

ELETTROMAGNETISMO

ELETTROSTATICA NEL VUOTO

Come abbiamo visto nella parte di meccanica le forze sono o di contatto (attrito, pressione, forza elastica) o a distanza (gravitazione): osservazioni sperimentali hanno mostrato che esiste un'altra forza a distanza: la **forza elettrica**.

Sperimentalmente si può notare che, ad esempio:

- due oggetti della medesima sostanza dopo essere stati strofinati con un panno di lana se posti l'uno vicino all'altro si respingono
- mentre se i due oggetti sono di sostanze diverse (es. plastica e vetro) si possono sia respingere che attrarre, a seconda delle sostanze (ad es. plastica e vetro si attraggono).

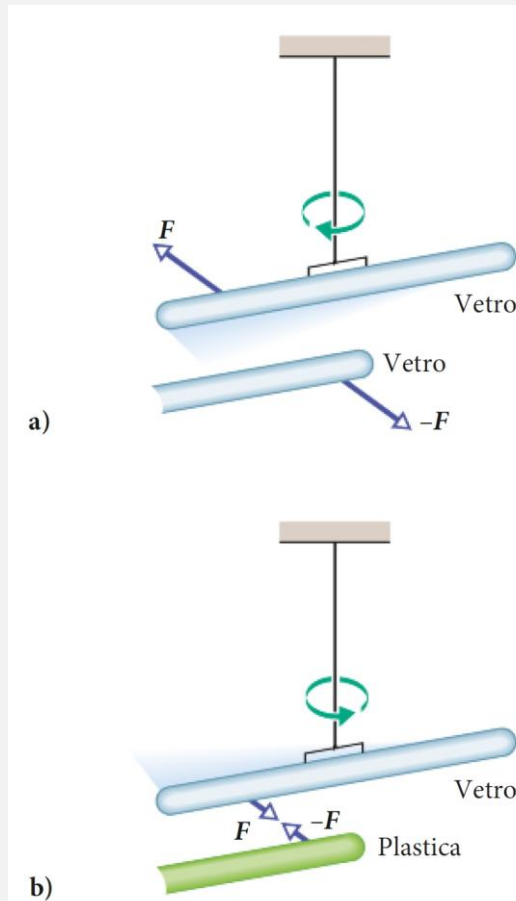


Figura 21.1 a) Le due bacchette di vetro sono state strofinate con un panno di seta e una di esse è stata appesa a un filo. Quando sono vicine l'una all'altra, le due bacchette si respingono. **b)** La bacchetta di plastica è stata strofinata con una pelle di camoscio. Quando viene avvicinata alla bacchetta di vetro, le due bacchette si attraggono.

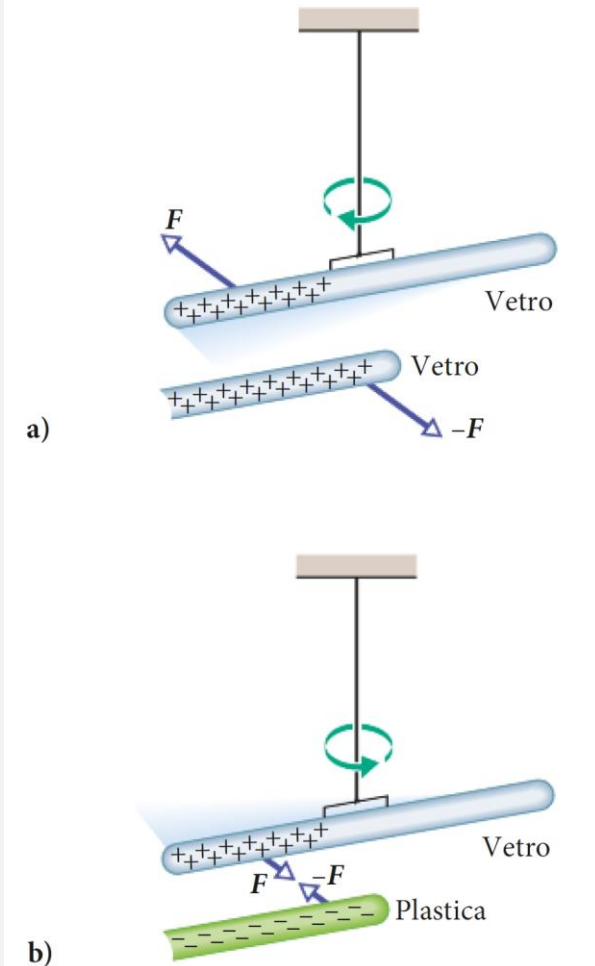


Figura 21.2 a) Due bacchette cariche con carica dello stesso segno si respingono. **b)** Due bacchette cariche con carica di segno opposto si attraggono. I segni «+» indicano una carica totale positiva e i segni «-» una carica totale negativa.

ELETTROSTATICA NEL VUOTO

Anche le forze di natura elettrica soddisfano il terzo principio della dinamica (principio di azione e reazione).

In natura esistono due tipi diversi di cariche elettriche:

- per convenzione si dice che sostanze come il vetro, per strofinio con lana, acquistano carica **positiva** (sostanze vetrose)
- sostanze come l'ambra per strofinio acquistano carica **negativa** (sostanze resinose).

Cariche dello stesso segno si respingono mentre cariche di segno opposto si attraggono.

La carica netta si ottiene dalla somma algebrica delle cariche del sistema.

