Lezione 17
Fenomeni elettrici (1)

Ezio Maina

Corso di Laurea in Farmacia

Anno accademico 2022 -2023

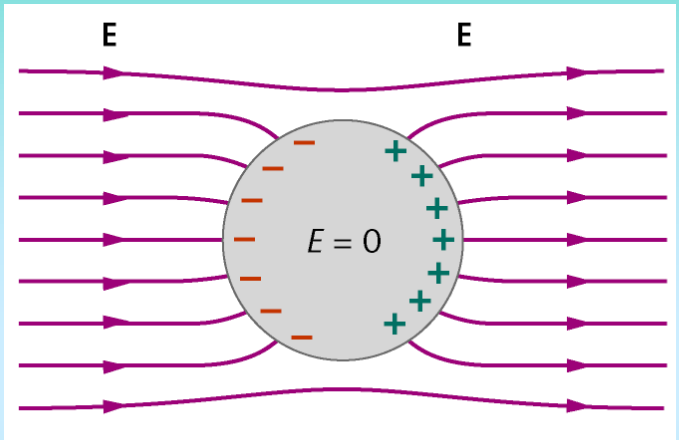
Corso di Fisica

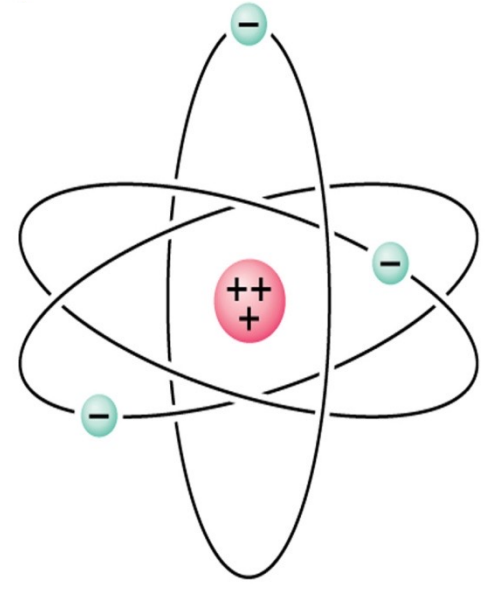
La lezione di oggi

Cariche elettriche

Il campo elettrico

Il potenziale elettrico





Il campo elettrico è conservativo

- **La carica elettrica**
- Conduttori e isolanti
- La legge di Coulomb
- Il campo elettrico
- Il potenziale elettrico

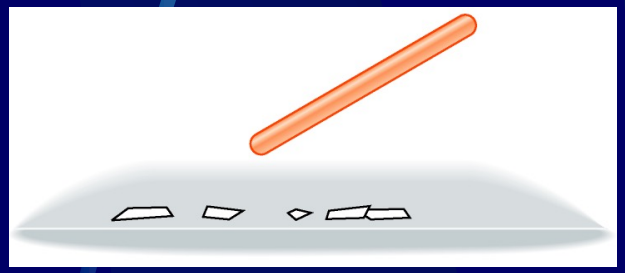
La carica elettrica

L'elettricità è un aspetto molto comune nella vita quotidiana:

- **Corrente elettrica e lampadine**
- **Forze elettriche (la fotocopiatrice)**
- **Gli atomi e le molecole**

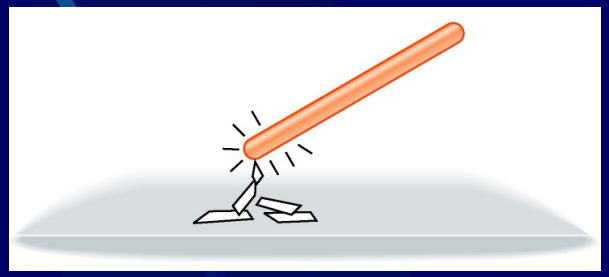
È sicuramente conosciuta fin dal 700 a.C

È stata studiata e formalizzata tra il 1600 e 1800



La bacchetta di ambra non attira la carta

Strofino la bacchetta di ambra sul gatto

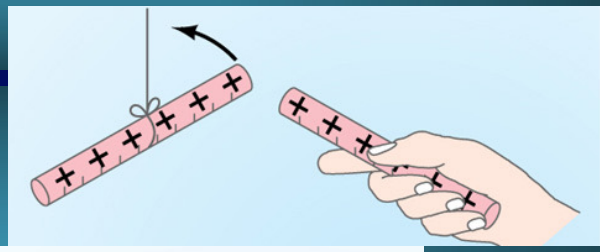


La bacchetta di ambra attira la carta

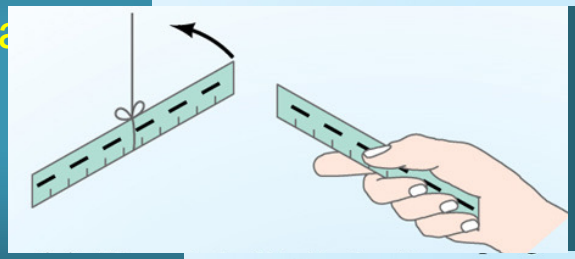
➔l'ambra si è *caricata*

La carica elettrica

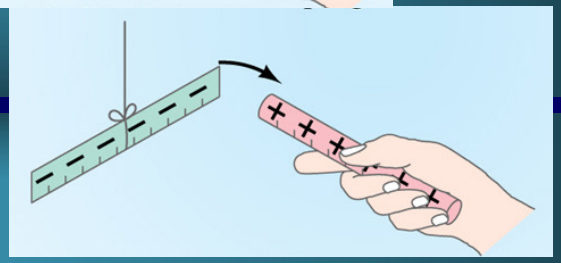
- Esiste una forza elettrica
- Elektron significa ambra in greco
- Il vettore (= la ‘cosa’ che permette di esercitare la forza) della forza elettrica è definito carica elettrica



- I corpi si dividono in 2 categorie:
  - Attratti dall’ambra (= plastica) e respinti dal vetro
  - Attratti dal vetro e respinti dall’ambra (= plastica

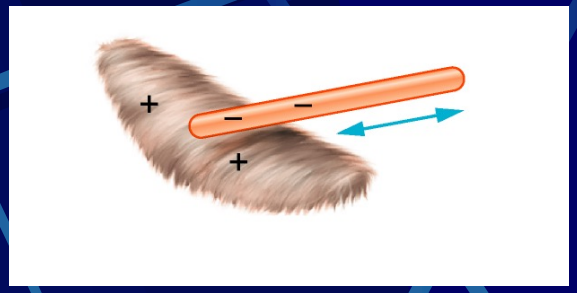


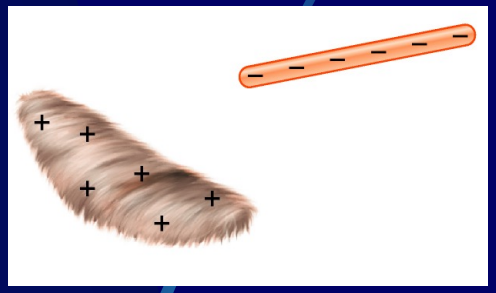
- Concludo che:
  - Esistono solo 2 tipi di carica elettrica
  - Cariche opposte si attraggono
  - Cariche uguali si respingono



- Benjamin Franklin battezzò (arbitrariamente):
  - Negativa la carica dell’ambra
  - Positiva la carica del vetro

La conservazione della carica





Quando strofino ambra e gatto, ho
un trasferimento di carica non una creazione

- Da questa semplice deduzione, ricavo una delle leggi di conservazione fondamentali per la fisica

Legge di conservazione della carica elettrica:

La carica elettrica totale dell'universo è costante

La carica totale prodotta in qualunque processo è nulla

Non è possibile creare o distruggere carica elettrica

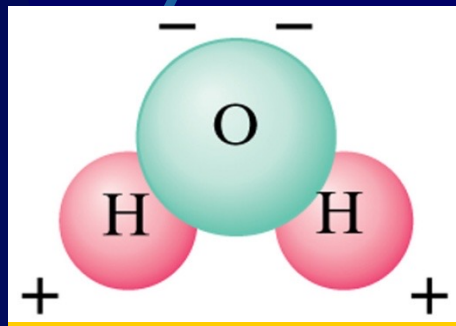
Carica elettrica di un corpo

- Passaggio di carica da un corpo ad un altro avviene in 2 modi:
  - Trasferimento di elettroni
  - Carica per separazione (= ionizzazione)
    - L'atomo è fisso in una certa posizione nel solido (ad esempio, atomo in un reticolo cristallino)
    - Gli atomi più esterni hanno elettroni meno legati degli atomi interni
    - Questi possono perdere un elettrone
    - Chi perde un elettrone: **ione positivo**
    - Chi guadagna un elettrone: **ione negativo**

La polarizzazione

ma....

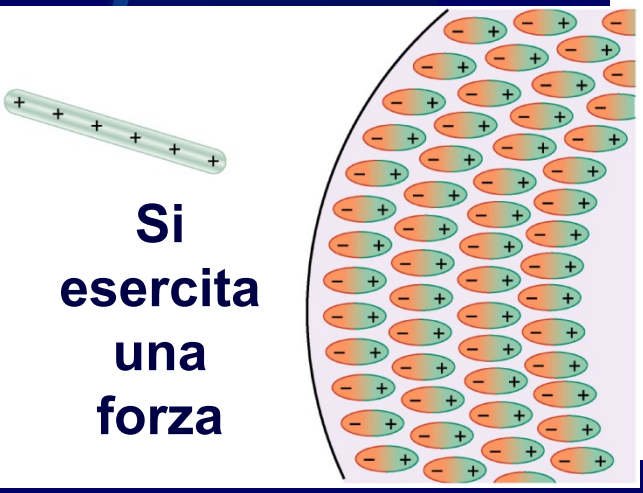
- Il pettine, di plastica, è elettricamente carico
- La carta non è carica elettricamente
- Il pettine la attrae



