

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

27 Ottobre 2016

## Primo Parziale Elettromagnetismo - Compito A

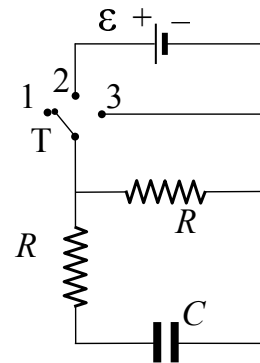
### Esercizi:

1) Si consideri un filo infinitamente lungo, a sezione circolare di raggio  $R = 0,2$  mm, dotato di una densità volumetrica di carica, dipendente dalla distanza  $r$  con l'asse del cilindro, data da  $\rho(r) = kr^2$ , con  $k = 1 \text{ C/m}^5$ . Si determini:

- Il campo elettrostatico  $\vec{E}(r)$  sia dentro che fuori dal filo;
- Il potenziale  $V(r)$  sia dentro che fuori dal filo assumendo come punto di normalizzazione del potenziale un punto generico sulla superficie del filo ( $r_0 = R$ ,  $V(r_0) = 0 \text{ V}$ );
- La forza che agisce su una carica di prova  $q = 10^{-6} \text{ C}$  posta ad una distanza  $L = 0,5$  m dal filo.

2) Nel circuito di figura, dove  $\varepsilon = 12 \text{ V}$ ,  $R = 30\Omega$ ,  $C = 15 \mu\text{F}$ , il tasto T è inizialmente nella posizione 1. Al tempo  $t = 0 \text{ s}$  il tasto passa nella posizione 2. Determinare:

- la corrente che si instaura per  $t = 0$ ;
- la corrente di regime a tempi lunghi ( $I(t)$  per  $t \rightarrow +\infty$ );
- se ad un certo punto, in regime di corrente pressochè costante, il tasto T passa in posizione 3, determinare l'energia totale dissipata per effetto joule sulle due resistenze.



3) Sia dato il campo  $\vec{E}(x, y, z) = \alpha (yz\hat{i} + xz\hat{j} + xy\hat{k})$ .

- Tale campo può rappresentare un campo elettrostatico? Motivare la risposta.
- Trovare il flusso uscente di tale campo da una superficie sferica di raggio  $R$  centrata nell'origine.

### Domande:

- Discutere le proprietà dei condensatori, illustrandole con qualche esempio.
- Spiegare la legge di conservazione della carica elettrica.
- Spiegare il principio di funzionamento dei generatori di tensione continua.

*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  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

27 Ottobre 2016

## Primo Parziale Elettromagnetismo - Compito B

### Esercizi:

1) Si consideri un piano infinito dotato di spessore  $d = 1$  mm, collocato in un sistema di riferimento  $Oxyz$  in modo da essere parallelo al piano  $x = 0$  con le facce collocate in  $x = 0$  e  $x = d$ . Tale piano è dotato di una densità volumetrica di carica pari a  $\rho(x, y, z) = \rho_0 x/d$ , con  $\rho_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C/m}^3$ . Si determini:

a) la densità superficiale di carica elettrica (apparente) quando si osserva il piano a distanze  $D \gg d$ ;

b) Il campo elettrostatico  $\vec{E}(\vec{r})$  per  $x < 0$  e per  $x > d$ ;

c) La superficie  $f(x, y, z)$  per cui risulta  $\vec{E}(\vec{r}) = \mathbf{0}$ ;

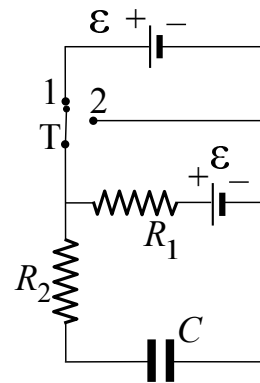
d) La forza che agisce su una carica di prova  $q = 10^{-6} \text{ C}$  posta ad una distanza  $L = 20d$  dalla superficie.

2) Nel circuito di figura, dove  $\varepsilon = 24 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = R = 15 \Omega$ ,  $C = 30 \mu\text{F}$ , il tasto T è inizialmente nella posizione 1. Al tempo  $t = 0 \text{ s}$  il tasto passa nella posizione 2. Determinare:

a) la corrente che circola nel circuito per  $t < 0$ ;

b) la carica presente nel condensatore per  $t < 0$ ;

c) l'energia dissipata nella resistenza  $R_2$  a partire dal momento in cui il tasto viene messo in posizione 2 ( $t \in [0, +\infty]$ ).



3) Sia dato il campo  $\vec{E}(x, y, z) = \alpha (y\hat{i} + x\hat{j} + z\hat{k})$ .

a) Tale campo può rappresentare un campo elettrostatico? Motivare la risposta.

b) Trovare il flusso di tale campo passante attraverso una superficie quadrata di vertici  $A(0,0,0)$ ,  $B(L,0,0)$ ,  $C(L,0,L)$  e  $D(0,0,L)$ .

### Domande:

1) Discutere le leggi di Ohm, illustrandole con qualche esempio.

2) Discutere l'energia elettrostatica immagazzinata in una distribuzione di cariche continue.

3) Discutere, con qualche esempio pratico, la legge di Gauss.

*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  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$*

## Soluzioni Elettromagnetismo A - 27/10/16

### Testo 1): Soluzione:

a) Tramite la legge di Gauss su un cilindretto coassiale al filo, si trova:

$$|\vec{\mathbf{E}}(r)| = \frac{kr^3}{4\epsilon_0} \quad \text{per} \quad r < R,$$
$$|\vec{\mathbf{E}}(r)| = \frac{kR^4}{4\epsilon_0 r} \quad \text{per} \quad r > R.$$

b) Tramite la definizione di potenziale, si ha:

$$V(r) = - \int_R^r \vec{\mathbf{E}}(r) \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \frac{k}{16\epsilon_0} (R^4 - r^4) \quad \text{per} \quad r < R,$$
$$V(r) = -\frac{kR^4}{4\epsilon_0} \ln r/R \quad \text{per} \quad r > R.$$

c)  $\vec{\mathbf{F}} = q\vec{\mathbf{E}}(L)\hat{\mathbf{u}}_r = \frac{qkL^3}{4\epsilon_0}\hat{\mathbf{u}}_r$ ;  $|\vec{\mathbf{F}}| = 3,53 \text{ kN}$ .

### Testo 2) Soluzione:

a) Per  $t = 0$ , nel transitorio, la capacità non ha influenza sulla conduzione. Il circuito presenta due resistenze in parallelo di resistenza equivalente  $R_{eq} = R/2$ . La corrente che si instaura è quindi  $I(0) = \epsilon/R_{eq} = 0,8 \text{ A}$ .

b) Per tempi lunghi la capacità blocca la conduzione in un ramo. Ne consegue che il generatore vede una resistenza equivalente alla sola altra resistenza:  $R_{eq} = R$ . Da cui  $I(+\infty) = \epsilon/R_{eq} = 0,4 \text{ A}$ .

c) A tempi lunghi la capacità è completamente carica e ai suoi capi vi è una  $\Delta V$  pari a  $\epsilon$ . L'energia immagazzinata vale  $U = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2 = \frac{1}{2}C\epsilon^2$ . Quando il tasto viene messo in posizione 3, staccando il generatore, il circuito diventa un semplice circuito RC (con R doppia) dove tutta l'energia immagazzinata nel condensatore viene dissipata per effetto Joule sulle due resistenze:  $\Delta E = \frac{1}{2}C\epsilon^2 = 1,08 \text{ mJ}$ .

### Testo 3) Soluzione:

a) Sì, in quanto  $\nabla \times \vec{\mathbf{E}} = \mathbf{0}$ , o equivalentemente, sì, perché il campo può essere ottenuto dal potenziale  $V(x, y, z) = -\alpha xyz$ .

b) Piuttosto che usare il calcolo del flusso a partire dalla sua definizione, poiché non vi è una simmetria sferica usabile per  $\vec{\mathbf{E}}$ , conviene passare per il teorema di Gauss, calcolando la carica all'interno della sfera. Si trova che la densità di carica, in tutto lo spazio, vale  $\rho(x, y, z) = \epsilon_0 \nabla \cdot \vec{\mathbf{E}} = 0$ . Ne consegue che la carica dentro la superficie sferica di raggio  $R$  è nulla e quindi, per il teorema di Gauss:

$$\Phi_S(\vec{\mathbf{E}}) = Q^{int}/\epsilon_0 = 0$$

## Soluzioni Elettromagnetismo B - 27/10/16

### Testo 1): Soluzione:

a)  $\sigma = \int_0^d \rho(x, y, z) dx = (\rho_0/d) \int_0^d x dx = \rho_0 d/2 = 1 \mu\text{C}/\text{m}^2.$

b)  $\vec{E}(x) = \sigma/(2\epsilon_0)\hat{i} = \rho_0 d/(4\epsilon_0)\hat{i}$  per  $x > d$  e  $\vec{E}(x) = -\sigma/(2\epsilon_0)\hat{i} = -\rho_0 d/(4\epsilon_0)\hat{i}$  per  $x < 0$ ;

c) Il campo elettrostatico ha solo la componente  $x$  diversa da zero sempre. Poiché non vi sono superfici cariche, ma densità volumetriche di carica, tale componente sarà continua per ogni  $x$ . Da  $\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon_0$ , si trova per  $0 < x < d$ :

$$\frac{dE_x}{dx} = \frac{\rho_0}{\epsilon_0 d} x \Rightarrow E_x(x) = \frac{\rho_0}{2\epsilon_0 d} x^2 + kost$$

Imponendo la continuità del campo per  $x = 0$  o per  $x = d$  si trova  $kost = -\rho_0 d/(4\epsilon_0)$ . Si ha quindi per  $0 < x < d$ :

$$\vec{E}(x) = E_x(x)\hat{i} = \frac{\rho_0 d}{4\epsilon_0} \left( \frac{2x^2}{d^2} - 1 \right) \hat{i}$$

Il campo risulta nullo per  $x = d/\sqrt{2} = 0,707$  mm.

d)  $F = qE = q\rho_0 d/(4\epsilon_0) = 56,5$  mN.

