

## PROBLEMA SU COLLEGAMENTO WIRELESS CON ACCESS POINT

Il gestore di un ipermercato richiede l'installazione di un access point da utilizzare per il collegamento wireless delle casse automatiche alla rete locale.

L'allievo, considerando che ciascuna cassa automatica è dotata di una scheda USB wireless funzionante con la modulazione QAM-16 a 24 Mbps nella banda dei 2,4 GHz, e che la figura di rumore dei ricevitori delle schede delle casse automatiche e dell'access point è  $F_{dB} = 5$  dB, formulate le ipotesi aggiuntive ritenute essenziali, sviluppi i seguenti punti del progetto:

- 1) Disegno dello schema a blocchi generale del sistema di telecomunicazione;
- 2) Calcolo della larghezza di banda traslata e del baudrate del segnale QAM-16 con riferimento al bitrate richiesto, considerando il canale non rumoroso ;
- 3) Determinazione dei valori di potenza e di EIRP dei trasmettitori dell'access point e di tutte le schede wireless, compatibili con il valore massimo di 100 mW stabilito dalle normative vigenti in materia di inquinamento elettromagnetico , considerando una distanza massima di 50 m tra access point e cassa automatica ed un BER (bit error rate) di  $10^{-7}$  ;
- 4) Calcolo della distanza massima tra access point e casse automatiche, superata la quale il BER diventa maggiore di  $10^{-6}$  .

## SOLUZIONE

Punto 1)

La fig. 1 rappresenta lo schema a blocchi generale del sistema di telecomunicazione.

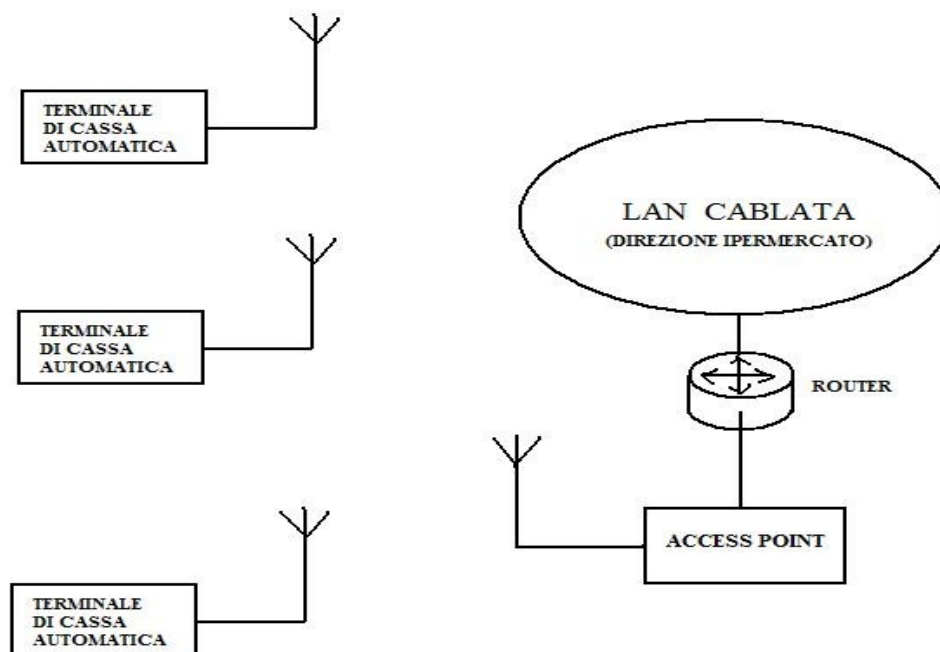


fig. 1

Si fa l'ipotesi che sia disponibile una porta del router aziendale per il collegamento dell'access point alla rete locale.

Punto 2)

Considerando il canale di comunicazione in assenza di rumore (canale ideale), si applica la formula di Nyquist  $V_m = 2 B_N$ , indicando con  $V_m$  la velocità di modulazione (baudrate o frequenza di simbolo o velocità di segnalazione) e con  $B_N$  la banda di Nyquist.

