

## Coordinate e Materiale

Esercitatore: Stefano Argirò

stefano.argiro@unito.it

tel 011670-7372

Ricevimento: su appuntamento tramite e-mail

<http://www.to.infn.it/~argiro>

Materiale :

- Testi degli esercizi: <http://fisica.campusnet.unito.it>, linkato anche da <http://www.to.infn.it/~argiro/elettricitamagnetismo.shtml>
- Temi di esame parzialmente svolti <http://www.to.infn.it/~argiro>
- Temi di esame precedenti: <http://www.to.infn.it/~achiavas>
- Libri: esercizi si trovano sul Mazzoldi e sul Mencuccini . Un libro di esercizi svolti è il Nigro Voci, Esercizi di Fisica Generale, Elettromagnetismo ed ottica , ed. Cortina

### 1 Esercitazioni di Elettricità e Magnetismo - Legge di Coulomb

1. Tre cariche puntiformi positive uguali sono poste ai vertici di un triangolo equilatero di lato  $d= 10\text{cm}$ . Sia  $q = 1.0 \mu\text{C}$  il valore di ogni carica. Calcolare la forza elettrostatica a cui è sottoposta ciascuna di esse.
2. Calcolare il campo elettrico generato da un piano indefinito uniformemente carico.
3. Due sbarrette sottili di materiale isolante, lunghe  $l = 0.5 \text{ m}$ , sono disposte perpendicolarmente tra di loro. La distanza del punto P dalle estremità delle due sbarrette è  $d=0.1 \text{ m}$ . Determinare il valore del campo elettrostatico in P se su ciascuna sbarretta è distribuita uniformemente la carica  $q = 0.5 \times 10^{-9} \text{ C}$ .

## 2 Esercitazioni di Elettività e Magnetismo - Legge di Coulomb, campo Elettrico e teorema di Gauss

1. Tre cariche puntiformi positive uguali sono poste ai vertici di un triangolo equilatero di lato  $d = 10\text{cm}$ . Sia  $q = 1.0\ \mu\text{C}$  il valore di ogni carica. Calcolare la forza elettrostatica a cui è sottoposta ciascuna di esse. [1.56N]
2. Due sbarrette sottili di materiale isolante, lunghe  $l = 0.5\text{ m}$ , sono disposte perpendicolarmente tra di loro. La distanza del punto P dalle estremità delle due sbarrette è  $d = 0.1\text{ m}$ . Determinare il valore del campo elettrostatico in P se su ciascuna sbarretta è distribuita uniformemente la carica  $q = 0.5 \times 10^{-9}\text{ C}$ . [ $1.06 \times 10^{-2}\text{N/C}$ ]
3. Calcolare il campo elettrico generato da un piano indefinito uniformemente carico. Svolgere l'esercizio sia usando la legge di Coulomb sia usando il teorema di Gauss. [ $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ]
4. Una sfera cava ha raggi  $R_1 = 2\text{cm}$  e  $R_2 = 9\text{cm}$  e la carica  $Q = 18\text{ nC}$  è uniformemente distribuita. Calcolare l'espressione del campo elettrico nelle tre regioni e il suo valore massimo. [ $2 \times 10^4\text{N/C}$ ]
5. All'interno di una sfera uniformemente carica viene ricavato un foro, anch'esso sferico, non concentrico. Calcolare il campo elettrico entro la cavità. [ $\frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{R}$ ]
6. Un elettrone viene emesso lungo l'asse x con velocità v. All'istante  $t=0$ , l'elettrone entra a metà tra due armature di un condensatore piano nel vuoto, avente lunghezza l e distanza tra le armature h. Sulle armature la densità superficiale di carica è  $\sigma$ . Ad una distanza d dalla fine del condensatore è posto uno schermo. Trascurando gli effetti di bordo:
  - a) Calcolare il valore massimo di densità superficiale di carica per cui l'elettrone non urta le armature.
  - b) Determinare, per quel valore di densità di carica, la coordinata y del punto di impatto sullo schermo.
  - c) Discutere la dipendenza dalla densità di carica del tempo di arrivo dell'elettrone sullo schermo.

### 3 Esercitazioni di Elettricità e Magnetismo - Legge di Coulomb, campo Elettrico e teorema di Gauss

1. Una sbarretta sottile lunga  $L$  giace lungo l'asse  $y$  di un piano cartesiano, il punto medio coincidente con l'origine. La sua densità lineare di carica varia con  $y$  secondo la relazione  $\lambda(y) = \alpha|y|$ . Calcolare il campo elettrico in un punto di coordinate  $(x, 0)$
2. Una sfera cava ha raggi  $R_1 = 2\text{cm}$  e  $R_2 = 9\text{cm}$  e la carica  $Q = 18\text{ nC}$  è uniformemente distribuita. Calcolare l'espressione del campo elettrico nelle tre regioni e il suo valore massimo. [ $2 \times 10^4\text{ N/C}$ ]
3. All'interno di una sfera uniformemente carica viene ricavato un foro, anch'esso sferico, non concentrico. Calcolare il campo elettrico entro la cavità. [ $\frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{R}$ ]
4. Due sfere uguali non conduttrici di raggio  $R$  hanno densità di carica distribuita con simmetria sferica secondo la legge  $\rho(r) = kr^2$ . I centri delle sfere sono posti a distanza  $l$  dall'origine. Calcolare il campo nei punti  $P_1(0, l/2, 0)$  e  $P_2((R/2-l), 0, 0)$  sapendo che  $R = 5\text{cm}$ ,  $l = 20\text{cm}$  e  $k = 10^{-3}\text{ Cm}^{-5}$ . [ $125.5\text{ N/C}, 302.3\text{ N/C}$ ]
5. Un doppio strato è costituito da due regioni planari (infinite) con densità di carica  $\rho$  e  $-\rho$  e spessore  $d$ . Determinare l'andamento del campo elettrico.
6. Un elettrone viene emesso lungo l'asse  $x$  con velocità  $v$ . All'istante  $t=0$ , l'elettrone entra a metà tra due armature di un condensatore piano nel vuoto, avente lunghezza  $l$  e distanza tra le armature  $h$ . Sulle armature la densità superficiale di carica è  $\sigma$ . Ad una distanza  $d$  dalla fine del condensatore è posto uno schermo. Trascurando gli effetti di bordo:
  - a) Calcolare il valore massimo di densità superficiale di carica per cui l'elettrone non urta le armature.
  - b) Determinare, per quel valore di densità di carica, la coordinata  $y$  del punto di impatto sullo schermo.
  - c) Discutere la dipendenza dalla densità di carica del tempo di arrivo dell'elettrone sullo schermo.

## 4 Potenziale elettrostatico, dipolo elettrico

1. Calcolare il campo generato da un anello sottile nei punti del suo asse, utilizzando la relazione tra potenziale e campo.
2. Calcolare il campo generato da un disco sottile nei punti del suo asse, utilizzando la relazione tra potenziale e campo.
3. Un filo rettilineo indefinito è carico con densità lineare  $-\lambda$ . Una superficie cilindrica indefinita di raggio  $R_0=2\text{cm}$ , avente il filo come asse, è carica con densità superficiale  $\sigma$ . Se la ddp  $\Delta V$  tra un punto P1 distante  $R_1=1\text{cm}$  dall' asse e P2 distante  $R_2=4\text{cm}$  dall'asse è nulla, quanto vale il rapporto  $\sigma/\lambda$ ? [ $15.92\text{ m}^{-1}$ ]
4. Su una superficie sferica di raggio  $R=10\text{ cm}$ , nel vuoto, è uniformemente distribuita una carica elettrica  $Q$  negativa. Uno ione carbonio, posto inizialmente al centro della sfera, viene lanciato radialmente verso un foro praticato nella superficie (abbastanza piccolo da poterne trascurare l'effetto). Si osserva che lo ione riesce ad allontanarsi, sfuggendo all'attrazione della sfera, quando la velocità iniziale dello stesso supera i  $3.6 \times 10^6\text{ Km/h}$ . Calcolare:
  - (a) campo elettrico e potenziale all'interno della superficie sferica
  - (b) carica e densità di carica della superficie [ $-6.9 \times 10^8\text{C}$ ]
  - (c) velocità dello ione a  $10\text{m}$  dal centro della sfera [ $0.1v_0$ ]
5. Due cariche  $+q$  e due cariche  $-q$  di ugual valore assoluto sono poste ai vertici di un quadrato di lato  $l=14.1\text{ cm}$ . L'energia elettrostatica del sistema vale  $U=-3.6 \times 10^{-5}\text{ J}$ . Una carica  $q^*$  viene spostata dal punto A ( $l/2,0$ ) al punto B ( $0,l/2$ ) compiendo un lavoro  $L=2.8 \times 10^{-7}\text{ J}$  contro le forze del campo. Determinare  $q$  e  $q^*$ . [ $1.9 \times 10^{-9}\text{C}$ ,  $9.93 \times 10^{-11}\text{C}$ ]

