ATTENUAZIONE DA GAS E PIOGGIA

Due antenne paraboliche con diametro 40cm e rendimento paria al 65% distano 16km l'una dall'altra, sono montate su tralicci alti 20m e sono orientate in maniera tale che la direzione del collegamento coincida con le rispettive direzioni di massimo irraggiamento. Si suppongano trascurabili sia la curvatura del raggio sia la curvatura della terra. Si vuole garantire una potenza minima ricevuta pari a 1nW. Nell'ipotesi in cui siano soddisfatte le condizioni di adattamento (A_D=A_P=1) supponendo la frequenza di funzionamento del collegamento uguale a 100GHz, e la polarizzazione circolare, determinare:

a) La potenza trasmessa necessaria in condizioni di spazio libero.

b) La potenza trasmessa necessaria nell'ipotesi in cui si voglia mettere in conto l'assorbimento dovuto ai gas atmosferici (vapor d'acqua e ossigeno) inevitabilmente presenti (si veda Fig. 2). A quale valore di conducibilità corrisponde tale attenuazione da gas?

c) Lo potenza trasmessa nel caso in cui si tenga conto anche del contributo della riflessione del suolo

d) La potenza trasmessa nel caso in cui sia presente un' intensità di precipitazione aleatoria (distribuzione statistica illustrata in Tab. 2) e sia necessario garantire una probabilità di servizio del 99,9%. A tal fine si usino gli appropriati valori dei parametri K e a.

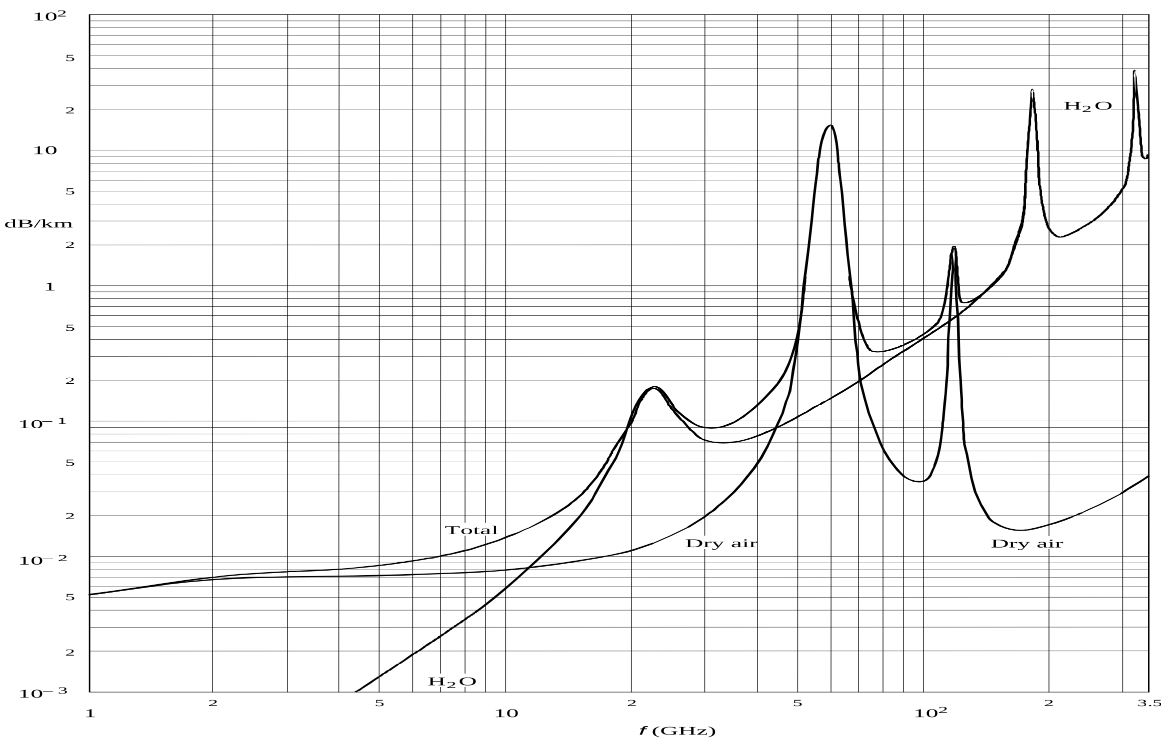

Figura 1 -. Attenuazione specifica da gas atmosferici (atm. Standard, livello del mare)

