Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

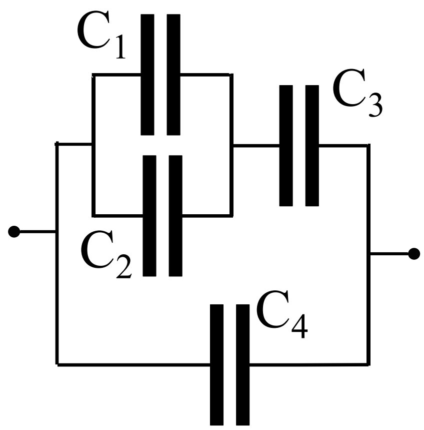
9 Novembre 2018

Elettromagnetismo - I parziale - Compito A

Esercizi:

1) Tre cariche identiche di valore $Q = 4\,\mu$C si trovano ai vertici di un triangolo equilatero di lato $L = 50$ cm. Determinare:
a) la forza che agisce su ognuna delle cariche in un opportuno sistema di riferimento.
b) la carica Q' che è possibile mettere nel centro geometrico del triangolo affinché la forza agente sulle cariche sia nulla.
c) Il momento di dipolo $\vec{\mathbf{p}}$ del sistema quando al centro si colloca una carica $Q" = -3Q$ al posto della carica Q'.

2) Un circuito ha 4 condensatori uguali di capacità $C = 10$ nF ed è collegato ad un generatore di ddp di tensione ignota ε non mostrato in figura. Sapendo che sul condensatore 1 è presente una carica $q_1 = 2\,\mu$C, determinare:
a) la capacità equivalente C_{eq} del sistema;
b) la tensione ε erogata dal generatore;
c) l'energia complessivamente immagazzinata nei condensatori.



3) In una certa regione di spazio vi è un campo elettrico $\vec{\mathbf{E}}$ il cui potenziale può essere espresso da $V(x, y, z) = \alpha xy$. Si determini il flusso di $\vec{\mathbf{E}}$ attraverso la superficie ABCD definita da A(0,0,0), B(0,L,0), C(0,L,L) e D(0,0,L), con L e α costanti note.

Domande:

1) Spiegare quali caratteristiche dei fenomeni elettrostatici sono alla base della legge di Gauss.
2) Discutere l'equazione di conservazione della carica elettrica.
3) Dimostrare il principio di sovrapposizione per i potenziali elettrostatici.

Avvertenze: non è consentito consultare libri, appunti, compagni né avere in aula cellulari accesi o spenti. Le risposte e le soluzioni devono essere espresse in termini dei simboli e dei dati specificati nel testo. Negli esercizi occorre spiegare i passi principali che conducono alle soluzioni.
Nel caso servano, si usino i valori $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ C^2/(Nm^2) *e* $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2

Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

9 Novembre 2018

Compito A - Soluzioni

Esercizio 1:
1) Tre cariche identiche di valore $Q = 4\,\mu$C si trovano ai vertici di un triangolo equilatero di lato $L = 50\,$cm. Determinare:
a) la forza che agisce su ognuna delle cariche in un opportuno sistema di riferimento.
b) la carica Q' che è possibile mettere nel centro geometrico del triangolo affinché la forza agente sulle cariche sia nulla.
c) Il momento di dipolo $\vec{\mathbf{p}}$ del sistema quando al centro si colloca una carica $Q" = -3Q$ al posto della carica Q'.