### Testo 2): Soluzione:

a) per  $t < 0$  non circola corrente in quanto i due generatori sono uguali e collegati in modo da non fornire una fem diversa da zero in nessuna maglia.

b) Sul condensatore vi è una carica pari a  $Q = C\epsilon = 0,72$  mC.

c) Quando il tasto viene speso su 2, si isola un generatore e l'altro inizia a far circolare corrente. Tale corrente circola principalmente in R1 e nel tasto, non in R2 e in C (la resistenza del tasto T nulla...). Ai capi del ramo contenente R2 e C vi è potenziale nullo a regime e quindi la capacità si scarica. Ancora una volta la corrente di scarica passa principalmente in R2 e nel ramo del tasto (di resistenza nulla) e quindi l'intera energia immagazzinata viene dissipata sulla resistenza R2:  $E = \frac{1}{2}C\epsilon^2 = 8,64$  mJ.

### Testo 3): Soluzione:

a) Sì, in quanto  $\nabla \times \vec{E} = \mathbf{0}$ , o equivalentemente, sì, perché il campo può essere ottenuto dal potenziale  $V(x, y, z) = -\alpha(xy + z^2/2)$ .

b) Scelta la normale alla superficie come  $\hat{j}$ , si ha:

$$\Phi_S(\vec{E}) = \int \vec{E} \cdot \hat{j} dS = \int E_y dx dz = \alpha L^3/2.$$

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

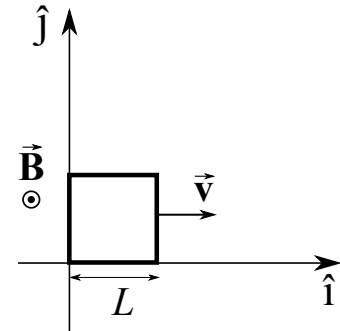
CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

22 Dicembre 2016

## Secondo Parziale Elettromagnetismo - Compito A

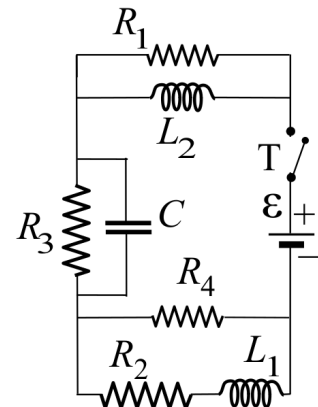
### Esercizi:

1) In un piano orizzontale, descritto in un opportuno sistema di riferimento inerziale  $Oxyz$  dall'equazione  $z = 0$ , è presente un campo magnetico  $\vec{\mathbf{B}}(x, y, z) = (B_0 - Ax)\hat{\mathbf{k}}$ , con  $B_0 = 0,2 \text{ T}$  e  $A = 0,12 \text{ T/m}$ . Una spira metallica quadrata  $S$ , di lato  $L = 30 \text{ cm}$  e resistenza  $R = 4 \cdot 10^{-3} \Omega$ , inizialmente posizionata come in figura, all'istante  $t = 0 \text{ s}$  viene messa in moto, con velocità costante  $\vec{\mathbf{v}} = 0,4\hat{\mathbf{i}} \text{ (m/s)}$ . Calcolare, all'istante  $\bar{t} = 2 \text{ s}$ :



- il flusso di campo magnetico,  $\phi_S(\vec{\mathbf{B}})$ , concatenato con il circuito;
- la corrente  $I$  indotta nella spira;
- la forza esterna,  $\vec{\mathbf{F}}^{(\text{est})}$ , in modulo, direzione e verso, che mantiene la spira a velocità costante.

2) Sia dato il circuito in figura, dove le resistenze valgono  $R_i = 5 \Omega$ , la forza elettromotrice  $\varepsilon = 10 \text{ V}$ , le capacità  $C_i = 10^{-7} \text{ F}$  e le induttanze  $L_i = 3 \text{ mH}$ . L'interruttore  $T$  è inizialmente nella posizione di chiuso e il sistema è a regime stazionario. Calcolare: a) la corrente che circola nelle 4 resistenze; b) l'energia  $\Delta E$  immagazzinata nel sistema.



A un certo istante  $t = 0 \text{ s}$ , l'interruttore  $T$  passa nella posizione di aperto. Calcolare: c) il valore della corrente su  $L_1$  dopo  $\bar{t} = 10^{-5} \text{ s}$  dall'apertura del circuito; d) la potenza dissipata su  $R_3$  a  $t \rightarrow +\infty$  (dopo l'apertura).

3) Sia dato il campo  $\vec{\mathbf{B}}(x, y, z) = \alpha(y\hat{\mathbf{i}} - x\hat{\mathbf{j}})$ .

- Tale campo può rappresentare un campo magnetostatico? Motivare la risposta.
- In caso di risposta affermativa, trovare la densità di corrente che produce tale campo.

### Domande:

- Discutere le proprietà delle induttanze, illustrandole con qualche esempio.
- Spiegare le leggi di Laplace.
- Fornire qualche esempio di applicazione della legge di Faraday-Neumann.

*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  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

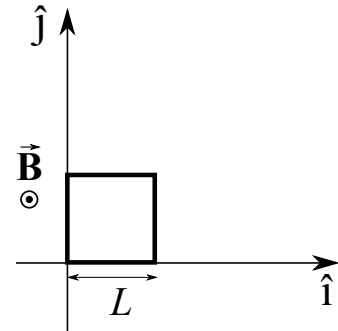
CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

22 Dicembre 2016

## Secondo Parziale Elettromagnetismo - Compito B

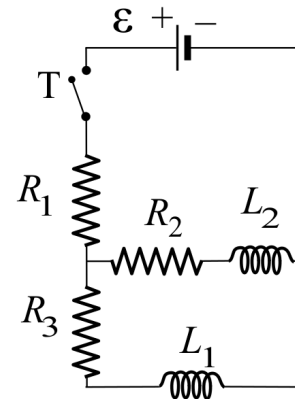
### Esercizi:

1) In un piano orizzontale, descritto in un opportuno sistema di riferimento inerziale  $Oxyz$  dall'equazione  $z = 0$ , è presente un campo magnetico  $\vec{B}(x, y, z) = (B_0 + Ay)\hat{k}$ , con  $B_0 = 0,5 \text{ T}$  e  $A = 0,34 \text{ T/m}$ . Una spira metallica quadrata, di lato  $L = 15 \text{ cm}$ , resistenza  $R = 8 \cdot 10^{-2} \Omega$  e massa  $m = 80 \text{ g}$ , inizialmente ferma e posizionata come in figura, è percorsa da una corrente  $I = 3 \text{ A}$  che circola in senso antiorario. All'istante  $t = 0 \text{ s}$  viene lasciata libera di muoversi. Calcolare:



- la forza,  $\vec{F}$ , in modulo direzione e verso, che la mette in moto;
- la forza elettromotrice,  $\mathcal{E}$ , indotta nella spira all'inizio del movimento;
- la direzione della corrente,  $i_{\text{ind}}$ , indotta nella spira.

2) Nel circuito mostrato in figura sono noti la f.e.m.  $\mathcal{E} = 100 \text{ V}$ , le induttanze  $L_1 = L_2 = 2 \text{ H}$  e le resistenze  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $R_3 = 30 \Omega$ . Calcolare:



- il valore delle correnti che circolano sulle resistenze  $R_1$  e  $R_2$  nelle seguenti condizioni:
  - immediatamente dopo la chiusura dell'interruttore T;
  - a regime con l'interruttore T chiuso;
  - immediatamente dopo l'apertura dell'interruttore T;
- l'energia dissipata su  $R_2$  dopo che l'interruttore è stato aperto.

3) In una regione di spazio vuota è presente solamente un campo magnetico  $\vec{B}(x, y, z) = \alpha (x\hat{i} + f(x, y, z)\hat{j} + A\hat{k})$ .

- Specificare al meglio possibile la funzione  $f(x, y, z)$ .
- Trovare le dimensioni delle costanti  $\alpha$  e  $A$ .