P_x [%]	R_x
1.0	2
0.3	6
0.1	12
0.03	23
0.01	42
0.003	70
0.001	100

Tabella 2 – Intensità di precipitazione in funzione della probabilità di outage P_x

Soluzione domanda a)

a) Bilancio di tratta in spazio libero

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^{8}}{10^{11}} = 3 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}$$

Dall'equazione della tratta

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{A_{I0}} \Rightarrow P_R^{dBW} = P_T^{dBW} + G_T^{dB} + G_R^{dB} - A_{I0}^{dB}$$

A_{I0} rappresenta l'attenuazione isotropa di spazio libero

$$A_{I0} = \left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda}\right)^2 \Rightarrow A_{I0}^{dB} = 32.4 + 20\log_{10}\left(f_{MHz}\right) + 20\log_{10}\left(d_{km}\right)$$

$$A_{I0}^{dB} = 32.4 + 20\log_{10}\left(10^5\right) + 20\log_{10}\left(16\right) = 156.48dB$$

$$G_T = G_R = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \pi R^2 \cdot \eta = \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 0.65 = 114.048 \Rightarrow G^{dB} = 50.57dB$$

E quindi

$$P_T^{dBW} = -P_R^{dBW} - G_T^{dB} - G_R^{dB} + A_{I0}^{dB} = -90 - 50.57 - 50.57 + 156.48 = -34.66dBW$$

$$P_T = 0.32mW$$

Soluzione domanda b)

Qualora si considerino gli effetti dell'atmosfera, occorre valutare l'attenuazione supplementare dovuta ai gas atmosferici.

Dal grafico si può stimare:

$$A_{s\_gas} = (\alpha_o + \alpha_w) \cdot 16 \approx (0.5) \cdot 16 = 8 \text{ dB}$$

Pertanto

$$P_T^{dBW} = \left[P_T^{dBW} \right]_{caso\_a} + A_{s\_gas} = -26.66\, dBW \Rightarrow P_{irr} = 2.16 mW$$

Per calcolare la conducibilità equivalente dell'atmosfera a 100GHz si può procedere come segue. L'attenuazione specifica è di circa 0.5 dB/km. Il campo elettrico di un'onda che si propaga in un mezzo con perdite si può esprimere:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \frac{e^{-(\alpha + j\beta) r}}{r} \quad \Rightarrow \quad |\mathbf{E}| = |\mathbf{E}_0| \frac{e^{-\alpha r}}{r}$$

L'attenuazione che si ha nella propagazione da una distanza di riferimento r_0 a una distanza $r_0 + \Delta r$ vale allora:

$$L[dB] = 20 Log \left\{ \frac{|\mathbf{E}(r_0)|}{|\mathbf{E}(r_0 + \Delta r)|} \right\} = 20 Log \left\{ \frac{e^{-\alpha r_0}}{r_0} \frac{r_0 + \Delta r}{e^{-\alpha (r_0 + \Delta r)}} \right\} = 20 Log \left\{ \frac{r_0 + \Delta r}{r_0 e^{-\alpha \Delta r}} \right\} =$$
$$= 20 Log (r_0 + \Delta r) - 20 Log (r_0) + 20 \alpha \Delta r\, Log\, e$$

ove l'ultimo termine è l'attenuazione supplementare dovuta alle perdite da gas atmosferici. Ora se scegliamo Δr =1km avremo l'attenuazione che deve essere pari a 0.5 dB. Si ha quindi:

$$20 \alpha 1000\, Log\, e = 20000 \alpha\, Log\, e = 0.5 \Rightarrow \alpha = 5.8 \times 10^{-5}$$

