



Marco Listanti

## Esercizi 4

# Strato Fisico



# Esercizio 1

- Si consideri un segnale che viene trasmesso su un canale trasmissivo alla potenza  $P_T$ ; lo stesso segnale viene ricevuto a potenza  $P_R = P_T/2$ . Calcolare l'attenuazione  $A$  (in dB) subita dal segnale

- Si ha

$$P_R = \frac{1}{2} P_T$$

- da cui

$$\begin{aligned} A_{dB} &= 10 \cdot \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_T}{2} - 10 \cdot \log_{10} P_T = \\ &= 10 \cdot \log_{10} \frac{P_T}{2} - 10 \cdot \log_{10} 2 - 10 \cdot \log_{10} P_T = -10 \cdot 0.3 = -3 \text{ dB} \end{aligned}$$



# Esercizio 1a (1)

- Si consideri un segnale che viene trasmesso su un canale trasmissivo alla potenza  $P_T$ ; lo stesso segnale viene ricevuto a potenza  $P_R = P_T/n$ . Calcolare l'attenuazione  $A$  (in dB) subita dal segnale e disegnare la curva di attenuazione al variare di  $n$

- si ha

$$P_R = \frac{1}{n} P_T$$

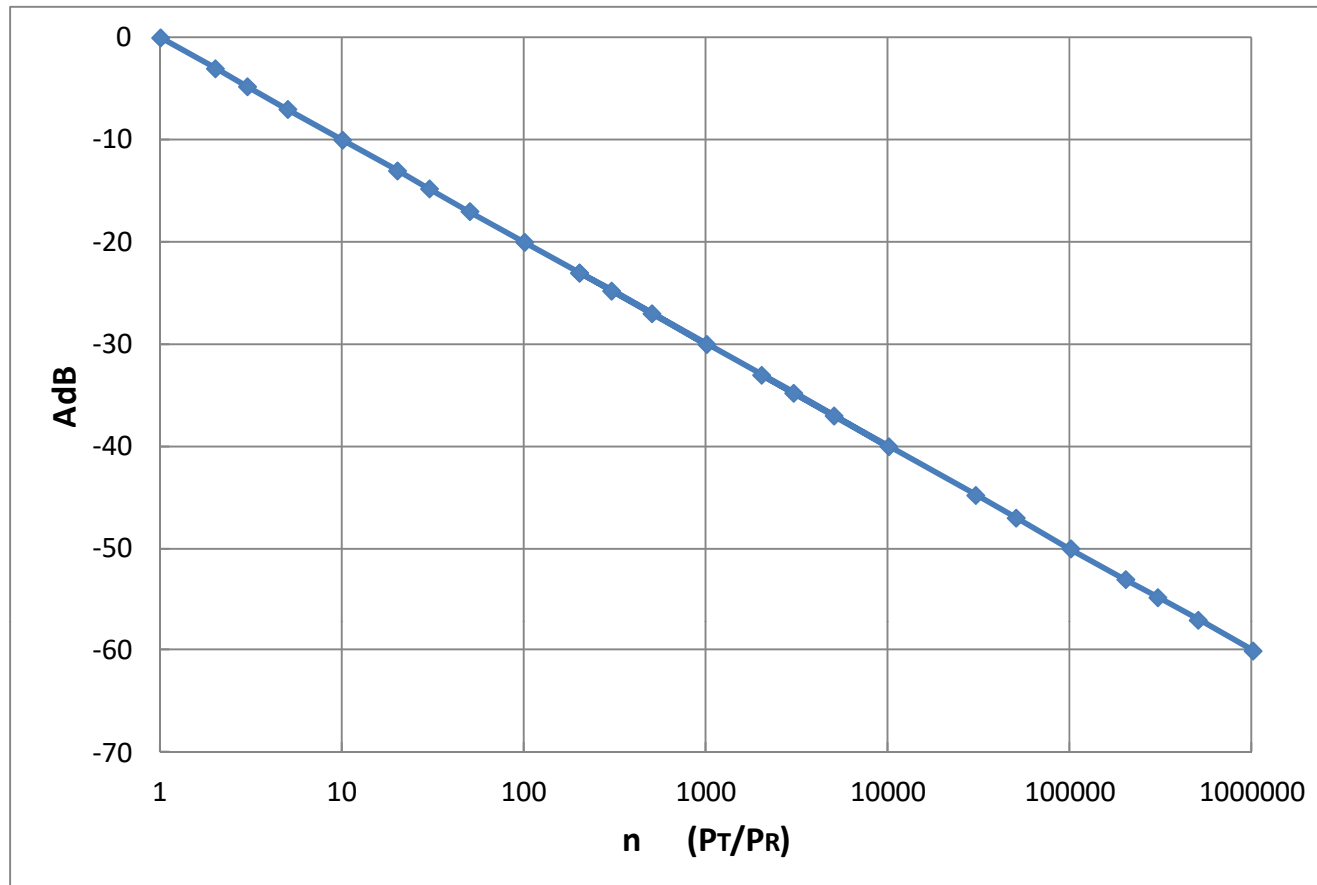
- Analogamente all'esercizio precedente

$$A_{\text{dB}} = -10 \cdot \log_{10} n$$



# Esercizio 1a (2)

## ■ Andamento dell'attenuazione $A_{dB}$ al variare di $n$





## Esercizio 2

- La potenza di un segnale è  $P_s = 10 \text{ mW}$  e la potenza di rumore è  $P_n = 1 \text{ } \mu\text{W}$ .  
Si determini:
  - a) il rapporto segnale rumore in potenza (SNR)
  - b) il rapporto segnale rumore espresso in dB ( $\text{SNR}_{\text{dB}}$ )

■ Si ha

$$\text{SNR} = \frac{P_s}{P_n} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 10000$$

■ e

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_s}{P_n} = 10 \cdot \log_{10} 10000 = 40 \text{ dB}$$



## Esercizio 3

- Si consideri un canale di comunicazione di larghezza di banda  $W_c = 3$  kHz. Il rapporto segnale rumore è  $SNR_{dB} = 35$  dB. Determinare la capacità massima  $C$  del segnale compatibile con il canale