### Domande:

- Discutere la legge di Ampere - Maxwell, illustrandola con qualche esempio.
- Discutere l'energia magnetostatica in presenza di un insieme di correnti elettriche.
- Discutere, con qualche esempio pratico, la legge di Lenz.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$*

## Soluzioni Elettromagnetismo A - 22/12/16

### Testo 1): Soluzione:

a) Indicato con  $x_A(t)$  la posizione del vertice del quadrato che si trova inizialmente nell'origine e con  $x_B(t)$  la posizione dell'altro vertice sull'asse delle  $x$ , si ha che  $x_A(t) = vt$  e  $x_B(t) = L + vt$ . Il flusso vale

$$\Phi_S(\vec{\mathbf{B}}, t) = \int_S \vec{\mathbf{B}}(t) \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dx dy = \int_{x_A}^{x_B} \int_0^L (B_0 - Ax) \, dx dy = [B_0 L - Ax^2/2]_{x_A}^{x_B} = B_0 L^2 - AL^3/2 - AL^2 vt,$$

con  $\hat{\mathbf{n}}$  una normale alla spira che prendiamo pari a  $\hat{\mathbf{n}} = \hat{\mathbf{k}}$ . Per  $\bar{t} = 2$  s, il flusso di campo magnetico vale:  $\Phi_S(\vec{\mathbf{B}}, \bar{t}) = 7,74 \cdot 10^{-3} \text{ Tm}^2$ .

b) Dalla legge di Faraday-Neumann si trova prima la forza elettromotrice indotta  $\varepsilon$  e poi, tramite la legge di Ohm, la corrente  $I$ :

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_S(\vec{\mathbf{B}}, t)}{dt} = AL^2 v; \quad I = \varepsilon/R = \frac{AL^2 v}{R} = 1,08 \text{ A}$$

Per la scelta della normale al piano, si è definito il verso della circuitazione del campo elettrico che è ovviamente un circuitazione in senso antiorario per chi guarda la figura. La corrente così calcolata, risultata positiva, sta circolando anche lei in senso antiorario per chi guarda la figura.

c) Il campo magnetico non è uniforme e quindi si può avere una forza magnetica non nulla che agisce sulla spira, calcolabile attraverso la seconda legge di Laplace. Vi è una forza su ogni lato della spira, ma le due forze sui lati diretti lungo  $x$  risultano opposte: per ogni elemento di filo  $dx$  su un lato, vi è un uguale elemento  $dx$  sull'altro lato che si trova immerso nello stesso campo magnetico, ma è dotato di corrente che circola in senso opposto. La forza magnetica totale sarà quindi data dai contributi dei lati diretti come l'asse  $y$ . Si ha quindi:

$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{mag}} = \int Id\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{B}}(x_B) + \int Id\vec{\mathbf{l}} \times \vec{\mathbf{B}}(x_A) = -ILB(x_A)\hat{\mathbf{i}} + ILB(x_B)\hat{\mathbf{i}} = -IL^2 A \hat{\mathbf{i}} = -A^2 L^4 v/R \hat{\mathbf{i}}$$

Questa forza, in direzione opposta alla velocità, si oppone al moto della spira (legge di Lenz). Per fare in modo che la velocità rimanga costante durante il moto, occorre che dall'esterno si abbia una forza esterna aggiuntiva che annulli tale forza. Si ha quindi:

$$\vec{\mathbf{F}}^{(est)} = -\vec{\mathbf{F}}_{\text{mag}} = A^2 L^4 v/R \hat{\mathbf{i}}$$

il cui modulo vale  $|\vec{\mathbf{F}}^{(est)}| = A^2 L^4 v/R = 0,0117 \text{ N}$ .

### Testo 2) Soluzione:

### Testo 3) Soluzione:

a) Le condizioni che è possibile imporre al campo magnetico nel vuoto, unico campo presente, sono:  $\nabla \cdot \vec{\mathbf{B}} = 0$  e  $\nabla \times \vec{\mathbf{B}} = \mathbf{0}$  (assenza di correnti e di campi elettrici. La prima condizione porta diventa:

$$0 = \nabla \cdot \vec{\mathbf{B}} = \alpha \left( 1 + \frac{\partial f}{\partial y} \right) \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial y} = -1 \Rightarrow f(x, y, z) = -y + g(x, z),$$

con  $g(x, z)$  una arbitraria funzione di  $x$  e  $z$ . Usando quindi questa riscrittura per la funzione  $f$ , la condizione sul rotore diventa:

$$\mathbf{0} = \nabla \times \vec{\mathbf{B}} = \left(-\alpha \frac{\partial f}{\partial z}\right) \hat{\mathbf{i}} + \left(\alpha \frac{\partial f}{\partial x}\right) \hat{\mathbf{k}} = \left(-\alpha \frac{\partial g}{\partial z}\right) \hat{\mathbf{i}} + \left(\alpha \frac{\partial g}{\partial x}\right) \hat{\mathbf{k}}.$$

Si trova quindi che  $\frac{\partial g}{\partial z} = 0$  e  $\frac{\partial g}{\partial x} = 0$ . La prima condizione, da verificare  $\forall x, z$  indica che la funzione  $g(x, z)$  non può dipendere dalla coordinata  $z$ . La seconda condizione indica che  $g(x, z)$  non dipende neppure dalla  $x$ . Ne consegue che l'unica forma per la  $g$  è  $g(x, z) = C$  con  $C$  valore costante. La  $f(x, y, z)$  è quindi esprimibile come  $f(x, y, z) = -y + C$ .

b)  $[\alpha] = [B/L] = [ML^{-1}T^{-1}Q^{-1}]$  e si esprime in T/m=tesla al metro nel SI; la costante  $A$  è invece una lunghezza:  $[A] = [L]$  e si esprime in metri (nel SI).



## Soluzioni Elettromagnetismo B - 22/12/16

**Testo 1): Soluzione:**

**Testo 2): Soluzione:**

**Testo 3): Soluzione:**

a) Un campo magnetostatico ha alcune proprietà fondamentali: è un campo vettoriale indipendente dal tempo; è di tipo solenoidale; il suo rotore fornisce la densità di corrente che lo genera (a meno di un coefficiente  $\mu_0$ ). Affinché il campo dato sia magnetostatico è importante verificare che sia solenoidale. Poiché  $\nabla \cdot \vec{\mathbf{B}} = 0$ , esso soddisfa le prime due proprietà.

b) la terza proprietà fornisce la risposta alla seconda domanda:  $\vec{\mathbf{J}} = (\nabla \times \vec{\mathbf{B}})/\mu_0 = -2\frac{\alpha}{\mu_0} \hat{\mathbf{k}}$ , costante. Il campo dato è quello generato all'interno di un filo in cui scorre una densità di corrente costante pari a  $I = 2\alpha/\mu_0$  diretta nel verso di  $-\hat{\mathbf{k}}$ .

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

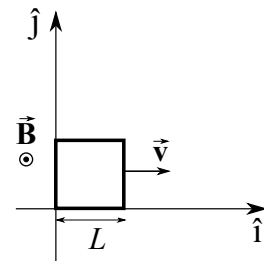
CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

22 Dicembre 2016

## Parziale Elettromagnetismo

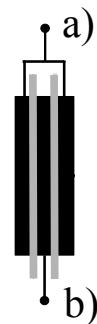
### Esercizi:

1) In un piano orizzontale, descritto in un opportuno sistema di riferimento inerziale  $Oxyz$  dall'equazione  $z = 0$ , è presente un campo magnetico  $\vec{B}(x, y, z) = (B_0 - Ax)\hat{k}$ , con  $B_0 = 0,2 \text{ T}$  e  $A = 0,12 \text{ T/m}$ . Una spira metallica quadrata  $S$ , di lato  $L = 30 \text{ cm}$  e resistenza  $R = 4 \cdot 10^{-3} \Omega$ , inizialmente posizionata come in figura, all'istante  $t = 0 \text{ s}$  viene messa in moto, con velocità costante  $\vec{v} = 0,4\hat{i} \text{ (m/s)}$ . Calcolare, all'istante  $\bar{t} = 2 \text{ s}$ :



- il flusso di campo magnetico,  $\phi_S(\vec{B})$ , concatenato con il circuito;
- la corrente  $I$  indotta nella spira;
- la forza esterna,  $\vec{F}^{(est)}$ , in modulo, direzione e verso, che mantiene la spira a velocità costante.

2) Tre armature metalliche quadrate, di lato  $L = 15 \text{ cm}$  sono impilate una sull'altra e intervallate da due sottili fogli di carta, quadrati, di lato  $L' = 16 \text{ cm}$ , spessore  $w = 30 \mu\text{m}$ , avente costante dielettrica relativa  $\epsilon_r = 4,5$ . Sapendo che le due armature più esterne sono collegate tra loro e a un terminale a), messo a massa, e che quella più interna è collegata al terminale b), determinare:



- La capacità equivalente  $C$  del sistema;
- La carica  $Q$  sull'armatura più interna quando il terminale b) viene posto a  $V = 10 \text{ V}$ ;
- La pressione elettrostatica  $p_E$  che agisce sulle armature esterne.

3) In una regione di spazio vuota è presente solamente un campo magnetico dato da  $\vec{B}(x, y, z) = \alpha(x\hat{i} + f(x, y, z)\hat{j} + A\hat{k})$ .

- Specificare al meglio possibile la funzione  $f(x, y, z)$ .
- Trovare le dimensioni delle costanti  $\alpha$  e  $A$ .

