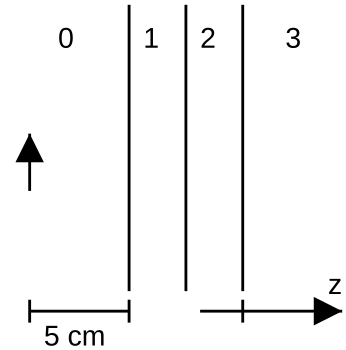
Ot 1 È possibile modellare il corpo umano mediante strati piani paralleli, che consentono una ragionevole approssimazione (se la lunghezza d'onda è abbastanza piccola. In figura è rappresentato un modello di scatola cranica, i cui parametri sono riportati nella tabella.

A 5 cm dalla parete esterna è disposto un dipolo che irradia 200 mW alla frequenza di 2.45 GHz.

Si determini il campo presente nella zona 3 alle distanze di 1 cm e di 2 cm all'interno



Zona	Materiale	ε_r	σ $[S/m]$	spessore t
0	aria	1	0	
1	pelle	38	1.46	1 mm
2	osso	11.4	0.39	4 mm
3	materia grigia	49	1.81	

◊◊◊

I valori di $\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon}$ sono inferiori a 1. I materiali sono quindi materiali con perdite, ma non conduttori.

I valori delle costanti dielettriche relative complesse

$$\varepsilon_r - j\,\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}$$

e delle costanti di propagazione complesse

$$k_i = \omega\,\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\,\sqrt{\varepsilon_r - j\,\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}}$$

sono riportate nella tabella che segue, assieme con il valore di $|k_i|t_i$.

Zona	$\varepsilon_r - j\,\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}$	$k_i\ m^{-1}$	$\lvert k_i\rvert t$	$Z_i\ [\Omega]$
0	1	51.3		377
1	$38 - j\,10.7$	$320 - j\,44$	0.32	$59 + j\,8$
2	$11.4 - j\,2.9$	$174 - j\,22$	0.703	$109 + j\,13.5$
3	$49 - j\,13.3$	$360 - j\,48$		$52 + j\,7$

Nella tabella è stata anche riportata l'impedenza caratteristica delle varie zone, data da

$$Z = \frac{\zeta}{\sqrt{\varepsilon_r - j\,\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}}}$$

I valori di $|k_i|t$ sono abbastanza piccoli da poter considerare gli strati sottili, con una ragionevole approssimazione. Pertanto il coefficiente di riflessione può essere ottenuto sostituendo a ciascuno strato la ammettenza

$$Y_s = j\,\frac{1}{\zeta}\left(\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_3}{\varepsilon_0}\right)\beta_0 t$$

dove le ε da considerare sono quelle complesse. Per i due strati 1 e 2, Y_s vale, rispettivamente

$$Y_{S1} = -0.35 - j\,1.5\ mS \qquad\qquad Y_{S2} = -5.68 - j\,20.5\ mS$$

Per quanto riguarda ilc ampo incidente, la distanza di $D = 5\ cm$ è inferiore alla lunghezza d'onda. Utiilizzando i risultati visti per la schermatura di sorgenti vicine, occorre usare come impedenza

$$Z_D = \zeta\,\frac{1 + \dfrac{1}{j\beta D} + \dfrac{1}{(j\beta D)^2}}{1 + \dfrac{1}{j\beta D}} = 328 - j\,19\ \Omega$$

Poichè il parallelo delle tre ammettenze vale $Y_T = 12.7 - j\,24.5\ mS$, cui corrisponde $Z_T = 1/Y_T = 16.7 + j\,32\ \Omega$, si trova

$$\Gamma = \frac{Z_T - Z_D}{Z_T + Z_D} = -0.896 + j\,0.183 \qquad \Rightarrow \qquad |1 + \Gamma| = 0.21$$

Il campo E_i del dipolo, incidente sulla prima interfaccia, deve essere calcolato da (l'interfaccia è nella direzione ortogonale $\theta = \pi/2$).

$$|E_i| = \frac{\zeta|I|h}{2\lambda D}\left|1 + \frac{1}{j\beta D} + \frac{1}{(j\beta D)^2}\right|$$

dove il prodotto $|I|h$ si ottiene dalla potenza irradiata

$$P_i = \frac{1}{2} \frac{2\pi\zeta}{3} \frac{(|I|h)^2}{\lambda^2} \qquad \Rightarrow \qquad |I|h = 2.7\ mA \cdot m \qquad \Rightarrow \qquad |E_i| = 79\ V/m$$

Il campo nella zona 3, per $z = 0$ ed in asse col dipolo, vale

$$|E_3(0)| = |1 + \Gamma|\ |E_i| = 16.5\ V/m$$

L'attenuazione al variare di z è dovuta sia al fattore $1 + \dfrac{1}{j\beta D'} + \dfrac{1}{(j\beta D')^2}$, dove $D' = D + 5\ mm + z$, sia alla attenuazione di propagazione $\exp(-\alpha_3 z)$, essendo $\alpha_3 = \mathrm{Im}[k_3]$.

Tuttavia le variazioni del primo fattore sono inferiori al 5%, e basta considerare solo il secondo. Risulta

$$E_3(1\ cm) = 10\ V/m \qquad\qquad E_3(2\ cm) = 5.5\ V/m$$

Si noti che l'assenza di pelle e osso fa aumentare il campo di circa il 35%, in quanto il coefficiente di riflessione risulta più piccolo ($|1 + \Gamma|$ vale in questo caso 0.28).
