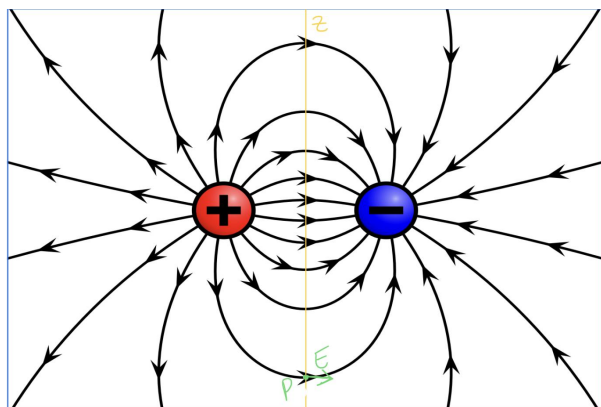


Campo elettrico generato da un dipolo elettrico:



DEFINIZIONE:

Un dipolo elettrico è un sistema costituito da due cariche elettriche puntiformi uguali e di segno opposto mantenute ad una certa distanza costante nel tempo.

Le due particelle cariche sono separate da una distanza d e l'asse di simmetria su cui giacciono si chiama asse dipolare; una rotazione di tale asse conferisce forma tridimensionale come si vede dal disegno. Il vettore campo elettrico E in un punto arbitrario è sempre tangente alla linea di campo passante per quel punto.

Il punto intermedio tra le cariche è detto *centro* del dipolo.

Vogliamo trovare il campo netto risultante nel punto P applicando l'equazione:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_0}{q_0} = \frac{\mathbf{F}_{01}}{q_0} + \frac{\mathbf{F}_{02}}{q_0} + \dots + \frac{\mathbf{F}_{0n}}{q_0}.$$

Infatti la sua direzione coincide con quella dell'asse z e pertanto scriviamo semplicemente l'espressione dell'intensità di campo, dotata di segno $+$ o $-$, a seconda del verso del vettore:

$$E = E_{(+)} - E_{(-)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_{(+)}^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_{(-)}^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0(z - \frac{1}{2}d)^2} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0(z + \frac{1}{2}d)^2}.$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \left(\frac{1}{(1 - \frac{d}{2z})^2} - \frac{1}{(1 + \frac{d}{2z})^2} \right).$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 z^2} \frac{2d/z}{(1 - (\frac{d}{2z})^2)^2} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 z^3} \frac{d}{(1 - (\frac{d}{2z})^2)^2}.$$

Solitamente siamo interessati agli effetti di un dipolo in una posizione lontana dal medesimo, in cui z è molto maggiore delle dimensioni del dipolo, ovvero $z \gg d$. Pertanto il termine $d/(2z)$ [$d/(2z) \ll 1$] a denominatore può essere trascurato.

Il prodotto qd viene detto **momento di dipolo elettrico** del dipolo e viene indicato con il simbolo p . L'unità di misura di p è il C·m.

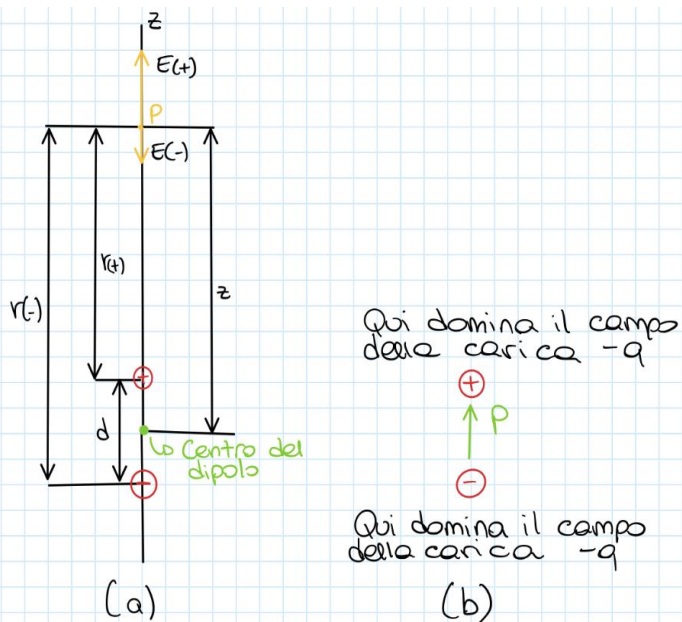
$$\mathbf{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{P}{z^3}$$

Quindi se si raddoppia la distanza tra un punto e un dipolo, il campo elettrico in quel punto si riduce di un fattore 8. Se, invece, si raddoppia la distanza da una carica puntiforme singola, il campo elettrico si riduce soltanto di un fattore 4.