## 5 Esercizi vari di elettrostatica- Dipolo Elettrico

- Un rudimentale elettrometro è costituito da due sferette A e B conduttrici, puntiformi, di massa 10g, che sono appese nel vuoto, tramite fili isolanti inestensibili sottilissimi, lunghi 5cm, ad un punto O. Per contatto con un altro conduttore carico, una carica Q viene deposta su ciascuna delle sferette, le quali si spostano in una posizione di equilibrio definita da un angolo di apertura tra i fili di  $150^\circ$ . Calcolare (trascurando massa e polarizzazione dei fili) :
  - la carica Q delle sferette [ $6.16 \times 10^{-7} \text{ C}$ ]
  - il lavoro speso dal campo elettrico per spostarle da una distanza angolare di  $8^\circ$  a quella finale di  $150^\circ$  [0.45J].
- In un foglio isolante piano indefinito, carico con densità superficiale di carica uniforme  $\sigma = 10^{-6} \text{ C/m}$ , è praticato un foro circolare di raggio  $R=0.1 \text{ m}$ . Sull'asse del foro, in un punto P distante  $x=R$  dal centro O del foro, è sospesa in equilibrio, tramite un filo attaccato al bordo superiore del foro, una sferetta di massa  $m = 10^{-3} \text{ kg}$  e carica q. Calcolare il valore di q e il lavoro che occorre spendere per spostare la sferetta, lasciata libera, da P a O. [ $0.25 \mu\text{C}$ ,  $5.7 \times 10^{-4} \text{ J}$ ]
- Una sfera di raggio a uniformemente carica è racchiusa dentro una superficie sferica di raggio b, concentrica. Il potenziale della sfera di raggio b è tenuto a zero, mentre il centro della sfera carica è  $V=V_0$ . Ricavare la densità di carica della sfera di raggio a. [ $\rho = \frac{6\epsilon_0 b V_0}{a^2(3b-2a)}$ ]
- Un dipolo elettrico di momento  $p=1.4 \times 10^{-8} \text{ Cm}$  dista  $2.8 \times 10^{-2} \text{ m}$  dall'asse di un filo conduttore lungo 3m che porta una carica totale di  $12 \mu\text{C}$ . Si determini la forza ed il momento della forza che si esercitano quando:
  - p è parallelo al filo [ $F = 0$ ,  $M = 0.036 \text{ Nm}$ ]
  - p è perpendicolare al filo [ $F = -1.3 \text{ N}$ ,  $M = 0$ ]
  - valutare il lavoro compiuto dal dipolo quando questo passa dalla prima alla seconda posizione. [ $3.6 \times 10^{-2} \text{ J}$ ]
- Su una semicorona piana circolare ( $R_1=3 \text{ cm}$ ,  $R_2=5 \text{ cm}$ ) è distribuita uniformemente una carica  $Q=1.8 \times 10^{-8} \text{ C}$ . Calcolare:
  - il momento di dipolo elettrico del sistema formato dal settore circolare e da una carica puntiforme  $Q' = -Q$  posta al centro della semicorona [ $4.68 \times 10^{-10} \text{ Cm}$ ]
  - la forza con cui la carica è attratta dalla semicorona [ $1.18 \times 10^{-3} \text{ N}$ ]
- Un dipolo elettrico di momento  $p_1 = q_1 a$  è vincolato a mantenere fissa la sua configurazione (posizione e orientamento). Sulla retta individuata da  $p_1$  e nel suo verso positivo, a distanza  $d \gg a$ , è disposto un secondo dipolo di momento  $p_2 = q_2 a$ . Quest'ultimo è mantenuto in posizione fissa, ma il suo orientamento è libero. Inizialmente l'orientamento dei due dipoli è opposto. Quale orientamento raggiunge  $p_2$  all'equilibrio e di quanto è variata la sua energia potenziale? A quale forza risultante è soggetto  $p_2$  ad opera di  $p_1$  nella situazione finale? [Allineato al campo,  $\Delta E = \frac{p_1 p_2}{\pi \epsilon_0 d^3}$ ,  $F = p_2 \frac{-3 p_1 p_2}{2 \pi \epsilon_0 d^4}$ ]

## 6 Esercizi vari di Elettrostatica nel vuoto

1. Un elettrone viene emesso lungo l'asse  $x$  con velocità  $v$ . All'istante  $t=0$ , l'elettrone entra a metà tra due armature di un condensatore piano nel vuoto, avente lunghezza  $l$  e distanza tra le armature  $h$ . Sulle armature la densità superficiale di carica è  $\sigma$ . Ad una distanza  $d$  dalla fine del condensatore è posto uno schermo. Trascurando gli effetti di bordo:
  - a) Calcolare il valore massimo di densità superficiale di carica per cui l'elettrone non urta le armature.
  - b) Determinare, per quel valore di densità di carica, la coordinata  $y$  del punto di impatto sullo schermo.
  - c) Discutere la dipendenza dalla densità di carica del tempo di arrivo dell'elettrone sullo schermo.
2. Su una semicorona piana circolare ( $R_1=3$  cm,  $R_2=5$ cm) è distribuita uniformemente una carica  $Q=1.8 \cdot 10^{-8} C$ . Calcolare:
  - (a) il momento di dipolo elettrico del sistema formato dal settore circolare e da una carica puntiforme  $Q' = -Q$  posta al centro della semicorona [ $4.68 \times 10^{-10} Cm$ ]
  - (b) la forza con cui la carica è attratta dalla semicorona [ $1.18 \times 10^{-3} N$ ]
3. In un foglio isolante piano indefinito, carico con densità superficiale di carica uniforme  $\sigma = 10^{-6} C/m$ , è praticato un foro circolare di raggio  $R=0.1$  m. Sull'asse del foro, in un punto  $P$  distante  $x=R$  dal centro  $O$  del foro, è sospesa in equilibrio, tramite un filo attaccato al bordo superiore del foro, una sferetta di massa  $m = 10^{-3}$  kg e carica  $q$ . Calcolare il valore di  $q$  e il lavoro che occorre spendere per spostare la sferetta, lasciata libera, da  $P$  a  $O$ . [ $0.25 \mu C$ ,  $5.7 \times 10^{-4} J$ ]
4. Quattro protoni sono disposti ai vertici di un quadrato di lato  $2 \times 10^{-9}$  m. Un quinto protone si trova inizialmente sulla perpendicolare al quadrato passante per il centro, ad una distanza di  $2 \times 10^{-9}$  m dal centro stesso. Calcolare: a) la minima velocità iniziale che il quinto protone deve avere per raggiungere il centro del quadrato [ $1.85 \times 10^4$  m/s] e b) la sua accelerazione iniziale e finale.
5. Un dipolo elettrico di momento  $p$  è posto nel vuoto sull'asse di un sottile anello rigido circolare di raggio  $R$ , uniformemente carico con densità lineare  $\lambda$  positiva. Se il dipolo è disposto parallelamente all'asse e puntato in direzione opposta all'anello, ricavare la distanza  $z_0$  per la quale la forza sul dipolo è nulla. [ $z = \frac{R}{\sqrt{2}}$ ]