### Domande:

- Discutere i transistori nei circuiti LC.
- Spiegare, illustrandole con qualche esempio, le diverse applicazioni del principio di sovrapposizione.
- Discutere la pressione elettrostatica.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

10 gennaio 2017

## Onde - Compito A

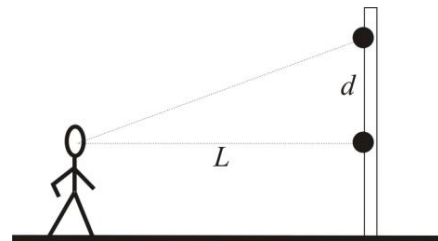
### Esercizi:

1) Un'onda impulsiva  $f(x, t) = Ae^{-(\alpha x - \beta t)^2}$ , con  $A = 2 \text{ cm}$ ,  $\alpha = 0,03 \text{ cm}^{-1}$  e  $\beta = 60 \text{ s}^{-1}$ , è inviata lungo una corda elastica ideale, costituita da un primo tratto di impedenza  $Z_1 = 4 \text{ Ns/m}$  raccordato in un punto ad  $x = L$  con un secondo tratto di impedenza ignota  $Z_2$ . Sapendo che dopo un tempo  $\Delta t = 1 \text{ s}$  dal passaggio del massimo dell'onda a  $x = 0$  si osserva, nel medesimo punto, il massimo dell'onda riflessa di ampiezza  $A_r = -A/2$ , determinare:

- la velocità  $v$  dell'onda impulsiva iniziale in  $x = 0$ ;
- la tensione  $T$  e la densità lineare  $\mu_1$  del primo tratto;
- la distanza  $L$  da  $x = 0$  a cui si trova la discontinuità;
- l'impedenza  $Z_2$  e la densità lineare  $\mu_2$  del secondo tratto della corda.

2) In un sistema di riferimento, un osservatore si muove verso due altoparlanti disposti in verticale come in figura. Da essi, distanti tra loro  $d = 1,5 \text{ m}$ , esce lo stesso suono armonico alla frequenza di  $\nu = 1 \text{ kHz}$ . Sapendo che la velocità del suono in aria è di  $v_s = 330 \text{ m/s}$  e trascurando la dipendenza  $1/r$  dell'ampiezza, calcolare:

- la distanza  $L$  dell'osservatore quando incontra il primo minimo di intensità sonora;
- la distanza  $L'$  in cui incontra il massimo di intensità successivo.



### Domande:

- Definire e spiegare il livello sonoro  $\beta_s$ .
- Definire e spiegare l'intensità di un'onda elettromagnetica.
- Un'onda elettromagnetica trasporta energia. Data un'onda elettromagnetica nel vuoto  $\vec{E}(z, t) = E_0 \cos(kz - \omega t)\hat{j}$ , scrivere l'equazione del campo  $\vec{B}(z, t)$  e della densità di energia  $u(z, t)$ .

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$*

## Soluzioni Onde A - 10/01/17

### Soluzione testo 1):

a) l'onda impulsiva  $f(x, t) = Ae^{-(\alpha x - \beta t)^2}$  può essere espressa nella forma canonica di una onda progressiva  $f(x - vt)$ , dipendente da un solo parametro,  $s = x - vt$ , raccogliendo opportunamente quanto è presente all'esponente:  $f(x, t) = Ae^{-(\alpha x - \beta t)^2} = Ae^{-\alpha^2(x - \beta t/\alpha)^2} = f(x - \frac{\beta}{\alpha}t) = f(x - vt)$ , con  $v = \frac{\beta}{\alpha} = 60/0,03 \text{ cm/s} = 2000 \text{ cm/s} = 20 \text{ m/s}$ .

b) Sapendo che  $v = \sqrt{T/\mu_1}$  e che  $Z_1 = \sqrt{T\mu_1}$ , si trova che  $T = vZ_1 = 80 \text{ N}$ . Analogamente si ha  $\mu_1 = Z_1/v = 200 \text{ g/m}$ .

c) L'onda fa una distanza pari a  $2L$  in un tempo  $\Delta t = 1 \text{ s}$ . Sapendo che la sua velocità è  $v$ , si trova  $L = v\Delta t/2 = 10 \text{ m}$ .

d) L'ampiezza dell'onda riflessa è calcolabile attraverso le impedenze dei due tratti. Sapendo che l'ampiezza riflessa vale  $A_r = -A/2$ , si ha:

$$A_r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}A = -\frac{1}{2}A \Rightarrow \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = -\frac{1}{2} \Rightarrow Z_2 = 3Z_1 = 12 \text{ Ns/m}.$$

Sapendo che  $Z_2 = \sqrt{T\mu_2}$ , si trova  $\mu_2 = Z_2^2/T = 1,8 \text{ kg/m}$ .

### Soluzione testo 2):

a) Affinché si abbia un minimo di intensità è necessario che le due onde sonore, prodotte in fase dai due altoparlanti, presentino uno sfasamento di  $\pi$  nel punto di ascolto. La prima volta che questo avviene è quando la distanza percorsa dai suoni provenienti dai due altoparlanti differisce di mezza lunghezza d'onda. Sapendo che  $\lambda = v v_s = 0,33 \text{ m}$ , si ha:

$$\Delta r = \sqrt{L^2 + d^2} - L = \lambda/2 = v v_s/2 \Rightarrow L = \frac{d^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{4} = \frac{d^2}{v v_s} - \frac{v v_s}{4} = 6,74 \text{ m}.$$

Per distanze più grandi di tale valore le due onde arrivano con uno sfasamento via via più piccolo e, nel limite delle grandi distanze ( $\gg d$ ), sono praticamente in fase.

b) Per distanze più piccole di  $L$  lo sfasamento aumenta, fino a raggiungere una condizione di massimo locale quando lo sfasamento è esattamente  $2\pi$ . Questa condizione è soddisfatta quando la differenza di cammino percorso dalle due onde sonore è pari esattamente ad una lunghezza d'onda  $\lambda$ . In formule si ha:

$$\Delta r = \sqrt{L'^2 + d^2} - L' = \lambda = v v_s \Rightarrow L' = \frac{d^2}{2\lambda} - \frac{\lambda}{2} = \frac{d^2}{2v v_s} - \frac{v v_s}{2} = 3,24 \text{ m}.$$

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

10 Gennaio 2017

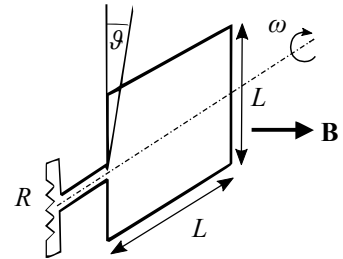
## Elettromagnetismo

### Esercizi:

1) Un condensatore piano è costituito da due armature di area  $S = 80 \text{ cm}^2$ , poste ad una distanza  $d = 1,0 \text{ cm}$ . Fra di esse possono essere inserite una lastra metallica di spessore  $a = 2,5 \text{ mm}$  e una lastra di vetro ( $\epsilon_r = 4,5$ ) di spessore  $b = 3,0 \text{ mm}$ . Considerare i casi in cui sia inserita a) solo la lastra metallica, b) solo la lastra di vetro e c) entrambe simultaneamente e calcolare nei tre casi, trascurando gli effetti ai bordi, la capacità  $C$  e la densità di carica  $\sigma$  sulle armature del condensatore, se esso viene caricato a  $\Delta V = 1000 \text{ V}$ . d) Spiegare perché non è rilevante la posizione esatta delle lastre aggiunte tra le armature.

2) Una spira di forma quadrata di lato  $L = 1 \text{ m}$  ruota attorno ad un asse orizzontale con una velocità angolare  $\omega = 2\pi \text{ rad/s}$  (vedi figura). La spira è immersa in un campo magnetico uniforme  $B = 2 \text{ T}$  diretto lungo l'asse  $z$ , ortogonale all'asse della spira. La spira, di resistenza trascurabile, è connessa ad una resistenza di carico  $R = 0,2 \Omega$ . Calcolare:

- La corrente,  $i(t)$ , che circola nella spira in funzione del tempo.
- Il modulo massimo del momento delle forze,  $\tau_{\max}$ , che agisce sulla spira.
- L'energia dissipata,  $\Delta E$ , sulla resistenza in 10 secondi.



### Domande:

- Spiegare la legge di Ohm microscopica.
- Discutere l'effetto Hall.
- Illustrare le caratteristiche di un campo elettrico prodotto da un dipolo.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

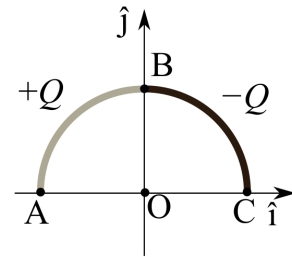
31 Gennaio 2017

## Elettromagnetismo

### Esercizi:

1) Una sbarra di materiale isolante è piegata in forma di semicerchio di raggio  $R = 38$  cm. La parte sinistra di tale semicerchio ha una carica complessiva  $Q = 4$  nC, distribuita in modo uniforme sulla metà della sbarra; la parte destra ha una carica totale pari a  $-Q$ , anch'essa distribuita in modo uniforme. Determinare:

- direzione e verso del campo elettrostatico prodotto nel punto O che costituisce il centro del semicerchio;
- il modulo  $E$  del campo elettrostatico in O;
- il potenziale elettrostatico nel punto O, assumendo nullo il potenziale all'infinito.



