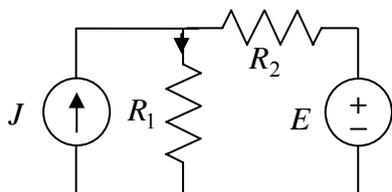




**Elementi di Elettromagnetismo Ambientale: prova scritta**

**ESERCIZIO I (4 punti)**

Con riferimento alla seguente rete in regime stazionario valutare la corrente che circola in  $R_1$ . [Ris.:  $i = 3.20 \text{ A}$ ]



$$E = 10 \text{ V}, J = 2 \text{ A},$$

$$R_1 = 1.5 \Omega, R_2 = 4.3 \Omega.$$

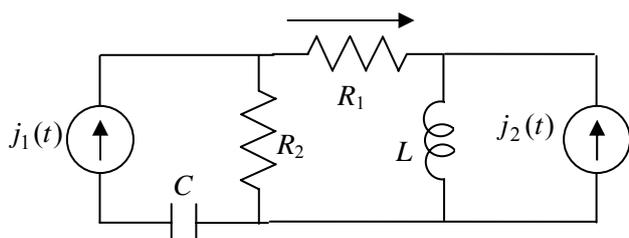
**ESERCIZIO II (14 punti)**

Con riferimento alla seguente rete in regime sinusoidale, valutare:

2.1 Il circuito equivalente di Norton ai capi di  $R_1$  [Ris.:  $\dot{Z}_{eq} = (0.30 + j0.50) \text{ k}\Omega$ ,  $\bar{I}_{cc} = (0.25 + j2.52) \text{ A}$ ]

2.2 la tensione ai capi del resistore  $R_1$  e la potenza complessa da esso assorbita.

[Ris.:  $v(t) = 0.78\sqrt{2} \sin(\omega t + 1.94) \text{ kV}$ ,  $\dot{A} = 1.23 \text{ kW}$ ]



$$j_1(t) = \sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ A},$$

$$j_2(t) = 2.5\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/4) \text{ A},$$

$$\omega = 10^2 \text{ rad/s}, R_1 = 0.5 \text{ k}\Omega, R_2 = 0.3 \text{ k}\Omega,$$

$$L = 5 \text{ H}, C = 0.1 \text{ mF}.$$

**ESERCIZIO III (14 punti)**

Si consideri un impianto di terra costituito da 3 dispersori a picchetto disposti in parallelo, ciascuno di lunghezza  $L=50 \text{ cm}$ , in serie ad un conduttore di protezione lungo  $50 \text{ m}$ . Per quest'ultimo la norma prevede l'utilizzo di:

conduttore	sezione [ $\text{mm}^2$ ]	Resistività [ $\mu\Omega\text{m}$ ]
rame	25	0.017
ferro	50	0.1

3.1 Esprimendo la resistenza del singolo dispersore a picchetto come  $R = \eta_T/L$ , dove  $\eta_T$  è la resistività del terreno, valutare la resistenza di terra  $R_T$  dell'intero impianto, considerando le seguenti tipologie di terreno:

Tipo di terreno	Sabbia umida	Sabbia secca
Resistività $\eta_T$ [ $\text{k}\Omega\text{m}$ ]	0.2	3

Verificare, in particolare, se la resistenza introdotta dal conduttore di protezione è trascurabile o meno rispetto a quella introdotta dai 3 picchetti. [Ris.:  $R_T = (0.13 \text{ } 2.00) \text{ k}\Omega$ ,  $R_{Cu}, R_{Fe}$  trascurabili]

3.2 Per ciascuno dei due possibili terreni del punto precedente, scegliere tra i seguenti valori di sensibilità dell'interruttore differenziale quelli che garantiscono una tensione di contatto massima di  $50 \text{ V}$ , come richiesto dalle norme di sicurezza in condizioni normali.  $I_{\Delta n} = [10 \text{ } 5 \text{ } 1 \text{ } 0.5 \text{ } 0.3 \text{ } 0.1 \text{ } 0.03 \text{ } 0.01] \text{ A}$