Poiché la modulazione QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation, modulazione di ampiezza in quadratura o modulazione di ampiezza e fase) utilizza 16 stati (combinazioni di ampiezza e fase), codificati con 4 bit, il numero di bit/s  $f_c$  (bit-rate, velocità di trasmissione o frequenza di cifra)

è pari a 4 volte il baudrate. Pertanto, essendo  $f_c = 4 V_m$ , la velocità di modulazione corrispondente alla frequenza di cifra  $f_c = 24 \text{ Mbps}$  è  $V_m = f_c/4 = 24/4 = 6 \text{ Mbaud}$ , mentre la banda di Nyquist assume il valore  $B_N = V_m/2 = 3 \text{ MHz}$ .

Considerando che lo spettro di ampiezza (bilatero) di un segnale QAM (fig.2)

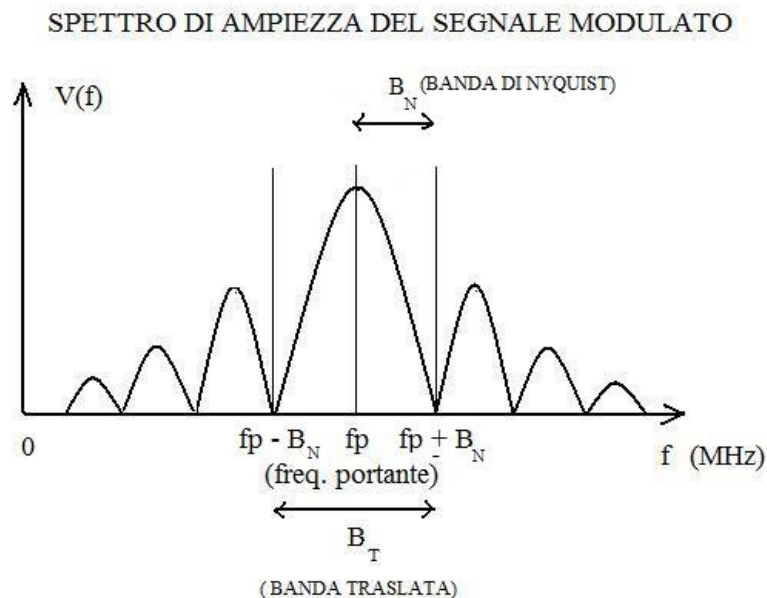


fig.2

è caratterizzato dalla larghezza bilaterale  $B_T = 2 B_N$ , si ottiene la larghezza del canale occupato dal segnale QAM:  $B_T = 2 B_N = 2 \times 3 \text{ MHz} = 6 \text{ MHz}$ .

Punto 3)

Bisogna anzitutto definire l' EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power), che è dato, per un' antenna trasmittente direttiva, con guadagno  $G_{dB} > 0 \text{ dB}$ , dal prodotto  $GP_{TX}$ , dove  $G$  è il guadagno d'antenna e  $P_{TX}$  è la potenza erogata dal trasmettitore. L' EIRP =  $GP_{TX}$  è la potenza equivalente  $P_{eq}$  che dovrebbe essere irradiata mediante un'antenna isotropa (non direttiva) con guadagno  $G = 1$  per ottenere, a parità di distanza dall' antenna, una densità di potenza (in  $W/m^2$ ) uguale a quella che si ottiene, nella direzione di massima irradiazione, con un'antenna avente guadagno  $G > 1$ .