2) Un filo metallico rettilineo, lungo  $L = 10$  m, a sezione circolare di raggio  $R = 1$  mm e resistività  $\rho_R = 3 \cdot 10^{-3} \Omega\text{m}$  è attraversato da una corrente  $I = 10$  A distribuita in modo uniforme sulla sezione del filo. Nelle approssimazioni che si riterrà utile introdurre, determinare:

- il campo magnetico a  $0$ ,  $5R$  e a  $5R$  dall'asse del filo in prossimità della zona a metà del filo;
- la pressione magnetostatica che agisce sulla superficie del filo;
- il campo elettrico sull'asse del filo.

### Domande:

- Spiegare i principi fisici alla base delle leggi di Kirchhoff.
- Fornire qualche esempio di applicazione della legge di Faraday-Neumann.
- Illustrare le caratteristiche del campo magnetico prodotto da una spira percorsa da corrente.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

31 gennaio 2017

## Onde - Compito A

### Esercizi:

1) Il campo magnetico di un'onda elettromagnetica piana oscilla nella direzione dell'asse  $y$  mentre si propaga lungo l'asse  $x$  in un mezzo con costante dielettrica relativa  $\epsilon_r = 2$  secondo l'equazione:

$$\vec{\mathbf{B}}(x, t) = B_0 \cos(\omega t - kx + \phi) \hat{\mathbf{j}},$$

con  $B_0 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ ,  $\omega = 1,1 \cdot 10^8 \text{ Hz}$ ,  $k = 0,6 \text{ m}^{-1}$ , determinare:

- almeno un valore per la fase  $\phi$ , sapendo che per  $t = 0$  e  $x = 0$ ,  $|\vec{\mathbf{B}}| = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ ;
- la frequenza, la lunghezza d'onda e l'ampiezza del campo elettrico  $\vec{\mathbf{E}}$ ;
- la permeabilità magnetica relativa  $\mu_r$  e l'impedenza  $Z$  del mezzo;
- l'energia dell'onda che, in un intervallo di un secondo, attraversa un'area  $S$  di  $1 \text{ m}^2$  disposta perpendicolarmente alla direzione di propagazione;
- il vettore di Poynting  $\vec{\mathbf{S}}(x, t)$ .

2) Una corda di chitarra è realizzata con un filo di acciaio di densità  $\rho_{\text{filo}} = 7800 \text{ kg/m}^3$  e lunghezza tra i due punti fissi di  $L = 0,85 \text{ m}$ . La chitarra, quando è accordata, nel suo modo di vibrazione fondamentale, emette un suono di frequenza  $\nu = 392 \text{ Hz}$ , corrispondente alla nota musicale *Sol*. In tali condizioni, la tensione della corda è  $T = 778,5 \text{ N}$  e l'ampiezza di oscillazione  $A = 1 \text{ mm}$ . Determinare:

- il diametro  $d$  della corda,
- la velocità delle onde lungo la corda, e
- l'energia  $E$  immagazzinata nella corda che oscilla.

### Domande:

- Spiegare il fenomeno dell'interferenza.
- Definire e spiegare l'effetto Doppler.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$*

## Soluzioni Onde A - 31/01/17

### Soluzione testo 1):

a) Nella condizione data si ha che

$$|\vec{\mathbf{B}}(0, 0)| = B_0 \cos(\phi) = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ T} \Rightarrow \cos(\phi) = 0,8/1,8 \Rightarrow \phi = \pm 63,6^\circ.$$

b) La frequenza vale  $\nu = \omega/(2\pi) = 17,5 \text{ MHz}$ , la lunghezza d'onda vale  $\lambda = 2\pi/k = 10,5 \text{ m}$ . La velocità di fase dell'onda nel mezzo è  $v = \omega/k = 1,83 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . L'onda elettromagnetica ha la proprietà che i tre vettori che individuano il campo elettrico  $\vec{\mathbf{E}}$ , il campo magnetico  $\vec{\mathbf{B}}$  e la direzione di propagazione  $\hat{\mathbf{n}}$  soddisfano le condizioni  $|\vec{\mathbf{E}}| = v|\vec{\mathbf{B}}|$  e che formano una terna destrorsa (nell'ordine  $\vec{\mathbf{E}}$ ,  $\vec{\mathbf{B}}$  e  $\hat{\mathbf{n}}$ ), quindi  $\vec{\mathbf{E}} = v\vec{\mathbf{B}} \times \hat{\mathbf{n}}$ . Osservando che nel caso dato  $\hat{\mathbf{n}} = \hat{\mathbf{i}}$ , in quanto l'onda si propaga nella direzione dell'asse  $x$ , con verso positivo, e che la velocità di fase nel mezzo vale  $v = \omega/k$ , si ha:

$$\vec{\mathbf{E}}(x, t) = vB_0 \cos(\omega t - kx + \phi) \hat{\mathbf{j}} \times \hat{\mathbf{i}} = -\frac{\omega B_0}{k} \cos(\omega t - kx + \phi) \hat{\mathbf{k}}.$$

L'ampiezza del campo elettrico è quindi  $E_0 = \frac{\omega B_0}{k} = 330 \text{ V/m}$ .

c) La velocità dell'onda nel mezzo si può scrivere come

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0\mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}}$$

con  $c$  la velocità della luce nel vuoto. Si può quindi trovare  $\mu_r = c^2/(v^2\epsilon_r) = 1,34$ . Da questa si trova l'impedenza come

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} = 308 \Omega.$$

d) la domanda essenzialmente riporta alla definizione di intensità dell'onda elettromagnetica che è appunto il valore mediato nel tempo dell'energia che attraversa un'area unitaria disposta perpendicolarmente alla direzione di moto nel tempo unitario. In formule:  $I = v \langle u_{EM} \rangle$  ed espresso in unità di energia. Nel caso dato si ha:

$$\langle u_{EM} \rangle = \langle \frac{1}{2}\epsilon E_0^2 + \frac{1}{2}\frac{B_0^2}{\mu} \rangle = \langle \epsilon E_0^2 \rangle = \frac{1}{2}\epsilon E_0^2$$

da cui  $I = \frac{1}{2}v\epsilon E_0^2 = \frac{1}{2}E_0^2/Z = 177 \text{ W/m}^2$ . L'energia che nell'unità di tempo attraversa l'unità di area è quindi  $\Delta E = 177 \text{ J}$ .

$$e) \vec{\mathbf{S}} = \vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{H}} = \frac{\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{B}}}{\mu} = -\epsilon E_0^2 \cos^2(\omega t - kx + \phi) \hat{\mathbf{k}}$$

### Soluzione testo 2):

a e b) Per trovare il diametro occorre conoscere la densità lineare della corda e questa può essere determinata conoscendo la velocità delle onde sulla corda. Poiché si tratta di onde stazionarie, per stato di vibrazione fondamentale si può facilmente determinare la lunghezza d'onda  $\lambda = 2L$  e da questa la velocità  $v = \lambda\nu = 2L\nu = 666 \text{ m/s}$ . Da  $v = \sqrt{T/\mu}$ , si trova la densità lineare di massa  $\mu = T/v^2 = T/(4L^2\nu^2) = 1,75 \text{ g/m}$ . Il legame tra la densità lineare e la densità volumetrica è  $\rho = \mu/S$  con  $S$  sezione del filo, che essendo circolare vale  $S = \pi d^2/4$  con  $d$  diametro del filo. (la densità volumetrica è una massa diviso una unità di lunghezza e di area, mentre la densità lineare è una massa diviso una unità di lunghezza). Si trova quindi  $d = \sqrt{4\mu/(\rho\pi)} = 0,535 \text{ mm}$ .

c) L'energia immagazzinata nella corda vale  $E = \frac{1}{4}m\omega^2 A^2 = \pi^2\mu L\nu^2 A^2 = 2,26 \text{ mJ}$



# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

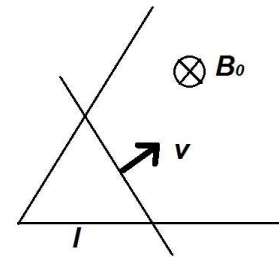
CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

14 febbraio 2017

## Elettromagnetismo

### Esercizi:

1) Un lungo filo conduttore è piegato a  $60^\circ$  e giace su un piano perpendicolare a un campo magnetico uniforme di modulo  $B_0 = 1 \text{ T}$ . Un secondo filo conduttore rettilineo rigido viene tirato con velocità costante  $v = 2 \text{ m/s}$  in modo che i suoi punti di contatto formino un triangolo equilatero con il vertice del primo filo (vedi figura). Al tempo  $t_0 = 0 \text{ s}$ , il triangolo ha un lato  $l_0 = 0,5 \text{ m}$  ed entrambi i fili hanno una resistenza per unità di lunghezza  $r = 0,1 \Omega/\text{m}$ .



