Università degli Studi di Cassino - FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

Elettromagnetismo Ambientale: *raccolta esercizi di elettromagnetismo*

ESERCIZIO I

Si consideri un conduttore di una linea in alta tensione posto a 10m di altezza. La legislazione italiana prevede a 50 Hz i limiti di emissione elettromagnetica di 100μT per il campo di induzione magnetica e di 5 kV/m per il campo elettrico (il campo è misurato sul terreno). Si assuma l'approssimazione di filo rettilineo indefinito per la misura del campo e si assuma che nell'aria $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ H/m$ e $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\ F/m$).

1.1 Quale dei seguenti valori di corrente di esercizio rispetta il limite su B? I: [350, 600, 920, 1500] A

1.2 Quale dei seguenti valori di tensione di esercizio rispetta il limite su E? V: [320, 380] kV

1.3 Considerando che il cavo è realizzato in alluminio ($\eta = 2.6\ 10^{-8}\ \Omega$ m) e che può smaltire una potenza di 30W/m, quale dei seguenti diametri normalizzati dobbiamo scegliere? ϕ: [15.85, 22.8, 31.5] mm.

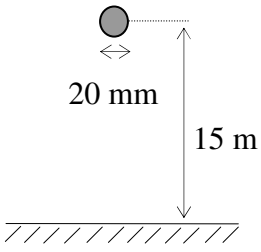
ESERCIZIO II

Si consideri un sistema costituito da un cavo posto ad una certa altezza dal terreno, come in figura. Per il campo di induzione magnetica generato da un elettrodotto la legislazione italiana prevede il limite di 10μT come *valore di attenzione* ed il *limite di esposizione* di 100 μT.

2.1 Assumendo l'approssimazione di filo rettilineo indefinito per la misura del campo, stimare il campo di induzione magnetica che si misurerebbe sul terreno per ciascuna delle possibili correnti di esercizio e confrontare tali valori con i limiti predetti. Si trascuri l'effetto del terreno

2.2 Ripetere il punto precedente valutando il campo ad un'altezza di 3 m rispetto al terreno e tenendo conto che il terreno può essere rappresentato come un conduttore elettrico perfetto.

2.3 Supponendo che il cavo sia realizzato in rame (resistività $\eta = 1.7\ 10^{-8}\ \Omega$ m), valutare la potenza reale dissipata in un cavo lungo 1 Km



DATI:

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

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

ESERCIZIO III

Si consideri un impianto di terra con 4 dispersori a picchetto in parallelo, ciascuno di lunghezza L=70 cm.

3.1 Tenuto conto che resistenza del dispersore a picchetto è approssimabile come $R = \rho/L$, valutare la resistenza di terra R_T dell'intero impianto, considerando le seguenti tipologie di terreno:

Stato del terreno	*Resistività* ρ [kΩ/m]
Argilla	0.1
Sabbia umida	0.2
Sabbia secca	3

3.2 La norma prevede che la tensione di contatto in condizioni normali non superi i 50 V, mentre per condizioni particolari il limite previsto è di 25 V. Per ciascuna delle tre possibilità del punto precedente, scegliere tra i seguenti valori di sensibilità dell'interruttore differenziale quelli che garantiscono una tensione di contatto che soddisfi le norme di sicurezza rispettivamente in condizioni normali e particolari.

$I_{\Delta n}$ = [10 5 1 0.5 0.3 0.1 0.03 0.01] A

ESERCIZIO IV

Si consideri un elettrodotto di una linea ad alta tensione di fig. a, modellato come un cavo cilindrico di raggio a posto ad un'altezza dal suolo. Supponendo che il terreno sia un conduttore perfetto, il teorema delle immagini fornirebbe la situazione equivalente descritta in figura b.