[Ris.:  $I_{\Delta n} = 0.01$  (sabbia secca);  $I_{\Delta n} = 0.3$  (sabbia umida)]

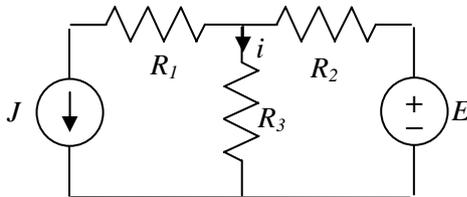


**Elementi di Elettromagnetismo Ambientale: prova scritta**

**ESERCIZIO I (5 punti)**

La seguente rete è in regime stazionario valutare la corrente  $i$  e la potenza assorbita da  $R_3$ .

[Ris.:  $i = 1.37 \text{ A}$ ;  $P = 6.55 \text{ mW}$ .]



$$E = 10 \text{ V}, J = 1 \text{ mA}$$

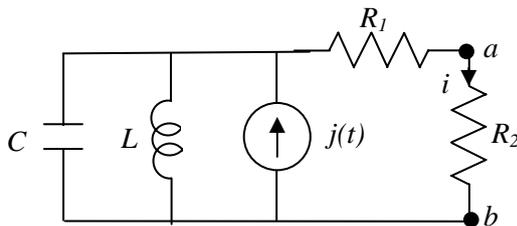
$$R_1 = 3.2 \text{ k}\Omega, R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega, R_3 = 3.5 \text{ k}\Omega$$

**ESERCIZIO II (15 punti)**

Con riferimento al seguente circuito, operante in regime sinusoidale, calcolare:

2.1 il circuito equivalente di Thévenin ai capi di  $R_2$  [Ris.:  $\dot{Z}_{eq} = (0.80 - j0.92) \Omega$ ,  $\bar{E}_0 = (1.59 - j0.92) \text{ V}$ ]

2.2 la corrente  $i(t)$  e la potenza complessa assorbita da  $R_2$  [Ris.:  $i(t) = 0.83\sqrt{2} \sin(\omega t - 0.09) \text{ A}$ ,  $\dot{A} = 0.83 \text{ W}$ ]



$$j(t) = 2\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/3) \text{ A}, \omega = 10^3 \text{ rad/s}$$

$$R_1 = 0.8 \Omega, R_2 = 1.2 \Omega,$$

$$C = 2.0 \text{ mF}, L = 1.1 \text{ mH}.$$

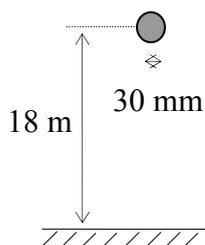
**ESERCIZIO III (14 punti)**

Si consideri un cavo elettrico posto ad una certa altezza dal terreno, come in figura.

3.1 Assumendo l'approssimazione di filo rettilineo indefinito e trascurando l'effetto della conducibilità del terreno, stimare il campo di induzione magnetica che si misurerebbe sul terreno, per ciascuna delle possibili correnti di esercizio e confrontare tali valori con il limite di  $10 \mu\text{T}$ , previsto come *valore di attenzione* a 50 Hz dalla la legislazione italiana. [Ris.:  $B = (3.89 \ 6.67 \ 10.22 \ 16.67) \mu\text{T}$ ]

3.2 Ripetere il punto precedente considerando il terreno come conduttore perfetto e misurando il campo ad un'altezza di 2m dal terreno. [Ris.:  $B = (7.88 \ 13.50 \ 20.70 \ 33.75) \mu\text{T}$ ]

3.3 Calcolare l'induttanza per unità di lunghezza nelle ipotesi del punto 3.2. [Ris.:  $L = 1.56 \mu\text{H}$ ]



$$\text{correnti di esercizio: } I = [350, 600, 920, 1500] \text{ A}$$

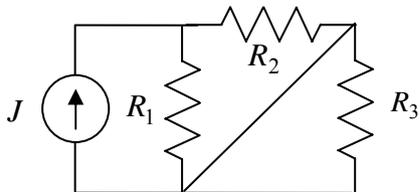
$$\text{permeabilità aria: } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$



**Elementi di Elettromagnetismo Ambientale: prova scritta**

**ESERCIZIO I (4 punti)**

Con riferimento alla seguente rete in regime stazionario valutare la resistenza equivalente vista ai capi del generatore e la potenza da esso erogata. [Ris.:  $R_{eq} = 0.80 \text{ m}\Omega$ ;  $P = 0.32 \text{ W}$ .]