Ora dalla nota formula

$$\alpha = \frac{k_0}{2} \sqrt{\sqrt{1 + R^2} - 1} \qquad \text{con } k_0 = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi \cdot 100 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 2.1 \times 10^3$$

esplicitando R si ha

$$R \triangleq \frac{\sigma}{\omega \varepsilon} = \frac{\alpha}{k_0} \sqrt{\left(\frac{\alpha}{k_0} \right)^2 + 1} = 2.76 \times 10^{-8}$$

esplicitando σ si ha

$$\sigma = \omega \varepsilon\ 2.76 \times 10^{-8} = 2\pi \cdot 8.85 \times 10^{-9} \cdot 2.76 \times 10^{-8} = 1.53 \times 10^{-15} \text{ S/m}$$

Soluzione domanda c)

Considerando la riflessione del suolo, occorre considerare la nota formula per cui

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_o\ 2 \left| \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{h_1 h_2}{d} \right) \right|$$

Di conseguenza

$$L_{suolo} = -20 Log \left\{ 2 \left| \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{h_1 h_2}{d} \right) \right| \right\} = -4 dB$$

Quindi è chiaro che ci si trova in un picco della figura di interferenza. In tal caso si ha perciò un guadagno rispetto al caso di spazio libero.

Si ottiene quindi:
$P_T^{dBW} = \left[P_T^{dBW}\right]_{caso\_a} + L_{s\_gas} + L_{suolo} = -34.66 + 8 - 4 = -30.66 dBW \Rightarrow P_{irr} \simeq 0.2 mW$

Occorre osservare però che si tratta di un calcolo accademico di scarso interesse pratico giacchè per distanze inferiori al breakpoint l'andamento dell'attenuazione è soggetto a massimi e minimi così ravvicinati che è praticamente impossibile determinare l'esatto valore di progetto, date le imprecisioni con cui sono note le grandezze in gioco (altezze delle antenne, distanza di tratta, ecc.) .Si consiglia perciò di ragionare in termini statistici con un margine di fading.

Soluzione domanda d)

Occorre applicare la formula:

$$L_{sx} = KR_x^a D$$

Dove "K" ed "a" sono due coefficienti che dipendono da frequenza, polarizzazione e da angolo di elevazione del radiocollegamento.

$$K = \left[K_H + K_V + (K_H - K_V)\cos^2\vartheta\cos\tau\right]/2$$
$$a = \left[K_H\alpha_H + K_V\alpha_V + (K_H\alpha_H - K_V\alpha_V)\cos^2\vartheta\cos\tau\right]/2$$

Essendo la polarizzazione circolare occorre considerare un angolo $\tau = 45°$ e i valori degli altri parametri sono tabulati dall'ITU. Per la frequenza di 100 GHz, supponendo collegamento orizzontale con $\vartheta = 0$ si ha:

Frequency (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
100	1.12	1.06	0.743	0.744

Utilizzando questi valori e supponendo collegamento orizzontale con $\vartheta = 0$ abbiamo:

K=1.8607
a=0.83

Quindi, considerando probabilità di fuori servizio pari a 0.1%, dalla tabella si ricava R_x=12mm/h, da cui:

$$L_{sx} = KR_x^a D = 1.86 \times 12^{0.83} \times 16[\text{km}] = 234.07 \text{ dB}$$

Sommando questa causa di attenuazione a tutte le altre considerate in precedenza si ha:
$P_T^{dBW} = -30.66 + 234.07 = 203.41 dBW \Rightarrow P_{irr} \simeq 2 \times 10^{20} W$

Si tratta di una potenza enorme. Il collegamento perciò non è fattibile. Si consiglia perciò di utilizzare antenne più direttive, per esempio parabole del diametro di qualche metro anziché 40 cm, oppure di ridurre la distanza di tratta.