ESERCIZIO P1

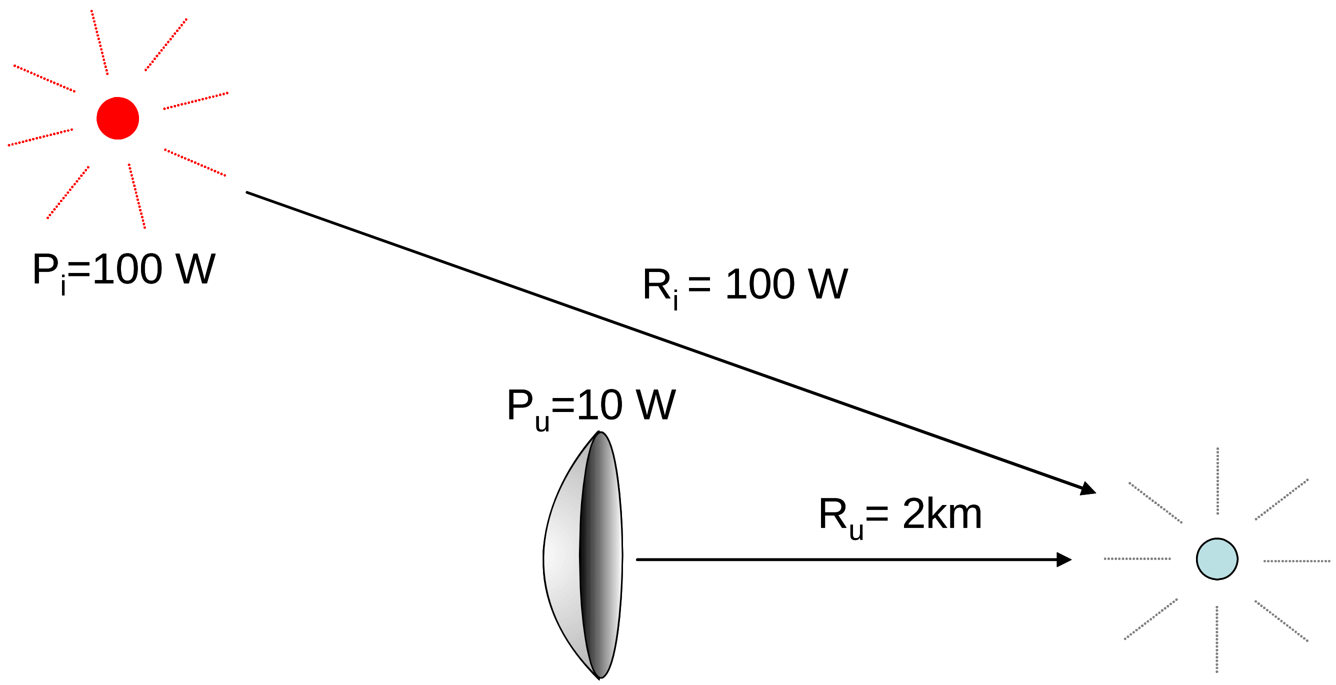
Un ponte radio a 100 MHz con lunghezza di tratta 2 Km utilizza una antenna a parabola per la emissione ed una antenna omnidirezionale avente guadagno 3 dB per la ricezione. La potenza emessa è di 10 W. A distanza 10 Km dalla antenna ricevente del ponte radio una emittente radio diffonde segnali alla stessa frequenza utilizzando una antenna omnidirezionale con guadagno 2.5 dB e potenza 100 W.

a) Se in ricezione è necessario garantire un rapporto segnale/interferente di 12 dB, quale deve essere il diametro della parabola usata in emissione?
b) Se, a causa della presenza di vegetazione ed ostacoli vari, la potenza si attenuasse con la terza potenza della distanza (anziché col quadrato) come varierebbe il valore del diametro di cui al punto a?

Si supponga per semplicità adattamento al carico e coefficiente di polarizzazione unitario (τ =1, A_D=1)

RISOLUZIONE P1

f = 100 MHz $\Rightarrow \lambda$ = 3 m



Poiché $(C/I)_{dB}$ = 12 dB $\Rightarrow C_{dBW} = 12 + I_{dBW}$

Poiché la tratta interferente è nota, dall'equazione della tratta è immediato ottenere

$$I_{dBW} = P_i^{dBW} + g_T^{dB} + g_R^{dB} + 20\log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi R_i}\right) =$$
$$= 20 + 2.5 + 3 + 20\log_{10}\left(\frac{3}{4\pi \cdot 10000}\right) \approx -66.94\,\text{dBW}$$

Pertanto $(C_{min})_{dB}$ = -54.94 dBW
Applicando una seconda volta l'equazione della tratta

$$C = P_u \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi Ru}\right)^2 = P_u \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi Ru}\right)^2 = P_u \cdot \frac{A}{4\pi} \cdot g_R \cdot \left(\frac{1}{Ru}\right)^2$$
$$10\log_{10}\left(\frac{A}{4\pi}\right) = C^{dBW} - P_u^{dBW} - g_R^{dB} + 20\log_{10}(R_u) = -54.94 - 10 - 3 + 66 = -1{,}94$$

E pertanto

$$A = \pi R^2 = 4\pi \cdot 10^{-0.194} \Rightarrow R \approx 1{,}6\text{m} \Rightarrow D = 2R = 3.2\text{m}$$

Se la potenza decade con la terza potenza della distanza occorre ri-calcolare la potenza interferente e quindi il raggio della parabola.
Si può osservare che l'equazione della tratta in generale può essere riscritta come

$$P_R = P_g \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 = P_g \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{c}{f \cdot 4\pi \cdot R}\right)^2$$
$$P_R^{dBW} = P_g^{dBW} + g_T^{dB} + g_R^{dB} - 32.44 - 20\log_{10}(f_{MHz}) - \underbrace{2}_{\alpha} \cdot 10\log_{10}(R_{Km})$$