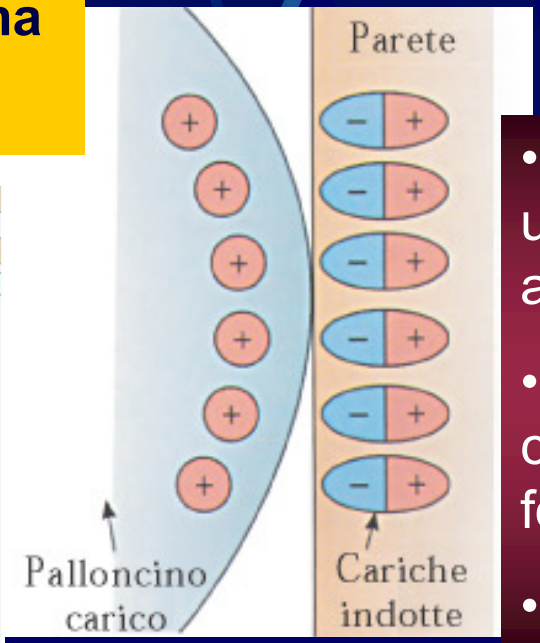
Molecola polare

Questo effetto si chiama

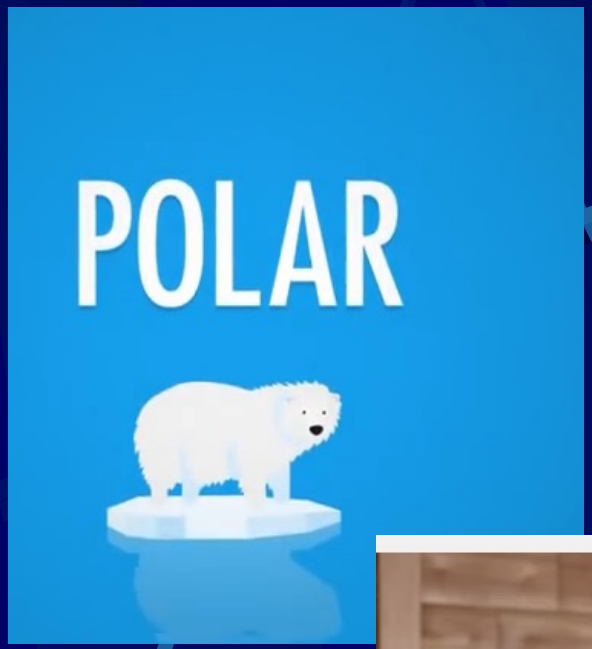
Polarizzazione

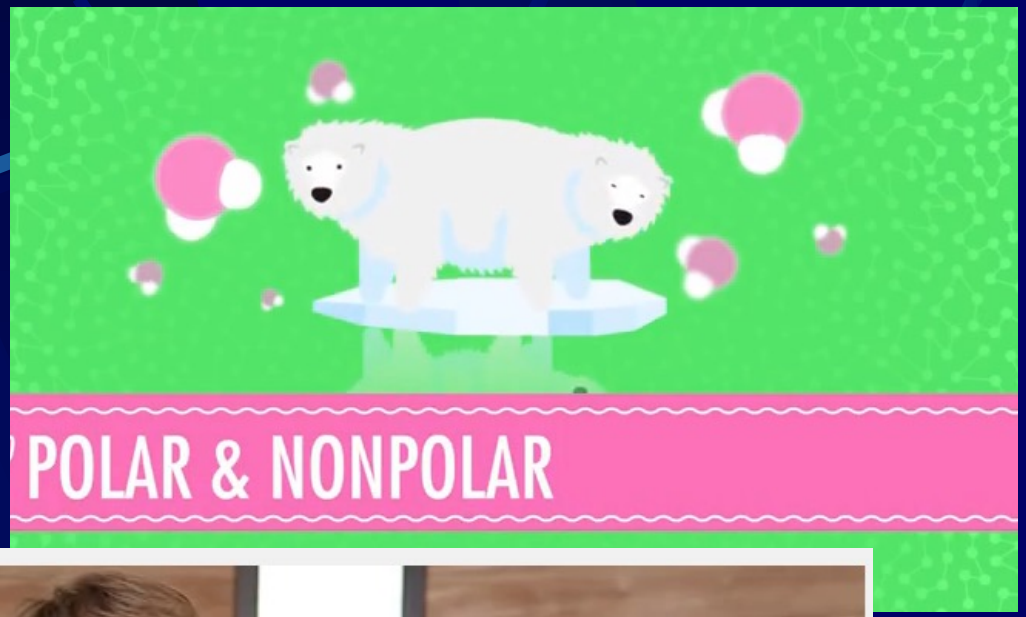


Si esercita una forza

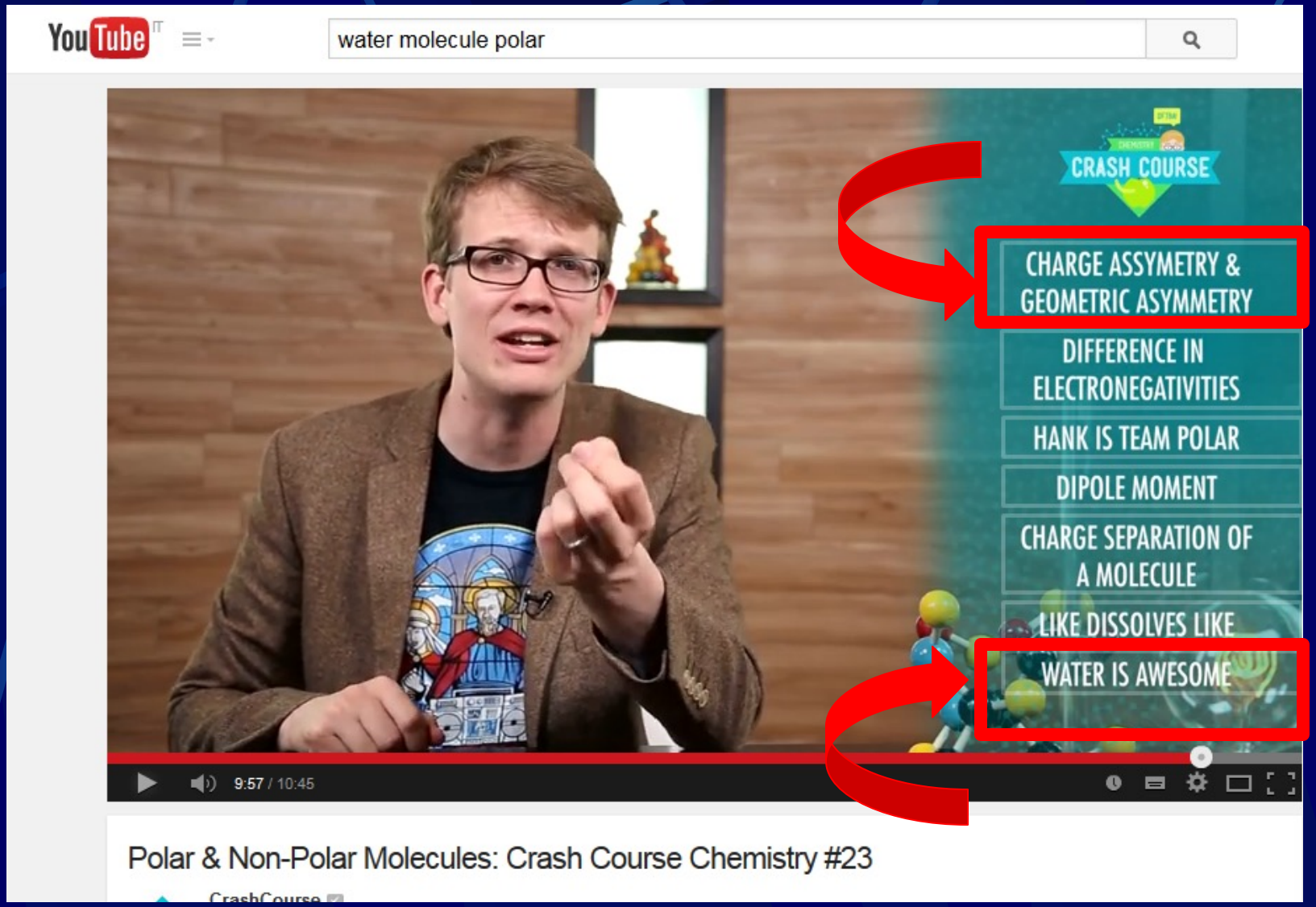


- Le molecole possono avere una struttura spaziale asimmetrica
- Questa asimmetria fa si che il corpo si comporti come se fosse carico
- Pur essendo neutro


POLAR


POLAR & NONPOLAR

Filmato



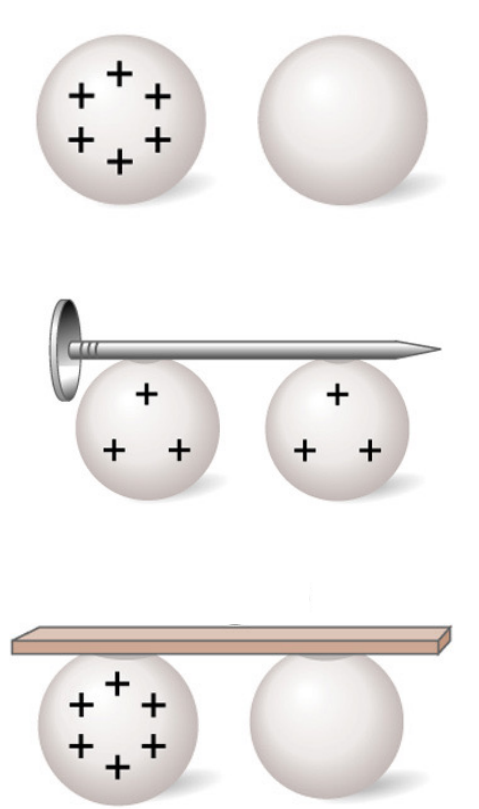
https://www.youtube.com/watch?v=PVL24HAesnc

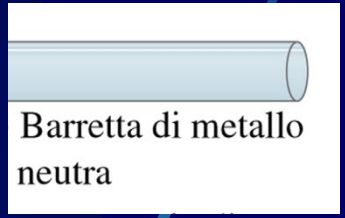
- La carica elettrica
- **Conduttori e isolanti**
- La legge di Coulomb
- Il campo elettrico
- Il potenziale elettrico

Isolanti e conduttori

Prendo 2 sfere,

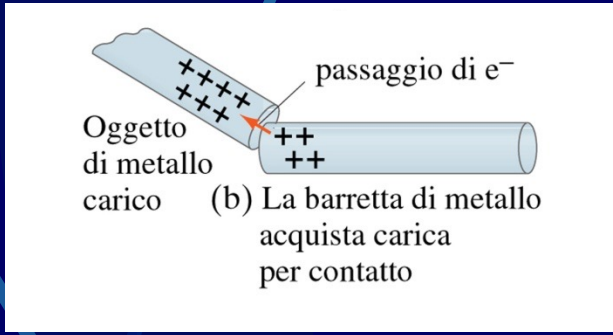
una carica e una neutra





Le metto in contatto tramite un chiodo di metallo

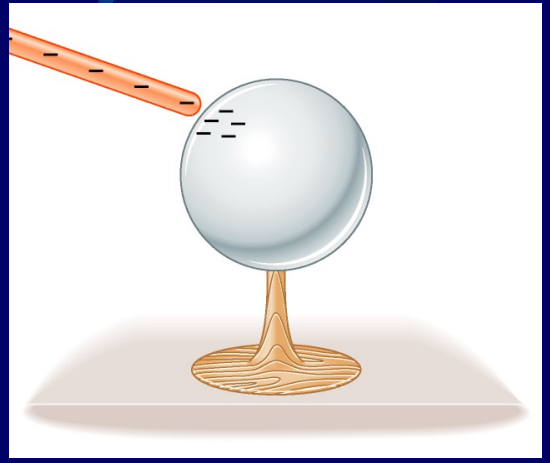
➔ La carica di distribuisce su entrambe



Le metto in contatto tramite un pezzo di legno

➔ La carica non si trasferisce

Una barretta di metallo neutra si carica se messa a contatto con un oggetto di metallo carico



- Tocco la sfera di metallo scarica con un oggetto carico
- Alcune cariche sono trasferite sulla sfera
- La carica si distribuisce uniformemente sulla sfera (cariche uguali si respingono)

Isolanti e conduttori

- Un materiale si dice conduttore, se gli elettroni sono liberi di muoversi
  - Si distribuiscono sulla superficie, cercando di arrivare ad un equilibrio
  - Ovvero, si distribuiscono in modo uniforme
  - Esempio: sfera di metallo
- Un materiale si dice isolante se gli elettroni non sono liberi di muoversi
  - Se messi in una certa posizione, non si muovono
  - Esempio: barretta di ambra
- Un materiale semiconduttore è una via di mezzo
  - Posso variare il comportamento del semiconduttore aggiungendo quantità note di atomi opportunamente scelti
  - Esempio: microcircuiti di silicio, CPU del computer, ...

- La carica elettrica
- Conduttori e isolanti
- **La legge di Coulomb**
- Il campo elettrico
- Il potenziale elettrico

La legge di Coulomb

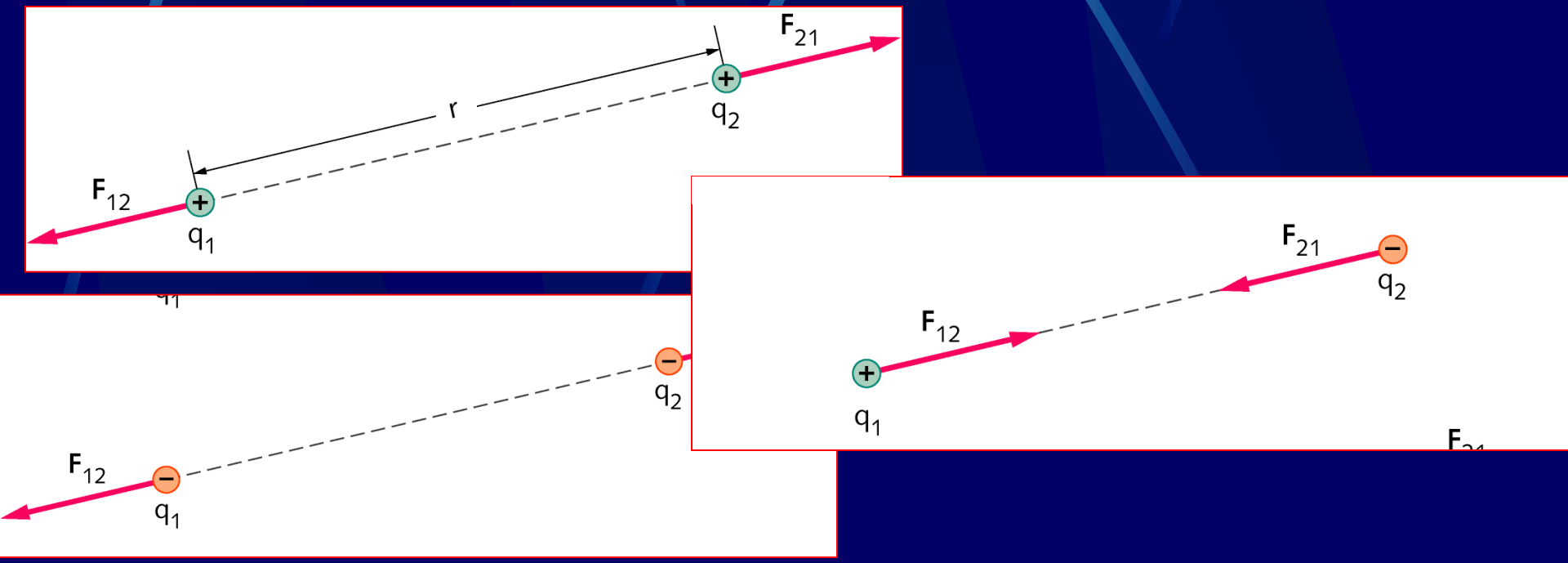
- Ho due cariche elettriche
- Tra di loro si esercita una forza, la forza elettrica

- La forza elettrica tra due cariche puntiformi è data dalla legge di Coulomb
- È un vettore:
  - Direzione: lungo la linea che congiunge le due cariche
  - Verso: deve tener conto del fatto che
    - cariche opposte si attraggono
    - cariche uguali si respingono
  - Modulo: $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$

Con $k = 8.99 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$

Legge di Coulomb e Terza legge di Newton:

- La forza esercitata dalla carica 1 sulla carica 2 è:
  - uguale in modulo …
  - uguale in direzione …
  - opposta in verso …
- ... alla forza esercitata dalla carica 2 sulla carica 1
- $F_{12} = - F_{21}$



La carica è quantizzata

- Tutti i fenomeni elettrici sono legati a trasferimento di elettroni
- La carica dell'elettrone è $e=1.602 \cdot 10^{-19}$ C
- Un corpo non può perdere o acquistare una carica pari a una frazione di e
- La carica elettrica è quantizzata
- Può assumere solo valori discreti: 1e, 2e, 3e, ...
- Esempio: una carica di 1μC, che equivale a

  $(10^{-6}\ C)/(1.602 \cdot 10^{-19}\ C/elettrone)=6.2 \cdot 10^{12}$ elettroni ➔non è fisica
- Invece una carica 0.9875156054928 μC è fisica (equivale a 6242197253433 elettroni)

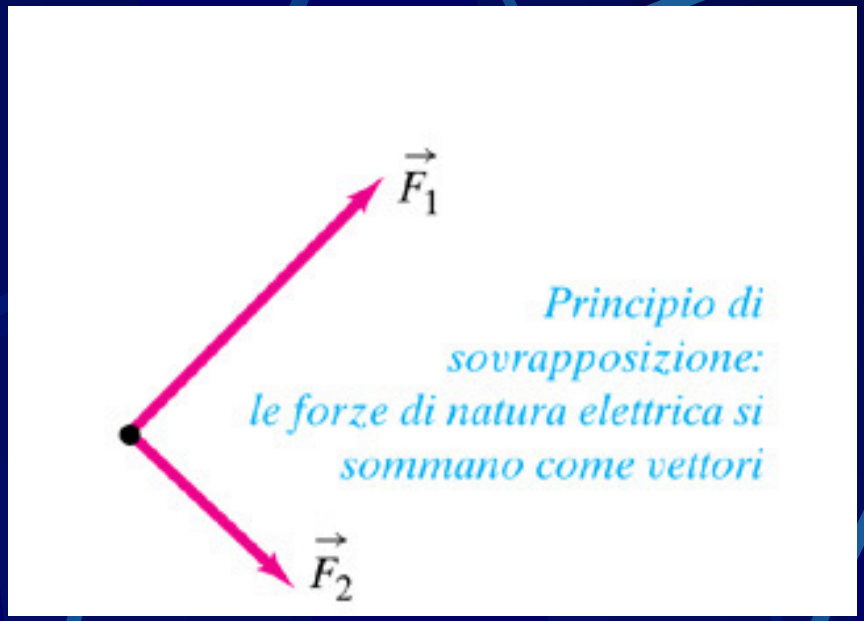
Forza gravitazionale F_g vs Forza di Coulomb F_e.

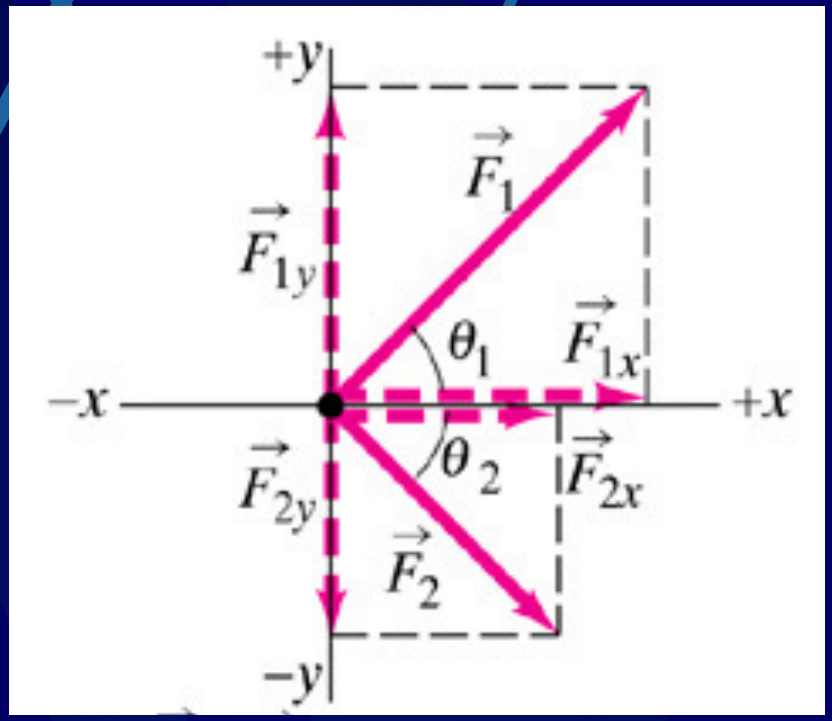
Protone ed elettrone $|q| = 1.60 \cdot 10^{-19}\, C$.
Distanza $r = 5.29 \cdot 10^{-11}\, m$ (raggio dell'idrogeno).
La distanza serve per avere il valore assoluto delle forze, inutile per il rapporto F_e/F_g.
Masse: $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}\, kg$, $m_p = 1.673 \cdot 10^{-27}\, kg$.
Costanti delle forze: $G = 6.67 \cdot 10^{-11}\, N \cdot m^2/kg^2$, $k = 8.99 \cdot 10^9\, N \cdot m^2/C^2$

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{k}{G}\frac{q^2}{m_e\, m_p} = \frac{8.99 \cdot 10^9\, N \cdot m^2/C^2}{6.67 \cdot 10^{-11}\, N \cdot m^2/kg^2}\frac{(1.60 \cdot 10^{-19}\, C)^2}{9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 1.673 \cdot 10^{-27}\, kg^2} = 2.26 \cdot 10^{39}$$

Calcolate separatamente il valore delle due forze.
Confrontate le due forze con la forza esercitata dalla terra su un protone che si trovi sulla sua superficie.