Soluzione: a) Scegliamo un sistema di riferimento dove i tre vertici del triangolo equilatero, indicati con A, B e C, sono collocati in A$(0,0)$, B$(L,0)$ e C$(L/2, \sqrt{3}L/2)$. Le forze sulle tre cariche saranno ovviamente uguali in modulo, ma dirette in direzioni diverse. Poiché le cariche poste ai vertici sono tra loro uguali vi sarà una perfetta simmetria tra le tre forze che saranno dirette in direzioni che formano un angolo di 120° tra loro. Consideriamo ad esempio la forza che agisce su C. É data dalla somma della forza $\vec{\mathbf{F}}_{AC}$ (forza che A esercita su C) e della forza $\vec{\mathbf{F}}_{BC}$ (forza che B esercita su C). Ognuna di esse ha come retta di azione la retta passante per le due cariche coinvolte e hanno modulo uguale. Per simmetria, le componenti x delle due forze sono uguali in valore assoluto, ma opposte in segno e quindi la forza risultante $\vec{\mathbf{F}}_C = \vec{\mathbf{F}}_{AC} + \vec{\mathbf{F}}_{BC}$ ha componente x nulla ed è quindi diretta parallelamente all'asse y, lungo la retta s che contiene l'altezza, la mediana e la bisettrice passanti per C. Le componenti y delle due forze sono positive e uguali. Sapendo che l'angolo tra la retta s e il prolungamento dei lati AC e BC è di 30°, ogni componente y si scrive come:

$$F_{AC,y} = F_{BC,y} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{L^2}\cos 30 = \frac{\sqrt{3}}{8\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{L^2}$$

da cui:

$$\vec{\mathbf{F}}_C = \vec{\mathbf{F}}_{AC} + \vec{\mathbf{F}}_{BC} = 2F_{AC,y}\hat{\mathbf{j}} = \frac{\sqrt{3}}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{L^2}\hat{\mathbf{j}} = 0,978\,\mathrm{N}\hat{\mathbf{j}}.$$

b) il centro geometrico del triangolo equilatero corrisponde ad un punto che si trova lungo uno degli assi di simmetria del triangolo ad una distanza dai lati pari a 1/3 dell'altezza e quindi a distanza dai vertici pari a 2/3 dell'altezza. Nel triangolo equilatero i vari "'centri"' che si possono definire (baricentro, ortocentro, incentro, circocentro) corrispondono tutti allo stesso punto. Nel sistema di riferimento definito il centro è il punto D$(L/2, \frac{\sqrt{3}}{6}L)$. Se in questo punto collochiamo una carica Q' essa produrrà una forza addizionale su ognuna delle tre cariche ai vertici, di modulo uguale su ognuna di esse e dipendente dalla distanza d tra il centro e il vertice. Tale distanza vale $d = |DC| = 2\frac{\sqrt{3}}{6}L = L/\sqrt{3}$. La forza addizionale su C è quindi:

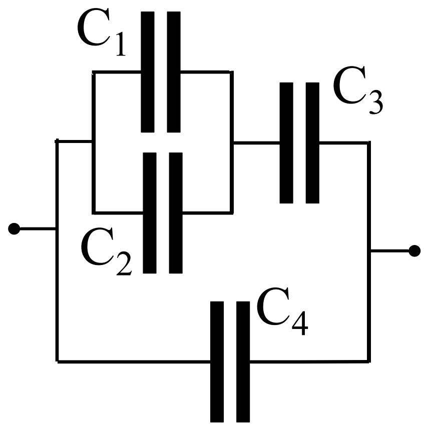
$$\vec{\mathbf{F}}_{DC} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{QQ'}{d^2}\hat{\mathbf{j}} = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{QQ'}{L^2}\hat{\mathbf{j}}\,.$$

Richiedendo che la forza complessiva su C sia nulla, $\vec{\mathbf{F}}_C + \vec{\mathbf{F}}_{DC} = \mathbf{0}$, si trova $Q' = -Q/\sqrt{3} = -2,31\,\mu$C.
c) Collochiamo ora una carica $Q" = -3Q$ al posto della carica Q'. Il sistema ora avrà una carica nulla ed è simmetrico per una rotazione di 120° attorno al punto D. La stessa simmetria dovrà essere posseduta dal momento di dipolo elettrico del sistema $\vec{\mathbf{p}} = \sum q_i\vec{\mathbf{r}}_i$. L'unico vettore con tale grado di simmetria è il vettore nullo: $\vec{\mathbf{p}} = \mathbf{0}$. Questa è la strada più breve per rispondere alla domanda.

