

# CAPITOLO 3

## DIMENSIONAMENTO DELLO STADIO A/D

---

In questo capitolo si procederà al dimensionamento dello stadio di conversione analogico digitale A/D di un ricevitore digitale satellitare realizzato per ricevere dati a velocità variabile basato sull'utilizzo del filtro decimatore CIC precedentemente illustrato.

Tale dimensionamento sarà effettuato attraverso l'utilizzo dei risultati ottenuti da simulazioni al calcolatore, in modo che tutto il sistema simulato fornisca prestazioni in termini di BER il più possibile ideali.

Verranno inoltre illustrate le problematiche introdotte dall'operazione di quantizzazione e se ne valuterà l'impatto tenendo conto della capacità delle memorie necessarie, considerato che memorie troppo lunghe inevitabilmente comporterebbero un'appesantimento della velocità di elaborazione e di calcolo del sistema reale.

Nel paragrafo 3.1 si effettuerà una breve descrizione del sistema utilizzato per le simulazioni, in modo da specificarne tutti i parametri d'ingresso utilizzati.

Nel paragrafo 3.2 si illustreranno le problematiche relative all'operazione di quantizzazione, evidenziandone gli aspetti più significativi.

Nel paragrafo 3.3 si determinerà un criterio valido per dimensionare il massimo valore assunto dalla soglia di quantizzazione  $x_{\max}$ .

Nel paragrafo 3.4 si dimensionerà il numero di bit del registro del quantizzatore  $b$ .

Nel paragrafo 3.5 infine si ottimizzerà il quantizzatore utilizzato dal sistema MHOMS alla luce dei risultati dei paragrafi precedenti.

### 3.1 – DESCRIZIONE DEL SISTEMA SIMULATO

I programmi utilizzati per le simulazioni descrivono abbastanza fedelmente l'intero sistema di figura 2.1, di cui per comodità si riporta un modello semplificato in figura 3.1, in modo da illustrarne le caratteristiche, evidenziarne gli aspetti maggiormente significativi e specificarne i parametri utilizzati nelle simulazioni.

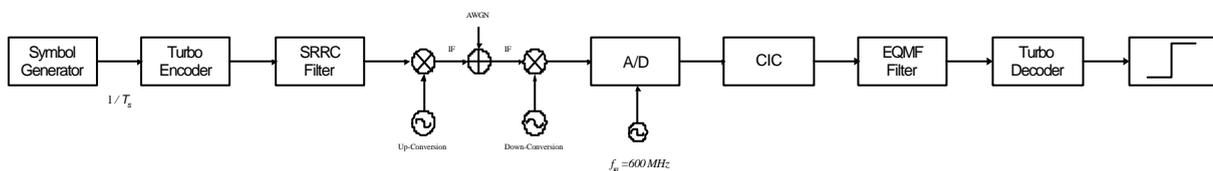


Figura 3.1-Modello semplificato del modem MOHMS

Tutte le simulazioni sono state effettuate, vista la molteplicità di parametri variabili, nelle condizioni peggiori ed utilizzando filtri non ideali, in modo da avere la certezza che anche negli altri casi si potranno uguagliare se non migliorare le prestazioni del sistema in termini di BER.

Ciascuna simulazione è stata effettuata per ognuna delle cinque costellazioni utilizzabili dal sistema, ossia la QPSK (mostrata in figura 3.2), la 8PSK (mostrata in figura 3.3), la 16APSK (mostrata in figura 3.4), la 32APSK (mostrata in figura 3.5) e la 64APSK (mostrata in figura 3.6).

Fra tutte, la costellazione che è risultata più sensibile all'introduzione del quantizzatore nel sistema è risultata essere, come vedremo, la 64APSK, che probabilmente risente maggiormente dell'influenza del rumore di quantizzazione proprio a causa della configurazione della sua costellazione, vista la maggiore vicinanza tra i punti della costellazione rispetto alle altre, il che comporta una maggiore sensibilità al rumore.

Difatti è proprio su di essa che si sono testate quasi tutte le simulazioni, verificate successivamente rispetto alle altre costellazioni.

I risultati sono stati considerati soddisfacenti con 10 iterazioni dei codici turbo, oltre le quali non si ottenevano particolari miglie in termini di BER.

Il filtro SRRC è stato implementato con un filtro a 21 prese, utilizzando un fattore di roll-off  $\alpha = 0.35$ , mentre il filtro EQMF è stato implementato con un filtro a 25 prese, come spiegato nel paragrafo 2.3.3.

