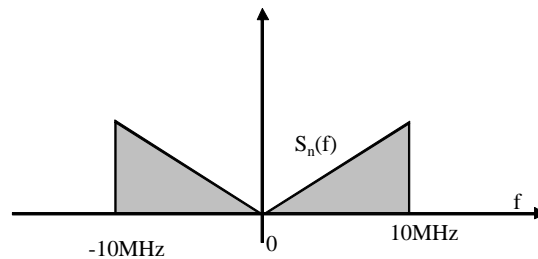


L'allievo è invitato a dare una risposta ragionata e succinta a tutti gli argomenti proposti al fine di dimostrare il livello di preparazione globale. Nel progetto si suggerisce di sviluppare i calcoli in forma numerica. Si consiglia una lettura attenta del testo degli esercizi. Per esiti e soluzioni si usi l'indirizzo Internet del corso, per contattare il docente via e-mail: spagnoli@elet.polimi.it.

Si suggerisce di riportare in modo ordinato procedimenti e schemi/disegni e di evidenziare i valori numerici soluzione del problema. Al fine di favorire l'autovalutazione si riporta la distribuzione *indicativa* dei punteggi sui singoli esercizi. Si presti attenzione allo svolgimento visto che alcuni valori numerici potrebbero essere superflui o non strettamente necessari.

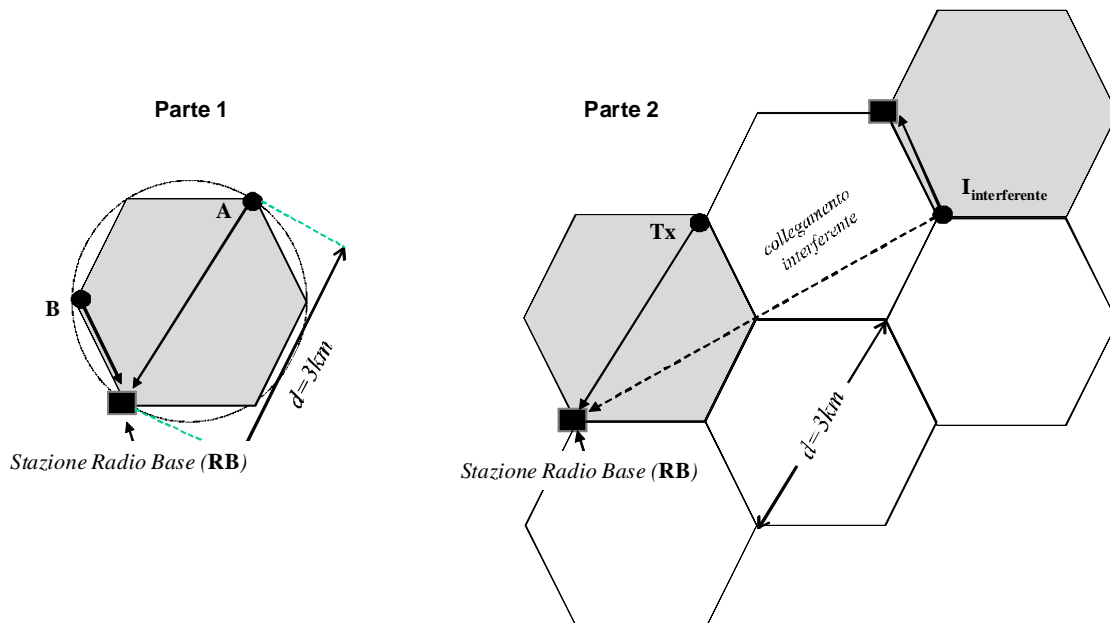
Domanda di ammissione (obbligatoria) (foglio azzurro con nome)

Un processo $n(t)$ ha potenza 3dBm e densità spettrale $S_n(f)$ limitata a 10MHz come in figura. Si calcoli la potenza (in dBm) a valle di un filtro passa-alto con guadagno unitario e frequenza di taglio inferiore $f_{low} = 7.5MHz$.



Progetto (foglio bianco - 26 punti)

In un sistema cellulare a celle esagonali i terminali mobili sono liberamente collocati all'interno della cella e sono connessi alla propria stazione radio base (**RB**). Il collegamento di ogni terminale interferisce con gli altri in funzione delle posizioni dei terminali e delle distanze delle celle in cui viene riutilizzata la medesima frequenza di portante. In questo progetto si analizzano le prestazioni del collegamento più sfavorevole da **Tx** a **RB** (di solito denominato *up-link*) con la presenza di un interferente (vedi figura) per celle di dimensione $d = 3km$. Si suggerisce di seguire i passi dell'analisi.



