



## 1 L'ORIGINE DELL'ELETTRICITÀ

## 2 OGGETTI CARICHI E FORZA ELETTRICA

## 3 CONDUTTORI E ISOLANTI

## 4 ELETTRIZZAZIONE PER CONTATTO E PER INDUZIONE. POLARIZZAZIONE

**1** Una moneta da 1 € è inizialmente neutra.  
★★★  
▶ Quanti elettroni devono essere rimossi dalla moneta per conferirle una carica di  $2,4 \mu\text{C}$ ?

[ $1,5 \cdot 10^{13}$ ]

**2** Due sfere metalliche identiche, montate su supporto isolante, sono state caricate, una positivamente con una carica pari a  $Q^+ = 7,00 \mu\text{C}$ , l'altra negativamente con carica  $Q^-$ . Esse vengono poste in contatto e successivamente vengono nuovamente separate. Al termine, su ciascuna sfera è presente una carica pari a  $Q_f = 1,00 \mu\text{C}$ .

- ▶ Determina la carica iniziale della sfera elettricamente negativa.
- ▶ Calcola il numero di elettroni che sono fluiti dalla sfera negativa a quella positiva.

[ $-5,00 \mu\text{C}$ ;  $3,75 \cdot 10^{13}$ ]

**3** Una sfera di metallo montata su supporto isolante ha carica  $Q_i = -2,00 \mu\text{C}$ .

- ▶ Calcola il numero di elettroni che le devono essere aggiunti affinché la sua carica finale sia di  $Q_f = -4,50 \mu\text{C}$ .

[ $1,56 \cdot 10^{13}$ ]

**4** Esprimi in  $\mu\text{C}$  la carica elettrica di un milionesimo di mole di elettroni.

[ $96 \mu\text{C}$ ]

**5** Per rivelare le impronte digitali sulla scena di un crimine spesso si cospargono di polvere, che si deposita seguendo i contorni dell'impronta. Per registrare il disegno ottenuto si può usare il *sollevamento elettrostatico*: si applica delicatamente un foglio di plastica elettricamente carico sulla superficie che contiene l'impronta su cui è stata applicata la polve-

re, e la polvere rimane attaccata al foglio permettendo di analizzarne poi le caratteristiche.

- ▶ La polvere con cui viene cosparsa l'impronta non è carica. Spiega come può essere attirata da un foglio carico.



**6** Quattro sferette identiche di metallo possiedono rispettivamente le seguenti cariche:  $1,6 \mu\text{C}$ ;  $6,2 \mu\text{C}$ ;  $-4,8 \mu\text{C}$ ;  $-9,4 \mu\text{C}$ . Gli oggetti sono messi contemporaneamente in contatto, in modo che ognuno tocchi gli altri. Successivamente vengono separati.

- ▶ Qual è la carica finale di ciascun oggetto?
- ▶ Quanti elettroni (o protoni) compongono la carica finale netta di ciascun oggetto?

[ $-1,6 \mu\text{C}$ ;  $1,0 \cdot 10^{13}$ ]

**7** Quattro sferette di metallo identiche  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$ , montate su supporto isolante, possiedono cariche  $Q_A = -1,5 \mu\text{C}$ ,  $Q_B = -2,7 \mu\text{C}$ ,  $Q_C = 1,2 \mu\text{C}$ ,  $Q_D$  positiva.

Le sferette vengono poste contemporaneamente in contatto elettrico e successivamente separate. Al termine, ciascuna ha una carica  $Q_f$  di  $0,3 \mu\text{C}$ .

- ▶ Calcola la carica iniziale della sfera  $D$ .
- ▶ Determina il numero di cariche positive in eccesso che rimangono su ciascuna sfera.

[ $4,2 \mu\text{C}$ ;  $1,9 \cdot 10^{12}$ ]

### 8 SENZA DATI

★★★  
Possiedi tre sfere metalliche identiche  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , montate su supporto isolante, e dei fili di messa a terra. La sfera  $A$  è carica con valore iniziale  $Q_A$ , mentre le altre due sono neutre.

- ▶ Spiega attraverso quali manovre di contatto e/o di messa a terra è possibile ridurre la carica  $Q_A$  a  $1/8$  del suo valore iniziale.

### 9 SENZA DATI

★★★  
Possiedi tre sfere metalliche identiche  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , montate su supporto isolante, e dei fili di messa a terra. La sfera  $A$  è carica positivamente con valore iniziale  $Q_A$ , la sfera  $B$  è carica negativamente con valore iniziale  $Q_B = -2Q_A$ , mentre la  $C$  è neutra.

- ▶ Spiega attraverso quali manovre di contatto e/o di messa a terra è possibile caricare la sfera  $C$  a  $-1/3$  di  $Q_A$ .

**5 LA LEGGE DI COULOMB**

- 10** ★★★ Due cariche si attraggono con una forza di 1,5 N.  
 ▶ Quale sarà la forza se la loro distanza viene ridotta a un nono del valore iniziale?

[120 N]

- 11** ★★★ Due oggetti sferici sono separati da una distanza di  $1,80 \cdot 10^{-3}$  m. Gli oggetti sono molto piccoli rispetto alla distanza che li separa e hanno la stessa carica totale negativa, in conseguenza della quale risentono di una forza di  $4,55 \cdot 10^{-21}$  N.

- ▶ Calcola il numero di elettroni in eccesso su ciascun oggetto.

[8]

- 12** ★★★ Due sfere molto piccole sono inizialmente neutre e separate da una distanza di 0,50 m. Supponi che  $3,0 \cdot 10^{13}$  elettroni siano rimossi da una sfera e trasferiti sull'altra.

- ▶ Qual è l'intensità della forza elettrostatica che agisce su ciascuna sfera?  
 ▶ Questa forza è attrattiva o repulsiva? Perché?

[0,83 N; attrattiva]

**13 PROBLEM SOLVING**

- ★★★ Su due sferette molto piccole di massa  $m = 15$  g è stata posta una carica identica, pari  $q = 370$  nC.

- ▶ A quale distanza devono essere collocate le due sferette affinché la forza di repulsione elettrostatica sia pari al peso di una di esse?


**La soluzione**

Indichiamo con  $r$  la distanza fra le due sferette. La forza di repulsione elettrostatica è data dalla legge di Coulomb, scritta per cariche uguali  $q$ , per cui

$$F = \frac{kq^2}{r^2}$$

con  $k = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ . Il peso di una sferetta è  $P = mg$ ; imponendo l'uguaglianza  $F = P$ , si ha

$$\frac{kq^2}{r^2} = mg$$

da cui si ricava la distanza tra le sferette:

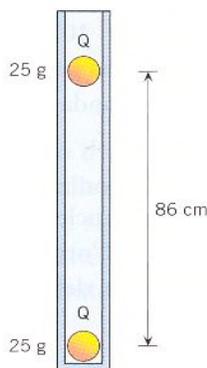
$$r = \sqrt{\frac{kq^2}{mg}}$$

Sostituendo i valori numerici risulta

$$r = \sqrt{\frac{(8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(370 \cdot 10^{-9} \text{ C})^2}{(15 \cdot 10^{-3} \text{ kg})(9,8 \text{ N/kg})}} = 0,092 \text{ m} = 9,2 \text{ cm}$$

- 14** ★★★ All'interno di un tubo verticale, una sferetta con carica  $Q$  è fissa nel fondo mentre un'altra con carica  $Q$  è tenuta sospesa dalla forza di repulsione elettrica. Le due sferette hanno massa 25 g e i loro centri sono alla distanza di 86 cm.

- ▶ Calcola  $Q$ .



[4,5 mC]

- 15** ★★★ Due piccoli oggetti  $A$  e  $B$  distano 3,00 cm. L'oggetto  $A$  ha una carica di  $2,00 \mu\text{C}$ , mentre l'oggetto  $B$  ha una carica di  $-2,00 \mu\text{C}$ .

- ▶ Quanti elettroni devono essere rimossi da  $A$  e conferiti a  $B$  affinché su ciascun oggetto agisca una forza di 68,0 N?

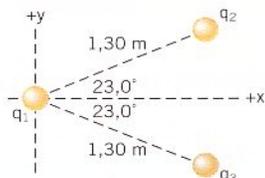
 [ $3,81 \cdot 10^{12}$ ]

- 16** ★★★ Tre cariche sono fissate in un sistema di coordinate  $(x, y)$ . Una carica di  $18 \mu\text{C}$  è sull'asse  $y$  in  $y = 3,0$  m. Una carica di  $-12 \mu\text{C}$  è nell'origine. Infine, una carica di  $45 \mu\text{C}$  è sull'asse  $x$  in  $x = 3,0$  m.

- ▶ Calcola l'intensità, la direzione e il verso della forza elettrostatica netta che agisce sulla carica in  $x = 3,0$  m. Esprimi la direzione rispetto all'asse  $-x$ .

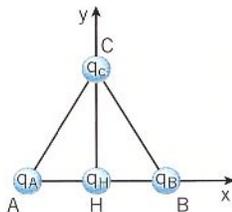
 [0,38 N;  $49^\circ$  sotto l'asse  $-x$ ]

- 17** **★★★** La figura mostra tre cariche puntiformi fisse sul piano. La carica all'origine degli assi è  $q_1 = 8,00 \mu\text{C}$ ; le altre due cariche hanno la stessa grandezza ma segno opposto:  $q_2 = -5,00 \mu\text{C}$  e  $q_3 = 5,00 \mu\text{C}$ .
- ▶ Calcola la forza totale (intensità, direzione e verso) esercitata su  $q_1$  dalle altre due cariche.
  - ▶ Se  $q_1$  avesse  $m = 1,50 \text{ g}$  e fosse libera di muoversi, quale sarebbe la sua accelerazione iniziale?



[0,166 N lungo l'asse +y; 111 m/s<sup>2</sup>]

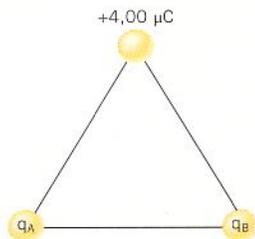
- 18** **★★★** Tre cariche puntiformi,  $q_A = -2,0 \mu\text{C}$ ,  $q_B = 2,0 \mu\text{C}$  e  $q_C = 3,0 \mu\text{C}$ , sono poste nei vertici A, B, C di un triangolo equilatero di lato  $l = 1,0 \text{ m}$ . Una quarta carica puntiforme  $q_H$  è posta nel punto medio H del segmento AB e subisce una forza totale pari a 740 mN che forma un angolo di 14° con la direzione dell'asse x positivo.



- ▶ Che segno deve avere la carica posta in H?
- ▶ Determina il valore della carica  $q_H$ .

[−5,0 μC]

- 19** **★★★** La figura mostra un triangolo equilatero di lato 2,00 cm. In ogni vertice è posta una carica puntiforme. La carica di 4,00 μC subisce una forza totale causata dalle cariche  $q_A$  e  $q_B$ . Questa forza è diretta verso il basso e ha un'intensità di 405 N.
- ▶ Determina le cariche  $q_A$  e  $q_B$ .



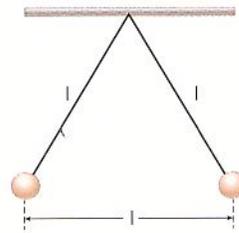
[−2,6 · 10<sup>−6</sup> C; −2,6 · 10<sup>−6</sup> C]

- 20** **★★★** Due sfere identiche, inizialmente neutre e di massa uguale a 40 g, vengono appese a due fili verticali di lunghezza  $l$ . Successivamente le due sfere vengono caricate positivamente con una valore di carica

$q = 3,5 \mu\text{C}$  e raggiungono l'equilibrio quando la loro distanza è pari a  $l$ .

Determina:

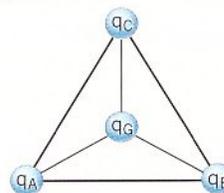
- ▶ la lunghezza  $l$  dei fili,
- ▶ il modulo della tensione dei fili.



[70 cm; 0,45 N]

**21** **SENZA DATI** **★★★**

Tre cariche puntiformi  $q_A$ ,  $q_B$  e  $q_C$ , uguali in valore e tutte positive, sono poste nei vertici di un triangolo equilatero di lato  $l$ , come illustrato in figura. Una quarta carica puntiforme  $q_G$ , anche essa positiva, è posta nel baricentro del triangolo.



- ▶ Determina la forza totale che agisce sulla carica  $q_G$ .

[vettore nullo]

**22** **★★★**

Una carica di  $-3,00 \mu\text{C}$  è posta nel centro di una bussola. Due cariche aggiuntive sono fissate sul bordo circolare della bussola (raggio = 0,100 m): una carica di  $-4,00 \mu\text{C}$  in direzione nord e una di  $5,00 \mu\text{C}$  in direzione est.

- ▶ Quali sono l'intensità, la direzione e il verso della forza elettrostatica totale agente sulla carica nel centro? Esprimi la direzione e il verso rispetto alla direzione est.

[17,3 N; 38,7° a sud-est]

**23** **★★★**

Due particelle in quiete, con una carica positiva identica e separate da una distanza di  $2,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ , vengono lasciate libere. La particella 1 ha un'accelerazione di  $4,60 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2$ , mentre la particella 2 ha un'accelerazione di  $8,50 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2$ . La particella 1 ha una massa di  $6,00 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ . Calcola:

- ▶ la carica di ciascuna particella.
- ▶ la massa della seconda particella.

[4,56 · 10<sup>−8</sup> C; 3,25 · 10<sup>−6</sup> kg]

**24** **★★★**

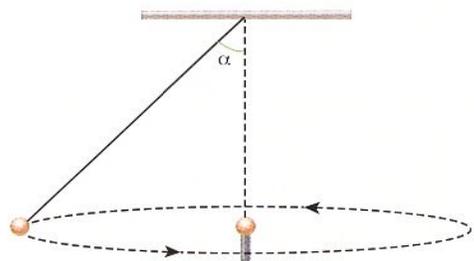
In un atomo di elio ionizzato una volta, un elettrone orbita attorno al nucleo che contiene due protoni (+2e). Il raggio dell'orbita è  $2,65 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

- ▶ Calcola l'intensità dell'accelerazione centripeta dell'elettrone.

