

I concetti e le leggi

IN 3 MINUTI

La legge di Coulomb • Il campo elettrico • La differenza di potenziale elettrico

Legge di CoulombLa forza che agisce tra due cariche Q_1 e Q_2 puntiformi poste nel vuoto

- agisce lungo la retta congiungente le due cariche;
- è repulsiva se le cariche hanno lo stesso segno e attrattiva se le cariche hanno segno opposto;
- ha modulo

$$F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Campo elettrico

- È il rapporto tra la forza elettrica che si esercita su una carica di prova posta in punto P e la carica di prova stessa:

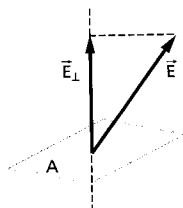
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0}$$

- Si misura in N/C.

Flusso del campo elettrico

- Il flusso del campo elettrico uniforme \vec{E} attraverso una superficie piana di area A è definito come

$$\Phi(\vec{E}) = E_{\perp} A$$

**Linea di forza**

- È una curva la cui tangente in ogni suo punto P fornisce la direzione del campo elettrico in P .

Teorema di Gauss

- Il flusso del campo elettrico attraverso una superficie chiusa posta nel vuoto e contenente una carica totale Q_T è dato da

$$\Phi(\vec{E}) = \frac{Q_T}{\epsilon_0}$$

Energia potenziale elettrica di un sistema di cariche

- È uguale al lavoro compiuto da una forza esterna per assemblare il sistema contro la forza elettrica.

Energia potenziale elettrica di due cariche puntiformi

$$U(r) = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r}$$

Potenziale elettrico

- È il rapporto tra l'energia potenziale della configurazione di cariche U_P e la carica di prova positiva Q_0 :

$$V_P = \frac{U_P}{Q_0}$$

- È una grandezza scalare.
- Si misura in volt (V).

Potenziale elettrico generato da una carica puntiforme

- A una distanza r dalla carica Q vale

$$V(r) = k_0 \frac{Q}{r}$$

Differenza di potenziale (o tensione)

- La differenza di potenziale tra i punti B e A è data da

$$\Delta V = - \frac{L_{A \rightarrow B}}{Q_0}$$

dove $L_{A \rightarrow B}$ è il lavoro della forza elettrica lungo lo spostamento da A a B .

Relazione tra campo elettrico e potenziale elettrico

- La componente del campo elettrico lungo la direzione s è data da

$$E_s = - \frac{\Delta V}{\Delta s}$$

- Il campo elettrico è diretto nel verso in cui il potenziale decresce.

Capacità di un condensatore

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

- Si misura in farad (F).

Energia immagazzinata da un condensatore

$$U = \frac{1}{2} C V^2$$

Esercizi

1 Fenomeni elettrostatici elementari

1 Considera una carica da $-1 \mu\text{C}$.

► Quanti sono gli elettroni contenuti in essa?

[$6 \cdot 10^{12}$]

2 Uno studente strofina una penna biro contro il suo maglione di lana. Ipotizza che la biro abbia assunto una carica pari a -10^{-7} C .

► Quanti elettroni hanno lasciato il maglione?

[$6 \cdot 10^{11}$]

3 Un corpo presenta una carica totale $q = +4,7 \mu\text{C}$.

► Quanti elettroni in meno sono presenti rispetto alla condizione di equilibrio?

[$2,9 \cdot 10^{13}$]

3 La legge di Coulomb

4 Considera due elettroni che distano $0,1 \text{ nm}$.

► Quanto vale la forza di repulsione fra di essi?

[20 nN]

5 Due cariche puntiformi di $2,8 \mu\text{C}$ sono immerse in un liquido lubrificante ($\epsilon_r = 2,4$) e distano $3,8 \text{ cm}$.

► Calcola il modulo della forza di Coulomb a cui ciascuna carica è soggetta.

[20 N]

6 Due sferette hanno ciascuna una carica che è pari a $-0,02 \mu\text{C}$. Considera le sferette puntiformi.

Calcola il modulo della forza elettrica esercitata da una sfera sull'altra nel caso la loro distanza sia:

► 2 cm .

► $0,2 \text{ m}$.

► 2 m .

[$9 \cdot 10^{-3} \text{ N}$; $9 \cdot 10^{-5} \text{ N}$; $9 \cdot 10^{-7} \text{ N}$]

7 Una carica $q_1 = 2 \text{ nC}$ si trova a 3 cm da una carica $q_2 = 3 \mu\text{C}$.

► Calcola il modulo della forza che agisce su q_1 .

► Calcola il modulo della forza che agisce su q_2 .

[$0,06 \text{ N}$; $0,06 \text{ N}$]

8 Due cariche esercitano una forza di 20 N l'una sull'altra.

► Qual è il valore della forza nel caso si triplichi la loro distanza?

► E nel caso si dimezzi?

[$2,2 \text{ N}$; 80 N]

9 Due sferette neutre distano 15 cm . Trasferisci N elettroni da una sferetta all'altra.

Determina la forza esercitata su ciascuna sferetta

► se $N = 2,0 \cdot 10^8$.

► se $N = 5,0 \cdot 10^{12}$.

[$4,1 \cdot 10^{-10} \text{ N}$; $0,26 \text{ N}$]

ESERCIZIO GUIDATO

10 Una carica di $2,5 \text{ nC}$ è a una distanza r da una carica di $9,2 \text{ nC}$. La forza agente su ciascuna carica è $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ N}$.

► Calcola la distanza r .

Esplicitiamo r nella legge di Coulomb

$$F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \Rightarrow r = \sqrt{k_0 \frac{Q_1 Q_2}{F}}$$

Dati numerici

$$Q_1 = 2,5 \text{ nC}$$

$$Q_2 = 9,2 \text{ nC}$$

$$F = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

$$k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Risultato

$$r = \sqrt{(9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2,5 \cdot 10^{-9} \text{ C})(9,2 \cdot 10^{-9} \text{ C})}{2,7 \cdot 10^{-8} \text{ N}}} = 2,8 \text{ m}$$

11 Una carica di $4,9 \text{ nC}$ è soggetta a una forza di $2,6 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ quando si trova a una distanza di $7,3 \text{ m}$ da una seconda carica q_2 .

► Calcola il valore di q_2 .