## 7 Esercitazioni di Elettricità e Magnetismo - Conduttori

1. Due sfere conduttrici di raggi  $R_1$  e  $R_2$  sono poste nel vuoto ad una distanza  $x$  tra i centri molto grande rispetto ad  $R_1$  e  $R_2$ . La sfera  $S_1$ , isolata, ha una carica  $q_1$  e la sfera  $S_2$  è mantenuta al potenziale  $V_2$  rispetto all'infinito. Calcolare il potenziale  $V_1(x)$  della sfera  $S_1$ , la carica  $q_2(x)$  della sfera  $S_2$  e la forza  $F(x)$  tra le sfere in funzione della distanza  $x$ .
2. Due fogli metallici sferici di spessore trascurabile, concentrici, aventi raggi  $R_1=2\text{cm}$  e  $R_2=5\text{cm}$ , sono collegati con un sottile filo conduttore. Una carica  $q=10^{-10}\text{C}$  è posta al centro del sistema, ed una carica  $q_0=q$  è posta in un punto B a distanza  $d=25\text{cm}$  dal foglio esterno. Calcolare la forza esercitata da  $q_0$  su ciascun foglio e il lavoro che occorre compiere per portare  $q_0$  dal punto B al punto A distante  $x_0=0.5\text{cm}$  dal centro del sistema.
3. Due sfere conduttrici identiche (A e B) di raggio  $r=1\text{mm}$  sono poste nel vuoto con centri a distanza  $d=2\text{m}$  l'una dall'altra. Le sferette sono inizialmente cariche con cariche elettriche uguali  $q=10^{-9}\text{C}$ . Essendo  $d \gg r$  si può fare l'ipotesi che le cariche si distribuiscano uniformemente sulle superfici delle sfere. Ad un dato istante la sferetta A viene collegata a terra chiudendo l'interruttore T.
  - (a) calcolare il valore della carica elettrica sulla superficie della sferetta A dopo la chiusura dell'interruttore T. [ $-0.5 \times 10^{-12}\text{C}$ ]
  - (b) calcolare il modulo della forza tra le due sferette [ $1.1 \times 10^{-12}\text{C}$ ]
  - (c) ad un dato istante la sferetta A viene scollegata da terra e collegata alla sfera B con un filo conduttore di capacità trascurabile. Calcolare il potenziale elettrostatico della sfera A. [4.54 kV]
4. Una sfera metallica piena di raggio  $R$  ha carica  $+2Q$ . Un guscio sferico di raggio  $3R$  è posta in posizione concentrica con la prima ed ha carica netta  $-Q$ . Trovare l'espressione del campo elettrico al variare della distanza  $r$  dal centro delle sfere. Calcolare la differenza di potenziale tra le due sfere. Quale sarebbe la distribuzione finale della carica se le due sfere venissero collegate con un filo conduttore?
5. Nel vuoto sono disposti a grande distanza due conduttori di capacità  $C_A$  e  $C_B=3C_A$  rispettivamente. I conduttori sono isolati, ed il primo è carico con carica  $Q_{IN,A}=1\mu\text{C}$ , mentre il secondo è inizialmente scarico. A un certo istante i conduttori vengono collegati tramite un filo metallico di capacità trascurabile. Successivamente il collegamento viene interrotto. Calcolare le cariche che si trovano alla fine sui due conduttori. [ $0.75$  e  $0.25\mu\text{C}$ ]
6. Due sfere conduttrici di raggio  $R_1=30\text{cm}$  e  $R_2=10\text{cm}$  rispettivamente sono poste a distanza  $D$  molto grande rispetto ai raggi. La prima sfera è carica con carica  $Q_1=2 \times 10^{-8}\text{C}$  ed inizialmente il collegamento elettrico tra le sfere è interrotto. Ad un certo istante viene chiuso l'interruttore T: determinare il valore della carica  $Q_2$  che deve possedere la seconda sfera perchè non si abbia passaggio di carica alla chiusura dell'interruttore. [6.7 nC]

## 8 Esercitazioni di Elettricità e Magnetismo - Capacità e Condensatori

1. Dopo aver caricato due condensatori di capacità  $C_1 = 5\mu F$  e  $C_2 = 4\mu F$  alle ddp di  $V_1=300V$  e  $V_2=250V$ , si collegano tra loro le armature positive e negative e viene posto in parallelo ai primi due in terzo condensatore, scarico, di capacità  $C_3=1\mu F$ . Determinare la carica presente alla fine su ciascun condensatore e la variazione di energia elettrostatica nel processo. [1.25 mC, 1.0mC, 0.25 mC, 0.0375J]
2. Quattro condensatori sono disposti come mostrato in figura 1. Un generatore è collegato ai terminali A e B e un elettroscopio tra C e D per misurare la ddp  $V_C - V_D$ . Dimostrare che l'elettroscopio segna zero se  $C_1/C_2 = C_3/C_4$
3. Tre condensatori, di capacità  $C_A=C$ ,  $C_B=2C$  e  $C_C=3C$  rispettivamente sono disposti come in figura 2. L'elettrodo A del condensatore di capacità  $C_A$  è tenuto a potenziale fisso  $V_1=10V$ , mentre l'elettrodo B del condensatore di capacità  $C_B$  è tenuto a  $V_2=40V$ . Qual è il potenziale  $V_3$  dell'elettrodo C del condensatore di capacità  $C_C$ ? [15V]
4. Un condensatore a facce piane parallele ha  $A=50cm^2$  e  $d = 5$  cm e viene caricato con  $Q = 5\mu C$ . Calcolare la forza con la quale si attraggono le armature. Calcolare il lavoro fatto dalle forze del campo se, tenendo ferma l'armatura negativa, si lascia avvicinare l'armatura positiva di  $x_0 = 1cm$ .  
Le armature, riportate a  $d = 5cm$ , vengono connesse ad un generatore con ddp  $V= 150V$ . Ricalcolare il lavoro fatto dal campo per avvicinare l'armatura positiva. [-282N, 2.82J]
5. In un condensatore piano ( $S, h$ ) viene inserita parallelamente alle armature una lastra conduttrice a facce piane parallele, ciascuna di area  $S$ , e spessa  $x$ . Calcolare di quanto varia la capacità del condensatore e quanto lavoro viene speso per inserire la lastra, nelle due ipotesi che l'inserimento avvenga mantenendo costante la carica sulle due armature o costante la ddp tra le medesime ( $S=400$  cm<sup>2</sup>,  $h = 1cm$ ,  $x=5mm$ ,  $\Delta V = 10^4V$ ). [35.4pF,  $8.84 \times 10^{-4} J$ , 1.77 mJ]
6. Si consideri il circuito in figura 3. I valori dei condensatori sono  $C_1=2$  nF,  $C_2= 4nF$ ,  $C_3=C_4=1$  nF e tra le loro armature vi è il vuoto. Il generatore fornisce una d.d.p. di 10V. Gli interruttori T1 e T2 sono inizialmente aperti.
  - a) Ad un certo istante l'interruttore T1 viene chiuso. Calcolare il valore finale della carica sul condensatore C3 e la d.d.p ai suoi capi. [5.7nF, 5.71V]
  - b) Successivamente viene aperto T1 e chiuso T2. Calcolare il valore finale della carica su C3 e C4 e la ddp finale ai loro capi. [2.85nC, 2.85V]

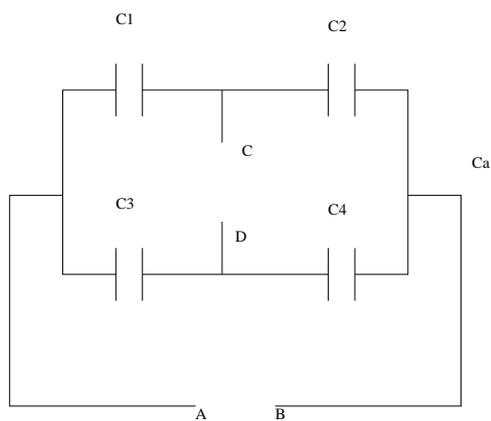


Figura 1:

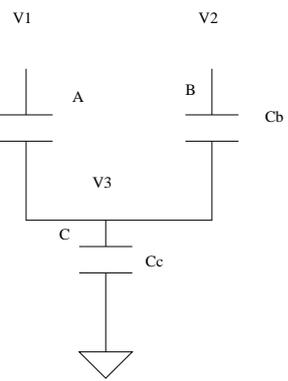


Figura 2:

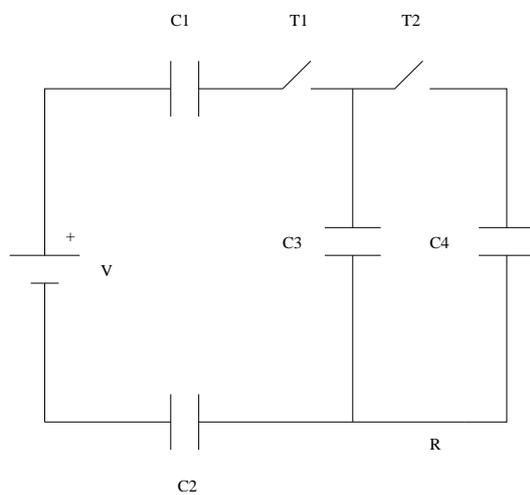


Figura 3:

## 9 Esercitazioni di Elettività e Magnetismo - Elettrostatica in presenza di Dielettrici

1. Tra le armature di un condensatore a facce piane parallele, di forma quadrata di lato  $l=20$  cm, e distanti tra loro  $d=0.32$  cm, è posta una lastra quadrata di dielettrico ( $\epsilon_r=2$ ), di lato  $l$  e spessore  $d$ . La massa della lastra è  $m=10.2$ g. Il condensatore viene caricato con una carica  $Q=2.2 \times 10^{-6}$ C, e poi posto verticalmente nel campo gravitazionale terrestre. Se la lastra di dielettrico è libera di scorrere tra le armature, qual è la posizione di equilibrio? [9.2 mm]
2. Due condensatori piani identici di capacità  $C=44.25$  pF con distanza  $d$  tra le armature, in aria, sono collegati in serie. Un generatore mantiene costante la d.d.p.  $V_0=50$ V. Un foglio di materiale isolante di costante dielettrica relativa  $k=10$  di spessore  $s=d/10$  e superficie uguale alle armature viene introdotto in uno dei due condensatori. Calcolare:
  - (a) la d.d.p. tra le armature del condensatore in cui è stato introdotto il dielettrico [23.82V]
  - (b) la variazione di energia potenziale elettrostatica posseduta dal sistema a seguito dell'introduzione del dielettrico [ $1.3 \times 10^{-9}$ J]
  - (c) il lavoro compiuto dal generatore per mantenere costante la tensione  $V_0$ . [ $-2.6 \times 10^{-9}$ J]
3. Un condensatore piano, avente armature verticali di area  $\Sigma=500$ cm<sup>2</sup> distanti  $d=1$ cm è collegato ad un generatore di d.d.p.  $V=10^3$  V. Una lastra di dielettrico, di spessore  $h=0.6$  cm e costante dielettrica relativa  $k=4$ , è inserita tra le armature ed è addossata a quella carica negativamente. All'armatura positiva è appesa, tramite un filo sottile isolante, una pallina di massa  $m=10^{-3}$  kg e carica  $q_0=5 \times 10^{-9}$ C, che rimane in equilibrio con il filo ad angolo  $\theta$  dalla verticale. Calcolare il valore del campo elettrico che agisce sulla pallina, dell'angolo di equilibrio  $\theta$ , della carica presente sulle armature e della carica di polarizzazione presente sulla superficie del dielettrico. [ $1.82 \times 10^5$ V/m,  $\theta=5.26^\circ$ ,  $q_p=6.03 \times 10^{-8}$ C,  $q=8 \times 10^{-8}$ C]
4. Una sfera conduttrice di raggio  $R_0=1$ cm è circondata da un involucro sferico di raggio interno  $R_1=5$  cm, con costante dielettrica relativa  $k=4$ . Sulla sfera si trova una carica libera  $q=10^{-8}$  C. Calcolare la densità delle cariche di polarizzazione. Calcolare l'energia elettrostatica del sistema. [ $\sigma_{p1}=-5.97 \times 10^{-6}$ ,  $\sigma_{p2}=0.24 \times 10^{-6}$ ,  $1.8 \times 10^{-5}$ J]
5. Lo spazio tra le armature di un condensatore piano ( $\Sigma=0.1$ m<sup>2</sup>,  $h=1$  cm) è riempito da un dielettrico non omogeneo la cui costante dielettrica relativa varia in modo lineare da  $k_1=3$  a  $k_2=5$  passando dall'armatura positiva a quella negativa. Calcolare la capacità del condensatore e le densità di carica di polarizzazione se ai capi del condensatore c'è una d.d.p. di  $V=1000$  V. [0.346 nC,  $-2.3\mu$ C,  $2.77\mu$ C]
6. Un sistema è formato da due conduttori sferici concentrici. Il conduttore interno è pieno e ed ha raggio  $a$ , quello esterno è cavo ed ha raggio interno  $b$  e esterno  $c$ . Lo spazio compreso tra i due conduttori è riempito da un dielettrico la cui costante dipende dalla distanza  $r$  dal

centro secondo la relazione :  $\epsilon = \epsilon_0 + m(r - a)$  . Il conduttore interno ha carica  $Q$ , quello esterno è mantenuto a potenziale costante  $V_0$  . Calcolare :

- (a) le cariche elettriche libere sulle tre superfici di raggio  $a, b, c$ .
- (b) le densità superficiali delle cariche di polarizzazione  $\sigma_p(a)$  e  $\sigma_p(b)$  presenti sulle superfici del dielettrico e la densità volumica di carica di polarizzazione  $\rho_p(r)$ .

Ad un dato istante, il conduttore interno viene collegato a quello esterno. Determinare i nuovi valori delle cariche sulle tre superfici e di quelle di polarizzazione.

## 10 Dielettrici non omogenei - Corrente Elettrica

1. Lo spazio tra le armature di un condensatore piano ( $\Sigma = 0.1m^2$ ,  $h = 1\text{ cm}$ ) è riempito da un dielettrico non omogeneo la cui costante dielettrica relativa varia in modo lineare da  $k_1 = 3$  a  $k_2 = 5$  passando dall'armatura positiva a quella negativa. Calcolare la capacità del condensatore e le densità di carica di polarizzazione se ai capi del condensatore c'è una d.d.p. di  $V = 1000\text{ V}$ .  $[0.346\text{ nC}, -2.3\mu\text{C}, 2.77\mu\text{C}]$
2. Un sistema è formato da due conduttori sferici concentrici. Il conduttore interno è pieno e ed ha raggio  $a$ , quello esterno è cavo ed ha raggio interno  $b$  e esterno  $c$ . Lo spazio compreso tra i due conduttori è riempito da un dielettrico la cui costante dipende dalla distanza  $r$  dal centro secondo la relazione :  $\epsilon = \epsilon_0 + m(r - a)$ . Il conduttore interno ha carica  $Q$ , quello esterno è mantenuto a potenziale costante  $V_0$ . Calcolare :