[7,19 · 10<sup>23</sup> m/s<sup>2</sup>]

**25** **\*\*\*** Una sferetta di massa 50 g carica negativamente ( $q = -2,5 \mu\text{C}$ ) è posta in rotazione attorno a una seconda carica fissa di ugual valore ma positivo, mediante un filo lungo 50 cm. Il filo forma con la direzione verticale un angolo  $\alpha = 45^\circ$ . Determina:

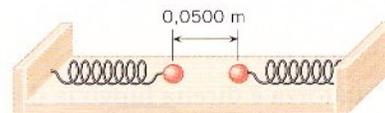
- ▶ il periodo di rotazione della sferetta;
- ▶ il periodo di rotazione della sferetta nell'ipotesi che le cariche siano uguali in valore e segno.



[0,86 s; 4,2 s]

**26** **\*\*\*** Due sfere sono fissate a due molle orizzontali e appoggiano su un tavolo privo d'attrito, come mostra la figura. Quando le sfere sono neutre, lo spazio fra esse è 0,0500 m e le molle sono a riposo. Quando su ciascuna sfera vi è una carica di  $1,60 \mu\text{C}$ , lo spazio fra esse raddoppia. Supponi che le sfere abbiano diametro trascurabile.

- ▶ Calcola la costante elastica delle molle.



[92,0 N/m]

**27** **\*\*\*** Un singolo elettrone orbita attorno a un nucleo di litio che contiene tre protoni ( $+3e$ ). Il raggio dell'orbita è  $1,76 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

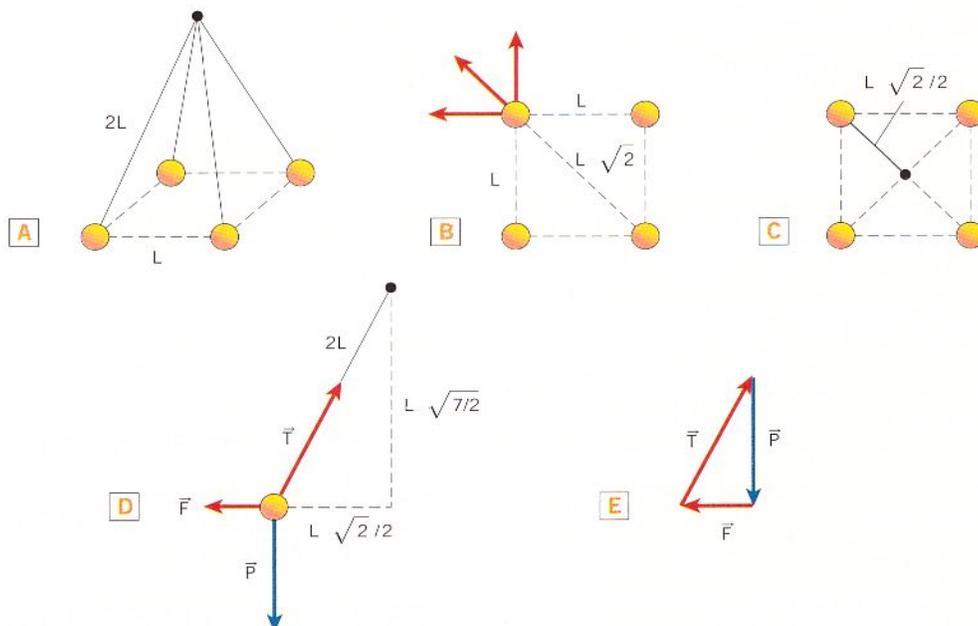
- ▶ Calcola l'energia cinetica dell'elettrone.

[ $1,96 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ ]

## 28 PROBLEM SOLVING

**\*\*\*** Quattro sferette uguali di massa  $m = 20 \text{ g}$  hanno la stessa carica  $q$  e sono appese a fili isolanti di lunghezza  $2L = 12 \text{ cm}$ . All'equilibrio, le quattro sferette occupano i vertici di un quadrato di lato  $L$ , pari alla metà della lunghezza del filo (figura A).

- ▶ Calcola il valore della carica  $q$  su ciascuna di esse.



### La soluzione

In base al principio di sovrapposizione, la forza elettrostatica su una sferetta carica è la somma vettoriale delle forze dovute alle altre tre cariche. Come si vede dalla figura B, due di queste forze sono dovute alle due cariche più vicine e risultano perpendicolari fra loro: ciascuna di esse ha modulo  $F_{\text{lato}} = kq^2/L^2$  perché la distanza tra le cariche in questo caso è il lato  $L$  del quadrato. La loro risultante è una forza diretta lungo la diagonale del quadrato e avente modulo

$$F_{\text{lato-lato}} = \sqrt{F_{\text{lato}}^2 + F_{\text{lato}}^2} = \sqrt{2} F_{\text{lato}} = \sqrt{2} \frac{kq^2}{L^2}$$

La forza dovuta alla terza carica, quella più lontana, è diretta lungo la diagonale del quadrato. La distanza tra le cariche è la diagonale del quadrato e vale  $\sqrt{2} L$ . Perciò il valore di questa forza è

$$F_{\text{diag}} = \frac{kq^2}{(\sqrt{2} L)^2} = \frac{1}{2} \frac{kq^2}{L^2}$$

Questa forza ha la stessa direzione e lo stesso verso della forza  $F_{\text{lato-lato}}$  prodotta dalle altre due cariche, quindi il valore della forza di repulsione elettrostatica  $F$  che ogni carica risente dalle altre è, in definitiva,

$$F = F_{\text{lato-lato}} + F_{\text{diag}} = \sqrt{2} \frac{kq^2}{L^2} + \frac{1}{2} \frac{kq^2}{L^2} = \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2}\right) \frac{kq^2}{L^2}$$

Questa forza è diretta lungo la diagonale del quadrato. Per determinare la carica  $q$  dobbiamo considerare il fatto che ciascuna sferetta è in equilibrio, per cui è nulla la risultante delle forze  $\vec{F}$ ,  $\vec{P}$  (peso) e  $\vec{T}$  (tensione della fune). Come mostra il diagramma di corpo libero in figura D, i tre vettori formano un triangolo che è simile al triangolo formato dal filo (lunghezza  $2L$ ), da metà diagonale del quadrato (lunghezza  $L\sqrt{2}/2$ , figura C) e dal segmento avente estremi nel punto di aggancio delle funi e nel centro del quadrato. Quest'ultimo segmento ha lunghezza

$$\sqrt{(2L)^2 - \left(\frac{\sqrt{2}}{2}L\right)^2} = \sqrt{4L^2 - \frac{L^2}{2}} = \sqrt{\frac{7}{2}} L$$

Per la similitudine tra il triangolo sopra citato (figura D) e quello formato dai vettori  $\vec{F}$ ,  $\vec{P}$  e  $\vec{T}$  (figura E), si può scrivere

$$\frac{F}{P} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}L}{\sqrt{\frac{7}{2}}L} = \frac{1}{\sqrt{7}}$$

ossia

$$F = \frac{1}{\sqrt{7}} P$$

Sostituendo le espressioni per  $F$  e per  $P$  si ha

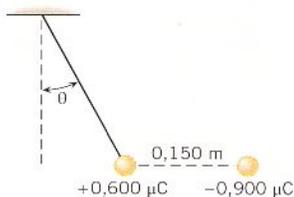
$$\left(\sqrt{2} + \frac{1}{2}\right) \frac{kq^2}{L^2} = \frac{mg}{\sqrt{7}} \rightarrow q = L \sqrt{\frac{mg}{\sqrt{7}\left(\sqrt{2} + \frac{1}{2}\right)k}}$$

Inserendo i valori numerici otteniamo

$$q = 124 \text{ nC}$$

**29** **\*\*\*** Una sfera di materiale isolante di massa  $8,00 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$  e carica  $+0,600 \mu\text{C}$  è attaccata a un filo di massa trascurabile. Una carica di  $-0,900 \mu\text{C}$  è tenuta a  $0,150 \text{ m}$  di distanza, come mostra la figura, in modo tale che il filo forma un angolo  $\theta$  con la verticale. Trova:

- ▶ l'angolo  $\theta$ ;
- ▶ la tensione del filo.



[15,4°; 0,813 N]

## 6 IL CAMPO ELETTRICO

## 7 LINEE DI FORZA DEL CAMPO ELETTRICO

## 8 IL CAMPO ELETTRICO ALL'INTERNO DI UN CONDUTTORE

**30** **\*\*\*** Calcola l'intensità del campo elettrico generato da una carica puntiforme  $q = 3,4 \text{ nC}$  a una distanza di  $22 \text{ cm}$ .

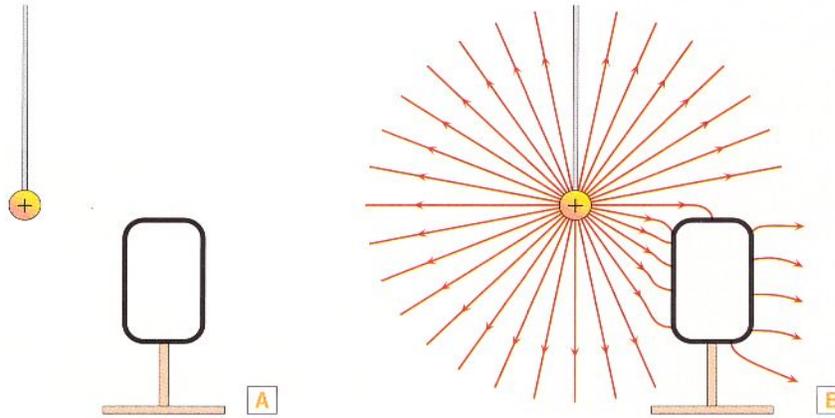
[630 N/C]

## 31 PROBLEM SOLVING

★★★

Una sferetta metallica carica positivamente viene appesa a un filo conduttore e avvicinata a una scatola metallica montata su un supporto isolante (mostrata in sezione nella figura A).

- Disegna approssimativamente le linee del campo elettrico.



## La soluzione

La sferetta carica induce una separazione di cariche sulla superficie della scatola metallica. In particolare, le cariche negative tendono ad avvicinarsi alla carica positiva esterna, lasciando la parete più lontana con una carica netta positiva. Poiché il sistema è isolato, la carica totale è quella della sferetta. Lontano dal sistema, il campo elettrico è dunque assai simile a quello radiale di una carica elettrica positiva isolata.

In condizioni di equilibrio elettrostatico, il campo elettrico immediatamente fuori dalla scatola metallica è perpendicolare alla superficie della scatola stessa, così come le sue linee di forza. In definitiva, l'andamento delle linee di forza è quello mostrato nella figura B.

32 Considera la situazione dell'esercizio precedente. Stabilisci se la sferetta è attratta dalla scatola metallica.

★★★

- Le linee di forza del campo elettrico si modificano se il supporto della scatola metallica è conduttore?

33 Una piccola sfera (massa = 0,012 kg) ha una carica di  $-18 \mu\text{C}$ .

★★★

- Qual è il campo elettrico (intensità, verso e direzione) necessario perché la sfera rimanga sospesa?

[ $6,5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ , verso il basso]

34 La membrana di una cellula consiste di una parete esterna e di una interna separate da un piccolo spazio. Supponi che la membrana si comporti come un condensatore piano in cui la densità di carica netta sulle pareti è  $7,1 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2$ .

★★★

- Qual è l'intensità del campo elettrico all'interno della membrana?  
 ► Calcola l'intensità della forza elettrica che si esercita su uno ione potassio ( $\text{K}^+$ , carica =  $+e$ ) all'interno della membrana.

[ $8,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ ;  $1,3 \cdot 10^{-13} \text{ N}$ ]

35 Due cariche sono poste sull'asse  $x$ :  $q_1 = 8,5 \mu\text{C}$  in  $x_1 = 3,0 \text{ cm}$  e  $q_2 = -21 \mu\text{C}$  in  $x_2 = 9,0 \text{ cm}$ . Determina il campo elettrico totale (intensità, direzione e verso) in:

★★★

- $x = 0$ ;  
 ►  $x = 6,0 \text{ cm}$ .

[ $-6,2 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ ;  $2,9 \cdot 10^8 \text{ N/C}$ ]

36 A small drop of water is suspended motionless in air by a uniform electric field that is directed upward and has a magnitude of  $8480 \text{ N/C}$ . The mass of the water is  $3,50 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$ .

★★★

- Is the excess charge on the water drop positive or negative? Why?  
 ► How many excess electrons or protons reside on the drop?

[Positive;  $2,53 \cdot 10^7$  protons]

37 Quattro cariche puntiformi hanno la stessa intensità di  $2,4 \cdot 10^{-12} \text{ C}$  e vengono poste nei vertici di un quadrato di lato  $4,0 \text{ cm}$ . Tre cariche sono positive, una è negativa.

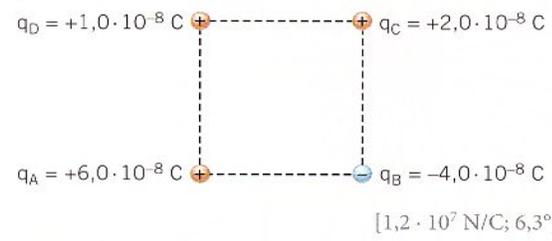
★★★

- Calcola l'intensità del campo elettrico totale presente nel centro del quadrato.