Di conseguenza, il campo elettrico di un dipolo diminuisce più rapidamente con la distanza del campo elettrico prodotto da una carica singola.

La spiegazione scientifica di questa rapida diminuzione del campo elettrico di un dipolo è che un dipolo, da posizioni distanti, appare come due cariche uguali in intensità ma di segno opposto che coincidono quasi perfettamente. Per cui i loro campi elettrici si annullano reciprocamente quasi del tutto.

La figura indica il vettore momento del dipolo.



Un dipolo elettrico. Sono mostrati i campi elettrici $E_{(+)}$ ed $E_{(-)}$ nel punto P, sull'asse di dipolo, risultanti delle due cariche. P si trova alle distanze $r_{(+)}$ e $r_{(-)}$ dalle cariche individuali che formano il dipolo.

Il momento p del dipolo è diretto dalla carica negativa verso quella positiva.

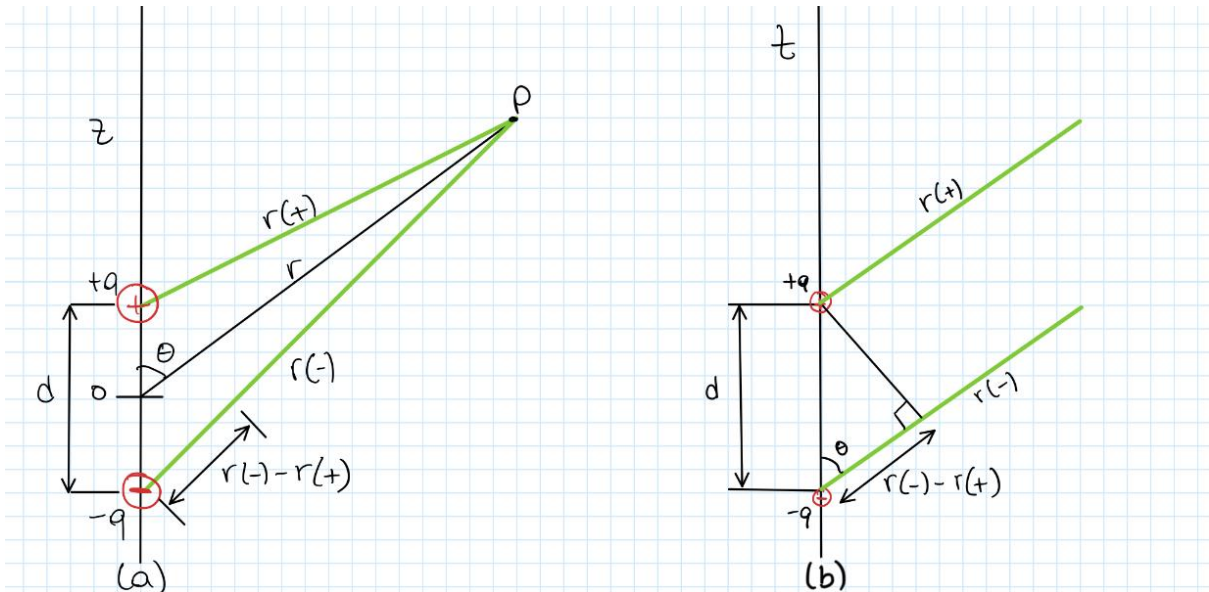
Se si misura il campo elettrico di un dipolo a grandi distanze, non si troveranno mai q e d separatamente, ma solo il loro prodotto. Il campo in punti distanziati non cambia se q viene raddoppiato e allo stesso tempo d viene dimezzato. Per cui il momento di dipolo è una proprietà fondamentale di un dipolo.

La direzione di \mathbf{E} per punti distanti sull'asse di dipolo è sempre nel verso del vettore momento di dipolo \mathbf{p} (sia che si trovi sotto o sopra l'asse del dipolo).

Si definisce, momento di dipolo elettrico il vettore p che ha:

1. direzione la congiungente le due cariche
2. verso quello che va dalla carica negativa alla positiva
3. modulo il prodotto $p = a \cdot q$

Potenziale dovuto a un dipolo elettrico:



(a) Il punto P è a una distanza r dal punto medio O di un dipolo. Il segmento OP forma un angolo θ con l'asse del dipolo.

