

Forze elettriche e campi elettrici

SECONDA PARTE

1. Campo elettrico
2. Linee di forza
3. Teorema di Gauss

*Nel 1846 Michael Faraday
descrive per la prima volta
l'azione delle forze a
distanza mediante il
concetto di campo ...*

1

Il campo gravitazionale: modello visivo

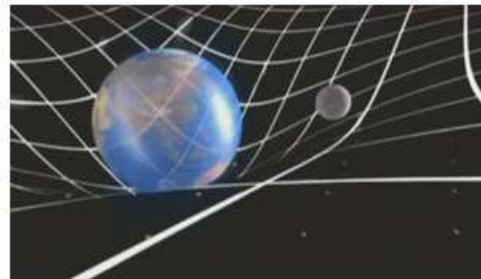
Immaginiamo che lo spazio sia rappresentato da un grosso telo elastico

Se appoggiamo su di esso una sfera, il telo si deforma.

Una seconda pallina appoggiata sul telo si muove come se fosse attratta dalla prima sfera, in realtà il suo moto è dovuto all'avvallamento del telo.

La sfera che causa la deformazione dello spazio è chiamata *generatrice del campo*

Lo spazio deformato intorno alla generatrice si dice *sede del campo*



La sfera è in grado di esercitare un'azione su altri corpi perché ha modificato le proprietà dello spazio che la circonda.

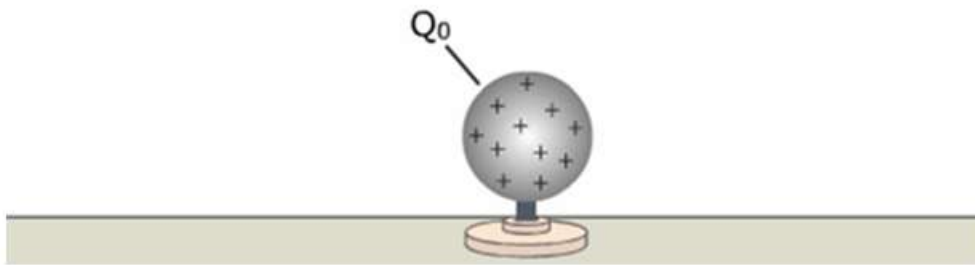
Analogamente per il campo elettrico...

2

La presenza di una carica Q_0 modifica le proprietà dello spazio che la circonda, che diventa sede di un campo elettrico.

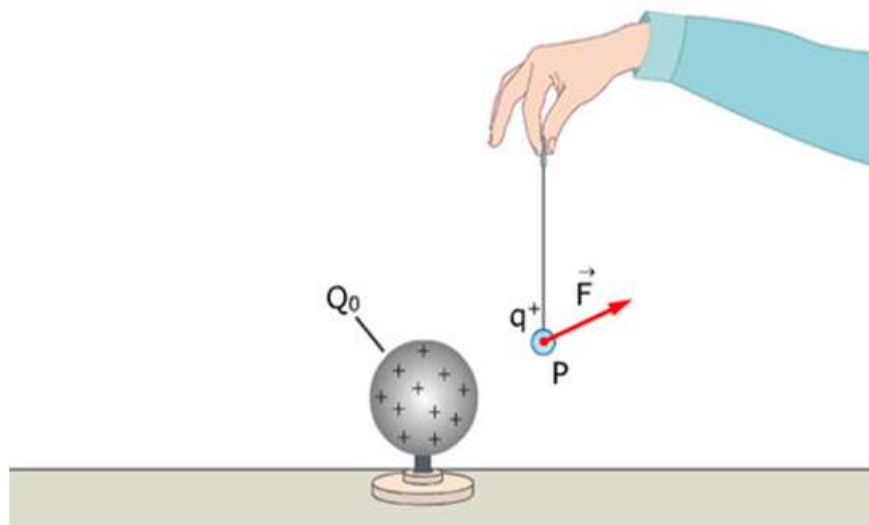
Lo spazio intorno a Q_0 viene modificato indipendentemente dalla presenza di altre cariche.

Come si può visualizzare questo campo elettrico?