Si assuma che i parametri essenziali di ogni collegamento (i collegamenti sono tutti identici) sono i seguenti: modulazione QPSK con roll-off $\alpha = 25\%$, velocità di trasmissione $R_b = 3Mb/s$ con una qualità pari ad per un segnale PCM quantizzato a 8bit/campione, frequenza della portante $f_c = 1GHz$, antenna del terminale mobile (**Tx**) ha un guadagno $G_T = 4dB$ mentre l'antenna in ricezione (alla radiobase **RB**) ha guadagno $G_R = 12dB$ e temperatura equivalente di rumore $T_{ant} = 400K$. L'apparato in ricezione ha un primo stadio di amplificazione con guadagno $G_1 = 6dB$ e fattore di rumore $F_1 = 8dB$ seguito da uno stadio di conversione di frequenza assimilabile ad un amplificatore con guadagno $G_2 = 30dB$ e fattore di rumore $F_2 = 10dB$ (si ricorda che il fattore di rumore è riferito alla temperatura di $T_{amb} = 290K$, inoltre $KT_0 = -173dBm/Hz$).

Parte 1:

- 1) Tracciare uno schema a blocchi del trasmettitore e del ricevitore descrivendo sinteticamente la funzione di ogni blocco, e calcolando l'occupazione spettrale.
- 2) Calcolare la temperatura equivalente e la densità spettrale di potenza del rumore in ingresso al ricevitore
- 3) Si assuma (Parte 1 della figura) che non esistano interferenti, si valuti la minima potenza in trasmissione P_T nelle due posizioni indicate rispettivamente come A e B in figura, calcolando quindi P_{T-A} e P_{T-B} .

Parte 2:

Facendo riferimento ora alla figura (Parte 2, a destra) in cui la cella esagonale è collocata insieme ad altre celle, si assuma che nella cella contigua esista un terminale interferente $I_{interferente}$ che trasmette alla medesima frequenza e con una potenza P_{T-B} nella posizione indicata in figura.

- 4) Si dimostri brevemente (max 1/2pag) che lo scenario indicato in figura è quello più sfavorevole per il collegamento **Tx**→**RB**
- 5) Si calcoli la probabilità di errore $P_b(E)$ nella situazione con interferenza come indicato in figura (Parte 2).

Al fine di contrastare la perdita di prestazioni dovuta all'interferenza preservando il ritmo di trasmissione $R_b = 3Mb/s$ si valutano due contromisure **alternative**:

- 6) Si assuma di adottare una codifica a blocco BCH caratterizzata dai parametri $(n, k, d) = (15, 7, 5)$, si valuti la probabilità di errore a valle di un decodificatore hard (decodifica bit-a-bit), si commenti la soluzione adottata.
- 7) Si assuma di adottare un sistema a spettro espanso in cui ciascuno dei due terminali mobili adotta una sequenza di espansione pseudocasuale, si scelga il fattore di espansione spettrale che garantisce le medesime prestazioni (in termini di $P_b(E)$) del sistema con codifica al punto precedente assumendo per semplicità di trascurare il rumore termico...quale dei due sistemi si preferisce e perchè?

Domande (fogli gialli/rosa - 16 punti) indicare sul foglio la domanda a cui si sta' rispondendo, si riporti brevemente (max 1 pagina) il procedimento e si evidenzi il risultato finale.

D1-giallo. punti: 4)

Un sistema per la trasmissione a pacchetto di dimensione $N = 100bit$ adotta uno schema ARQ che prevede la ritrasmissione completa del pacchetto anche in caso di solo errore sull'intero pacchetto. Il trasmettitore è alimentato a batterie con una capacità massima di $E_{Tot} = 1000Joule$, la probabilità di errore per ogni bit del pacchetto è $P_b(E) = 10^{-2}$ e l'energia per la trasmissione di un bit è $E_1 = 100pJ$, il ritmo di trasmissione dell'informazione da garantire con questo sistema è di $R_b = 100kb/s$:

- a) Descrivere sinteticamente (max 1 pagina) lo schema di funzionamento del sistema
- b) Calcolare la probabilità di errore sul pacchetto
- c) Si calcoli per quanto tempo il sistema è in grado di funzionare e quanto bit di informazione ha complessivamente inviato prima di esaurire tutta la carica della batteria.

