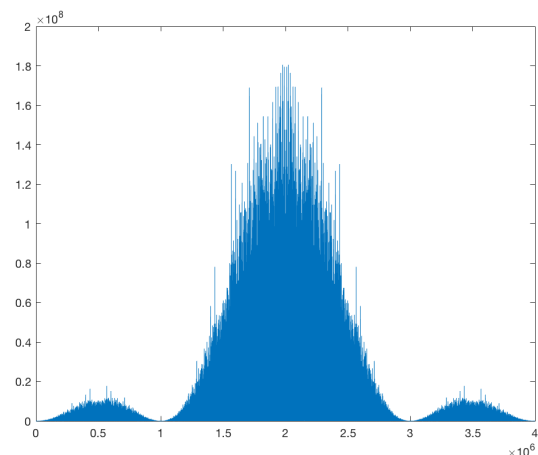


01QZD**Laboratorio di Internet e Comunicazioni****Comunicazioni****LAB 2**

In questa esercitazione sono analizzate le prestazioni di un sistema di trasmissione 2-PAM basato su simboli antipodali, con tecnica NRZ, e che trasmette lungo un canale rumoroso.

Lo scopo principale dell'esercitazione è quello di confrontare il numero di errori prodotti nella trasmissione del segnale con il numero di errori teorico previsto. Tale confronto sarà effettuato attraverso la valutazione del BER.

A lato è rappresentato lo spettro del segnale a trasmettitore. Esso teoricamente ha estensione infinita. Tuttavia, poiché i lobi successivi ai primi due sono poco significativi, è possibile trascurarli e rendere finito lo spettro.



Trasmissione del segnale su un canale rumoroso con tecnica 2-PAM e NRZ su di un Matched Filter

Per valutare le prestazioni in termini di BER in funzione del rapporto E_b/N_0 , il procedimento effettuato è il seguente:

- Generazione del segnale
- Codifica di protezione con tecnica NRZ
- Aggiunta di un rumore gaussiano al segnale
- Filtraggio con un filtro apposito
- Conteggio gli errori e confronto con il BER teorico

Quando il segnale codificato, dopo essere stato sottoposto al filtro che lo depura dal rumore, arriva al ricevitore, quest'ultimo deve ricostruire il segnale originario. A tal fine è importante dunque stabilire:

- la soglia ottimale di decisione
- il bit di campionamento ottimale

Per determinare la soglia si tiene presente che i simboli utilizzati sono antipodali. Il loro valore medio è dunque nullo e la soglia ottimale risulta uguale a 0.