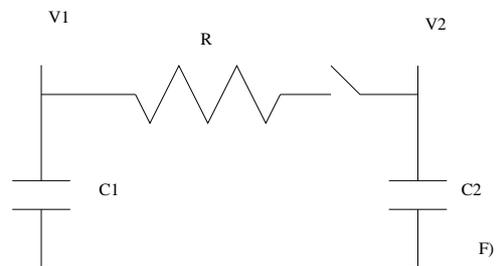
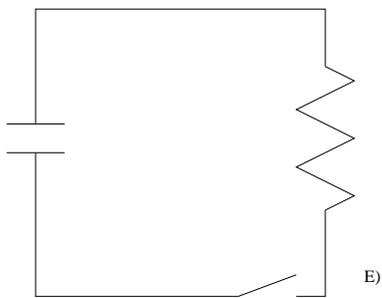
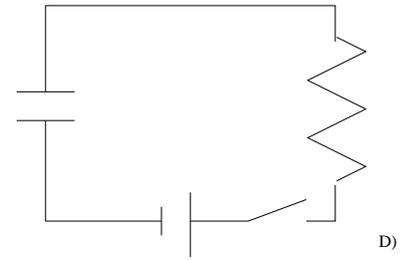
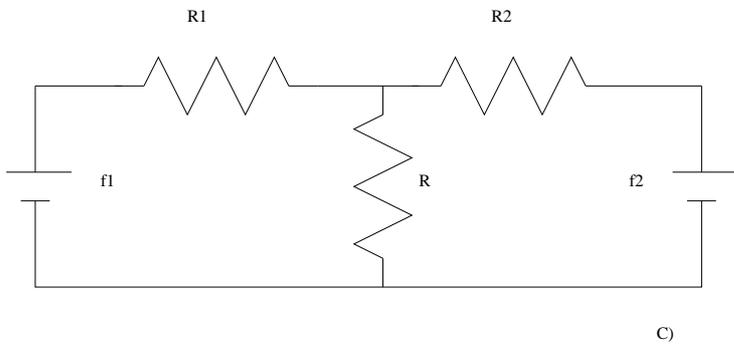
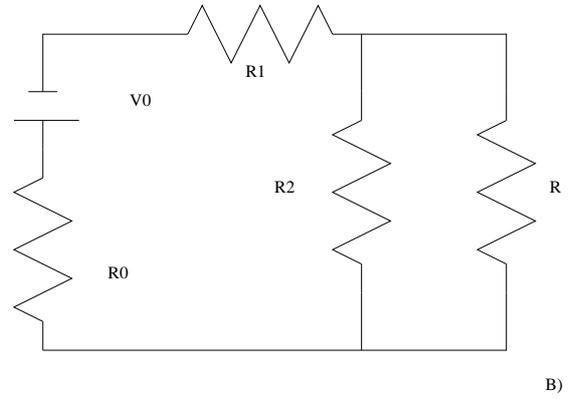
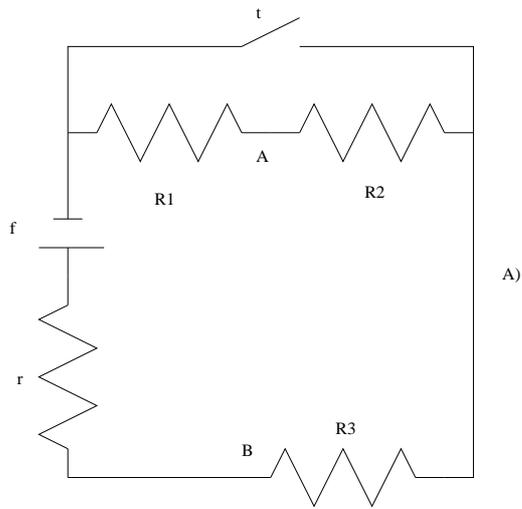
- (a) le cariche elettriche libere sulle tre superfici di raggio  $a, b, c$ .
- (b) le densità superficiali delle cariche di polarizzazione  $\sigma_p(a)$  e  $\sigma_p(b)$  presenti sulle superfici del dielettrico e la densità volumica di carica di polarizzazione  $\rho_p(r)$ .

Ad un dato istante, il conduttore interno viene collegato a quello esterno. Determinare i nuovi valori delle cariche sulle tre superfici e di quelle di polarizzazione.

3. Il collider di particelle LHC ha una circonferenza di  $26.7\text{ km}$ . Pacchetti di  $11.5 \times 10^{10}$  protoni si incrociano nei punti di interazione ogni  $25\text{ ns}$ . Assumendo che i protoni viaggino alla velocità della luce, qual è la corrente che circola nell'anello ? Il raggio del fascio è  $16\ \mu\text{m}$ , calcolare la densità di corrente.  $[0.735\text{A}, 9.1 \times 10^8\text{ A/m}^2]$
4. Un conduttore cilindrico cavo è costituito di un materiale con resistività  $\rho = 2\Omega\text{m}$  ed ha lunghezza  $d = 2\text{cm}$  e raggi interni ed esterni  $a = 2\text{mm}, b = 5\text{mm}$ . Una f.e.m. di  $20\text{ V}$  può essere applicata in modo che la corrente fluisca parallelamente all'asse del cilindro oppure radialmente dall'interno all'esterno. Calcolare nei due casi l'intensità di corrente, la potenza dissipata e la densità di corrente.  $[1) 33\text{mA}, 0.66\text{W}, 500\text{A/m}^2$   $2) 1.36\text{ A}, 27.1\text{ W}, 2.2 \times 10^3\text{ A/m}^2$  sulla superficie esterna]

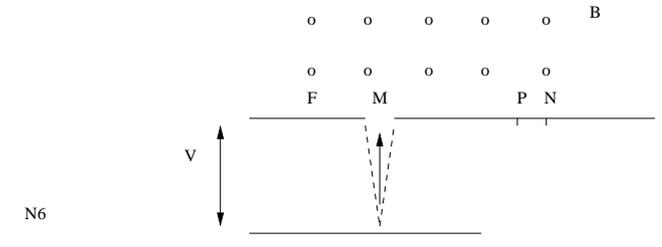
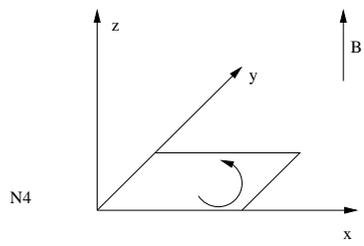
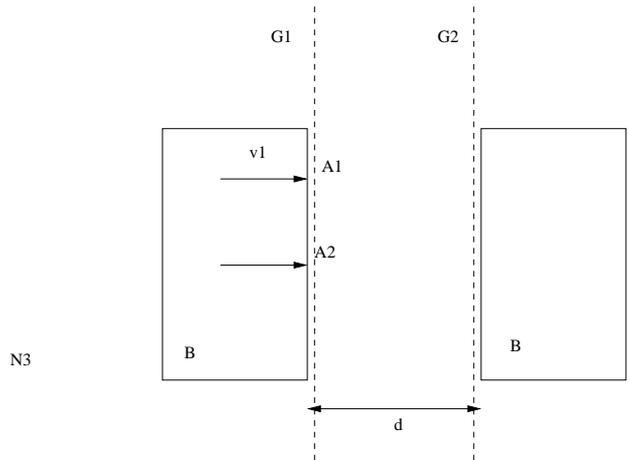
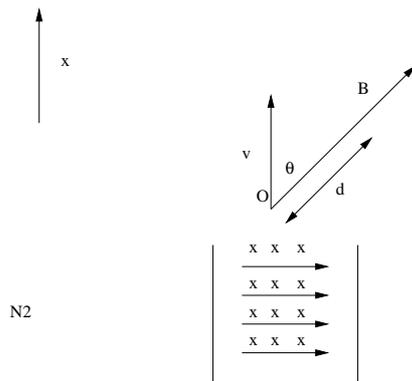
## 11 Esercitazioni di Elettività e Magnetismo - Reti di Resistori e Condensatori

1. Nella rete rappresentata in figura A), ricavare l'espressione della d.d.p. tra i punti B ed A, quando l'interruttore T è aperto o chiuso.
2. Calcolare il valore che la resistenza R in figura B) deve avere perché sia massima la potenza in essa dissipata ( $R_0 = 20\Omega$ ,  $R_1 = 30\Omega$ ,  $R_2 = 50\Omega$ ). [25  $\Omega$ ]
3. Nella rete di figura C) si ha  $f_1 = 10V$ ,  $R_1 = 100\Omega$ ,  $f_2 = 20V$ ,  $R_2 = 200\Omega$ ,  $R = 300\Omega$ . Calcolare la corrente stazionaria erogata dal generatore  $f_1$ , trascurando le resistenze interne di entrambi i generatori. [9.1 mA]
4. Studiare l'andamento di tensione (ai capi di R e C), corrente e potenza alla chiusura dell'interruttore nel circuito in figura D).
5. Studiare l'andamento di tensione, corrente e potenza alla chiusura dell'interruttore nel circuito in figura E). Il condensatore è inizialmente carico con carica  $q_0$ .
6. Un condensatore ( $C = 10\text{ nF}$ ) viene caricato attraverso un resistore ( $R = 15K\Omega$ ) mediante un generatore ( $V_0 = 300V$ ). Una lampadina al neon L, avente potenziale di innesco  $V_1 = 200V$  e di disinnesco  $V_2 = 100V$ , è connessa in parallelo al condensatore. Assumendo che il tempo di scarica della lampadina sia trascurabile, determinare l'intervallo di tempo tra due accensioni successive. [103  $\mu s$ ]
7. I condensatori in figura F) sono carichi ai potenziali  $V_{0,1} = 500V$  e  $V_{0,2} = 200V$ . I valori delle capacità sono  $C_1 = 2\mu F$  e  $C_2 = 4\mu F$ ,  $R = 3M\Omega$ . All'istante  $t=0$  viene chiuso l'interruttore. Calcolare come variano nel tempo le cariche e i potenziali sui condensatori e la corrente nel circuito. Dare il valore del lavoro totale speso su R. [0.06J]