[ $54 \text{ N/C}$ ]

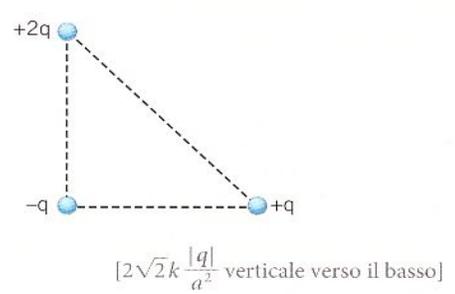
**38** ★★★ Quattro cariche puntiformi sono disposte nei vertici di un quadrato di lato 1,0 cm come illustrato in figura.

- ▶ Esegui una rappresentazione in scala dei campi generati dalle singole cariche nel centro del quadrato.
- ▶ Calcola l'intensità del campo elettrico totale nello stesso punto e l'angolo che il vettore forma rispetto alla direzione orizzontale.



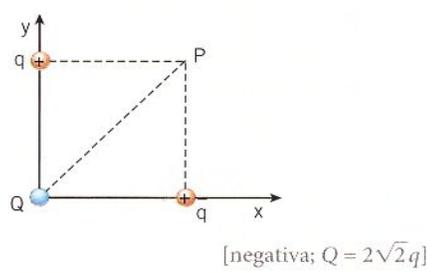
**39** SENZA DATI ★★★ Tre cariche puntiformi sono disposte nei vertici di un triangolo rettangolo isoscele di lato  $a$ .

- ▶ Esegui una rappresentazione grafica in scala dei campi elettrici generati dalle singole cariche in  $P$ , punto medio dell'ipotenusa.
- ▶ Determina quindi in modulo direzione e verso il campo elettrico risultante in  $P$ .



**40** SENZA DATI ★★★ È data la configurazione di cariche illustrata in figura.

- ▶ Determina il segno ed il valore di  $Q$  affinché sia nullo il campo elettrico risultante nel punto  $P$ .
- ▶ Esegui una rappresentazione in scala dei campi elettrici nel punto  $P$ .

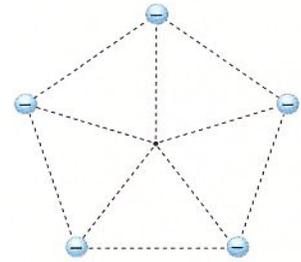


**41** ★★★ Tre cariche puntiformi ( $+q$ ,  $+2q$ ,  $-3q$ ) sono poste nei vertici di un triangolo equilatero.

- ▶ Traccia sei linee di forza del campo elettrico fra le tre cariche.

**42** SENZA DATI ★★★ Cinque cariche negative, di valore pari a  $q$ , sono disposte ai vertici di un pentagono regolare di lato  $l$ .

- ▶ Calcola in modulo, direzione e verso il campo elettrico totale al centro del pentagono.



[vettore nullo]

**43** ★★★ Due cariche di  $-16 \mu\text{C}$  e  $4,0 \mu\text{C}$  distano 3,0 m.

- ▶ In quale punto lungo la retta che unisce le due cariche il campo elettrico è zero? Individua questo punto rispetto alla carica positiva.  
*Suggerimento:* il punto non deve essere necessariamente fra le due cariche.
- ▶ Qual è la forza che agisce su una carica di  $14 \mu\text{C}$  posta in quel punto?

[3,0 m; 0 N]

**44** ★★★ Una sferetta di raggio micrometrico ( $m = 0,20 \mu\text{g}$ ) è stata caricata con una carica positiva  $q$ . La sferetta è stata inserita tra due lastre distanti pochi millimetri, tra le quali è presente un campo uniforme di intensità  $E = 5,0 \cdot 10^6$  N/C. Tra le lastre non c'è attrito. Se la lastra positiva è quella in basso, allora la sferetta accelera verso l'alto, con un'accelerazione di  $10,2 \text{ m/s}^2$ . Se si invertono le polarità, la sferetta accelera verso il basso, con un'accelerazione di  $29,8 \text{ m/s}^2$ .

- ▶ Qual è la carica sulla sferetta?

[0,008 C; 0,0008 C]

**45** ★★★ Due cariche sono poste fra le lamine di un condensatore piano. Una carica è  $+q_1$  e l'altra è  $q_2 = 5,00 \mu\text{C}$ . La carica per unità di superficie su ciascuna piastra è  $\sigma = 1,30 \cdot 10^{-4} \text{ C/m}^2$ . La forza che agisce su  $q_1$  causata da  $q_2$  è uguale alla forza che  $q_1$  subisce a causa del campo elettrico all'interno del condensatore.

- ▶ Qual è la distanza  $r$  fra le due cariche?

[ $5,53 \cdot 10^{-2}$  m]

**46** ★★★ Un elettrone inizialmente fermo è lasciato libero sulla lamina negativa all'interno di un condensatore piano. La carica per unità di superficie su ciascuna lamina è  $\sigma = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$  e le due lamine distano  $1,5 \cdot 10^{-2}$  m.

- ▶ Qual è la velocità dell'elettrone un istante prima di raggiungere la lamina positiva?

[ $1,0 \cdot 10^7$  m/s]

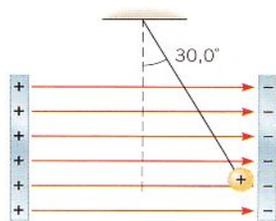
**48** ★★★ Una particella di carica  $12 \mu\text{C}$  e massa  $3,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$  è lasciata libera di muoversi in una regione nella quale è presente un campo elettrico uniforme di  $480 \text{ N/C}$ .

- Qual è lo spostamento della particella dopo un tempo di  $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ ?

[ $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ]

**49** ★★★ La figura mostra una pallina di plastica con massa  $6,50 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$  e carica  $0,150 \mu\text{C}$  sospesa mediante un filo isolante fra le armature di un condensatore. La pallina è in equilibrio quando il filo forma un angolo di  $30,0^\circ$  rispetto alla verticale. L'area di ogni lamina è  $0,0150 \text{ m}^2$ .

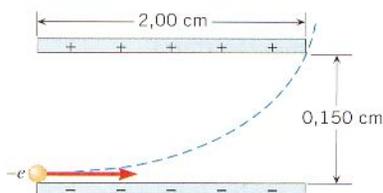
- Qual è la carica su ciascuna di esse?



[ $3,25 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ]

**50** ★★★ La figura mostra un elettrone che entra nella zona in basso a sinistra di un condensatore piano ed esce in alto a destra. La velocità iniziale dell'elettrone è  $7,00 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . Il condensatore è lungo  $2,00 \text{ cm}$ , e la distanza fra le sue lamine è  $0,150 \text{ cm}$ . Assumi che il campo elettrico sia uniforme all'interno del condensatore.

- Calcolane l'intensità.



[ $2,09 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ ]

## 9 IL TEOREMA DI GAUSS

## 10 CAMPI ELETTRICI GENERATI DA DISTRIBUZIONI SIMMETRICHE DI CARICHE

**51** ★★★ Una superficie sferica circonda completamente un insieme di cariche. Calcola il flusso elettrico attraverso la superficie quando l'insieme delle cariche consiste in:

- una singola carica di intensità  $+3,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;
- una singola carica di intensità  $-2,3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;
- entrambe le cariche nei due casi precedenti.

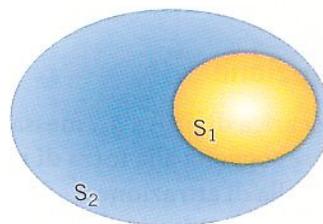
[ $4,0 \cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ;  $-2,6 \cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ;  $1,4 \cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ]

**52** SENZA DATI

★★★

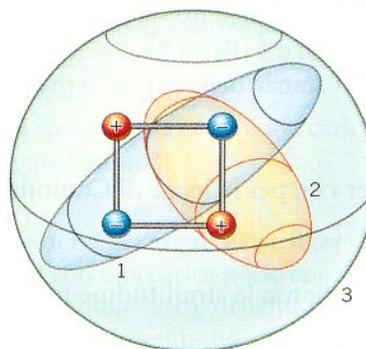
Considera le due superfici gaussiane rappresentate in figura, in cui  $S_1$  è interna a  $S_2$ . Si sa che il flusso attraverso la superficie  $S_1$  è zero, mentre il flusso attraverso  $S_2$  è diverso da zero e negativo.

- Cosa puoi concludere da questa affermazione?



**53** ★★★ Nel quadrupolo in figura ogni carica ha un valore assoluto pari a  $44,3 \text{ nC}$ .

- Qual è il flusso attraverso le superfici gaussiane 1, 2 e 3?



[ $-1,00 \cdot 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ;  $0 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ;  $0 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ]

**54** ★★★ Una superficie rettangolare ( $0,16 \text{ m} \times 0,38 \text{ m}$ ) è posta in un campo elettrico uniforme di intensità  $580 \text{ N/C}$ .

- Qual è il massimo flusso possibile attraverso la superficie?

[ $35 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ]

**55** ★★★ Una carica  $Q$  è posta all'interno di una scatola rettangolare. Il flusso elettrico attraverso ciascuna delle sei facce della scatola è:

$$\Phi_1 = +1500 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

$$\Phi_2 = +2200 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

$$\Phi_3 = +4600 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

$$\Phi_4 = -1800 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

$$\Phi_5 = -3500 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

$$\Phi_6 = -5400 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$$

- Determina  $Q$ .

[ $-2,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ]

**56** ★★★ Su ciascuna armatura di un condensatore piano, di area  $2,4 \text{ mm}^2$ , è presente una carica di  $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ .

- Calcola l'intensità del campo elettrico fra le due armature.

[ $6,6 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ ]

**57** ★★★ Due lastre metalliche di area  $270 \text{ cm}^2$  hanno rispettivamente una carica  $27 \text{ pC}$  e  $-27 \text{ pC}$ . Le lastre sono separate da una distanza di  $10 \text{ mm}$ . Calcola:

- ▶ la densità di carica sulle lastre;
- ▶ l'intensità del campo elettrico tra le lastre.

[ $1,00 \mu\text{C}/\text{m}^2$ ;  $113 \text{ N/C}$ ]

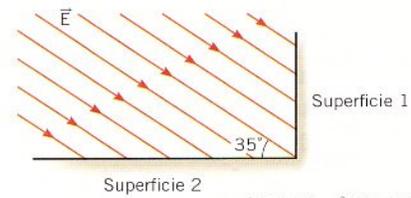
**58** ★★★ Nei pressi della superficie di una sfera di metallo di raggio  $25 \text{ cm}$ , il campo elettrico è  $9,6 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ . Calcola:

- ▶ l'intensità del campo elettrico a  $75 \text{ cm}$  dalla superficie della sfera;
- ▶ la densità superficiale di carica sulla sfera;
- ▶ la carica totale sulla sfera.

[ $1,1 \text{ kN/C}$ ;  $85 \text{ nC}/\text{m}^2$ ;  $67 \text{ nC}$ ]

**59** ★★★ La figura mostra una vista laterale di due superfici perpendicolari che formano uno spigolo. La superficie 1 ha area  $1,7 \text{ m}^2$ , mentre la superficie 2 ha area  $3,2 \text{ m}^2$ . Il campo elettrico  $\vec{E}$  è uniforme e ha un'intensità di  $250 \text{ N/C}$ .

- ▶ Calcola il flusso elettrico attraverso le due superfici.

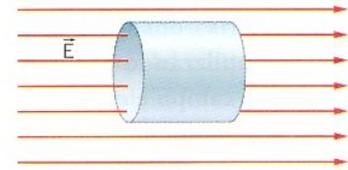


[ $350 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ;  $460 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ]

**60** SENZA DATI

★★★

Un cilindro gaussiano, di area di base  $S$  e altezza  $h$  è immerso in un campo elettrico uniforme, come rappresentato nella figura.



- ▶ Dimostra che il flusso del campo elettrico è nullo.

### 61 PROBLEM SOLVING

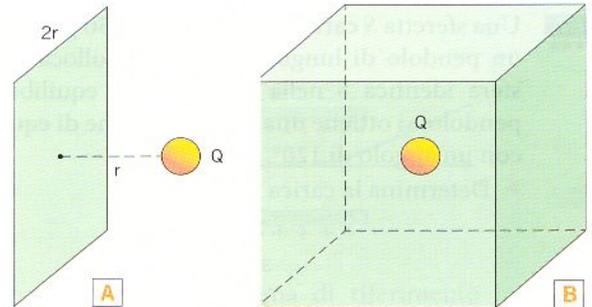
★★★

Calcola il flusso del campo  $\vec{E}$  generato da una sferetta di carica  $Q$  attraverso una superficie piana quadrata che si trova a una distanza dalla carica pari alla metà del suo lato e il cui asse passa attraverso la carica (figura A).

#### La soluzione

La superficie piana quadrata si può considerare una delle sei facce di un cubo nel cui centro si trova la sferetta (figura B). Il teorema di Gauss afferma che il flusso del campo  $\vec{E}$  attraverso una superficie chiusa è pari alla carica contenuta nella superficie diviso  $\epsilon_0$ . Poiché la carica è al centro del cubo, questo flusso, per simmetria, è lo stesso per ciascuna delle sei facce del cubo. Quindi il flusso attraverso la superficie quadrata è

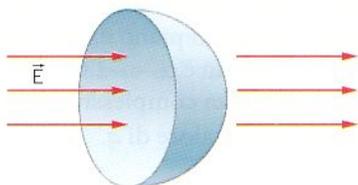
$$\frac{1}{6} \frac{Q}{\epsilon_0}$$



**62** ★★★ Considera un campo elettrico uniforme orientato nel verso positivo dell'asse  $x$ .

- ▶ Calcola il flusso attraverso una semisfera di raggio  $R$ , avente l'asse di simmetria nella stessa direzione del campo.

*Suggerimento:* chiudi la superficie con il cerchio passante per il centro.



[ $\pi R^2 E$ ]

**63** UN DATO IN PIU'

★★★

Un piano uniformemente carico ha una densità di carica  $\sigma = -2,5 \mu\text{C}/\text{m}^2$ . Un filo uniformemente carico con densità di carica  $\lambda = -5,0 \mu\text{C}/\text{m}$  è parallelo al piano e si trova a una distanza di  $3 \text{ m}$  da questo.