In alternativa si può sfruttare la definizione del momento di dipolo elettrico arrivando allo stesso risultato: $\vec{\mathbf{p}} = \sum q_i\vec{\mathbf{r}}_i = Q\vec{\mathbf{r}}_A + Q\vec{\mathbf{r}}_B + Q\vec{\mathbf{r}}_C + (-3Q)\vec{\mathbf{r}}_D = Q[\mathbf{0} + L\hat{\mathbf{i}} + (\frac{L}{2}\hat{\mathbf{i}} + \frac{\sqrt{3}}{2}\hat{\mathbf{j}}) - 3(\frac{L}{2}\hat{\mathbf{i}} + \frac{\sqrt{3}}{4}\hat{\mathbf{j}})] = \mathbf{0}$.

Esercizio 2:

2) Un circuito ha 4 condensatori uguali di capacità $C = 10\,\text{nF}$ ed è collegato ad un generatore di ddp di tensione ignota ε non mostrato in figura. Sapendo che sul condensatore 1 è presente una carica $q_1 = 2\,\mu\text{C}$, determinare:
a) la capacità equivalente C_{eq} del sistema;
b) la tensione ε erogata dal generatore;
c) l'energia complessivamente immagazzinata nei condensatori.



Soluzione: a) Osserviamo che il condensatore 1 e il condensatore 2 sono in parallelo. La loro capacità equivalente è $C_{12} = C_1 + C_2 = 2C$. Il condensatore equivalente C_{12} e il condensatore 3 sono in serie. La loro capacità equivalente è $C_{123} = C_{12}C_3/(C_{12} + C_3) = \frac{2}{3}C$. Il condensatore equivalente 123 e il condensatore 4 sono in parallelo. La loro capacità equivalente vale $C_{eq} = C_{123} + C_4 = \frac{5}{3}C = 16.7\,\mu\text{F}$.
b) Osserviamo che poichè sul condensatore 1 c'è una carica q_1 e i condensatori 1 e 2 sono uguali e in parallelo (alimentati dalla stessa differenza di potenziale) allora sul condensatore 2 vi sarà la stessa carica: $q_2 = q_1$. Sul condensatore equivalente 12 vi sarà quindi una carica totale pari a $q_{12} = q_1 + q_2 = 2q_1$. Poichè C_{12} è in serie con C_3, essi dovranno avere la stessa carica: $q_3 = q_{12} = 2q_1$. Questa sarà ovviamente anche la carica sul condensatore equivalente 123: $q_{123} = q_3 = 2q_1$. Poichè questa carica è dovuta alla tensione erogata dal generatore ne consegue che da $C_{123} = q_{123}/\varepsilon$, si trova $\varepsilon = q_{123}/C_{123} = 2q_1/(2/3C) = 3q_1/C = 600\,\text{V}$.
c) L'energia immagazzinata nei 4 condensatori è uguale a quella immagazzinata nel condensatore equivalente. Si trova quindi $U = \frac{1}{2}C_{eq}\varepsilon^2 = \frac{1}{2}\frac{5}{3}C(3q_1/C)^2 = \frac{15}{2}\frac{q_1^2}{C} = 3\,\text{mJ}$.

Esercizio 3:
3) In una certa regione di spazio vi è un campo elettrico $\vec{\mathbf{E}}$ il cui potenziale può essere espresso da $V(x, y, z) = \alpha xy$. Si determini il flusso di $\vec{\mathbf{E}}$ attraverso la superficie ABCD definita da A(0,0,0), B(0,L,0), C(0,L,L) e D(0,0,L), con L e α costanti note.

