

Esercizio

Si consideri un sistema di trasmissione digitale con modulazione BPSK e frequenza di cifra $R_b = 20\text{Mbit/s}$.

Si assuma:

- frequenza portante $f_0 = 2\text{GHz}$,
- distanza fra trasmettitore e ricevitore $d = 50\text{Km}$,
- attenuazione delle connessioni al ricevitore $A_r = 2\text{dB}$,
- guadagno per direttività in potenza dell'antenna di ricezione $G_R = 27\text{dB}$,
- temperatura di rumore d'antenna $T_a = 250\text{k}$,
- cifra di rumore del ricevitore $F = 5\text{dB}$,
- relazione fra probabilità di fuori servizio e margine di attenuazione supplementare $P_o = 0.1 \cdot 10^{-A_s[\text{dB}]/10}$.

Si assuma inoltre filtraggio adattato e canale equalizzato.

Si determini il minimo ERP che soddisfa la specifica di qualità in termini di probabilità d'errore per bit, $P_b = 10^{-5}$ con una probabilità di fuori servizio massima $P_o = 0.01$.

Traccia Soluzione/Risultati

$$A_s[\text{dB}] = 10$$

$$b = 1$$

$$P_b = P_{bx} \Rightarrow \rho_c \simeq 9.6\text{dB}$$

$$T_{\text{sist}} = \frac{T_a + T_0(A_r - 1)}{A_r} + T_0(F - 1) \simeq 891\text{k}$$

$$A_{10} \simeq 132.4\text{dB}$$

$$C_r \geq 2.25\text{pW} \rightarrow -116.5\text{dB}_W$$

$$\text{ERP} \geq 1\text{dB}_W$$

Esercizio

Si consideri un sistema di trasmissione radio analogico FM con i seguenti dati:

- frequenza portante $f_0 = 2\text{GHz}$,
- banda di canalizzazione occupata $B_c = 27\text{MHz}$,
- banda occupata dall'informazione in banda base $f_M = 5\text{MHz}$,
- guadagno dell'antenna in ricezione $G_R = 25\text{dB}$,
- ERP = 17.1dB_W ,
- temperatura equivalente di rumore d'antenna $T_a = 250\text{k}$,
- attenuazione connessioni in ricezione $A_r = 2\text{dB}$,
- cifra di rumore del ricevitore $F = 5\text{dB}$,
- margine di processamento del segnale in banda base $m_p = 2\text{dB}$,
- fattore di picco $F_p^2 = 2$
- margine di attenuazione supplementare $A_s = 15\text{dB}$

Si determini la massima distanza del collegamento che garantisce una qualità all'utente $Q \geq 33\text{dB}$.

Traccia Soluzione/Risultati

$$B_c = 27\text{MHz}, f_M = 5\text{MHz} \Rightarrow \widehat{\Delta f} = 8.5\text{MHz}$$

$$Q = 6 \frac{\Delta f_{\text{eff}}^2}{f_M^2} m_p \rho_c = 6 \frac{\widehat{\Delta f}^2}{F_p^2 f_M^2} m_p \rho_c \Rightarrow \rho_c \geq 145.6 \rightarrow 21.63\text{dB}$$

$$T_{\text{sist}} = \frac{T_a + T_0(A_r - 1)}{A_r} + T_0(F - 1) \simeq 891.1\text{k}$$

$$C_r \geq 17.9\text{pW} \rightarrow -77.5\text{dB}_m$$

$$A_{10}[\text{dB}] \leq \text{ERP}[\text{dB}_m] - C_r[\text{dB}_m] - A_s[\text{dB}] + G_R[\text{dB}] - A_r[\text{dB}]$$

$$A_{10}[\text{dB}] = 32.4 + 20 \log_{10} d_{\text{Km}} + 20 \log_{10} f_{\text{MHz}}$$

$$\Rightarrow d \leq 51\text{Km}$$

Esercizio

Si consideri un sistema di trasmissione digitale 8-ASK e frequenza di cifra $R_b = 10\text{Mbit/s}$. Il collegamento radio sia alla frequenza portante $f_0 = 2\text{GHz}$ con distanza tx-rx $d = 50\text{Km}$. L'attenuazione delle connessioni in rx sia $A_r = 2[\text{dB}]$, il guadagno per direttività in potenza dell'antenna in rx sia $G_R = 27[\text{dB}]$ e la temperatura equivalente di rumore d'antenna sia $T_a = 250\text{k}$. La cifra di rumore del ricevitore, con filtraggio equalizzatore e adattato, sia $F = 5\text{dB}$. Si fissi una QoS all'utente $P_{bx} = 10^{-5}$ e si assuma un fuori-servizio $P_o = 1\%$ con relazione fra fuori-servizio e margine di attenuazione supplementare

$$P_o = 0.1 \cdot 10^{-A_s[\text{dB}]/10}$$

Determinare il minimo ERP che soddisfa le specifiche.