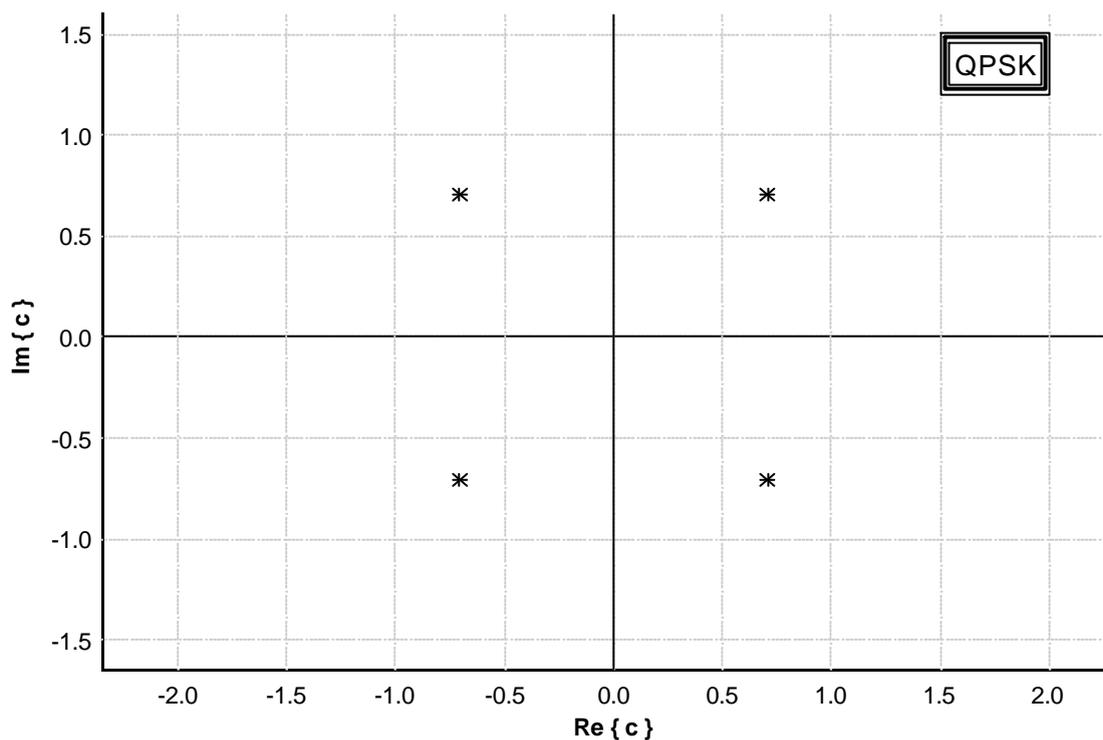


Figura 3.2-Costellazione QPSK

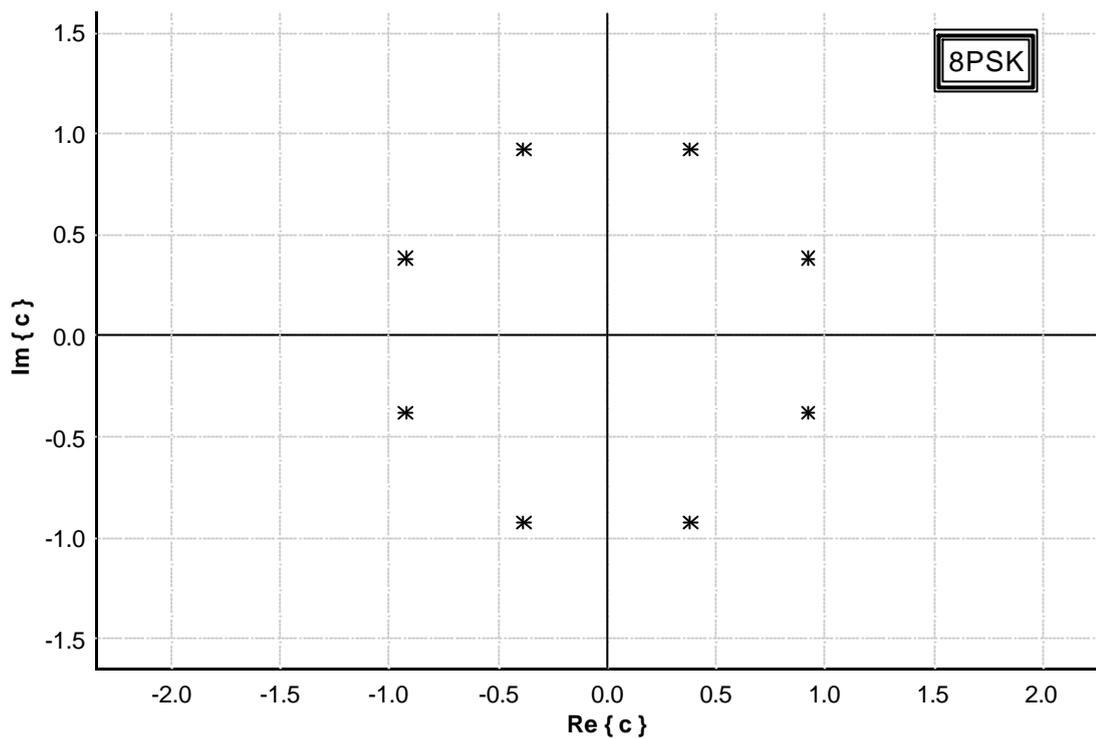


Figura 3.3-Costellazione 8PSK

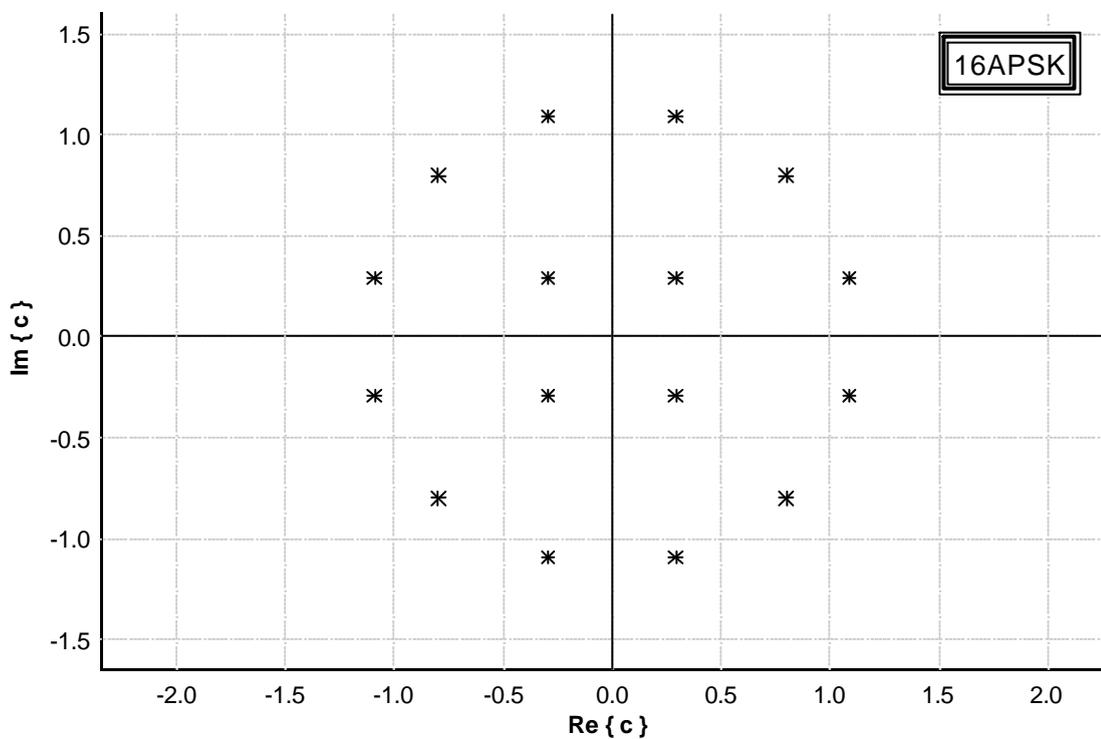


Figura 3.4-Costellazione 16APSK

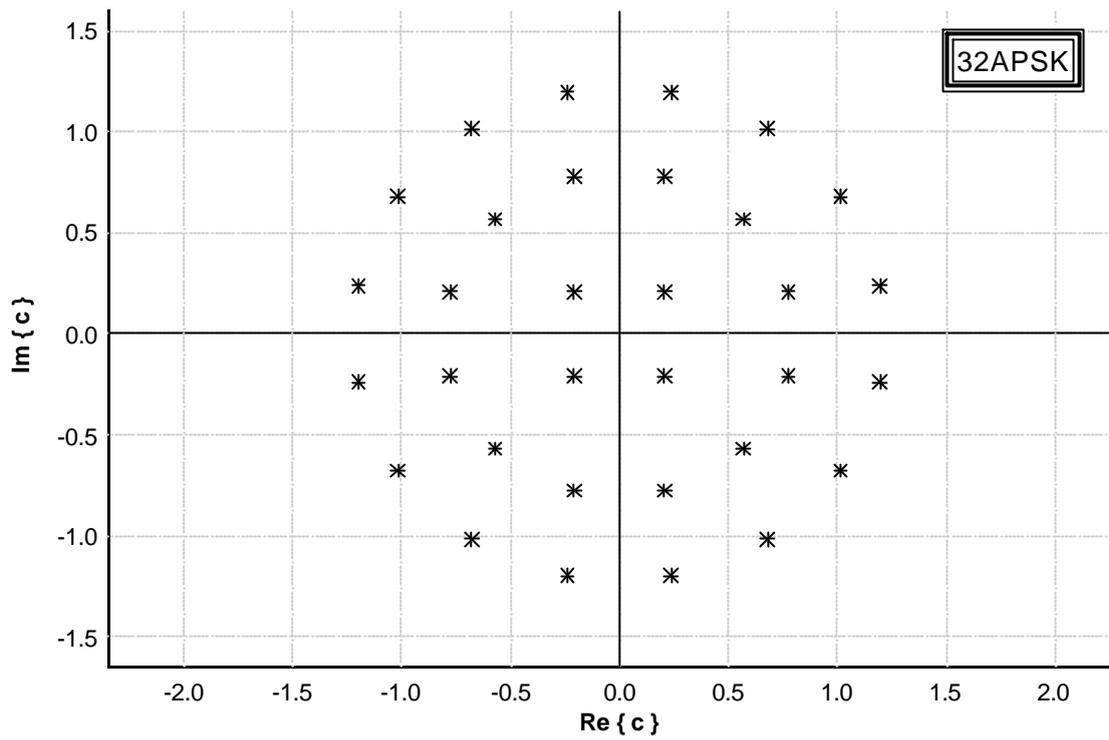


Figura 3.5-Costellazione 32APSK

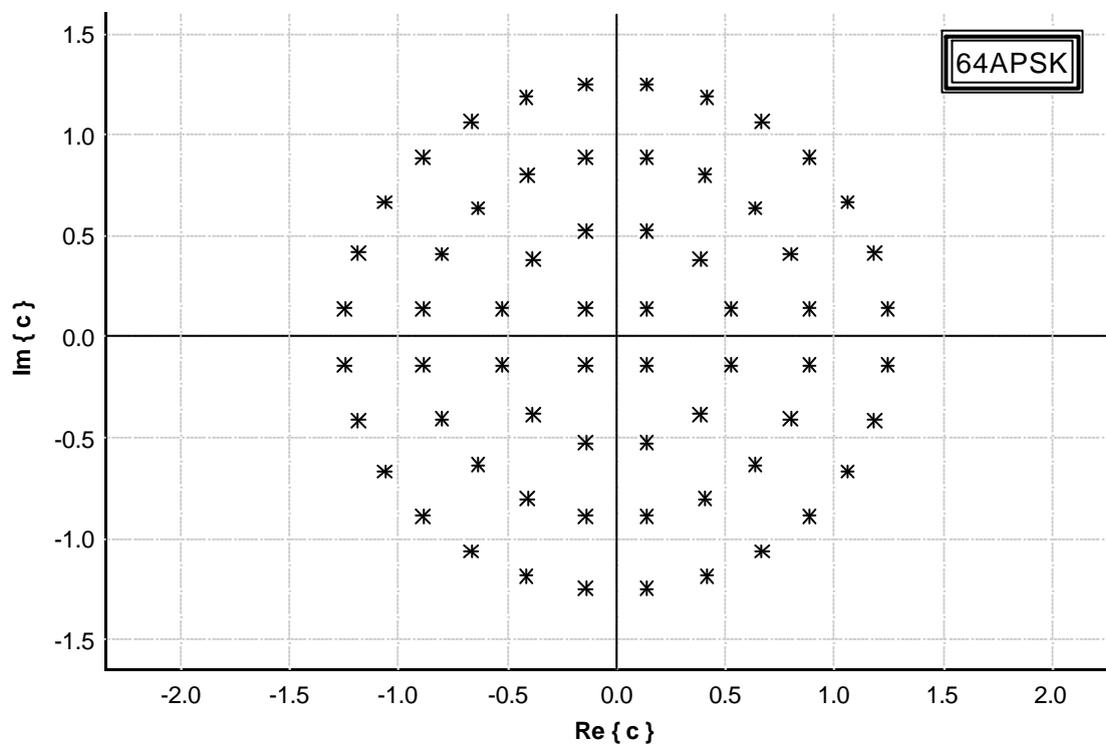


Figura 3.6-Costellazione 64APSK

Inoltre per i parametri del filtro CIC, come ottenuto in [3], si sono scelti

- $M_{CIC} = 1$  per il ritardo differenziale
- $N_{CIC} = 2$  per l'ordine del filtro
- $r_{CIC} = 30$  per il fattore di decimazione

dove i primi due parametri così determinati garantiscono prestazioni ideali al sistema.

Il fattore di decimazione  $r_{CIC} = 30$  corrisponde invece, come specificato nella tabella 2.1, ad una velocità di trasmissione (symbol rate) di  $R_s = 10 \text{ Mbaud}$ , che è risultata essere ai fini delle nostre simulazioni il caso peggiore.

Infine sono stati utilizzati interpolatori di tipo cubico.

Per quanto riguarda il dimensionamento dello stadio A/D, invece, come accennato nel paragrafo 2.2.2, i parametri da determinare sono il numero di bit del registro del quantizzatore  $b$  e il massimo valore assunto dalla soglia di quantizzazione  $x_{\max}$ .

Entrambi saranno determinati nei paragrafi successivi.

## 3.2 – PROBLEMATICHE DEL QUANTIZZATORE

L'operazione di quantizzazione, descritta nel paragrafo 2.2.2 ed effettuata secondo la caratteristica di figura 2.6, che qui riportiamo per comodità in figura 3.7, inevitabilmente introduce un'approssimazione, poiché ciascun campione presente in ingresso al quantizzatore viene quantizzato ad un valore che ne approssima il valore reale, introducendo in questo modo un errore detto *errore di quantizzazione*.