Soluzione: Il flusso è dato da $\Phi_\Sigma(\vec{\mathbf{E}}) = \int_\Sigma \vec{\mathbf{E}} \cdot \hat{\mathbf{n}}\,\mathrm{d}S$, con $\vec{\mathbf{E}}$ campo elettrico, Σ l'area su cui calcolare il flusso e $\hat{\mathbf{n}}$ l'orientazione di tale area. Dato il potenziale V, il campo elettrico è dato da:

$$\vec{\mathbf{E}} = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{\mathbf{i}} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{\mathbf{j}} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{\mathbf{k}}\right) = -\alpha(y\hat{\mathbf{i}} + x\hat{\mathbf{j}})$$

Per come è definita la superficie Σ essa è aperta, ha la forma di un quadrato di lato L e giace nel piano $x = 0$ (tutti i punti A, B, C e D hanno coordinata x nulla). Ne consegue che è possibile orientarla scegliendo come normali a tale superficie $\hat{\mathbf{n}} = \hat{\mathbf{i}}$ o $\hat{\mathbf{n}} = -\hat{\mathbf{i}}$. Scegliamo arbitrariamente $\hat{\mathbf{n}} = \hat{\mathbf{i}}$. L'argomento dell'integrale del flusso vale quindi $\vec{\mathbf{E}} \cdot \hat{\mathbf{n}} = -\alpha y$. Si trova quindi:

$$\Phi_\Sigma(\vec{\mathbf{E}}) = \int_\Sigma \vec{\mathbf{E}} \cdot \hat{\mathbf{n}}\,\mathrm{d}S = \int_0^L \int_0^L (-\alpha y)\,\mathrm{d}y\mathrm{d}z = -\alpha L \int_0^L y\,\mathrm{d}y = -\frac{\alpha}{3}L^3\,.$$

Se avessimo scelto $\hat{\mathbf{n}} = -\hat{\mathbf{i}}$ avremmo ottenuto $\Phi_\Sigma(\vec{\mathbf{E}}) = \frac{\alpha}{3}L^3$, soluzione altrettanto valida.

Domande:

1) Spiegare quali caratteristiche dei fenomeni elettrostatici sono alla base della legge di Gauss.

Risposta minimale: la dimostrazione della legge di Gauss sfrutta il fatto che il campo elettrostatico da carica puntiforme è radiale, dipende dalla distanza come $|\vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}})| \propto \frac{1}{r^2}$ e che il campo elettrostatico soddisfa il principio di sovrapposizione: $\vec{\mathbf{E}} = \sum_i \vec{\mathbf{E}}_i$. Presa quindi una superficie infinitesima orientata arbitraria $\overrightarrow{\mathrm{d}\mathbf{S}}$, il flusso del campo elettrico di carica puntiforme è proporzionale all'angolo solido sotteso da tale superficie: $\mathrm{d}\Phi(\vec{\mathbf{E}}) \propto \mathrm{d}\Omega$, senza ulteriori dipendenze dalla distanza.

2) Discutere l'equazione di conservazione della carica elettrica.

Risposta minimale: Data una superficie chiusa Σ al cui interno è presente una carica $Q(t)$, se essa varia nel tempo è per la presenza di una corrente $i(t)$ che attraversa la superficie. Detta $i(t)$ la corrente uscente, in formule si ha: $\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = -i(t)$.

(*si può completare la risposta minimale dicendo:*) Tale relazione è la forma macroscopica della legge di conservazione della carica elettrica. La sua forma microscopica mette in relazione la densità volumetrica di carica $\rho(t)$ con la densità di corrente $\vec{\mathbf{J}}(t)$: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{\mathbf{J}} = 0$.

3) Dimostrare il principio di sovrapposizione per i potenziali elettrostatici.
Risposta minimale: Se in una regione di spazio sono presenti n campi elettrici $\vec{\mathbf{E}}_i$ a cui è possibile associare i potenziali $V_i = -\int \vec{\mathbf{E}}_i \cdot \mathrm{d}\vec{\mathbf{l}}$, si osserva che il potenziale del campo totale $\vec{\mathbf{E}} = \sum_i \vec{\mathbf{E}}_i$ vale:

$$V = -\int \vec{\mathbf{E}} \cdot \mathrm{d}\vec{\mathbf{l}} = -\int (\sum_i \vec{\mathbf{E}}_i) \cdot \mathrm{d}\vec{\mathbf{l}} = \sum_i \left(-\int \vec{\mathbf{E}}_i \cdot \mathrm{d}\vec{\mathbf{l}}\right) = \sum_i V_i\,.$$

Il principio di sovrapposizione per il potenziale, $V = \sum_i V_i$, discende quindi dal principio di sovrapposizione per il campo eletrico ($\vec{\mathbf{E}} = \sum_i \vec{\mathbf{E}}_i$).

Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

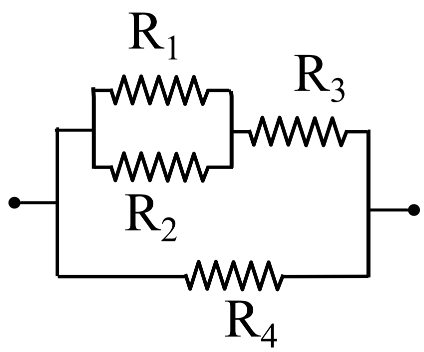
9 Novembre 2018

Elettromagnetismo - I parziale - Compito B

Esercizi:

1) Un tubo cilindrico di altezza infinita ha un raggio interno di $R_i = 3\,\text{mm}$ e raggio esterno $R_e = 2R_i$. Sapendo che il tubo è costituito da materiale avente una densità di carica volumetrica $\rho(\vec{\mathbf{r}}) = Ar$, con $A = 1\,\mu\text{C/mm}^4$ e r distanza dall'asse del tubo, e che il suo interno è vuoto, determinare:
a) il modulo del campo elettrico in tutto lo spazio;
b) La densità lineare di carica λ che appare esserci, quando il tubo è osservato da grande distanza rispetto alle sue dimensioni trasverse e quindi è indistinguibile da un filo uniformemente carico.

2) Un circuito ha 4 resistori uguali di resistenza $R = 150\,\Omega$ ed è collegato ad un generatore di ddp di tensione ignota ε e di resistenza interna trascurabile, non mostrato in figura. Sapendo che il resistore 1 è attraversato da una corrente $i_1 = 2\,\text{mA}$, determinare:
a) la resistenza equivalente R_{eq} del sistema;
b) la tensione ε erogata dal generatore;
c) la potenza complessivamente dissipata sulle resistenze.



3) In una certa regione di spazio vi è un campo elettrico $\vec{\mathbf{E}}$ il cui potenziale può essere espresso da $V(x, y, z) = \alpha(x^2 + z^2)$. Si determini la carica Q presente all'interno di un cubo di lato L con un vertice nell'origine e tre spigoli giacenti nelle direzioni positive degli assi coordinati.

Domande:

1) Discutere brevemente le caratteristiche del campo elettrostatico.
2) Definire la pressione elettrostatica e fare qualche esempio.
3) Derivare la legge di Ohm microscopica a partire dalla prima e seconda legge di Ohm.

Avvertenze: non è consentito consultare libri, appunti, compagni né avere in aula cellulari accesi o spenti. Le risposte e le soluzioni devono essere espresse in termini dei simboli e dei dati specificati nel testo. Negli esercizi occorre spiegare i passi principali che conducono alle soluzioni.
Nel caso servano, si usino i valori $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\ \text{C}^2/(\text{Nm}^2)$ *e* $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \text{N/A}^2$

Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

9 Novembre 2018

Elettromagnetismo - Compito B - Soluzioni

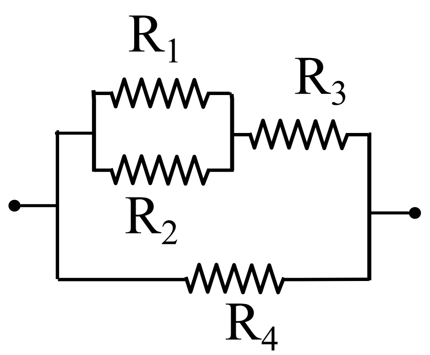
Esercizio 1:

1) Un tubo cilindrico di altezza infinita ha un raggio interno di $R_i = 3\,\mathrm{mm}$ e raggio esterno $R_e = 2R_i$. Sapendo che il tubo è costituito da materiale avente una densità di carica volumetrica $\rho(\vec{\mathbf{r}}) = Ar$, con $A = 1\,\mu\mathrm{C/mm}^4$ e r distanza dall'asse del tubo, e che il suo interno è vuoto, determinare:
a) il modulo del campo elettrico in tutto lo spazio;
b) La densità lineare di carica λ che appare esserci, quando il tubo è osservato da grande distanza rispetto alle sue dimensioni trasverse e quindi è indistinguibile da un filo uniformemente carico.