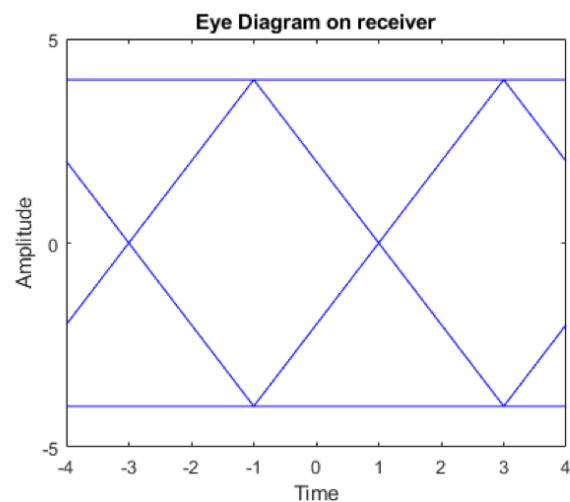
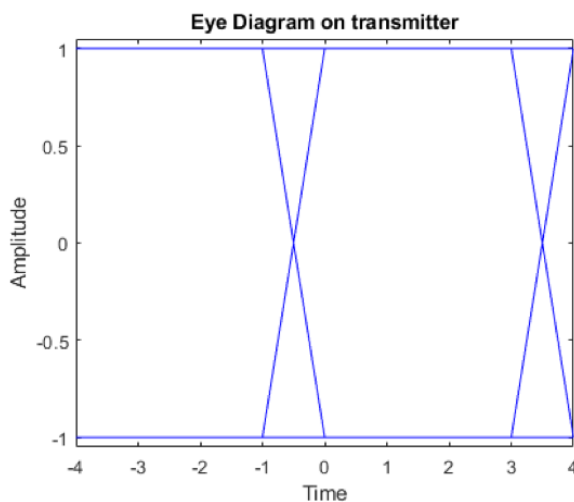
Il bit di campionamento ottimale è stato ricavato con un calcolo iterativo. Esso consiste in un ciclo for che valuta, al variare del bit di campionamento scelto, la probabilità di errore risultante:

```

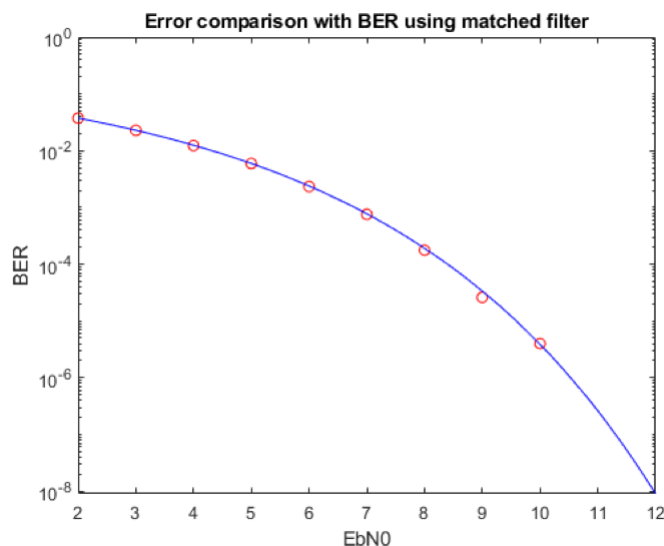
BERS = zeros(SpS, 1);
for bit = 1:SpS
    r = y(bit:SpS:end) > 0;
    r = 2*r-1;
    err = in ~= r;
    BERS(bit) = sum(err)/Nbits;
end
BERS
[m, i] = min(BERS);
i

```

Il bit ottimale su cui campionare è dunque l'ultimo. Questa conclusione è confermata dall'analisi del diagramma ad occhio del ricevitore. Infatti, in corrispondenza dell'ultimo bit, il grafico presenta l'apertura massima.



Comparando la sequenza di bit che arriva al ricevitore con quella che è generata dal trasmettitore, viene effettuato il conteggio degli errori che si verificano durante la trasmissione. L'operazione è ripetuta per diversi rapporti E_b/N_0 e i valori di BER ottenuti vengono confrontati con i rispettivi valori teorici. Di seguito è riportata la rappresentazione grafica dell'andamento teorico del BER in funzione dell' E_b/N_0 con il relativo confronto con i valori di BER che sono stati effettivamente misurati.