[$3,1 \cdot 10^{-7} \text{ C}$]

- 12** Quattro cariche $q_A = -1,0 \text{ nC}$, $q_B = +1,0 \text{ nC}$, $q_C = -1,0 \text{ nC}$ e $q_D = +1,0 \text{ nC}$ sono disposte rispettivamente ai vertici di un rombo $ABCD$. La diagonale maggiore AC misura $3,8 \text{ cm}$ mentre la minore BD è $1,9 \text{ cm}$.

► Calcola a quale forza è sottoposta una carica Q posta al centro del rombo. [0 N]

- 13** Considera l'esercizio precedente. Scambia due cariche tra di loro adiacenti.

► A quale forza è sottoposta, questa volta, la carica Q posta al centro del rombo?

[(5,6 · 10⁴ Q) N]

- 14** Una carica $q_1 = 4,0 \text{ } \mu\text{C}$ è nell'origine e una seconda carica $q_2 = 6,0 \text{ } \mu\text{C}$ si trova lungo l'asse x a $3,0 \text{ cm}$ dall'origine.

► Quanto vale la forza che agisce sulla carica q_2 ?

► E sulla carica q_1 ?

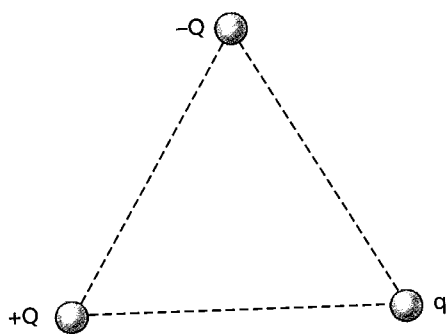
► Come cambiano le risposte precedenti nel caso sia $q_2 = -6,0 \text{ } \mu\text{C}$?

[2,4 · 10³ N, -2,4 · 10³ N; -2,4 · 10² N, 2,4 · 10² N]

- 15** Tre cariche puntiformi sono disposte lungo l'asse x : $q_1 = -6,0 \text{ } \mu\text{C}$ è nel punto $x = -3,0 \text{ m}$, $q_2 = 4,0 \text{ } \mu\text{C}$ è nell'origine e $q_3 = -6,0 \text{ } \mu\text{C}$ è nel punto $x = 3,0 \text{ m}$.

► Determina la forza agente su q_1 . [0,015 N]

- 16** Tre cariche $+Q$, $-Q$ e q sono poste ai vertici di un triangolo equilatero. La carica q è libera di muoversi sotto l'azione delle altre due cariche.



► Traccia in modo qualitativo sul grafico direzione e verso della sua accelerazione.

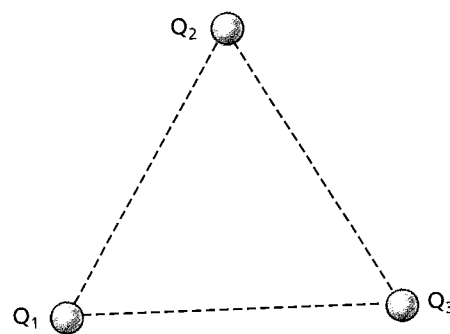
- 17** Tre cariche Q_1 , Q_2 e Q_3 sono poste ai vertici di un triangolo equilatero. Q_3 è libera e si muove sotto l'azione delle altre due cariche. Traccia in modo qualitativo sul grafico direzione e verso dell'accelerazione con cui si muoverebbe Q_3 nei casi seguenti:

► $Q_1 = Q_2 = Q_3 = +3 \text{ mC}$

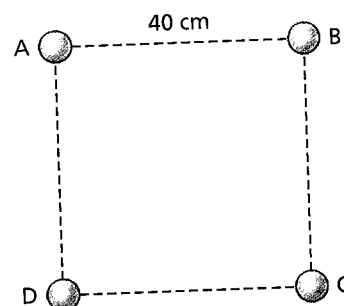
► $Q_1 = Q_2 = Q_3 = -3 \text{ mC}$

► $Q_1 = Q_2 = 2 \text{ mC}$, $Q_3 = +3 \text{ mC}$

► $Q_1 = Q_2 = 2 \text{ mC}$, $Q_3 = -3 \text{ mC}$



- 18** Quattro cariche uguali di $6,0 \text{ } \mu\text{C}$ sono disposte nei vertici di un quadrato di lato $l = 40 \text{ cm}$.



► Determina modulo, direzione e verso della forza che si esercita sulla carica posta in B .

[3,9 N, in direzione della diagonale, in verso opposto a ...]

- 19** Le cariche dell'esercizio precedente sono sostituite da quattro cariche uguali di $-3,0 \text{ } \mu\text{C}$.

► Utilizzando il risultato precedente, determina modulo, direzione e verso della forza che agisce sulla carica posta in B .

[0,97 N perché il valore assoluto della carica si dimezza, quindi ...]

- 20** Su una sferetta di rame è presente una carica $q = 24 \text{ } \mu\text{C}$. Un'altra sferetta identica, ma inizialmente scarica, è posta a contatto con la prima e successivamente portata a una distanza di 40 cm dalla prima sfera. La distanza è molto maggiore del diametro delle sferette.

► Determina modulo, verso e direzione del vettore forza. [8,1 N, lungo la congiungente le due sferette, repulsiva]

- 21** Su una piccola sfera di materiale conduttore è presente una carica di $2,70 \text{ } \mu\text{C}$. La sfera viene toccata da un'altra sfera conduttrice, inizialmente scarica, avente raggio diverso dalla prima. La distanza tra i centri è molto maggiore del raggio delle sfere. Quando i centri delle due sfere distano 30 cm la forza repulsiva è pari a $80 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.

► Come si è ripartita la carica sulle due sfere?

[2,67 } \mu\text{C ; 0,03 } \mu\text{C}]

4 Il campo elettrico

- 22** In un punto P di un campo elettrico, una carica di $3,5 \text{ nC}$ risente di una forza di $9,8 \cdot 10^{-6} \text{ N}$.

► Determina l'intensità del campo elettrico in P .

[2800 N/C]

- 23** Una carica di 2 nC è posta in un campo elettrico di $8 \cdot 10^6 \text{ N/C}$.

► Calcola la forza che agisce su di essa. [$2 \cdot 10^{-2} \text{ N}$]

- 24** Una carica Q risente di una forza di $5,7 \text{ mN}$ quando è sottoposta a un campo elettrico il cui modulo vale 1800 N/C .