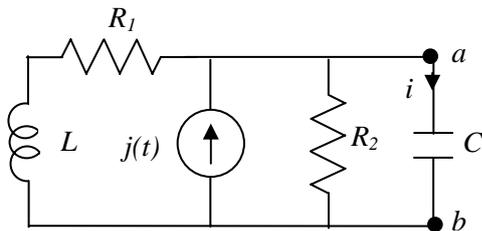
$$J = 20 \text{ A},$$

$$R_1 = 1 \text{ m}\Omega, R_2 = 4 \text{ m}\Omega, R_3 = 2 \text{ m}\Omega.$$

**ESERCIZIO II (14 punti)**

Con riferimento al seguente circuito, operante in regime sinusoidale, calcolare:

- 2.1 il circuito equivalente di Thévenin ai capi di  $C$  [Ris.:  $\dot{Z}_{eq} = (0.90 + j0.49) \Omega$ ,  $\bar{E}_0 = (3.57 + j11.82) \text{ V}$ ]
- 2.2 la corrente  $i(t)$  che circola nel condensatore  $C$  e la potenza complessa assorbita da esso assorbita [Ris.:  $i(t) = 13.61\sqrt{2} \sin(\omega t + 1.24) \text{ A}$ ,  $\dot{A} = -j84.18 \text{ VAr}$ ].



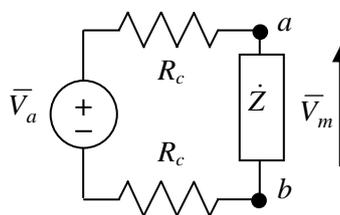
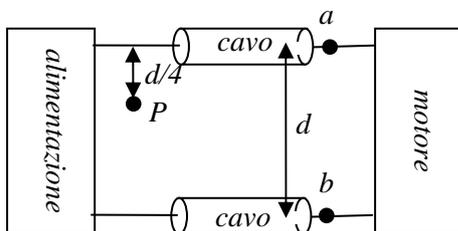
$$i(t) = 12\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/4) \text{ A}, \omega = 10^3 \text{ rad/s}$$

$$R_1 = 0.4 \Omega, R_2 = 1.3 \Omega,$$

$$C = 2.2 \text{ mF}, L = 2.1 \text{ mH}.$$

**ESERCIZIO III (16 punti)**

Si consideri un motore elettrico alimentato da un generatore di tensione sinusoidale attraverso una coppia di cavi di lunghezza  $L$  posti a distanza  $d$ . Il sistema è descritto dal circuito equivalente di figura, dove i cavi sono rappresentati da due resistori uguali  $R_c$  ed il motore dall'impedenza  $\dot{Z}$ .



$$L = 30 \text{ m}, d = 1 \text{ m}$$

$$\dot{Z} = 21 + j15 \Omega$$

$$\rho = 1.7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$$

$$\Delta V = |\bar{V}_a - \bar{V}_m|$$

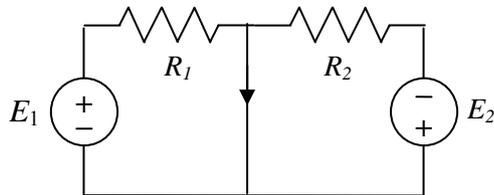
- 3.1 Tenuto conto che i valori ammissibili di potenza attiva assorbita dal motore sono:  $P = [10 \text{ 20 25}] \text{ kW}$ , e che la massima caduta di tensione ammissibile lungo i cavi è  $\Delta V = 10 \text{ V}$ , scegliere la minima sezione del cavo che soddisfi tale richiesta in ogni condizione di funzionamento tra le seguenti:  $S = (2, 4, 6, 10, 16) \text{ mm}^2$  [Ris.:  $S = 4 \text{ mm}^2$ ]
- 3.2 Con riferimento alla massima corrente di esercizio rilevabile dal punto precedente, valutare il campo magnetico nel punto  $P$  a distanza  $d/4$  da uno dei due cavi e confrontarlo con il valore di attenzione previsto dalla normativa italiana ( $10 \mu\text{T}$ ). Si assuma l'approssimazione di conduttore infinito. [Ris.:  $B = 36.80 \mu\text{T}$ ]