- ▶ In che posizione il campo elettrico risultante è nullo? Disegna i campi dovuti alle due distribuzioni.
- ▶ Collocando in quel punto una carica negativa e poi spostandola leggermente verso il piano, in che direzione agisce la forza sulla carica?

[ $0,64 \text{ m}$  dal filo]

**64 UN DATO IN PIU'**

★★★

Si vuole mantenere sospesa a 2 m dal suolo una sferetta di massa 2,0 g e di carica  $q = 0,50 \mu\text{C}$  utilizzando il campo elettrico prodotto da un piano uniformemente carico parallelo al terreno.

- ▶ A che altezza dal suolo deve essere collocato il piano e che densità superficiale di carica bisogna fornire ad esso?

[ $6,9 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$ ]

**65 SENZA DATI**

★★★

Una sfera cava conduttrice (guscio sferico) ha una carica  $q$  uniformemente distribuita sulla sua superficie. La densità superficiale di carica risulta essere

$$\sigma = \frac{q}{4\pi R^2}.$$

- ▶ Dimostra, utilizzando il teorema di Gauss, che il modulo del campo elettrico generato dalla sfera nello spazio in un punto a distanza  $r$  risulta

$$E(r) = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} & r \geq R \end{cases}$$

- ▶ In quali punti il campo è massimo? Che valore assume?

[ $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ , sulla superficie sferica]

**66**

★★★

Due gusci sferici hanno lo stesso centro. Una carica di intensità  $-1,6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  è disposta uniformemente sul guscio più interno, che ha un raggio di 0,050 m. Una carica di intensità  $+5,1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  è invece disposta uniformemente sull'altro guscio, che ha un raggio di 0,15 m.

Trova l'intensità, la direzione e il verso del campo elettrico a una distanza (misurata dal centro comune) di:

- ▶ 0,20 m;
- ▶ 0,10 m;
- ▶ 0,025 m.

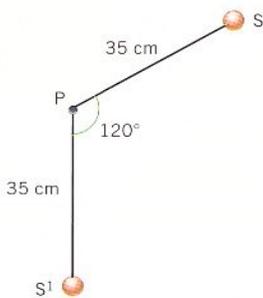
[ $7,9 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ ;  $1,4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$ ;  $0 \text{ N/C}$ ]

**PROBLEMI FINALI**
**67**

★★★

Una sferetta  $S$  carica di massa  $m = 1,50 \text{ g}$  è appesa a un pendolo di lunghezza 35 cm. Collocando una sfera identica  $S'$  nella posizione di equilibrio del pendolo, si ottiene una configurazione di equilibrio con un angolo di  $120^\circ$ .

- ▶ Determina la carica presente su  $S$ .



[ $1,01 \mu\text{C}$ ]

**68**

★★★

Una molla orizzontale non compressa ha una lunghezza di 0,32 m e una costante elastica di 200 N/m. Due piccoli oggetti carichi, aventi la stessa intensità, sono attaccati alle due estremità della molla. A causa di queste cariche, la molla si allunga di 0,020 m rispetto alla sua lunghezza a riposo.

- ▶ Determina i possibili segni algebrici e l'intensità delle cariche.

[ $7,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ]

**69**

★★★

Un'asta sottile e lunga 4,0 m giace lungo l'asse  $x$ , con il suo punto centrale posizionato sull'origine. Nel vuoto, una carica di  $+8,0 \mu\text{C}$  viene fissata a una

estremità dell'asta e una carica di  $-8,0 \mu\text{C}$  viene fissata all'altra estremità. In tutto il piano  $x-y$  c'è un campo elettrico esterno costante di intensità  $5,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$  perpendicolare all'asta.

- ▶ Trova l'intensità del momento torcente applicato all'asta, calcolato rispetto all'asse  $z$ .

[ $0,16 \text{ N}\cdot\text{m}$ ]

**70**

★★★

**FAI UNA STIMA**

I nuclei atomici sono composti da cariche positive (i protoni, in numero uguale agli elettroni, per preservare la neutralità dell'atomo) e da un certo numero di neutroni che, come dice la parola, sono neutri. Poiché i neutroni non interagiscono elettricamente e poiché i protoni si respingono, è evidente che la stabilità dei nuclei è garantita da un'interazione diversa da quella coulombiana: essa si chiama infatti *interazione forte*.

- ▶ Stima quanto deve valere almeno l'interazione forte su ciascuno dei protoni per garantire la stabilità di un nucleo di He, costituito da due protoni e due neutroni.

[ $\geq 230 \text{ N}$ ]

**71**

★★★

Una carica  $q$  è posta fra due piani infiniti di carica, paralleli l'uno all'altro e distanti 10 cm. La densità di carica del primo piano è  $\sigma^+ = 4,0 \mu\text{C/m}^2$  e quella del secondo piano è  $\sigma^- = -2,0 \mu\text{C/m}^2$ . La carica sperimenta una forza complessiva di 2,5 mN.

- ▶ Determina il valore di  $q$ .

[ $7,4 \text{ nC}$ ]



## 1 ENERGIA POTENZIALE DI UNA CARICA IN UN CAMPO ELETTRICO

## 2 ENERGIA POTENZIALE DI UN SISTEMA DI CARICHE

1 **★★★** Una carica puntiforme  $q = 28 \text{ nC}$  è posta nell'origine di un sistema di riferimento cartesiano e nel punto  $P$ , di coordinate  $x = 0,20 \text{ m}$ ,  $y = 0,40 \text{ m}$ ,  $z = 0,30 \text{ m}$ , è posta una carica puntiforme  $Q = -35 \text{ nC}$ .

- ▶ Calcola l'energia potenziale del sistema formato dalle due cariche.

$$[1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mJ}]$$

2 **★★★** Un elettrone e un protone sono inizialmente molto lontani, tanto che la loro distanza può essere considerata praticamente infinita. Essi vengono successivamente avvicinati fino a formare un atomo di idrogeno, nel quale l'elettrone orbita attorno al protone a una distanza di circa  $5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

- ▶ Calcola la differenza di energia potenziale elettrica  $U_f - U_i$  tra le due configurazioni.

$$[-4,35 \cdot 10^{-18} \text{ J}]$$

3 **★★★** Due cariche puntiformi di  $+3,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  sono posizionate in due vertici opposti di un quadrato di lato  $0,500 \text{ m}$ .

- ▶ Quanto lavoro compie la forza elettrica su una delle due cariche per spostarla in uno dei vertici liberi?

$$[-4,7 \cdot 10^{-2} \text{ J}]$$

4 **★★★** Una particella ha una carica di  $+1,5 \mu\text{C}$  e si muove dal punto  $A$  al punto  $B$ , che dista  $0,20 \text{ m}$ . Sulla particella agisce una forza elettrica costante; il suo moto avviene lungo la linea di azione della forza. La variazione di energia potenziale elettrica della particella è

$$U_A - U_B = +9,0 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

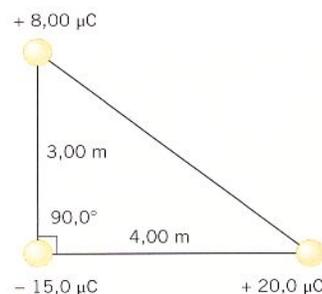
Determina l'intensità, la direzione e il verso

- ▶ della forza che agisce sulla particella;
- ▶ del campo elettrico.

$$[4,5 \cdot 10^{-3} \text{ N da A verso B; } 3,0 \cdot 10^3 \text{ N/C da A verso B}]$$

5 **★★★** Sui vertici di un triangolo rettangolo, avente i cateti di lunghezza  $3,00 \text{ m}$  e  $4,00 \text{ m}$ , sono poste tre cariche puntiformi, di valore  $q_1 = +8,00 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = +20,0 \mu\text{C}$ ,  $q_3 = -15,0 \mu\text{C}$ , come indicato in figura.

- ▶ Determina l'energia potenziale elettrica per l'insieme delle tre cariche, relativamente al valore che essa assume quando le cariche sono infinitamente distanti e lontane tra loro.



$$[-0,746 \text{ J}]$$

6 **★★★** Due cariche puntiformi identiche, aventi valore  $q = +7,20 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ , sono fisse agli angoli diagonalmente opposti di un quadrato di lato  $0,480 \text{ m}$ . Una carica di prova  $q_0 = -2,40 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ , di massa  $6,60 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ , viene rilasciata da uno degli angoli vuoti del quadrato.

- ▶ Determina la velocità della carica di prova quando raggiunge il centro del quadrato.

$$[290 \text{ m/s}]$$

7 **★★★** Una particella carica positivamente viene lasciata libera in un punto  $A$  di un campo elettrico costante. Le forze del campo compiono un lavoro positivo pari a  $20 \text{ mJ}$  per accelerarla fino a un punto  $B$ , dove essa acquista la velocità di  $20 \text{ m/s}$ . Quindi la particella incontra un controcampo e decelera, transitando per un punto  $C$  tale che la corrispondente variazione di energia potenziale  $\Delta U_{CB} = U_C - U_B$  è pari a  $15 \text{ mJ}$ . La particella continua poi fino a fermarsi in un punto  $D$ .

Calcola:

- ▶ la massa della particella in  $\text{mg}$ ;
- ▶ la velocità che essa possiede quando arriva in  $C$ ;
- ▶ la differenza di energia potenziale  $\Delta U_{DB} = U_D - U_B$  fra  $B$  e  $D$ .

$$[100 \text{ mg; } 10 \text{ m/s; } 20 \text{ mJ}]$$

8 **★★★** Due particelle sferiche hanno una massa di  $1,0 \text{ g}$  ciascuna e un raggio di  $50 \mu\text{m}$ . Una ha una carica di  $+6 \mu\text{C}$  e la seconda di  $-6 \mu\text{C}$ . Le particelle vengono lasciate ferme e libere di muoversi ad una distanza di  $1 \text{ mm}$  una dall'altra; esse si muovono una verso l'altra fino ad urtarsi.

- ▶ Con che velocità si muovono al momento dell'urto?

$$[1700 \text{ m/s}]$$

**9 PROBLEM SOLVING**

\*\*\*

Sei cariche identiche, di valore  $q = 2,5 \mu\text{C}$ , inizialmente a distanza infinita l'una dall'altra, vengono avvicinate fino a formare un esagono regolare di lato  $L = 0,12 \text{ m}$  (figura).

► Determina l'energia potenziale elettrica della distribuzione finale.

**La soluzione**

L'energia potenziale complessiva del sistema di cariche si può calcolare addizionando l'energia potenziale di tutte le coppie utili di cariche che compongono il sistema. Il numero utile di queste coppie di cariche si può evincere con un semplice ragionamento. Ogni carica può fare coppia con le 5 restanti, quindi si hanno  $5 \cdot 6 = 30$  coppie possibili. Contrassegnando le cariche con delle lettere, le coppie possibili sono:  $AB, AC, AD, AE, AF; BA, BC, BD, BE, BF; CA, CB, CD, CE, CF; \dots$  È facile rendersi conto, a questo punto, che delle 30 coppie possibili quelle distinte sono solo la metà, cioè ci sono 15 coppie utili. Consideriamo la carica  $A$  di figura. Le distanze dalle altre 5 cariche sono rispettivamente  $L, \sqrt{3}L, 2L, \sqrt{3}L, L$ , per cui l'energia potenziale di questa carica rispetto alle altre cinque è

$$U_A = k \frac{q^2}{L} + k \frac{q^2}{\sqrt{3}L} + k \frac{q^2}{2L} + k \frac{q^2}{\sqrt{3}L} + k \frac{q^2}{L} = k \frac{q^2}{L} \left( \frac{5}{2} + \frac{2}{\sqrt{3}} \right)$$

Per la simmetria della configurazione, ciascuna delle altre cariche ha lo stesso potenziale elettrico:

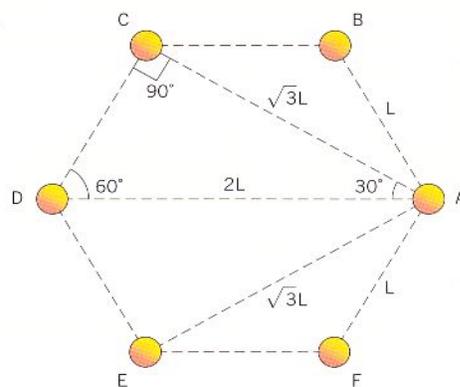
$$U_A = U_B = U_C = U_D = U_E = U_F$$

Quindi l'energia potenziale totale si ottiene moltiplicando per 6 l'energia  $U_A$  e dividendo il risultato per 2, al fine di non contare due volte ciascuna coppia:

$$U = \frac{1}{2} (6 U_A) = 3 \left( \frac{5}{2} + \frac{2}{\sqrt{3}} \right) k \frac{q^2}{L} = 11 k \frac{q^2}{L}$$

Sostituendo i valori numerici otteniamo:

$$U = 11 (9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2,5 \cdot 10^{-6} \text{ C})^2}{0,12 \text{ m}} = 5,2 \text{ J}$$



**10** Considera l'esercizio precedente.

\*\*\*

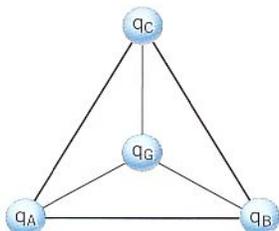
► Calcola il lavoro necessario per spostare dall'infinito una ulteriore carica positiva, di valore  $2,5 \mu\text{C}$ , e collocarla al centro dell'esagono.

[-2,8 J]

**11 SENZA DATI**

\*\*\*

Tre cariche puntiformi  $q_A, q_B$  e  $q_C$ , uguali in valore e tutte positive, sono poste nei vertici di un triangolo equilatero di lato  $l$ , come illustrato in figura. Una quarta carica puntiforme  $q_G$ , anche essa positiva, è posta nel baricentro del triangolo.