Tale equazione vale, come noto, in *condizioni di spazio libero*, ovvero quando le antenne sono immerse in uno spazio lineare, omogeneo, isotropo e tempo invariante.
Tali condizioni non sono evidentemente mai rigorosamente verificate in pratica, poiché la presenza del terreno e di tutti gli "oggetti" dell'ambiente di propagazione (vegetazione, edifici, colline, ecc) altera lo scenario rispetto alle condizioni di spazio libero.
Pertanto, in condizioni reali si usa considerare modelli più appropriati della semplice formula di spazio libero; alcuni di tali modelli sono ricavati in realtà dalla formula di spazio libero con l'aggiunta e/o la modifica di opportuni termini, non sempre motivati da rigorosi procedimenti formali, ma più spesso suggeriti da ragionamenti empirico-euristici.
In questo caso, ad esempio, si suggerisce di modificare la formula di spazio libero semplicemente prendendo α = 3.

$$I^{dBW} = P_i^{dBW} + g_T^{dB} + g_R^{dB} - 32.44 - 20\log_{10}(f_{MHz}) - 30\log_{10}(R_{Km}) \approx -76.94$$

Pertanto

$$-76.94 + 12 = P_u^{dBW} + g_T^{dB} + g_R^{dB} - 32.44 - 20\log_{10}(f_{MHz}) - 30\log_{10}(R_{Km})$$

$$-76.94 + 12 = 10 + g_T^{dB} + 3 - 32.44 - 20\log_{10}(100) - 30\log_{10}(2) \Rightarrow g_T^{dB} = 3.5\,\mathrm{dB}$$

$$A = \pi R^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi} g = \frac{9}{4\pi} \cdot 10^{0.35} = 1.6 \Rightarrow R \approx 0.71\,\mathrm{m} \Rightarrow D = 1.42\,\mathrm{m}$$

ESERCIZIO P2

Un'antenna ideale isotropa deve trasmettere verso un'antenna ricevente costituita da una parabola di 1 m di diametro posta a 10 km di distanza.

a) Supponendo condizioni ideali, si determini la potenza ricevuta, qualora la potenza di alimentazione in trasmissione sia pari a 23 dBm.
b) Supponiamo di sostituire l'antenna isotropa con una parabola di diametro 0.5 m. Si determini la frequenza di lavoro che consente di ricevere almeno -50 dBm. Tale frequenza è quella minima o quella massima richiesta?
c) L'attenuazione del collegamento è ora data dal prodotto dell'attenuazione di spazio libero A_{sl} per un termine di attenuazione supplementare dato dall'espressione f/r^2, in cui f indica la frequenza di lavoro mentre r rappresenta la distanza fra le antenne. Assumendo gli stessi dati del punto b, si determini la frequenza di lavoro in questo caso.

Risoluzione Esercizio P2

Domanda a

Dall'equazione della tratta

$$P_R = P_g \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 = P_g \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R}\right)^2 = P_g \cdot g_T \cdot \frac{\cancel{4\pi}}{\cancel{\chi^2}} \cdot A \cdot \frac{\cancel{\chi^2}}{(4\pi)^{\cancel{2}} \cdot R^2}$$

$$P_R = 10^{2,3} \cdot 1 \cdot \frac{\cancel{\pi} \cdot 1/4}{4\cancel{\pi} \cdot 10^8} \approx \frac{200}{16} \cdot 10^{-8} = 12.5 \cdot 10^{-8}\,\text{mW} = -69\text{dBm}$$

Domanda b

In questo caso

$$P_R = P_g \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 = P_g \cdot g_T \cdot g_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R}\right)^2 = P_g \cdot \frac{\cancel{4\pi}}{\lambda^2} \cdot A_T \cdot \frac{\cancel{4\pi}}{\cancel{\chi^2}} \cdot A_R \cdot \left(\frac{\cancel{\chi}}{\cancel{4\pi} \cdot R}\right)^2$$

$$P_R = P_g \cdot \frac{\pi^2 \cdot 1/4 \cdot 1/16}{\lambda^2 \cdot R^2} \Rightarrow P_R^{dBm} = P_g^{dBm} + 10\log_{10}\left(\frac{\pi^2}{64}\right) - 20\log_{10}(R) - 20\log_{10}(\lambda) \geq -50$$

$$20\log_{10}(\lambda) \leq P_g^{dBm} + 50 + 10\log_{10}\left(\frac{\pi^2}{64}\right) - 20\log_{10}(R) = -15.12$$

Pertanto

$\lambda \leq 0.175\ \text{m} = 17.5\ \text{cm} \Rightarrow\ f \geq 1.7\ \text{GHz}$

La frequenza trovata è ovviamente la minima

Domanda c

$$P_R = P_g \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_T \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R}\right)^2 \cdot \frac{f}{R^2} = P_g \cdot \frac{A_T \cdot A_R}{\left(c/f\right)^2} \cdot \frac{1}{R^4} \cdot f = P_g \cdot \frac{\pi^2}{64c} \frac{f^3}{R^4}$$

$$P_R^{dBm} = P_g^{dBm} + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\pi^2}{64c}\right) - 40 \log_{10} R + 30 \log_{10} f \geq -50$$

$$30 \log_{10} f \geq -50 - P_g^{dBm} - 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\pi^2}{64c}\right) + 40 \log_{10} R = 179{,}89 \Rightarrow f \geq 1\,\mathrm{MHz}$$

ESERCIZIO P3

Sia dato un generico collegamento radio tra due antenne. L'antenna di trasmissione è una parabola di diametro pari a 90 cm e rendimento η_R = 0.72, mentre il terminale di ricezione è dotato di una antenna a $\lambda/2$ avente guadagno pari a 2 dB e la sua sensibilità è pari a –44 dBm.

