



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni  
**COMUNICAZIONI DIGITALI - Prova scritta d'esame del 22/06/15**

1) In un collegamento radio digitale con formato BPSK, l'equivalente in banda base del segnale trasmesso è

$$s(t) = \sum_i c_i g_T(t - iT)$$

dove i simboli  $c_i$  sono indipendenti ed equiprobabili e dove

$$g_T(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right)$$

Il canale di comunicazione introduce rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza pari a  $N_0/2$ , mentre il filtro di ricezione ha risposta impulsiva pari a

$$g_R(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \sin\left(\frac{\rho t}{2T}\right) \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right)$$

La decisione sul simbolo  $c_i$  viene presa secondo la strategia a massima verosimiglianza.

a) Determinare la probabilità d'errore sul bit in funzione di  $E_s/N_0$  essendo  $E_s$  l'energia media per simbolo ricevuto.

b) Calcolare il guadagno in dB di un ricevitore che utilizza un filtro adattato all'impulso di trasmissione rispetto al caso del filtro dato.

2) Un collegamento dati digitale con formato 16-QAM impiega un codice a blocco (6, 3) con matrice generatrice

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Il canale di comunicazione introduce rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza bilaterale  $N_0/2$ .

i) Stimare mediante decodifica a sindrome la sequenza dei bit di informazione trasmessi quando all'uscita del campionatore si ha la seguente sequenza di campioni soft:

$$[1.1+j0.2 \quad 3.8-j2.0 \quad -1.7-j0.5].$$

ii) Calcolare un'approssimazione della probabilità di errore nell'ipotesi in cui  $E_s/N_0 = 8$  dB (essendo  $E_s$  l'energia media di un simbolo ricevuto).

3) In un collegamento wireless digitale viene adottata una tecnologia OFDM con  $N = 256$  sottoportanti di cui  $N_v = 32$  virtuali, e costellazione BPSK. Su ciascuna sottoportante viene impiegato un codice di canale convoluzionale con tasso  $r = 1/3$  e constraint length  $L = 3$ . Il prefisso ciclico è composto da 16 campioni. Il canale di trasmissione è selettivo in frequenza e introduce rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza  $N_0/2$ . Nell'ipotesi in cui l'energia media ricevuta per simbolo OFDM sia pari a  $E_{\text{OFDM}} = 2 \times 10^{-11}$  J e avendo  $N_0/2 = 2.28 \cdot 10^{-14}$  W/Hz, determinare la probabilità di errore media su ciascuna sottoportante in uscita dal decodificatore soft di Viterbi sapendo che la risposta in frequenza del canale su ciascuna sottoportante è modellabile come una variabile aleatoria complessa Gaussiana a media nulla e varianza unitaria.

4) Una cella UMTS serve in direzione uplink  $U$  utenti tutti con segnali di tipo QPSK. I vari segnali sono protetti dagli errori con un codice a ripetizione con  $N = 3$  e decodifica a maggioranza. La velocità di chip è  $R_c = 3.84$  Mchip/s e il fattore di spreading è  $M = 128$ . Il controllo di potenza fa sì che i segnali siano ricevuti tutti con la stessa potenza. Alla stazione radio base il canale di comunicazione introduce rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza bilaterale  $N_0/2$ . Ritenendo l'interferenza all'interno della cella Gaussiana, determinare la BER di un generico utente, nell'ipotesi in cui  $U = 16$  e  $E_s/N_0 = 10$  dB (essendo  $E_s$  l'energia media di un simbolo ricevuto).

*Questo stesso testo si può trovare, insieme con gli altri temi d'esame di Comunicazioni Digitali sul sito Internet*

<http://www.iet.unipi.it/m.luise/>

<http://www.iet.unipi.it/l.sanguinetti/>