- Esprimere la f.e.m. indotta nel triangolo in funzione di  $B_0$ ,  $v$ ,  $l_0$  e  $t$  e fornirne il valore per  $t_1 = 5 \text{ s}$ .
  - Determinare il valore  $I$  e il verso della corrente nel triangolo al tempo  $t_1$ .
  - Determinare direzione e verso del campo magnetico indotto.
- 2) Due sottili gusci sferici concentrici di raggi  $R_A = R$  e  $R_B = 2R$  hanno entrambi una carica  $q$  uniformemente distribuita sulle loro superfici. È presente anche un terzo guscio sferico di raggio  $R_C = 6R$  con carica  $-2q$ , anch'esso concentrico con i primi due.
- Calcolare il potenziale elettrostatico dei tre gusci assumendo nullo il potenziale all'infinito.
  - Se B e C vengono connessi con un filo conduttore, quali sono i valori dei nuovi potenziali dopo aver raggiunto lo stato di equilibrio?
- 3) In un circuito  $RC$  un condensatore di capacità  $C = 2 \mu\text{F}$  si scarica su una resistenza  $R = 10 \text{ M}\Omega$ . In quanto tempo si dimezza l'energia immagazzinata nel condensatore?

### Domande:

- Illustrare cosa si intende per "Gabbia di Faraday".
- Discutere le caratteristiche dei campi magnetici nella materia.
- Discutere il concetto di corrente di spostamento e la verifica sperimentale della sua esistenza.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$*

## Soluzioni Elettromagnetismo - 14/02/17

### Soluzione testo 1):

a) In questo problema, un circuito chiuso, immerso in un campo magnetico, cambia la sua forma nel tempo e quindi si origina una forza elettromotrice indotta calcolabile con la legge di Faraday-Neumann,  $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$ . Poiché il campo magnetico è costante, il calcolo del flusso di  $\vec{B}$  è facilitato. Occorre però prima determinare come cambia l'area del circuito. In un triangolo equilatero l'altezza  $h$  e il lato  $l$  sono legati dalla relazione  $h = \frac{\sqrt{3}}{2}l$ . Nel testo dato si conosce il lato all'istante iniziale e quindi anche l'altezza iniziale,  $h_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}l_0$ , e si sa che tale altezza aumenta nel tempo secondo una legge lineare:  $h(t) = h_0 + vt$ . Conseguentemente il lato aumenta in modo simile:  $l(t) = l_0 + \frac{2}{\sqrt{3}}vt$ . L'area vale quindi  $A(t) = l(t)h(t)/2 = (l_0 + \frac{2}{\sqrt{3}}vt)(\frac{\sqrt{3}}{2}l_0 + vt)/2 = \frac{\sqrt{3}}{4} \left( l_0 + \frac{2}{\sqrt{3}}vt \right)^2$ . Scelta come orientazione della superficie per calcolare il flusso una normale uscente dal piano del foglio, il flusso del campo  $B$  è  $\Phi = -BA(t)$ . La forza elettromotrice indotta è quindi:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = B_0 \frac{dA(t)}{dt} = B_0 v \left( l_0 + \frac{2}{\sqrt{3}}vt \right) \quad (= B_0 v l(t))$$

Sostituendo i valori si ha:  $\varepsilon = 24,1 \text{ V}$ .

b) La resistenza del circuito dipende dalla lunghezza dello stesso. Nel caso dato il circuito è lungo  $3l(t)$  e ha quindi una resistenza totale  $R_{tot} = 3l(t)r$ , essendo  $r$  una resistenza per unità di lunghezza. La corrente  $I$  al tempo  $t_1$  vale quindi:

$$I = i(t_1) = \varepsilon(t_1)/R_{tot}(t_1) = B_0 v l(t_1) \frac{1}{3r l(t_1)} = \frac{1}{3} \frac{B_0 v}{r} = 6,67 \text{ A}$$

indipendentemente dall'istante di tempo considerato. Poiché tale valore è positivo la corrente circola in modo concorde a quanto previsto dalla regola della mano destra. L'orientazione della superficie è un versore uscente dal piano del foglio e quindi la corrente circola in verso antiorario.

c) questa corrente indotta, circolando in verso antiorario produce un campo indotto perpendicolare al foglio e diretto come l'orientazione della superficie: uscente dal foglio. Tale direzione è coerente con la legge di Lenz: in valore assoluto il flusso di  $B$  aumenta e il campo indotto si oppone a questo aumento fornendo un campo indotto di verso opposto a quello iniziale che tende a diminuire il flusso concatenato.

### Soluzione testo 2):

a) Il potenziale elettrostatico, nullo all'infinito, dovuto ad una carica  $Q$  distribuita su un guscio sferico di raggio  $R$  vale:

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r} \quad \text{per} \quad r > R$$
$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{R} \quad \text{per} \quad r < R.$$

Nel caso in esame si hanno tre gusci sferici e si può usare il principio di sovrapposizione dei potenziali per ottenere il potenziale totale:  $V(r) = V_A(r) + V_B(r) + V_C(r)$ :

$$V(r) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{2R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2q}{6R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{7q}{6R} & \text{per } r < R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{2R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2q}{6R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{6R} & \text{per } R < r < 2R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2q}{6R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2q}{6R} & \text{per } 2R < r < 6R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2q}{r} = 0 & \text{per } r > 6R \end{cases}$$

Corrispondentemente i potenziali dei tre gusci sono:

$$\begin{aligned} V_A &= V(R) = \frac{7}{24\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \\ V_B &= V(2R) = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \\ V_C &= V(6R) = 0 \end{aligned}$$

b) Nel caso si colleghino con un sottile filo metallico i gusci B e C, la carica  $q$  che si trova su B è spinta dal campo di A a spostarsi verso C, mentre la carica  $-2q$  di C viene spinta a spostarsi verso B. Poiché ora B e C formano un unico conduttore, il potenziale di B e di C dovrà essere uguale. Alla conclusione degli spostamenti si osserverà su B e C una carica netta pari a  $-q$ . Dove si troverà questa carica? Dove le converrà di più dal punto di vista energetico! In assenza di cariche su A, ovviamente la carica  $-q$  sarà integralmente su C. La presenza di una carica  $q$  su A, che crea un campo elettrico all'interno del guscio B, richiede che una uguale carica negativa ( $-q$ ) sia disposta su B. Poiché su B e C vi è proprio una carica  $-q$ , questa si troverà tutta su B, lasciando C scarico. La situazione finale è quindi:  $Q_A = q$ ,  $Q_B = -q$  e  $Q_C = 0$ . Per quanto riguarda i potenziali si ha quindi:

$$V(r) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{2R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{2R} & \text{per } r < R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{2R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{2R} & \text{per } R < r < 2R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r} = 0 & \text{per } r > 2R \end{cases}$$

Corrispondentemente i potenziali dei tre gusci sono:

$$\begin{aligned} V_A &= V(R) = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \\ V_B &= V(2R) = 0 \\ V_C &= V(6R) = 0 \end{aligned}$$

### Soluzione testo 3):

In un condensatore che si scarica la carica sulle armature diminuisce con la legge esponenziale  $Q(t) = Q_0 e^{-t/\tau}$ , con  $\tau = RC$  costante di tempo del circuito. Se per  $t = 0$  sulle armature vi è una carica  $Q_0$ , l'energia iniziale vale  $E_0 = \frac{1}{2} Q_0^2 / C$ . Durante la scarica l'energia nel condensatore vale  $E(t) = \frac{1}{2} Q(t)^2 / C = \frac{1}{2} (Q_0^2 / C) e^{-2t/\tau}$ . Il tempo  $\bar{t}$  a cui l'energia si dimezza si ottiene dalla relazione:

$$E(\bar{t}) = \frac{1}{2} E_0 \Rightarrow \frac{1}{2} Q(\bar{t})^2 / C = \frac{1}{2} (Q_0^2 / C) e^{-2\bar{t}/\tau} = \frac{1}{4} (Q_0^2 / C)$$

da cui si ottiene

$$e^{-2\bar{t}/\tau} = \frac{1}{2} \Rightarrow \bar{t} = \frac{\tau}{2} \ln 2 = 6,93 \text{ s}$$

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

14 febbraio 2017

## Onde - Compito A

### Esercizi:

1) Una corda elastica, di densità lineare  $\mu = 6 \text{ g/m}$  e lunghezza  $L = 1,44 \text{ m}$ , è tenuta tesa da una tensione  $T = 20 \text{ N}$  ed è vincolata ai suoi estremi. Determinare:

- La frequenza  $\nu_1$  dell'oscillazione stazionaria fondamentale;
- la distanza  $d$  da un estremo a cui si forma il primo ventre quando la corda vibra con una frequenza pari a  $m = 3$  volte quella fondamentale;
- la tensione  $T'$  necessaria per avere una frequenza fondamentale  $m$  volte maggiore.

2) Due sorgenti puntiformi  $S_1$  e  $S_2$  emettono in modo isotropo nel vuoto delle onde elettromagnetiche sferiche, coerenti, monocromatiche di lunghezza d'onda  $\lambda = 25 \text{ cm}$ . Le due sorgenti hanno la stessa potenza media  $P = 15 \text{ W}$  e i due trasmettitori hanno la caratteristica di poter variare con continuità la fase relativa  $\Delta\phi$  di emissione. Se un ricevitore è posto a distanza  $d_1 = 60 \text{ cm}$  da  $S_1$  e  $d_2 = 85 \text{ cm}$  da  $S_2$ , determinare:

- quanto deve valere  $\Delta\phi$  affinché il ricevitore registri un minimo di intensità; b) il valore dell'intensità misurata in tale condizione.