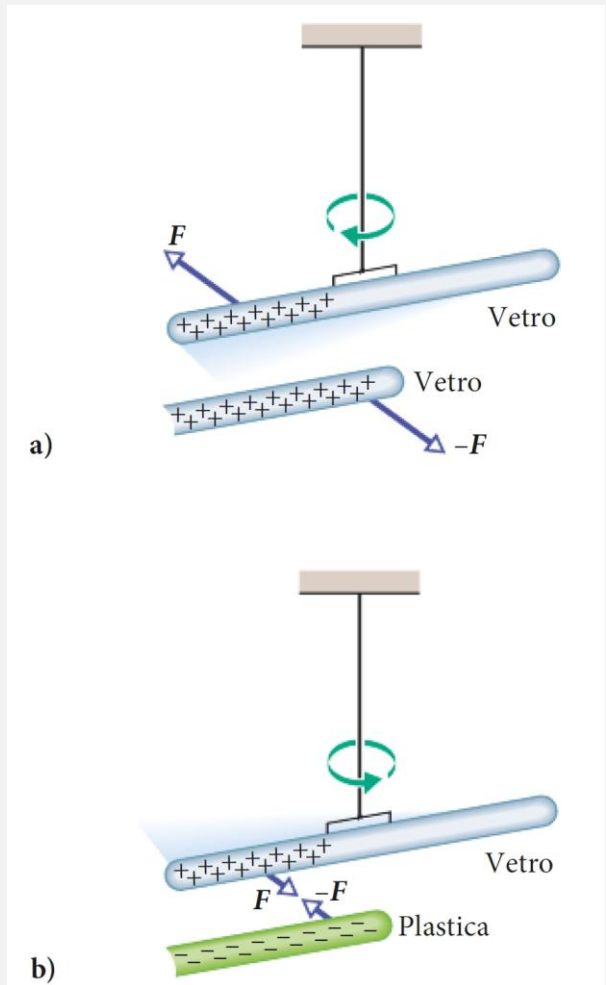
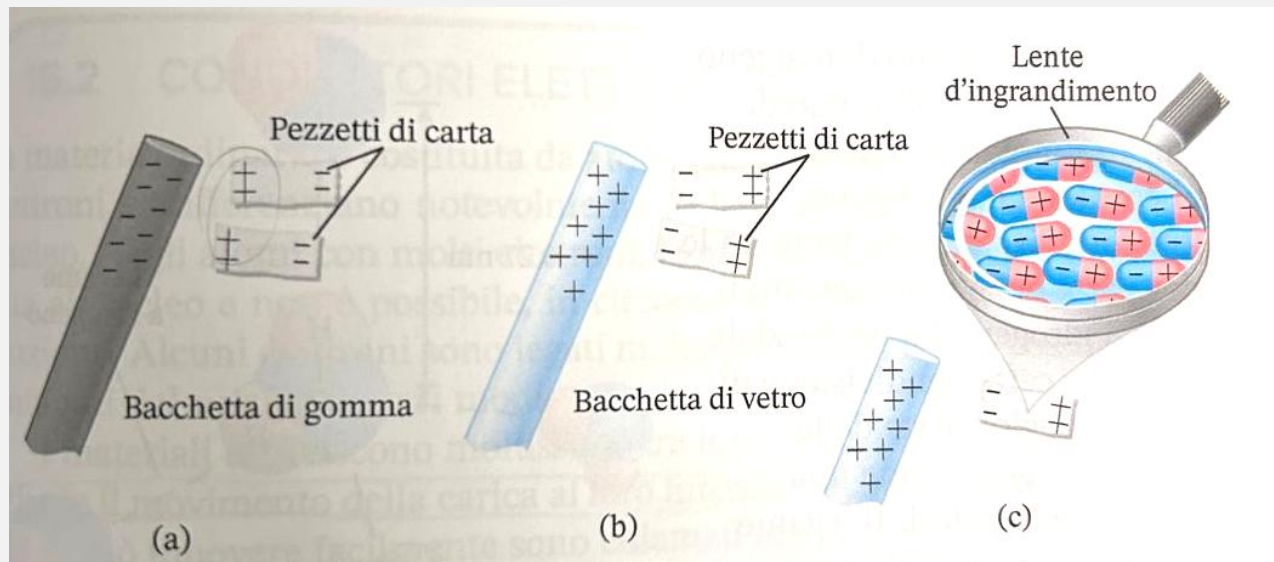


Figura 21.2 a) Due bacchette cariche con carica dello stesso segno si respingono. **b)** Due bacchette cariche con carica di segno opposto si attraggono. I segni «+» indicano una carica totale positiva e i segni «-» una carica totale negativa.

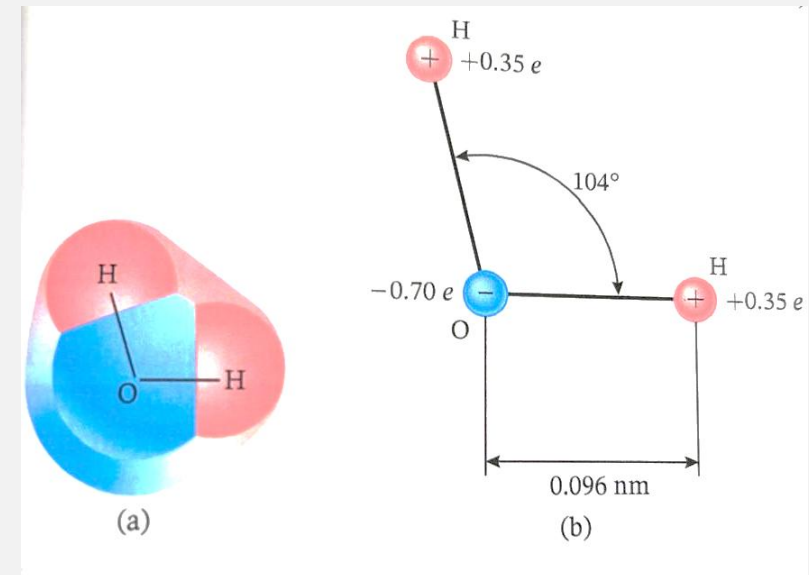
ELETTROSTATICA NEL VUOTO

Un corpo elettricamente neutro può presentare al suo interno regioni con carica positiva o negativa, separate l'una dall'altra → corpo **polarizzato**

Polarizzazione: separazione di cariche all'interno di un corpo



Polarizzazione per induzione



Polarizzazione intrinseca
La molecola d'acqua ha una
natura fortemente polare

ELETTROSTATICA NEL VUOTO

Disegnate sempre il vettore della forza con la coda sulla particella.