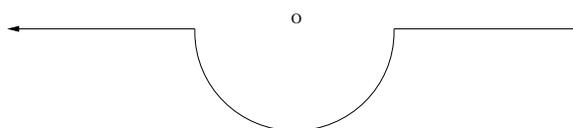
## 12 Esercitazioni di Elettività e Magnetismo - Campo magnetico e forza di Lorentz

1. Determinare il campo magnetico che si deve utilizzare in uno spettrometro di massa per separare (dopo  $180^\circ$ ) i due isotopi del potassio ( $A_1=41$ ,  $A_2=39$ ) se si vuole avere una separazione spaziale di 1cm. Gli ioni sono accelerati da una d.d.p. di  $10^4$  V. [0.45T]
2. Da un selettore di velocità, che opera con campo elettrico  $E_v = 10^5$  V/m e campo magnetico  $B_v=0.5$  T esce un fascio collimato di ioni  ${}^7\text{Li}^+$ . Nel punto  $O$  il fascio entra in una regione in cui esiste un campo magnetico  $B$  uniforme, parallelo al piano del disegno e formante un angolo  $\theta$  con l'asse  $x$ . Dopo un tempo  $t= 6.28 \times 10^{-6}$  s una particella si è allontanata da  $O$  di una distanza  $d=62.8$  cm percorrendo 10 giri attorno a  $B$ . Calcolare la velocità degli ioni, il valore di  $B$ , il valore di  $\theta$ , il raggio  $r$  della traiettoria elicoidale. [ $2 \times 10^5$  m/s, 0.7T,  $60^\circ, \sqrt{3} \times 10^{-2}$  m]
3. Due griglie  $G1$  e  $G2$  metalliche parallele molto estese, distanti  $d=4$  cm, tra le quali è applicata una d.d.p.  $V$ , separano due regioni in cui esiste un campo magnetico  $B=0.8$  T uniforme, ortogonale al disegno. In un punto  $A1$  viene iniettato un protone con velocità  $v_1$ , che all'istante  $t=0$  attraversa la griglia perpendicolarmente. Dopo un tempo  $t= 1.22 \times 10^{-7}$  s il protone riattraversa  $G1$  nello stesso verso in un punto  $A2$  distante  $h=5.2$  cm da  $A1$ . Descrivere la traiettoria seguita dal protone tra  $A1$  e  $A2$ , calcolare la d.d.p.  $V$  applicata tra le griglie e le velocità  $v1$  e  $v2$  del protone nelle regioni in cui c'è campo magnetico.
4. Una spira quadrata di lato  $a = 20$  cm è posta nel piano  $xy$  ed è percorsa dalla corrente  $i=5$  A nel verso indicato. Essa risente dell'azione del campo magnetico  $\vec{B} = \alpha \vec{x} \cdot u_z$ . Con  $\alpha = 0.2$  T/m. Calcolare la forza che agisce sulla spira e l'energia potenziale magnetica  $U_p$ . [0.04 N]
5. Si vogliono accelerare particelle  $\alpha$  mediante un ciclotrone fino all'energia di 20 MeV. La sorgente è posta al centro della macchina e si suppone che, appena uscite dalla sorgente, le particelle vengano accelerate dalla stessa d.d.p. che poi le accelererà nel passaggio da una cavità all'altra del ciclotrone. Il raggio massimo delle traiettorie (fissato dalle dimensioni della macchina) è  $R_{max}=0.5$  m, la d.d.p. acceleratrice è  $V_0 = 10^4$  V. Calcolare il valore di  $B$ , la frequenza di ciclotrone, il numero totale di giri, il tempo necessario per passare da zero a 20 MeV. [1.28T,  $0.1 \mu s$ , 500 giri,  $50 \mu s$ ]
6. Nel dispositivo in figura, un fascetto di ioni con carica  $e$  e massa  $m$ , accelerati da una d.d.p.  $V=24.5$  V, penetra attraverso una fenditura  $F$  in una regione con campo magnetico  $B=10^{-2}$  T uniforme ed ortogonale al disegno. Gli ioni che attraversano perpendicolarmente la fenditura nel punto  $M$  arrivano su un rivelatore  $R$  nel punto  $N$  con  $MN=35$  cm. Quelli che attraversano  $F$  in una direzione che forma con la normale un angolo  $\theta$  piccolo arrivano sul rivelatore in un punto  $P$  distante  $d$  da  $N$ . Calcolare la massa degli ioni e il valore di  $\theta$  per cui risulta  $d / MN = 10^{-3}$ . [ $10^{-26}$  kg,  $2.56^\circ$ ]



### 13 Esercitazioni di Elettività e Magnetismo - Sorgenti di Campo Magnetico

1. Calcolare il campo  $\mathbf{B}$  generato da una spira quadrata di lato  $2a$  nei punti del suo asse.
2. Calcolare il campo  $\mathbf{B}$  generato da un solenoide rettilineo sul suo asse.
3. Una lama di materiale conduttore, molto sottile e lunga, di larghezza  $d=6\text{cm}$  è percorsa da corrente stazionaria  $I=4.5\text{ A}$ , di densità uniforme in tutto il conduttore, che fluisce secondo il verso dell'asse  $x$ . Supponendo la lama disposta nel piano  $xy$ , con l'origine equidistante dai bordi, trovare l'intensità di  $B$  in un punto di coordinate  $(0,0,z)$ . Dare il valore numerico per  $z=10\text{ cm}$ . Calcolare l'intensità di corrente che dovrebbe scorrere in un filo rettilineo indefinito per produrre lo stesso campo  $B$  alla stessa distanza.
4. Un guscio sferico carico con densità di carica superficiale  $\sigma$  ruota con la velocità angolare  $\omega$  attorno a un suo diametro. Calcolare  $B$  nel centro della sfera. [ $\frac{2}{3}\mu_0\omega\sigma R$ ]
5. Due fili conduttori rettilinei  $AA'$  e  $BB'$  sono paralleli tra loro e le loro direzioni individuano un piano verticale. Il filo  $AA'$ , la cui lunghezza può essere assunta come infinita, è appoggiato su di un supporto orizzontale, mentre il filo  $BB'$ , che ha lunghezza  $l=20\text{cm}$ , e massa  $m=2\text{g}$  è libero di oscillare (lungo due guide con cui stabilisce un contatto strisciante) nel piano verticale comprendente i due fili, rimanendo parallelo e al di sopra di esso. I due fili sono percorsi da correnti costanti che fluiscono in verso opposto,  $I_1 = 25\text{ A}$  (su  $AA'$ ) e  $I_2 = 100\text{ A}$ . Trovare la posizione di equilibrio del filo mobile e il periodo delle piccole oscillazioni attorno alla posizione di equilibrio. [ $5\text{mm}, 0.14\text{s}$ ]
6. Un filo molto lungo, posto nel vuoto e percorso da corrente stazionaria, ha la configurazione mostrata in figura. Quanto vale il campo nel punto  $O$ , centro di curvatura del tratto semicircolare di raccordo tra i tratti rettilinei? Se il filo è immerso in un campo  $B$  entrante nel foglio, quanto vale la forza sulla porzione semicircolare di filo? [ $B = \frac{\mu_0 I}{4R}$ ]