1) Si determini la minima potenza che si deve trasmettere in modo da garantire il collegamento fino ad una distanza pari R= 600m.

Si supponga ora che nell'apparato trasmittente, pur continuando a trasmettere la potenza individuata al punto precedente, l'antenna a parabola venga sostituita da una generica antenna avente guadagno G_T= 25 dB. Si consideri inoltre che, per gli effetti dell'interferenza e del fading, si debba ora tener conto rispettivamente dei margini aggiuntivi M_I = 3 dB e M_F = 5 dB e

2) Si calcoli quale deve essere la frequenza di lavoro per poter ancora garantire il collegamento alla distanza R.
3) Se il massimo livello di campo elettrico consentito dalle norme di tutela della salute è di 20 V/m, qual è la minima distanza dal trasmettitore che garantisce il rispetto di tali norme?
   N.B. Si trascurino a tal fine i margini aggiuntivi M_F ed M_I

Risoluzione Esercizio P3

Trattandosi di una parabola di diametro D, il guadagno dell'antenna in trasmissione si può esprimere come:

$$G_T = \eta_R \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff} = \eta_R \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

L'equazione del collegamento $P_R = \frac{P_T G_T G_R}{A_{I0}}$, tenendo conto dell'espressione di A_{I0}, assume la forma:

$$P_R = P_T G_R \eta_R \left(\frac{D}{4R} \right)^2$$

Passando quindi alle unità logaritmiche si ottiene:

$$P_T = P_R - G_R + 10\log_{10}\left(\frac{16 \cdot 36 \cdot 10^4}{0.72 \cdot 0.81} \right) = -44 - 2 + 70 = 24\text{dBm}$$

Poiché si deve tener conto dei margini aggiuntivi M_F e M_I l'equazione del collegamento si modifica in questo caso in:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{M_F M_I A_{I0}}$$

Esplicitando la dipendenza dalla frequenza si può scrivere:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{M_F M_I} \left(\frac{c}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{f^2}$$

dalla quale, passando alle unità logaritmiche, si ricava facilmente:

$$20 \log_{10} f = P_T - P_R + G_T + G_R - M_F - M_I + 20 \log_{10} \left(\frac{3 \cdot 10^8}{4\pi \cdot R} \right) = 179$$

$$f = 10^{\frac{179}{20}} \cong 890\text{MHz}$$

Si considera l'espressione della densità di potenza S:

$$S_{max} = \frac{g_T P_T}{4\pi r^2}$$

Poiché è anche:

$$S_{max} = \frac{|E_{max}|^2}{2\eta}$$

è facile ricavare :

$$r_{min}^2 = \eta \frac{P_T g_T}{2\pi |E_{max}|^2} = \frac{120\pi \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 316}{2\pi \cdot 400} = 11.85\text{m}^2 \quad \Rightarrow \quad r_{min} = 3.44\text{m}$$

ESERCIZIO P4

Si consideri un collegamento radiomobile operante in un'area rurale priva di rilievi del terreno.

(1) - Calcolo dell'orizzonte radio

Se i tralicci che sostengono le antenne sono alti 15 m si calcoli il valore della massima distanza di collegamento (corrispondente all'orizzonte radio), cioè la massima distanza per cui il collegamento non è oscurato a causa della curvatura terrestre. Per svolgere il calcolo si ricordi che la curvatura equivalente della superficie terrestre, vale

$R_{eq} = k\, R_o$,

dove k = 4/3 è l'indice troposferico e R_o è il raggio terrestre (6370 km).

(2) - Dimensionamento degli apparati

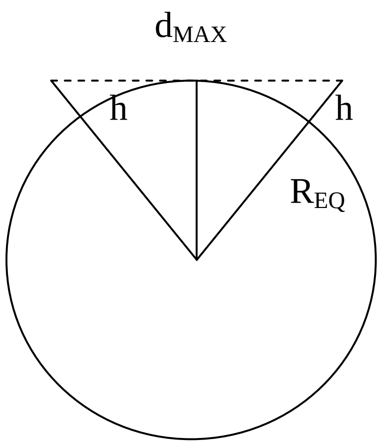
Si supponga che la attenuazione media segua la formula

$A\ (dB) = 2.5 + 10 * 3.18 \log d\ (km)$,

e che la potenza trasmessa valga Pt = 10W; si determini il raggio delle parabole (identiche) da utilizzare in trasmissione e ricezione perche' la potenza ricevuta Pr valga 1 dBm.
L'efficienza delle antenne vale $\delta = 0.6$ e la frequenza di lavoro e' 300 MHz.