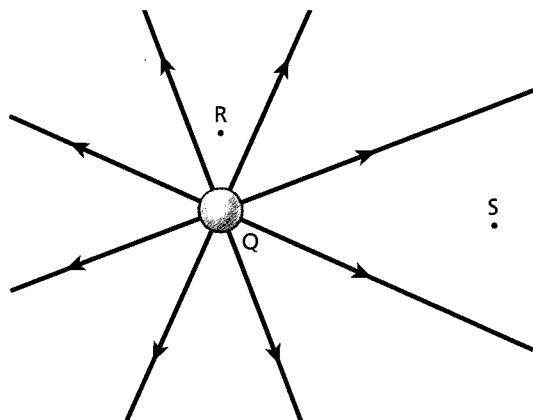
► Qual è il valore di Q ? [$3,2 \text{ } \mu\text{C}$]

- 25** Un elettrone ($e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) in quiete è lasciato libero in un campo elettrico $E = 8,2 \text{ } \mu\text{N/C}$.

► Calcola l'accelerazione della particella.

[$1,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$]

- 26** Stabilisci in quale punto, R o S , è maggiore il campo elettrico generato dalla carica Q .



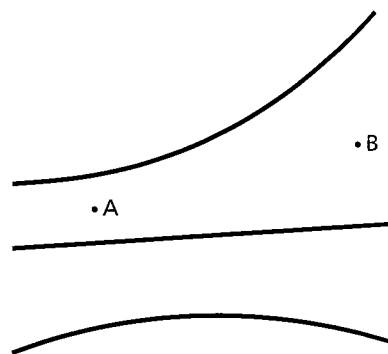
► Spiega perché.

- 27** Un protone, che ha una massa di $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ e una carica di $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, è posto in un campo elettrico di 650 N/C . Supponi che la forza elettrica sia la sola forza che agisce sul protone.

► Determina l'accelerazione del protone.

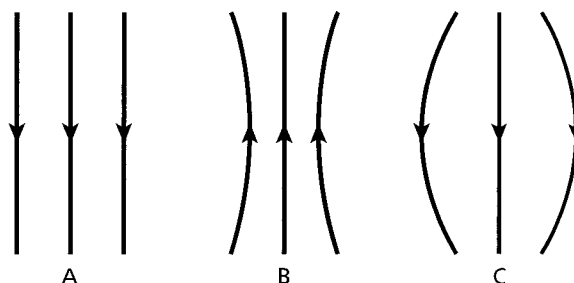
[$6,22 \cdot 10^{10} \text{ m/s}^2$]

- 28** Stabilisci in quale punto, A o B , è maggiore il campo elettrico di cui la figura mostra le linee di forza.



► Spiega perché.

- 29** Considera le tre regioni di spazio in cui è presente un campo elettrico.



► Per ciascuna di esse stabilisci se il campo elettrico è uniforme.

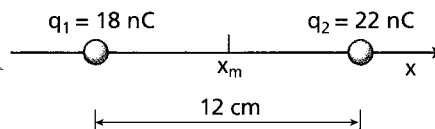
[È uniforme solo nella regione A.]

ESERCIZIO GUIDATO

- 30** Due cariche, rispettivamente di 18 nC e 22 nC , distano 12 cm .

► Calcola il valore del campo elettrico nel punto medio del segmento congiungente le due cariche.

Schematizziamo le due cariche lungo un asse x e poniamo una carica nell'origine.



Il campo elettrico dovuto alla carica q_1 è diretto lungo x e verso destra (E_1), mentre il campo elettrico dovuto alla carica q_2 è diretto verso sinistra (E_2). Scriviamo il modulo del campo elettrico generato da ciascuna carica nel punto medio:

$$E_1 = k_0 \frac{q_1}{r_1^2} \quad E_2 = -k_0 \frac{q_2}{r_2^2}$$

Il campo elettrico è dato dalla somma dei singoli campi:

$$E = E_1 + E_2 = k_0 \frac{q_1}{r_1^2} - k_0 \frac{q_2}{r_2^2} = k_0 \left(\frac{q_1}{r_1^2} - \frac{q_2}{r_2^2} \right)$$

Dati numerici

$$q_1 = 18 \text{ nC} = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$q_2 = 22 \text{ nC} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$r_1 = r_2 = 6,0 \text{ cm} = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Risultato

$$E = \frac{9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2}{(6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} (1,8 \cdot 10^{-8} \text{ C} - 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}) = 10 \text{ kN/C}$$

31 Due cariche uguali distano 10 cm.

Qual è il valore del campo elettrico nel punto medio del segmento congiungente le due cariche?

[0 N/C]

32 Una carica di prova $q_0 = 3,0 \text{ nC}$ è posta nell'origine ed è soggetta a una forza di $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ nel verso positivo dell'asse y .

- Calcola il modulo del campo elettrico nell'origine.
- Quali sono intensità e verso della forza che agisce su una carica $q = -4,0 \text{ nC}$ posta nell'origine?

[$2,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$; $0,80 \text{ mN}$ nel verso $-y$]

33 Una carica di $4,0 \mu\text{C}$ è nell'origine.

Determina il modulo e il verso del campo elettrico lungo l'asse x nei seguenti punti: $x = 6,0 \text{ m}$, $x = 10 \text{ m}$, $x = -4,0 \text{ m}$.

[$1,0 \text{ kN/C}$ nel verso $+x$; $3,6 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ nel verso $+x$; $2,3 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ nel verso $-x$]

34 Vicino alla superficie della Terra è presente un campo elettrico di modulo 100 N/C diretto verso il basso. Una moneta di massa $3,0 \text{ g}$ è caricata elettricamente.

Determina il valore e il segno della carica affinché la forza elettrica equilibri il peso della moneta vicino alla superficie della Terra.

[$-0,29 \text{ mC}$]

35 Una goccia d'acqua con raggio $0,30 \text{ cm}$ e carica $q = 0,14 \mu\text{C}$ è posta in un campo elettrico uniforme e verticale ed è in una situazione di equilibrio.

Calcola il vettore \vec{E} .

[$7,9 \text{ kN/C}$, verticale e verso l'alto]

36 Due cariche uguali e opposte, q_1 e q_2 , di modulo $q = 13 \text{ nC}$, si trovano rispettivamente nei punti $x_1 = 5,0 \text{ cm}$ e $x_2 = 15 \text{ cm}$.

Calcola il valore del campo elettrico nel punto $x = 8,0 \text{ cm}$.