3

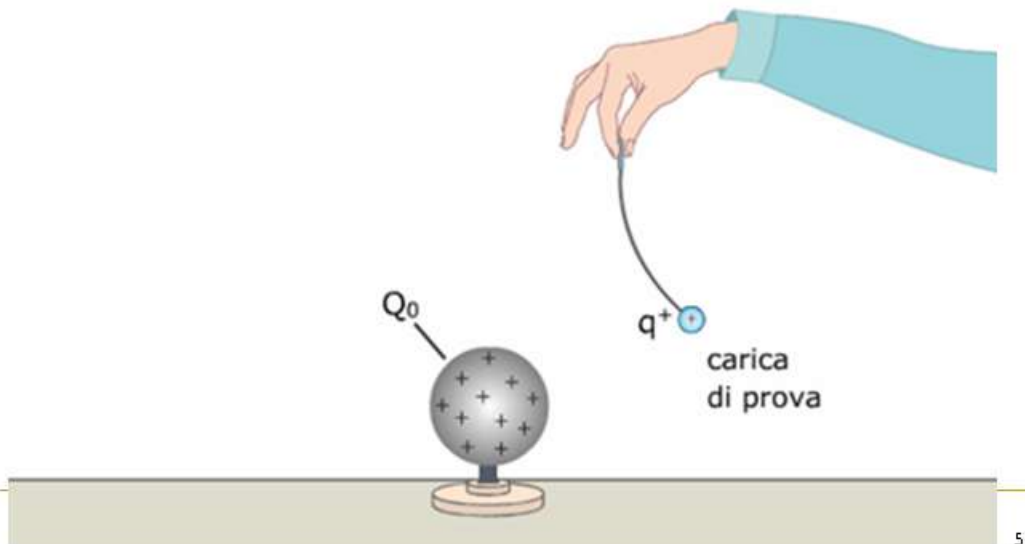
Una carica puntiforme q^+ posta, per esempio, nel punto P risente di una forza dovuta alle nuove proprietà dello spazio in cui si trova. Essa si chiama "carica di prova".



4

La carica di prova q^+ rende visibile l'esistenza del campo elettrico

La carica di prova, però, deve essere puntiforme, positiva e tanto piccola da non modificare, con le forze che essa esercita, le caratteristiche del campo che si vuole studiare.



DEFINIZIONE DI CAMPO ELETTRICO

Il **campo elettrico** E in un punto dello spazio è il rapporto tra la forza elettrostatica F che agisce su una carica di prova positiva posta in quel punto e la carica stessa:

vettore
campo elettrico

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

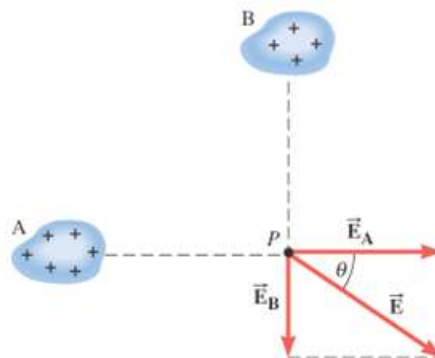
→ $\left[\frac{N}{C} \right]$

Unità di misura del campo elettrico: newton per ogni coulomb (N/C)

Il **campo elettrico** E in un punto dello spazio è numericamente uguale alla forza elettrica che agirebbe sulla carica unitaria positiva posta in quel punto.

(Il campo è la forza per unità di carica)

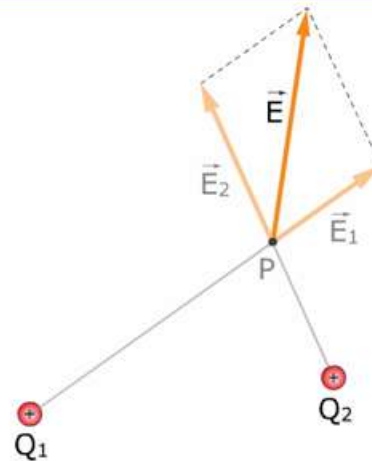
E se ci fossero piu' cariche generatrici? Si dovrebbe usare il **principio di sovrapposizione** per calcolare il campo totale in un punto dello spazio.



Il **campo elettrico totale** generato da un insieme di cariche è la **somma vettoriale** dei campi elettrici generati da ogni singola carica.

7

Principio di sovrapposizione per il campo elettrico



Il campo totale presente in un punto dello spazio è uguale alla somma vettoriale dei singoli campi che sarebbero presenti in quel punto se ciascuna delle cariche fosse presente da sola.