D2-giallo. punti: 5)

Un sistema di comunicazione con modulazione 64QAM ed $R_b = 2Mb/s$ è dimensionato per garantire una qualità di servizio minima accettabile pari ad una probabilità di errore $P_b(E) \leq 10^{-3}$ con un trasmettitore con potenza $P_T = 20dBm$. Il collegamento è affetto da multipercorso privo di un cammino dominante (affievolimento di Rayleigh), e si vuole garantire una probabilità di fuori servizio di 1ms ogni secondo:

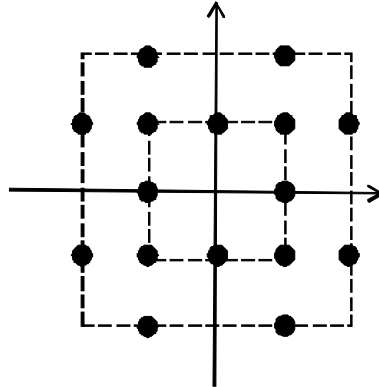
- a) Si calcoli la minima potenza di trasmissione necessaria in questo caso.
- b) Si assuma di adottare uno schema per diversità di spazio con 4 antenne in ricezione, calcolare la minima potenza di trasmissione necessaria in questo caso e dare una rappresentazione schematica del trasmettitore e ricevitore.
- c) Si assuma di adottare uno schema per diversità di frequenza trasmettendo il medesimo segnale su 4 bande identiche ma con affievolimenti indipendenti, calcolare la minima potenza di trasmissione necessaria in questo caso e dare una rappresentazione schematica del trasmettitore e ricevitore.
- d) Se nel caso (a) il trasmettitore avesse anche la possibilità di adottare una modulazione BPSK a parità di occupazione di banda: calcolare il ritmo di trasmissione R_b e la minima potenza di trasmissione necessaria in questo caso.

D3-rosa. punti: 2)

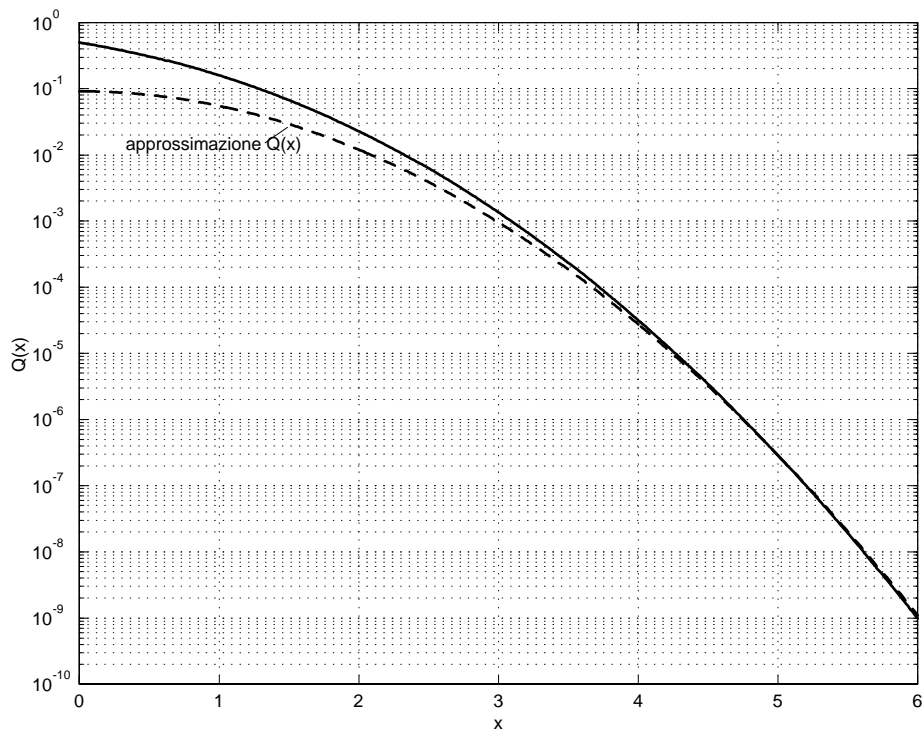
Il fenomeno dell'intermodulazione negli amplificatori di potenza: si illustri il problema e le conseguenze per un sistema di trasmissione (si pensi ad un sistema FDM). (*Max 1 pagina*)

