





## IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
2. Il potenziale elettrico e la differenza di potenziale	 ANIMAZIONE Il potenziale elettrico non dipende dalla carica di prova	1,5
	 ANIMAZIONE Spostamento spontaneo delle cariche	1,5
3. Le superfici equipotenziali	 ANIMAZIONE Superfici equipotenziali per una carica puntiforme	1
	 ANIMAZIONE Superfici equipotenziali per un campo elettrico puntiforme	1
4. Il calcolo del campo elettrico dal potenziale	 ESPERIMENTO VIRTUALE Potenziale al lavoro Gioca, misura, esercitati.	
 MAPPA INTERATTIVA	 IN 3 MINUTI · La differenza di potenziale elettrico 20 TEST INTERATTIVI SU <b>ZTE</b> CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»	

## VERSO IL CLIL

 FORMULAE IN ENGLISH

 AUDIO

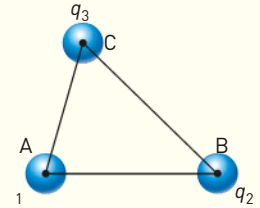
Electric potential	$V = \frac{U}{q_0}$	The electric potential at a point equals the ratio of the electric potential energy $U$ of a charged particle at that location to the charge $q_0$ of the particle.
Electric potential of a point charge	$V = k_0 \frac{q}{r}$	The electric potential created by a point charge equals the product of the proportionality constant $k_0$ , the charge $q$ and the reciprocal of the distance $r$ from the charge.
Electric potential energy	$U = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r}$	The electric or electrostatic potential energy of charge $q_1$ in the potential of charge $q_2$ is equal to the product of the reciprocal of four pi multiplied by the permittivity $\epsilon$ of the medium, the charges $q_1$ and $q_2$ , and the reciprocal of the separation distance $r$ of the point charges.

## PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

### 1 L'ENERGIA POTENZIALE ELETTRICA

#### PROBLEMA MODELLO 1 ENERGIA POTENZIALE ELETTRICA DI UN SISTEMA DI CARICHE

Tre cariche  $q_1 = 3,2 \text{ nC}$ ,  $q_2 = -2,7 \text{ nC}$ ,  $q_3 = 2,5 \text{ nC}$ , sono disposte nel vuoto e occupano, rispettivamente, i vertici di un triangolo ABC di lati  $AB = 4,5 \text{ cm}$ ,  $BC = 5,2 \text{ cm}$ ,  $AC = 3,8 \text{ cm}$ . Scegliamo lo zero dell'energia potenziale nella condizione in cui le cariche sono a distanza infinita tra loro.



- Determina l'energia potenziale  $U$  del sistema in questa configurazione.

#### ■ DATI

Valore delle tre cariche:  $q_1 = 3,2 \text{ nC}$   
 $q_2 = -2,7 \text{ nC}$   
 $q_3 = 2,5 \text{ nC}$   
 Lati del triangolo:  $\overline{AB} = 4,5 \text{ cm}$   
 $\overline{BC} = 5,2 \text{ cm}$   
 $\overline{AC} = 3,8 \text{ cm}$

#### ■ INCOGNITE

Energia potenziale elettrica:  $U = ?$

### L'IDEA

- L'energia potenziale di un sistema di cariche è data dalla somma delle energie potenziali che si ottengono scegliendo le cariche a coppie in tutti i modi possibili.

### LA SOLUZIONE

#### Determino l'energia potenziale del sistema di tre cariche.

Con la scelta dello zero indicata nel testo, l'energia potenziale del sistema formato da due cariche puntiformi è data dalla formula  $U_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$ , grazie alla quale si ricava:

$$U = U_{12} + U_{13} + U_{23} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{AB} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{AC} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{BC} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1 q_2}{AB} + \frac{q_1 q_3}{AC} + \frac{q_2 q_3}{BC} \right)$$