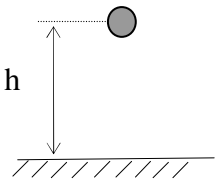


fig.a

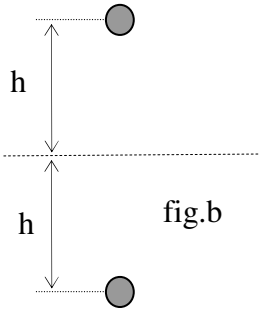


fig.b

$a = 11.4mm$

$h = 30m$

$C = \dfrac{2\pi\varepsilon}{\ln(2h/a)}$

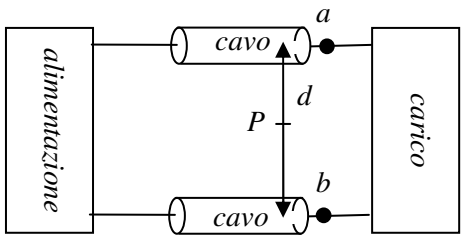
$\varepsilon = 8.85 \cdot 10^{-12}\, F/m$

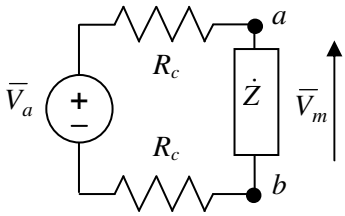
4.1 Tenuto conto che le possibili tensioni di esercizio sono le seguenti: V=[120 180] kV e che la capacità per unità di lunghezza di tale sistema è espressa dalla formula riportata in figura, valutare il valore del campo elettrico misurabile a livello del terreno per i vari livelli di tensione e confrontarlo col limite di legge di 5 kV/m.

4.2 Supponendo che la corrente di esercizio sia di 1500 A e considerato che il cavo è realizzato in alluminio (resistività $\eta = 2.6\ 10^{-8}\ \Omega$ m) e che può smaltire una potenza massima per unità di lunghezza pari a P=5W/m, scegliere la sezione normalizzata che verifica tale condizione. (diametri possibili: $\phi =$ [15.85, 22.8, 31.5] mm).

ESERCIZIO V

Si consideri un carico elettrico alimentato da un generatore di tensione sinusoidale attraverso una coppia di cavi di sezione *S* 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 carico dall'impedenza $\dot{Z}$.





$S = (4\ 16)\ \text{mm}^2,\ d = 1\,\text{m}$

$\dot{Z} = (500 + j500)\,\Omega$

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

$\Delta V = \left|\overline{V}_a - \overline{V}_m\right|$

5.1 Tenuto conto che la potenza attiva nominale di funzionamento per il carico è di P = 100 kW e che la massima caduta di tensione ammissibile lungo i cavi è ΔV=10 V, scegliere la massima lunghezza del cavo che soddisfi tale richiesta per ciascuno dei due possibili valori della sezione S.

5.2 Con riferimento alla condizione di funzionamento nominale del punto precedente, valutare il campo magnetico nel punto *P* equidistante dai due cavi e confrontarlo con il valore di attenzione previsto dalla normativa italiana (10 μT). Si assuma l'approssimazione di conduttore infinito.

ESERCIZIO VI

Si consideri un impianto di terra costituito da 10 dispersori a picchetto disposti in parallelo, ciascuno di lunghezza L=70 cm, in serie ad un conduttore di protezione.

6.1 Esprimendo la resistenza del singolo dispersore a picchetto come $R = \eta_T/L$, dove η_T è la resistività del terreno, valutare la resistenza totale offerta dai picchetti considerando le seguenti tipologie di terreno:

Tipo di terreno	Sabbia umida	Sabbia secca
Resistività η_T [Ωm]	50	150

6.2 Sapendo che il conduttore di protezione in serie ai picchetti suddetti è lungo 300 m ed è realizzato in rame con sezione *S* e resistività pari a 0.017 μΩm, scegliere nella tabella seguente la sezione S di tale conduttore in modo che la sua resistenza sia pari a 1/10 della resistenza totale massima offerta dai picchetti:

$$S=[2 \quad 4 \quad 10 \quad 16 \quad 25 \quad 50] \text{ mm}^2$$

6.3 Assumendo una tensione di contatto massima di 50 V, come richiesto dalle norme di sicurezza in condizioni normali, scegliere tra i seguenti valori di sensibilità dell'interruttore differenziale quello che garantisce il rispetto di tale limite in ogni condizione:

$$I_{\Delta n} = [10 \quad 5 \quad 1 \quad 0.5 \quad 0.3 \quad 0.1 \quad 0.03 \quad 0.01] \text{ A}$$