D4-rosa. punti: 4)

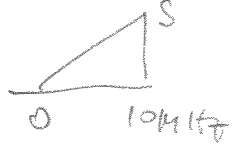
Per la trasmissione di simboli equiprobabili a ritmo di $R_b = 50Mb/s$ e rapporto $E_s/N_0 = 12dB$. si adotta la costellazione in figura (rappresentata nello spazio dei segnali). Si calcoli sia la probabilità di errore sul simbolo che quella sul bit a valle di un mapping che si ritiene ragionevole.



Si ricorda l'approssimazione $\log_{10} Q(x) \simeq -1.04 - 0.22x^2$ riportata anche in figura (linea tratteggiata).



$$S_u(f) = \frac{S}{10 \text{ MHz}} f = \frac{2 \mu\text{W}}{(10 \text{ MHz})^2} f$$



$$S \times 10 \text{ MHz} = 2 \mu\text{W}$$

26/2/10

Sol C 1

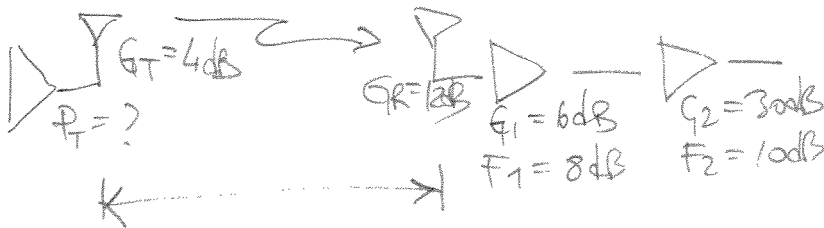
$$P = 2 \int_{7,5}^{10} \frac{2 \mu\text{W}}{(10 \text{ MHz})^2} f \, df = \frac{2 \mu\text{W}}{(10 \text{ MHz})^2} (10^2 - 7,5^2)$$

$$= 2 \mu\text{W} \left(1 - \left(\frac{7,5}{10}\right)^2\right) = 0,88 \mu\text{W}$$

$$= 3 \text{ dBm} - 3,59 = -0,59 \text{ dBm}$$

Proprietà

$$T_{\text{ant}} = 400 \text{ K}$$



$$B_{\text{RF}} = 1,5 \text{ MHz} (1 + \alpha) = 1,88 \text{ MHz}$$

$$P_b(\epsilon) \approx \frac{2^{-2 \times 8}}{4} \sim 3 \times 10^{-6}$$

$$\gamma = \frac{G_T G_R}{(4\pi)^2} \times \frac{1}{(d/\lambda)^2} = 12 + 4 - 22 - 20 \log_{10}(d/\lambda) = -6 - 20 \log_{10}(d/\lambda)$$

Voile:

$$T_{\text{amb}} = 400 \text{ K}$$

$$T_{\text{ep1}} = 290 (F_1 - 1) = 1540 \text{ K}$$

$$T_{\text{ep2}} = 290 (F_2 - 1) = 2608 \text{ K}$$

$$T_{\text{ep}} = 400 + 1540 + \frac{2608}{4} = 2592 \text{ K}$$

$$k T_{\text{ep}} = N_0 = -173 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} + 10 \log_{10} \frac{2592}{290}$$

$$= -163 \text{ dBm/Hz}$$

Attenuazione:

$$\lambda = 0,3 \text{ m}$$

$$d_A = 3 \text{ km} \quad \gamma_A = -6 - 20 \log_{10} \left(\frac{3 \times 10^3}{0,3}\right) = -86 \text{ dB}$$

$$d_B = 1,5 \text{ km} \quad \gamma_B = \gamma_A + 6 \text{ dB} = -80 \text{ dB}$$