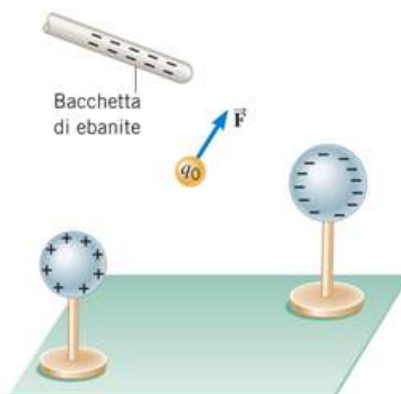
8

Esercizio: Campo elettrico e Forza elettrica

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

La carica di prova positiva mostrata nella figura è $q_0 = 3,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ e subisce la forza F di intensità $6,0 \cdot 10^{-8} \text{ N}$.

- (a) Determina il valore del campo elettrico (la *forza per coulomb*) nel punto in cui essa si trova.
- (b) Calcola la forza che una carica $q_1 = 12 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ subirebbe se fosse messa al posto di q_0 .



(a)
$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{6,0 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{3,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}} = 2,0 \text{ N/C}$$

(b)
$$F = E \cdot q_1 = (2,0 \text{ N/C})(12,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}) = 24 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

9

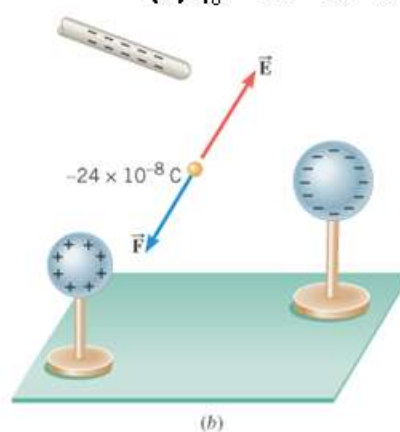
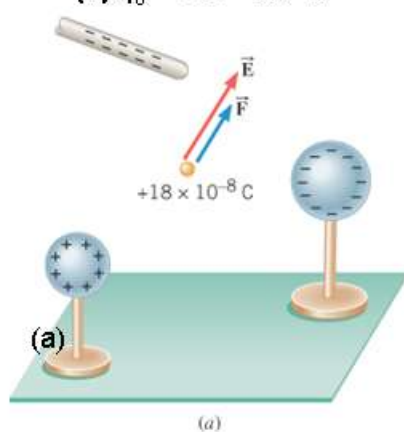
Esercizio: Campo elettrico e forza elettrica

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Le cariche sulle due sfere metalliche e sulla bacchetta di ebanite creano, nel punto indicato, un campo elettrico E di intensità $2,0 \text{ N/C}$, visualizzato in figura. Determina la forza agente su una carica posta in quel punto, se la carica è:

(a) $q_0 = +18 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

(b) $q_0 = -24 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

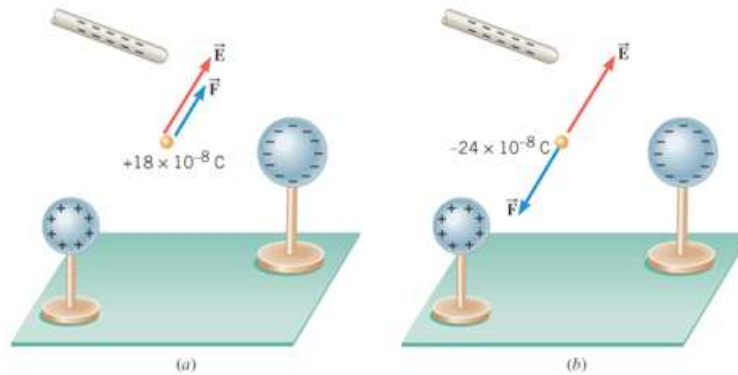


(a)
$$F = q_0 E = (2,0 \text{ N/C})(+18,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}) = +36 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

(b)
$$F = q_0 E = (2,0 \text{ N/C})(-24,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}) = -48 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

(b)

10



In conclusione:

il campo non dipende dalla carica di prova, ma dipende solo dalle cariche generatrici.

La forza dipende anche, sia nel modulo sia nel verso, dalla carica di prova.