Tale errore si può definire come la differenza tra il campione digitalizzato in uscita al quantizzatore ed il campione analogico campionato in ingresso:

$$e_Q(k) \triangleq r_{IF}(k) - r'_{IF}(k) \quad (3.1)$$

L'operazione di quantizzazione allora introduce un errore intrinseco nel sistema, errore che può essere considerato come un ulteriore contributo al rumore, definito *rumore di quantizzazione*.

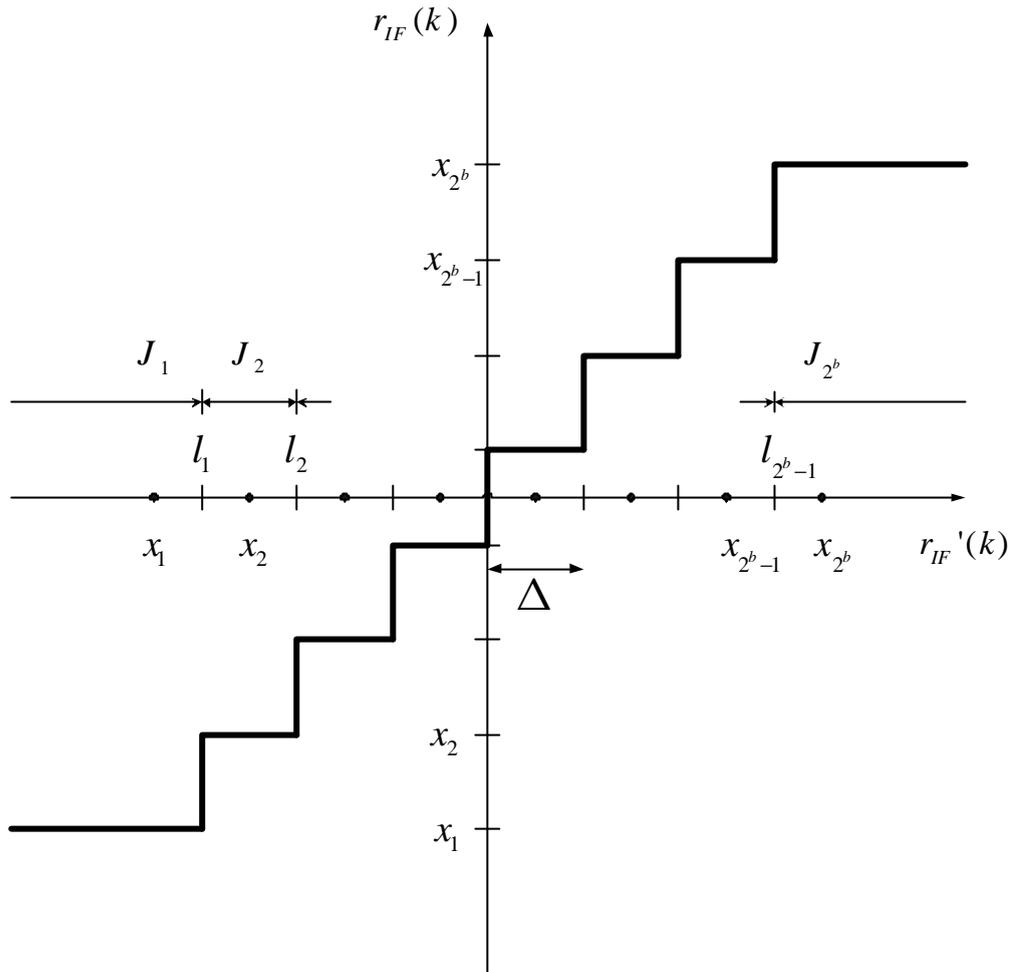


Figura 3.7- Caratteristica del quantizzatore

Difatti indicando con  $\mathbf{y}(r)$  la caratteristica del quantizzatore rappresentata in figura 3.7, i campioni in uscita al quantizzatore possono anche essere espressi, utilizzando la (3.1), come:

$$r_{IF}(k) = \mathbf{y}[r'_{IF}(k)] = r'_{IF}(k) + e_Q(k) \quad (3.2)$$

Poiché il passo di quantizzazione  $\Delta$  definisce la larghezza degli intervalli di quantizzazione, allora si ha che:

$$|e_Q(k)| \leq \frac{\Delta}{2} \quad (3.3)$$

valida nella regione granulare, delimitata da  $x_{\min}$  e  $x_{\max}$ .

Nella regione di saturazione invece l'errore di quantizzazione può anche essere maggiore, se la soglia del quantizzatore non viene dimensionata correttamente.

Difatti la larghezza della regione granulare è determinata dal valore massimo della soglia di quantizzazione  $x_{\max}$ , che deve adattarsi alla dinamica del segnale.

Considerare un valore  $x_{\max}$  troppo piccolo rispetto alla dinamica del segnale comporterebbe, fissato un numero di bit  $b$  sufficientemente elevato, che il segnale si trovi sempre nella regione di saturazione e di conseguenza l'uscita del quantizzatore coinciderebbe sempre con  $x_{\max} \times \text{sign}(r)$ , come mostrato in figura 3.8.

