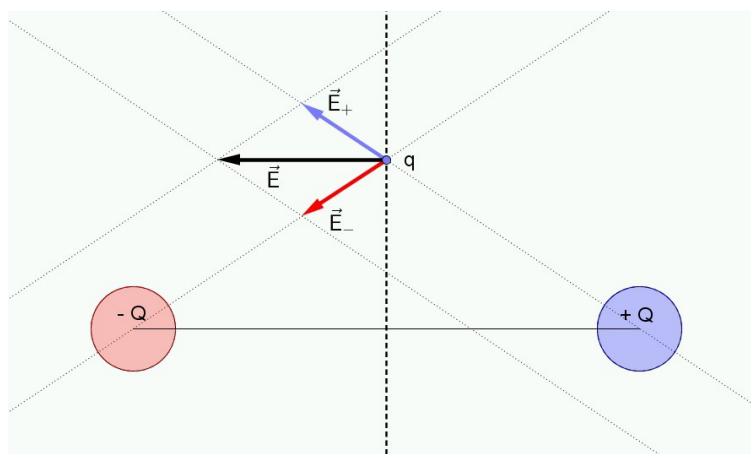


Fig.36.3 Il campo elettrico, in ogni punto di un asse di simmetria perpendicolare al dipolo, è diretto come il dipolo

Abbiamo indicato in rosso la carica negativa del dipolo, in blu quella positiva. La carica di prova è indicata in blu, perché per convenzione è positiva. La carica di prova è sottoposta simultaneamente al campo repulsivo prodotto dalla carica positiva (E_+ , in blu) e a quello attrattivo prodotto dalla carica negativa (E_- , in rosso). I due campi hanno la stessa intensità, perché sull'asse del dipolo le distanze dalle due sorgenti sono uguali. In particolare i due campi hanno uguali componenti orizzontali, che quindi si sommano, e componenti verticali opposte, che quindi si cancellano.

Ora dimostriamo che il campo dentro al condensatore è perpendicolare alle armature, a patto che la loro estensione sia grande rispetto alla distanza che le separa. Nella prossima figura (► fig.36.4) abbiamo indicato in blu l'armatura caricata positivamente, in rosso quella negativa. La figura è naturalmente bidimensionale: rappresenta la situazione che si osserva in un piano perpendicolare alle armature.

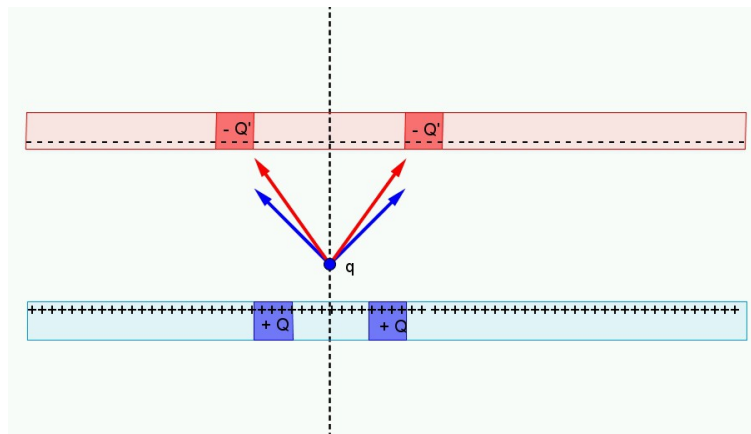


Fig. 36.4 Il campo dentro al condensatore, in punti non troppo vicini al bordo, è perpendicolare alle armature

Poniamo la carica di prova in un punto qualsiasi, non troppo vicina ai bordi del condensatore. Poi consideriamo la retta perpendicolare alle armature che passa per il punto in cui si trova la carica di prova. Per ogni piccola porzione di armatura che possiamo prendere in considerazione, ce n'è una disposta simmetricamente rispetto a questa retta. Per una porzione di carica $+Q$ che nell'immagine si trova a destra della carica di prova, ne troviamo una di carica uguale, collocata a sinistra: il risultato netto di queste due porzioni è un piccolo contributo al vettore campo elettrico, contributo diretto perpendicolarmente alle armature. Le componenti di campo parallele alle armature, infatti, si cancellano a due a due. Lo stesso discorso possiamo ripeterlo per l'armatura negativa: ad ogni piccola porzione di carica $-Q'$ ne corrisponde una disposta simmetricamente rispetto alla retta tratteggiata. La conclusione è *rigorosamente vera* al centro del condensatore. A mano a mano che ci avviciniamo al bordo, abbiamo porzioni ad una estremità che non sono compensate da porzioni corrispondenti all'estremità opposta: tuttavia queste porzioni sono distanti, perciò i loro effetti sono piccoli, perciò la conclusione è *approssimativamente vera*.