► Determina l'energia potenziale elettrica della configurazione di cariche, con la consueta convenzione di porre uguale a zero l'energia potenziale quando le cariche sono a distanza infinita l'una dall'altra.

$$\left[ 3k \frac{q^2}{l} (1 + \sqrt{3}) \right]$$

**12 TROVA I DATI**

\*\*\*

Due cariche puntiformi  $q_1 = +2,00 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  e  $q_2 = -1,20 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  sono fisse a una distanza di  $5,00 \text{ cm}$  l'una dall'altra. Un elettrone (carica  $e = -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) viene lasciato libero di muoversi in un punto  $A$ , interno al segmento congiungente le due cariche e distante  $1,00 \text{ cm}$  dalla carica negativa.

► Che velocità acquista l'elettrone quando raggiunge un punto  $B$ , interno al segmento congiungente le due cariche, distante  $1,00 \text{ cm}$  dalla carica positiva?

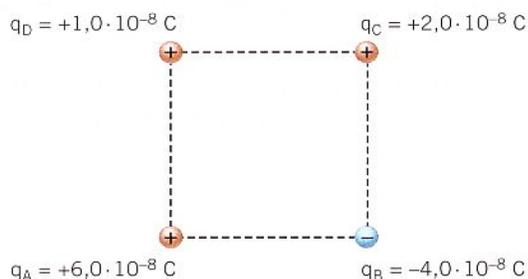
$$[8,71 \cdot 10^7 \text{ m/s}]$$

**13** ★★★ Una carica di  $-3,00 \mu\text{C}$  è ferma in un punto. Dalla distanza orizzontale di  $0,0450 \text{ m}$ , una particella di massa  $7,20 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$  e carica  $-8,00 \mu\text{C}$ , è lanciata con una velocità iniziale di  $65,0 \text{ m/s}$  direttamente verso la carica fissa.

- ▶ Quanta strada percorre la particella prima che la sua velocità diventi zero?

[ $0,0342 \text{ m}$ ]

**14** ★★★ Considera il sistema di cariche rappresentato nella in figura, dove quattro cariche puntiformi sono disposte nei vertici di un quadrato di lato  $4,0 \text{ cm}$ .



- ▶ Calcola l'energia potenziale elettrica del sistema di cariche.

[ $-4,1 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ ]

**15** ★★★ Quattro cariche di  $2,0 \mu\text{C}$  ciascuna sono trasportate su una retta dall'infinito a distanza di  $0,40 \text{ m}$  una dall'altra.

- ▶ Calcola l'energia potenziale elettrica della disposizione finale.

[ $0,38 \text{ J}$ ]

**16** ★★★ Two protons are moving directly toward one another. When they are very far apart, their initial speeds are  $3,00 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ .

- ▶ What is the distance of closest approach?

[ $1,5 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ ]

**17** ★★★ Agli estremi di un segmento lungo  $2d = 4,0 \text{ cm}$  sono poste due cariche identiche positive di valore  $Q = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ . Una particella carica ( $q = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ,  $m = 3,5 \cdot 10^{-15} \text{ kg}$ ) è lanciata con una velocità iniziale  $v_i$  da una distanza  $a = 6,4 \text{ cm}$ , lungo l'asse del segmento in direzione del punto medio, che raggiunge con velocità nulla.

- ▶ Determina la velocità iniziale della particella.

[ $6,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ]

**18** ★★★ Una particella ha massa di  $3,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$  e carica di  $+8,00 \mu\text{C}$ . Una seconda particella ha massa  $6,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$  e ha la stessa carica. Inizialmente le due particelle sono tenute ferme e poi sono lasciate libere. Quando sono a una distanza di  $0,100 \text{ m}$  la velocità di quella con massa minore è  $125 \text{ m/s}$ .

- ▶ Calcola la distanza iniziale delle due cariche.

[ $1,41 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ]

### 3 IL POTENZIALE ELETTRICO

### 4 POTENZIALE ELETTRICO DI CARICHE PUNTIFORMI

**19** ★★★ Supponi che il potenziale elettrico all'esterno di una cellula sia più grande di  $0,070 \text{ V}$  rispetto a quello all'interno.

- ▶ Calcola il lavoro compiuto dalla forza elettrica quando uno ione sodio (carica =  $+e$ ) si muove dall'esterno all'interno.

[ $1,1 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ ]

**20** ★★★ Durante un temporale, la differenza di potenziale elettrico fra una nuvola e il terreno è

$$V_n - V_t = 1,3 \cdot 10^8 \text{ V}$$

- ▶ Qual è la variazione di energia potenziale di un elettrone quando si muove dal terreno alla nuvola?

[ $-2,1 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ ]

**21** ★★★ Il potenziale elettrico nel punto  $A$  è  $+250 \text{ V}$ , mentre nel punto  $B$  è  $-150 \text{ V}$ . Una particella alfa è un nucleo di elio che contiene due protoni e due neutroni: i neutroni sono elettricamente neutri. Tale particella alfa parte a riposo da  $A$  e accelera verso  $B$ .

- ▶ Calcola la sua energia cinetica (in elettronvolt) quando raggiunge  $B$ .

[ $800 \text{ eV}$ ]

**22** ★★★ Una particella con carica  $-1,5 \mu\text{C}$  e massa  $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$  è lasciata andare dalla posizione di riposo nel punto  $A$  e accelera verso il punto  $B$ , arrivando in  $B$  con una velocità di  $42 \text{ m/s}$ . L'unica forza che agisce sulla particella è la forza elettrica.

- ▶ Quale punto ha il potenziale più alto? Spiega.
- ▶ Qual è la differenza di potenziale  $V_A - V_B$  tra i punti  $A$  e  $B$ ?

[ $1800 \text{ V}$ ]

**23** ★★★ Una particella carica negativamente, inizialmente ferma nel punto  $B$  (figura), viene lasciata libera di muoversi e quindi accelera fino a raggiungere il punto  $A$ . La massa e la carica della particella sono rispettivamente  $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$  e  $-2,0 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ . Sulla particella, che si muove lungo una traiettoria rettilinea orizzontale senza ruotare, agiscono solo la forza gravitazionale e la forza elettrostatica. Il potenziale elettrico in  $A$  è  $36 \text{ V}$  superiore a quello in  $B$ , cioè  $V_A - V_B = 36 \text{ V}$ .

- ▶ Quanto vale la velocità della particella nel punto  $A$ ?



[ $26 \text{ m/s}$ ]

**24** ★★★ Un'automobile elettrica accelera per 7,0 s utilizzando l'energia erogata da una batteria a 290 V. Durante questo intervallo di tempo, attraverso la batteria passano 1200 C di carica.

- ▶ Determina la potenza dell'automobile.

[ $5,0 \cdot 10^4$  W]

**25** ★★★ Un elettrone ( $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg,  $e = -1,60 \cdot 10^{-19}$  C) entra con una velocità iniziale  $v_A = 4,00 \cdot 10^6$  m/s in una regione di spazio in cui è presente una differenza di potenziale. Il potenziale nel punto A misura 150 V e l'elettrone decelera fino a fermarsi nel punto B.

Determina:

- ▶ il segno della differenza di potenziale  $V_A - V_B$ ;
- ▶ il valore  $V_B$  del potenziale in B;
- ▶ il valore della differenza di potenziale  $V_A - V_B$ .

[positivo; 104 V; 45,6 V]

**26** ★★★ Un proiettore alogeno da automobile ha una potenza di 51 W. Collegato a una batteria da 12 V, rimane acceso per 1,5 h. Determina:

- ▶ la quantità di carica che attraversa il circuito elettrico;
- ▶ il numero di elettroni ad essa corrispondente.

[ $2,3 \cdot 10^4$  C;  $1,4 \cdot 10^{23}$ ]

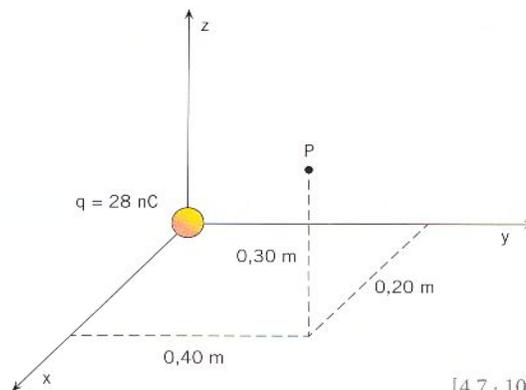
**27** ★★★ Due cariche  $q_A$  e  $q_B$  sono poste a distanze rispettivamente di 0,18 m e 0,43 m da un punto P. In P i potenziali dovuti alle due cariche sono uguali.

- ▶ Determina il rapporto  $q_B/q_A$ .

[2,4]

**28** ★★★ Una carica puntiforme  $q = 28$  nC è posta nell'origine di un sistema di riferimento cartesiano, come mostra la figura.

- ▶ Calcola il potenziale elettrico generato dalla carica  $q$  nel punto P di coordinate  $x = 0,20$  m,  $y = 0,40$  m,  $z = 0,30$  m.



[ $4,7 \cdot 10^2$  V]

## 29 PROBLEM SOLVING

★★★

Uno ione di radon ( $m = 3,7 \cdot 10^{-25}$  kg), che ha perso 3 elettroni, si muove inizialmente con velocità termica  $v_0 = 2,0 \cdot 10^2$  m/s. Lo ione attraversa un regione di spazio dove è accelerato da una forza elettrostatica. La sua velocità finale è  $1,6 \cdot 10^3$  m/s.

- ▶ Determina la differenza di potenziale esistente tra i confini della regione di spazio in cui è presente il campo elettrostatico.



### La soluzione

La differenza di potenziale espressa in funzione del lavoro  $L$  fatto dalla forza elettrostatica sullo ione e della carica  $q$  dello ione stesso è

$$\Delta V = -\frac{L}{q}$$

Questo lavoro modifica l'energia cinetica  $K$  dello ione secondo la relazione  $L = \Delta K$ , quindi

$$\Delta V = -\frac{L}{q} = -\frac{\Delta K}{q} = -\frac{\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2}{q} = \frac{1}{2} \frac{m(v_0^2 - v^2)}{q}$$

Lo ione di radon ha perso 3 elettroni per cui ha una carica positiva pari

$$q = 3e = 3(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) = 4,8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Sostituendo i dati nell'equazione precedente risulta

$$\Delta V = \frac{1}{2} (3,7 \cdot 10^{-25} \text{ kg}) \frac{(2,0 \cdot 10^2 \text{ m/s})^2 - (1,6 \cdot 10^3 \text{ m/s})^2}{4,8 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = -1,0 \text{ V}$$

**30** \*\*\* Il potenziale nel punto  $A$  è 452 V. Una particella carica positivamente è lasciata libera in  $A$  e raggiunge il punto  $B$  con una velocità  $v_B$ . Il potenziale nel punto  $C$  è 791 V. Quando la particella è lasciata libera in  $C$ , raggiunge  $B$  con una velocità doppia rispetto a quella precedente.

- Calcola il potenziale in  $B$ .

[399 V]

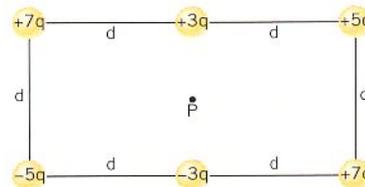
**31** \*\*\* Due cariche sono poste a una distanza  $d$ . Una carica è positiva e ha intensità doppia rispetto a quella dell'altra carica, che è negativa. La carica positiva è alla sinistra della carica negativa.

- Calcola a quale distanza dalla carica negativa sono i due punti in cui il potenziale elettrico totale è nullo.

[ $d/3$ ;  $d$ ]

**32** \*\*\* The drawing shows six point charges arranged in a rectangle. The value of  $q$  is  $9.0 \mu\text{C}$ , and the distance  $d$  is 0.13 m.

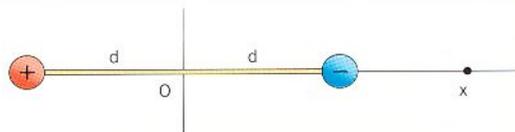
- Find the total electric potential at location  $P$ , which is at the center of the rectangle.



[ $7.8 \cdot 10^6 \text{ V}$ ]

### 33 PROBLEM SOLVING

\*\*\* Un dipolo consiste in due cariche puntiformi, di uguale valore  $q$  ma di segno opposto, che vengono mantenute a una distanza fissa pari a  $2d$ . Considera nullo il potenziale all'infinito.



- Qual è il potenziale lungo l'asse del dipolo?
- Determina il potenziale elettrico lungo la retta passante per le due cariche del dipolo.