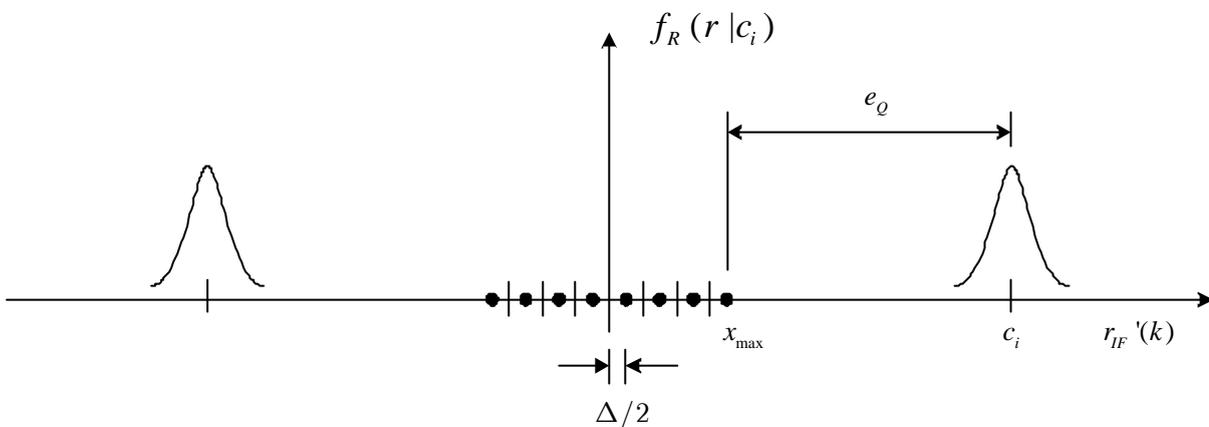


Figura 3.8- Sottodimensionamento della soglia del quantizzatore

Viceversa un valore di  $x_{\max}$  troppo grande rispetto alla dinamica del segnale comporterebbe, analogamente al caso precedente, un'uscita del quantizzatore sempre di valore  $\frac{\Delta}{2} \times \text{sign}(r)$ , come mostrato in figura 3.9.

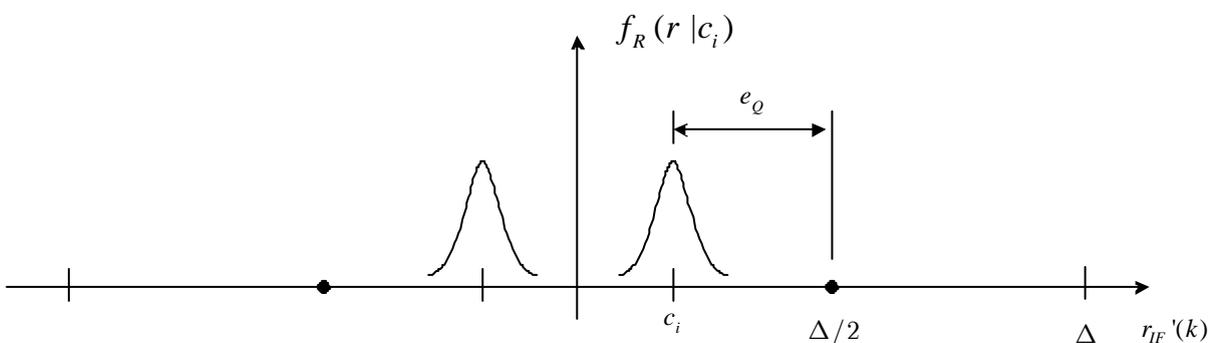


Figura 3.9- Sovradimensionamento della soglia del quantizzatore

Inoltre, come rappresentato in figura 3.10, un'analisi condotta sulla costellazione 64APSK con un numero di bit sufficientemente elevato  $b=20$ , in modo da poter trascurare l'errore di quantizzazione, al variare della soglia (di cui in figura riportiamo solamente alcuni casi significativi), mostra come oltre un certo valore aumentare il valore massimo della soglia non comporti nessuna ulteriore miglioria in termini di BER, portando successivamente addirittura a peggiorare la probabilità d'errore riducendosi al caso di figura 3.9.

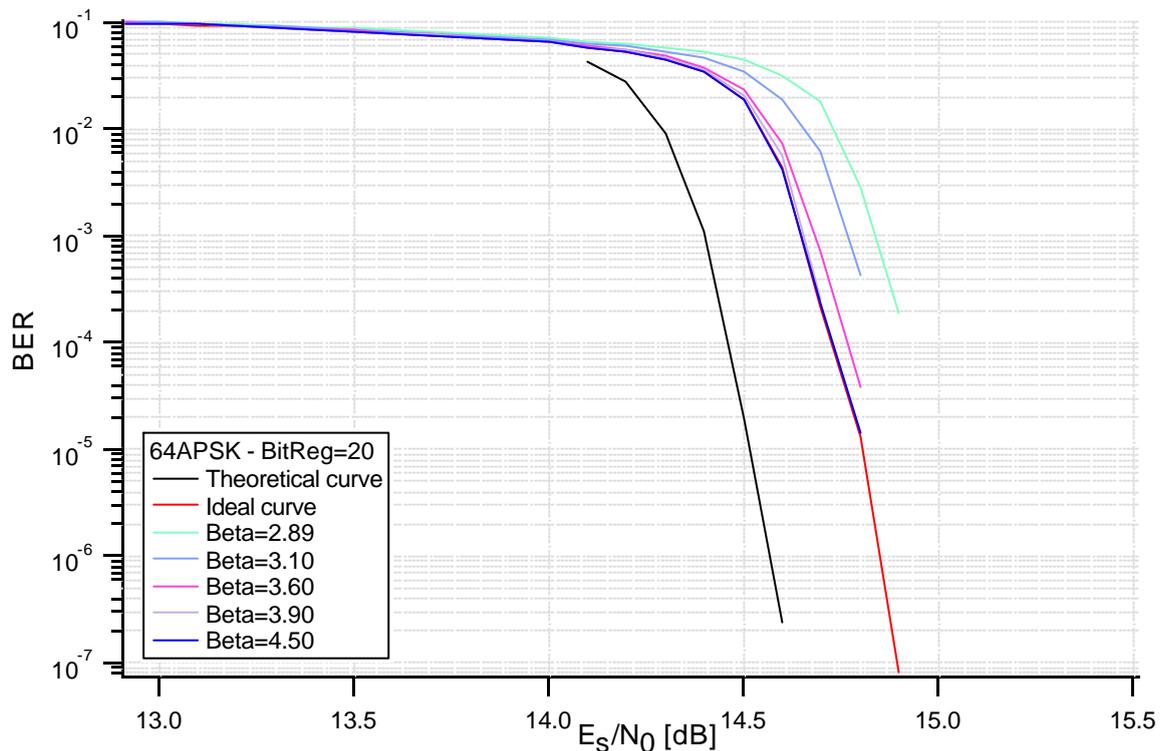


Figura 3.10- Influenza della soglia del quantizzatore sulla BER

Nella figura 3.10 si può notare la presenza di due curve di riferimento, quella teorica (rappresentata in nero) e quella ideale (rappresentata in rosso), dove la probabilità d'errore della curva ideale è stata ottenuta da simulazioni al computer considerando un'aritmetica infinita (quindi non considerando assolutamente l'operazione di quantizzazione) ma considerando i filtri reali.

Questo giustifica la perdita intrinseca al sistema di 0.3 dB in termini di rapporto segnale-rumore  $E_s/N_0$  tra le due curve.

Lo scopo dei successivi paragrafi è quello di dimensionare il quantizzatore in modo da ottenere curve il più possibile vicine a quella ideale appena mostrata.

Per ottenere tale scopo si deve allora stabilire un criterio in base al quale dimensionare innanzitutto la soglia del quantizzatore, come illustrato nel prossimo paragrafo.