Ripasso:come si sommano i vettori?





$$\vec{F} = (F_{1x} + F_{2x})\,\vec{i} + (F_{1y} + F_{2y})\,\vec{j}$$

- La carica elettrica
- Conduttori e isolanti
- La legge di Coulomb
- **Il campo elettrico**
- Il potenziale elettrico

Distribuzione sferica di carica

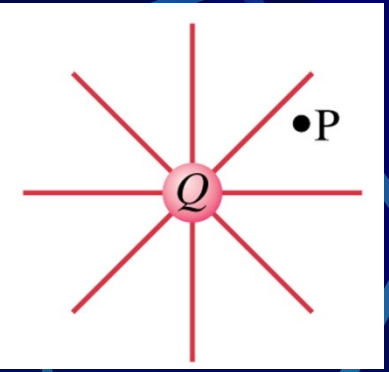
- Considero una sfera di materiale conduttore

- Carico la sfera con una carica totale Q (= ‘metto’ delle cariche sulla sfera fino ad avere carica totale Q)
- Il materiale è conduttore:
  - Il sistema va in equilibrio
  - Le cariche sono tutte sulla superficie
  - Le cariche sono distribuite uniformemente
- Considero una carica q **ESTERNA** alla sfera
- Con calcoli opportuni, trovo che

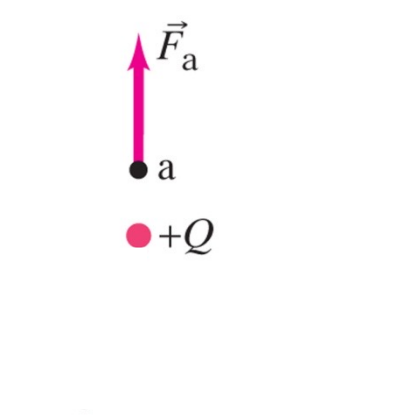
Una distribuzione di cariche su una sfera, si comporta nei confronti di una carica esterna alla superficie sferica come un’unica carica posta al centro della sfera

Il campo elettrico

- Considero una carica puntiforme q
- Considero una seconda carica, che metto in un arbitrario punto P

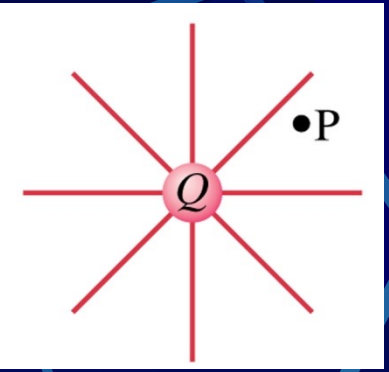


Sposto la carica (che chiamo *carica di prova*) in 3 punti arbitrari (a,b,c)

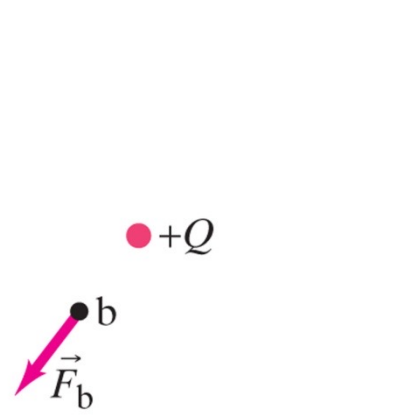


Il campo elettrico

- Considero una carica puntiforme q
- Considero una seconda carica, che metto in un arbitrario punto P

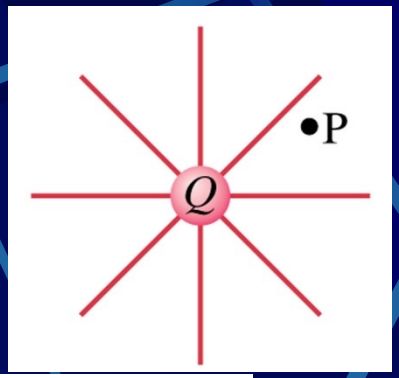


Sposto la carica (che chiamo *carica di prova*) in 3 punti arbitrari (a,b,c)

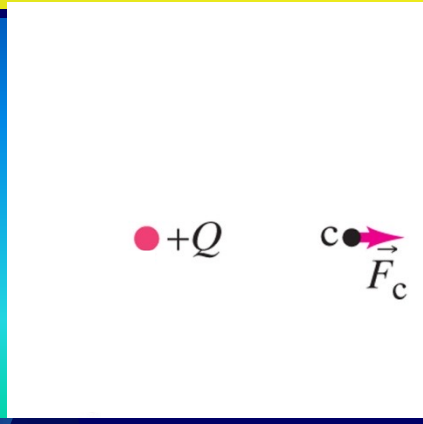


Il campo elettrico

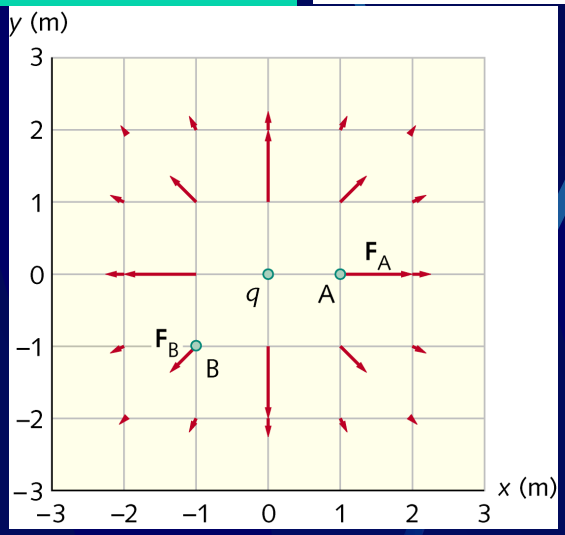
- Considero una carica puntiforme q
- Considero una seconda carica, che metto in un arbitrario punto P



Sposto la carica (che chiamo *carica di prova*) in 3 punti arbitrari (a,b,c)



Posso fare una mappa dei vettori $F_{Coulomb}$



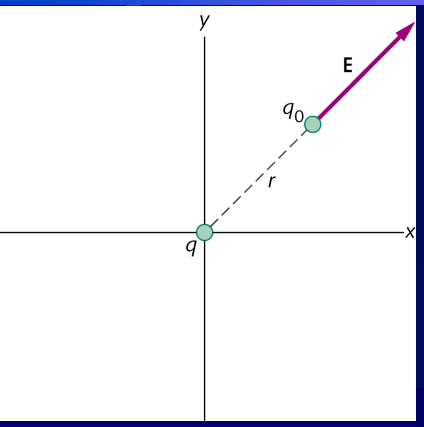
- Ho una mappa, punto per punto dello spazio, della $F_{coulomb}$ esercitata da q sulla carica di prova
- Definisco la forza per unità di carica
- Chiamo questa quantità Campo elettrico

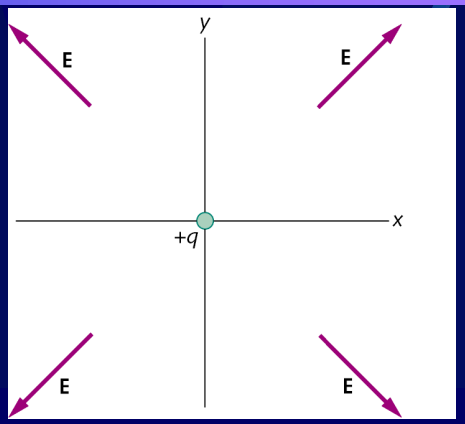
Se una carica di prova q_0 risente, in un punto dello spazio, di una $F_{Coulomb}$, il CAMPO ELETTRICO in quella posizione vale

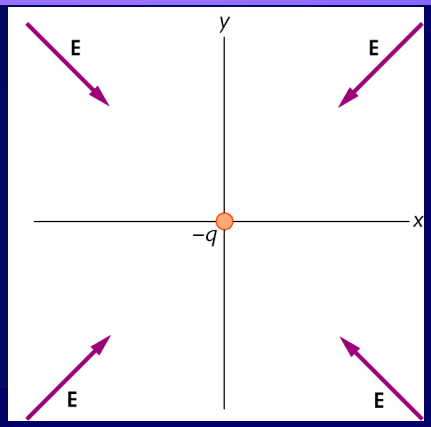
$$E = \frac{F}{q_0}$$

Il campo elettrico

- Il campo elettrico E è una forza per unità di carica, in un punto dello spazio
- Conoscendo E in un punto P, so che una carica Q posta in P è sottoposta ad una F=QE
- Unità di misura: N/C
- E è un vettore:
  - Direzione: congiungente (carica in esame) – (carica di prova)
  - Modulo: F/q_0
  - Verso:
    - Uguale al verso della F, se la carica è +
    - Contrario al verso della F, se la carica è –







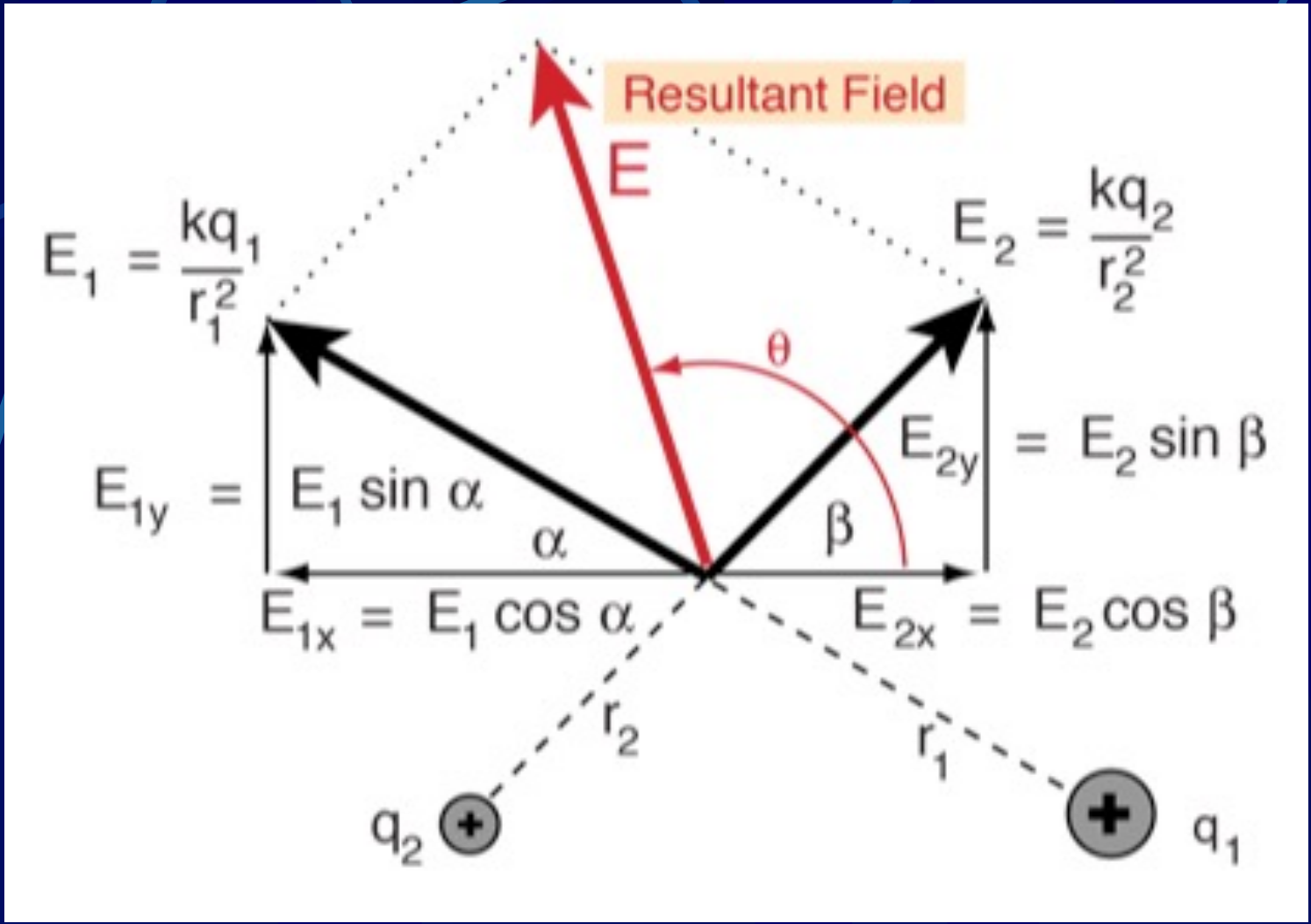
$$F = k\frac{qq_0}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_o} = \frac{k\frac{qq_0}{r^2}}{q_o}$$

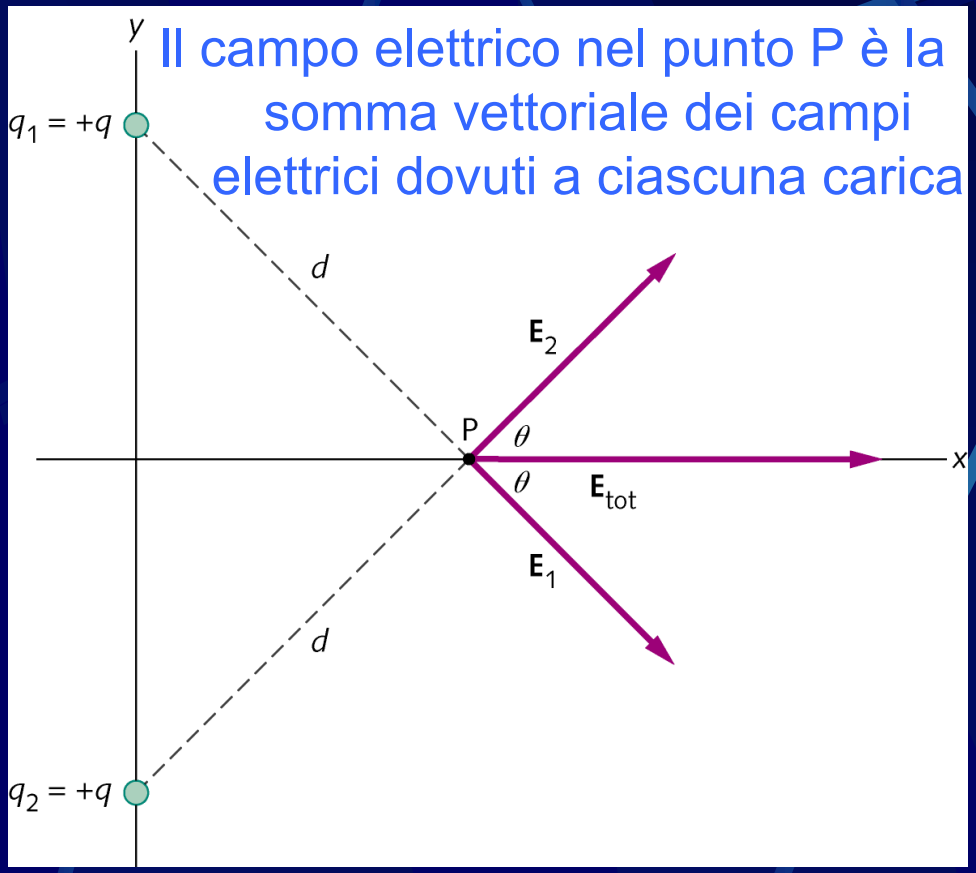
Campo elettrico generato da una carica puntiforme q ad una distanza r