#### La soluzione

- In ogni generico punto  $P$  lungo l'asse del dipolo, il potenziale è la somma dei potenziali di ciascuna carica puntiforme:

$$V_P = V^+ + V^-$$

A distanza  $r$  da una sferetta con carica  $q$ , con  $V = 0$  all'infinito, il potenziale è dato dalla formula

$$V = k \frac{q}{r}$$

L'asse del dipolo è equidistante da ciascuna carica e le cariche sono di segno opposto, per cui il potenziale è zero in ogni punto dell'asse:

$$V_P = V^+ + V^- = k \left( \frac{+q}{r} + \frac{-q}{r} \right) = 0$$

- Nella direzione parallela al dipolo, un generico punto  $P$ , di ascissa  $x_P$ , dista dalla carica positiva  $r^+ = |x_P + d|$  e dalla carica negativa  $r^- = |x_P - d|$ . Perciò il potenziale in tale punto è

$$V(x_P) = k \left( \frac{q}{r^+} + \frac{-q}{r^-} \right) = kq \left( \frac{1}{|x_P + d|} - \frac{1}{|x_P - d|} \right) = kq \frac{|x_P - d| - |x_P + d|}{|x_P^2 - d^2|}$$

Scriviamo l'espressione del potenziale  $V$  nei sottoinsiemi in cui le cariche suddividono la retta.  
Caso  $x_P < -d$ :

$$x_P - d < 0 \quad \rightarrow \quad |x_P - d| = -x_P + d$$

$$x_P + d < 0 \quad \rightarrow \quad |x_P + d| = -x_P - d$$

$$V(x_P) = kq \frac{(-x_P + d) - (-x_P - d)}{|x_P^2 - d^2|} = kq \frac{2d}{|x_P^2 - d^2|}$$

Caso  $-d < x_p < d$ :

$$x_p - d < 0 \rightarrow |x_p - d| = -x_p + d$$

$$x_p + d > 0 \rightarrow |x_p + d| = x_p + d$$

$$V(x_p) = kq \frac{(-x_p + d) - (x_p + d)}{|x_p^2 - d^2|} = kq \frac{-2x_p}{|x_p^2 - d^2|}$$

Caso  $x_p > d$ :

$$x_p - d > 0 \rightarrow |x_p - d| = x_p - d$$

$$x_p + d > 0 \rightarrow |x_p + d| = x_p + d$$

$$V(x_p) = kq \frac{(x_p - d) - (x_p + d)}{|x_p^2 - d^2|} = kq \frac{-2d}{|x_p^2 - d^2|}$$

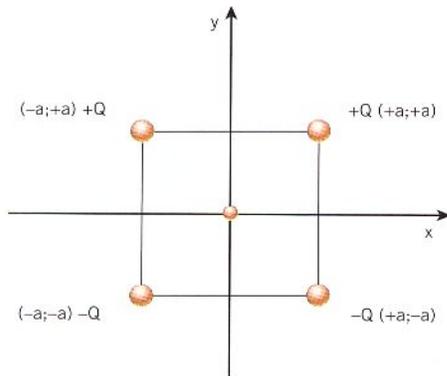
**34** **★★★** Due cariche di  $1,8 \mu\text{C}$  sono poste nei vertici consecutivi di un quadrato.

- Determina la carica che deve essere messa in uno dei vertici vuoti in modo che nell'altro vertice vuoto il potenziale sia nullo.

$[-3,1 \cdot 10^{-6} \text{ C}]$

**35** **SENZA DATI**

In un riferimento cartesiano ortogonale  $xy$ , sono disposte quattro cariche, due positive  $+Q$  e due negative  $-Q$ , nei vertici di un quadrato di lato  $2a$  ( $a > 0$ ), come mostra la seguente figura. Una quinta carica  $+q$  ( $q > 0$ ,  $q \ll Q$ ) di massa  $m$  è lasciata libera di muoversi nel punto di coordinate  $(0; 0)$ .



Determina l'espressione:

- del potenziale  $V(y)$  nei punti lungo l'asse  $y$ ;
- della velocità della particella quando raggiunge il punto di coordinate  $(0; -a)$ .

$$2kQ \left( \frac{1}{\sqrt{a^2 + (a-y)^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + (a+y)^2}} \right); \sqrt{\frac{4qkQ}{ma} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{5}} \right)}$$

**36** **★★★** Due cariche puntiformi identiche di  $+1,7 \mu\text{C}$  sono poste in due vertici opposti di un quadrato. In seguito una carica  $q$  è posta nel centro del quadrato.

- Determina  $q$  in modo che essa modifichi il segno del potenziale negli angoli liberi senza modificarne l'intensità.

$[-4,8 \mu\text{C}]$

**37** **★★★** Una carica positiva  $+q_1$  è posta alla sinistra di una carica negativa  $-q_2$ , con  $q_1 \neq q_2$ . Lungo la retta passante per le due cariche, ci sono due punti in cui il potenziale è nullo. Il primo è fra le due cariche,  $4,00 \text{ cm}$  a sinistra di quella negativa. Il secondo è  $7,00 \text{ cm}$  a destra della carica negativa.

- Qual è la distanza fra le due cariche?
- Calcola il rapporto  $q_1/q_2$ .

$[18,7 \text{ cm}; 3,7]$

## 5 LE SUPERFICI EQUIPOTENZIALI E LA LORO RELAZIONE CON IL CAMPO ELETTRICO

## 6 LA CIRCUITAZIONE DEL CAMPO ELETTRICO

**38** **★★★** La candela del motore di un'automobile consiste in due conduttori metallici separati da una distanza di  $0,75 \text{ mm}$ . Quando una scintilla scocca fra essi, l'intensità del campo elettrico è  $4,7 \cdot 10^7 \text{ V/m}$ .

- Qual è la differenza di potenziale  $\Delta V$  fra i due conduttori?

$[3,5 \cdot 10^4 \text{ V}]$

**39** **★★★** Una superficie equipotenziale che circonda una carica puntiforme  $q$  ha un potenziale di  $490 \text{ V}$  e un'area di  $1,1 \text{ m}^2$ .

- Determina  $q$ .

$[1,6 \cdot 10^{-8} \text{ C}]$

**40** **★★★** La superficie più interna e quella più esterna di una membrana cellulare hanno rispettivamente carica

negativa e positiva. A causa della presenza di queste due cariche, attraverso la membrana c'è una differenza di potenziale di  $0,070 \text{ V}$ . Lo spessore della membrana cellulare è  $8,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ .

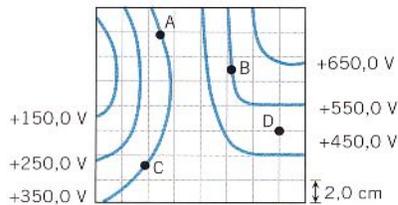
- Qual è l'intensità del campo elettrico all'interno della membrana?

[ $8,75 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ ]

**41** LEGGI IL GRAFICO

La figura mostra un grafico con un insieme di superfici equipotenziali viste in sezione trasversale. Le linee della griglia sono distanziate tra loro di  $2,0 \text{ cm}$ .

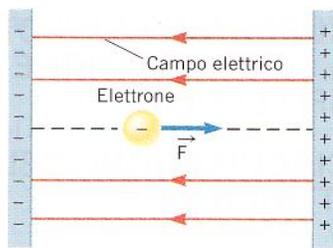
- Determina l'intensità e la direzione del campo elettrico nella posizione  $D$ . Specifica se il campo elettrico punta verso l'alto o il basso del disegno.



[ $2500 \text{ V/m}$ ]

**42** Un elettrone viene rilasciato dalla posizione di riposo sul piano negativo di un condensatore a piani paralleli e accelera verso il piano positivo. I piani distano tra loro  $1,2 \text{ cm}$  e il campo elettrico interno al condensatore ha intensità  $2,1 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ .

- Quanto vale l'energia cinetica dell'elettrone quando raggiunge il piano positivo?



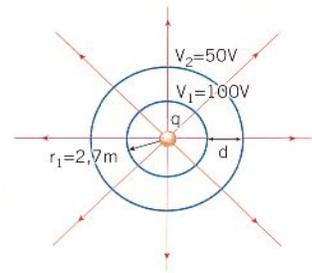
[ $4,0 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ ]

**43** Tre conduttori sferici  $A, B, C$  di raggi rispettivamente  $r_A = 5 \text{ cm}$ ,  $r_B = 10 \text{ cm}$ ,  $r_C = 5 \text{ cm}$  portano inizialmente le cariche  $Q_A = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  $Q_B = -10^{-6} \text{ C}$  e  $Q_C = 0 \text{ C}$ . Si mettono a contatto prima  $A$  e  $B$ , poi  $A$  e  $C$ .

- Determina le cariche ora presenti sui conduttori.  
[ $Q_A = +\frac{2}{3} \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  $Q_B = +\frac{8}{3} \cdot 10^{-6} \text{ C}$  e  $Q_C = +\frac{2}{3} \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ]

**44** LEGGI IL GRAFICO

La figura mostra le sezioni di due superfici equipotenziali e alcune linee di forza del campo generato da una carica puntiforme.



Determina:

- il valore e il segno della carica al centro;
- la distanza  $d$  fra la prima e la seconda superficie.

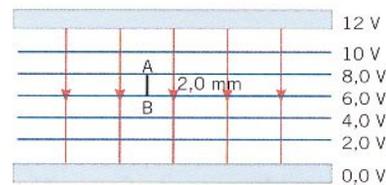
[ $3,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ;  $2,7 \text{ m}$ ]

**45** LEGGI IL GRAFICO

La figura mostra un condensatore carico e le sezioni di alcune superfici equipotenziali del campo elettrico instauratosi al suo interno.

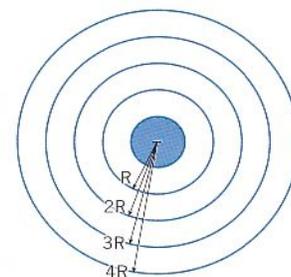
Determina:

- il modulo del campo elettrico;
- il lavoro fatto dalle forze del campo per spostare una carica di  $+1,5 \text{ nC}$  dal punto  $A$  al punto  $B$ ;
- la distanza fra le armature del condensatore.



[ $1,0 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ ;  $3,0 \cdot 10^{-9} \text{ J}$ ;  $1,2 \text{ cm}$ ]

**46** Un conduttore sferico, di raggio  $R = 6,0 \text{ cm}$ , ha una carica  $Q = -4,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ .



- Completa il disegno tracciando le linee di forza del campo elettrico.
- Calcola il potenziale del conduttore e quello delle superfici equipotenziali le cui sezioni sono riportate nella figura.

[ $-6,0 \cdot 10^3 \text{ V}$ ;  $-3,0 \cdot 10^3 \text{ V}$ ;  $-2,0 \cdot 10^3 \text{ V}$ ;  
 $-1,5 \cdot 10^3 \text{ V}$ ;  $-1,2 \cdot 10^3 \text{ V}$ ]

**47** Un campo elettrico ha un valore costante pari a  $3,0 \cdot 10^3 \text{ V/m}$  ed è diretto verso il basso. Il campo è lo stesso ovunque. Il potenziale in un punto  $P$  all'interno di questa regione è  $155 \text{ V}$ . Trova il potenziale nei seguenti punti:

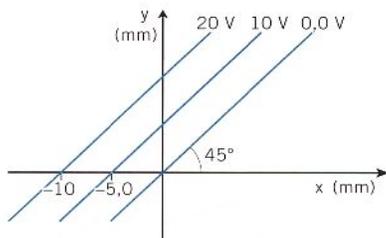
- ▶  $6,0 \cdot 10^{-3}$  m direttamente sopra  $P$ ;
- ▶  $3,0 \cdot 10^{-3}$  m direttamente sotto  $P$ ;
- ▶  $8,0 \cdot 10^{-3}$  m direttamente a destra di  $P$ .

[198 V; 171 V; 155 V]

**48 LEGGI IL GRAFICO**

\*\*\*

In figura sono riportate le sezioni di alcune superfici equipotenziali di un campo elettrico uniforme.



- ▶ Determina la direzione e il modulo del campo elettrico.

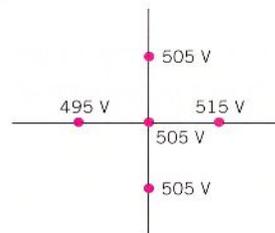
[315°;  $2,8 \cdot 10^3$  V/m]

**49**

\*\*\*

La figura mostra il potenziale elettrico in cinque punti di un sistema di assi. Ciascuno dei quattro punti esterni dista  $6,0 \cdot 10^{-3}$  m dall'origine.

- ▶ A partire dai dati mostrati nel disegno, determina l'intensità, la direzione e il verso del campo elettrico in prossimità dell'origine.

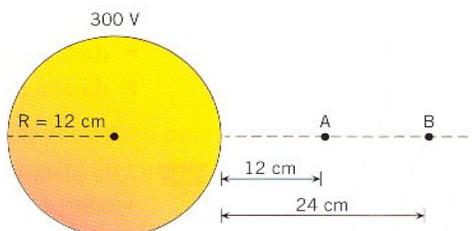


[ $1,7 \cdot 10^5$  V/m]

**50 PROBLEM SOLVING**

\*\*\*

Una sfera conduttrice di raggio  $R = 12$  cm ha una carica positiva e il suo potenziale, considerando zero il potenziale all'infinito, vale 300 V.



- ▶ Determina il potenziale elettrico nei punti  $A$  e  $B$  distanti rispettivamente 12 cm e 24 cm dalla superficie della sfera.
- ▶ Determina il valore del campo elettrico negli stessi punti.

**La soluzione**

- ▶ Nei punti esterni alla sfera il campo e il potenziale sono gli stessi di quelli prodotti da una carica puntiforme equivalente, collocata al centro della sfera. Rispetto al centro della sfera, il punto  $A$  dista  $2R = 24$  cm, mentre il punto  $B$  dista  $3R = 36$  cm. La superficie della sfera è una superficie equipotenziale; usiamo la formula

$$V(r) = k \frac{q}{r}$$

considerando la carica  $q$  di tutta la sfera concentrata nel centro.

Per  $r = R$  possiamo scrivere

$$V(R) = k \frac{q}{R}$$

e, sapendo che  $V(R) = 300$  V, nel punto  $A$  ( $r_A = 2R$ ) e nel punto  $B$  ( $r_B = 3R$ ) abbiamo:

$$V_A = V(2R) = k \frac{q}{2R} = \frac{1}{2} V(R) = 150 \text{ V}$$

$$V_B = V(3R) = k \frac{q}{3R} = \frac{1}{3} V(R) = 100 \text{ V}$$

- ▶ Il campo elettrico ha direzione radiale con verso uscente dalla sfera e il suo valore, per  $r \geq R$ , è dato dall'equazione

$$E(r) = k \frac{q}{r^2} = \frac{V(r)}{r} \quad (q > 0)$$

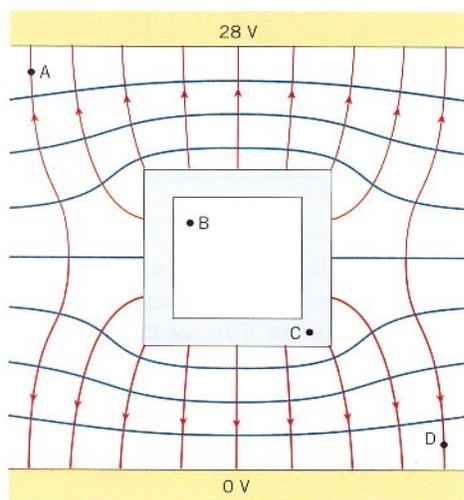
Per cui, nel punto A ( $r_A = 2R$ ) e nel punto B ( $r_B = 3R$ ), si hanno i seguenti valori del campo elettrico:

$$E(2R) = \frac{V(2R)}{2R} = \frac{150 \text{ V}}{0,24 \text{ m}} = 625 \text{ V/m}$$

$$E(3R) = \frac{V(3R)}{3R} = \frac{100 \text{ V}}{0,36 \text{ m}} = 278 \text{ V/m}$$

**51** **★★★** Tra le due armature di un condensatore è stato inserito, esattamente a metà, un tubo di metallo a sezione quadrata. Le armature del condensatore distano 35 mm e la differenza di potenziale tra di esse è 28 V. Considera nullo il potenziale sull'armatura con carica negativa.