[$1,5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$]

37 Due sferette cariche sono vincolate agli estremi di una sbarretta lunga 18 cm . La carica presente sulle sfere è $q_1 = 14 \text{ nC}$ e $q_2 = 23 \text{ nC}$. Una sferetta mobile,

avente carica dello stesso segno delle altre, è posta tra le due sfere.

Calcola a quale distanza da q_1 la sferetta mobile è in equilibrio.

[$7,9 \text{ cm}$]

5 Il teorema di Gauss

38 Considera un campo elettrico uniforme di 5 N/C attraverso una superficie sferica di raggio 30 cm .

Quanto vale il suo flusso?

[$0 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$]

39 Tre cariche di valore pari a $q_1 = q_2 = 1,7 \text{ nC}$ e $q_3 = -3,4 \text{ nC}$ sono racchiuse da una superficie chiusa.

Calcola il flusso di \vec{E} attraverso la superficie.

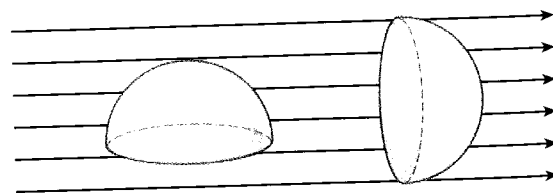
[$0 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$]

40 Un profilo rettangolare di base $AB = 5,0 \text{ cm}$ e altezza $BC = 15 \text{ cm}$ è immerso in un campo elettrico uniforme di intensità 12 N/C . La base è perpendicolare alle linee di campo mentre l'altezza forma un angolo di 30° con la direzione del campo.

Determina il flusso del campo \vec{E} uscente dalla superficie rettangolare.

[$0,045 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$]

41 Una calotta emisferica di raggio $10,0 \text{ cm}$ aperta è immersa in un campo elettrico uniforme di $1,45 \text{ kN/C}$ e disposta con la base parallela o perpendicolare alle linee del campo elettrico, come in figura.



Quanto vale il flusso del campo \vec{E} nei due casi?

[$0 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$, $45,5 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$]

6 L'energia potenziale elettrica

- 42** Considera un atomo di idrogeno e una distanza tra elettrone e protone di 50 pm.

► Quanto vale l'energia potenziale elettrostatica dell'atomo? $[-5 \cdot 10^{-18} \text{ J}]$

- 43** Considera due cariche da $1 \mu\text{C}$ che formano un sistema con 1 J di energia potenziale.

► Quanto sono distanti le due cariche? $[9 \text{ mm}]$

- 44** Due cariche uguali da 12 nC sono poste a una distanza di 15 cm .

► Calcola l'energia potenziale elettrostatica. $[8,6 \cdot 10^{-6} \text{ J}]$

7 Il potenziale elettrico

- 45** Il campo elettrico compie un lavoro di $5,0 \mu\text{J}$ per spostare una carica elettrica di $5,0 \text{ nC}$ dall'infinito al punto P .

► Determina il potenziale elettrico nel punto P . $[-1,0 \text{ kV}]$

- 46** Per spostare una carica di $2 \mu\text{C}$ dall'infinito al punto A il campo elettrico compie un lavoro di $0,16 \text{ J}$.

► Determina il potenziale elettrico nel punto A . $[-80 \text{ V}]$

- 47** Per spostare una carica di $-6 \mu\text{C}$ dall'infinito al punto A il campo elettrico compie un lavoro di $-1,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$.

► Quanto vale il potenziale elettrico in A ? $[-250 \text{ V}]$

- 48** Una carica di $6,8 \mu\text{C}$ viene spostata dal punto A al punto B in un campo elettrico. Per effettuare lo

spostamento le forze esterne compiono un lavoro di $0,045 \text{ J}$.

► Quanto vale la differenza di potenziale $V_B - V_A$?

Suggerimento: il lavoro delle forze esterne è l'opposto del lavoro della forza elettrica. $[6,6 \text{ kV}]$

- 49** Una carica di $-7,5 \mu\text{C}$ viene spostata dal punto A al punto B in un campo elettrico. Per effettuare lo spostamento le forze esterne compiono un lavoro di $5,4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$.

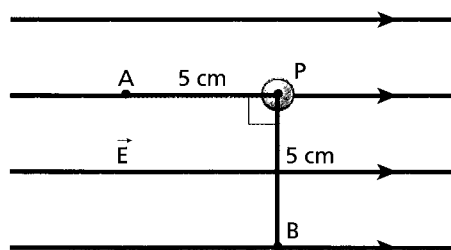
► Calcola la differenza di potenziale $V_B - V_A$. $[-72 \text{ V}]$

- 50** Una particella di carica $3,0 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, inizialmente ferma, viene accelerata da una differenza di potenziale di $3,0 \cdot 10^2 \text{ V}$.

► Determina la sua energia cinetica finale. $[9,0 \cdot 10^{-4} \text{ J}]$

- 51** Una carica $q = 3,8 \mu\text{C}$ è ferma nel punto P di un campo elettrico uniforme di modulo $E = 680 \text{ N/C}$. Calcola il lavoro che una forza esterna deve compiere per spostare la carica lungo

► il segmento PA ;
► il segmento PB ;
► il cammino PBA .



[Cammino PA : $L = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ J}$; cammino PB : $L = 0$;
cammino PBA : $L = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ J}$]

ESERCIZIO GUIDATO

- 52** Una particella puntiforme con carica elettrica $Q = 6,1 \text{ nC}$ e massa $m = 3,5 \mu\text{g}$ si trova in un punto A di un campo elettrico uniforme dove il potenziale è $V_A = 95 \text{ V}$.

► Calcola quanto lavoro bisogna compiere per portare la carica in un punto B dove $V_B = 190 \text{ V}$.

La carica viene lasciata libera di muoversi dal punto B , da dove parte con velocità nulla.

► Quanto vale la sua velocità quando raggiunge il punto di potenziale nullo?