- si applica il teorema di Shannon

$$C = W_c \cdot \log_2(1 + SNR)$$

- poiché

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10} SNR \Rightarrow SNR = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}} \Rightarrow SNR = 3162$$

- si ha

$$C = 3 \cdot \log_2(1 + 3162) = 34.88 \text{ kbit / s}$$



## Esercizio 4 (1)

- Si vuole effettuare la trasmissione di un segnale ad un bit rate almeno uguale a  $C=265$  kbit/s su un canale con banda  $W_c=20$  KHz a rumore nullo.

Calcolare:

- a) il numero minimo  $L$  di livelli per impulso necessari per ottenere il bit rate  $C$
- b) il numero  $b$  di bit trasmessi per ogni impulso

- in base al teorema di Nyquist

$$C = 2 \cdot W_c \cdot \log_2 L$$

- quindi

$$265 = 2 \cdot 20 \cdot \log_2 L \Rightarrow L = 2^{\frac{265}{40}} \Rightarrow L = 98.7 \text{ livelli}$$



## Esercizio 4 (2)

- Poiché il numero di livelli deve essere una potenza di 2 occorre prevedere un numero di livelli effettivo uguale alla prima potenza di 2 superiore a 98.7

- Quindi

$$L = 128 \text{ livelli}$$

- da cui

$$b = \log_2 128 \Rightarrow b = 7 \text{ bit}$$

- L'effettivo bit rate sarà quindi

$$C = 2 \cdot W_c \cdot \log_2 L = 2 \cdot 20 \cdot 7 = 280 \text{ kbit / s}$$





# Esercizio 5

- Si consideri un canale con banda  $W_c=1$  MHz con  $SNR=63$ . Calcolare:
  - a) il valore massimo  $C$  del bit rate utilizzabile;
  - b) il numero di livelli  $L$  per impulso che è necessario utilizzare

- Applicando il teorema di Shannon si ha

$$C = W_c \cdot \log_2(1 + SNR) = 10^6 \cdot \log_2(64) = 6 \text{ Mbit / s}$$

- Scegliamo, per sicurezza, un bit rate in trasmissione leggermente inferiore rispetto al massimo (es.  $C=4$  Mbit/s) da cui

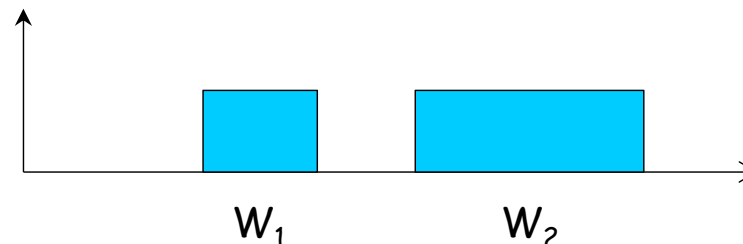
$$C = 2 \cdot W_c \cdot \log_2 L \Rightarrow 4 = 2 \cdot \log_2 L \Rightarrow L = 4 \text{ livelli}$$