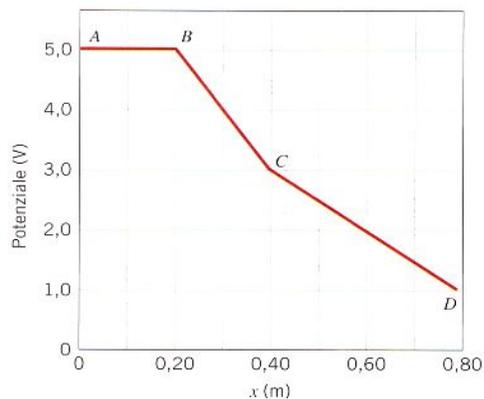
- ▶ Basandoti sulla figura, determina approssimativamente il valore del potenziale e quello del campo elettrico nei punti A, B, C e D.



[26 V; 14 V; 14 V; 2 V]

**52** **★★★** Il grafico riportato sotto mostra il potenziale elettrico in funzione della posizione lungo l'asse  $x$ . Calcola l'intensità del campo elettrico lungo lo stesso asse nelle regioni:

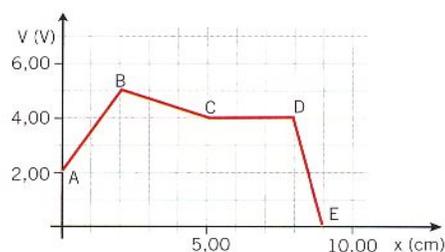
- ▶ da A a B;  
▶ da B a C;  
▶ da C a D.



[0 V/m; 10,0 V/m; 5,0 V/m]

**53** **LEGGI IL GRAFICO**

**★★★** Il grafico mostra l'andamento del potenziale elettrico in funzione della posizione lungo l'asse  $x$ .



Calcola il valore del campo elettrico lungo lo stesso asse nelle regioni:

- ▶ da A a B;  
▶ da B a C;  
▶ da C a D;  
▶ da D a E.

[-150 V/m; 33,3 V/m; 0 V/m; 400 V/m]

**54**

**★★★**

Alla distanza di 1,60 m da una carica puntiforme di  $+2,00 \mu\text{C}$ , c'è una superficie equipotenziale. A distanze maggiori ci sono ulteriori superfici equipotenziali. La differenza di potenziale tra le varie superfici è pari a  $1,00 \cdot 10^3 \text{ V}$ .

- ▶ Partendo dalla distanza di 1,60 m e muovendosi radialmente verso l'esterno, quante superfici equipotenziali vengono attraversate nel tempo in cui il campo elettrico si è ridotto a un valore pari alla metà del suo valore iniziale? (Non tenere conto della superficie di partenza.)

[3]

**55**

**★★★**

La superficie equipotenziale A ha un potenziale di 5650 V, mentre la superficie equipotenziale B ha un potenziale di 7850 V. Una particella ha massa  $5,00 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$  e carica  $4,00 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ . La particella ha una velocità di 2,00 m/s sulla superficie A. Una forza esterna agisce sulla particella, che arriva sulla superficie B con una velocità di 3,00 m/s.

- ▶ Calcola il lavoro compiuto dalla forza esterna sulla particella.

[0,213 J]

**56**

**★★★**

**SENZA DATI**

Consideriamo due sfere conduttrici rispettivamente di raggio  $R_1$  e  $R_2$  e carica  $Q_1$  e  $Q_2$ . Una volta messe a contatto, si raggiunge l'equilibrio elettrostatico.

- In che relazione sono i campi elettrici generati dalla nuova configurazione?

$$\left[ \begin{array}{l} E_1 \\ E_2 \end{array} = - \frac{R_2}{R_1} \right]$$

**57 SENZA DATI**

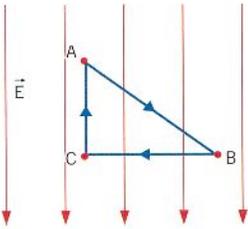
\*\*\*

Dato un conduttore sferico di raggio  $R$ , stabilisci come cambiano il potenziale elettrico, la densità superficiale di carica e il campo elettrico nei seguenti casi:

- se raddoppia la carica e si dimezza il raggio
- se si dimezzano sia la carica che il raggio

[il potenziale quadruplica, densità di carica e campo elettrico diventano 8 volte; il potenziale non cambia, densità di carica e campo elettrico raddoppiano]

- 58** Considera il percorso chiuso, a forma di triangolo rettangolo  $ABC$ , rappresentato in figura e immerso in un campo elettrico uniforme  $\vec{E}$ . La differenza di potenziale fra i punti  $C$  e  $A$  è  $\Delta V_{CA} = -5$  V.



- Usa la circuitazione del campo elettrostatico per determinare la differenza di potenziale fra i punti  $B$  e  $A$ .

[−5 V]

**59 SENZA DATI**

\*\*\*

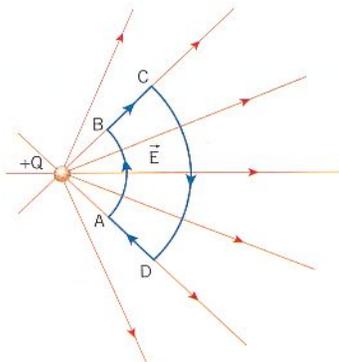
Considera nuovamente il circuito chiuso del problema precedente.

- Dimostra che il lavoro fatto dal campo elettrostatico per spostare una carica di prova  $q$  lungo tale cammino chiuso è nullo.

**60 SENZA DATI**

\*\*\*

Considera il percorso chiuso  $ABCD$  rappresentato in figura e immerso nel campo elettrico generato da una carica puntiforme  $+Q$ . I tratti  $AB$  e  $CD$  appartengono a due superfici equipotenziali, mentre i tratti  $BC$  e  $DA$  sono radiali.



- Usando l'espressione del potenziale elettrico di una carica puntiforme, dimostra che la circuitazione del campo elettrostatico lungo tale cammino chiuso è nulla.

**7 CAPACITÀ E CONDENSATORI**
**8 ESPERIMENTI STORICI SULLA CARICA FONDAMENTALE**
**61**

\*\*\*

Vengono immagazzinati  $7,2 \cdot 10^{-5}$  C di carica sulle armature di un condensatore di capacità  $6,0 \mu\text{F}$ .

- Calcola la differenza di potenziale richiesta.

[12 V]

**62**

\*\*\*

Un condensatore immagazzina  $6,2 \mu\text{C}$  di carica sulle armature, dove è applicato un voltaggio di  $1,5$  V.

- Qual è la capacità del condensatore?

[ $4,1 \cdot 10^{-6}$  F]

**63**

\*\*\*

Un condensatore immagazzina  $5,3 \cdot 10^{-5}$  C di carica quando è connesso a una batteria da  $6$  V.

- Quanta carica immagazzina quando è connesso a una batteria da  $9$  V?

[ $8,0 \cdot 10^{-5}$  C]

**64**

\*\*\*

Due condensatori piani identici immagazzinano la stessa quantità di energia: il condensatore  $A$  immagazzina  $2,5 \cdot 10^{-3}$  J e il condensatore  $B$   $3,4 \cdot 10^{-4}$  J. La differenza di potenziale tra le due armature del condensatore  $B$  è  $12$  V.

- Trova la differenza di potenziale tra le armature del condensatore  $A$ .

[33 V]

**65**

\*\*\*

La stessa differenza di potenziale è applicata tra le armature di due differenti condensatori. Quando è applicata al condensatore  $A$ , questa differenza di potenziale fa sì che il condensatore immagazzini  $11 \mu\text{C}$  di carica e  $8,0 \cdot 10^{-5}$  J di energia. Quando è applicata al condensatore  $B$ , che ha una capacità di  $6,7 \mu\text{F}$ , questa differenza di potenziale fa sì che il condensatore immagazzini una carica di intensità  $q_B$ .

- Calcola  $q_B$ .

[ $9,7 \cdot 10^{-5}$  C]

**66**

\*\*\*

Un condensatore immagazzina  $6,0 \mu\text{C}$  di carica sulle armature quando è applicata una differenza di potenziale di  $2,0$  V. Raddoppiando la differenza di potenziale si vorrebbe quadruplicare la carica immagazzinata.

- Quale deve essere il valore di  $\epsilon_r$  di un dielettrico che, inserito tra le armature, permette di ottenere questo risultato?

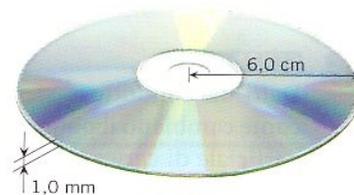
- La presenza del dielettrico che carica permetterebbe di immagazzinare mantenendo la ddp a  $2,0$  V?

[2;  $12 \mu\text{C}$ ]

**67 PROBLEM SOLVING**

La plastica di cui è fatto un CD ha costante dielettrica  $\epsilon_r = 2,5$ . Il CD ha raggio  $r = 6,0$  cm e lo spessore è 1,0 mm. Ricopri di alluminio le due facce e hai un piccolo condensatore.

► Qual è la sua capacità? Trascura il foro centrale.


**La soluzione**

Si tratta di un condensatore piano, la cui capacità è data dalla formula

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

deve  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m. La superficie delle armature è

$$A = \pi r^2 = 3,14 (6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

quindi il valore della capacità è dato da

$$C = 2,5(8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}) \frac{1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}{1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 2,4 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 0,24 \text{ nF}$$

**68** La superficie esterna della membrana di un neurone ( $\epsilon_r = 5$ , spessore =  $1 \cdot 10^{-8}$  m) è carica positivamente, mentre la parte interna è carica negativamente. La membrana può essere considerata come un condensatore a facce piane e parallele di area  $5 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>.

► Qual è la sua capacità?

[ $2 \cdot 10^{-8}$  F]

**69** Due condensatori sono uguali, eccetto che in uno è inserito un dielettrico ( $\epsilon_r = 4,50$ ). Il condensatore vuoto è connesso a una batteria da 12 V.

► Quale deve essere la differenza di potenziale fra le armature del condensatore con il dielettrico perché immagazzini la stessa energia elettrica dell'altro?

[5,66 V]

**70** La membrana di un certo tipo di cellula ha una superficie di  $5,0 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup> e uno spessore di  $1,0 \cdot 10^{-8}$  m. Assumi che la membrana si comporti come un condensatore piano con costante dielettrica relativa 5,0. Il potenziale sulla superficie esterna della membrana è +60,0 mV più grande che sulla superficie interna.

► Quanta carica è presente sulla superficie esterna?  
 ► Se la carica è dovuta agli ioni potassio  $K^+$  (carica +e), quanti ioni sono presenti sulla superficie?

[ $1,3 \cdot 10^{-12}$  C;  $8,1 \cdot 10^6$ ]

**71** Il flash elettronico di una macchina fotografica contiene un condensatore che immagazzina l'energia necessaria per emettere il lampo di luce. In uno di questi dispositivi un condensatore di 850  $\mu$ F è caricato da una differenza di potenziale di 280 V.

► Calcola l'energia di un lampo di luce prodotto dal flash.  
 ► Assumendo che il lampo duri  $3,9 \cdot 10^{-3}$  s, calcola la potenza del flash.

[33 J; 8500 W]

**72** Un condensatore piano ha una capacità di 7,0  $\mu$ F quando è riempito di dielettrico. L'area di ciascuna armatura è 1,5 m<sup>2</sup> e la distanza fra le armature è  $1,0 \cdot 10^{-5}$  m.

► Calcola la costante dielettrica relativa del dielettrico inserito fra le armature.

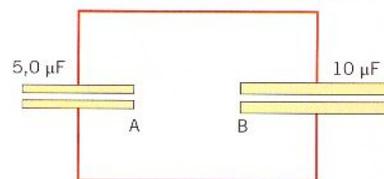
[5,3]

**73 PROBLEM SOLVING**

Due condensatori piani A e B hanno capacità rispettivamente pari a 5,0  $\mu$ F e a 10  $\mu$ F. Entrambi vengono caricati con la stessa carica iniziale  $q_i = 120$   $\mu$ C e poi collegati insieme, in modo che le armature positive siano a contatto tra loro e così pure le armature negative.

► Determina la carica presente sulle armature dei due condensatori nello stato finale di equilibrio.

► Quanto vale la differenza di potenziale finale presente sui condensatori?