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

Sovrapposizione di campi elettrici



Sovrapposizione di campi elettrici



Asse x

$$E_1^x = k\frac{q}{d^2}\cos\theta$$

$$E_2^x = k\frac{q}{d^2}\cos\theta$$

Asse y

$$E_1^y = -k\frac{q}{d^2}\,\mathrm{sen}\,\theta$$

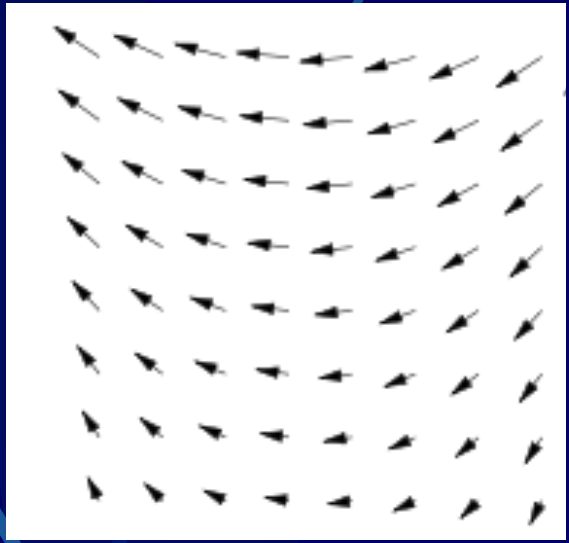
$$E_2^y = k\frac{q}{d^2}\,\mathrm{sen}\,\theta$$

$$\vec{E}_{tot} = \left(k\frac{q}{d^2}\cos\theta + k\frac{q}{d^2}\cos\theta\right)\vec{i} + \left(k\frac{q}{d^2}\,\mathrm{sen}\,\theta - k\frac{q}{d^2}\,\mathrm{sen}\,\theta\right)\vec{j} = 2k\frac{q}{d^2}\cos\theta\,\vec{i}$$

Nota: Chiamo *dipolo elettrico* un sistema formato da una carica positiva e una carica negativa

Linee di forza del campo elettrico

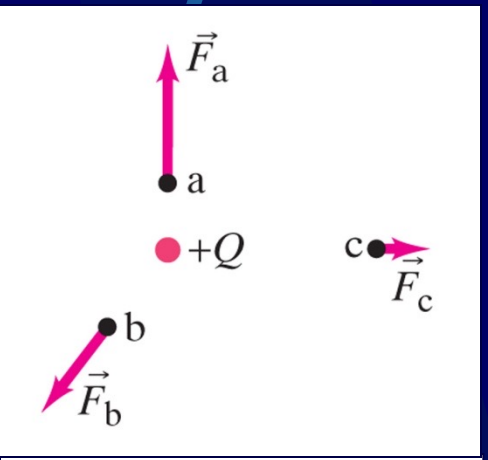
In matematica un campo vettoriale su uno spazio euclideo (= spazio a 2 o 3 dimensioni) è una costruzione del calcolo vettoriale che associa a ogni punto di una regione di uno spazio euclideo un vettore dello spazio stesso (cfr. wikipedia.it)



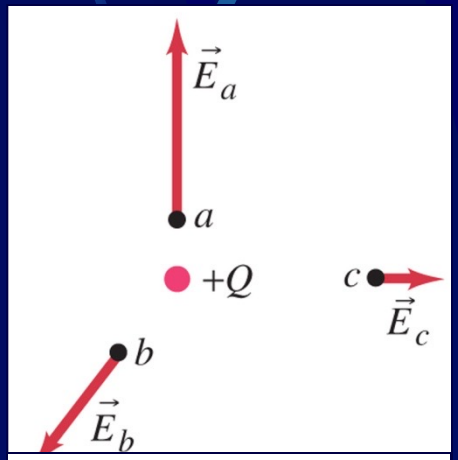
- Il campo elettrico è un campo vettoriale
- Ovvero: una regione di spazio nella quale sia presente un campo elettrico, è un campo vettoriale
- Da confrontare con il campo di Higgs (scalare → persona nella piscina)
- La Forza dei Cavalieri Jedi è sicuramente (?!) un campo vettoriale

Linee di forza del campo elettrico

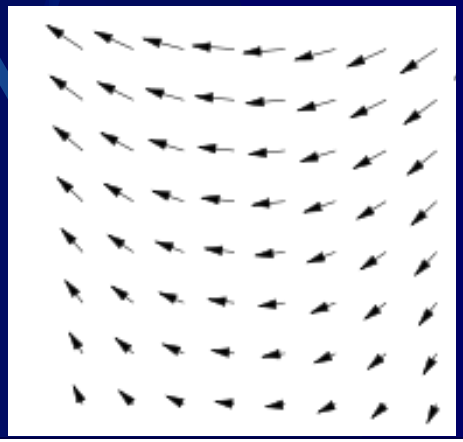
- Ricetta per disegnare le linee di forza del campo elettrico
  - In ogni punto, hanno la direzione del vettore E in quel punto
  - Sono uscenti dalle cariche '+'
  - Sono entranti nelle cariche '-'
  - Sono più dense dove E ha un'intensità maggiore



Forza esercitata sulla carica di prova

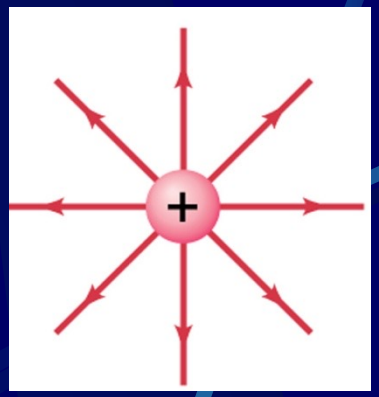


Campo elettrico in (a), (b), (c)

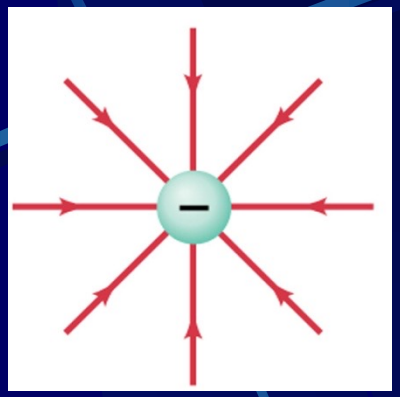


Campo elettrico in uno spazio a 2 dimensioni

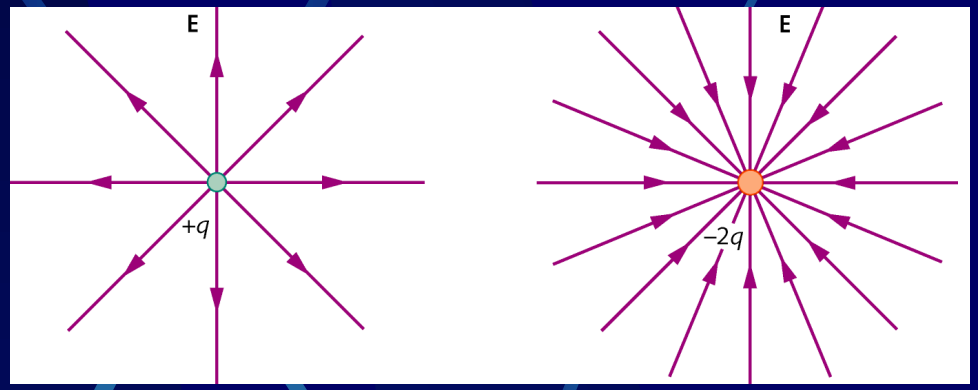
Linee di forza del campo elettrico



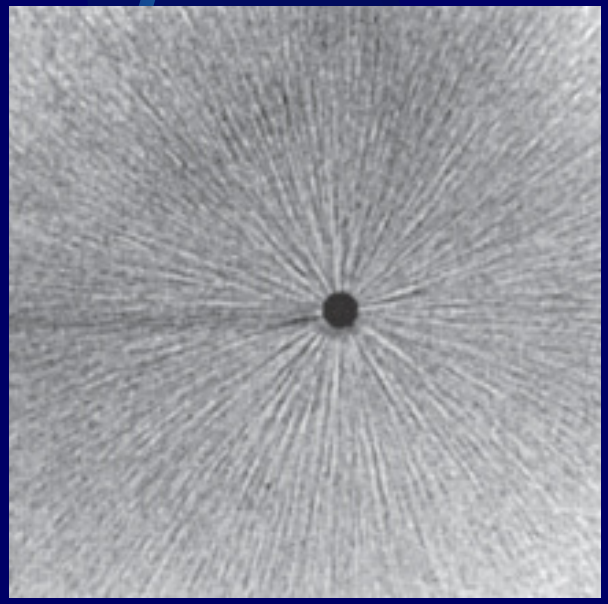
Linee di forza generate da una carica puntiforme **'+'**

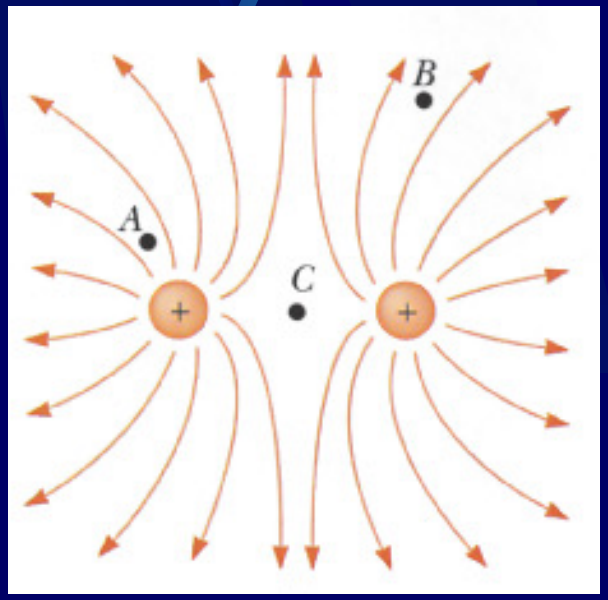


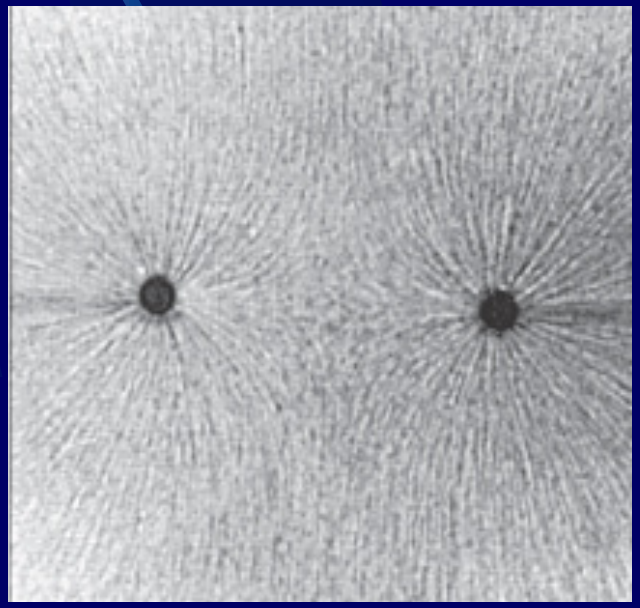
Linee di forza generate da una carica puntiforme **'-'**



Linee di forza generate da due cariche puntiformi: **+q e -2q**







Il campo elettrico: ora lo capisco!

http://highered.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/0072564369/299139/Interactives_ch16_EF.html

La Legge di Gauss

Campo elettrico di una carica elettrica puntiforme

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

Definiamo Flusso Elettrico

$$\Phi = EA = \left(k\frac{q}{r^2}\right)(4\pi r^2) = 4\pi kq$$

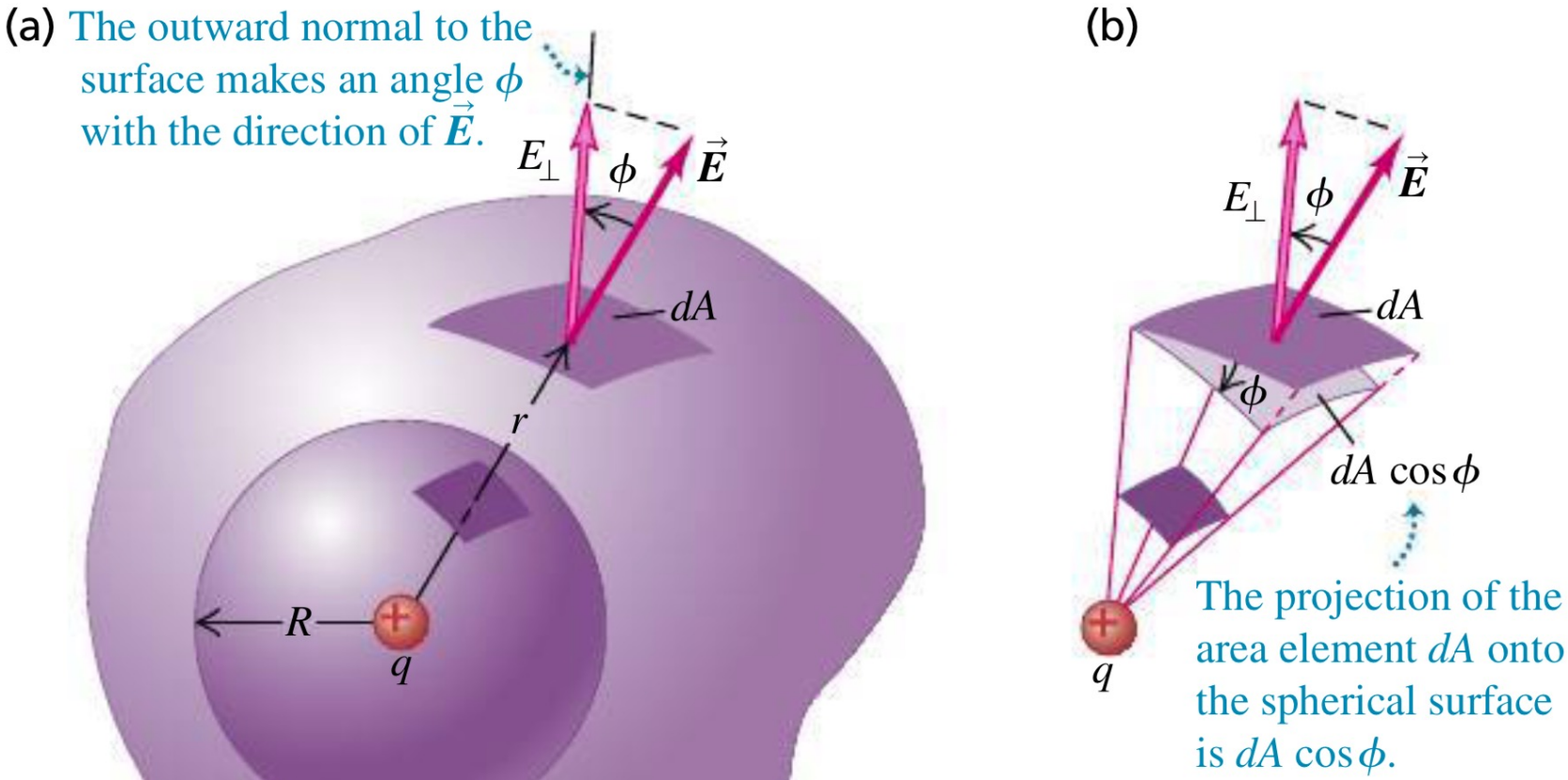
Conviene introdurre

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12}\,\mathrm{C^2/N \cdot m^2}$$