## 14 Esercitazioni di Elettricità e Magnetismo - Campo Magnetico, legge di Ampère

1. Calcolare il campo  $B$  generato da una lamina sottile di lunghezza infinita percorsa da corrente  $i$  utilizzando la legge di Ampère. Si supponga che la distanza alla quale si misura il campo sia molto più piccola rispetto alla larghezza della lama.
2. Usare la legge di Ampère per valutare il campo  $B$  all'interno di un solenoide indefinito
3. Valutare il campo magnetico all'interno di un solenoide toroidale.  $[B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}]$
4. Un cavo coassiale è composto da un filo cilindrico di raggio  $R_1$ , circondato da un involucro cilindrico di raggio interno  $R_2$  e esterno  $R_3$ . Valutare il campo magnetico nelle varie regioni di spazio.
5. Un conduttore è costituito da un cilindro indefinito di raggio  $a = 30\text{cm}$ , nel quale è praticato un foro cilindrico, il cui asse dista  $b = 10\text{cm}$  dall'asse del conduttore, e il cui raggio è ancora  $b$ . Calcolare il valore del campo magnetico sulla retta che congiunge gli assi dei due cilindri all'interno del conduttore.  $[B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a^2 - b^2} b]$
6. Un magnete solenoidale in aria è lungo  $d=2\text{m}$  e ha raggio  $R=1\text{m}$ . È alimentato da un generatore di potenza  $P_0 = 1.5 \times 10^6\text{W}$  con corrente  $i = 5 \times 10^3\text{A}$ . Le spire sono di alluminio  $\rho = 2.8 \times 10^{-8}\Omega\text{m}$  e tollerano una densità massima di corrente di  $j=8.55\text{A/mm}^2$ . Nei cavi di collegamento tra alimentazione e magnete viene dissipata una potenza  $P' = 0.2 \times 10^6\text{W}$ . Calcolare il campo al centro del solenoide e la portata d'acqua nel circuito di raffreddamento delle spire, se la temperatura non deve salire più di  $20^\circ\text{C}$  [0.384T, 15 l/s]. Determinare il costo di esercizio orario se l'energia costa  $E$  euro/KWe. [0.10E/KWh].

## 15 Esercitazioni di Elettricità e Magnetismo - Campi magnetici nella materia

1. Un avvolgimento di  $N=500$  spire percorse da corrente di  $i=8A$  è disposto su una superficie toroidale circolare di sezione quadrata  $S = 4cm^2$  come in figura 1. La lunghezza media è di 132 cm. L'avvolgimento è riempito di isoperm ( $\chi_r = 60$  costante per grande intervallo di  $H$ ).
  - (a) Calcolare i valori di  $H, M$  e  $B$ , il flusso di  $B$ , il coefficiente di autoinduzione  $L$ , l'energia magnetica e il valore della corrente amperiana nel mezzo.
  - (b) Dal magnete viene rimossa una fetta di materiale spessa  $h=2cm$ , in modo da realizzare un traferro. Si ricalcolino le quantità richieste al punto precedente.
2. Un lungo filo rettilineo, percorso da corrente stazionaria  $i=5A$ , è posto sull'asse di un cilindro cavo di materiale ferromagnetico con  $\mu_r = 400$ . Ricavare l'andamento dei campi  $\vec{B}$  ed  $\vec{H}$  in funzione della distanza dall'asse del sistema. Calcolare il flusso di  $\vec{M}$  attraverso il rettangolo PQRS indicato in figura 2 ( $a=3$  cm,  $b=5$  cm,  $h=10cm$ ). [48.7 Am]
3. Un elettromagnete è costituito da materiale ferromagnetico. La curva di isteresi è riportata in figura 3 per la parte rilevante. La lunghezza media del ferro è 80 cm, la bobina è costituita da  $N=30$  spire. Si calcoli la corrente necessaria a creare nel traferro di lunghezza  $d=1$  cm un campo di 1T. Cosa cambia se il traferro è lungo 2 cm ? [318.6A, 584.1A]
4. Un anello di materiale ferromagnetico ha sezione di diametro  $D=1$  cm e raggio  $R=10$  cm. Un primo avvolgimento, di  $N=100$  spire, è avvolto sull'anello e porta una corrente  $I=2A$ . Il secondo avvolgimento è costituito da  $n=10$  spire. Se in tali condizioni  $\mu_r = 5000$ , calcolare il flusso attraverso il secondo avvolgimento. [1.57 mWb]
5. Il ciclo di isteresi di una data lega è mostrato in figura 4. Un magnete a forma di "C", con lunghezza media  $l=110$  cm e traferro spesso  $h=10$  cm è costituito di tale lega. L'avvolgimento è costituito da 80 spire. Ad un certo istante, la corrente viene portata ad un valore molto alta, che satura la lega. Quindi viene ridotta a  $i=600A$ . Calcolare il valore di  $B$  nel traferro in questo ultimo caso, a seconda che il percorso venga seguito facendo scorrere la corrente in un senso o nell'altro. Calcolare la corrente che corrisponde al punto S. [0.88T, 0.23T, 2190A]