Link budget:

$$P_b(\epsilon) = Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) = 3 \times 10^{-6}$$

$$Q(x) = 3 \times 10^{-6} \rightarrow x \sim 4,5$$

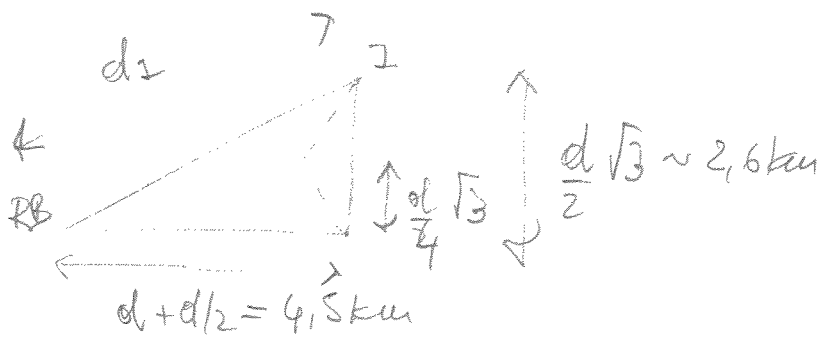
$$\frac{E_s}{N_0} = 4,5^2 = 13,06 \text{ dB} = \frac{E_s \times R_s}{N_0 \times R_s} = \frac{P_R}{N_0 \times R_s}$$

$$P_R \geq 13,06 - 163 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} + 10 \log_{10} 1,5 \times 10^6 = -88,24 \text{ dBm}$$

$$P_{T_A} \geq -88,24 + 86 = -2,2 \text{ dBm}$$

$$P_{T_B} \geq -8,2 \text{ dBm}$$

(-64 dB in verso A)



$$d_2 = \sqrt{4,5^2 + 2,6^2} = 5,2 \text{ km}$$

$$= d\sqrt{3}$$

$$P_{TX-intenf} = P_{T-B} = -8,2 \text{ dBm}$$

$$P_{RX-intenf} = -8,2 \text{ dBm} + \gamma_{I-RB} = -8,2 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} - 20 \log_{10} \frac{5,2 \times 10^3}{3 \times 10^1} =$$

$$\approx -99,77 \text{ dBm}$$

$$P_{RX-segnale} = -88,24 \text{ dBm} \quad (\text{caso nominale})$$

$$P_{noise} = N_0 \times R_s = -163 \text{ dBm/Hz} + 61,76 \text{ Hz} = -101,3 \text{ dBm}$$

$$P_b(\epsilon) = Q\left(\sqrt{\frac{E_s R_s}{N_0 R_s + P_{RX-int}}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{10^{-10,13}}{10^{-9,9}}}\right) \approx 2 \times 10^{-3}$$

$Q(2,74)$

$$P_{noise} + P_{RX-intenf} = -101,3 + 9,9 = -91,4 \text{ dBm}$$

$$P_{segnale} = -88,24 + 91,0 = 2,76 \text{ dB} \quad (\text{per il } 4,25 \text{ dB})$$

↓
per il resto per il resto.

$$P_{noise} + P_{RX-intenf}$$

BCH (15, 7, 5)

$$p = 2 \times 10^{-3}$$

$$t = 2$$

26/2/12

Sol. C 3

$$P_{\text{cod}}(t) = \binom{14}{2} p^3 = \frac{14!}{2(14-2)!} 8 \times 10^{-9} = \frac{14 \cdot 13 \cdot 12}{2 \cdot 12!} 8 \times 10^{-9} = 7,2 \times 10^{-7} \quad (\text{ok!})$$

CDMA

$$P_{\text{segnale}} = -88,26 + 99 = 11 \text{ dB} \quad | \text{ canale CDMA}$$

Tutte

$P_{\text{RX, interf}}$

quindi è necessario compensare solo 2 dB
 con un sistema CDMA dove c'è un
 solo interferente.

$$\frac{P_{\text{segnale}}}{P_{\text{RX, interf}}} \underset{\text{especificazione}}{Q} \geq 13 \text{ dB} \quad (\text{requisito } Q \geq 5)$$

$$Q \geq 2 \text{ dB} \rightarrow \boxed{Q = 2}$$

Entrambi i sistemi hanno una copertura di
 banda circa doppia \rightarrow sistema codificato BCH
 quantifica una fut. di essere più favorevole.