Soluzione: a) il problema si risolve sfruttando la simmetria cilindrica del sistema e la legge di Gauss. Considerando tre superfici di Gauss cilindriche di raggio r, altezza h e asse coincidente con l'asse del filo, si trova:
per $r < R_i$, non c'è carica nel cilindro di Gauss e quindi $\vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}}) = \mathbf{0}$
per $R_i < r < R_e$, svolgendo i calcoli si trova: $\vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}}) = \frac{A}{3\varepsilon_0 r}(r^3 - R_i^3)\hat{\mathbf{r}}$, con $\hat{\mathbf{r}}$ versore perpendicolare all'asse del cilindro (versore radiale)
per $r > R_e$, svolgendo i calcoli si trova che la carica Q racchiusa nel cilindro di Gauss non dipende dal raggio del cilindro: $\vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}}) = \frac{7AR_i^3}{3\varepsilon_0 r}\hat{\mathbf{r}}$

b) Sapendo che il campo del filo ha modulo $|\vec{\mathbf{E}}| = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$, uguagliando questo a quanto trovato per $r > R_e$, si trova $\lambda = \frac{14}{3}\pi A R_i^3 = 0,396 mC/m$.

Esercizio 2:



2) Un circuito ha 4 resistori uguali di resistenza $R = 150\,\Omega$ ed è collegato ad un generatore di ddp di tensione ignota ε e di resistenza interna trascurabile, non mostrato in figura. Sapendo che il resistore 1 è attraversato da una corrente $i_1 = 2\,\mathrm{mA}$, determinare:
a) la resistenza equivalente R_{eq} del sistema;
b) la tensione ε erogata dal generatore;
c) la potenza complessivamente dissipata sulle resistenze.

Soluzione: a) Osserviamo che il resistore 1 e il resistore 2 sono in parallelo. La loro resistenza equivalente è $R_{12} = R_1 R_2/(R_1 + R_2) = R/2$. Il resistore equivalente R_{12} e il resistore 3 sono in serie. La loro resistenza equivalente è $R_{123} = R_{12} + R_3 = \frac{3}{2}R$. Il resistore equivalente 123 e il resistore 4 sono in parallelo. La loro resistenza equivalente vale $R_{eq} = R_{123}R_4/(R_{123} + R_4) = \frac{3}{5}R = 90\,\Omega$.
b) Osserviamo che poichè nel resistore 1 scorre una corrente i_1 e i resistori 1 e 2 sono uguali e in parallelo (alimentati dalla stessa differenza di potenziale) allora nel resistore 2 vi sarà la stessa corrente: $i_2 = i_1$. Nel resistore equivalente 12 vi scorrerà quindi una corrente totale pari a $i_{12} = i_1 + i_2 = 2i_1$. Poichè R_{12} è in serie con R_3, essi dovranno avere la stessa corrente: $i_3 = i_{12} = 2i_1$. Questa sarà ovviamente anche la corrente nel resistore equivalente 123: $i_{123} = i_3 = 2i_1$. Poichè questa corrente è dovuta alla tensione erogata dal generatore ne consegue che $\varepsilon = R_{123}i_{123} = \frac{3}{2}R2i_1 = 3Ri_1 = 0,9\,\mathrm{V}$.

c) La potenza dissipata nei 4 resistori è uguale a quella dissipata nel resistore equivalente. Si trova quindi $P = \varepsilon^2/R_{eq} = 9R^2 i_1^2/(\frac{3}{5}R) = 15Ri_1^2 = 9\,\mathrm{mW}$.