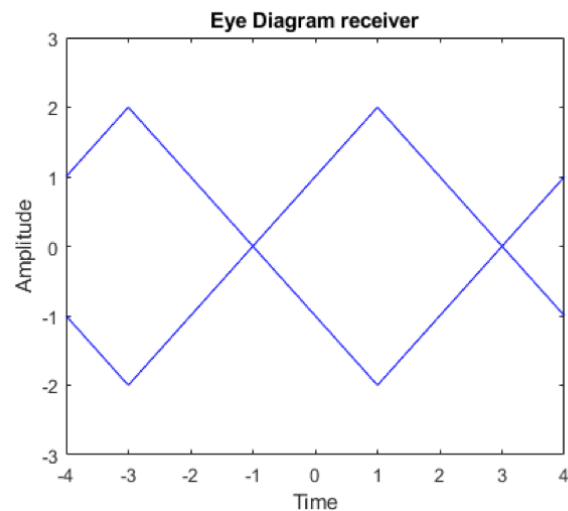
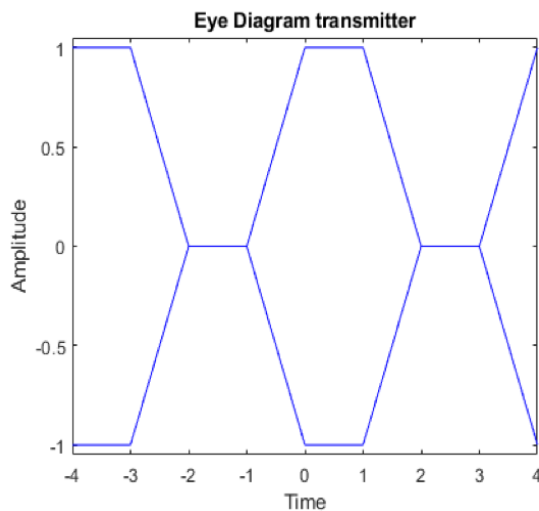


Risulta importante evidenziare che, i valori del BER valutati sperimentalmente seguono fedelmente la curva che rappresenta la relazione teorica. Questo risultato è quello che ci si aspetta ed è legato all'affidabilità del filtro ottimizzato. Nella zona a sinistra del grafico, per E_b/N_0 piccoli, si verifica una distorsione rispetto all'andamento teorico atteso dovuta al fatto che la probabilità di errore teorica è molto piccola, dunque eventuali distorsioni rispetto all'andamento atteso sono molto più evidenti. Queste distorsioni non sono state rappresentate in figura.

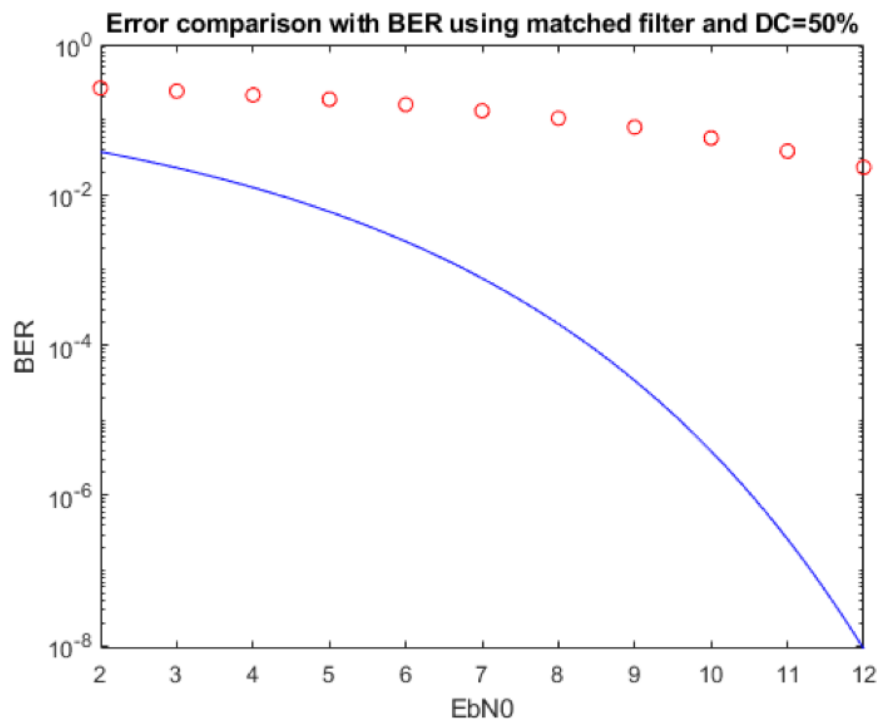
TECNICA RZ 50%

Sono state ripetute tutte le operazioni svolte, ma stavolta utilizzando la tecnica RZ con un duty cycle pari alla metà del totale.