### 3.3 – DIMENSIONAMENTO DELLA SOGLIA DEL QUANTIZZATORE

Nell'ipotesi in cui si possano modellare le componenti del segnale in ingresso al quantizzatore come due processi gaussiani indipendenti con:

$$\mathbf{h}_{TOT} \triangleq E\{r_I'(k)\} = E\{r_Q'(k)\} = 0 \quad (3.4)$$

$$\mathbf{s}_{TOT}^2 \triangleq E\{r_I'(k)^2\} = E\{r_Q'(k)^2\} \quad (3.5)$$

allora normalizzando tutti i parametri del quantizzatore rispetto a  $\mathbf{s}_{TOT}$ , come mostrato in [4], è possibile definire la variabile casuale che rappresenta l'errore di quantizzazione normalizzato come:

$$E \triangleq \mathbf{y}(R) - R \quad (3.6)$$

dove con  $R$  si è indicata la variabile casuale che rappresenta una componente (ad esempio quella in fase, visto che le considerazioni sono analoghe per la componente in quadratura) del generico campione normalizzato presente all'ingresso del quantizzatore.

Poiché l'errore di quantizzazione risulta a media nulla allora si può definire la *varianza dell'errore di quantizzazione* (per ciascuna componente del segnale) come:

$$\mathbf{s}_e^2 \triangleq \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{e}^2 f_E(\mathbf{e}) d\mathbf{e} \quad (3.7)$$

ed omettendo diversi passaggi matematici si ottiene:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_e^2 = & 2 \left\{ \left( 1 + \mathbf{b}^2 \right) \mathcal{Q} \left( \mathbf{b} + \frac{\mathbf{d}}{2} \right) - \left( \mathbf{b} - \frac{\mathbf{d}}{2} \right) \frac{1}{\sqrt{2\mathbf{p}}} e^{-\frac{\left( \mathbf{b} + \frac{\mathbf{d}}{2} \right)^2}{2}} \right\} + \\ & + \sum_{i=1}^{2^b} \left\{ \left( 1 + \mathbf{b}_i^2 \right) \left[ \mathcal{Q} \left( \mathbf{b}_i - \frac{\mathbf{d}}{2} \right) - \mathcal{Q} \left( \mathbf{b}_i + \frac{\mathbf{d}}{2} \right) \right] + \left[ \left( \mathbf{b}_i - \frac{\mathbf{d}}{2} \right) \frac{1}{\sqrt{2\mathbf{p}}} e^{-\frac{\left( \mathbf{b}_i + \frac{\mathbf{d}}{2} \right)^2}{2}} - \left( \mathbf{b}_i + \frac{\mathbf{d}}{2} \right) \frac{1}{\sqrt{2\mathbf{p}}} e^{-\frac{\left( \mathbf{b}_i - \frac{\mathbf{d}}{2} \right)^2}{2}} \right] \right\} \end{aligned} \quad (3.8)$$

dove sono state definite le quantità normalizzate:

$$\mathbf{b} \triangleq \frac{x_{\max}}{\mathbf{s}_{TOT}} \quad (3.9)$$

$$\mathbf{b}_i \triangleq \frac{x_i}{\mathbf{s}_{TOT}} \quad (3.10)$$

$$\frac{\mathbf{d}}{2} \triangleq \frac{\Delta}{2\mathbf{s}_{TOT}} \quad (3.11)$$

La (3.9) rappresenta il valore massimo della soglia del quantizzatore normalizzato alla deviazione standard del segnale in ingresso al quantizzatore, valore utilizzato nelle simulazioni per calcolare la varianza dell'errore di quantizzazione del campione in ingresso al quantizzatore stesso, come mostrato nelle figure 3.11 – 3.15.

Come si vede anche dalla (3.8) la varianza dell'errore è risultata dipendente dalla soglia del quantizzatore (normalizzata)  $\mathbf{b}$ , dal numero di bit del registro del quantizzatore  $b$ , presente sostituendo la (2.18) nelle (2.9), (3.10) e (3.11), e dal valore  $E_s/N_0$  usato nelle simulazioni.

Si è allora scelto come criterio per determinare i valori ottimali della soglia del quantizzatore (normalizzata) quello di minimizzare la varianza dell'errore di quantizzazione.

In questo modo i valori ottimali  $\mathbf{b}_{OPT}$  della soglia risultano indipendenti dalla costellazione usata, dal valore  $E_s/N_0$  usato, mentre risultano dipendenti esclusivamente dal numero di bit del registro del quantizzatore  $b$ .