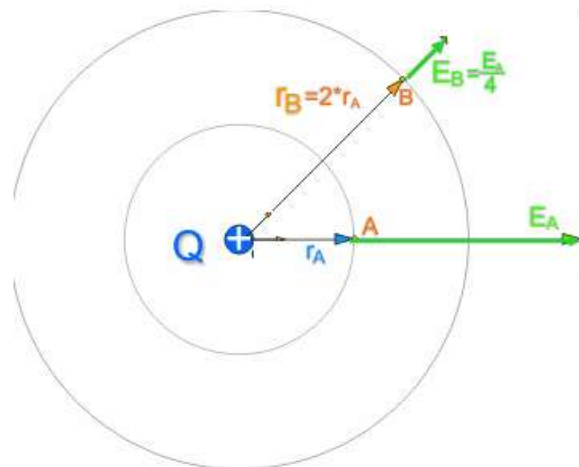
Campo elettrico generato da una carica puntiforme positiva Q

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Da dove si ricava questa formula?

$$E = \frac{F}{q}$$

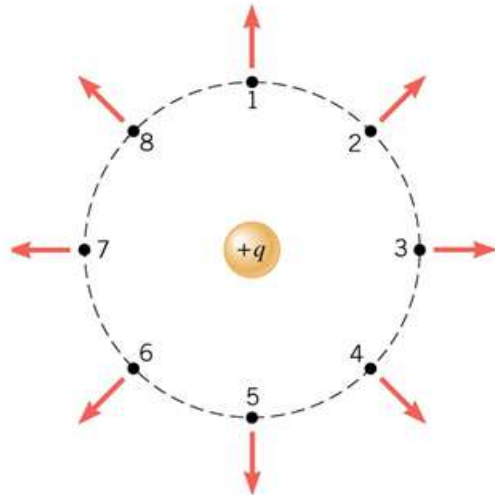
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \frac{1}{q}$$



OSSERVAZIONE

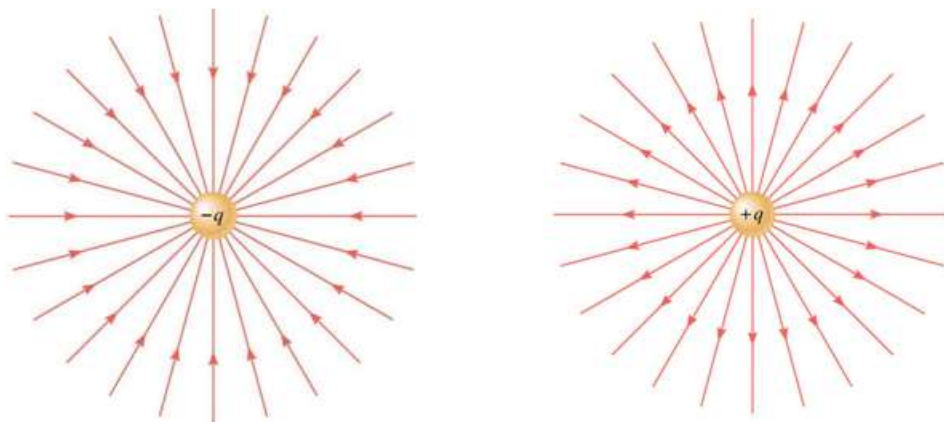
All'aumentare della distanza dalla carica generatrice il campo decresce rapidamente

In vari punti dello spazio alla stessa distanza dalla carica generatrice il campo elettrico ha la stessa intensità.
La direzione dei vettori campo elettrico è radiale, il verso uscente dalla carica positiva.



13

Per visualizzare l'andamento del campo elettrico nello spazio si utilizza una rappresentazione grafica mediante **linee di forza del campo elettrico**.



Le **linee di forza** del campo elettrico sono sempre **uscanti dalle cariche positive ed entranti in quelle negative**.

Perché si usa questo modello e chi lo ha inventato?

14

Michael Faraday

(1791-1867)

Fu uno dei maggiori scienziati dell'Ottocento e ottenne straordinari risultati nel campo della fisica e della chimica. A lui si deve la scoperta del fenomeno dell'induzione magnetica, che preparò la strada alla teoria elettromagnetica di Maxwell e portò a importanti applicazioni, tra cui il generatore di corrente. In chimica Faraday ricavò le leggi dell'elettrolisi e scoprì il benzene.