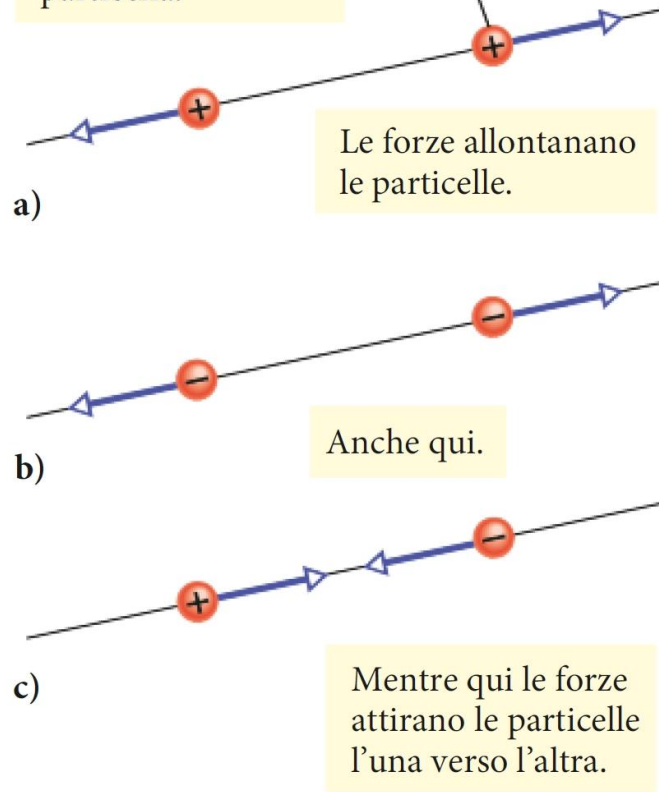


Figura 21.5 Due particelle cariche si respingono se hanno cariche dello stesso segno: **a)** entrambe positive o **b)** entrambe negative. **c)** Si attraggono se hanno cariche di segni opposti.

LEGGE DI COULOMB: Se due particelle cariche vengono avvicinate l'una all'altra, ciascuna di esse esercita sull'altra una **FORZA ELETTROSTATICA**.

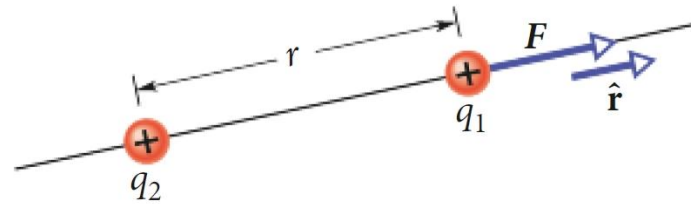


Figura 21.6 La forza elettrostatica che agisce sulla particella 1 può essere descritta in termini di un versore \hat{r} diretto lungo un asse radiale che attraversa le due particelle ed è orientato nel verso uscente dalla particella 2.

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

r è la distanza tra le particelle e k è la costante elettrostatica / costante di Coulomb

Se le cariche hanno segno uguale, il loro prodotto è positivo, quindi la forza agente sulla particella 1 ha lo stesso verso del versore \hat{r} .

Se le cariche hanno segno opposto, il loro prodotto è negativo, quindi la forza agente sulla particella 1 ha verso opposto a \hat{r}

ELETTROSTATICA NEL VUOTO

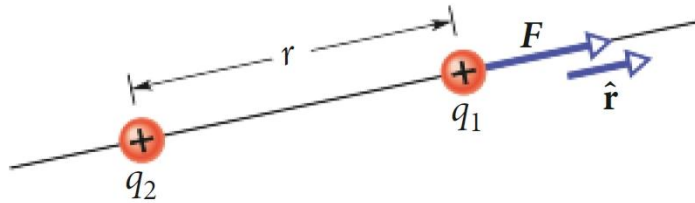


Figura 21.6 La forza elettrostatica che agisce sulla particella 1 può essere descritta in termini di un vettore \hat{r} diretto lungo un asse radiale che attraversa le due particelle ed è orientato nel verso uscente dalla particella 2.

LEGGE DI COULOMB: Se due particelle cariche vengono avvicinate l'una all'altra, ciascuna di esse esercita sull'altra una **FORZA ELETTROSTATICA**.

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

Nel SI l'unità di carica è il Coulomb C , definito come quella carica che attraversa in un secondo un conduttore percorso dalla corrente di un Ampère (A). Nel SI

$$k \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \quad \epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

ϵ_0 = costante dielettrica del vuoto

ELETTROSTATICA NEL VUOTO

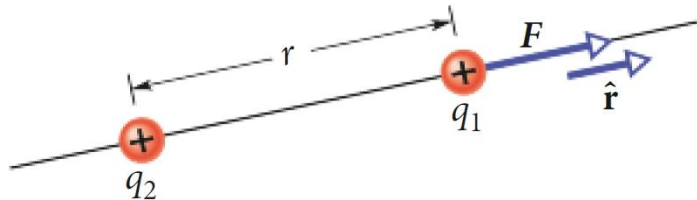


Figura 21.6 La forza elettrostatica che agisce sulla particella 1 può essere descritta in termini di un vettore \hat{r} diretto lungo un asse radiale che attraversa le due particelle ed è orientato nel verso uscente dalla particella 2.

LEGGE DI COULOMB: Se due particelle cariche vengono avvicinate l'una all'altra, ciascuna di esse esercita sull'altra una **FORZA ELETTROSTATICA**.

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

La legge di Coulomb è valida (esattamente) per cariche puntiformi.

La legge di Coulomb è formalmente analoga a quella della gravitazione, con la carica elettrica al posto della massa: l'unica differenza è che la massa è solo positiva e quindi la forza gravitazionale è sempre attrattiva.

È utile confrontare le due forze per un elettrone e un protone posti alla distanza r_0

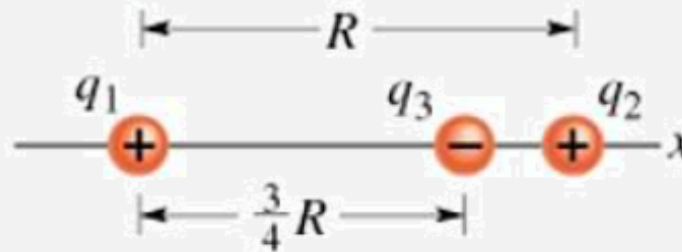
$$F_g = \frac{G m_e m_p}{r_0^2} \quad F_e = \frac{k e^2}{r_0^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{F_e}{F_g} = \frac{k e^2}{G m_e m_p} \simeq 2.2 \cdot 10^{39}$$

Esempio.