Traccia Soluzione/Risultati

$$A_s[\text{dB}] = 10$$

$$b = 1$$

$$P_b = P_{bx} \Rightarrow \rho_c \simeq 21.5\text{dB}$$

$$T_{\text{sist}} = \frac{T_a + T_0(A_r - 1)}{A_r} + T_0(F - 1) \simeq 891\text{k}$$

$$A_{10} \simeq 132.4\text{dB}$$

$$C_r \geq 17.2\text{pW} \rightarrow -100.76\text{dB}_W$$

$$\text{ERP} \geq 16.64\text{dB}_W$$

Esercizio

Si consideri un sistema di trasmissione digitale con modulazione BPSK, frequenza portante $f_0 = 2\text{GHz}$ e frequenza di cifra $R_b = 10\text{Mbit/s}$. Si assuma adattamento ed equalizzazione a coseno rialzato.

L'antenna di ricezione sia parabolica con guadagno $G_R = 30\text{dB}$ e caratterizzata da temperatura equivalente di rumore di antenna $T_a = 300\text{k}$. Il ricevitore abbia cifra di rumore $F = 6\text{dB}$.

Si individui il minimo valore del campo elettrico incidente che garantisce una $P_{\text{bx}} = 10^{-4}$ in corrispondenza di un errore nel recupero della fase della portante $\Delta = 20^\circ$.

Traccia Soluzione/Risultati

$$\Rightarrow E \simeq 22.8\mu\text{V/m}$$

Esercizio

Si consideri la tratta base (BS) - mobile (MS) (down-link) di un sistema radiomobile digitale GPRS in ambiente sub-urbano con bit-rate $R_b = 66\text{Kbit/s}$. La stazione base sia dotata di antenne con guadagno per direttività in potenza $G_{BS} = 13\text{dB}$. Il terminale mobile sia dotato di un'antenna con guadagno per direttività in potenza $G_{MS} = 13\text{dB}$.

Si modelli l'attenuazione in funzione della distanza mediante l'espressione

$$A[\text{dB}] = 25 + 40 \log_{10} d$$

e la probabilità di errore per bit come

$$P_b \simeq \exp\{-0.8 \rho_c\}$$

Le attenuazioni dovute alle connessioni in antenna siano $A_{BS} = 2\text{dB}$ e $A_{MS} = 1\text{dB}$ per BS e MS rispettivamente. Il mobile sia caratterizzato da una temperatura equivalente di rumore di antenna $T_a = 310\text{k}$ e cifra di rumore del ricevitore $F = 6$. Si consideri nel dimensionamento un margine di attenuazione supplementare $A_s = 12\text{dB}$.

1. Nota la potenza in uscita all'emettitore $C_e = 45\text{dBm}$, valutare la potenza ricevuta in funzione della distanza.
2. Per distanza $d = 1.5\text{Km}$ valutare il SNR convenzionale a radiofrequenza.
3. Si consideri un fading piatto Rayleigh, che rende il SNR istantaneo una variabile aleatoria con funzione densità di probabilità (valore medio $\overline{\rho_c}$):

$$f_{\rho_c}(\xi) = \frac{1}{\overline{\rho_c}} \exp\{-\xi/\overline{\rho_c}\}$$

per $\xi > 0$ e 0 altrimenti. Determinare l'espressione della probabilità di errore media rispetto al fading.