Il lavoro delle forze esterne è uguale e opposto a quello del campo elettrico ed è legato alla differenza di potenziale ΔV dalla relazione

$$L_{A \rightarrow B} = -Q \Delta V = -Q (V_B - V_A)$$

Dati numerici

$$Q = 6,1 \text{ nC} \quad V_A = 95 \text{ V} \quad V_B = 190 \text{ V}$$

Risultato

$$L_{A \rightarrow B} = (6,1 \cdot 10^{-9} \text{ C})(190 \text{ V} - 95 \text{ V}) = 5,8 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

L'energia si conserva: quando passa per il punto a potenziale zero tutta la sua energia iniziale si è trasformata in energia cinetica

L'energia iniziale è energia potenziale elettrica

La velocità con cui transita nel punto a potenziale nullo è

Dati numerici

Risultato

$$E_f = E_i \Rightarrow K_f = U_i$$

$$U_i = QV_B \Rightarrow QV_B = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2QV_B}{m}}$$

$$m = 3,5 \mu\text{g} = 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$$

$$Q = 6,1 \text{ nC} \quad V_B = 190 \text{ V}$$

$$v = \sqrt{\frac{2(6,1 \cdot 10^{-9} \text{ C})(190 \text{ V})}{3,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg}}} = 26 \text{ m/s}$$

53 Una carica puntiforme $q = 37 \text{ nC}$ è posta nell'origine di un sistema di assi cartesiani.

► Quanto vale il potenziale in un punto P a una distanza $d = 20 \text{ cm}$ lungo l'asse y ?

Successivamente si pone una carica $q_0 = 45 \text{ nC}$ in P .

► Determina il lavoro necessario per avvicinare la seconda carica. [1,7 kV; $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ J}$]

54 Due cariche $q_1 = 62 \text{ nC}$ e $q_2 = -24 \text{ nC}$ si trovano a una distanza di 15 cm .

► A quale distanza da q_2 , sulla congiungente le due cariche, si ha potenziale nullo? [4,2 cm]

55 Una carica puntiforme $q_1 = 12 \mu\text{C}$ si trova nell'origine.

► Quanto lavoro bisogna compiere per portare una seconda carica puntiforme $q_2 = 3,0 \mu\text{C}$, inizialmente a grande distanza, nel punto $x = 5,0 \text{ m}$?

La seconda carica, inizialmente ferma, viene lasciata libera di muoversi nel punto $x = 5,0 \text{ m}$.

► Qual è il valore della sua energia cinetica quando è a grande distanza dall'origine? [$6,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$; $6,5 \cdot 10^{-2} \text{ J}$]

56 Una proteina di massa $2,6 \cdot 10^{-24} \text{ kg}$ ha una carica di $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ e si muove con una velocità iniziale di $8,0 \cdot 10^4 \text{ m/s}$. La proteina è sottoposta a una differenza di potenziale di -5500 V .

► Calcola la velocità finale della proteina.

[$7,9 \cdot 10^4 \text{ m/s}$]

8 Relazioni tra campo elettrico e potenziale elettrico

ESERCIZIO GUIDATO

57 Un campo elettrico uniforme è diretto lungo la perpendicolare a un piano, mentre il piano è a potenziale nullo ($V = 0 \text{ V}$). Allontanandosi dal piano verso l'alto, il potenziale aumenta di 18 V ogni centimetro.

► Calcola il modulo e la direzione orientata del campo elettrico.

Il campo elettrico E è legato alla differenza di potenziale ΔV agli estremi dello spostamento Δs dalla relazione

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta s}$$

Dati numerici

$$\Delta V = 18 \text{ V} \quad \Delta s = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

Risultato

$$E = -\frac{18 \text{ V}}{10^{-2} \text{ m}} = -1,8 \text{ kV/m}$$

58 Un campo elettrico uniforme è diretto lungo il semiasse negativo delle x e ha modulo $7,8 \cdot 10^5 \text{ N/C}$.

► Quanto vale la differenza di potenziale tra i punti $A = (1, 1)$ e $B = (-4, 4)$?

[3,9 MV]

9 Il condensatore piano

59 Un parafulmine con punta sferica di raggio $r = 2$ cm è posto sulla punta di un campanile ed è connesso al suolo mediante un cavo di rame.

► Quanto vale la differenza di potenziale fra la Terra e la punta sferica del parafulmine? [0 V]

60 Considera un condensatore da $1 \mu\text{F}$ con una carica di $8 \mu\text{C}$.

► Quanto vale la differenza di potenziale fra le sue armature? [8 V]

61 La differenza di potenziale applicata alle armature di un condensatore piano è di $5,0 \cdot 10^2$ V e la carica sulle armature è di $40 \mu\text{C}$.

► Quanto vale la sua capacità? [0,080 μF]

62 In un ipotetico condensatore piano la distanza tra le armature è di 0,1 mm e la capacità di 1 F.

► Determina l'area delle sue armature.

► Calcola la lunghezza del lato nell'ipotesi di armature quadrate. [$1 \cdot 10^7$ m²; 3 km]

63 Due lastre quadrate di lato 10 cm vengono utilizzate per realizzare un condensatore che immagazzina una carica di 35 nC quando la d.d.p. applicata è di $7,0 \cdot 10^2$ V.

► A quale distanza bisogna porre le lastre? [1,8 mm]

64 Un condensatore da 1 nF viene caricato fino a quando fra le sue armature è presente una tensione di 9 V.

► Calcola il lavoro che è stato necessario. [10 nJ]

ESERCIZIO GUIDATO

65 Due lastre piane metalliche molto estese e distanti 1,0 cm sono tenute a una differenza di potenziale di 2,0 V.

► Determina il campo elettrico tra le lastre.

Le lastre piane sono molto estese quindi fra esse

\vec{E} è uniforme

Il modulo del campo elettrico è legato alla differenza di potenziale ΔV delle lastre distanti d

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

Dati numerici

$$\Delta V = 2,0 \text{ V} \quad d = 1,0 \text{ cm} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Risultato

$$E = \frac{2,0 \text{ V}}{1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 200 \text{ V/m}$$

66 Tra le armature quadrate di lato 3,0 cm di un condensatore a lastre piane si interpone un dielettrico di costante relativa 5,6. Le armature distano 2,0 mm e hanno una differenza di potenziale di 4,5 V.

► Calcola la carica sulle armature.

► Calcola il campo elettrico tra le armature.

$$[1,0 \cdot 10^{-10} \text{ C}; 2,3 \text{ kV/m}]$$

67 Un condensatore piano ha armature quadrate di 15 cm di lato distanti tra loro 2,0 mm.

► Quanto vale la capacità del condensatore?

Successivamente viene inserito un dielettrico con $\epsilon_r = 3$.