Tre cariche fisse q_1 , q_2 , q_3 sono collocate sull'asse x .

$$q_1 = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, q_2 = 3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}, q_3 = -3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

q_1 e q_2 sono poste alla distanza $R = 0.02 \text{ m}$, mentre q_3 si trova tra di loro, alla distanza $\frac{3}{4} R$ da q_1 . Calcolare la forza elettrostatica \mathbf{F}_1 agente sulla carica q_1 per effetto della altre due.



La forza \mathbf{F}_1 è data dalla somma (vettoriale) delle forze elettrostatiche \mathbf{F}_{12} e \mathbf{F}_{13} , che sono esercitate su q_1 rispettivamente dalle cariche q_2 e q_3 . Consideriamo per prima la forza \mathbf{F}_{12} e calcoliamone il modulo attraverso la legge di Coulomb:

$$\begin{aligned} |F_{12}| &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{R^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \cdot (3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{(0.02 \text{ m})^2} = \\ &= 1.15 \cdot 10^{-24} \text{ N} \end{aligned}$$

Esempio.

La forza \mathbf{F}_{12} è di tipo repulsivo, dato che le cariche q_1 e q_2 sono di uguale segno, ed è pertanto diretta nel verso negativo dell'asse x .



Consideriamo ora la forza \mathbf{F}_{13} , il cui modulo è uguale a:

$$|\mathbf{F}_{13}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| |q_3|}{\left(\frac{3}{4}R\right)^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \cdot (3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{(0.75 \cdot 0.02 \text{ m})^2} =$$
$$= 2.05 \cdot 10^{-24} \text{ N}$$



La forza \mathbf{F}_{13} è di tipo attrattivo, dato che le cariche q_1 e q_3 sono di segno opposto, ed è pertanto diretta nel verso positivo dell'asse x .

La forza $\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13}$ è diretta lungo l'asse x , nel verso positivo (dato che il modulo di \mathbf{F}_{13} è maggiore di quello di \mathbf{F}_{12}); il modulo di \mathbf{F}_1 è uguale a:

$$|\mathbf{F}_1| = (2.05 - 1.15) \cdot 10^{-24} \text{ N} \cong 9 \cdot 10^{-25} \text{ N}$$

CAMPO ELETTRICO

Il Campo elettrico (\vec{E}) in un punto, è definito come la forza elettrica (\vec{F}_e) per unità di carica in quel punto. Presenta modulo, direzione e verso. È costituito da una distribuzione di vettori campo elettrico E , uno per ciascun punto dello spazio che circonda una carica elettrica. In un punto P, in cui è posta una carica di prova, il campo elettrico è:

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

$$g = \frac{\vec{F}_g}{m}$$

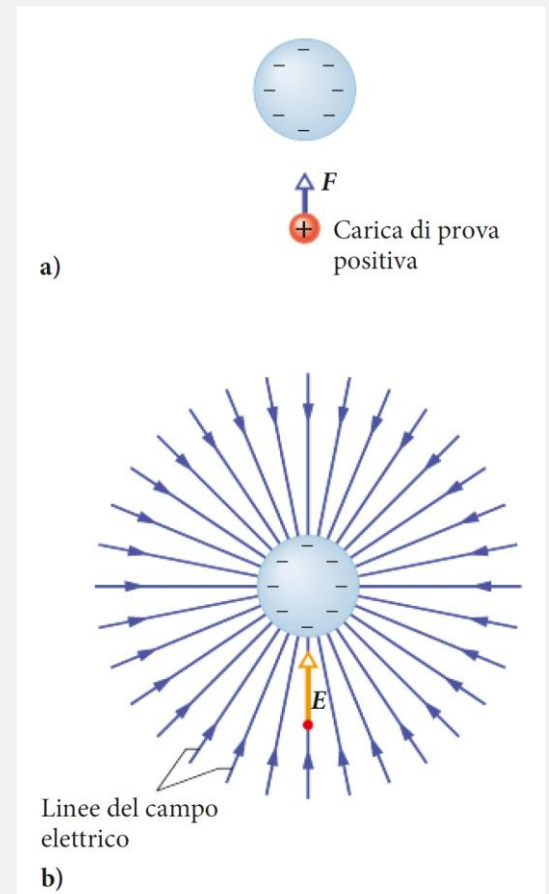
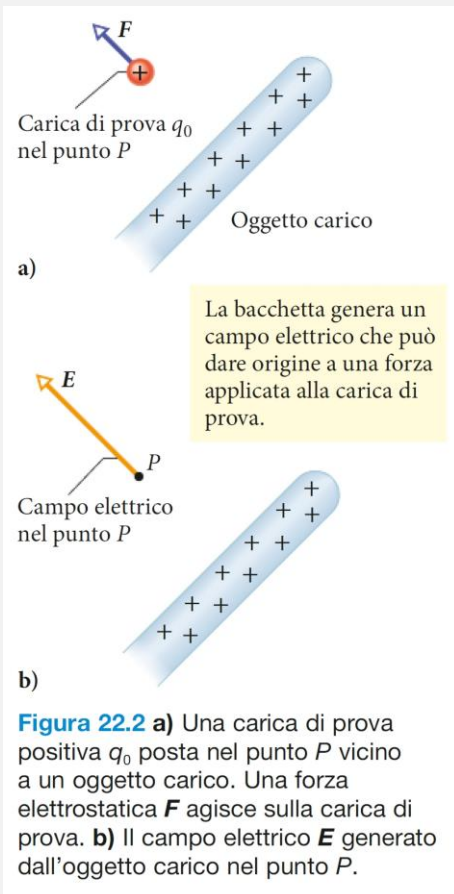
Campo gravitazionale è dovuto a un qualsiasi corpo (es. Terra)

Le linee del campo elettrico sono uscenti dalle cariche positive (nelle quali hanno origine) ed entranti nelle cariche negative (nelle quali terminano)

Le dimensioni del campo elettrico sono quelle di una forza divisa per una carica e l'unità di misura è:

Newton/Coulomb = Volt/metro

Sapendo che il campo elettrico in un punto è E , sarà facile calcolare la forza elettrica (F_e) su una qualsiasi carica puntiforme q posta in quel punto.