$\longrightarrow$

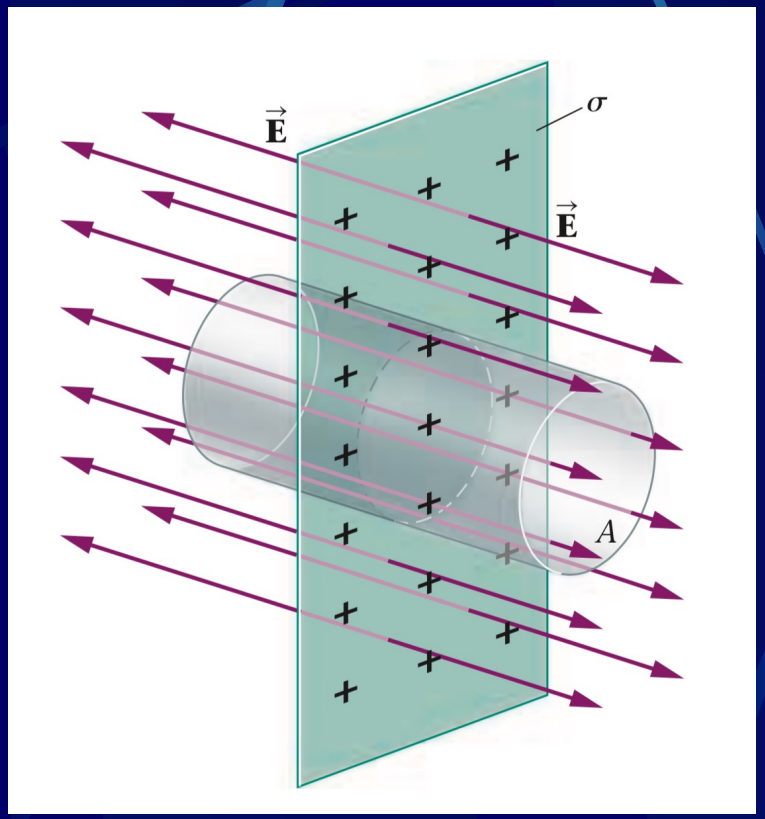
$$\Phi = 4\pi kq = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Legge di Gauss: vale per qualunque superficie chiusa


(a) The outward normal to the surface makes an angle ϕ with the direction of $\vec{E}$.
$E_\perp$
ϕ
$\vec{E}$
dA
r
R
q
(b)
$E_\perp$
ϕ
$\vec{E}$
dA
ϕ
$dA \cos\phi$
q
The projection of the area element dA onto the spherical surface is $dA \cos\phi$.

Esempio

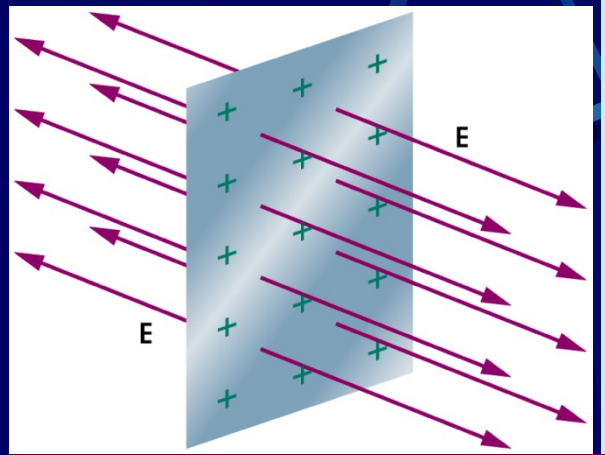
Piano con densità di carica σ uniforme



$$\Phi = E(2A) = \frac{(\sigma A)}{\epsilon_0}$$

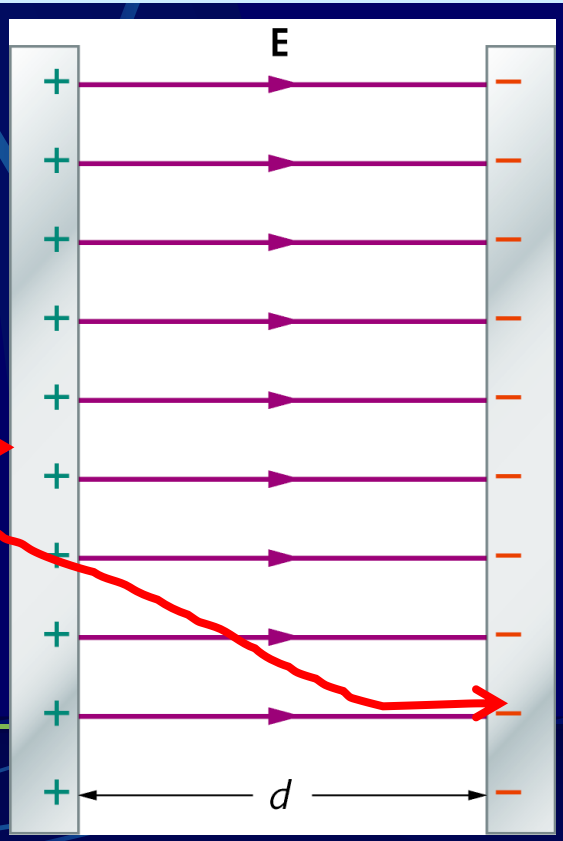
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Condensatori a facce piane e parallele



- Considero un piano composto da un materiale conduttore
- Nella pratica, una lastra di metallo
- Carico il piano
- Il sistema raggiunge una condizione di equilibrio
- La carica si distribuisce uniformemente

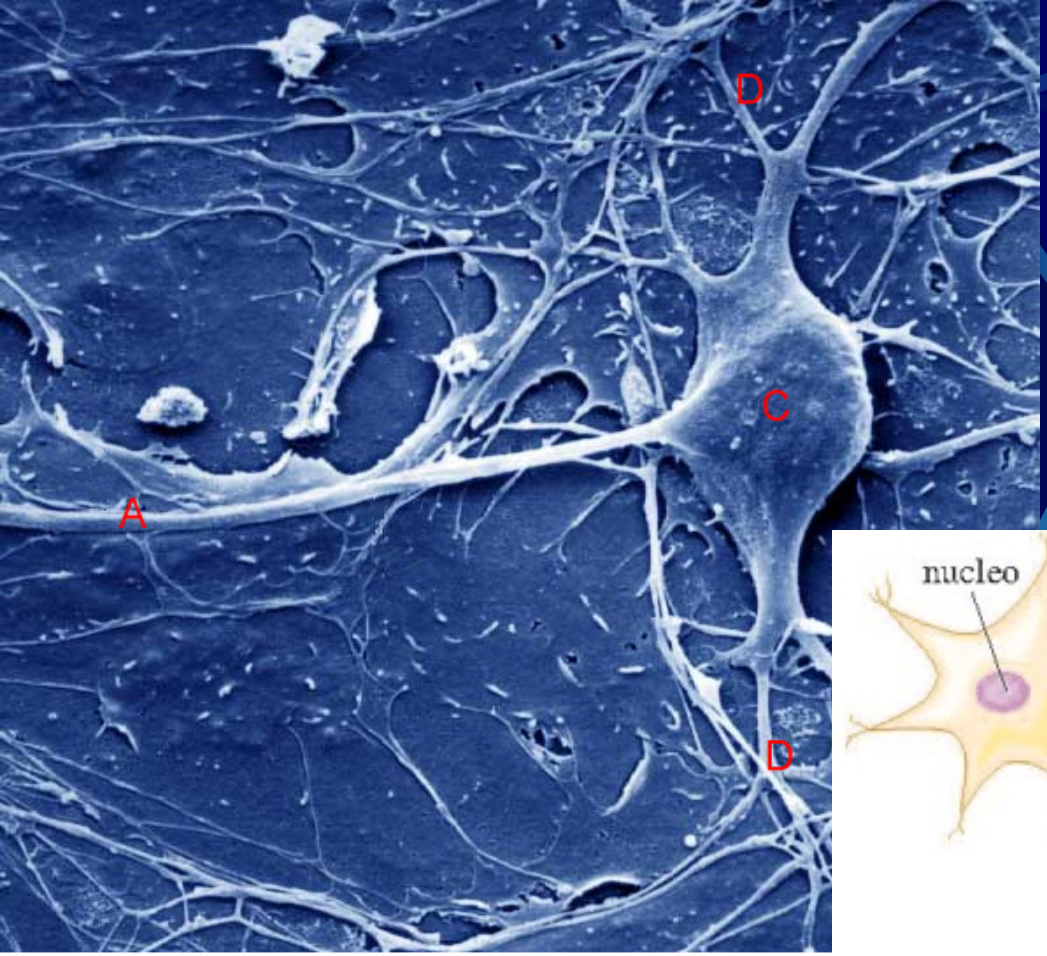
- Ottengo un campo elettrico:
  - Uscente dal piano
  - Di intensità indipendente dalla distanza
  - Ovvero, uniforme sia in direzione che in intensità
- Se metto due piani uguali, l'uno parallelo all'altro, con carica opposta, ottengo un condensatore a facce piane e parallele



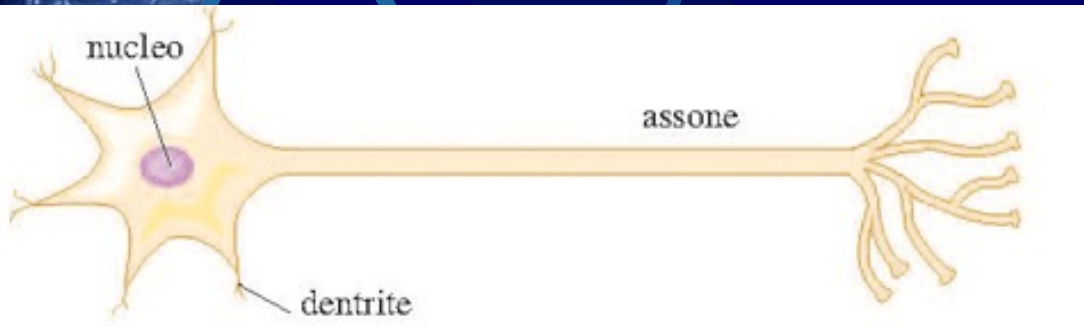
Il campo elettrico tra le due armature di un condensatore a facce piane parallele è uniforme

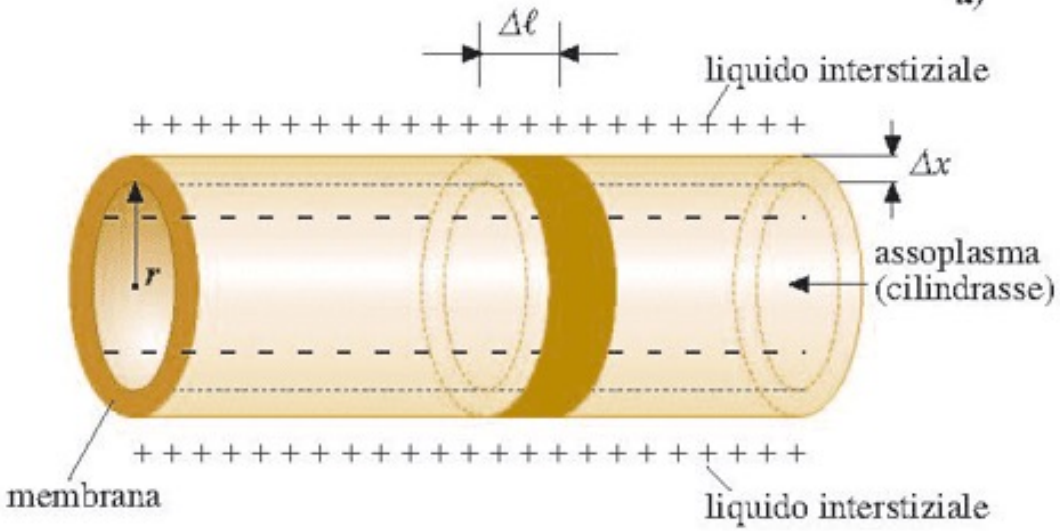
Le linee di forza del campo elettrico sono parallele

Condensatori e neuroni

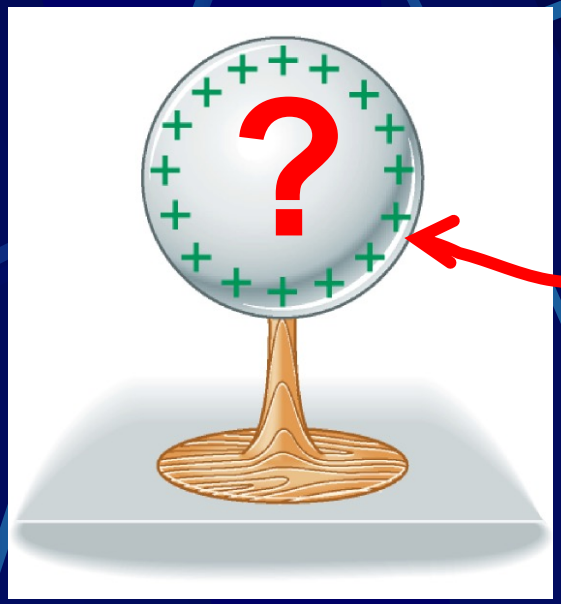


A = assone, C = corpo cellulare (pirenoforo), D = dendriti

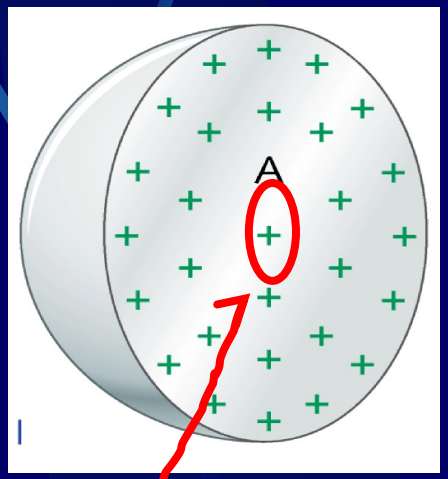




L'induzione



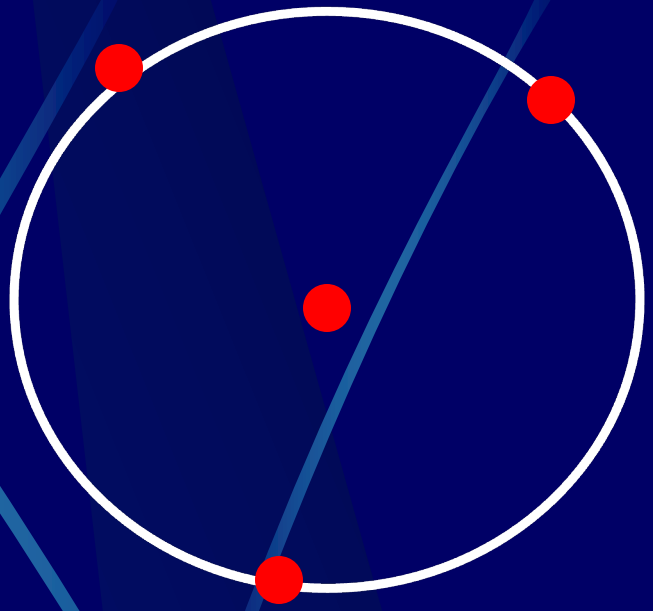
- Carico una sfera costituita di un materiale conduttore
- Come si distribuiranno le cariche ?