Esercizio 3: 3) In una certa regione di spazio vi è un campo elettrico $\vec{\mathbf{E}}$ il cui potenziale può essere espresso da $V(x, y, z) = \alpha(x^2 + z^2)$. Si determini la carica Q presente all'interno di un cubo di lato L con un vertice nell'origine e tre spigoli giacenti nelle direzioni positive degli assi coordinati.

Soluzione: Usiamo la legge di Gauss differenziale per trovare la densità locale di carica elettrica: $\rho(\vec{\mathbf{r}}) = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{\mathbf{E}}$. Il campo elettrico $\vec{\mathbf{E}}$ è calcolabile a partire dal potenziale: $\vec{\mathbf{E}} = -\nabla V$, da cui:

$$\vec{\mathbf{E}} = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{\mathbf{i}} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{\mathbf{j}} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{\mathbf{k}}\right) = -\alpha(2x\hat{\mathbf{i}} + 2z\hat{\mathbf{k}})$$

e quindi $\rho(\vec{\mathbf{r}}) = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{\mathbf{E}} = -\alpha\varepsilon_0 \left(\frac{\partial(2x)}{\partial x} + \frac{\partial 2z}{\partial z}\right) = -4\alpha\varepsilon_0$. La carica cercata vale quindi $Q = \int_{Vol} \rho dv$, integrata sul volume del cubo. Si osservi che questa densità di carica è uniforme e non dipende quindi dalla posizione. In questo caso, la carica racchiusa nel cubo è calcolabile come $Q = \rho Vol = -4\alpha\varepsilon_0 L^3$.

Si può risolvere l'esercizio anche sfruttando la legge di Gauss, ma questo modo richiedeva di calcolare il flusso del campo elettrico sulle sei facce del cubo, facendo attenzione alle direzioni delle normali. Ne risulta una procedura più lunga e più prona ad errori.

Domande:

1) Discutere brevemente le caratteristiche del campo elettrostatico.

Risposta minimale: Il campo elettrostatico è generato da cariche elettriche; tale campo è posizionale e conservativo ($\nabla \wedge \vec{\mathbf{E}} = zerov$) e soddisfa la legge di Gauss ($\nabla \cdot \vec{\mathbf{E}} = \rho/\varepsilon_0$). Ne consegue che in generale è un campo che soddisfa il principio di sovrapposizione, è in generale continuo, tranne in prossimità di densità superficiali di carica.

2) Definire la pressione elettrostatica e fare qualche esempio.

Risposta minimale: La pressione elettrostatica si esercita su superfici metalliche in presenza di campo elettrico. La sua espressione è $p_e = \varepsilon_0 E^2/2$ e coincide con la densità di energia elettrostatica u_E. Questa pressione dà origine ad una forza che è rivolta verso l'esterno delle superfici metalliche. Un esempio è quello che avviene nel condensatore a facce piane e parallele, dove la forza che agisce su ogni armatura è in modulo pari a $F = S p_e$, con S superficie dell'armatura ed è rivolta verso l'altra armatura.

3) Derivare la legge di Ohm microscopica a partire dalla prima e seconda legge di Ohm.
Risposta minimale: Con un ovvio significato dei simboli, da $V = RI$ e $R = \rho_R L/S$, considerando un resistore infinitesimo per cui $\mathrm{d}V = R\mathrm{d}I$ e $R = \rho_R \mathrm{d}L/\mathrm{d}S$, sapendo che $\mathrm{d}V = E\mathrm{d}L$ e che $\mathrm{d}I = J\,\mathrm{d}S$, si trova sostituendo: $\mathrm{d}V = E\mathrm{d}L = (\rho_R \mathrm{d}L/\mathrm{d}S)(J\,\mathrm{d}S) = \rho_R J\,\mathrm{d}L$ e quindi $E = \rho_R J$, che nella sua forma vettoriale, $\vec{\mathbf{E}} = \rho_R \vec{\mathbf{J}}$ è la legge di Ohm microscopica.