CAMPO ELETTRICO

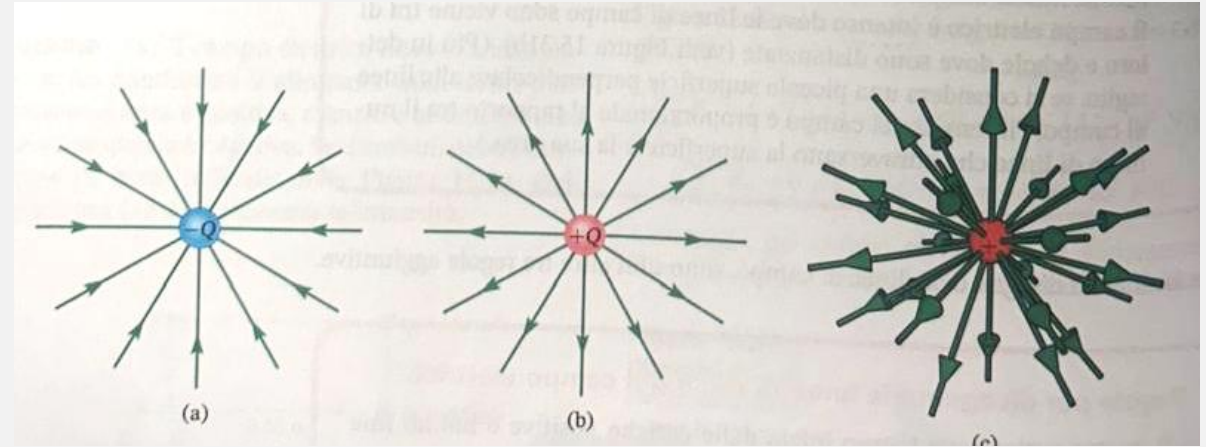
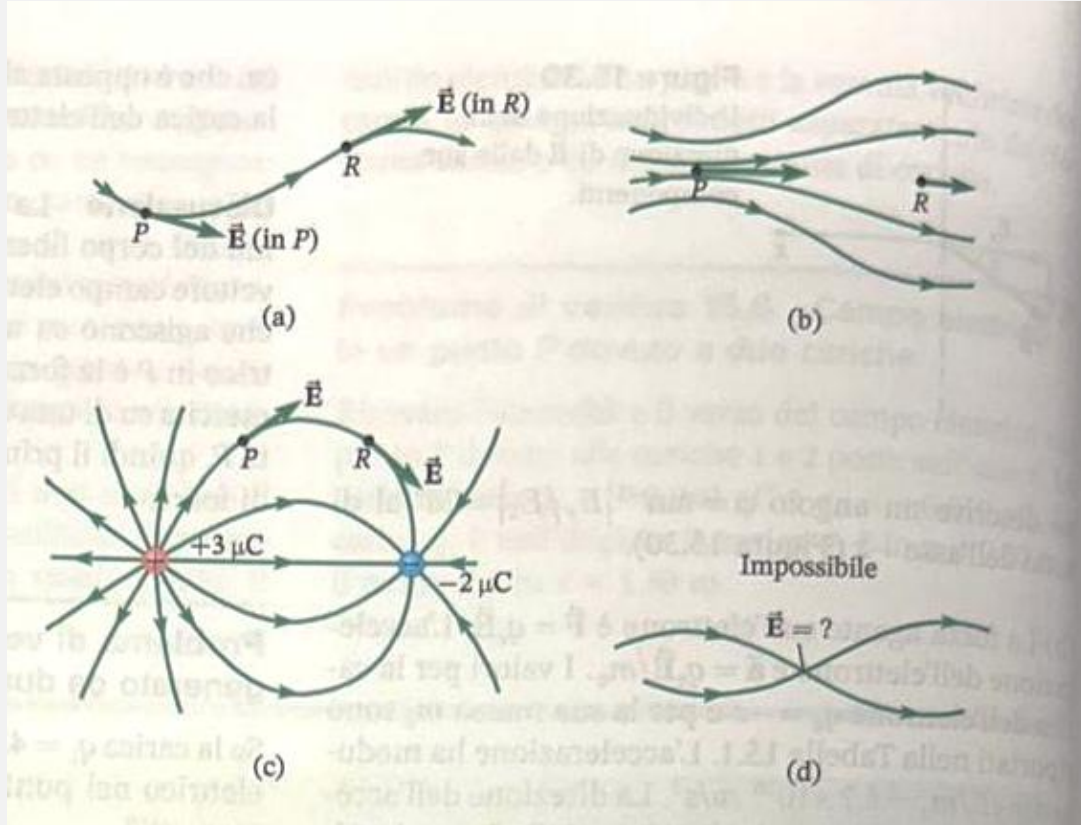
Per rappresentare il campo elettrico si utilizzano dei segmenti orientati, detti **linee di forza del campo elettrico (o linee di campo elettrico)**. Sono linee continue e orientate che rappresentano intensità, direzione e verso del campo.

Regole per disegnare le linee di forza:

- Le linee di forza hanno inizio dalle cariche positive e hanno fine sulle cariche negative
- Il numero di linee che hanno inizio è proporzionale al modulo della carica. Il numero totale è arbitrario: Maggiore è il numero di linee e Migliore sarà la rappresentazione del campo elettrico
- Le linee di campo non si intersecano mai. Il campo elettrico in un punto ha una direzione unica; se le linee di forza si intersecano nello stesso punto, il campo avrebbe due direzioni.

La direzione del vettore campo elettrico in un punto è *tangente* alla linea di campo che passa per quel punto e il verso è concorde con quello indicato dall'orientazione della linea di campo.

Il campo elettrico è *intenso* dove le linee sono vicine tra loro e *debole* dove sono distanziate.