D1 $P_{PK} = 1 - (1 - p_e)^{100} = 0.63$

Soll 4

Efeletto = 10 nJ (= 100 pJ x 100)

Energia suff. per $\frac{10^3 \text{ joule}}{10^{-8} \text{ joule}} = 10^{11}$ pacchetti totali
(compresi ritrasmissioni)

Ogni pacchetto N=100 bit di informazione
Moltiplicare le trasmissioni di $\frac{1}{1 - P_{PK}} = \frac{1}{0.37} = 2.73$ pacchetti
2.73 = 1 pacchetto informazione + 1.73 pacchetti ritrasmissioni ARQ

N. totale pacchetti (di informazione) = $10^{11} \times 0.37 = 3.7 \times 10^{10}$ pacchetti.

Tot. bit trasmessi = $3.7 \times 10^{10} \text{ pacchetti} \times 100 \text{ bit/pacchetto} = 3.7 \times 10^{12} \text{ bit}$

Durata = $\frac{3.7 \times 10^{12} \text{ bit}}{10^5 \text{ bit/s}} = 3.7 \times 10^7 \text{ sec.} \approx 10^4 \text{ h} = 416 \text{ pp.}$

D2 Vedi analogo tema Soll 4/2/2005 - D3

si intende:

- a) $\alpha = 30 \text{ dB}$ $P_T = 20 + 30 = 50 \text{ dBm}$
- b) $\alpha = \frac{20}{4} \text{ dB}$ $P_T = 20 + 7.5 = 27.5 \text{ dBm}$
- c) $\alpha = \frac{20}{4} = 7.5 \text{ dB}$ $P_T = 20 + 7.5 + 6 = 33.5 \text{ dBm}$
4 freq.

d) $R_b = \frac{2}{6} = 333 \text{ kb/s}$ $\frac{4}{6} Q\left(\sqrt{\frac{1}{21} \frac{E_s}{N_0}}\right) = P_b(\text{BER})$ $Q\left(\sqrt{\frac{2E_s}{N_0}}\right) = P_b(\text{BPSK})$
 uguale esponente alla funzione Q()
 fu uguale
 prestazioni con frequenza:

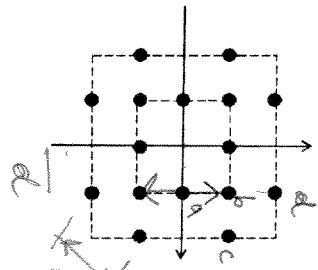
Eventi uguali tra loro: $\frac{E_s, 64QAM}{21} = 2E_s, \text{BPSK} \rightarrow P_{T, \text{BPSK}} = P_{T, 64QAM} / 42 \rightarrow P_{T, \text{BPSK}} = 33.7 \text{ dBm}$

D3-rosa. punti: 2)

Il fenomeno dell'intermodulazione negli amplificatori di potenza; si illustri il problema e le conseguenze per un sistema di trasmissione (si pensi ad un sistema FDM). (Max 1 pagina)

D4-rosa. punti: 4)

Per la trasmissione di simboli equiprobabili a ritmo di $R_b = 50 \text{ Mb/s}$ e rapporto $E_b/N_0 = 12 \text{ dB}$, si adotta la costellazione in figura (rappresentata nello spazio dei segnali). Si calcoli sia la probabilità di errore sul simbolo che quella sui bit a valle di un mapping che si ritiene ragionevole.



$$E_s = \frac{1}{16} (4d^2 + 4(\sqrt{2})^2 d^2 + 8(4+1)d^2) = \frac{1}{16} (4 + 8 + 40) d^2 = \frac{13}{4} d^2 = 3.25 d^2$$

$$P_s(E) = \frac{1}{16} \left(4 \underbrace{2Q\left(\frac{d}{\sqrt{2}N_s}\right)}_2 + 4 \times 4 \times \underbrace{Q\left(\frac{d}{\sqrt{2}N_s}\right)}_4 + 8 \times 1 \times \underbrace{Q\left(\frac{d}{\sqrt{2}N_s}\right)}_{d/2} \right)$$

$$= 2 Q\left(\frac{d}{\sqrt{2}N_s}\right) = 2 Q\left(\sqrt{\frac{1}{2} \frac{d^2}{N_s}}\right) = 2 Q\left(\sqrt{\frac{1}{2 \times 13} \frac{E_s}{N_s}}\right)$$

$$\frac{E_s}{N_s} = 15.85 \quad (= 12 \text{ dB})$$

$$P_s(E) = 2 Q(\sqrt{2.44}) = 2 Q(1.56) \approx 2 \times 10^{-1}$$

Si ricorda l'approssimazione $\log_{10} Q(x) \approx -1.01 - 0.22x^2$ riportata anche in figura (linea tratteggiata).