La soglia ideale da fissare è sempre 0, mentre il bit ottimale su cui campionare, come evidenziato dal diagramma ad occhio del ricevitore, è il secondo.



Anche in questo caso è stato effettuato il conteggio degli errori e i risultati ottenuti sono stati confrontati con l'andamento teorico del BER. Si nota facilmente che, a parità di E_b/N_0 , il BER risultante è più alto rispetto a quello corrispondente all'utilizzo della tecnica NRZ, che segue mediamente l'andamento teorico. Questo risultato si verifica perché il duty cycle è stato dimezzato, e quindi, per ogni bit da trasmettere, viene effettuata la metà delle ripetizioni rispetto alla tecnica NRZ.

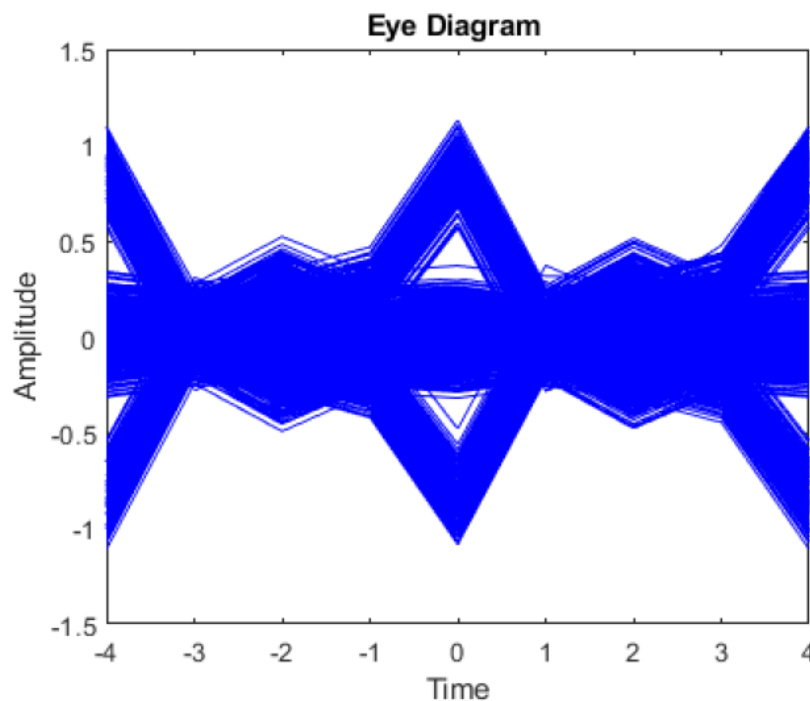


Trasmissione del segnale su un canale rumoroso con tecnica 2-PAM e NRZ su di un Single Pole Filter

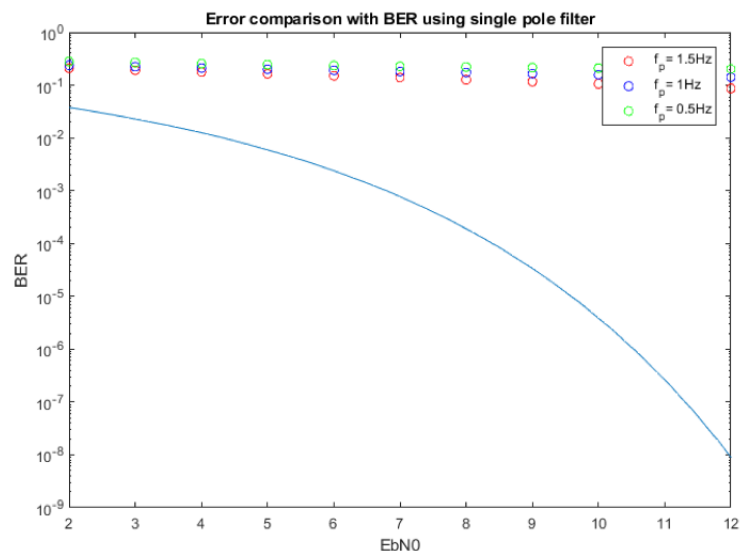
Il filtro ottimizzato è stato a questo punto sostituito con un filtro RC (single pole filter), avente la seguente funzione di trasferimento:

$$H(f) = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_p}}$$

Il diagramma ad occhio del segnale al trasmettitore è analogo a quello del punto 1). Dal diagramma ad occhio del segnale al ricevitore si ricava che il bit ottimale su cui campionare è il primo. È opportuno osservare che il diagramma ad occhio al ricevitore non è depurato dal rumore, proprio perché il filtro applica al segnale passante la sua funzione di trasferimento, e quest'ultima non è ideale. Di conseguenza il filtro introduce da sé un rumore nel segnale.



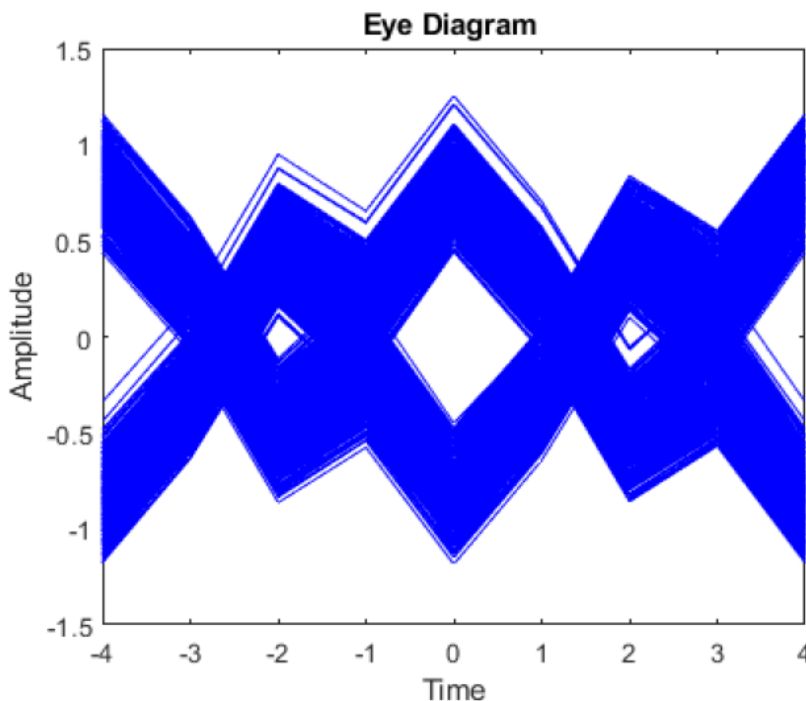
Procedendo alla rappresentazione grafica BER-Eb/N0 è immediato osservare che, confrontando lo scenario attuale e lo scenario NRZ-filtro ottimizzato, il BER risulta enormemente cresciuto a parità di Eb/N0 e non segue più l'andamento teorico. Questo risultato è prevedibile, ed è dovuto alla non idealità del filtro. Infatti il filtro RC non è ottimizzato in favore del segnale su cui agisce, e dunque ci si aspetta un peggioramento in termini di prestazioni.



TECNICA RZ 50%

Sono state ripetute tutte le operazioni svolte, utilizzando la tecnica RZ con un duty cycle pari alla metà del totale.

La soglia ideale da fissare è sempre 0, mentre il bit ottimale su cui campionare, come evidenziato dal diagramma ad occhio del ricevitore, è ancora il primo. Anche in questo caso ovviamente il filtro RC trasferisce un 'suo' rumore sul segnale, dunque il diagramma ad occhio risulta distorto.



Di seguito si riporta il confronto tra l'andamento del BER teorico e i valori effettivamente misurati. Anche in questo caso si evidenzia un netto peggioramento delle prestazioni dovuto al dimezzamento del duty cycle, coerentemente con le osservazioni fatte nel punto **1.1**).