Risoluzione esercizio P4

(1) - Calcolo dell'orizzonte radio



R_{EQ} = 6370 * 4/3 = 8493 km

Dal disegno si evince facilmente che

$$d_{MAX} = 2 \cdot \sqrt{(R_{EQ} + h)^2 - R_{EQ}^2} = 2 \cdot \sqrt{2hR_{EQ} + h^2} \approx 31924\text{m} \approx 32\text{km}$$

(2) – Dimensionamento degli apparati

Si ha

$$Pt = Pr - Gt - Gr + A = Pr - 2G + A$$

dove A= 50.36 dB è la attenuazione media calcolata per $d = d_{max}$, Pt = 40 dBm e' la potenza trasmessa e G e' il guadagno in potenza delle antenne.
Per un paraboloide di diametro d come noto vale

$G = \delta * D$

$$D = \left(\frac{d \cdot \pi}{\lambda}\right)^2$$

Quindi

$$G_{dB} = 10 \cdot \log\left(\delta \cdot \left(\frac{d \cdot \pi}{\lambda}\right)^2\right)$$

$2G_{dB} = Pr + A - Pt = 11.36 \quad \Rightarrow G_{dB} = 5.68$

$$d = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{10^{0.568}}{\delta}} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{10^{0.568}}{0.6}} \approx 0.8\,\text{m} \qquad \Rightarrow \qquad r \approx 40\,\text{cm}$$

ESERCIZIO P5

In un collegamento radio, operante a 300MHz, l'antenna trasmittente e l'antenna ricevente sono ad un'altezza h_1 = 25.5m e h_2 = 255m dal suolo, rispettivamente e distano l'una dall'altra una distanza pari a *d*.
Considerando la distanza dell'antenna trasmittente dall'orizzonte $d_T = (2a_e h_1)^{1/2}$ = 21.4km, e supponendo, per motivi logistici, di dover rispettare il vincolo 20km < *d* < 50km:

a) Determinare cosa succede, rispetto alle condizioni di spazio libero, se *d* = 42.8km
b) Determinare i valori di *d* per i quali la presenza del terreno è vantaggiosa e quelli per cui è svantaggiosa, motivando le risposte
a) Valutare la potenza ricevuta dall'antenna ricevente nell'ipotesi in cui:
   i) la distanza tra le antenna sia *d*=34.24km;
   ii) la direzione del collegamento coincida con la direzione di massimo per entrambe le antenne e i guadagni delle due antenne siano pari a 8dB;
   iii) la potenza irradiata dall'antenna trasmittente P_I=70dBm

ESERCIZIO P6

a) In un collegamento a 60 GHz tra la terra ed un satellite geostazionario (orbita distante dalla terra circa 36000 Km) è richiesto di progettare l'antenna ricevente della stazione di terra (un'antenna a riflettore parabolico) nelle ipotesi in cui:

- il sistema a bordo del satellite sia costituito da un paraboloide di rendimento totale δ_T = 70% e di direttività D_T = 62dB e sia in grado di irradiare potenza P_I = 100W
- le risorse economiche a disposizione consentano di ottenere un rendimento totale massimo del paraboloide della stazione di terra δ_R = 80%
- la potenza ricevuta dal paraboloide di terra sia almeno 1.71 μW.

b) Se le stesse antenne vengono sfruttate, alla medesima frequenza, per collegare la stazione base ad una stazione distaccata in una zona desertica (a bassissima piovosità) e montagnosa (a 1000 metri di altitudine), in maniera tale che le antenne risultino in visibilità l'una dell'altra, qual è il fenomeno che altera maggiormente le condizioni del collegamento rispetto al caso di spazio libero?

c) Valutare la potenza ricevuta in questo secondo caso, supponendo pari a 10Km la distanza del collegamento

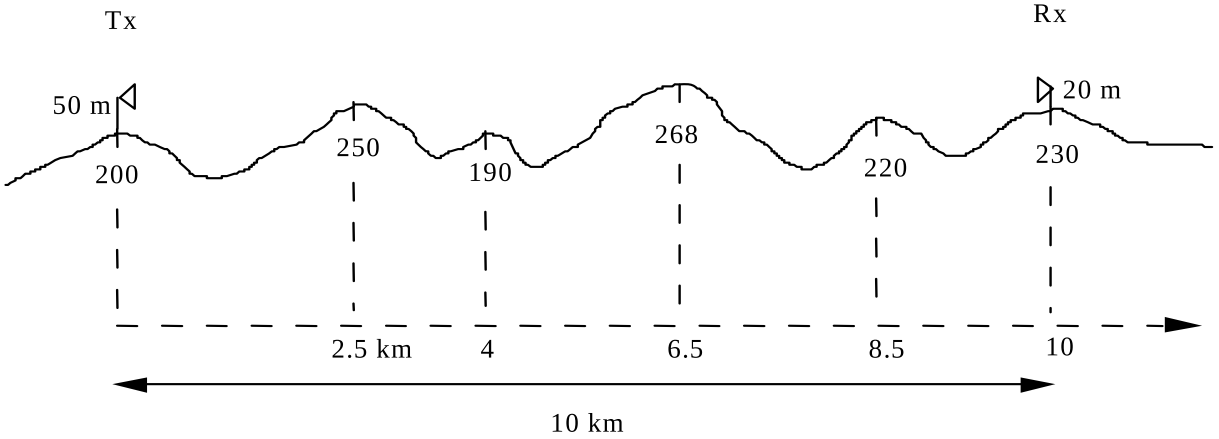
ESERCIZIO P7

Due antenne paraboliche con diametro 40cm e rendimento paria al 65% distano 16km l’una dall’altra e sono orientate in maniera tale che la direzione del collegamento coincide con la loro direzione di massimo irraggiamento. 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) e supponendo la frequenza di funzionamento del collegamento uguale a 100GHz, determinare:

a) La potenza irradiata necessaria in condizioni di spazio libero
b) La potenza irradiata necessaria nell’ipotesi in cui valgano entrambe le seguenti condizioni:
   i) la zona sede del campo sia frequentemente soggetta a piogge di intensità attorno a 10 mm/h (si veda Fig. 1)
   ii) si voglia mettere in conto l’assorbimento dovuto ai gas atmosferici inevitabilmente presenti (si veda Fig. 2)
c) Se, nel caso in cui siano valide le condizioni del punto precedente, è conveniente abbassare la frequenza del collegamento a 60GHz e perchè

ESERCIZIO P8

Occorre dimensionare un ponte radio numerico a 6 GHz la cui tratta presenta il profilo illustrato in figura. Il numero riportato al di sotto di ciascuna collina ne indica l'altezza e l'ascissa sull'asse orizzontale indica la posizione della cima lungo la tratta. Il traliccio di trasmissione è alto 50 m, quello di ricezione 20 m. Entrambi sono posizionati su delle alture. La distanza totale di tratta è di 10 km. Le antenne utilizzate sono parabole senza perdite del diametro di 1m. Si suppone che l'attenuazione sia quella di spazio libero più i contributi supplementari dovuti alla presenza delle colline che provocano diffrazione.