Per rispettare il limite di 100 mW imposto dalle norme vigenti in materia

di inquinamento elettromagnetico per le reti wireless, bisogna considerare anzitutto che si tratta di un collegamento numerico la cui affidabilità per quanto riguarda il tasso di errore di bit (BER, Bit Error Rate) , viene espressa, invece che mediante il rapporto segnale/disturbo (S/N o SNR), in funzione del rapporto  $E_b/N_0$ , dove  $E_b$  è l'energia associata alla ricezione di 1 bit e  $N_0 = kT^\circ$  ( $T^\circ$  è la temperatura ambiente in gradi  $^\circ\text{K}$ ) è la densità di potenza del rumore termico (o bianco, in quanto tutte le righe spettrali hanno la stessa ampiezza, indipendentemente dalla frequenza), espressa dal rapporto  $N/B = kT^\circ$  tra la potenza  $N = kT^\circ B$  del rumore e la larghezza di banda  $B$  del canale trasmissivo. Questo metodo facilita il dimensionamento del collegamento, in quanto il rapporto  $E_b/kT^\circ$  non contiene la larghezza di banda  $B$ , dal cui aumento dipende la potenza del rumore,  $N$ .

### **Calcolo del rapporto S/N in funzione del rapporto ( $E_b/N_0$ )**

La relazione che lega il rapporto  $E_b/N_0$  a S/N è la seguente:

$S/N = (\text{energia/bit} \times \text{numero di bit/s}) / (\text{densità di potenza del rumore} \times \text{larghezza di banda del canale}) = (E_b \times f_c) / (N_0 \times B) = (E_b/N_0) / (f_c/B)$ .

Consultando le tabelle che forniscono il tasso di errore di bit (BER), coincidente con la probabilità di errore, in funzione del rapporto  $E_b/N_0$ , si ricava per  $(E_b/N_0)_{\text{dB}}$  il valore di 15,2 dB (con la modulazione QAM-16) per un BER di  $10^{-7}$  , corrispondente ad un solo bit errato su 10 milioni di bit.

Applicando al rapporto S/N la formula dei decibel di potenza, in base ai teoremi dei logaritmi, tenendo conto del valore di  $B = B_T = 6 \text{ MHz}$  calcolato al punto 2) , si ottiene  $(S/N)_{\text{dB}} = \text{SNR}$ :

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= 10 \log_{10} (S/N) = 10 \log_{10} (E_b/N_0) + 10 \log_{10} (f_c/B) = \\ &= (E_b/N_0)_{\text{dB}} + 10 \log_{10} (f_c/B) = 15,2 \text{ dB} + 10 \log_{10} (24 \times 10^6 / 6 \times 10^6) = \\ &= (15,2 + 10 \log_{10} 4) \text{ dB} = (15,2 + 6,02) = 21,22 \text{ dB}. \end{aligned}$$

### **Calcolo della potenza del rumore e della potenza del segnale ricevuto**

Per calcolare la potenza  $S_{R_x}$  del segnale presente all' ingresso di ciascun ricevitore (demodulatore QAM-16 dei terminali di cassa e dell' access point) , bisogna calcolare la potenza del rumore termico presente all' ingresso di ciascun demodulatore, tenendo conto che la figura di rumore dei ricevitori è  $F_{\text{dB}} = 5 \text{ dB}$ .

Considerando una temperatura ambiente di  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , corrispondente ad una temperatura assoluta  $T^\circ = (20 + 273) \text{ }^\circ\text{K} = 293 \text{ }^\circ\text{K}$  e la costante di Boltzmann  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ , la potenza di rumore  $N_0 B$  (densità di

potenza x larghezza di banda) =  $k T^\circ B = 1,38 \times 10^{-23} \times 293 \times 6 \times 10^6 = 2,426 \times 10^{-14} \text{ W}$  deve essere moltiplicata per il fattore  $F = 10^{(5/10)} = 10^{0,5} = 3,1622$  ( $F_{\text{dB}} = 10 \log_{10} F$ ), che tiene conto del rumore termico generato dal ricevitore, per ottenere la potenza del rumore termico  $N = kT^\circ FB = 2,426 \times 10^{-14} \times 3,1622 \text{ W} = 7,6714 \times 10^{-14} \text{ W}$ , sovrapposta all'ingresso del ricevitore alla potenza del segnale ricevuto.