- Se avessimo scelto  $L=8$ , il bit rate sarebbe uguale a  $C=8$  Mbit/s, uguale al limite massimo



## Esercizio 6 (1)

- Si consideri un sistema di trasmissione radio in banda traslata di tipo FDM che utilizza due canali di banda  $W_1 = 5 \text{ MHz}$  e  $W_2 = 10 \text{ MHz}$  rispettivamente
- Ipotizzando di utilizzare nella prima banda una modulazione 4-QAM e una modulazione 16-QAM sulla seconda banda si chiede di calcolare le capacità  $C_1$  e  $C_2$  disponibili su i due canali
  - Lo schema di multiplazione è il seguente





## Esercizio 6 (2)

- La modulazione 4-QAM prevede la trasmissione di 2 bit per impulso ( $L_1=4$ )
- La modulazione 16-QAM prevede la trasmissione di 4 bit per impulso ( $L_2=16$ )
- Quindi

$$C_1 = W_1 \cdot \log_2 L_1 \Rightarrow C_1 = 5 \cdot 2 \Rightarrow C_1 = 10 \text{ Mbit / s}$$

$$C_2 = W_2 \cdot \log_2 L_2 \Rightarrow C_2 = 10 \cdot 4 \Rightarrow C_2 = 40 \text{ Mbit / s}$$

- Si noti che nell'applicazione del teorema di Nyquist il fattore 2 è assente perché in banda base è  $W/2$



## Esercizio 7 (1)

- Un brano musicale della durata  $T=12$  sec viene campionato con una frequenza di campionamento di  $F_c=44100$  Hz e ciascun campione rappresentato con una parola di lunghezza  $L=16$  bit
- Si vuole trasferire questo file su un canale con banda  $W_c=1.5$  MHz con un ritardo massimo di trasmissione inferiore a  $D=4$  sec
- Si chiede di determinare il formato di modulazione numerica (con il minimo numero di livelli) che può essere utilizzato



## Esercizio 7 (2)

- Il file codificato del brano musicale avrà una lunghezza  $B$  uguale a

$$B = T \cdot F_c \cdot L = 12 \cdot 44100 \cdot 16 = 8.467.200 \text{ bit}$$

- Per poter trasmettere il file con un ritardo inferiore a  $D=4$  sec, il bit rate in trasmissione  $C$  deve essere

$$C \geq \frac{B}{D} = 2.116.800 \text{ bit / s} = 2,1168 \text{ Mbit / s}$$

- Il teorema di Nyquist indica che i bit rate ottenibili sono

$$\text{se } M = 2 \Rightarrow C_1 = 2 \cdot W_c \cdot \log_2 2 \Rightarrow C_1 = 3 \text{ Mbit / s}$$

$$\text{se } M = 4 \Rightarrow C_2 = 2 \cdot W_c \cdot \log_2 4 \Rightarrow C_2 = 6 \text{ Mbit / s}$$

- E' sufficiente utilizzare una modulazione QAM



## Esercizio 8 (1)

- Dato un canale trasmissivo la cui banda si estende da 3 a 4 MHz, ed il cui rapporto segnale/rumore sia  $SNR_{dB}=24$  dB, calcolare la massima capacità trasmissiva  $C$  del canale
  - Il valore dell'SNR in potenza è dato da
$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10} SNR \Rightarrow SNR = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}} \Rightarrow SNR = 251$$
  - Poiché la larghezza di banda del canale è  $W_c=1$  MHz, in base al teorema di Shannon

$$C = W_c \cdot \log_2(1 + SNR) = 10^6 \cdot \log_2(252) = 7.97 \text{ Mbit} / s \cong 8 \text{ Mbit} / s$$



## Esercizio 8 (2)

- Qual è il numero di bit  $B$  che dovrebbero essere trasmessi per ogni impulso per ottenere un bit rate pari alla capacità trasmissiva massima
  - In base al teorema di Nyquist

$$C = 2 \cdot W_c \cdot B \quad \Rightarrow \quad B = \frac{C}{2 \cdot W_c} = \frac{8}{2} = 4 \text{ bit}$$