Traccia Soluzione/Risultati

$$1.) C_r[\text{dBm}] = 20.2 - 40 \log_{10} d$$

$$2.) T_{\text{sis}} \simeq 1756\text{k}$$

$$d = 1.5\text{Km} \Rightarrow C_r[\text{dBm}] = -106.8\text{dBm} \rightarrow 0.02\text{pW}$$

$$\Rightarrow \rho_c \simeq 12.5 \rightarrow 11\text{dB}$$

$$3.) \overline{P_b} = \int_0^{+\infty} \frac{1}{\overline{\rho_c}} \exp\{-\xi/\overline{\rho_c}\} \exp\{-0.8 \xi\} d\xi = \frac{1}{1+0.8 \overline{\rho_c}}$$

Esercizio

Si consideri un sistema di trasmissione punto-multipunto M -QASK operante alla bit-rate $R_b = 34\text{Mbit/s}$ su una banda complessiva $B_c = 28\text{MHz}$ attorno alla frequenza portante $f_0 = 30\text{GHz}$. Sia $P_{bx} = 10^{-10}$ la specifica di QoS, ed il sistema abbia antenna di trasmissione settoriale con apertura 120° e guadagno per direttività in potenza nella direzione di massimo $G_T = 18.5\text{dB}$ e antenne di ricezione paraboliche con guadagno per direttività in potenza $G_R = 34.5\text{dB}$. Siano $A_e = 2\text{dB}$ e $A_r = 2\text{dB}$ le attenuazioni per connessione al trasmettitore ed al ricevitore, $F = 5\text{dB}$ la cifra di rumore del ricevitore, $T_a = 290\text{k}$ la temperatura equivalente di rumore d'antenna. Considerando il sistema equalizzato ed adattato ed un margine d'attenuazione supplementare per Km dovuto alla pioggia 0.3dB/Km e 7dB/Km per fuori-servizio 0.01 e 0.001 rispettivamente, si determini la massima distanza di copertura.

Traccia Soluzione/Risultati

Minimo numero di livelli che permette di rispettare il vincolo in banda:

$$R_s(1 + \alpha) = \frac{R_b}{\log_2 M} (1 + \alpha) \leq B_c \Rightarrow \log_2 M \geq (1 + \alpha)R_b/B_c$$

con $0 < \alpha \leq 1$ per cui $M = 4$ ed un'opportuna scelta di α rispetta il vincolo in banda.

D'ora in poi $M = 4$.

$$P_b = P_{bx} \Rightarrow \rho_c \simeq 13.1\text{dB}$$

$$T_{\text{sist}} \simeq 917\text{k}$$

$$C_r \simeq -80.6\text{dBm}$$

$$\text{Attenuazione complessiva } A[\text{dB}] = C_e[\text{dBm}] - C_r[\text{dBm}] = 106.6\text{dB}$$

$$A[\text{dB}] = A_e[\text{dB}] + A_r[\text{dB}] + A_s[\text{dB}] - G_T[\text{dB}] - G_R[\text{dB}] + A_{10}[\text{dB}] \leq 106.6$$

dove

$$A_{10}[\text{dB}] = 32.4 + 20 \log_{10} d_{\text{Km}} + 20 \log_{10} f_{\text{MHz}}$$

$$A_s[\text{dB}] = 7 d[\text{Km}] \text{ con } P_o = 0.001$$

$$A_s[\text{dB}] = 0.3 d[\text{Km}] \text{ con } P_o = 0.01$$

Nel caso $A_s[\text{dB}] = 0$ sarebbe: $d \simeq 48\text{Km}$.

Nel caso $P_o = 0.001$ si ha massima copertura (si procede per tentativi crescendo d): $d \simeq 3.3\text{Km}$.

Nel caso $P_o = 0.01$ si ha massima copertura (si procede per tentativi crescendo d): $d \simeq 22.4\text{Km}$.

Esercizio

Si consideri la interconnessione di due calcolatori (1) e (2) in una rete locale wireless a breve raggio basata su sistema Bluetooth a frequenza $f_0 = 2.4\text{GHz}$ ed operante a bit-rate $R_b = 1\text{Mbit/s}$. Siano $G_1 = 2.2\text{dB}$ e $G_2 = 2.2\text{dB}$ i guadagni per dirattività d'antenna in potenza dei due terminali e $A_1 = 1\text{dB}$, $A_2 = 1\text{dB}$ le rispettive attenuazioni dovute alle connessioni d'antenna. Da misure si è rilevato che nell'ambiente in cui operano i due calcolatori l'attenuazione isotropica segue un modello in funzione della distanza del tipo

$$A_i[\text{dB}] = 50 + 33 \log_{10} d$$

Nel bilancio si consideri un margine di attenuazione dovuto alle non idealità del collegamento pari a $A_M = 3\text{dB}$. Il tipo di modulazione adottato (GMSK) in relazione al ricevitore impiegato, presenta una probabilità di errore per bit in funzione del rapporto segnale-rumore convenzionale a RF, ρ_c , data da:

$$P_{\text{bx}} \simeq 0.14 \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\rho_c 0.075} \right\}$$