**Elementi di Elettromagnetismo Ambientale: prova scritta**

**ESERCIZIO I (4 punti)**

Il seguente circuito lavora in regime stazionario. Determinare la corrente nel corto circuito. [Ris.:  $I = 0.50 \text{ A}$ .]



$$E_1 = 20 \text{ V}, E_2 = 12 \text{ V}, \\ R_1 = 3.5 \Omega, R_2 = 2.3 \Omega.$$

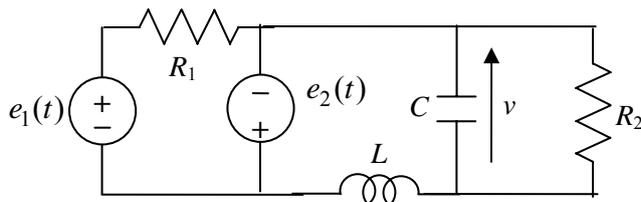
**ESERCIZIO II (15 punti)**

Con riferimento al seguente circuito, operante in regime sinusoidale, calcolare:

2.1 la tensione  $v(t)$  ai capi del condensatore  $C$  [Ris.:  $v(t) = 0.75\sqrt{2} \sin(\omega t + 2.11) \text{ V}$ ]

2.2 la potenza complessa ed istantanea assorbita dal condensatore  $C$ .

$$[\text{Ris.: } \dot{A} = -j0.11 \text{ VAR}; p(t) = -0.11 \cos(2\omega t + 1.08) \text{ W}].$$



$$e_1(t) = 5\sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ V}, \\ e_2(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/6) \text{ V}, \\ \omega = 100 \text{ rad/s}, R_1 = 0.2 \Omega, R_2 = 0.3 \Omega, \\ L = 2.0 \text{ mH}, C = 40 \text{ mF}.$$

**ESERCIZIO III (16 punti)**

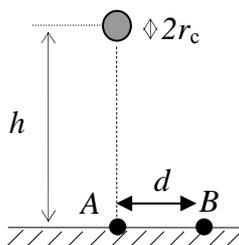
La figura in basso si riferisce ad una linea aerea di media tensione per la quale la tensione di esercizio è pari a  $V$ . Si consideri un cavo in rame di sezione  $S$  e si assuma che il terreno si comporti come un conduttore perfetto.

3.1 Calcolare la capacità per unità di lunghezza del sistema al variare del valore di  $S$ , supponendo il conduttore di lunghezza infinita. [Ris.:  $C' = (2.82, 3.34, 4.72) \text{ pF/m}$ ].

3.2 Calcolare il campo elettrico nei punti A e B indicati in figura, assumendo le seguenti possibili scelte delle sezioni dei cavi:  $S = (20, 35, 70) \text{ mm}^2$ . Si confrontino i risultati col limite di  $5 \text{ kV/m}$  previsto dalla legislazione italiana per i sistemi a  $50 \text{ Hz}$ .

$$[\text{Ris.: } E(A) = (0.37 \ 0.38 \ 0.39) \text{ kV/m}; E(B) = (0.31 \ 0.32 \ 0.33) \text{ kV/m}].$$

3.3 Assumendo che la massima potenza per unità di lunghezza ammissibile è  $P = 30 \text{ W/m}$ , ricavare la massima corrente di esercizio. [Ris.:  $I = 11.11 \text{ A}$ .]



$$h = 12 \text{ m}, d = 5 \text{ m}, V = 20 \text{ kV} \\ \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}, \\ \rho = 1.7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}, \\ S = (20, 35, 70) \text{ mm}^2.$$