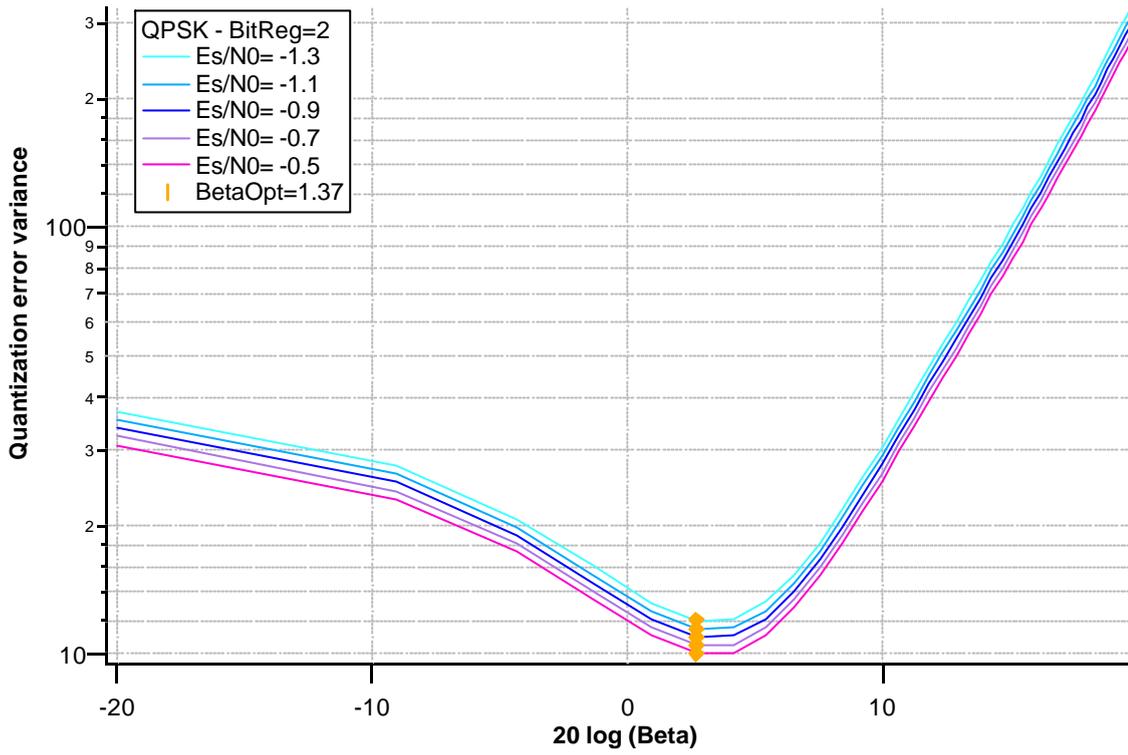


Figura 3.11a- Varianza dell'errore di quantizzazione per una QPSK con b=2

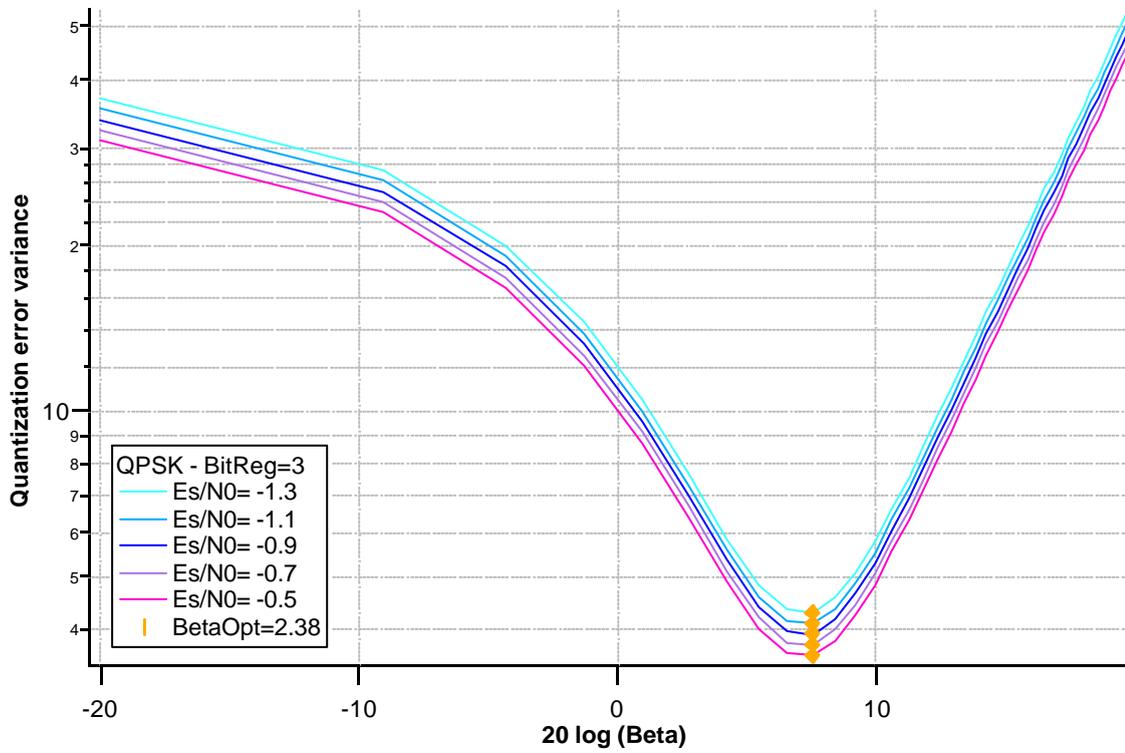


Figura 3.11b- Varianza dell'errore di quantizzazione per una QPSK con b=3

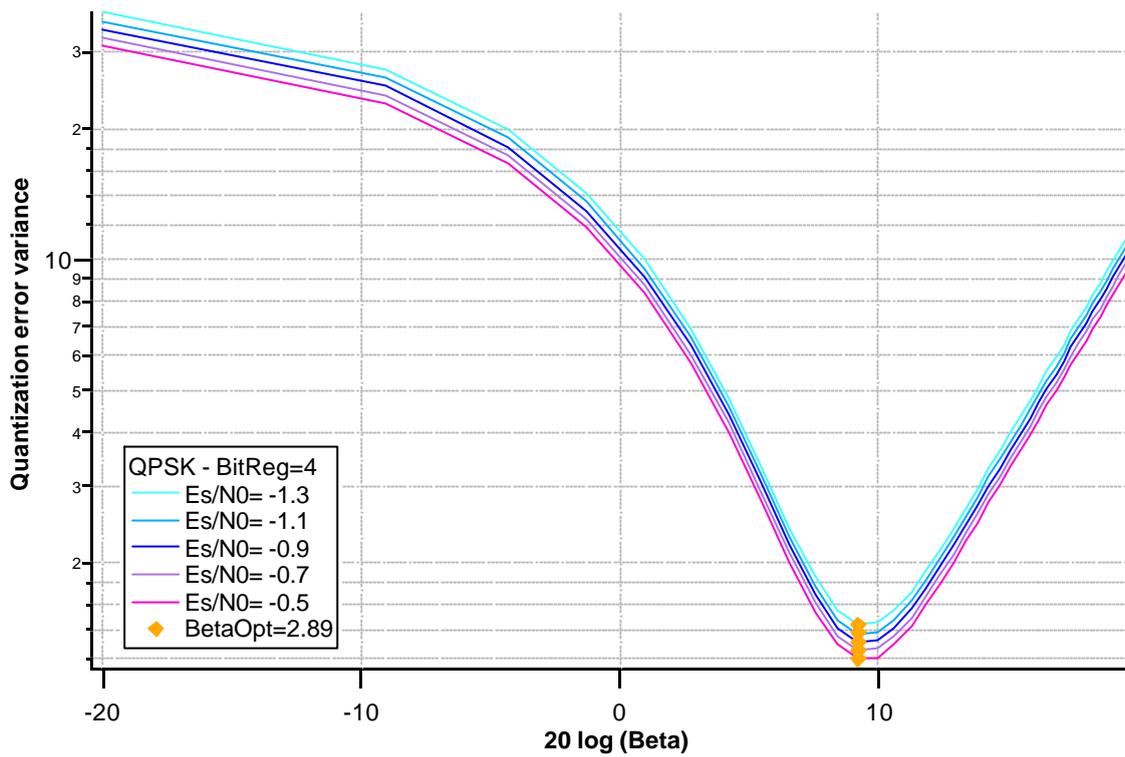


Figura 3.11c- Varianza dell'errore di quantizzazione per una QPSK con  $b=4$

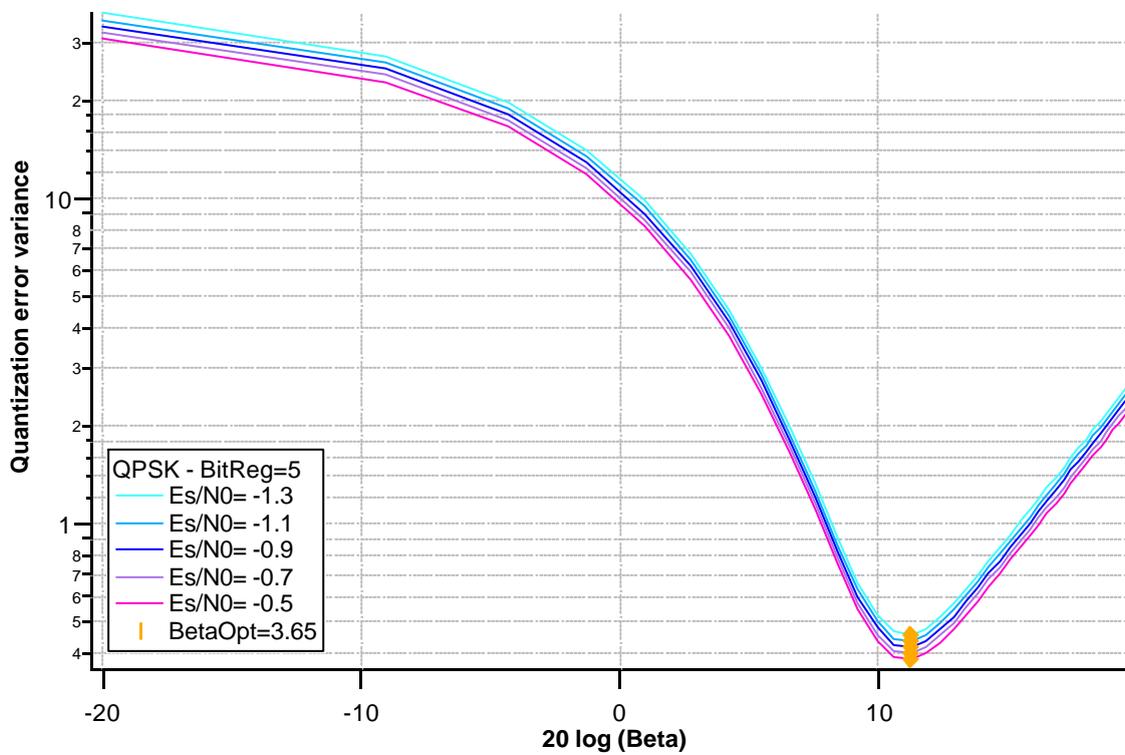