#### Sostituisco i valori numerici nella formula precedente.

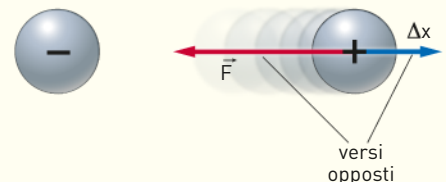
Ricordando che  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k_0 = 8,99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ , ottengo


$$U = 8,99 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \left( \frac{-8,6 \times 10^{-18}}{4,5 \times 10^{-2}} + \frac{8,0 \times 10^{-18}}{3,8 \times 10^{-2}} + \frac{-6,8 \times 10^{-18}}{5,2 \times 10^{-2}} \right) \frac{\text{C}^2}{\text{m}} =$$

$$= 8,99 \times 10^9 \times (-1,1 \times 10^{-16}) \text{ N} \cdot \text{m} = -9,9 \times 10^{-7} \text{ J}$$

### ATTENZIONE

- L'energia potenziale elettrica può essere negativa. Nel sistema formato da due cariche di segno opposto, quando una delle due è spostata all'infinito, la forza elettrica attrattiva ha verso opposto allo spostamento (figura a lato) e quindi il lavoro è negativo. Se invece le cariche hanno lo stesso segno, forza e spostamento sono concordi, per cui il lavoro e l'energia potenziale hanno segno positivo.



**6**  Two point-like charges are in the vacuum at a distance of 25 cm from each other. The electrostatic potential energy of the system is  $-8.6 \times 10^{-8}$  J.  $Q_1$  has a charge of  $3.0 \times 10^{-9}$  C.

▶ Calculate  $Q_2$ .


[ $-8.0 \times 10^{-10}$  C]

**7** Due cariche  $q_1 = 5,0$  nC,  $q_2 = 6,0$  nC sono nel vuoto ad una distanza  $AB = (1,0 + x)$  m. Per ottenere un'energia potenziale del sistema pari a  $1,0 \times 10^{-7}$  J,

▶ quanto deve valere  $x$ ?


[1,7 m]

## 2 IL POTENZIALE ELETTRICO E LA DIFFERENZA DI POTENZIALE

**21**  Due cariche  $q_1 = 4,0 \times 10^{-8}$  C e  $q_2 = -4,0 \times 10^{-8}$  C sono poste nel vuoto agli estremi di un segmento lungo 30 cm. Calcola il valore del potenziale elettrico:

- ▶ in un punto del segmento che dista 10 cm dalla carica  $q_1$ .
- ▶ nel punto medio del segmento.
- ▶ in un punto del segmento che dista 10 cm dalla carica  $q_2$ .

[ $1,8 \times 10^3$  V; 0 V;  $-1,8 \times 10^3$  V]

**22**  Il valore del potenziale elettrico generato nel vuoto da una carica elettrica in un punto P alla distanza di 6,0 m è di  $4,2 \times 10^2$  V. Calcola:

- ▶ l'intensità del vettore campo elettrico nel punto P.
- ▶ il valore della carica che genera il campo elettrico.
- ▶ la distanza alla quale una carica di valore doppio genererebbe lo stesso valore di potenziale.

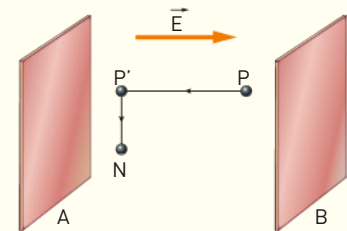
[70 V/m;  $2,8 \times 10^{-7}$  C; 12 m]

## 3 LE SUPERFICI EQUIPOTENZIALI

### PROBLEMA MODELLO 4 CHE FORMA HANNO LE SUPERFICI EQUIPOTENZIALI?

Tra due lastre A e B, considerate infinite e uniformemente cariche, c'è un campo elettrico uniforme di intensità  $E = 1,5 \times 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . Una carica  $q = 1,0 \times 10^{-9}$  C si sposta dal punto P al punto N lungo la traiettoria indicata nella figura. La distanza tra i punti P e P' è di 4,0 cm, mentre la distanza tra P' e N è 2,0 cm.

- ▶ Determina la forma delle superfici equipotenziali che passano per i punti P, P' e N.
- ▶ Calcola il lavoro che occorre compiere per trasportare la carica  $q$ .



#### ■ DATI

Intensità del campo elettrico tra le lastre:

$$E = 1,5 \times 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Valore della carica:  $q = 1,0 \times 10^{-9}$  C

Distanza tra i punti P e P': 4,0 cm

Distanza tra i punti P' e N 2,0 cm

#### ■ INCOGNITE

Forma delle superfici equipotenziali?