Con riferimento alla sola tratta dal terminale (1) verso (2), nota la potenza in uscita all'emettitore $C_e = 0\text{dBm}$ e la temperatura equivalente di rumore d'antenna $T_a = 300\text{k}$, si determini:

- la minima potenza ricevuta in ingresso al ricevitore necessaria a garantire una $P_b \leq 10^{-8}$ alle distanze $d = 10\text{m}$ e $d = 20\text{m}$
- la massima cifra di rumore ammissibile del ricevitore per soddisfare le specifiche nelle medesime condizioni del punto precedente, discutendone la realizzabilità.

Traccia Soluzione/Risultati

$$P_b = P_{\text{bx}} \Rightarrow \rho_c = 193.5 \rightarrow 22.9\text{dB}$$

Dal bilancio di collegamento:

$$d = 10\text{m} \Rightarrow C_r \simeq 4.37\text{pW}$$

$$d = 20\text{m} \Rightarrow C_r \simeq 0.45\text{pW}$$

Da ρ_c e C_r si ottiene la massima T_{sist} ammessa che vale:

$$d = 10\text{m} \Rightarrow T_{\text{sist}} \leq 1635\text{k}$$

$$d = 20\text{m} \Rightarrow T_{\text{sist}} \leq 167.3\text{k}$$

Essendo $T_{\text{sist}} = \frac{T_a + T_0(A_r - 1)}{A_r} + T_0(F - 1)$ si ottiene la massima cifra di rumore ammessa che vale

$$d = 10\text{m} \Rightarrow F \leq 5.61 \rightarrow 7.49\text{dB}$$

$d = 20\text{m} \Rightarrow F \leq 1$ che non è realizzabile e quindi il sistema non può soddisfare le specifiche a tale distanza.

Esercizio

Si consideri un radiocollegamento numerico QPSK alla frequenza portante $f_0 = 2\text{GHz}$ con frequenza di cifra $R_b = 20\text{Mbit/s}$ e distanza fra trasmettitore e ricevitore $d = 55\text{Km}$. Si fissino la specifica sulla QoS all'utente $P_{bx} = 4 \cdot 10^{-5}$ ed un margine di attenuazione supplementare $A_s = 18\text{dB}$. Si supponga di utilizzare equalizzazione a coseno rialzato (fattore di roll-off, $\alpha = 0.3$) con banda equivalente di rumore normalizzata $b = 1.18$. Le connessioni di trasmissione e ricezione valgono $A_e = A_r = 2\text{dB}$ e le antenne siano entrambe paraboloidi di raggio $R = 50\text{cm}$ e coefficiente d'illuminazione $\eta_g = 0.6$, con temperatura equivalente di rumore d'antenna $T_a = 220\text{k}$. Si consideri una potenza emessa $C_e = 200\text{mW}$ e si determini:

- la massima cifra di rumore che soddisfi le specifiche
- l'intensità del campo elettrico ricevuto
- l'efficienza spettrale del sistema

Traccia Soluzione/Risultati

Banda occupata: $B = R_s (1 + \alpha)$

Efficienza spettrale: $\eta_s = R_b/B \simeq 1.53\text{bit/s/Hz}$

$A_{10} \simeq 133.2\text{dB}$

Antenne paraboliche $\Rightarrow A_{\text{eff}} = \eta_g A_g = \eta_g \pi R^2 \simeq 0.47\text{m}^2$

$G_T = G_R = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}} \simeq 263 \rightarrow 24.2\text{dB}$

$P_b = P_{bx}, b \Rightarrow \rho_c \simeq 9.63\text{dB}$

Bilancio di collegamento $\Rightarrow C_r \simeq 4.2\text{pW}$

$\Rightarrow T_{\text{sist}} \leq 1664.6\text{k} \Rightarrow F \leq 5.9 \rightarrow 7.7\text{dB}$