**La soluzione**

- I due condensatori hanno capacità diverse, per cui, avendo la medesima carica iniziale, hanno anche differenze di potenziale iniziali diverse. Dalla formula  $q = CV$ , e quindi  $V = q/C$ , determiniamo queste differenze di potenziale:

$$V_{A,i} = \frac{q_i}{C_A} = \frac{120 \mu\text{C}}{5,0 \mu\text{F}} = 24 \text{ V}$$

$$V_{B,i} = \frac{q_i}{C_B} = \frac{120 \mu\text{C}}{10 \mu\text{F}} = 12 \text{ V}$$

Quando i due condensatori sono messi a contatto, le differenze di potenziale finali devono essere le stesse:

$$V_{A,f} = V_{B,f}$$

Ciò significa che parte della carica presente su un condensatore si trasferisce sull'altro e, poiché  $C_B = 2 C_A$ , dall'uguaglianza

$$V_{A,f} = \frac{q_{A,f}}{C_A} = V_{B,f} = \frac{q_{B,f}}{C_B}$$

si ricava

$$q_{B,f} = 2 q_{A,f} \quad \text{[a]}$$

Inoltre, collegando tra loro le armature dello stesso segno, la carica totale iniziale, pari a  $2q_i = 240 \mu\text{C}$ , si ridistribuisce e vale la relazione

$$q_{A,f} + q_{B,f} = 2 q_i \quad \text{[b]}$$

Sostituendo [a] in [b] si ottiene

$$q_{A,f} + 2 q_{A,f} = 2 q_i$$

da cui segue

$$q_{A,f} = \frac{2 q_i}{3} = \frac{240 \mu\text{C}}{3} = 80 \mu\text{C}$$

e quindi

$$q_{B,f} = 2 q_{A,f} = 160 \mu\text{C}$$

- La differenza di potenziale finale sui due condensatori è la stessa e vale:

$$V_{A,f} = V_{B,f} = \frac{q_{B,f}}{C_B} = \frac{160 \mu\text{C}}{10 \mu\text{F}} = 16 \text{ V}$$

- 74** **★★★** Fai riferimento all'esercizio precedente.  
 ► Determina l'energia dei due condensatori prima e dopo il collegamento.  
 ► L'energia si è conservata? Spiega.

[8,6 mJ; 1,92 mJ]

- 75** **★★★** Un condensatore è costituito da due gusci conduttori cilindrici e concentrici. Il raggio del guscio interno è  $2,35 \cdot 10^{-3}$  m, mentre quello del guscio esterno è  $2,50 \cdot 10^{-3}$  m. Quando i cilindri presentano cariche uguali e opposte, di intensità  $1,7 \cdot 10^{-10}$  C, il campo elettrico tra essi ha un'intensità media di  $4,2 \cdot 10^4$  V/m ed è diretto radialmente dal guscio interno a quello esterno.

- Determina la differenza di potenziale tra i due gusci cilindrici e la capacità del condensatore.

[6,3 V;  $2,7 \cdot 10^{-11}$  F]

- 76** **★★★** Fra le armature di un condensatore da  $3,3 \mu\text{F}$  viene immagazzinata energia sufficiente per far funzionare una lampadina da 75 W per 1 min.

- Qual è la differenza di potenziale fra le armature?

[ $5,2 \cdot 10^4$  V]

- 77** **★★★** Un condensatore piano vuoto è connesso ai terminali di una batteria da 9,0 V ed è caricato. Poi il condensatore viene disconnesso dalla batteria e la distanza fra le sue armature è raddoppiata.

- A seguito di questo cambiamento, qual è la nuova differenza di potenziale fra le armature?

[18 V]

**78 TROVA I DATI**

- ★★★** Le armature di un condensatore piano distano  $d = 2,0$  mm e hanno area  $A = 4,0$  cm<sup>2</sup>; il condensa-

tore viene riempito con del dielettrico costituito da uno strato di teflon. Alle armature viene applicata una differenza di potenziale di 100 V.

Determina:

- ▶ la capacità del condensatore;
- ▶ la carica depositata su ciascuna armatura;
- ▶ l'intensità del campo elettrico interno al condensatore.

$$[3,7 \text{ pF}; 3,7 \cdot 10^{-10} \text{ C}; 5,0 \cdot 10^4 \text{ V/m}]$$

**79** Un condensatore con capacità variabile fra  $C_{\min} = 50 \text{ pF}$  e  $C_{\max} = 950 \text{ pF}$  viene inizialmente posto al valore  $C_{\max}$  e connesso a una batteria da 400 mV. Successivamente, si isola il condensatore carico e lo si pone al valore  $C_{\min}$ .

Determina:

- ▶ la carica del condensatore;
- ▶ la differenza di potenziale fra le sue armature quando esso viene portato al valore  $C_{\min}$ ;
- ▶ l'energia da esso immagazzinata in queste ultime condizioni.

$$[3,8 \cdot 10^{-10} \text{ C}; 7,6 \text{ V}; 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ J}]$$

**80** Un condensatore formato da armature quadrate di lato 0,5 m poste a 4 mm di distanza, viene caricato con una ddp di 300 V. Una volta carico viene staccato dal generatore. Calcola:

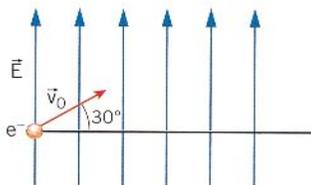
- ▶ l'energia immagazzinata nel condensatore;
- ▶ il lavoro necessario ad allontanare le armature fino a 10 mm.

$$[2,5 \cdot 10^{-5} \text{ J}; 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ J}]$$

**81** TROVA I DATI

★★★

Un elettrone è lanciato dentro il campo uniforme di un condensatore piano, di intensità  $5,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ . La direzione del campo è verticale rivolta verso l'alto. La velocità iniziale  $\vec{v}_0$  dell'elettrone forma un angolo di  $30^\circ$  sopra la direzione orizzontale e ha modulo pari a  $1,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ .



Determina:

- ▶ la massima quota raggiunta dall'elettrone rispetto alla sua posizione iniziale;
- ▶ dopo quale spostamento orizzontale, rispetto alla sua posizione iniziale, l'elettrone ritorna alla quota iniziale.

$$[1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}; 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}]$$

**82** TROVA I DATI

★★★

Un elettrone è lanciato con una velocità iniziale di modulo pari a  $1,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$  dentro il campo unifor-

me di un condensatore piano, le cui armature sono lunghe  $L = 2,0 \text{ cm}$  e distanti  $d = 1,0 \text{ cm}$ . La direzione del campo è verticale rivolta verso il basso. La posizione iniziale dell'elettrone coincide con il punto medio del segmento che separa i due piatti del condensatore e la sua velocità iniziale è orizzontale.

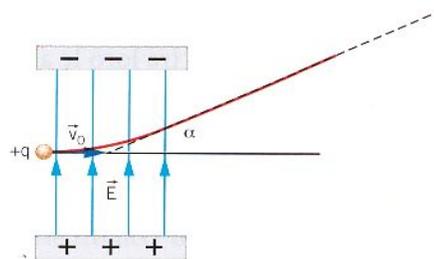
- ▶ Determina il valore che deve avere il campo elettrico, affinché l'elettrone fuoriesca dal condensatore alla fine del piatto superiore.

$$[\text{minore di } 1,4 \cdot 10^4 \text{ N/C}]$$

**83** SENZA DATI

★★★

Un particella di massa  $m$  e carica  $q$  positiva viene lanciata nel campo elettrico  $\vec{E}$  uniforme di un condensatore piano, in modo che la sua velocità iniziale  $\vec{v}_0$  risulti perpendicolare alle linee di campo. Le armature sono lunghe  $L$ . In uscita dal condensatore la tangente alla traiettoria forma un angolo  $\alpha$  con la direzione orizzontale.



- ▶ Esprimi la carica della particella in funzione delle altre grandezze del problema.

$$\left[ \frac{mv_0^2 \tan \alpha}{EL} \right]$$

**84**

★★★

Con un'attrezzatura da laboratorio didattico si vuole replicare l'esperimento di Thomson per misurare la carica specifica dell'elettrone. Fai riferimento al disegno riportato nel relativo paragrafo della teoria. I dati sperimentali sono i seguenti:

- lunghezza del condensatore  $l = 2,0 \text{ cm}$ ;
  - distanza orizzontale fra la fine del condensatore e lo schermo  $L = 8,0 \text{ cm}$ ;
  - campo elettrico  $E = 2,85 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ ;
  - deflessione verticale  $\overline{BC} = 1,0 \text{ mm}$ ;
  - velocità iniziale degli elettroni all'ingresso del condensatore  $v = 3,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ .
- ▶ Ricava il valore del rapporto  $e/m$  e confrontalo con quello che otterresti usando  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  e  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

$$[1,8 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}]$$

**85**

★★★

In un "esperimento alla Thomson", si utilizza un fascio di protoni anziché di elettroni. Fai riferimento al disegno riportato nel relativo paragrafo della teoria, con il verso del campo elettrico invertito. I dati sperimentali sono i seguenti:

- lunghezza del condensatore  $l = 2,0 \text{ cm}$ ;

- distanza orizzontale fra la fine del condensatore e lo schermo  $L = 8,0$  cm;
- campo elettrico  $E = 2,85 \cdot 10^3$  N/C;
- deflessione verticale  $\overline{BC} = 1,0$  mm;
- velocità iniziale dei protoni all'ingresso del condensatore  $v = 7,0 \cdot 10^5$  m/s.

- ▶ Ricava il valore della carica specifica del protone.
- ▶ Giustifica il risultato ottenuto, confrontandolo con il valore della carica specifica dell'elettrone.

$$[9,6 \cdot 10^7 \text{ C/kg}]$$

- 86** ★★★ Un condensatore piano vuoto ha capacità di  $3,2 \mu\text{F}$  ed è connesso a una batteria da  $12$  V. Una lastra di materiale dielettrico ( $\epsilon_r = 4,5$ ) è inserita fra le armature.

- ▶ Qual è la carica sulla superficie del dielettrico vicina a un'armatura del condensatore?

*Suggerimento:* la carica superficiale è uguale alla differenza di carica presente sulle armature con e senza il dielettrico.

$$[1,3 \cdot 10^{-4} \text{ C}]$$

- 87** ★★★ Un condensatore vuoto è connesso a una batteria da  $12$  V ed è caricato. Il condensatore è poi disconnesso dalla batteria e una lastra di dielettrico ( $\epsilon_r = 2,8$ ) è inserita fra le armature.

- ▶ Calcola la variazione del potenziale elettrico fra le armature. Specifica se la carica aumenta o diminuisce.

$$[7,7 \text{ V}]$$

## PROBLEMI FINALI

- 88** ★★★ Due cariche puntiformi rispettivamente di  $+3,40 \mu\text{C}$  e  $-6,10 \mu\text{C}$  distano fra loro  $1,2$  m.

- ▶ Qual è il potenziale elettrico nel loro punto medio?

$$[-4,05 \cdot 10^4 \text{ V}]$$

- 89** ★★★ Il lavoro compiuto dalla forza elettrica per spostare una carica dal punto  $A$  al punto  $B$  è  $2,70 \cdot 10^{-3}$  J. La differenza di potenziale fra i due punti è  $V_A - V_B = 50,0$  V.

- ▶ Calcola il valore della carica.

$$[5,40 \cdot 10^{-5} \text{ C}]$$

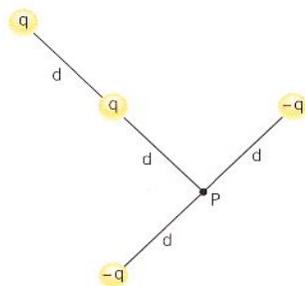
- 90** ★★★ L'energia potenziale elettrica immagazzinata nel condensatore di un defibrillatore è  $73$  J e la sua capacità è  $120 \mu\text{F}$ .

- ▶ Qual è la differenza di potenziale fra le armature del condensatore?

$$[1,1 \cdot 10^3 \text{ V}]$$

- 91** ★★★ La figura mostra quattro cariche puntiformi. È noto che  $d = 0,96$  m e  $q = 2,0 \mu\text{C}$ .

- ▶ Trova il potenziale totale nel punto  $P$  (assumi che il potenziale di una carica puntiforme sia uguale a zero all'infinito).



$$[-9,4 \cdot 10^3 \text{ V}]$$

- 92** ★★★ Due punti  $A$  e  $B$  distano  $0,016$  m. Il potenziale in  $A$  è  $+95$  V e in  $B$  è  $+28$  V.

- ▶ Determina l'intensità, la direzione e il verso del campo elettrico uniforme fra essi.

$$[4,2 \cdot 10^3 \text{ V/m, da A a B}]$$

- 93** ★★★ Il punto  $A$  si trova a  $0,15$  m da una carica di  $-2,1 \cdot 10^{-9}$  C. Il punto  $B$  si trova a  $0,50$  m dalla stessa carica.

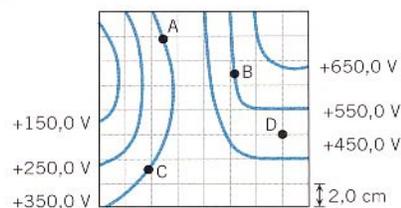
- ▶ Qual è la differenza di potenziale  $V_B - V_A$  tra questi due punti?

$$[88 \text{ V}]$$

### 94 LEGGI IL GRAFICO

- La figura mostra il grafico di un insieme di superfici equipotenziali viste in sezione trasversale. Ognuna è etichettata in base al suo potenziale elettrico. Una carica puntiforme di  $+2,8 \cdot 10^{-7}$  C viene posizionata nel punto  $A$ .

- ▶ Trova il lavoro che viene fatto sulla carica puntiforme dalla forza elettrica quando viene spostata da  $A$  a  $B$  e da  $A$  a  $C$ .



$$[-5,6 \cdot 10^{-5}; 0 \text{ J}]$$

- 95** ★★★ Due condensatori hanno la stessa distanza tra le armature, ma uno ha armature quadrate mentre l'altro ha armature circolari. Le armature quadrate hanno lato  $L$  e quelle circolari hanno diametro  $L$ . I condensatori hanno la stessa capacità perché contengono differenti materiali dielettrici. La costante dielettrica del materiale tra le armature quadrate ha un valore  $\epsilon_{\text{quadrato}} = 3,00$ .

- ▶ Qual è la costante dielettrica  $\epsilon_{\text{cerchio}}$  del materiale tra le armature circolari?

$$[3,82]$$