Lavoro per trasportare la carica  $q$  da P a N:  $W=?$

### L'IDEA

- La simmetria del sistema impone che il campo elettrico sia diretto perpendicolarmente alle lastre nella regione di spazio interna ad esse. Questo significa che nel portare la carica da P' a N, il lavoro compiuto dalla forza elettrica è nullo. I punti P' e N sono quindi allo stesso potenziale e questo vale per tutti i punti del piano, perpendicolare alle linee di campo, di cui essi fanno parte. Le superfici equipotenziali quindi sono piani paralleli alle lastre.
- Per calcolare il lavoro per spostare la carica  $q$  da P a N, conviene sommare il lavoro per spostare la carica da P a P' a quello (nullo) per spostare la carica da P' a N.

- La carica all'inizio è ferma in P e alla fine è ferma in P'. Occorre dunque applicare prima una forza superiore a quella elettrica e diretta da P a P', in modo che la carica inizi a muoversi verso P'. Poi si può applicare una forza uguale e opposta a quella elettrica; così, per il primo principio della dinamica, la carica continua a spostarsi verso P' a velocità costante. Infine si deve fare in modo che la forza applicata sia minore di quella elettrica, per avere un'accelerazione rivolta verso P che permette di arrestare la carica in P'.

Poiché in un caso del genere calcolare il lavoro totale compiuto può essere complicato, immaginiamo di:

- fare muovere la carica con una velocità bassissima, applicando per un tratto molto breve una forza di poco maggiore di quella elettrica;
- fermare la carica allo stesso modo, facendo agire una forza appena più piccola di quella elettrica per una distanza trascurabile.

In questo modo, la forza che trascina la carica è *praticamente* sempre uguale e opposta alla forza elettrica che agisce sulla carica stessa e il lavoro si può calcolare agevolmente come il modulo della forza per la lunghezza dello spostamento.

## LA SOLUZIONE

### Calcolo il lavoro compiuto dalla forza elettrica per spostare la carica dal punto P al punto N.

$$W_{P \rightarrow N} = W_{P \rightarrow P'} + W_{P' \rightarrow N}$$

$$W_{P' \rightarrow N} = 0$$

$$W_{P \rightarrow N} = W_{P \rightarrow P'} = \vec{F} \cdot \Delta \vec{l} = q\vec{E} \cdot \Delta \vec{l} = qE\Delta l$$

### Sostituisco i dati numerici.

$$W_{P \rightarrow P'} = (1,0 \times 10^{-9} \text{ C}) \times (1,5 \times 10^5 \text{ V/m}) \times (4,0 \times 10^{-2} \text{ m}) = 6,0 \times 10^{-6} \text{ J}$$

$$\text{dove } \Delta l = PP' = 4,0 \times 10^{-2} \text{ m}$$

- 32** **★★★** Una carica puntiforme  $q = 5,0 \times 10^{-8} \text{ C}$  è posta nel vuoto. Considera la superficie sferica, centrata in  $q$ , di raggio  $r = 10 \text{ m}$ .

- ▶ Che valore assume il potenziale per tutti i punti della superficie considerata?

[45 V]

- 33** **★★★** Una carica  $q = -1,0 \times 10^{-8} \text{ C}$ , avente massa  $m = 2,0 \times 10^{-6} \text{ kg}$ , è posta con velocità  $v_0$  all'interno del campo elettrico generato da una carica puntiforme  $Q = -q$  in modo da allontanarsi da essa. Inizialmente la distanza fra le due cariche, nel vuoto, è  $d = 10 \text{ cm}$  e la carica  $q$  si muove in direzione radiale rispetto alla carica  $Q$ .

- ▶ Quale deve essere il valore di  $v_0$  per permettere alla carica  $q$  di sfuggire all'attrazione elettrostatica della carica  $Q$ ?