(b) Se P è lontano dal dipolo, $r_{(+)}$ e $r_{(-)}$ sono approssimativamente paralleli a r e il segmento nero è press'a poco perpendicolare a $r_{(-)}$

Per determinare il potenziale nel punto arbitrario P della figura, si applichi ora l'equazione a un dipolo elettrico:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i} \quad (n \text{ cariche puntiformi})$$

Nel punto P la carica positiva genera il potenziale $V_{(+)}$, e la carica negativa genera il potenziale $V_{(-)}$.

Da questo deriva l'equazione del potenziale netto nel punto P:

$$V = \sum_{i=1}^2 V_i = V_{(+)} + V_{(-)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r_{(+)}} + \frac{-q}{r_{(-)}} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r_{(-)} - r_{(+)}}{r_{(-)} r_{(+)}}$$

Infatti i dipoli in natura sono piccoli e per questo siamo interessati soltanto ai punti lontani dal dipolo, laddove $r \gg d$, dove d è la distanza tra le cariche. Pertanto possiamo considerare $r_{(+)}$ e $r_{(-)}$ come parallele e la loro differenza rappresentata dal cateto del triangolo rettangolo avente l'ipotenusa d ; la differenza è così piccola rispetto ad r che possiamo approssimare il prodotto di $r_{(+)}$ ed $r_{(-)}$ ad r^2 :

$$r_{(-)} - r_{(+)} \approx d \cos \theta \quad \text{e} \quad r_{(-)} r_{(+)} \approx r^2.$$

Se si sostituiscono queste quantità nell'equazione precedente, si può approssimare V come segue:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{d \cos \theta}{r^2} \text{ dove } \theta \text{ è l'angolo compreso tra l'asse del dipolo e la direzione di } P.$$

$$\Rightarrow V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \theta}{r^2} \text{ (dipolo elettrico)}$$

$P=qd$. P è il modulo del momento di dipolo elettrico p . Il vettore p si estende lungo l'asse del dipolo nel verso che va dalla carica negativa a quella positiva. Pertanto θ è misurato rispetto alla direzione di p e tale vettore è utile a indicare la direzione del dipolo elettrico.

- se $\theta = 90^\circ$, $V=0$ (la carica giacente su questo piano è sempre equidistante dalle cariche positiva e negativa che compongono il dipolo in modo che i potenziali scalari costituiti da ciascuna carica si annullino a vicenda)
- se $\theta = 0^\circ$, $V = \frac{P}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
- se $\theta = 180^\circ$, $V = -\frac{P}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

Ad un dipolo elettrico può essere associata anche una Energia Potenziale.

L'energia potenziale è minima quando il dipolo è allineato con il campo elettrico (cioè quando siamo in condizioni di equilibrio) ed il momento torcente è nullo.

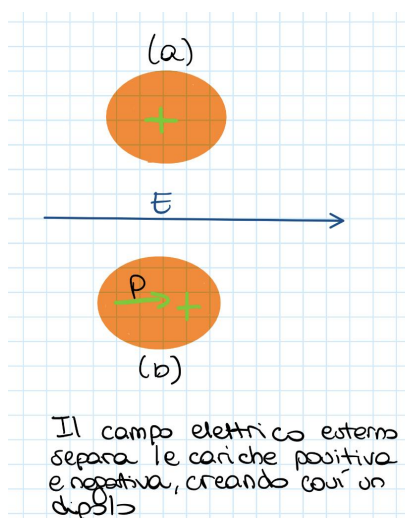
Il dipolo immerso in un campo elettrico si comporta come un pendolo, cioè partendo da una posizione fuori equilibrio cerca di raggiungere la posizione a minore energia potenziale.

L'energia potenziale si è trasformata in energia cinetica rotazionale, il dipolo è ora sottoposto ad un momento torcente che si oppone alla rotazione e il dipolo raggiunge una posizione dove la rotazione inverte il verso (siamo in una situazione simmetrica rispetto a quella iniziale).