Campo elettrico generato da una carica puntiforme. La forza che agisce su una carica di prova q per effetto di una carica puntiforme q_0 è (dalla legge di Coulomb):

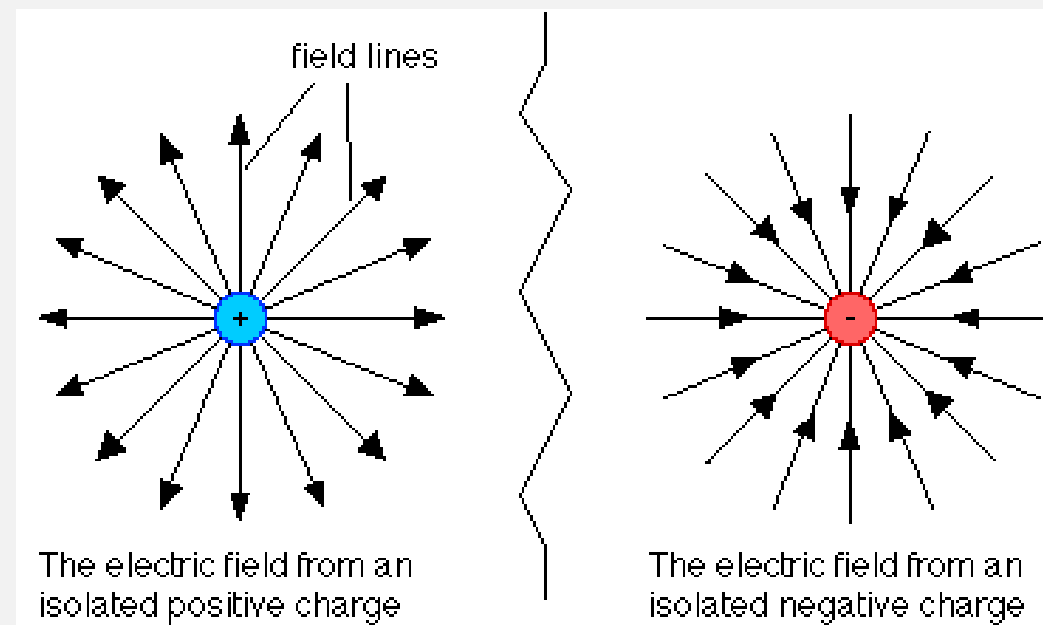
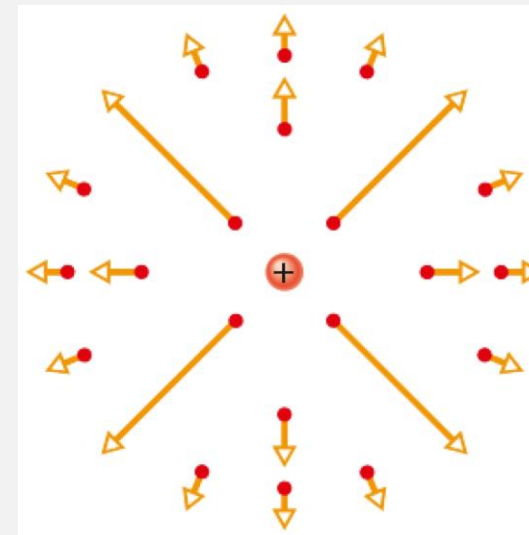
$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Il campo elettrico generato dalla particella è:

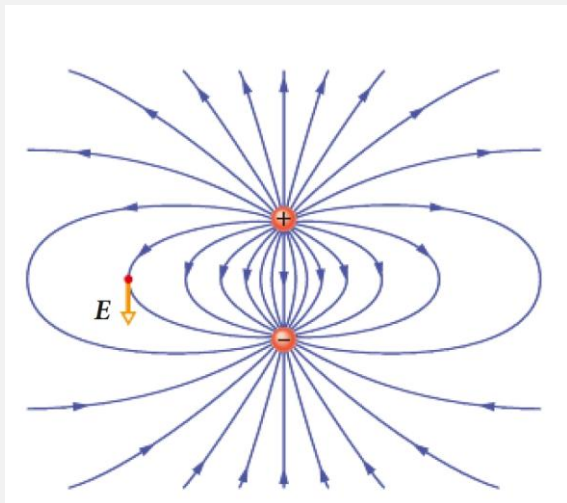
$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} = k \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Per ogni punto (tranne quelli in cui sono localizzate le cariche) passa una e una sola linea di forza.

ϵ_0 : costante dielettrica nel vuoto



Campo elettrico generato da un dipolo. Il dipolo elettrico è costituito da due particelle con stessa carica q , ma di segno opposto, separate da una distanza d .

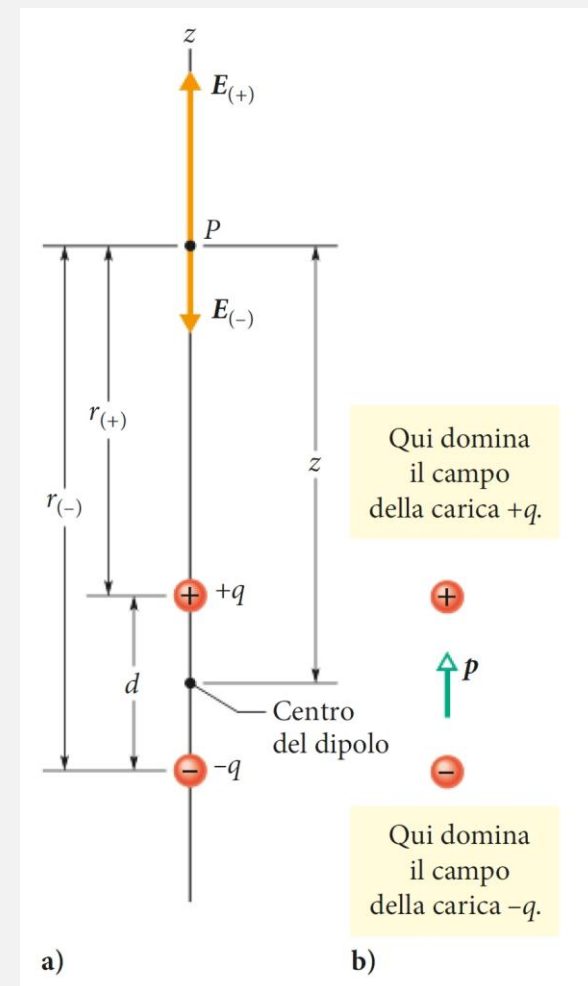
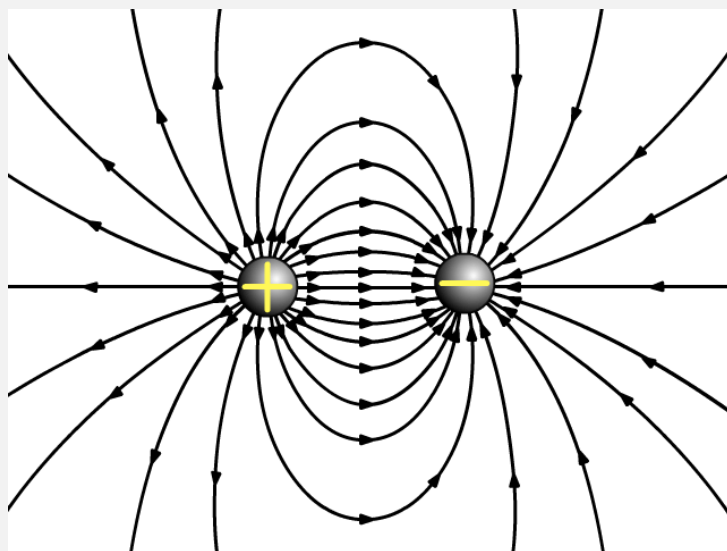