$C_r = (p/A_r) \cdot A_{\text{eff}}$ con $p = \frac{E^2}{2\eta_0}$

$\Rightarrow E \simeq 103\mu\text{V/m}$

Esercizio

Si consideri un sistema di comunicazione a breve raggio indoor via radio di tipo punto-multipunto per la trasmissione a divisione di tempo di informazioni multimediali da un punto di accesso alla rete fissa verso $N = 12$ terminali. Il collegamento verso ogni terminale avviene con bit-rate $R_b = 1\text{Mbit/s}$ e modulazione BPSK (bit equiprobabili ed indipendenti) alla frequenza portante $f_0 = 2.4\text{GHz}$.

Si consideri il collegamento dal punto di accesso fisso ad un terminale mobile con specifica di QoS $P_{bx} = 10^{-8}$. Si assuma l'attenuazione isotropica $A_i[\text{dB}] = 15 + 26 \log_{10} d$ ed un margine di attenuazione supplementare $A_s = 20\text{dB}$.

Il canale sia equalizzato a coseno rialzato con banda equivalente di rumore normalizzata $b = 1.16$ e le attenuazioni dovute alle connessioni in trasmissione e ricezione siano $A_e = 2\text{dB}$, $A_r = 1\text{dB}$. L'antenna in trasmissione abbia un guadagno $G_T = 3\text{dB}$ mentre quella in ricezione è da considerarsi omnidirezionale.

La temperatura equivalente di rumore dell'antenna in ricezione sia $T_a = 290\text{k}$ e la cifra di rumore del ricevitore $F = 5\text{dB}$.

Determinare:

- la relazione fra potenza emessa e massima distanza del collegamento
- la massima distanza che soddisfa le specifiche per $C_e = 15\text{mW}$

Traccia Soluzione/Risultati

Nota: l'access point trasmette con bit-rate totale $R_{b\text{TOT}} = N R_b$ ed è questa la bit-rate da inserire nel SNR.

$$\Rightarrow C_e[\text{dBW}] = -80.6 + 26 \log_{10} d$$

$$C_e = 15\text{mW} \Rightarrow d \leq 252\text{m}$$

Esercizio

Si faccia riferimento ad un sistema di trasmissione BPSK e si indichi con $s(t)$ l'espressione del segnale in ingresso al filtro di trasmissione e con $g(t)$ l'impulso di trasmissione rettangolare NRZ con ampiezza unitaria in $[-T/2, T/2]$ e 0 altrove. Il segnale $s(t)$ attraversa un canale di trasmissione a due raggi con risposta impulsiva equivalente passa-basso $h_0(t) = \delta(t) + \rho e^{-j\varphi} \delta(t - \tau)$.

Si considerino unitarie nella banda di interesse le funzioni di trasferimento dei filtri di trasmissione e ricezione. Si determini:

- l'espressione del segnale a valle del campionatore all'istante $t_k = kT$ per $\tau = mT$ (m intero positivo), indicando i soli contributi non nulli
- l'espressione esatta della probabilità di errore per bit.

Traccia Soluzione/Risultati

$$\Rightarrow v(t_k) = V_0 a_k + V_0 \rho a_{k-m} \cos \varphi + x_k$$

$$\Rightarrow P_b = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\frac{V_0(1+\rho \cos \varphi)}{\sqrt{2}\sigma} \right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\frac{V_0(1-\rho \cos \varphi)}{\sqrt{2}\sigma} \right)$$

Esercizio

Si consideri un circuito non lineare del tipo elevamento a potenza k con caratteristica in-out

$$u = F[v] = v^k$$

Determinare l'uscita quando in ingresso sia presente una oscillazione sinusoidale generalmente modulata in ampiezza e fase.

Traccia Soluzione/Risultati

Ingresso $v(t) = V(t) \cos(2\pi f_0 t + \alpha(t))$.

Seguendo il metodo De Castro si ottiene $u(t) = \frac{b_0[V(t)]}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n[V(t)] \cos(2\pi n f_0 t + n\alpha(t))$, dove i coefficienti b_n risultano essere

$$b_n[V] = \begin{cases} 0 & k - n \text{ dispari, oppure } n > k, \\ \frac{V^k}{2^{k-1}} \text{binom}(k, (k - n)/2) & \text{altrimenti.} \end{cases}$$

Esercizio

Si consideri la tratta di discesa di un sistema di comunicazione satellitare geostazionario semplificato operante su una banda di 27MHz attorno alla frequenza portante $f_0 = 12\text{GHz}$ con modulazione QPSK.