Profilo altimetrico del collegamento

Supponendo che la perdita dei cavi in trasmissione sia di 12 dB, quella dei cavi in ricezione di 7 dB, la sensibilità del ricevitore valga -100 dBm e si debbano considerare un margine di interferenza di 3 dB ed un margine di fading di 5 dB si calcoli la minima potenza di trasmissione che permette al ponte radio di funzionare correttamente. A tal fine si semplifichi il profilo altimetrico nella maniera che si giudica più opportuna e si utilizzi il metodo di Epstein-Peterson sfruttando le formule approssimate di Lee per la attenuazione dovuta al singolo knife-edge sotto riportate:

$$A_s^{dB}(\nu) = \begin{cases} 0 & \text{per } \nu < 0 \\ -20\log(0.5 - 0.62\cdot\nu) & \text{per } -1 < \nu < 0 \\ -20\log\left(0.5\cdot e^{-0.95\cdot\nu}\right) & \text{per } 0 < \nu < 1 \\ -20\log\left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (-0.1\cdot\nu + 0.38)^2}\right) & \text{per } 1 < \nu < 2.4 \end{cases}$$

dove ν è il parametro di Fresnel.

Risoluzione esercizio P8 1

Applicando il metodo della corda tesa si vede facilmente che gli ostacoli corrispondenti alle colline di altezza 250, 190 e 220 metri possono essere trascurati. Per l'ostacolo rimanente si ha:

a=6500 m, b=3500 m, h=18 m -> $\nu = h \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{a+b}{a \cdot b}} = 18 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.05} \cdot \frac{10^4}{22.75 \cdot 10^6}} = 2.3868$

da cui, dalle formule di Lee si ha A_S=21.283 dB.

A questo punto basta applicare l'equazione di Friis per ricavare la potenza da trasmettere affinché le specifiche siano rispettate:

$$P_t = P_r - G_t - G_r + A_{I0} + A_s + A_{ct} + A_{cr} + M_f + M_i$$

dove evidentemente

- $A_{I0} = 20\log\left(\frac{4\pi \cdot R}{\lambda}\right) = 20\log\left(\frac{4\pi \cdot 10000}{0.05}\right) = 128 \quad \text{dB}$
- $G_t = G_r = 10\log\left(\frac{4\pi \cdot A_{EFF}}{\lambda^2}\right) = 20\log\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda}\right) \approx 36 \quad \text{dB} \qquad (G = D \quad \text{essendo} \quad \eta = 1)$

Pertanto

Pt = -100 –36 –36 +128 +21.3 +12 +7 +5 +3 = 4.3 dBm (= -25.7 dBW)

ESERCIZIO P9

Si consideri un ponte radio a 13 GHz a cui corrisponde il profilo altimetrico di tratta schematizzato in figura 1. Oltre alla attenuazione dovuta agli ostacoli, il collegamento subisce un fading dovuto alla presenza di disomogenità della atmosfera che impone un margine di fading di 5 dB.
Si calcoli la minima potenza in trasmissione necessaria ad assicurare una potenza ai morsetti della antenna di ricezione uguale a 1 dBm. A tal fine, si calcoli la attenuazione supplementare dovuta agli ostacoli con il metodo di Epstein-Peterson sfruttando l'andamento della attenuazione supplementare dovuta al singolo knife-edge riportato in figura 2 e si consideri che entrambe le antenne sono parabole del diametro di 3 metri e rendimento δ=0.8.