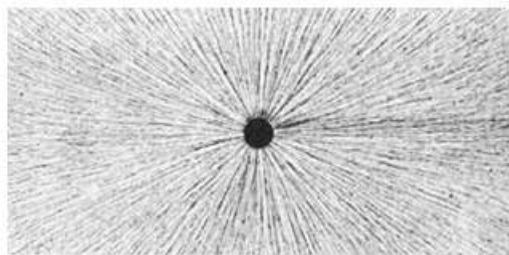


15

In laboratorio

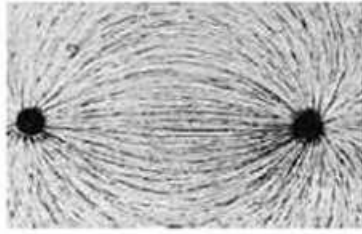
Campo elettrico di una carica puntiforme

i semi di lino polarizzati ed orientati si dispongono lungo linee radiali, visualizzando il campo elettrico generato dalla carica posta al centro della figura



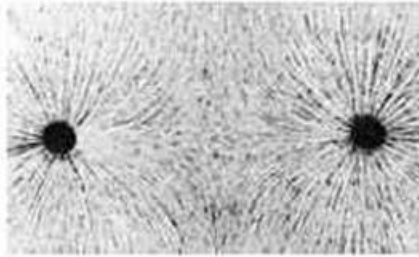
16

Altri esempi di campo elettrico



Due cariche che hanno la stessa intensità ma segno opposto formano un DIPOLO

I semi di lino visualizzano questo campo generato dal dipolo elettrico

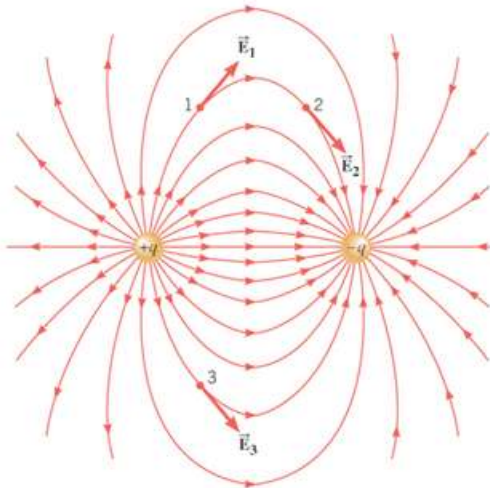


I semi di lino polarizzati si dispongono in questo modo se il campo è generato da due cariche uguali, cioè che hanno la stessa intensità e lo stesso segno.

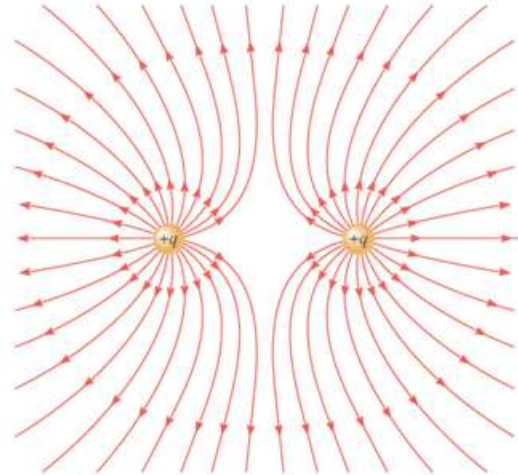
Sembra naturale rappresentare il campo elettrico mediante linee ...

17

Il **numero** di linee di forza che escono da una carica positiva o che giungono a una negativa è **proporzionale** alla **grandezza della carica**.



Linee di forza del campo di dipolo

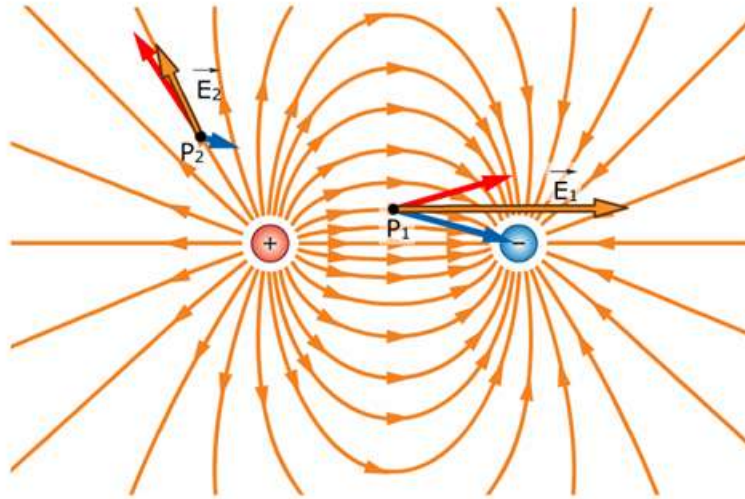


Linee di forza del campo di due cariche uguali

18

Principio di sovrapposizione:

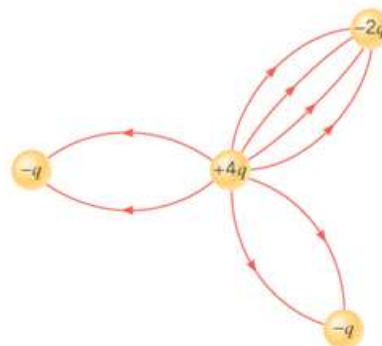
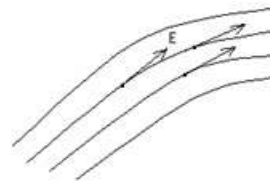
vettore campo elettrico \vec{E} calcolato nei punti P_1 e P_2 come somma vettoriale dei campi generati dalla carica positiva (rossa) e dalla carica negativa (azzurra)



19

Altre proprietà delle *linee del campo elettrico*

- In ogni punto sono tangenti al campo elettrico
- Sono orientate nel verso del vettore campo elettrico
- Escono dalle cariche positive ed entrano in quelle negative
- La loro densità è direttamente proporzionale all'intensità del campo elettrico

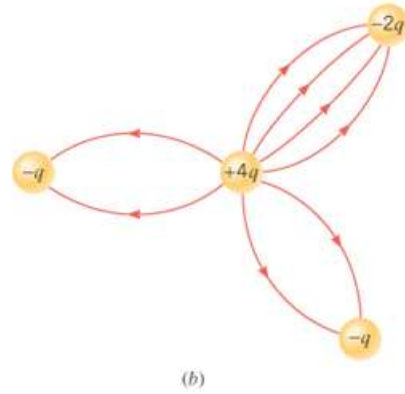
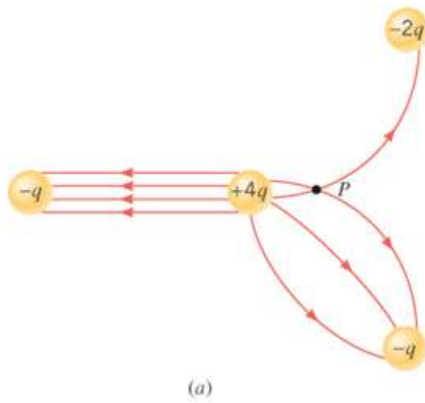


20

Esercizio: Tracciare le linee di forza del campo elettrico

Nella figura (a) ci sono tre errori. Quali?

La figura (b) è corretta, perché?



Esercizio: I campi elettrici generati da due cariche possono annullarsi

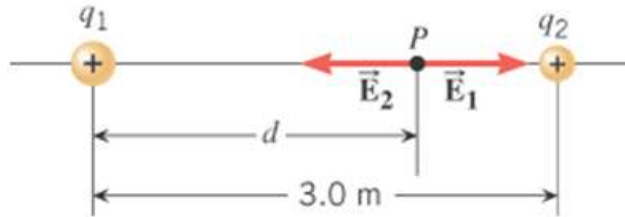
La figura mostra due cariche puntiformi positive, $q_1 = 16 \mu\text{C}$ e $q_2 = 4 \mu\text{C}$ poste alla distanza di 3 m.

Determiniamo il punto P sulla retta che unisce le due cariche in cui il campo elettrico è zero.

Formule da usare:

$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

$$E_1 = E_2$$



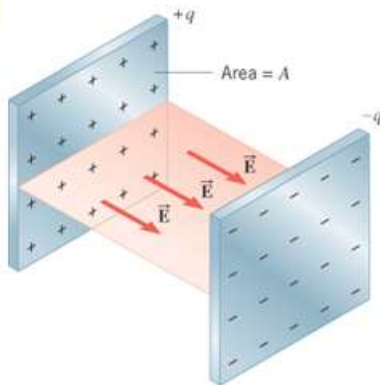
$$k \frac{(16 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{d^2} = k \frac{(4,0 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{(3,0\text{m} - d)^2}$$

$$4,0(3,0\text{m} - d)^2 = d^2$$

$$d = +2,0 \text{ m}$$

22

IL CONDENSATORE PIANO

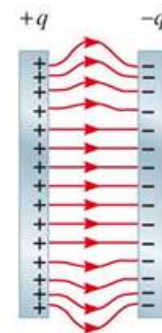


Densità di carica

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

1. All'interno del condensatore il campo è uniforme e viene rappresentato da linee parallele ed equispaziate
2. Sui bordi somiglia al campo del dipolo
3. All'esterno del condensatore è nullo



Vista frontale

Per spiegare questa formula ci vuole il Teorema di Gauss

23