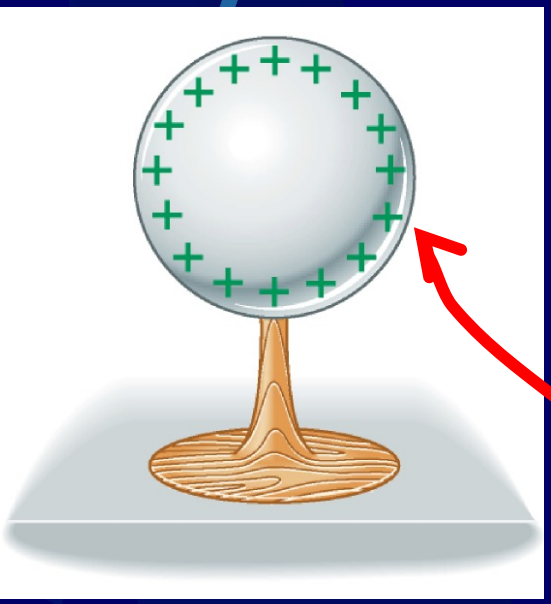


- Considero la carica posta nel punto A (scelto a caso)
- Se avessi una (o più) carica all'interno del cerchio rosso, questa/e eserciterebbe/ro una forza sulla carica posta in A
- Quindi non avrei equilibrio (la carica in A si muoverebbe)

L'induzione

- Potrei anche considerare una situazione di questo genere
- Ma l'equilibrio sarebbe instabile





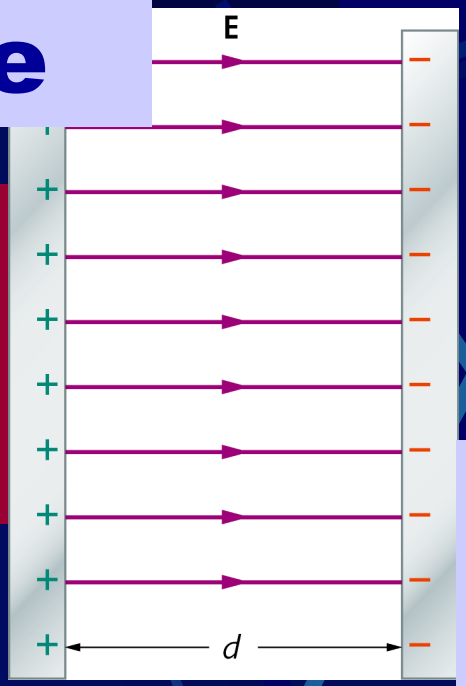
In questo caso l'equilibrio è stabile

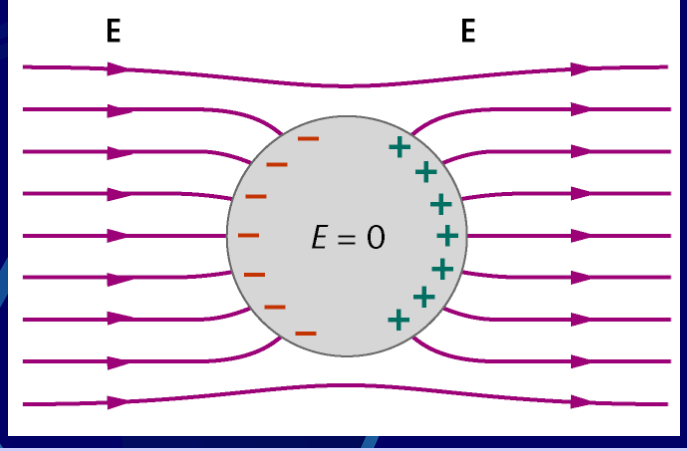
In un conduttore, le cariche in eccesso si distribuiscono sulla superficie esterna

Il campo elettrico all'interno di un conduttore è 0

L'induzione

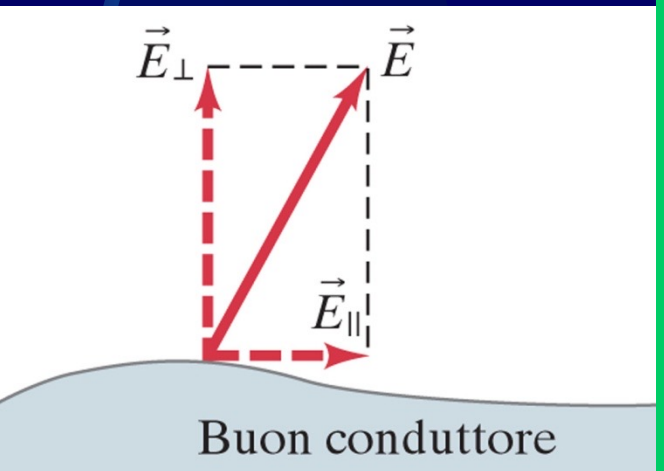
Immergo una sfera di materiale conduttore in un campo elettrico uniforme (ad esempio, in un condensatore)





- **Cariche '-': tutte a sinistra**
- **Cariche '+': tutte a destra**
- **Dentro il conduttore, E=0**
- **Campo dentro il conduttore: uguale e opposto al campo esterno**

Le linee di forza del campo elettrico sono perpendicolari alla superficie di un conduttore



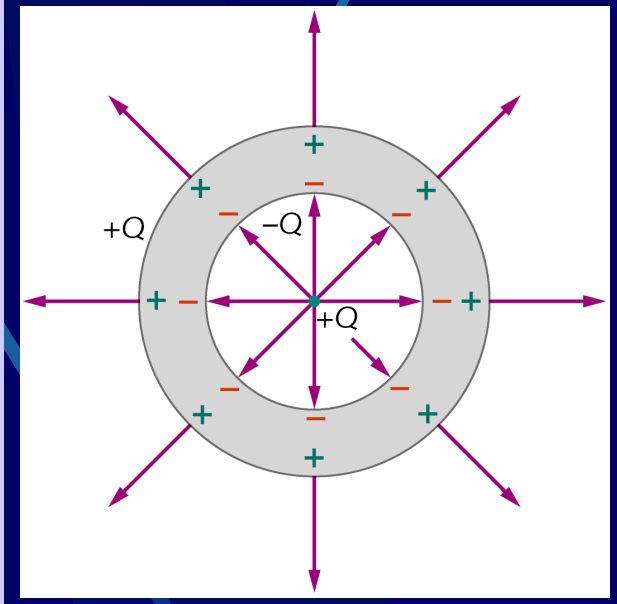
- Suppongo per assurdo che E non sia perpendicolare alla superficie
- Allora avrà una componente parallela alla superficie
- Le cariche sarebbero sottoposte ad una forza
- E si dovrebbero muovere, cosa che non succede

L'induzione

- Immergo una sfera di materiale conduttore in un campo elettrico
- Dentro il conduttore, E=0
- Gabbia di Faraday

L'induzione

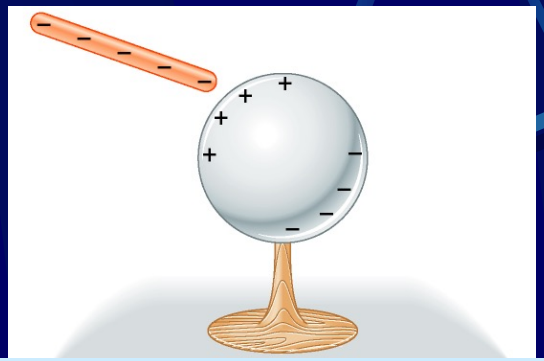
- Prendo una sfera cava, fatta di un materiale conduttore
- Posiziono una carica elettrica al centro della sfera
- Nel conduttore, non ci può essere campo elettrico
- Quindi ogni linea di forza uscente dalla carica centrale, deve finire in una carica negativa sulla superficie interna della sfera cava
- Ma per avere E=0, ogni carica '-' deve avere una corrispondente carica '+' sulla superficie esterna
- Dall'esterno, vedo una carica totale +Q, uguale alla carica che ho posto al centro della sfera cava



Una carica posta all'interno di una sfera conduttiva, viene indotta sulla superficie

Carica per induzione

Posso caricare un corpo senza toccarlo

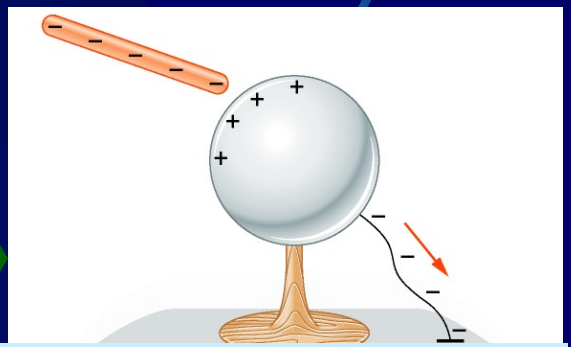


Avvicino una barretta carica ad una sfera scarica e isolata

Per induzione,cariche di segno

opposto si affacciano

dal lato della barretta

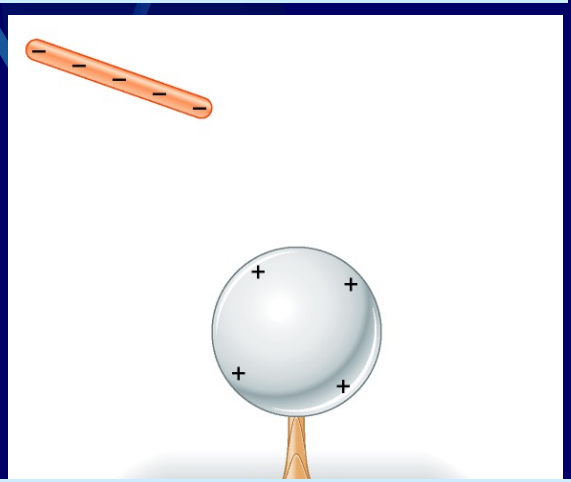


Metto a terra il lato opposto della sfera

La terra riceve

tutte le cariche '-'

Tolgo il collegamento di terra senza allontanare la barretta



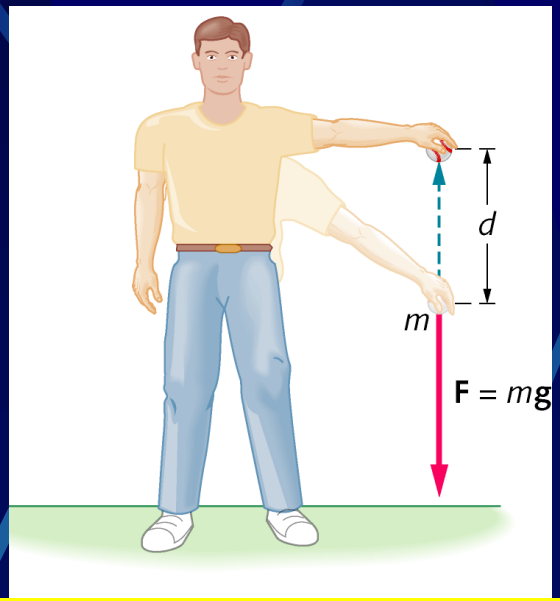
Allontanto la barretta e la sfera rimane carica

Nota. Se avessi caricato la sfera per contatto, si sarebbe caricata con il segno opposto (uguale al segno della carica della barretta)

- La carica elettrica
- Conduttori e isolanti
- La legge di Coulomb
- Il campo elettrico
- **Il potenziale elettrico**

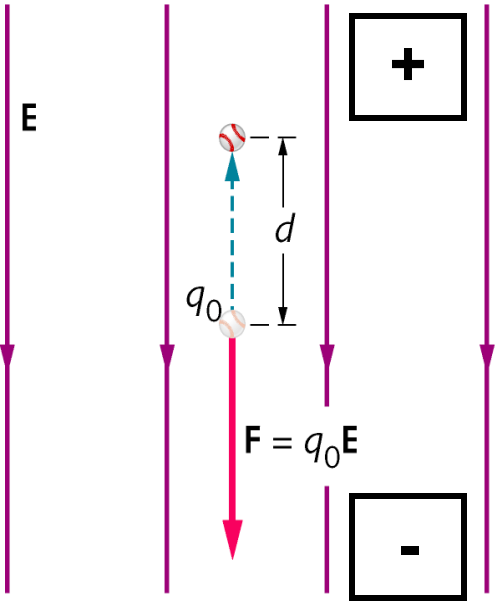
Energia potenziale elettrica

- La forza gravitazionale è conservativa
- Se io sollevo un oggetto, compio un lavoro contro la forza di gravità. Il lavoro non dipende dal percorso.
- Dato che la forza è conservativa, l'oggetto acquista un potenziale gravitazionale



$$\Delta U = mgh$$

Prendiamo una carica di prova q_0 ('+'), immersa in un campo elettrico E



- Sposto la carica verso l'alto
- Io compio un lavoro positivo (vado 'contro' il campo)
- Il campo E compie un lavoro negativo
- $L_{campo\ elettrico} = - F_{elettrica} \cdot d = -(q_0E)d = - q_0Ed$
- Dalla definizione di Energia potenziale
  - $\Delta U = -L$
  - $\Delta U_{elettrico\backslash a} = q_0Ed$
- Nota: carica '+' $\Delta U_{elettrica}=q_0Ed$, carica '-' $\Delta U_{elettrica}= -q_0Ed$

Il potenziale elettrico

- La forza elettrica è stata introdotta usando la carica di prova q_0
- Ho definito campo elettrico la forza per unità di carica
  - $E = F/q_0$

- L'energia potenziale elettrica è stata introdotta nello stesso modo ($\Delta U_{elettrico} = q_0 E d$)
- Definisco, analogamente al campo elettrico, un potenziale elettrico