► Come è cambiata la capacità in presenza del dielettrico? [0,10 nF]

68 Un condensatore con dielettrico a facce piane e parallele ha una capacità di 3,0 nF, la distanza tra le armature è di 0,40 mm, la loro superficie è di 10 cm^2 e la differenza di potenziale applicata è di 250 V.

► Determina il campo elettrico tra le armature.

$$[6,3 \cdot 10^5 \text{ V/m}]$$

69 Un condensatore di $3,00 \mu\text{F}$ è caricato a 100 V.

► Quanta energia è immagazzinata nel condensatore?

► E quanta energia in più è necessaria per caricare il condensatore da 100 V a 200 V? [15,0 mJ; 45,0 mJ]

70 Un condensatore di capacità $10 \mu\text{F}$ è caricato con $Q = 4,0 \mu\text{C}$.

► Quanta energia è immagazzinata?

Successivamente porti via metà della carica.

► Calcola l'energia rimanente. [0,8 μJ ; 0,2 μJ]

PROBLEMI FINALI

71 Non ti voglio vicino

- La forza elettrostatica esercitata da uno ione su un altro identico è di $1,4 \cdot 10^{-9}$ N quando sono a una distanza di $1,8 \cdot 10^{-10}$ m.

► Calcola quanti elettroni hanno perso i due atomi.

[2]

72 Sfera levitante

- Una pallina metallica di massa 10 g viene tenuta in levitazione sopra un piano anch'esso metallico. Il piano possiede una densità di carica tale da generare un campo elettrico di 15 N/C.

► Quanto vale la carica presente sulla pallina?

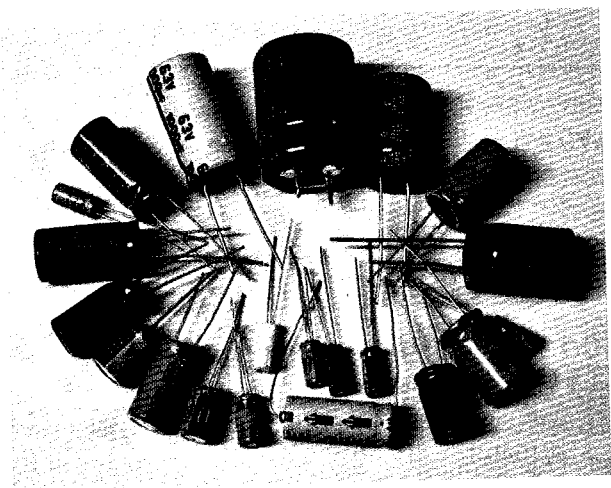
[$6,5 \cdot 10^{-3}$ C]

73 Quanta energia contiene

- I condensatori «comuni», che si possono trovare nei negozi di hobbystica elettronica, arrivano ad avere capacità di circa 10000 μ F. La tensione massima applicabile dipende dalle caratteristiche costruttive, ma tipicamente è intorno ai 25 V.

► Calcola l'energia immagazzinata nel condensatore.

[3,1 J]



74 Scosse da tappeto

- Una persona di corporatura media, in piedi su una pedana isolante, ha una capacità di circa 100 pF. Camminando su un tappeto di tessuto sintetico in una giornata secca, la sua differenza di potenziale può variare facilmente di 500 V.

► Calcola quanta carica scambia con l'esterno.

[$5 \cdot 10^{-8}$ C]

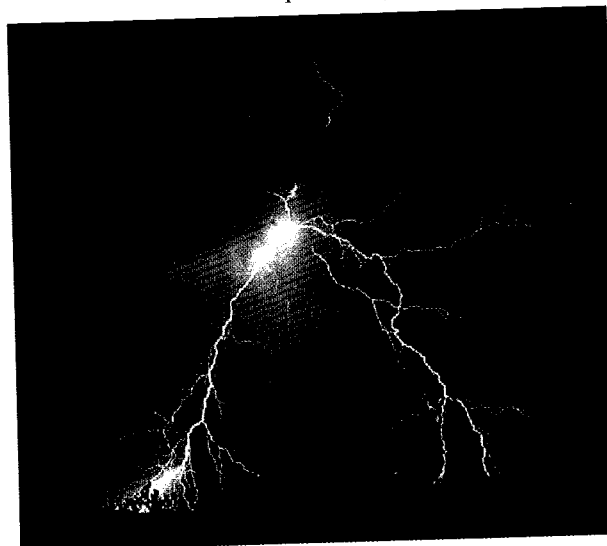
75 Nube di potenziale

- Spesso avrai visto delle scariche elettriche come i fulmini o le scintille. Una scarica elettrica si forma quando il campo elettrico supera quello massimo che un materiale (per esempio l'aria) riesce a sopportare. Questo valore è detto *rigidità dielettrica* e

per l'aria secca vale $3 \cdot 10^6$ V/m. Un fulmine parte da una nube a 400 m di altezza.

► Quanto vale approssimativamente il potenziale della nube?

[$1,2 \cdot 10^9$ V; in realtà sarebbe minore perché l'aria è umida e quindi la rigidità dielettrica minore]



76 Un condensatore piano equivalente al corpo umano

La capacità del corpo umano isolato da terra è circa 100 pF. Vuoi costruire un condensatore piano con la stessa capacità ponendo due armature piane alla distanza di 1 mm.

► Quale area devono avere le armature, se fra esse c'è solo aria?

[$0,011$ m²]

77 Energie a confronto

Una pila ricaricabile e un condensatore sono sistemi per accumulare energia sotto forma di cariche. La differenza sostanziale tra essi è che la pila accumula l'energia spostando cariche tra le sostanze chimiche che la compongono, di fatto usando quasi tutta la sua massa, mentre un condensatore usa solo la superficie delle sue armature. L'energia accumulata da un condensatore è, a parità di volume, molto minore di quella di una pila ricaricabile. Però l'energia di un condensatore può essere utilizzata tutta istantaneamente, mentre l'energia di una pila è rilasciata in tempi molto lunghi. Così, ad esempio, per il flash della macchina fotografica si usa un condensatore che rilascia velocemente la carica necessaria a produrre il lampo.

Confronta un condensatore da 80 μ F e una pila ricaricabile da 1,2 V che contiene circa 3,7 kJ quando è carica.

► Alla medesima d.d.p., quanti condensatori occorrono per accumulare la stessa energia della pila?