Figura 3.11d- Varianza dell'errore di quantizzazione per una QPSK con  $b=5$

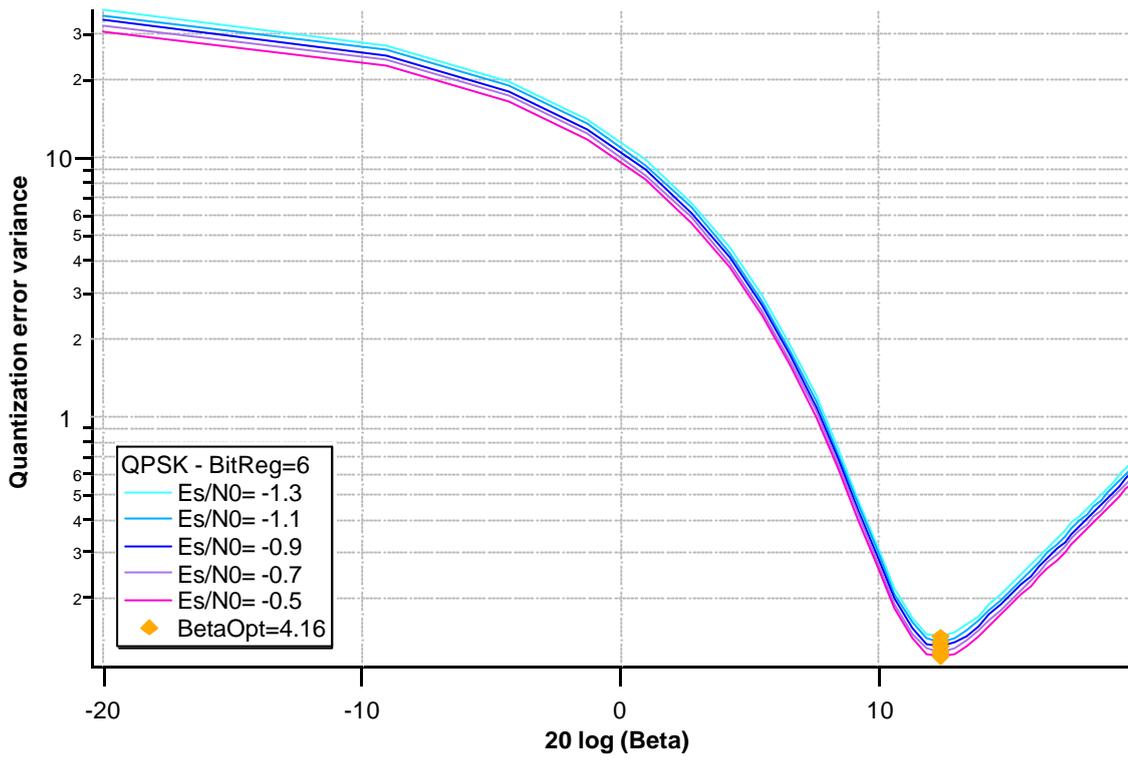


Figura 3.11e- Varianza dell'errore di quantizzazione per una QPSK con b=6

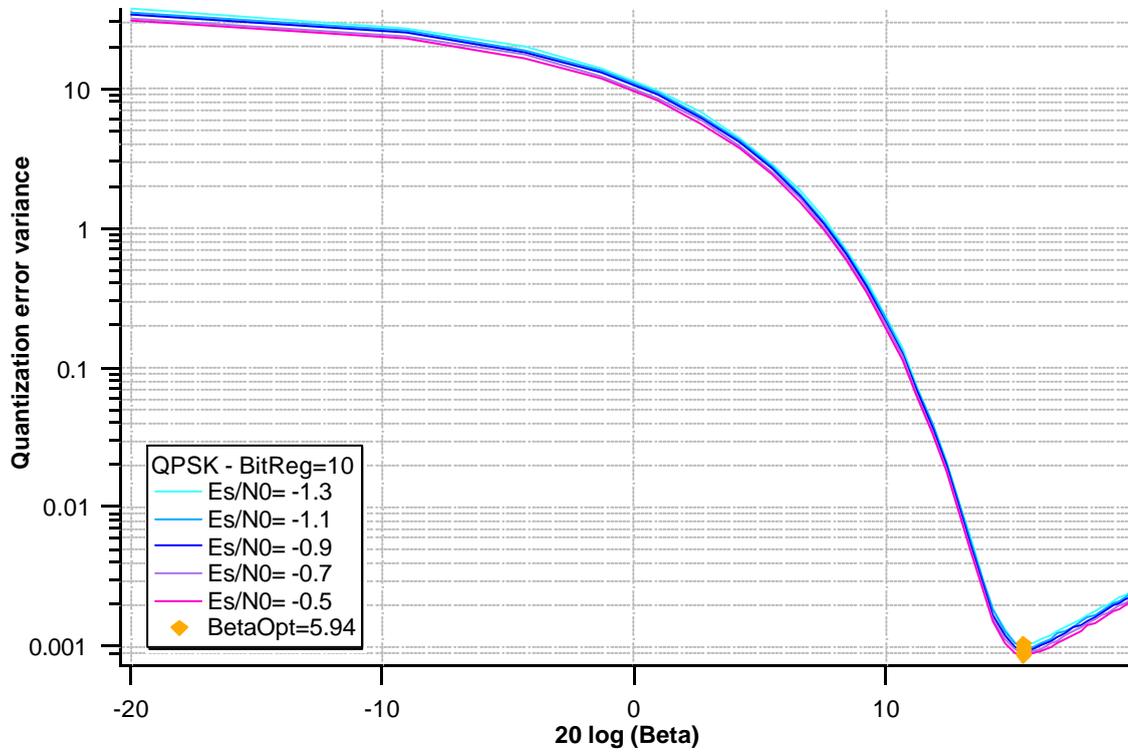


Figura 3.11f- Varianza dell'errore di quantizzazione per una QPSK con b=10

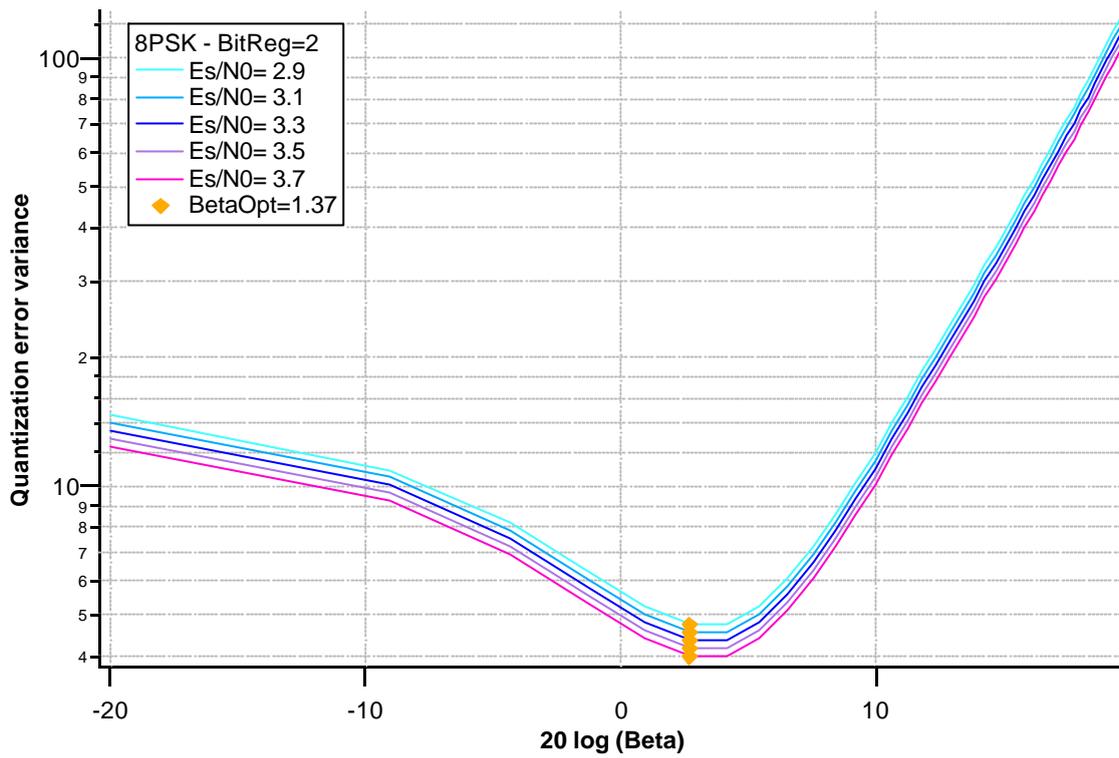


Figura 3.12a- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 8PSK con b=2