Nel punto P, il campo elettrico ha valore:

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

Dove p è il **momento di dipolo elettrico**, corrispondente al prodotto qd
 z è la distanza tra il punto considerato e il centro del dipolo

in ogni punto della linea il campo elettrostatico è tangente alla linea di campo



FLUSSO DEL CAMPO ELETTRICO

Il flusso Φ del campo elettrico attraverso una superficie è la «quantità» di campo elettrico che attraversa la superficie.

Superficie piana di area A immersa in un campo elettrico uniforme \mathbf{E}

La quantità di campo elettrico che attraversa la superficie dell'elemento ΔA è definita come flusso del campo elettrico $\Delta\Phi$:

$$\Delta\Phi = (E \cos \theta) \Delta A$$

$$\Delta\Phi = \mathbf{E} \cdot \Delta\mathbf{A}$$

Il flusso totale attraverso la superficie piana sarà:

$$\Phi = \sum \mathbf{E} \cdot \Delta\mathbf{A}$$

Quindi:

$$\Phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

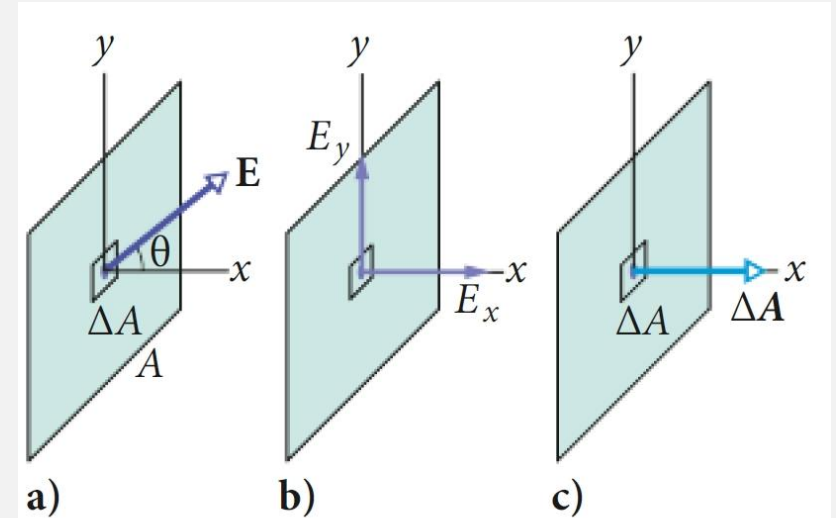
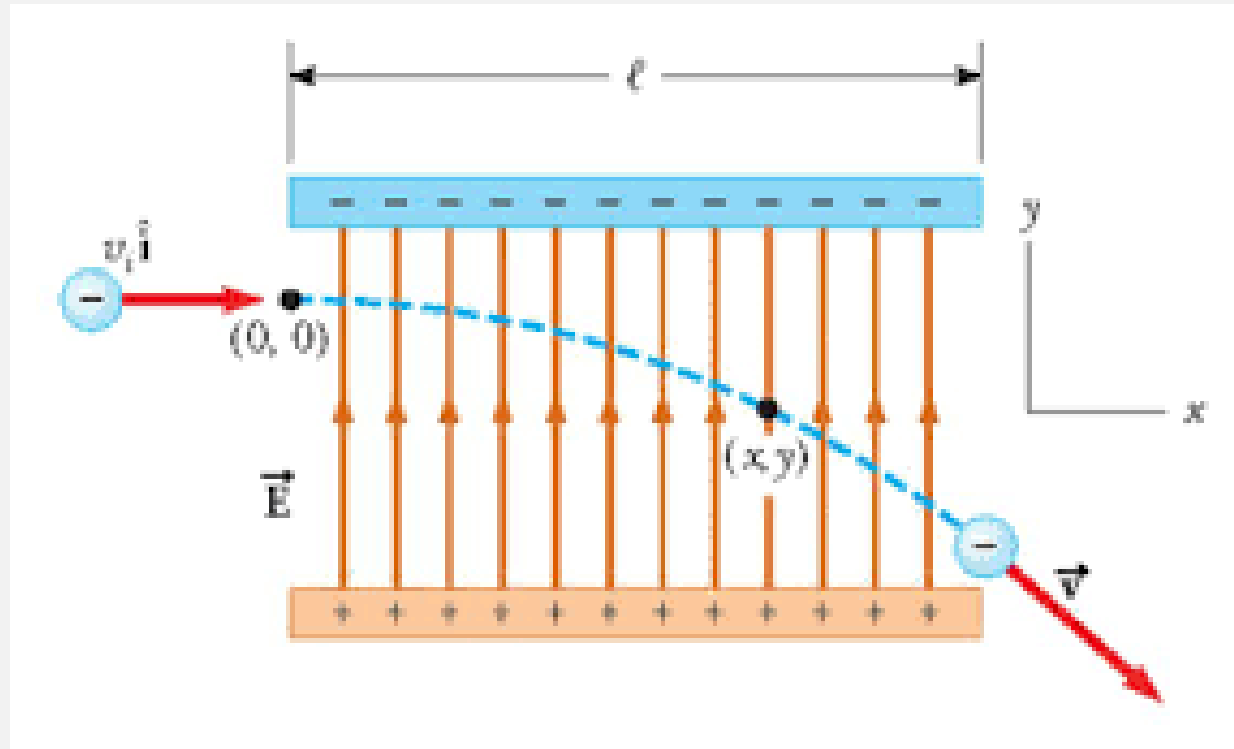


Figura 23.4 **a)** Un vettore campo elettrico attraversa un piccolo quadrato di una superficie piana. **b)** In realtà solo la componente x attraversa la porzione di superficie; la componente y la sfiora. **c)** Il vettore area della porzione è perpendicolare a essa e il suo modulo è uguale all'area della porzione di superficie.