Siano $C_e = 5\text{W}$ la potenza in uscita all'emettitore, $G_T = 45\text{dB}$ il guadagno per direttività in potenza dell'antenna trasmittente, $A_e = A_r = 1\text{dB}$ le attenuazioni di connessione al trasmettitore e al ricevitore. Si consideri il sistema adattato ed equalizzato a coseno rialzato con fattore di Roll-off 0.4, e si assuma un margine di attenuazione supplementare $A_s = 4\text{dB}$. Sia $P_b \leq 10^{-6}$ la specifica di QoS all'utente.

Si determinino:

- la massima bit-rate che soddisfa le specifiche in banda
- il minimo SNR effettivo che soddisfa le specifiche
- il minimo G_R/T_{sist} del ricevitore che soddisfa le specifiche
- la massima cifra di rumore del ricevitore che soddisfa le specifiche nel caso si utilizzi un'antenna parabolica di diametro $D = 45\text{cm}$, coefficiente d'illuminazione unitario e temperatura equivalente di rumore d'antenna $T_a = 50\text{k}$.

Traccia Soluzione/Risultati

$$B = R_s(1 + \alpha) \leq 27\text{MHz} \Rightarrow R_s \leq 19.2\text{Msimb/s} \Rightarrow R_b \leq 38.4\text{Mbit/s}$$

$$P_b \leq P_{bx} \Rightarrow \rho \geq 22.6 \rightarrow 13.6\text{dB}$$

$$\text{Dal bilancio di collegamento risulta } A_{10}[\text{dB}] \simeq 205.1 \text{ e } C_r \simeq 1.23 \cdot 10^{-16} G_R$$

$$\text{Dalla definizione di SNR effettivo e dal vincolo sulla QoS risulta } G_R/T_{\text{sist}} \geq 10.4\text{k}^{-1} \rightarrow 10.2\text{dB/k}$$

$$\text{Dai dati geometrici dell'antenna e dalla lunghezza d'onda in gioco risulta } G_R \simeq 3194.5 \rightarrow 35\text{dB}$$

$$\text{e quindi } T_{\text{sist}} \leq 307.2\text{k} \Rightarrow F \leq 1.7 \rightarrow 2.3\text{dB}$$

Esercizio

Si consideri un ponte radio numerico che opera alla frequenza portante 2GHz con modulazione M -QASK e bit-rate $R_b = 24\text{Mbit/s}$ su una larghezza di banda del servizio di 10MHz. Il sistema sia adattato ed equalizzato a coseno rialzato con fattore di Roll-off 0.4. Si considerino attenuazioni dovute alle connessioni di emettitore e ricevitore $A_e = A_r = 2\text{dB}$ ed un margine di attenuazione supplementare legato alla probabilità di fuori-servizio secondo la relazione $P_o = 0.15 \cdot 10^{-\frac{A_s(\text{dB})}{10}}$. Le antenne di trasmissione e ricezione siano paraboliche, quella di trasmissione con guadagno per direttività in potenza $G_T = 20\text{dB}$. L'antenna di ricezione, con rendimento d'illuminazione 0.9, presenta una temperatura equivalente di rumore d'antenna $T_a = 300\text{k}$, mentre il ricevitore ha una cifra di rumore $F = 5\text{dB}$. Sia $d = 50\text{Km}$ la distanza di collegamento e $C_e = 1\text{W}$ la potenza emessa. Siano $P_{bx} = 10^{-5}$ e $P_o = 1\%$ le specifiche di QoS.

1. Si disegni lo schema a blocchi del ricevitore.
2. Si determini il numero minimo di livelli che soddisfa i vincoli in banda e lo si assuma nel seguito come numero di livelli del sistema.
3. Determinare il minimo SNR effettivo che soddisfa la specifica di QoS.
4. Determinare il minimo diametro dell'antenna di ricezione che soddisfa le specifiche.
5. Determinare l'intensità del campo elettrico alla bocca dell'antenna.