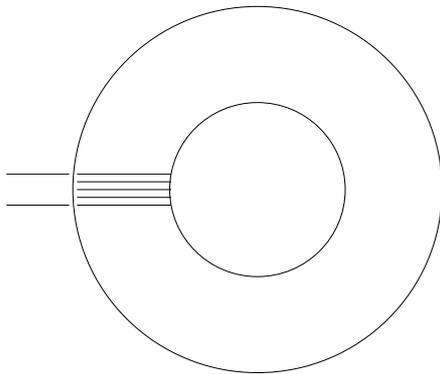


Figura 1

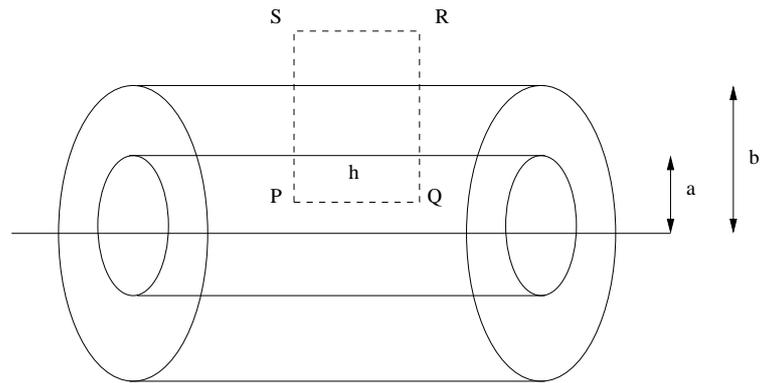


Figura 2

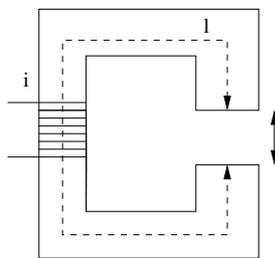


Figura 3

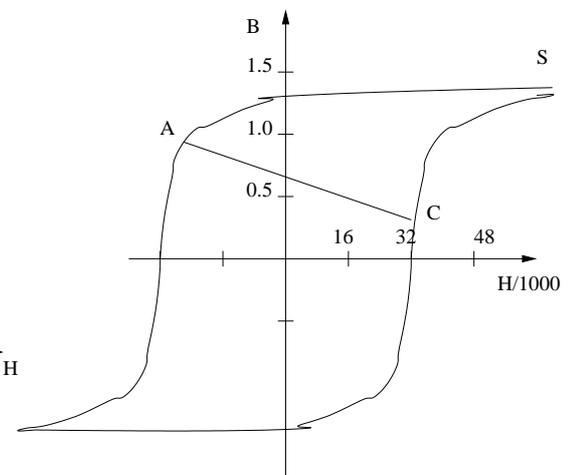
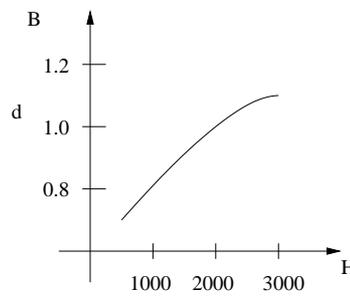
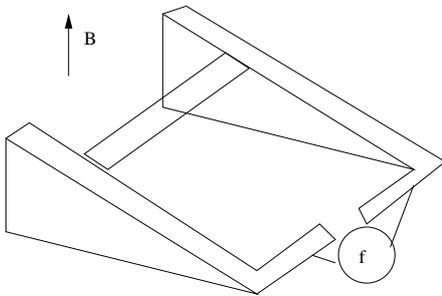
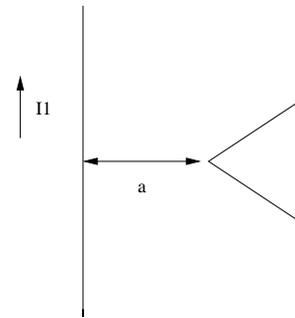
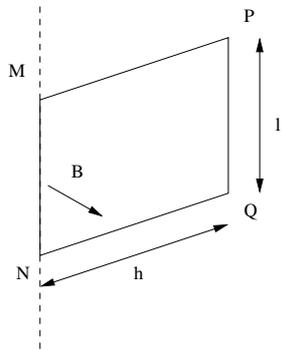
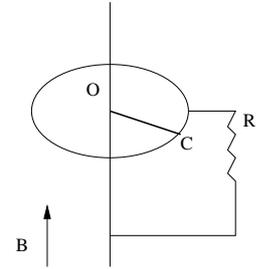
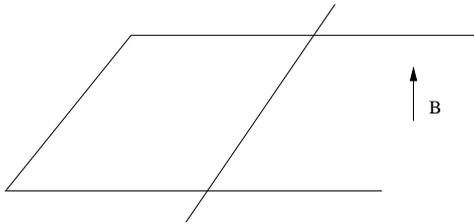


Figura 4

## 16 Esercitazioni di Elettività e Magnetismo - Legge di Faraday, induzione mutua

1. Un conduttore metallico di resistenza trascurabile è piegato a "U". I tratti paralleli sono distanti 5cm. Su di essi si sposta senza attrito un conduttore di  $R=5\Omega$  ortogonale ai lati paralleli, tenuto in moto con velocità costante  $v=10$  m/s nel verso delle  $x$  positive. Il sistema è immerso in un campo  $B=0.2$ T uniforme ortogonale al circuito e diretto verso l'alto. Calcolare, trascurando l'autoinduzione del circuito, la corrente indotta e la potenza spesa per mantenere la sbarra in movimento. [20mA, 2mW]
2. Una spira conduttrice rettangolare MNPQ di lati  $l$  ed  $h$ , ruota intorno al lato MN con velocità costante  $\omega$ . La spira è immersa in un campo  $B$  perpendicolare all'asse di rotazione. Calcolare il massimo valore della d.d.p. tra i due punti PQ ( $l=20$ cm,  $h=10$ cm,  $B=0.5$ T,  $\omega=150$  rad/s ). [1V]
3. Una sbarra orizzontale lunga  $b=20$ cm, sezione  $\Sigma=1$ cm<sup>2</sup>, densità  $d=3000$  kg/m<sup>3</sup>, resistività  $\rho=2 \times 10^{-5}$ m, può scivolare senza attrito su due guide parallele distanti  $b$ , inclinate di 30 gradi. Le due guide (di resistenza trascurabile) sono collegate ad un generatore di f.e.m.  $f$ . Il sistema è immerso in campo  $B=0.3$ T diretto secondo la verticale. Calcolare il valore di  $f$  affinché la sbarra resti ferma, la velocità limite  $v_0$  con cui la sbarra scende se  $f$  è in corto circuito, la potenza dissipata nella sbarra quando scende con velocità  $v_0$ . [0.23V, 4.4m/s, 1.3W]
4. Una sbarra rigida OC conduttrice, di lunghezza  $l=20$ cm, è saldata ad un asse rigido, conduttore, ortogonale alla sbarra stessa. L'asse è mantenuto in rotazione da una coppia di momento  $M$  ed ha velocità angolare  $\omega=50$  rad/s. L'estremo C della sbarra garantisce un contatto strisciante con un nastro conduttore circolare di raggio  $l$ . Tra il nastro e l'asse di rotazione è posta la resistenza  $R=100 \Omega$ . Il dispositivo è immerso in campo  $B=0.3$  T, parallelo all'asse ed uniforme. Calcolare la corrente che passa in  $R$  e la potenza meccanica erogata dalla coppia  $M$  (trascurare attriti e le resistenze). [3 mA, 0.9 mW]
5. Una spira conduttrice ha forma di triangolo equilatero di lato  $a=0.1$ m ed è fissata su di un piano orizzontale. Il vertice A della spira è posto a distanza  $a$  da un filo conduttore indefinito appoggiato sul piano orizzontale. Calcolare:
  - (a) Il coefficiente di mutua induzione  $M$  tra spira e filo [5.5 nH]
  - (b) La forza (in modulo, direzione, verso) agente sulla spira, se nel filo circola una corrente  $I_1$  di 2 A nel senso indicato in figura e nella spira  $I_2=0.1$  A in senso antiorario. [ $-7.6 \times 10^{-9}$  N]
6. Una bobina circolare compatta formata da  $N_1=3000$  spire di raggio  $R=25$  cm, è collegata ad un misuratore di f.e.m.; una seconda bobina compatta, coassiale alla prima e ad essa parallela, composta da  $N_2=100$  spire di raggio  $r=0.5$  cm, è percorsa dalla corrente  $i=15$  A e si muove lungo l'asse  $x$  con velocità costante. Calcolare il coefficiente di mutua induzione

M in funzione della distanza  $x$  tra i centri e il valore  $f(x)$  misurato nella prima quando la seconda ha velocità  $v=20$  m/s



## 17 Vari su induzione e induttanza

- Una bobina circolare compatta formata da  $N_1 = 3000$  spire di raggio  $R = 25$  cm, è collegata ad un misuratore di f.e.m.; una seconda bobina compatta, coassiale alla prima e ad essa parallela, composta da  $N_2 = 100$  spire di raggio  $r = 0.5$  cm, è percorsa dalla corrente  $i = 15$  A e si muove lungo l'asse  $x$  con velocità costante. Calcolare il coefficiente di mutua induzione  $M$  in funzione della distanza  $x$  tra i centri e il valore  $f(x)$  misurato nella prima quando la seconda ha velocità  $v = 20$  m/s
- Un solenoide di lunghezza  $l = 10$  cm, costituito da  $N = 1000$  spire e area  $S = 1$  cm<sup>2</sup>, è percorso da una corrente di 1 A. Nel solenoide viene inserito un nucleo di ferro dolce. Si può supporre che la curva  $B(H)$  sia lineare, quindi  $B = \mu_0 \mu_r H$  con  $\mu_r = 1000$ . Calcolare la forza con cui il nucleo viene risucchiato dal solenoide [6.28 N].
- Un cavo coassiale è costituito da due superfici cilindriche di raggi  $R_1$  e  $R_2$ , con la corrente  $I$  che scorre in verso opposto su ogni conduttore. Calcolare l'induttanza e l'energia magnetica per unità di lunghezza.
- Dato il circuito in figura, dove i generatori sono uguali con resistenza interna  $r$ , si parte da una situazione iniziale di regime in cui il commutatore è in posizione A. A  $t = 0$ , il commutatore passa in posizione B. Ricavare l'espressione della carica  $q(t)$  sul condensatore.
- Un solenoide molto lungo ha sezione  $4$  cm<sup>2</sup> e  $n = 20$  spire/cm. È alimentato con un generatore di ddp  $V_0$ . La resistenza del circuito è  $3\Omega$ . Una sbarra di ferro dolce ha permeabilità magnetica  $\chi_m = 1000$ , stessa sezione del solenoide, è parzialmente inserita in esso e viene fatta spostare con velocità costante  $v = 40$  cm/s prima in un senso, poi nell'altro. Calcolare nei due casi quanto deve essere  $V_0$  per mantenere nel circuito una corrente di 20 A e quanto vale la forza che deve essere applicata sulla sbarra per mantenerne la velocità. Discutere il bilancio energetico del sistema.