In assenza di attrito il moto rotazionale descritto continua all'infinito. Calcolando il lavoro quando il dipolo si scosta di un angolo θ dalla posizione di equilibrio è possibile ricavare un'espressione per l'energia potenziale di un dipolo immerso in un campo elettrico:

$$U = -L = -p \cdot E$$

Momento indotto del dipolo:



Molte molecole (ad esempio l'acqua) hanno momenti di dipolo elettrico *permanenti*. In *molecole non polari* e in tutti gli atomi, i centri delle cariche positiva e negativa coincidono, quindi non presentano nessun momento di dipolo. Se però si pone un atomo o una molecola non polare in un campo elettrico esterno, il campo distorce le orbite degli elettroni e separa i centri di carica positiva e negativa. Infatti gli elettroni, essendo carichi negativamente, tendono ad essere spinti in direzione opposta al campo. Questo spostamento genera un momento di dipolo \mathbf{p} concorde con il campo. Questo momento di dipolo è *indotto* dal campo, e l'atomo o la molecola sono quindi *polarizzati* dal campo (con un estremo positivo e uno negativo). rimuovendo il campo, il momento di dipolo indotto e la polarizzazione scompaiono.

-Polarizzazione nei dielettrici:

Nei dielettrici perfetti non si hanno cariche in movimento, poiché i legami atomici sono così forti da impedire il moto degli elettroni e quindi si dice che hanno conducibilità nulla e rigidità dielettrica infinita. Molte sostanze reali hanno conducibilità molto prossima allo zero.

Se poniamo un **dielettrico** (mezzo attraverso il quale possono esplicarsi azioni elettriche) in un campo elettrico, le cariche elettriche positive vengono "spinte" nella direzione del campo e quelle negative nella direzione opposta.

Le forze di legame nel dielettrico contrastano questa azione fino al raggiungimento di uno stato di equilibrio, ovvero nasce un **momento di dipolo globale del corpo**. Il momento di dipolo risultante per unità di volume è detto **polarizzazione**.

Il dipolo totale genera un campo elettrico non nullo che si oppone al campo esterno e per questo motivo la costante dielettrica e del mezzo è maggiore di quella ϵ_0 del vuoto.

- Se il dielettrico è formato da molecole polari, queste tendono ad orientarsi nel verso del campo elettrico producendo ancora un momento di dipolo elettrico non nullo che porta ancora alla formazione di un fenomeno di polarizzazione.

-Polarizzazione di dielettrici apolari:

In assenza di campo elettrico esterno E le molecole della sostanza hanno simmetria di carica: siamo in assenza di dipoli.

Imponendo un campo elettrico esterno E , la distribuzione di carica a livello atomico viene deformata generando nel dielettrico dei dipoli elettrici (detti dipoli indotti). La relazione fra la polarizzazione P (momento di dipolo per unità di volume) e il campo elettrico E_0 è:

$$P = n p_a = n \alpha \epsilon_0 E_0$$

- n è il numero di atomi (o molecole) per unità di volume,

- p_a è il momento di dipolo atomico (o molecolare) indotto

- α è la polarizzabilità del dielettrico.

La polarizzazione a sua volta produce un campo elettrico E' che si oppone al campo E_0 .

La risultante E è il campo elettrico effettivo presente all'interno del dielettrico.

-Polarizzazione nei dielettrici polari:

I dipoli elementari, presenti in un dielettrico polare, in assenza di campo elettrico esterno E sono orientati caoticamente, determinando un campo elettrico interno totale nullo e un momento di dipolo totale nullo

-La polarizzazione di un dielettrico in presenza di campo elettrico esterno ha comportamento diverso con la *temperatura* a seconda se la sostanza sia polare o meno.

1. Se la sostanza è polare, un aumento di temperatura causa un maggior moto di agitazione termica delle molecole e quindi l'orientamento relativo dei singoli dipoli è meno ordinato e quindi il momento di dipolo totale risultante è minore
2. Per le molecole apolari (polarizzazione per deformazione), la temperatura ha un ruolo marginale. L'imposizione di un campo esterno E causa l'orientazione comune dei dipoli.

-Capacità elettrica:

Consideriamo una sfera conduttrice isolata carica di raggio R . Tutta la carica q si distribuisce sulla superficie esterna. Per il campo elettrico, grazie al teorema di Gauss, alla distanza R (immediatamente fuori dalla sfera) è come se tutta la carica fosse concentrata sul centro della sfera. Quindi il potenziale in R deve essere equivalente a quello di una carica puntiforme: dove la proporzionalità fra q e V è stata esplicitata introducendo la costante C , detta capacità elettrica, definita dalla:

$$C \equiv \frac{q}{V}$$

L'unità di misura è detta Farad (simbolo F).

[Nel caso della sfera è ovviamente $C=4\pi\epsilon_0 R$.]

Lotti Giulia e Pavone Carlotta

Fonti:

Libro **Fondamenti di fisica**, *Onde, campo elettrico e magnetico* (volume 2) di Halliday, Resnick e Walker