[3,0 m/s]

## 4 LA DEDUZIONE DEL CAMPO ELETTRICO DAL POTENZIALE

- 41** **★★★** Due punti A e B interni a un campo elettrico uniforme di intensità  $8,0 \times 10^4 \text{ N/C}$  si trovano sulla stessa linea di campo e distano tra loro 30 cm. Una carica positiva di valore  $3,0 \times 10^{-10} \text{ C}$  si sposta, per effetto del campo, tra questi due punti. Calcola:

- ▶ la differenza di potenziale tra il punto finale e il punto iniziale.
- ▶ il lavoro compiuto dalle forze del campo per spostare la carica dal punto A al punto B.

$[-2,4 \times 10^4 \text{ V}; -7,2 \times 10^{-6} \text{ J}]$

- 42** **★★★** Nel vuoto un piano indefinito e uniformemente carico ha una densità di carica superficiale pari a  $\sigma = 17,7 \times 10^{-11} \text{ C/m}^2$ . Nel piano viene praticato un foro circolare di raggio  $R = 1,0 \text{ cm}$ . Il campo elettrico  $E_d(x)$  generato lungo l'asse perpendicolare a un disco di raggio  $r$ , uniformemente carico con densità di carica superficiale  $\sigma_d$ , è dato da  $E_d(x) = \frac{\sigma_d}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + r^2}}\right)$ .

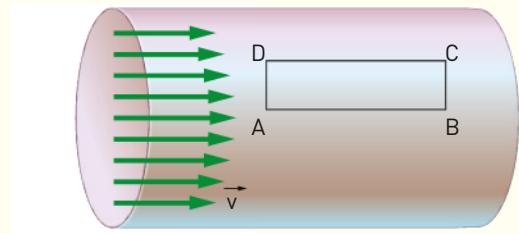
- ▶ Ricava il valore del campo elettrico sulla perpendicolare al piano passante per il centro del foro a 10 cm di distanza.

[10 V/m]

## 5 LA CIRCUITAZIONE DEL CAMPO ELETTROSTATICO

**55** **★★★** La velocità dell'acqua che scorre in un tubo cresce man mano che ci avviciniamo all'asse del tubo, allontanandoci dalle pareti, per effetto della viscosità. Nella figura che segue, il valore della velocità sul lato  $\overline{AB}$  è  $v_1 = 50 \text{ cm/s}$ , quello sul lato  $\overline{CD}$  è  $v_2 = 30 \text{ cm/s}$ . Le dimensioni del rettangolo sono  $\overline{AB} = 20 \text{ mm}$ ,  $\overline{CD} = 5,0 \text{ mm}$ .

► Calcola la circuitazione di  $\vec{v}$  lungo il rettangolo.



$[4,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}]$

## PROBLEMI GENERALI

**7** **★★★** In un punto A, a distanza  $r_A = 30 \text{ cm}$  da una carica  $q$ , il potenziale elettrico vale  $2,5 \times 10^4 \text{ V}$ . Nel punto B, sulla stessa linea di campo di A, ma a distanza  $r_B$  dalla stessa carica, il potenziale vale  $6,5 \times 10^3 \text{ V}$ .

► Calcola la distanza tra i punti A e B.

**Suggerimento:** indica con  $\Delta r = r_B - r_A$  la distanza fra A e B e dalla formula del potenziale in A e in B ricava le espressioni della carica  $q$ , che dunque puoi uguagliare.

$[0,85 \text{ m}]$

**8** **★★★** Una pallina di massa  $8 \times 10^{-3} \text{ kg}$  e carica  $q = 4 \times 10^{-9} \text{ C}$ , inizialmente ferma all'interno di un campo elettrico, viene messa in moto e si sposta da un punto A con potenziale  $V_A = 2 \text{ V}$  fino a un punto B con potenziale nullo e alla stessa quota di A.

► Calcola la velocità acquistata dalla pallina.

$[1,4 \times 10^{-3} \text{ m/s}]$

**9** **★★★** Sulla superficie di una sfera cava, disposta nel vuoto, di carica totale  $Q = 1,0 \times 10^{-8} \text{ C}$  e raggio  $R = 10 \text{ cm}$ , è praticato un piccolo foro da cui è libera di fuoriuscire una carica puntiforme di massa  $m = 1,0 \times 10^{-8} \text{ kg}$  e  $q = -5,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ .

- Calcola la densità di carica  $\sigma$  della superficie sferica.
- Determina il campo elettrico  $E$  e l'espressione del potenziale  $V$  all'interno della superficie sferica quando non è presente al suo interno la carica  $q$ .
- Calcola la velocità di fuga  $v_0$  che bisogna imprimere alla carica  $q$  per sfuggire all'attrazione elettrica della superficie sferica.

$$\left[ \sigma = 8,0 \times 10^{-8} \text{ C/m}^2; E = 0 \text{ N/C}; V = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 R}; v_0 = 30 \text{ m/s} \right]$$

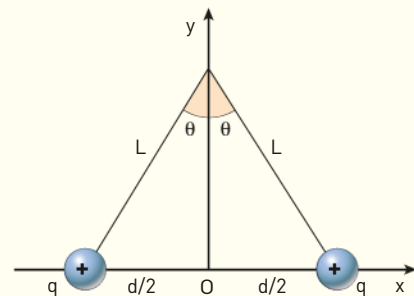
**10** **★★★** Una carica puntiforme  $q = 1,0 \times 10^{-10} \text{ C}$  è al centro di una sfera, di raggio  $R = 10 \text{ cm}$ , con densità volumica di carica uniforme  $\rho = -8,0 \times 10^{-8} \text{ C/m}^3$ .

► Esiste un punto interno o esterno alla sfera dove il campo complessivo  $\vec{E}$  ha valore nullo?

$[\text{internamente } r = 6,7 \text{ cm}]$

**11** **★★★** Due palline, ciascuna di massa  $m = 2,0 \text{ g}$  sono appese a un unico punto posto sull'asse verticale delle  $y$  di un sistema di riferimento cartesiano, tramite due fili inestensibili di massa trascurabile e lunghi  $L$ . Ogni pallina ha una carica positiva  $q = 7,5 \times 10^{-7} \text{ C}$ . Il sistema è in equilibrio con le palline separate da una distanza  $d$  diretta lungo l'asse delle  $x$ . L'angolo tra il lato  $L$  e l'asse delle  $y$  nella situazione d'equilibrio vale  $\theta = 0,25 \text{ rad}$ . Il sistema è immerso nel vuoto e puoi trascurare ogni tipo d'attrito.

► Determina i valori di  $L$  e  $d$ .



$[2,0 \text{ m}; 1,0 \text{ m}]$

## TEST

- 7 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** zero.  
**B** il doppio del potenziale dovuto ad ogni singola carica.  
**C** tende all'infinito.  
**D** la metà del potenziale dovuto ad ogni singola carica.

Test di ammissione Biotechnologie 2012/2013

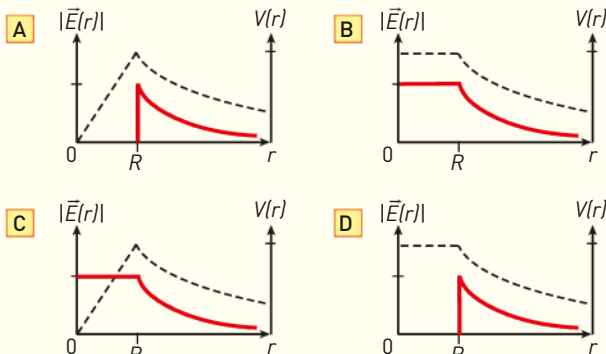
- 8 Gli squali sono dotati di organi in grado di rilevare debolissimi campi elettrici, sino a valori di  $1 \mu\text{V/m}$ . A che distanza dovremmo porre due piani conduttori paralleli a cui applichiamo una differenza di potenziale di  $1,5 \text{ mV}$  per avere campi elettrici dell'ordine di quelli rilevati da uno squalo?
- A**  $1,5 \text{ km}$   
**B**  $1,5 \text{ m}$   
**C**  $1,5 \text{ mm}$   
**D**  $15 \mu\text{m}$   
**E**  $1,5 \mu\text{m}$

Test di ammissione Veterinaria Biotechnologie 2010/2011

- 9 Which of the following is a correct unit of potential difference (voltage)?
- A** amp per ohm  
**B** coulomb per joule  
**C** joule per second  
**D** newton per coulomb  
**E** watt per amp

BioMedical Admission Test BMAT - 2009

- 10 Consider a thin spherical shell of radius  $R$  with its centre at the origin, carrying uniform positive surface charge density. The variation of the magnitude of the electric field  $|E(r)|$  and the electric potential  $V(r)$  with the distance  $r$  from the centre, is best represented by which graph?



Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) - 2012

- 11 Which of the following statement(s) is/are correct?
- A** If the electric field due to a point charge varies as  $r^{25}$  instead of  $r^2$ , then the Gauss law will still be valid.  
**B** The Gauss law can be used to calculate the field distribution around an electric dipole.  
**C** If the electric field between two point charges is zero somewhere, then the sign of the two charges is the same.  
**D** The work done by external force in moving a unit positive charge from point A at potential  $V_A$  to point B at potential  $V_B$  is  $(V_B - V_A)$ .

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) - 2011

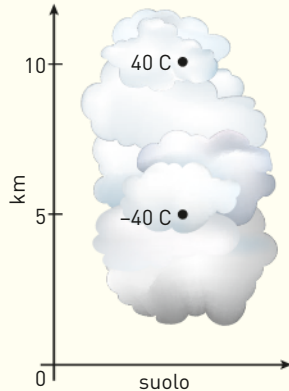
- 12 L'energia potenziale di un sistema formato da due cariche puntiformi poste a distanza  $r$ , definita secondo la convenzione usuale, dipende da  $1/r$  con una proporzionalità:
- A** inversa.  
**B** diretta.  
**C** quadratica.  
**D** quadratica inversa.
- 13 Un cartello su una recinzione metallica reca la scritta "pericolo: alta tensione". Quali tra le seguenti sono affermazioni sbagliate? (Più di una risposta è giusta)
- A** Attorno alla recinzione c'è un campo elettrico.  
**B** La circuitazione del campo elettrico lungo il filo della recinzione è zero.  
**C** Vi è pericolo solo se si tocca la parte alta della recinzione.  
**D** Vi è una elevata differenza di potenziale elettrico tra la rete e il terreno.

- 14 Il potenziale elettrico in un punto posto a distanza  $d$  da una carica puntiforme  $q$  e occupato da una seconda carica  $Q$ , secondo la convenzione usuale, è espresso dalla relazione:
- A**  $V(d) = q/4\pi\epsilon d$   
**B**  $V(d) = Q/4\pi\epsilon d$   
**C**  $V(d) = Q/4\pi\epsilon d^2$   
**D**  $V(d) = q/4\pi\epsilon d^2$

- 15 Nell'origine di un sistema di riferimento OXY è posta, nel vuoto, una carica  $q = +1,4 \times 10^{-6} \text{ C}$ . Il potenziale elettrico in un punto P di coordinate (4,0 cm; 2,0 cm) vale:
- A**  $5,6 \times 10^2 \text{ V}$   
**B**  $2,8 \times 10^3 \text{ V}$   
**C**  $3,1 \times 10^3 \text{ V}$   
**D**  $2,8 \times 10^5 \text{ V}$

**16** Un modello meteorologico schematizza una nube temporalesca attraverso due cariche. Il potenziale in un punto che si trova sulla verticale delle due cariche, come indicato nella figura, a distanza 7,5 km dal suolo, vale:

- A 0 V
- B  $1,4 \times 10^8$  V
- C  $2,9 \times 10^8$  V
- D  $2,9 \times 10^{11}$  V



**17** La definizione corretta dell'unità di misura volt è:

- A  $1 \text{ V} = 1 \text{ N/C}$
- B  $1 \text{ V} = 1 \text{ N/J}$
- C  $1 \text{ V} = 1 \text{ C/J}$
- D  $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$

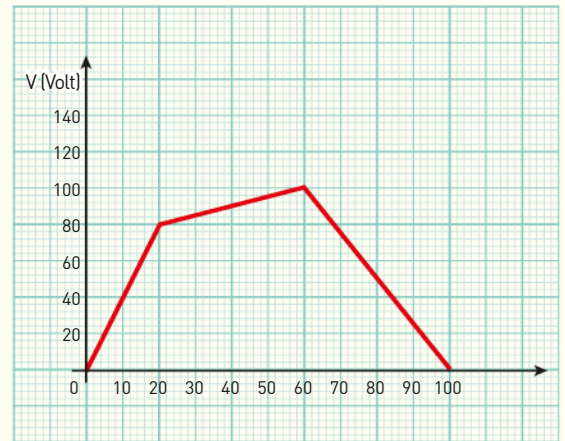
**18** Una carica negativa lasciata libera da ferma in un punto P di un campo elettrico, accelera verso il punto Q sotto l'azione della forza elettrica. Puoi concludere che:

- A  $V_P - V_Q > 0$
- B  $V_P - V_Q < 0$
- C  $V_P - V_Q \geq 0$
- D  $V_P - V_Q \leq 0$

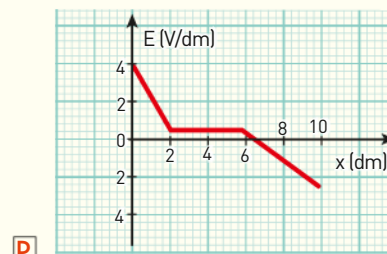
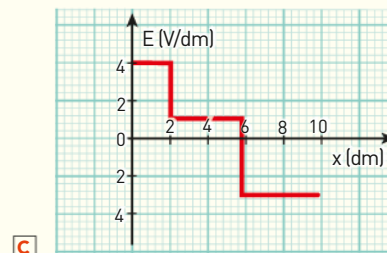
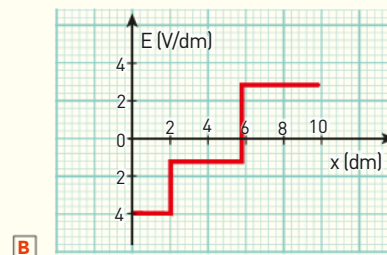
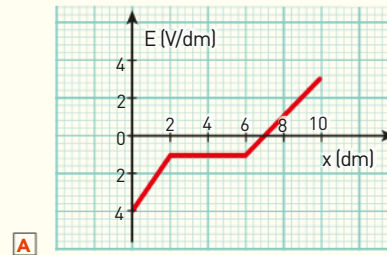
**19** Ai vertici di un triangolo equilatero sono poste tre cariche elettriche puntiformi uguali. Il potenziale elettrico nel centro del triangolo è:

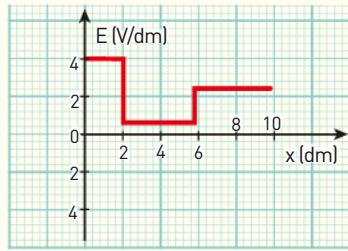
- A direttamente proporzionale alla lunghezza del lato del triangolo.
- B direttamente proporzionale al prodotto delle cariche.
- C uguale al triplo del potenziale generato nel centro da ognuna delle tre cariche.
- D nullo, perché i potenziali determinati da ciascuna carica nel centro del triangolo sono nulli.

**20** Il grafico visualizza l'andamento del potenziale elettrico in funzione della distanza.



Quale, tra i grafici seguenti, esprime la variazione del campo elettrico in funzione della distanza?





E

21 L'intensità del vettore campo elettrico in un punto dello spazio può essere determinata con l'espressione:

A  $E = + \frac{\Delta s}{\Delta V}$

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

C  $E = +\Delta V \times \Delta s$

D  $E = -\Delta V \times \Delta s$

22 Considera un campo vettoriale  $\vec{a}$  e indica con  $\Delta \vec{s}_j$  il vettore spostamento lungo il tratto numero  $j$  infinitesimo di una curva chiusa orientata qualsiasi. La circuitazione  $\Gamma$  di  $\vec{a}$  lungo questa curva è definita come:

A  $\Gamma(\vec{a}) = \sum_j a_j \cdot \Delta s_j$

B  $\Gamma(\vec{a}) = \sum_j \vec{a}_j \cdot \Delta \vec{s}_j$

C  $\Gamma(\vec{a}) = \sum_j a_j \cdot \Delta \vec{s}_j$

D  $\Gamma(\vec{a}) = \sum_j \Delta \vec{a}_j \cdot \Delta \vec{s}_j$

23 In un campo vettoriale la circuitazione è calcolata lungo:

A una curva qualsiasi.

B una curva orientata qualsiasi.

C una curva chiusa.

D una curva chiusa e orientata.