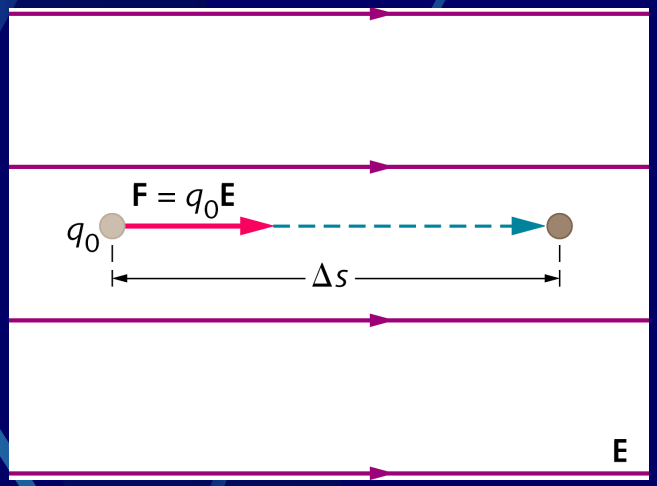
$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = \frac{-L}{q_0}$$

- ΔV è una variazione di potenziale (o differenza di potenziale o tensione)
- Posso riferire il potenziale 0 a quello che ritengo più opportuno
- V è uno scalare
- V = joule/coulomb = volt (V)
- 1 V = 1J/1C
- Uso anche l'elettronvolt: 1 eV = $(1.6 \cdot 10^{-19}$ C)(1 V) = $1.6 \cdot 10^{-19}$ J
- 1 eV = variazione di energia di un elettrone sottoposto ad una differenza di potenziale ΔV = 1V

Campo elettrico e potenziale elettrico

- Parto dalle definizione $\Delta V = -L/q_0$
- La carica di prova si sposta di un tratto Δs in direzione di E
- Il lavoro fatto da E è dato da $L = F \cdot \Delta s = q_0 E \cdot \Delta s$
- La variazione di potenziale elettrico (differenza di potenziale, o tensione) è:

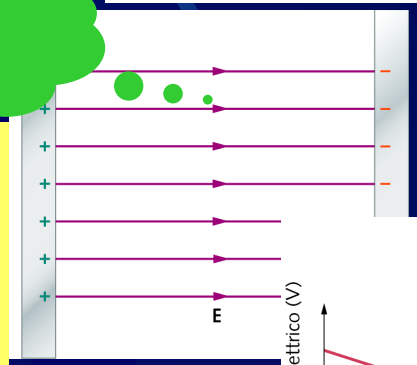
$$\Delta V = \frac{-L}{q_0} = \frac{-(q_0 E)\cdot \Delta s}{q_0} = -E \cdot \Delta s$$



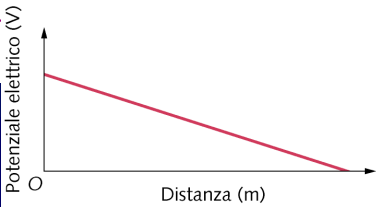
Campo elettrico in funzione del Potenziale elettrico

$$E = \left|\vec{E}\right| = \frac{\Delta V}{\Delta s}$$

E costante



- Posso misurare un campo elettrico in volt/metro = V/m (unità molto utilizzata)
- Il potenziale elettrico diminuisce quando mi sposto nella direzione delle linee di forza del campo elettrico
- Lo vedo, ad esempio, in un condensatore



Alcune tensioni tipiche

Sorgente	Tensione (V)
Nubi temporalesche rispetto al terreno	10^8
Linea elettrica ad alta tensione	$10^5 – 10^6$
Alimentatore per il tubo catodico TV/computer	10^4
Accensione dell'automobile	10^4
Presa di corrente domestica	10^2
Batteria (auto/computer,...)	10
Potenziale a riposo attraverso la membrana di una cellula nervosa	10^{-1}
Variazione di potenziale sulla pelle (ECG, EEG)	10^{-4}

Conservazione dell'energia

La conservazione dell'energia nel campo elettrico

$$q(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m \left(v_B^2 - v_A^2\right)$$

Nota. Devo mettere la carica con il segno

Riassumendo

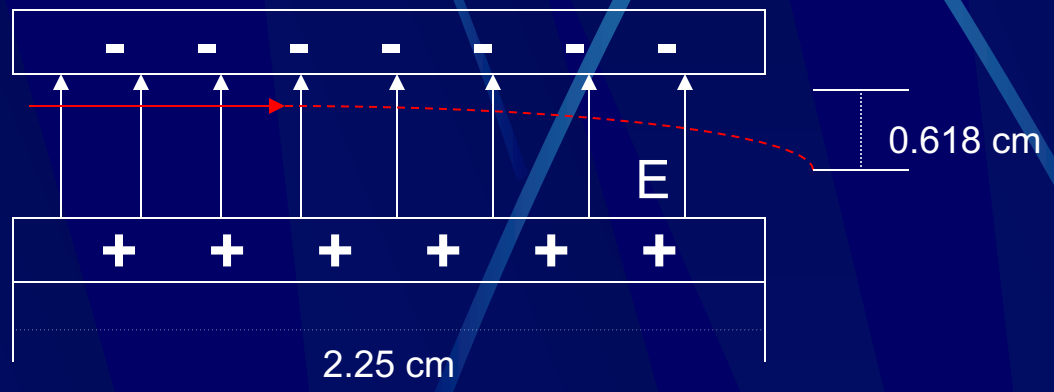
Insiemi di cariche elettriche generano un campo elettrico nello spazio

Il campo elettrico è conservativo, come il campo gravitazionale

Primo esercizio da fare a casa

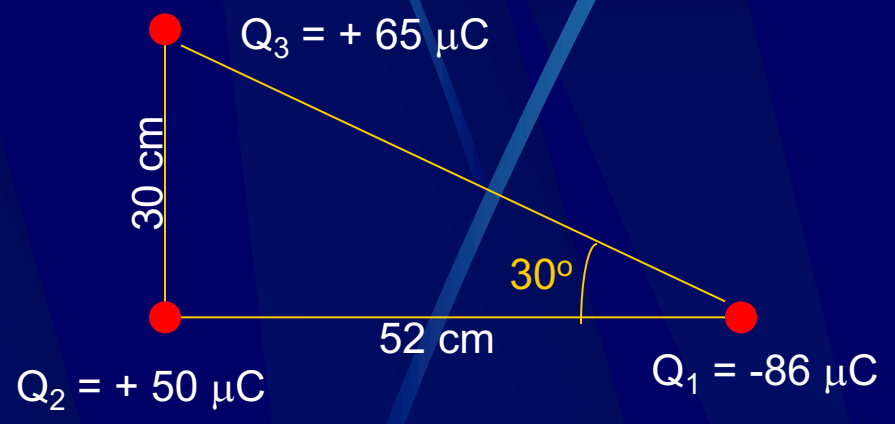
Un elettrone entra in un condensatore a facce piane parallele con $v=5.45 \cdot 10^6$ ms^{-1}. Il campo elettrico del condensatore ha deflesso l'elettrone verso il basso di 0.618 cm quando l'elettrone esce dal condensatore. Trovare:

1. L'intensità di E
2. La velocità dell'elettrone quando esce dal condensatore



Secondo esercizio da fare a casa

Calcolare la forza elettrostatica totale che le cariche Q_1 e Q_2 esercitano su Q_3.



Soluzione primo esercizio da fare a casa

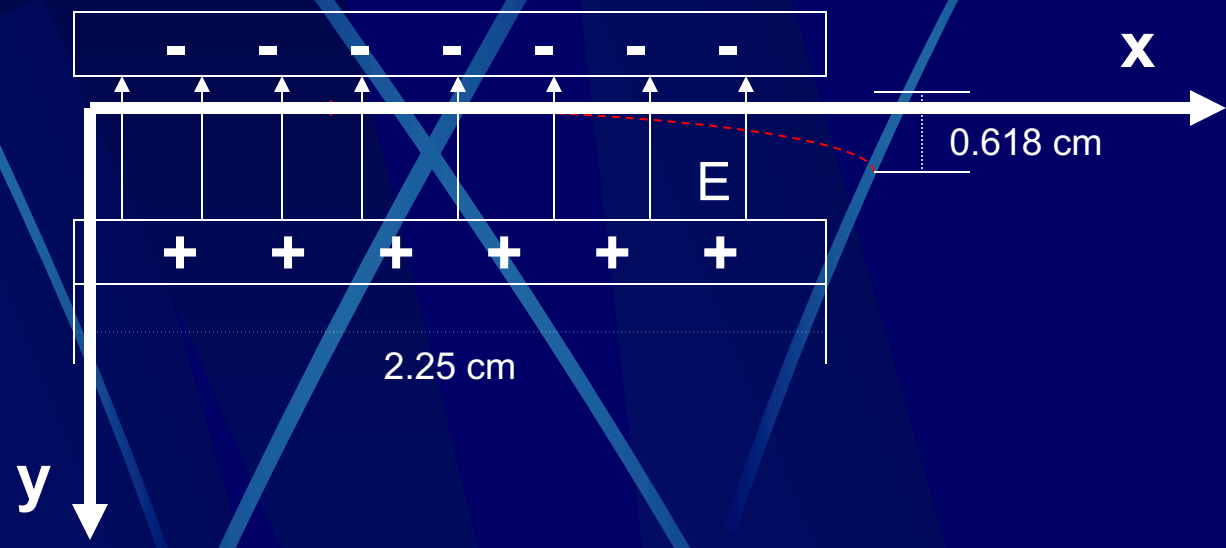
È il moto di un proiettile

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t$$



Condizioni a contorno

$$x_0 = 0 \qquad v_{0x} = 5.45 \cdot 10^6 \ ms^{-1} \qquad a_x = 0$$

$$y_0 = 0 \qquad v_{0y} = 0$$

a_y; dalla $F = eE = ma$, ottengo $a_y = \frac{eE}{m_e}$

Soluzione primo esercizio da fare a casa

$$x = v_{0x} t \longrightarrow t = \frac{x}{v_{0x}}$$

$$y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m_e} t^2 \longrightarrow E = \frac{2ym}{et^2} = \frac{2\,y\,m\,v_{ox}^2}{e\,x^2} = \frac{2(0.68\cdot 10^{-2})(9.11\cdot 10^{-31})(5.45\cdot 10^{6})^2}{(1.6\cdot 10^{-19})(2.25\cdot 10^{-2})^2} = 4.13\cdot 10^{3}\ \text{V/m (oppure N/C)}$$

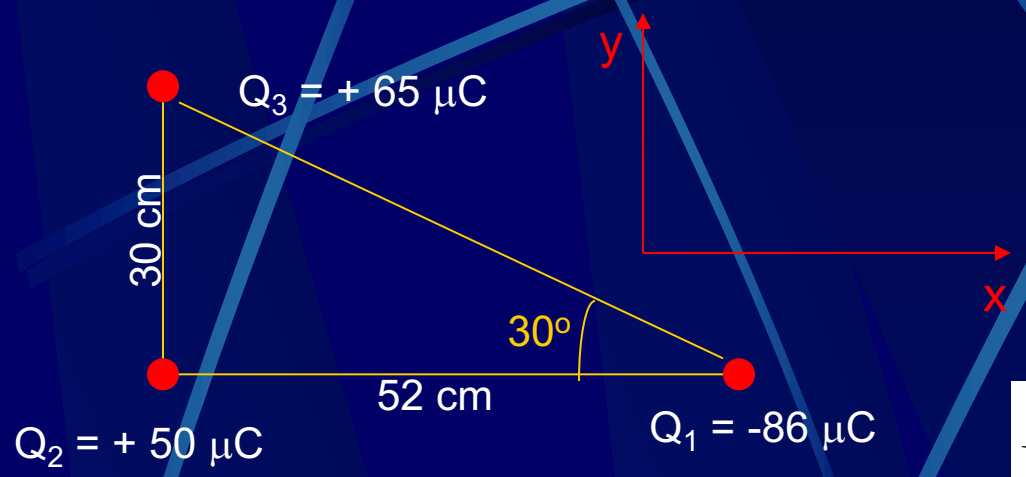
$$v_x = v_{0x}$$

$$v_y = \frac{eE}{m_e} t \longrightarrow v_y = \frac{e}{m_e}\frac{2\,y\,m_e\,v_{ox}^2}{e\,x^2}\frac{x}{v_{0x}} = \frac{2\,y\,v_{ox}^2}{x} = \frac{2\,(0.618\cdot 10^{-2})(5.45\cdot 10^{6})}{(2.25\cdot 10^{-2})} = 2.99\cdot 10^{6}\ \text{ms}^{-1}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(5.45)^2 + (3)^2}\cdot 10^{6} = 6.22\cdot 10^{6}\ \text{ms}^{-1}$$

Soluzione del secondo esercizio da fare a casa

Calcolare la forza elettrostatica totale che le cariche Q_1 e Q_2 esercitano su Q_3.



È un problema da risolvere con i vettori

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Ho a che fare con Forze elettriche quindi uso la Legge di Coulomb

Il MODULO delle forze è:

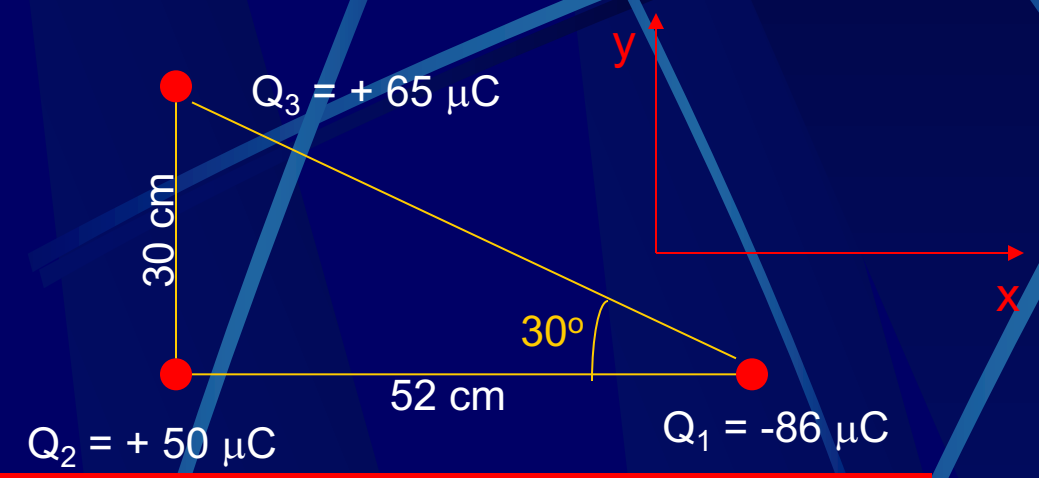
$$F_{13} = -F_{31} = k\frac{q_1 q_3}{d_{13}^2} = (9.0\cdot 10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2})\frac{(86\,\mu\,\mathrm{C})\cdot(65\,\mu\,\mathrm{C})}{(0.30\ \mathrm{m})^2 + (0.52\ \mathrm{m})^2} = 140\ \mathrm{N}$$

Pitagora

$$F_{23} = -F_{32} = k\frac{q_2 q_3}{d_{23}^2} = (9.0\cdot 10^9\ \mathrm{Nm^2/C^2})\frac{(50\,\mu\,\mathrm{C})\cdot(65\,\mu\,\mathrm{C})}{(0.30\ \mathrm{m})^2} = 330\ \mathrm{N}$$

Soluzione del secondo esercizio da fare a casa

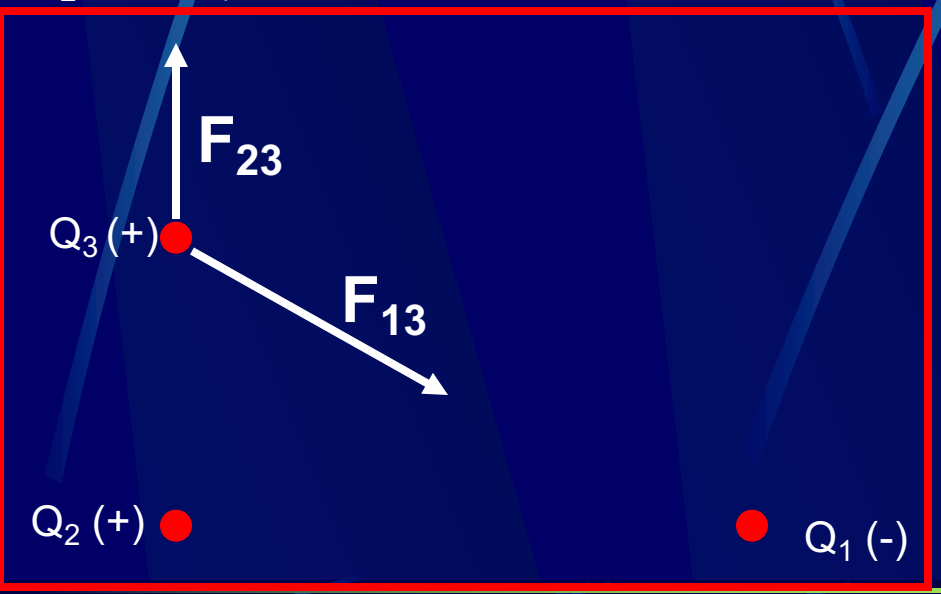
Calcolare la forza elettrostatica totale che le cariche Q_1 e Q_2 esercitano su Q_3.