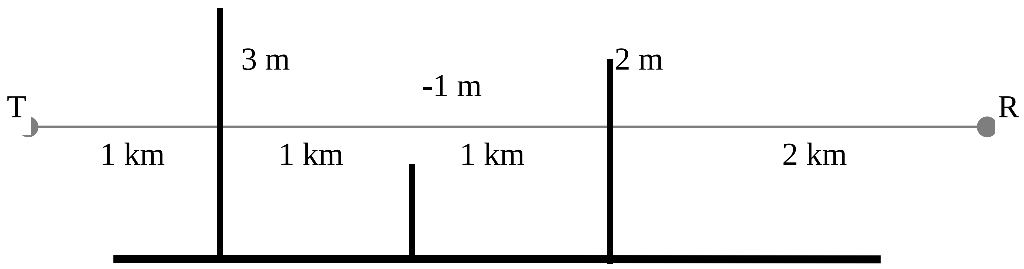


Figura 1

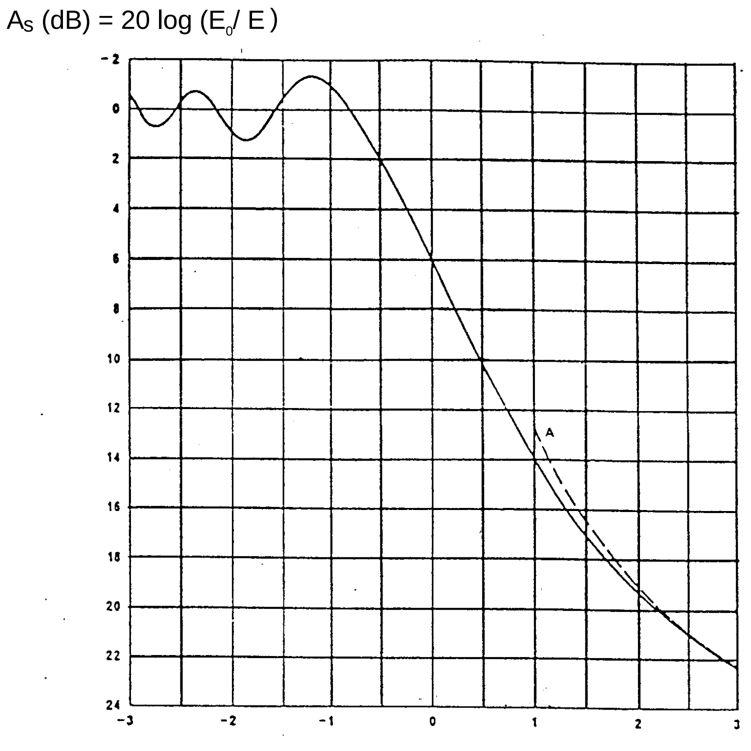


Figura 2

RISOLUZIONE ESERCIZIO P9

L'equazione della tratta è, in questo caso:

(1) P_t (dBm) = P_r (dBm) - G_t - G_r +20 log (4πR/λ) + A_S +M_f

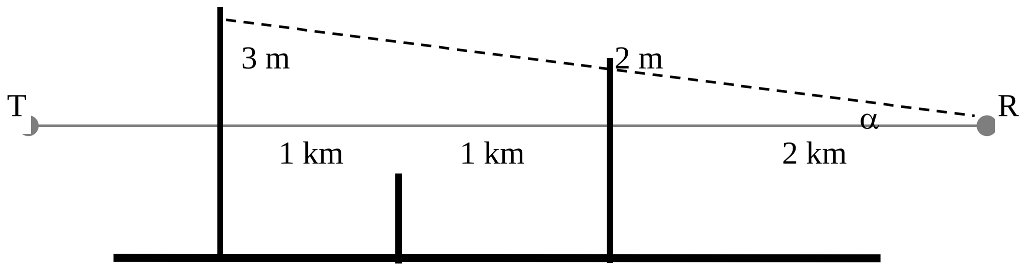
dove

- $G_{t,r}$ sono i guadagni delle antenne
- A_S è l'attenuazione supplementare dovuta agli ostacoli
- M_f è il margine di fading

<u>Calcolo di As</u>

Applicando l'algoritmo della corda tesa e' evidente che il primo ostacolo deve essere considerato mentre il secondo puo' essere trascurato.

Per quanto riguarda il terzo si puo' osservare che:



α = arctg(3/4000)=0.043°

d = 2000 tg(α) = 1.5 m < 2 m $\Rightarrow$ corda tesa intercetta terzo ostacolo.

Si ha allora per il primo ostacolo

a= 1 km;

b= 2km;

$$h = 3 - 1000 \cdot tg(\beta) \quad \text{con} \quad \beta = arctg\left(\frac{2}{3000}\right) \quad \Rightarrow \quad h = \frac{7}{3} \approx 2.33$$

Quindi ν_1= 0.36 $\Rightarrow$ $As_1 \approx 9.5$ dB.

Per il terzo ostacolo

a= 2 km;

b= 2km;

$h = 2 - d = 0.5$m

Quindi ν_3= 0.147 $\Rightarrow$ $As_3 \approx 7.5$ dB.

perciò:

$A_S \approx 17$ dB

<u>Calcolo di G_t e G_r</u>

Dalle note relazioni

$$\frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D = A_{EFF}$$

$$A_{EFF} = A_{geometrica} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad \text{(d = diametro parabola)}$$

si puo' ricavare

$$D = \left(\frac{d \cdot \pi}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{3 \cdot 13 \cdot 10^9 \cdot \pi}{3 \cdot 10^8}\right)^2 \approx 166796$$

E quindi

$G = \delta * D \approx 133437 \quad \Rightarrow \quad G_{dB} = 51.25$ dB

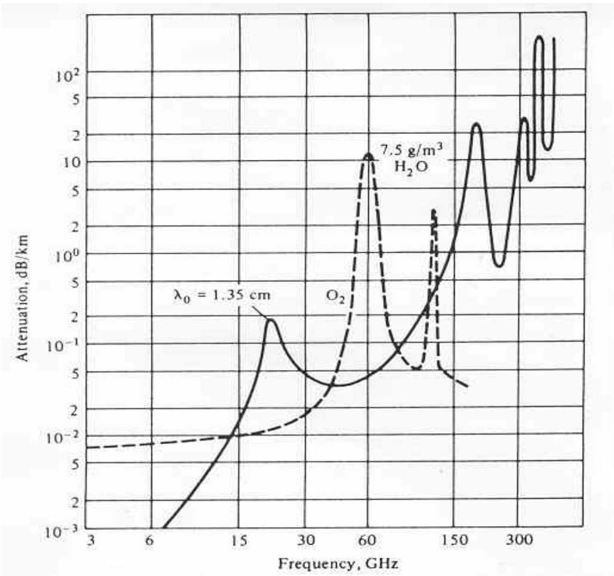
<u>Calcolo della minima potenza trasmessa</u>

Risolvendo la (1) si ottiene:
Pt = 1 – 51.25 – 51.25 +128.73 +17 + 5 = 49.23 dBm (= 83.75 W = 19.23 dBW)