La potenza  $N$  si esprime in dBm (decibel milliwatt) assumendo come potenza di riferimento  $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$ :

$$N(\text{dBm}) = 10 \log_{10} N = 10 \log_{10} (7,6714 \times 10^{-14} / 10^{-3}) = -101,151 \text{ dBm}.$$

Lo stesso valore si ottiene esprimendo  $N$  in dB e sommando la figura di rumore  $F_{\text{dB}} = 5 \text{ dB}$ . Infatti si ha:  $10 \log_{10} (2,426 \times 10^{-14} / 10^{-3}) = -106,151 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = -101,151 \text{ dB}$ .

Calcolata la potenza  $N = -101,151 \text{ dBm}$ , poichè il rapporto  $\text{SNR} = (S/N) \text{ dB} = 21,22 \text{ dB}$ , è dato dalla differenza  $10 \log_{10} S_{\text{Rx}} - 10 \log_{10} N$ , si ottiene  $S_{\text{Rx}}$  (in dB) =  $10 \log_{10} S_{\text{Rx}} = 10 \log_{10} N + 21,22 = -101,151 \text{ dBm} + 21,22 \text{ dBm} = -79,131 \text{ dBm}$ , che corrisponde a  $S_{\text{Rx}} = 10^{-79,131/10} = 1,221 \times 10^{-8} \text{ W}$ .

### Calcolo dell' EIRP dei trasmettitori

Per calcolare l' EIRP dei trasmettitori bisogna applicare la formula dei collegamenti radio (formula di Friis), che esprime la potenza  $S_{\text{Rx}}$  del segnale ricevuto in funzione dei seguenti parametri:

$P_{\text{Tx}}$  potenza erogata dal trasmettitore;

$G_{\text{Tx}}$  guadagno dell' antenna trasmittente;

$G_{\text{Rx}}$  guadagno dell' antenna ricevente;

$A_{\text{SPL}} = (4\pi L/\lambda)^2$  Attenuazione subita dal segnale nel percorso di lunghezza  $L$  (spazio libero) dal trasmettitore al ricevitore

$$S_{\text{Rx}} = P_{\text{Tx}} G_{\text{Tx}} G_{\text{Rx}} / A_{\text{SPL}}$$

Applicando i teoremi dei logaritmi si ottiene la formula di Friis in dB:

$$10 \log_{10} S_{\text{Rx}} = 10 \log_{10} P_{\text{Tx}} + 10 \log_{10} G_{\text{Tx}} + 10 \log_{10} G_{\text{Rx}} - 10 \log_{10} A_{\text{SPL}}$$

$$S_{\text{Rx}} (\text{dB}) = P_{\text{Tx}} (\text{dB}) + G_{\text{Tx}} (\text{dB}) + G_{\text{Rx}} (\text{dB}) - A_{\text{SPL}} (\text{dB}).$$

Se si suppone di utilizzare per l'access point e per i terminali di cassa antenne marconiane di lunghezza  $\lambda/4$ , con guadagno  $G_{\text{Tx}} = G_{\text{Rx}} = 5 \text{ dB}$ .

calcolata la lunghezza d' onda  $\lambda = c/f = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / (2,45 \times 10^9 \text{ Hz}) = 0,122 \text{ m}$ , si calcola la lunghezza delle antenne, pari a  $\lambda/4 = 12,2/4 = 3,05 \text{ cm}$ .