[Circa 64 milioni]

78 Non immaginavo!

Una pila carica ha sempre la stessa tensione, mentre la tensione ai capi di un condensatore può anche diventare grande, almeno fino a quando il condensatore non si buca. Nel condensatore del problema precedente è stampata la dicitura 330 V, a indicare la massima d.d.p. che il condensatore può sopportare.

▶ Quanti condensatori di questo tipo caricati al massimo sono necessari per avere la stessa energia della pila carica? [850]

79 La fisica del temporale

Considera il suolo terrestre come un'armatura di un condensatore a facce piane parallele e una nuvola, a un'altitudine di 600 m, come l'altra armatura. Le forti correnti convettive trasportano le gocce d'acqua che si caricano per strofinio. Considera la superficie della nuvola come se fosse un quadrato di lato 10 km.

▶ Quanto vale la capacità di questo condensatore?

▶ Quanta carica può trattenere la nuvola prima che venga superata la rigidità dielettrica dell'aria umida (campo elettrico $> 2,1 \text{ kV/cm}$) e si produca una scintilla (fulmine)?

▶ Calcola la differenza di potenziale fra la terra e la nuvola prima del fulmine.

▶ Determina l'energia immagazzinata nel campo elettrico. [1,5 μF ; 0,2 kC; 0,13 GV; $1,2 \cdot 10^{10}$ J]

80 Attrazione fra armature

Le armature di un condensatore piano carico si attraggono perché una è caricata positivamente con carica $+Q$ e l'altra è caricata negativamente con carica $-Q$. La forza di attrazione non è data dalla legge di Coulomb perché le cariche non sono su piccoli oggetti.

▶ Calcola questa forza usando il fatto che un piccolo spostamento x delle armature produce una variazione di energia ΔU e questa è pari al lavoro fatto per spostare le armature. Considera due armature piane di area A a una distanza iniziale d , separate da aria.

▶ La forza con cui si attraggono non cambia all'aumentare della loro distanza. Sai spiegare perché ciò accade?

$$[U = (1/2)Q^2/C = (1/2)Q^2d/(\epsilon_0 A)]$$

81 Condensatori... pensanti

La membrana di un assone di un neurone è una sottile guaina cilindrica avente il raggio $r = 10^{-5} \text{ m}$, la lunghezza $L = 0,1 \text{ m}$ e lo spessore $d = 10^{-8} \text{ m}$. La membrana, che ha una carica positiva da un lato e

una negativa dall'altro, si comporta come un condensatore piano di area

$$A = 2\pi rL$$

e distanza tra le armature d . La sua costante dielettrica relativa è all'incirca $\epsilon_r = 3$ e supponi che si applichi alla membrana una differenza di potenziale di 70 mV.

▶ Quanto vale la capacità della membrana?

▶ E la carica su ciascun lato della membrana?

▶ Calcola il campo elettrico tra le due superfici.

$$[0,02 \mu\text{F}; 1 \text{ nC}; 7 \text{ MV/m}]$$

82 Supercondensatori

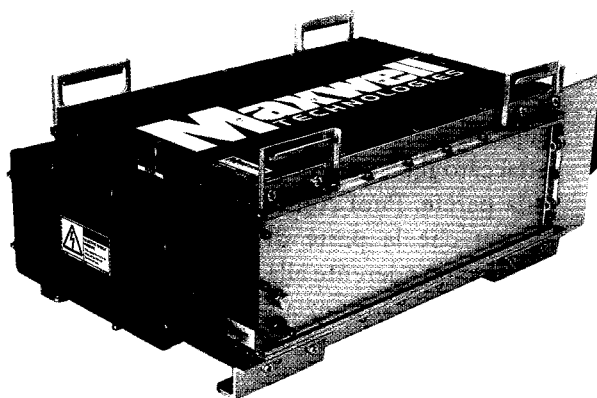
L'utilizzo delle nanotecnologie permette di realizzare dei materiali che hanno una grandissima superficie rispetto alla loro massa. Combinandoli con opportuni elettroliti che consentono la realizzazione dell'isolamento su distanze molecolari (0,8 nm), è possibile costruire condensatori con capacità immense, oltre 1 kF. Si ritiene che uno degli impieghi più promettenti sia nei sistemi di recupero dell'energia in frenata dei veicoli per riceverla in fase di accelerazione.

La tecnologia più diffusa utilizza film di carbonio che permettono di ottenere una grande superficie attiva disponibile (1400 m^2/g) con una capacità specifica di 75 F/g.

▶ Calcola la costante dielettrica dell'elettrolita utilizzato.

L'elettrolita può essere utilizzato fino a una tensione di 2,7 V.

▶ Calcola l'energia specifica (per grammo) accumulabile. [4,8; 0,27 kJ/g]



directindustry.it

LE COMPETENZE DEL FISICO

83 Teme l'umidità

L'aria secca è un buon isolante ma, a causa delle molecole d'acqua in essa presente, i corpi elettrizzati possono perdere nel giro di qualche decina di secondi tutta la carica accumulata. In giornate molto umide l'effetto delle molecole d'acqua è così forte che praticamente non si riesce a elettrizzare un corpo per strofinio. Infatti, hai mai preso la scossa levandoti il maglione di lana in una giornata piovosa?

In una secca giornata invernale, prova a elettrizzare per strofinio un oggetto di plastica: gli effetti saranno molto evidenti. Poi ripeti le stesse operazioni in una cucina in cui l'acqua di una pentola sta bollendo e nel bagno dopo aver fatto una doccia con l'acqua calda.

► Che cosa noti?

84 Un utile pendolino

Per eseguire semplici esperimenti sull'elettrizzazione dei corpi puoi costruirti un pendolino. Procurati un filo di cotone o di nylon e una pallina di alluminio da cucina. Fissa la pallina al filo e sospendila su un supporto. Poi esegui i seguenti esperimenti e registra ciò che accade:

- avvicina e allontana un pezzo di plastica strofinato con un panno di lana senza toccare la pallina;
- tocca la pallina con la plastica elettrizzata;
- tocca con un dito la pallina dopo che questa ha toccato la plastica.