Il MODULO delle forze è:

$$F_{13} = 140\ \mathrm{N}$$

$$F_{23} = 330\ \mathrm{N}$$



$$F_{13}^{x} = F_{13}\cos\theta = (140\mathrm{N})(0.866) = 120\mathrm{N}$$

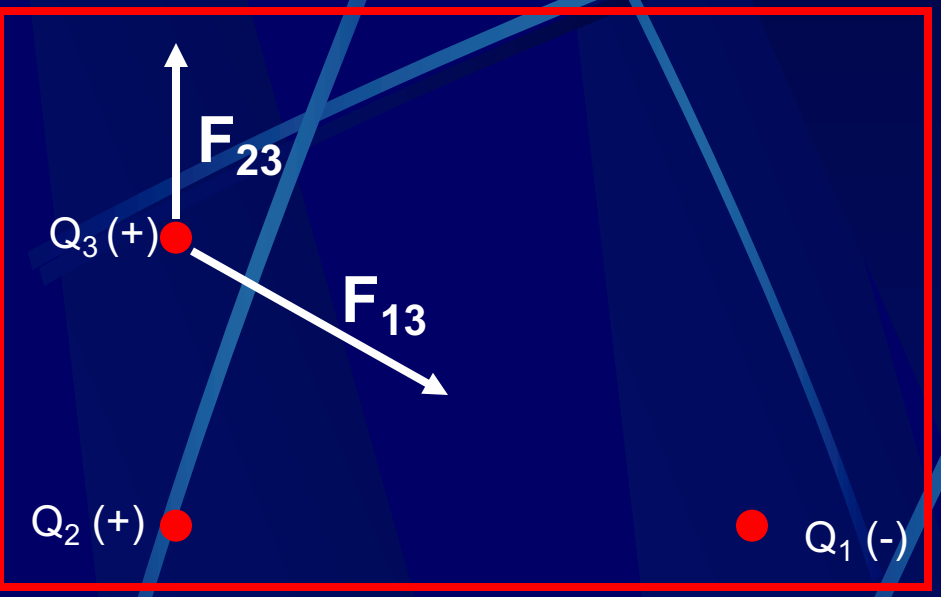
$$F_{13}^{y} = F_{13}\,\mathrm{sen}\,\theta = (140\ \mathrm{N})(-0.5) = -70\ \mathrm{N}$$

$$F_{23}^{x} = 0$$

$$F_{23}^{y} = 330\ \mathrm{N}$$

Soluzione del secondo esercizio da fare a casa

Calcolare la forza elettrostatica totale che le cariche Q_1 e Q_2 esercitano su Q_3.



$$F_{13}^{x} = 120\ \mathrm{N}$$

$$F_{13}^{y} = -70\ \mathrm{N}$$

$$F_{23}^{x} = 0$$

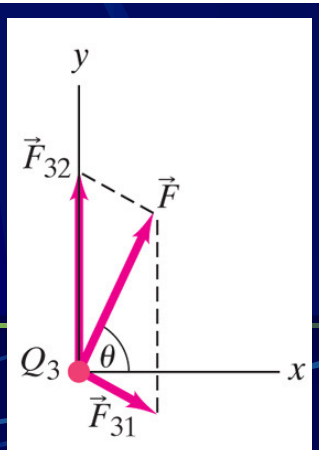
$$F_{23}^{y} = 330\ \mathrm{N}$$

$$\vec{F} = \left(F_{13}^{x} + F_{23}^{x}\right)\vec{i} + \left(F_{13}^{y} + F_{23}^{y}\right)\vec{j} = (120\ \mathrm{N} + 0\ \mathrm{N})\vec{i} + (-70\ \mathrm{N} + 330\ \mathrm{N})\vec{j} = (120\ \mathrm{N})\vec{i} + (260\ \mathrm{N})\vec{j}$$

$$\left|\vec{F}\right| = \sqrt{(120)^2 + (260)^2} = 290\ \mathrm{N}$$

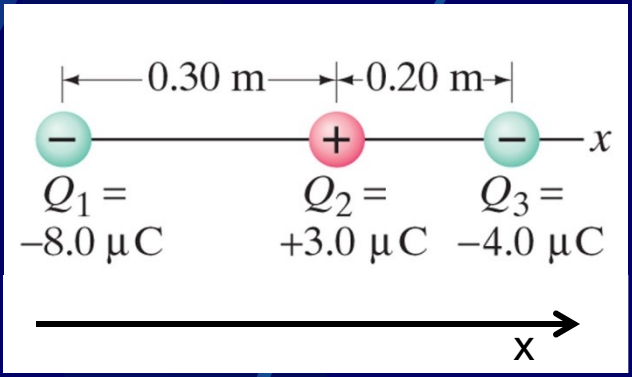
$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{260\ \mathrm{N}}{120\ \mathrm{N}} = 2.17$$

$$\theta = \arctan 2.17 = 65^\circ$$



Esercizio 1

Tre particelle cariche sono disposte su una retta come mostrato in figura. Calcolate la forza totale agente sulla particella 3, dovuta alle altre 2 cariche.



$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$ **Legge di Coulomb**

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13}$$

Scompongo in componenti (tutto sull'asse x)

$$F_3 = F_{23} + F_{13}$$

F_{23}

$$F_{23} = k\frac{q_2 q_3}{r_{23}^2} = (9.0\cdot 10^9\ N\cdot m^2/C^2)\frac{(+3.0\cdot 10^{-6}\ C)\cdot(-4.0\cdot 10^{-6}\ C)}{(0.20\ m)^2} = -2.7\ N$$

F_{13}

$$F_{13} = k\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} = (9.0\cdot 10^9\ N\cdot m^2/C^2)\frac{(-8.0\cdot 10^{-6}\ C)\cdot(-4.0\cdot 10^{-6}\ C)}{(0.30\ m + 0.20\ m)^2} + 1.2\ N$$

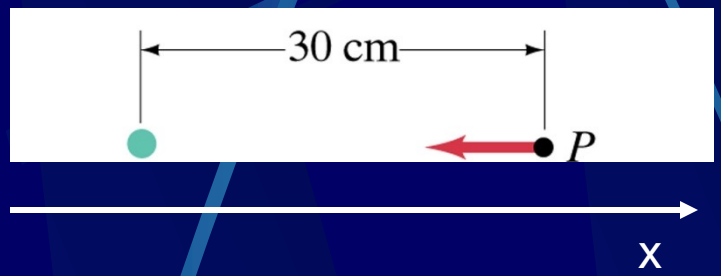
$F_3 = F_{23} + F_{13} =$ -2.7 N + 1.2 N = -1.5 N

Segno '-' ➔ Verso antiparallelo all'asse delle x

(da destra a sinistra)

Esercizio 2

Determinare l'intensità e la direzione del campo elettrico in un punto P posto 30 cm a destra di una carica puntiforme q = - 3.0 μC.



Il problema è unidimensionale

$$E = k\frac{q}{r^2} = (9.0\cdot 10^9\ \mathrm{Nm^2C^2})\ \frac{(3.0\cdot 10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.30\ \mathrm{m})^2} = 3.0\cdot 10^5\ \mathrm{N/C}$$

Vettore campo elettrico

- Modulo: $3.0\cdot 10^5$ N/C
- Direzione: la congiungente i due punti
- Verso: antiparallelo all'asse delle x

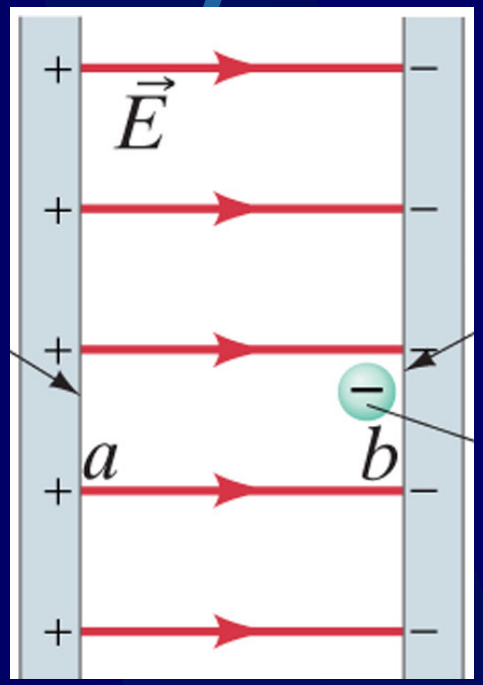
Se la carica fosse stata '+'

Verso parallelo all'asse x

Esercizio 3

Pongo un elettrone nei pressi dell'armatura negativa di un condensatore.

1. Quando lascio libero l'elettrone, la sua energia potenziale elettrica aumenterà o diminuirà?
2. Come cambierà il potenziale elettrico del condensatore ?



1. Considero la definizione di potenziale elettrico

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \Rightarrow \Delta U = q_0 \Delta V$$

$e^- < 0$; $\Delta V = V_{finale} - V_{iniziale} > 0$ ➔ $\Delta U < 0$

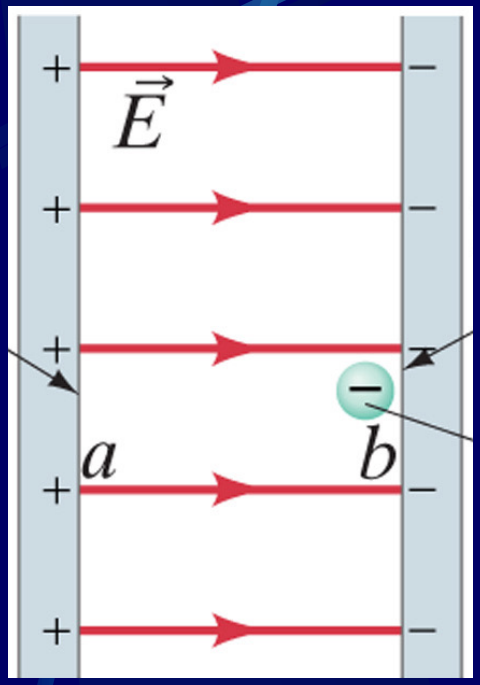
L'energia potenziale elettrica dell'e^- diminuisce

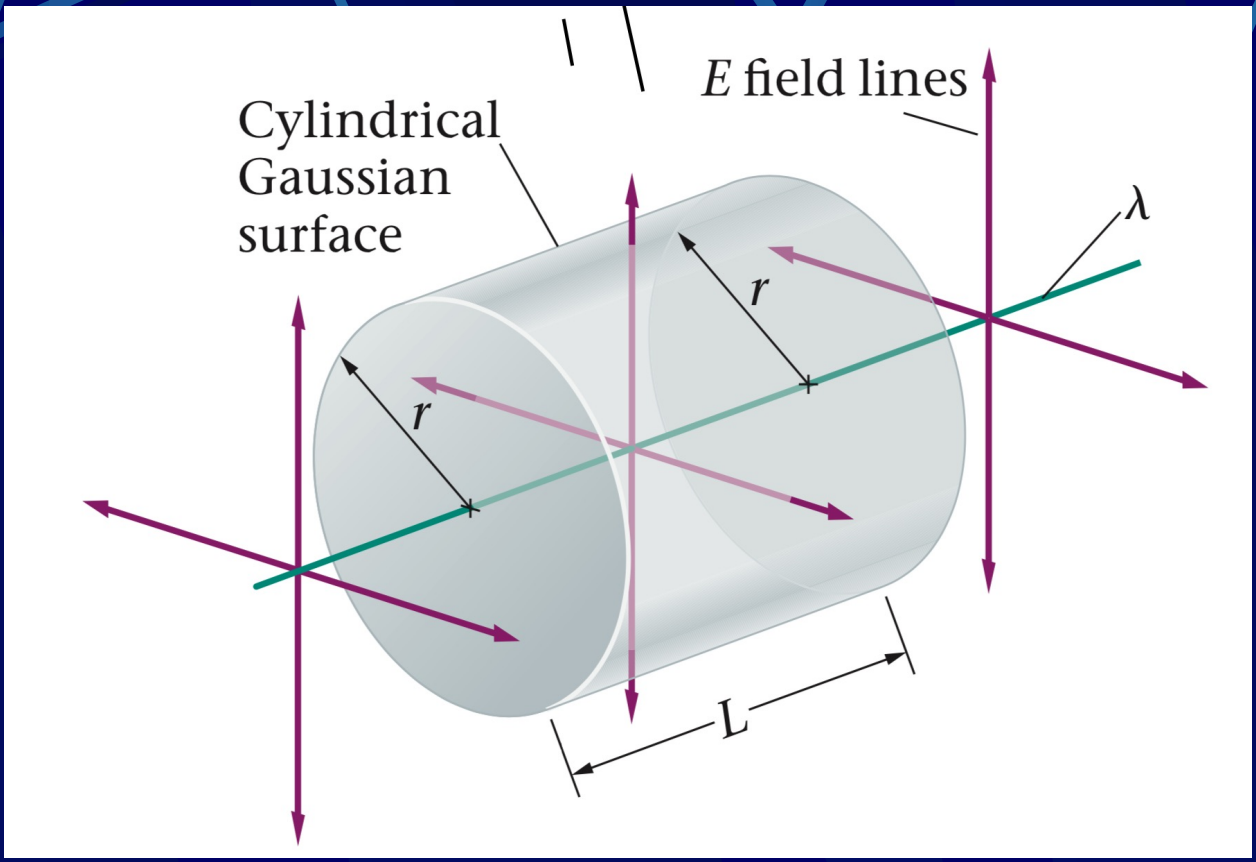
2. Come cambierà il potenziale elettrico del condensatore?

$\Delta V = V_{finale} - V_{iniziale}$ ➔ rimane costante

Esercizio 4

Derivare il campo elettrico fra le armature di un condensatore piano infinito usando la legge di Gauss. ($E = \sigma/\varepsilon_0$)



Esercizio 5

Derivare il campo elettrico a distanza *r* da un filo conduttore sottile e infinito con densità di carica uniforme λ usando la legge di Gauss. ($E = \lambda/(2\pi r\varepsilon_0)$)