L'attenuazione di spazio libero, per  $L = 50 \text{ m}$ , è:

$$A_{SPL} = (4\pi L/\lambda)^2 = (4 \times 3,14 \times 50 / 0,122)^2 = 5147,54^2 = 26,497 \times 10^6 .$$

$$A_{SPL}(\text{dB}) = 10 \log_{10} A_{SPL} = 10 \log_{10} 26,497 \times 10^6 = 74,231 \text{ dB}.$$

Per dimensionare correttamente il trasmettitore, è consigliabile inserire un' ulteriore attenuazione (margine di affidabilità)  $M = 25 \text{ dB}$  per tener conto di eventuali attenuazioni del segnale dovute, per es. , a pilastri in cemento armato, ottenendo l'espressione:

$$S_{RX}(\text{dBm}) = P_{TX}(\text{dB}) + G_{TX}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dB}) - A_{SPL}(\text{dB}) - M(\text{dB}).$$

Pertanto la potenza erogata dal trasmettitore è

$$P_{TX}(\text{dBm}) = S_{RX}(\text{dBm}) - G_{TX}(\text{dB}) - G_{RX}(\text{dB}) + A_{SPL}(\text{dB}) + M(\text{dB}) = \\ = -79,131 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} - 5 \text{ dB} + 74,131 \text{ dB} + 25 \text{ dB} = 10 \text{ dBm}.$$

$$P_{TX} = 10^{10/10} = 10 \text{ mW}.$$

L' EIRP in dB si ottiene sommando a  $P_{TX}(\text{dBm})$  il guadagno  $G_{TX}(\text{dB})$ :

$$\text{EIRP}(\text{dB}) = P_{TX}(\text{dBm}) + G_{TX}(\text{dB}) = 10 \text{ dBm} + 5 \text{ dB} = 15 \text{ dBm},$$

e corrisponde ad una potenza irradiata isotropicamente  $\text{EIRP} = 10^{15/10} = 31,62 \text{ mW}$ , sensibilmente inferiore al limite di  $100 \text{ mW}$  imposto dalla normativa.

Punto 4)

Il rapporto  $E_b/N_0$  corrispondente ad un BER di  $10^{-6}$  è pari a  $14,3 \text{ dB}$ .

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} (S/N) = 10 \log_{10} (E_b/N_0) + 10 \log_{10} (f_c/B) = \\ (E_b/N_0)\text{dB} + 10 \log_{10} (f_c/B) = 14,3 \text{ dB} + 10 \log_{10} (24 \times 10^6 / 6 \times 10^6) = \\ = (15,2 + 10 \log_{10} 4) \text{ dB} = (14,3 + 6,02) = 20,32 \text{ dB}.$$

$$\text{SNR}(\text{dB}) = 14,3 \text{ dB} = 10 \log_{10} S_{RX} - 10 \log_{10} N = S_{RX}(\text{in dB}) - N(\text{dB}) .$$

La potenza  $S_{RX}(\text{dBm})$  è pertanto  $S_{RX}(\text{in dB}) = 20,32 - 101,151 = -80,831 \text{ dBm}$ , che corrisponde a  $S_{RX} = 10^{-80,831/10} = 8,2 \times 10^{-9} \text{ W}$ .

Essendo  $S_{RX}(\text{dB}) = P_{TX}(\text{dB}) + G_{TX}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dB}) - A_{SPL}(\text{dB}) - M(\text{dB})$ , l' attenuazione dello spazio libero relativa alla distanza  $L$  alla quale  $S_{RX}(\text{in dB})$  è pari a  $-80,831 \text{ dBm}$  è :

$$A_{SPL}(\text{dB}) = P_{TX}(\text{dB}) + G_{TX}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dB}) - S_{RX}(\text{dB}) - M(\text{dB}) = \\ = 10 \text{ dBm} + 5 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - (-80,831)\text{dBm} - 25 \text{ dB} = 75,831 \text{ dB},$$

corrispondente a  $A_{SPL} = 10^{75,831/10} = 38,29 \times 10^6$ .

$$\text{Essendo } A_{SPL} = (4\pi L/\lambda)^2 ; (4\pi L/\lambda) = \sqrt{(A_{SPL})} ;$$

$$L = \lambda \sqrt{(A_{SPL})}/(4\pi) = 0,122 \times \sqrt{(38,29 \times 10^6)}/12,56 = 60,1 \text{ m}.$$