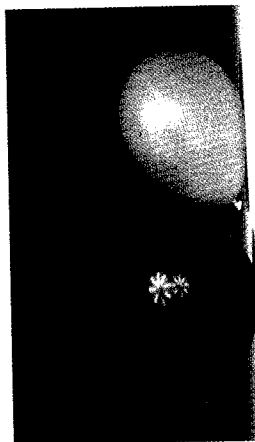
85 Anche i muri hanno la loro attrattiva

Una parte della superficie di un palloncino è stata strofinata su un pezzo di stoffa e la carica che si trova sulla superficie mantiene attaccato il palloncino a una parete. Puoi considerare che la parte di palloncino aderente alla parete sia sostanzialmente piatta e abbia un'area $A \approx 30 \text{ cm}^2$. Questa parte induce sulla parete una carica praticamente uguale Q , in questo modo puoi usare la formula della forza di attrazione tra due lastre:

$$F = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\epsilon_0 A}$$

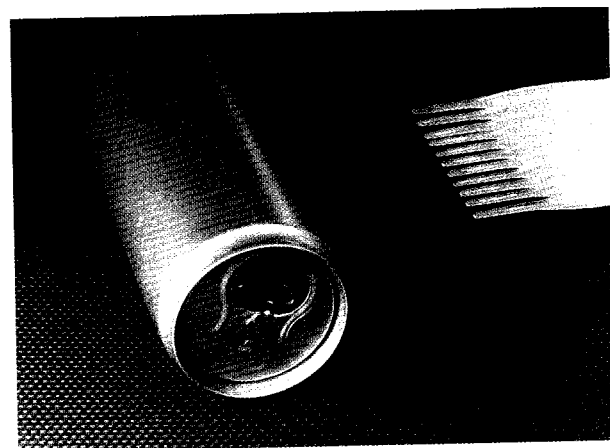
La massa del palloncino è circa 3 g.

► Stima la carica che si trova sulla superficie del palloncino che aderisce alla parete. [Q è almeno $4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$]

**86 Lattina a motore... elettrico**

Procurati una lattina di alluminio come quelle delle bibite da 330 mL, svuotala e ponila su un tavolo. Puoi muoverla sfruttando l'induzione elettrostatica: basta avvicinare a essa senza toccarla un pezzo di plastica elettrizzato per strofinio con un panno di lana.

- Fai un disegno della disposizione delle cariche elettriche durante l'induzione elettrostatica.
- La lattina rimane neutra?
- E allora perché si sposta?
- Questo fatto è una manifestazione di una proprietà fondamentale della forza elettrica: quale?

**87 Nastro autoadesivo**

Procurati un rotolo di nastro adesivo. In una giornata secca, puoi facilmente realizzare l'effetto mostrato nel video.

► Spiega l'origine dell'effetto.

VIDEO

Nastro adesivo aperto violentemente: si richiude su se stesso

88 La carica della Terra

Vale il seguente risultato noto anche come *teorema di Coulomb*: il campo elettrico nelle immediate vicinanze di un conduttore in equilibrio elettrostatico ha modulo

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

dove σ è la densità locale di carica superficiale, ossia il rapporto fra la carica e l'area su cui si dispone. In prossimità del suolo in media il campo elettrico terrestre è circa 150 V/m. Supponi che la Terra sia una sfera di raggio $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$ e che la sua densità superficiale di carica sia uniforme.

► Stima la carica elettrica totale sulla superficie terrestre.

[Circa 700 000 C]

89 Il condensatore «condensa» energia al suo interno

Durante il processo di carica, fra le armature di un condensatore si genera un campo elettrico. L'energia U immagazzinata durante il processo può essere interpretata anche come l'energia necessaria per creare un campo elettrico in una regione di spazio, l'interno del condensatore, in cui era assente.

Considera un condensatore piano ideale con armature di area A , poste a distanza d , fra le quali è interposto un isolante con costante dielettrica ϵ .

► Dimostra che l'energia immagazzinata nel campo elettrico al suo interno è

$$\text{energia} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 A d$$

► Dimostra che la densità di energia u , cioè il rapporto *energia/volume*, del campo elettrico nel condensatore è

$$u = \frac{1}{2} \epsilon E^2$$

TEST DI AMMISSIONE ALL'UNIVERSITÀ

90 La differenza di potenziale elettrico ai capi di una lampadina è costante e pari a 100 V. Per un periodo di tempo pari a 1000 s la lampadina assorbe una potenza elettrica di 160 W.

► Sapendo che la carica dell'elettrone è $1,60 \cdot 10^{-19}$ C, quanti elettroni si può ritenere abbiano attraversato una sezione trasversale del filo che alimenta la lampadina nell'intervallo di tempo considerato?

- ☐ A 10^{-16}
- ☐ B 10^{22}
- ☐ C $1,60 \cdot 10^{22}$
- ☐ D 10^{23}
- ☐ E $6,02 \cdot 10^{23}$

(Medicina e Chirurgia, 2011/2012)

91 La maggior presenza di ossigeno in camera operatoria rende pericolosa la formazione di scintille.

► Al solo fine di scongiurare il rischio di produzione di scintille per via elettrostatica, gli operatori sanitari dovrebbero:

- ☐ A tenere bassa l'umidità dell'aria perché l'aria secca non disperde le cariche
- ☐ B indossare guanti di materiale isolante per ostacolare il passaggio delle cariche
- ☐ C indossare scarpe isolanti per impedire pericolose scariche a terra
- ☐ D indossare scarpe in grado di condurre, per scaricare a terra qualsiasi carica
- ☐ E evitare di strofinare con un panno bagnato gli aghi metallici, che potrebbero disperdere cariche per effetto della dispersione delle punte

(Medicina e Chirurgia, 2011/2012)

92 Due cariche elettriche uguali ed opposte si trovano ad una distanza D .

► Quanto vale il potenziale elettrico nel punto di mezzo tra le due cariche?

- ☐ A La metà del potenziale dovuto ad ogni singola carica
- ☐ B Il doppio del potenziale dovuto ad ogni singola carica
- ☐ C Zero
- ☐ D Tende all'infinito
- ☐ E Non è definito

(Medicina e Chirurgia, 2008/2009)

93 Gli squali sono dotati di organi in grado di rilevare debolissimi campi elettrici, sino a valori di $1 \mu\text{V/m}$.

► A che distanza dovremmo porre due piani conduttori paralleli a cui applichiamo una differenza di potenziale di 1,5 mV per avere campi elettrici dell'ordine di quelli rilevati da uno squalo?

- ☐ A $1,5 \mu\text{m}$
- ☐ B $15 \mu\text{m}$
- ☐ C $1,5 \text{ mm}$
- ☐ D $1,5 \text{ m}$
- ☐ E $1,5 \text{ km}$

(Medicina veterinaria, 2010/2011)