ESERCIZIO P10

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) e supponendo la frequenza di funzionamento del collegamento uguale a 100GHz, determinare:

a) La potenza irradiata necessaria in condizioni di spazio libero. *(punti 6)*
b) La potenza irradiata 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, dove sono riportate separatamente le due attenuaz. specifiche). *(punti 6)*
c) La potenza irradiata nel caso in cui si tenga conto del raggio riflesso dal terreno *(punti 9)*



Soluzione Esercizio P10

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

Dall'equazione della tratta

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

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

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

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

$$G_T = G_R = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \pi R^2 \cdot \eta = \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 0.65 = 114^{.}048 \Rightarrow G^{dB} = 50.57dB$$

E quindi

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

$$P_{irr} = 0.342mW$$

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

$$A_{s\_gas} = (\alpha_o + \alpha_w) \cdot 16 \approx (0.5 + 1) \cdot 16 = 24 \ dB$$

Pertanto

$$P_{irr}^{dBW} = \left\lfloor P_{irr}^{dBW} \right\rfloor_{caso\_a} + A_{s\_gas} = -10.66\,dBW \Rightarrow P_{irr} = 85mW$$

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

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

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:

$$P_{irr}^{dBW} = \left\lfloor P_{irr}^{dBW} \right\rfloor_{caso\_a} + A_{s\_gas} + A_{suolo} = -14.66\,dBW \Rightarrow P_{irr} = 34mW$$

ESERCIZIO P11

Si consideri un collegamento radiomobile operante in un'area rurale priva di rilievi del terreno. Se i tralicci che sostengono le stazioni base sono alti 15 m, l'altezza del mobile e' supposta di 1.7 m e si può considerare che l'atmosfera sia in condizioni standard, si calcoli il massimo raggio della cella corrispondente all'orizzonte radio, cioè la massima distanza per cui il collegamento non è oscurato a causa della curvatura terrestre. *(punti 10)*

Soluzione Esercizio P11

Ponendo un sistema di riferimento cartesiano ortogonale con l'origine nel punto in cui il cammino radio è tangente alla superficie terrestre (vedi figura 1) si ricava facilmente che che la equazione della traiettoria del cammino radio, approssimata con un arco di circonferenza è:

$$x^2 + y^2 - 2\, y\, R_{eq} = 0$$

La massima distanza di tratta richiesta $d_{max} = a+b$. Occorre quindi scrivere:

$$(-a)^2 + h_1^2 - 2\, h_1\, R_{eq} = 0$$

$$(b)^2 + h_2^2 - 2\, h_2\, R_{eq} = 0$$

da cui

$$d_{max} = a+b = \sqrt{2h_1R_{eq} - h_1^2} + \sqrt{2h_2R_{eq} - h_2^2} = 5.4+16=21.4 \text{ km}$$

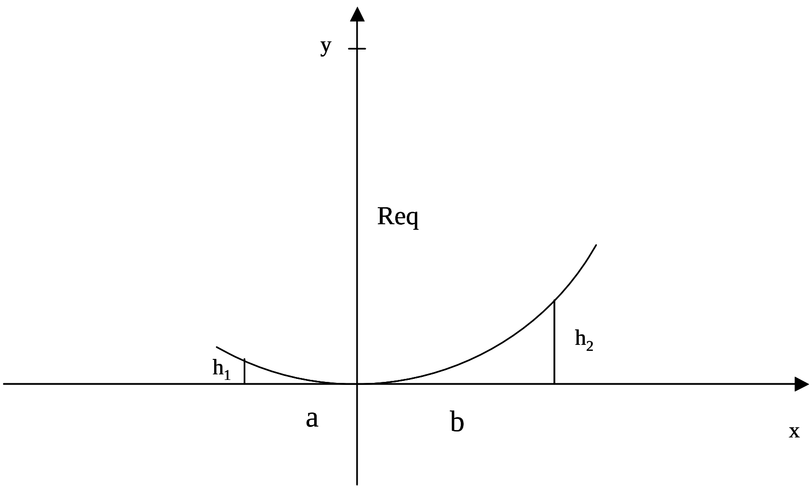


figura 1

Esercizio P12
La cella di un sistema radiomobile operante in area aperta con suolo pianeggiante ed ideale copre un'area di raggio R=2km. Supponendo che le altezze dal suolo del trasmettitore (stazione base) sia di 20 m e del ricevitore (mobile) di 2 m si calcoli esattamente la potenza ricevuta da un mobile posto a bordo cella (R = 2 km), tenendo conto della riflessione del suolo, nel caso le antenne abbiano un guadagno di 2 dB e la potenza trasmessa sia di 10W. Si sfrutti la teoria della riflessione da suolo ideale vista a lezione.

Soluzione Esercizio P12

La distanza di breakpoint risulta pari a:

$$d_{BP} = \frac{4h_1h_2}{\lambda} \approx 960m$$

quindi a bordo cella (2Km) il campo elettrico si può esprimere con la seguente formula approssimata:

$$\frac{|E|}{|E_0|} = \frac{4\pi}{\lambda} * \frac{h_1h_2}{d}$$

e quindi di conseguenza la potenza ricevuta rispetto alla potenza in situazione di spazio libero si può calcolare con la seguente espressione:

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 * \left(\frac{h_1h_2}{d}\right)^2 \quad \rightarrow \quad P = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 * \left(\frac{h_1h_2}{d}\right)^2 P_0$$

Con:

$$P_0 = P_T * G_T * G_R\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 = 10 * (1.58)^2 * \left(\frac{0.166}{4\pi 2000}\right)^2 = 1.09 * 10^{-9}$$

E perciò

$$P = 1.09x10^{-9} * \left(\frac{4\pi}{0.166}\right)^2 * \left(\frac{20*2}{2000}\right)^2 \cong 2.5x10^{-9} = -56dBm$$

ESERCIZIO P13

La II Facoltà di Ingegneria intende realizzare un collegamento fra le reti dati di via Venezia e di via Rasi tramite ponte radio utilizzando l'hardware di sistemi di tipo Wi-Fi a 2.4 GHz ed antenne paraboliche standard per la ricezione satellitare del diametro di 60 cm, di rendimento δ=0.5 e dotate di opportuno illuminatore.