### Domande:

- Spiegare il fenomeno della risonanza negli oscillatori forzati.
- Spiegare il fenomeno dei battimenti.
- Definire il potere risolutivo di uno strumento ottico e spiegarne il fenomeno fisico che ne è alla base.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$*

## Soluzioni Onde A - 14/02/17

### Soluzione testo 1):

a) Dalle informazioni fornite si trova subito la velocità delle onde sulla corda:  $v = \sqrt{T/\mu} = 57,7 \text{ m/s}$ ; sapendo che l'oscillazione fondamentale ha una lunghezza d'onda  $\lambda = 2L = 2,88 \text{ m}$ , e che la relazione tra velocità, lunghezza d'onda e frequenza vale  $v = \lambda\nu$ , si trova

$$\nu_1 = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} = 20,0 \text{ Hz}.$$

b) Se la corda vibra all'ordine  $m$ , la lunghezza d'onda effettiva sarà pari a  $\lambda_m = \lambda/m = 2L/m = 96,0 \text{ cm}$ . La distanza tra un nodo e il primo ventre si trova sempre ad  $1/4$  della lunghezza d'onda. Nel caso in esame, l'estremo della corda è vincolato e lì si trova un nodo; ne consegue che il primo ventre si trova a distanza

$$d = \frac{1}{4}\lambda_m = \frac{L}{2m} = 24,0 \text{ cm}$$

c) A parità di lunghezza e massa della corda, per avere una frequenza  $m$  volte maggiore occorre aumentare la velocità delle onde sulla corda e quindi la tensione. Si ha quindi:

$$\nu' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T'}{\mu}} = m\nu_1 \quad \left( = m \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \right) \implies T' = m^2 T = 180 \text{ N}.$$

### Soluzione testo 2):

a) Se le due sorgenti fossero in fase,  $\Delta\phi = 0$ , lo sfasamento delle due onde osservato al ricevitore sarebbe pari a  $\Delta\phi_{oss} = k(d_2 - d_1) = 2\pi(d_2 - d_1)/\lambda$ . L'aggiunta di uno sfasamento iniziale sulla sorgente  $S_2$  aumenta lo sfasamento osservato al ricevitore (poiché  $S_2$  è più lontana di  $S_1$ ):  $\Delta\phi_{oss} = k(d_2 - d_1) + \Delta\phi = 2\pi(d_2 - d_1)/\lambda + \Delta\phi$ . La richiesta di minimo di intensità implica che  $\Delta\phi_{oss} = (2n + 1)\pi$  con  $n$  intero. Sostituendo i valori si ottiene:

$$\Delta\phi_{oss} = k(d_2 - d_1) = 2\pi(d_2 - d_1)/\lambda + \Delta\phi = (2n + 1)\pi \implies \Delta\phi = (2n + 1)\pi.$$

b) In casi come questo dove vi è interferenza tra due sorgenti l'intensità in interferenza è pari a:

$$I(\Delta\phi_{oss}) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi_{oss}$$

Su un minimo di interferenza,  $\cos \Delta\phi_{oss} = -1$  e quindi  $I = |\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2}|^2$ . Conoscendo la potenza di emissione, per onde sferiche isotrope a distanza  $d$  l'intensità vale:  $I = P/(4\pi d^2)$ . Si trova dunque

$$I = \left| \sqrt{I_1} - \sqrt{I_2} \right|^2 = \frac{P}{4\pi} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)^2 = 287 \text{ mW/m}^2.$$

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

12 Giugno 2017

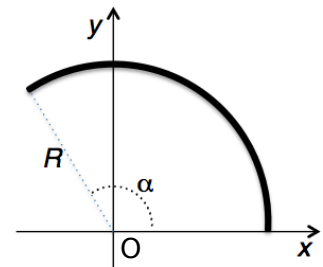
## Elettromagnetismo

### Esercizi:

1) Una bacchetta di plastica è stata piegata a forma di arco di circonferenza di raggio  $R = 6 \text{ cm}$  ed angolo al centro  $\alpha = 120^\circ$  ed è collocata nel sistema di riferimento di figura. Sapendo che sulla bacchetta è distribuita uniformemente una carica  $Q_1 = -1,5 \cdot 10^{-15} \text{ C}$ , calcolare nel punto O, centro di curvatura della bacchetta:

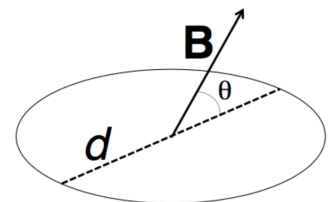
- il potenziale elettrostatico  $V_O$ ;
- il campo elettrostatico  $\vec{E}_O$ .

In un secondo momento, nel punto O viene posta una carica  $Q_2 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ C}$ . Calcolare (c) la forza  $\vec{F}_b$  agente sulla bacchetta.



2) Una spira circolare di diametro  $d$  e resistenza  $R$  è immersa in un campo magnetico  $\vec{B}(t)$  uniforme, le cui linee di campo formano un angolo  $\theta = 30^\circ$  con il piano della spira. Sapendo che il modulo del campo magnetico varia nel tempo secondo la legge  $B(t) = B_0 e^{-at}$ , con  $B_0$  e  $a$  valori costanti e noti, determinare le espressioni di:

- la corrente  $I$  indotta nella spira all'istante  $t_0=0$  (trascurando l'autoinduzione);
- l'energia dissipata  $\Delta E$  nella spira, nell'intervallo di tempo in cui l'intensità del campo magnetico si riduce da  $B_0$  fino ad un valore nullo.



### Domande:

- Spiegare la legge di Faraday-Neumann e fornirne un esempio. Spiegare inoltre il significato fisico della legge di Lenz.
- Dimostrare l'espressione dell'energia elettrostatica immagazzinata in un condensatore a facce piane parallele.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

12 giugno 2017

## Onde

### Esercizi:

1) Una corda di nylon lunga  $L = 10$  m, con estremi in  $x = 0$  e  $x = L$ , viene fatta oscillare in un piano  $xy$  da una sorgente di frequenza  $\nu = 50$  Hz e su di essa si formano  $n = 25$  onde complete.

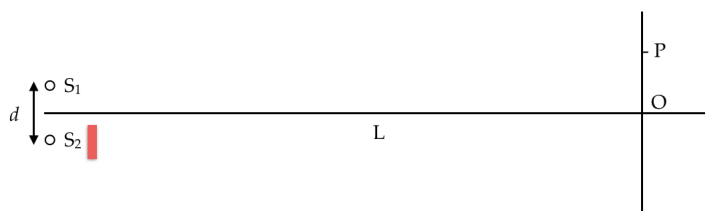
- Trovare la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione dell'onda;
- Scrivere l'equazione dello spostamento  $y$  di ogni punto della corda in funzione della posizione  $x$ , sapendo che l'ampiezza dell'onda è  $A = 30$  cm e che per  $t = 0$  s si ha  $y = -30$  cm.
- Qual è la costante di fase iniziale?

2) Due sorgenti identiche di onde elettromagnetiche sferiche, emettono in fase alla potenza  $P_1 = P_2 = 20$  W. Le onde hanno lunghezza d'onda  $\lambda = 500$  nm e sono polarizzate linearmente lungo la direzione congiungente le due sorgenti. La distanza tra le due sorgenti è  $d = 1$  cm. A distanza  $L = 10$  m è posto uno schermo su cui si osserva la figura di interferenza.

- Determinare il numero di massimi che si osservano tra i punti O e P, distanti  $\Delta x = 6$  cm.

Successivamente davanti ad una delle due sorgenti viene posta una lamina polaroid di spessore  $s = 1$   $\mu$ m, costante dielettrica relativa  $\epsilon_r = 3$  e permeabilità magnetica relativa  $\mu_r = 1$ , con l'asse di polarizzazione che forma un angolo  $\alpha = 45^\circ$  con il campo elettrico dell'onda.

- Determinare il valore dell'intensità luminosa in O.



### Domande:

- Fornire l'espressione di un'onda elettromagnetica e spiegarne le proprietà. Per tale onda, com'è definito il vettore di Poynting?
- Illustrare l'effetto Doppler con qualche esempio numerico.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/(Nm<sup>2</sup>) e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  N/A<sup>2</sup>*



# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

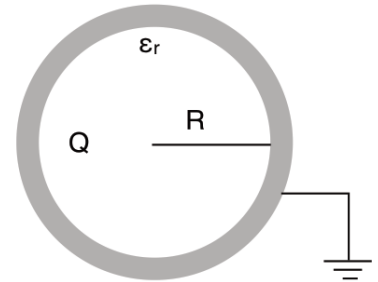
10 Luglio 2017

## Elettromagnetismo

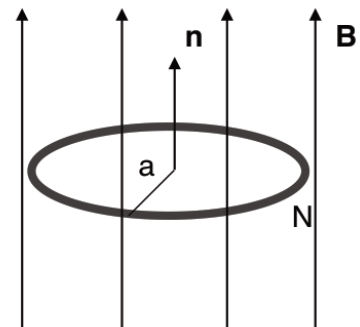
### Esercizi:

1) In una sfera di raggio  $R$  di materiale dielettrico lineare e omogeneo (costante dielettrica relativa  $\epsilon_r$ ) è uniformemente distribuita una carica elettrica  $Q$ . La superficie esterna della sfera è ricoperta da un sottile strato metallico collegato a terra. Calcolare:

- il campo elettrico e il potenziale in funzione della distanza  $r$  dal centro della sfera;
- la densità di carica superficiale indotta nel metallo.