FLUSSO DEL CAMPO ELETTRICO

Come risponde un corpo alla presenza di un campo elettrico?

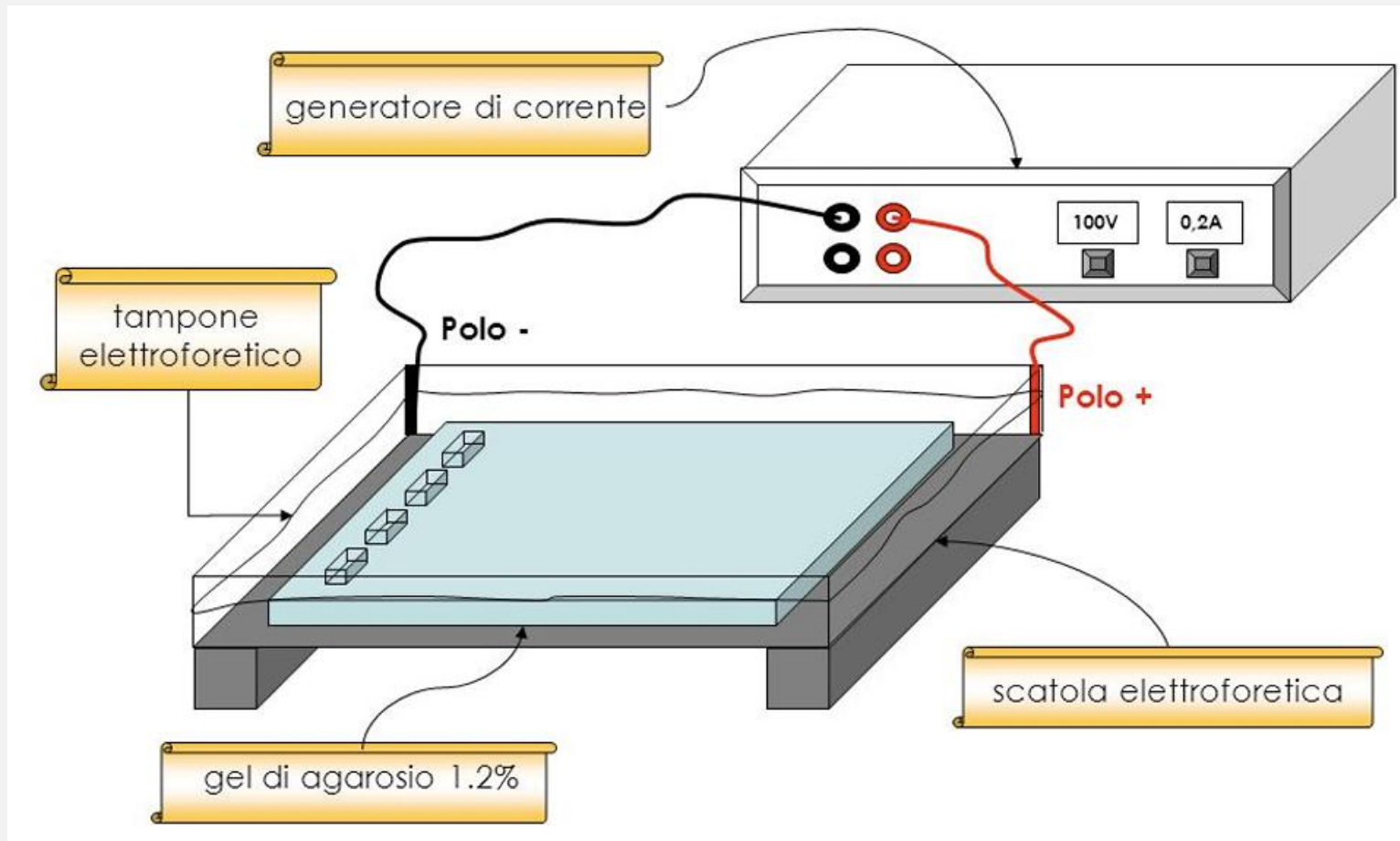
Consideriamo un campo elettrico (dovuto alla presenza di altre cariche) uniforme, ovvero ha la stessa intensità, verso e direzione in ogni punto.



Per creare un campo elettrico uniforme è necessario un gran numero di cariche.
Disponiamo cariche elettriche uguali ed opposte su due lamine parallele

APPLICAZIONE BIOTECNOLOGICA DELL'ELETTROMAGNETISMO

L'elettroforesi su gel è una tecnica che utilizza un campo elettrico esterno per separare le macromolecole biologiche (es. proteine o acidi nucleici) in base alle loro dimensioni.



APPLICAZIONE BIOTECNOLOGICA DELL'ELETTROMAGNETISMO

Fattori che influenzano la mobilità di una molecola in un campo elettrico:

- Carica della molecola (q)
- Il gradiente di potenziale del campo elettrico (E), dato dalla differenza di potenziale (ddp) tra i due elettrodi diviso la distanza (cm) tra gli stessi
- La resistenza di attrito del mezzo di supporto (f), ovvero del gel di agarosio nel quale le molecole vengono disposte (resistenza viscosa)

$$v = \frac{\vec{E} \cdot q}{f}$$

Il prodotto tra i parametri E e q fornisce la forza $\vec{F}_e = \frac{\vec{F}_e}{q_0}$ che spinge la molecola di carica q verso un elettrodo di carica opposta.

Quando le forze elettriche e quelle di viscosità si bilanciano, le molecole raggiungono la velocità finale