Se la sensibilità del ricevitore è di -80 dBm e si devono soddisfare le specifiche FCC sull' EIRP (vedi appendice, dove EIRP = P_t G_t [W]), si determini se è possibile realizzare il collegamento. Si consideri che sulla congiungente Tx-Rx sono presenti 2 edifici il cui tetto lambisce la linea di vista e di cui occorre considerare l'attenuazione aggiuntiva. La distanza di tratta è di 0.9 km.

Soluzione Esercizio P13

Occorre applicare l'equazione della tratta, opportunamente modificata per includere le attenuazioni aggiuntive dovute ai due ostacoli. Si verifica facilmente che la lunghezza d'onda alle frequenze di interesse vale 0.125 m.

Si calcolano innanzitutto i guadagni in potenza delle antenne.

$$G \approx A_g \frac{4\pi}{\lambda^2}\delta = \frac{D^2\pi}{4}\frac{4\pi}{\lambda^2}0.5 \cong 113 = 20.5\,dB$$

Rispetto ai 6 dB indicati nelle specifiche FCC il guadagno è qui perciò di 14.5 dB più elevato. Per stare nel sicuro supponiamo che si tratti di 15 dB, allora occorre diminuire la potenza trasmessa rispetto a 1W (corrispondente ad un guadagno di 6 dB) di 15/3=5dB. LA massima potenza trasmessa sarà perciò

0 – 5 = -5 dbW = 25 dBm

Per quanto riguarda l'attenuazione supplementare da ostacoli si hanno 2 ostacoli sulla linea di vista. Quindi applicando Epstein-Peterson si verifica immediatamente che per ogni ostacolo si perdono 6 dB. L'equazione della tratta sarà perciò:

$$P_r = P_t + 2G + 20Log\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right) - 12 = 25 + 20.5x2 - 99.13 - 12 = -45.13dBm$$

Si può quindi affermare che la potenza ricevuta è di almeno 34 dB superiore alla sensibilità del ricevitore. Di conseguenza il collegamento è certamente fattibile.

Appendice: regolamentazioni sull'EIRP in sistemi Wi-Fi

From "EIRP Limitations for 802.11 WLANs" By Jim Geier
Wi-Fi Planet, July 18, 2002

The FCC makes the rules

In the U.S., the FCC (Federal Communications Commission) defines power limitations for wireless LANs in FCC Part 15.247. Manufacturers of 802.11 products must comply with Part 15 to qualify for selling their products within the U.S. Regulatory bodies in other countries have similar rules.

Part 15.247 provides details on limitations of EIRP (equivalent isotropically radiated power). EIRP represents the total effective transmit power of the radio, including gains that the antenna provides and losses from the antenna cable. You must take all of these into account when calculating the EIRP for a specific radio.

The gain of an antenna represents how well it increases effective signal power in a particular direction, with dBi (decibels relative to an isotropic radiator) as the unit of measure. dBi represents the gain of an antenna as compared to an isotropic radiator, which transmits RF signals in all directions equally. More precisely, dBi equals 10 times the logarithm (base 10) of the electromagnet field intensity of the antenna's favored direction divided by the electromagnetic field intensity of an isotropic antenna (with measurements taken at the same distance).

Manufacturers determine the antenna's dBi value, so it's a relief we don't have to calculate it. What we do need to know, however, is that every three dBi doubles the power of an RF signal. As a result, higher values of dBi extend the range of a wireless LAN.

FCC tighter on mobile WLANs

A typical indoor WLAN consists of enough access points to cover the facility to enable wireless mobility for users. Radio NICs in user devices and access points generally have omni-directional antennas that propagate RF energy in most directions, which maximizes connectivity for mobile applications. When using omni-directional antennas having less than 6 dB gain in this scenario, the FCC rules require EIRP to be 1 watt (1,000 milliwatts) or less.

In most cases, you'll be within regulations using omni-directional antennas supplied by the vendor of your radio NICs and access points. For example, you can set the transmit power in an 802.11b access point or client to its highest level (generally 100 milliwatts) and use a typical 3 dB omni-directional antenna. This combination results in only 200 milliwatts EIRP, which is well within FCC regulations.

FCC loosens up

The FCC eases EIRP limitations for fixed, point-to-point systems that use higher gain directive antennas. If the antenna gain is at least 6 dBi, the FCC allows operation up to 4 watts EIRP. This is 1 watt (the earlier limitation) plus 6 dB of gain.

The higher gain antennas have greater directivity, which propagate RF energy more in one direction than others. This reduces the possibility of causing RF interference with other nearby systems. Thus, the use of higher gain antennas, even if they result in higher EIRP, is acceptable. The users benefit by having greater range, and neighboring systems are much less likely to encounter RF interference.

For antennas having gain greater than 6 dBi, the FCC requires you to reduce the transmitter output power if the transmitter is already at the maximum of 1 watt. The reduction, however, is only 1 dB for every 3 dB of additional antenna gain beyond the 6 dBi mentioned above. This means that as antenna gain goes up, you decrease the transmitter power by a smaller amount. As a result, the FCC allows EIRP greater than 4 watts for antennas having gains higher than 6 dBi.