2) Una bobina, composta da  $N = 200$  spire circolari di raggio  $a = 5$  mm, si trova in una regione di spazio in cui è presente un campo magnetico  $\vec{B}$  uniforme e costante, di modulo  $B = 0,6$  T. La bobina è inizialmente disposta con l'asse parallelo alla direzione del campo. Sapendo che la resistenza  $R$  della bobina è pari a  $R = 3 \Omega$ , si determini la carica complessiva che attraversa la bobina a fronte di una rotazione della stessa di a)  $90^\circ$  e b)  $180^\circ$ .



### Domande:

- Dimostrare la legge di attrazione-repulsione tra due fili paralleli percorsi da corrente.
- Classificare e spiegare le proprietà magnetiche dei mezzi materiali.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

10 luglio 2017

## Onde

### Esercizi:

1) Una corda di nylon lunga  $L = 10$  m, con estremi in  $x = 0$  e  $x = L$ , viene fatta oscillare in un piano  $xy$  da una sorgente di frequenza  $\nu = 50$  Hz e su di essa si formano  $n = 25$  onde complete.

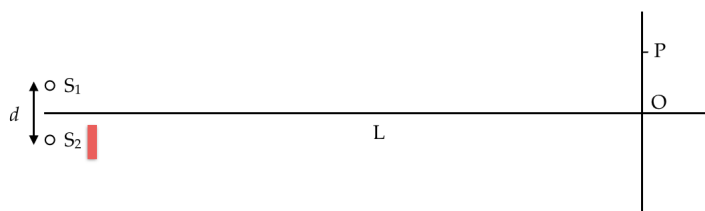
- Trovare la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione dell'onda;
- Scrivere l'equazione dello spostamento  $y$  di ogni punto della corda in funzione della posizione  $x$ , sapendo che l'ampiezza dell'onda è  $A = 30$  cm e che per  $t = 0$  s si ha  $y = -30$  cm.
- Qual è la costante di fase iniziale?

2) Due sorgenti identiche di onde elettromagnetiche sferiche, emettono in fase alla potenza  $P_1 = P_2 = 20$  W. Le onde hanno lunghezza d'onda  $\lambda = 500$  nm e sono polarizzate linearmente lungo la direzione congiungente le due sorgenti. La distanza tra le due sorgenti è  $d = 1$  cm. A distanza  $L = 10$  m è posto uno schermo su cui si osserva la figura di interferenza.

- Determinare il numero di massimi che si osservano tra i punti O e P, distanti  $\Delta x = 6$  cm.

Successivamente davanti ad una delle due sorgenti viene posta una lamina polaroid di spessore  $s = 1$   $\mu$ m, costante dielettrica relativa  $\epsilon_r = 3$  e permeabilità magnetica relativa  $\mu_r = 1$ , con l'asse di polarizzazione che forma un angolo  $\alpha = 45^\circ$  con il campo elettrico dell'onda.

- Determinare il valore dell'intensità luminosa in O.



### Domande:

- Fornire l'espressione di un'onda elettromagnetica e spiegarne le proprietà. Per tale onda, com'è definito il vettore di Poynting?
- Illustrare l'effetto Doppler con qualche esempio numerico.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/(Nm<sup>2</sup>) e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  N/A<sup>2</sup>*

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

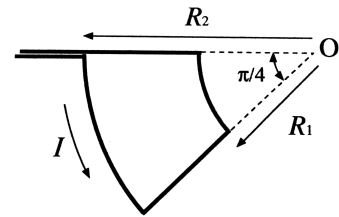
8 Settembre 2017

## Elettromagnetismo

### Esercizi:

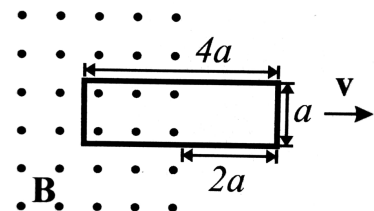
1) Un circuito, percorso da corrente  $I = 3 \text{ A}$ , è costituito da due archi di cerchio concentrici di raggi  $R_1 = 4 \text{ cm}$  e  $R_2 = 8 \text{ cm}$  e da due segmenti radiali, come in figura. L'angolo sotteso ai due archi è di  $\pi/4$  radianti.

- 1) Si calcoli il campo magnetico  $\vec{B}$  generato nel centro O degli archi;
- 2) si fornisca una stima del modulo del campo magnetico in un punto A, a distanza di  $r = 2 \text{ m}$  da O, posto nel piano del circuito.



2) Una spira rettangolare, di lati  $a = 38 \text{ cm}$  e  $4a$  e di resistenza  $R = 8 \Omega$ , viene estratta con velocità costante  $v = 2,4 \text{ m/s}$  da una regione di campo magnetico  $\vec{B}$  uniforme, perpendicolare alla spira e di modulo  $|\vec{B}| = 0,27 \text{ T}$ , in cui era immersa solo per metà, come in figura. Si calcoli:

- 1) la corrente indotta massima  $I_{\text{max}}$ ;
- 2) il modulo  $F$  della forza necessaria per l'estrazione della spira;
- 3) il lavoro  $L$  che è necessario compiere per estrarre completamente la spira.



### Domande:

- 1) Spiegare l'effetto Hall classico con qualche esempio di applicazione.
- 2) Spiegare il fenomeno dell'induzione elettrostatica facendo qualche esempio di induzione completa e di induzione incompleta.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$*

## Soluzioni Elettromagnetismo - 08/09/17

### Soluzione testo 1):

1)  $\vec{B}$  ha direzione perpendicolare al piano del circuito e verso *entrante* nel foglio; il suo modulo vale:  $B = \frac{\mu_0 I}{16R_1 R_2} (R_2 - R_1) = 2,95 \mu\text{T}$ ;

2) Il sistema è approssimabile ad un dipolo magnetico di area  $S = \pi(R_2^2 - R_1^2)/8$  e quindi di momento magnetico  $\mathcal{M} = IS$ . A distanze grandi dalla spira il campo è sempre approssimabile a quello del dipolo. Si ha quindi:  $B \approx \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{2\pi r^3} \approx 1 \text{ nT}$ .

### Soluzione testo 2):

1)  $I_{\max} = Bav/R = 30,8 \text{ mA}$ .

2)  $F = I_{\max} aB = B^2 a^2 v/R = 3,16 \text{ mN}$ ;

3)  $L = 2aF = 2B^2 a^3 v/R = 2,4 \text{ mW}$ .

# Fisica Generale T2 - Prof. M. Villa

CdL in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni

8 Settembre 2017

## Onde - Compito A

### Esercizi:

Una delle corde di una chitarra è costituita da un filo di acciaio, avente densità  $\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$ , ed ha una lunghezza  $L = 1,05 \text{ m}$  tra i due estremi vincolati. Quando la chitarra è correttamente accordata, tale corda emette un suono corrispondente alla nota musicale  $La$ , dovuto alla frequenza fondamentale di vibrazione della corda stessa, che vale  $\nu = 220 \text{ Hz}$ . In tali condizioni, la tensione della corda è di  $T = 780 \text{ N}$ .

- Determinare quale deve essere il diametro  $d$  della corda.
- Sapendo che la potenza media della sorgente sonora (considerata puntiforme) corrispondente alla nota musicale di cui sopra è  $P_m = 0,5 \text{ mW}$  e considerando le onde sonore come sferiche, determinare a quale distanza  $D$  dalla sorgente l'intensità del suono percepito vale  $\beta_S = 50 \text{ dB}$ .
- Nell'ipotesi in cui l'onda sonora si propaghi all'interno di un locale in aria ( $\rho_{\text{aria}} = 1,27 \text{ kg/m}^3$ ), approssimabile ad un gas perfetto biatomico, ( $\gamma = 7/5$ ) con velocità  $v_S = 336 \text{ m/s}$ , determinare la pressione  $p$  all'interno del locale.

2) Si consideri un'onda EM il cui campo elettrico è dato da

$$\vec{E} = E_0 \sin[2\pi\nu(xc - t)]\hat{j} + E_0 \cos[2\pi\nu(xc - t)]\hat{k}$$

dove  $c$  è la velocità della luce nel vuoto e  $\nu = 1,50 \text{ GHz}$ . Si determini:

- la lunghezza d'onda  $\lambda$ , la direzione di propagazione ed il vettore d'onda  $\vec{k}$  dell'onda EM;
- lo stato di polarizzazione dell'onda;
- il campo magnetico  $\vec{B}$  dell'onda;
- il vettore di Poynting  $\vec{S}$ .

### Domande:

- Spiegare l'effetto Doppler.
- Illustrare le differenze principali tra onde piane e onde sferiche.
- Spiegare l'origine del principio di sovrapposizione delle onde.

*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  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$  e  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$*