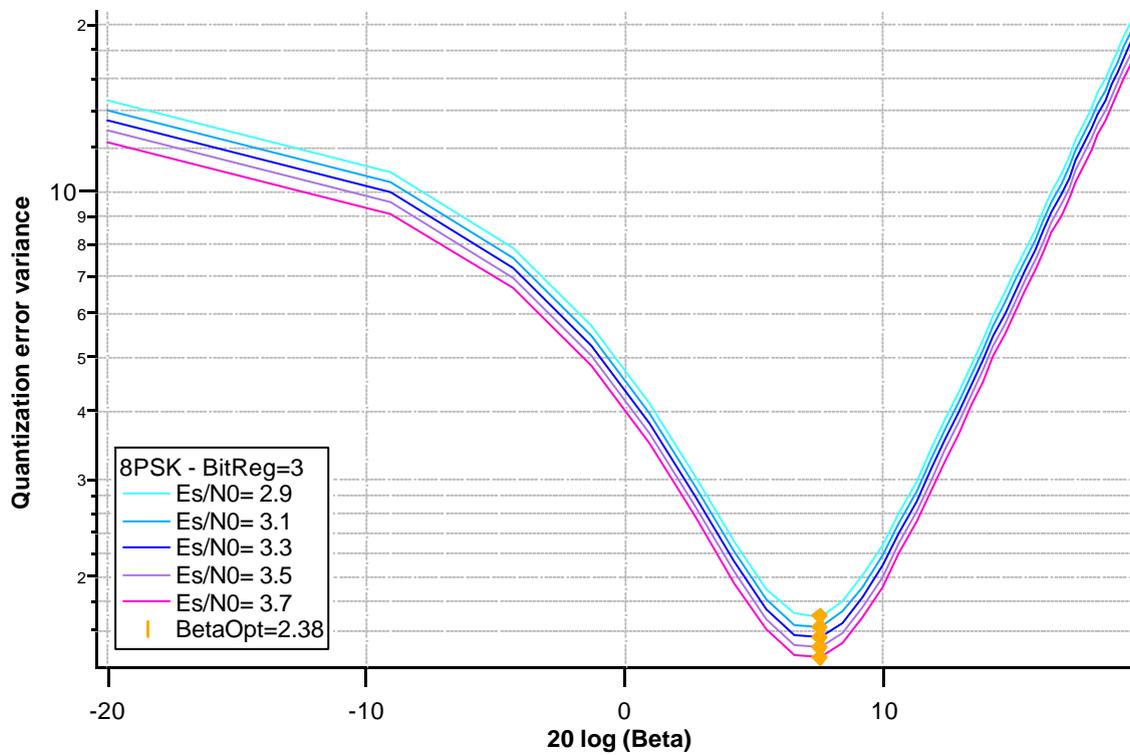


Figura 3.12b- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 8PSK con b=3

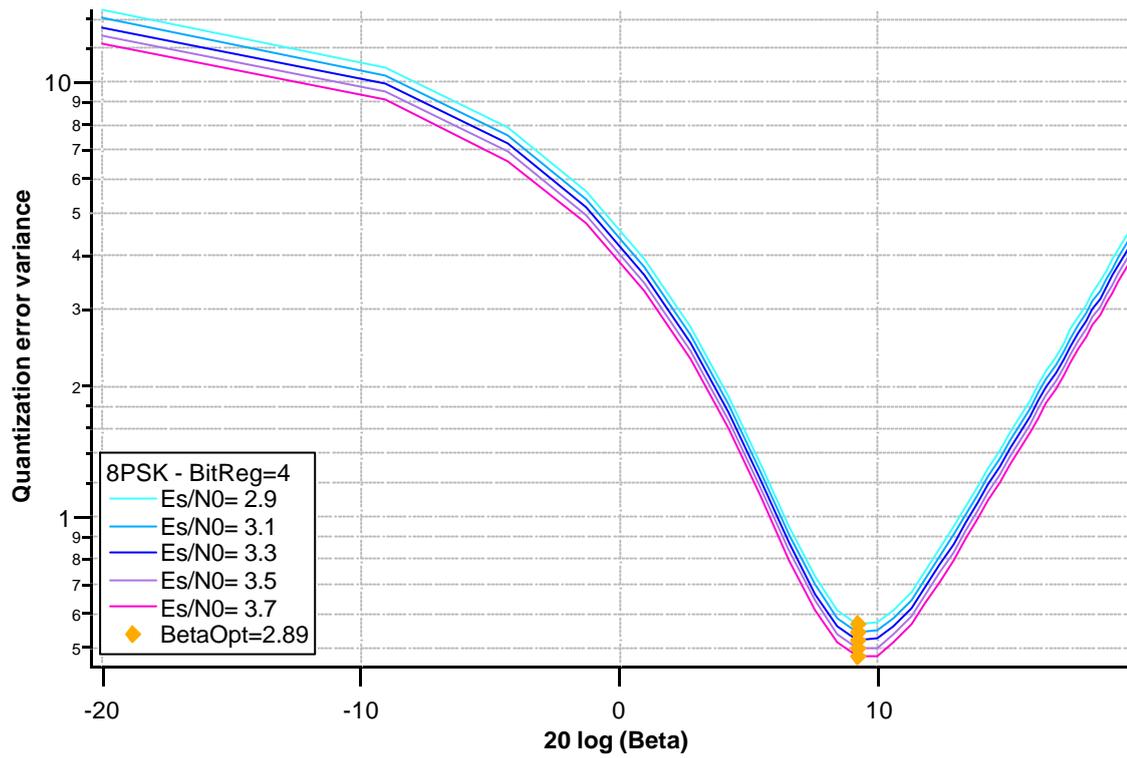


Figura 3.12c- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 8PSK con b=4

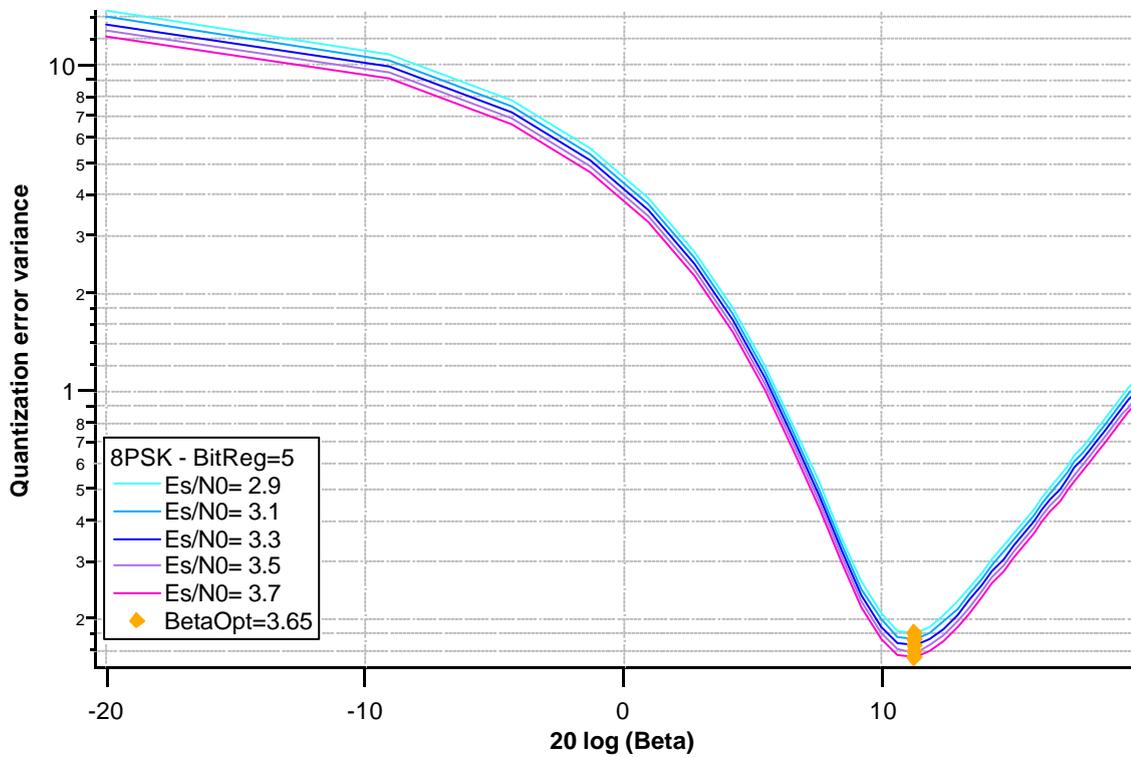


Figura 3.12d- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 8PSK con b=5

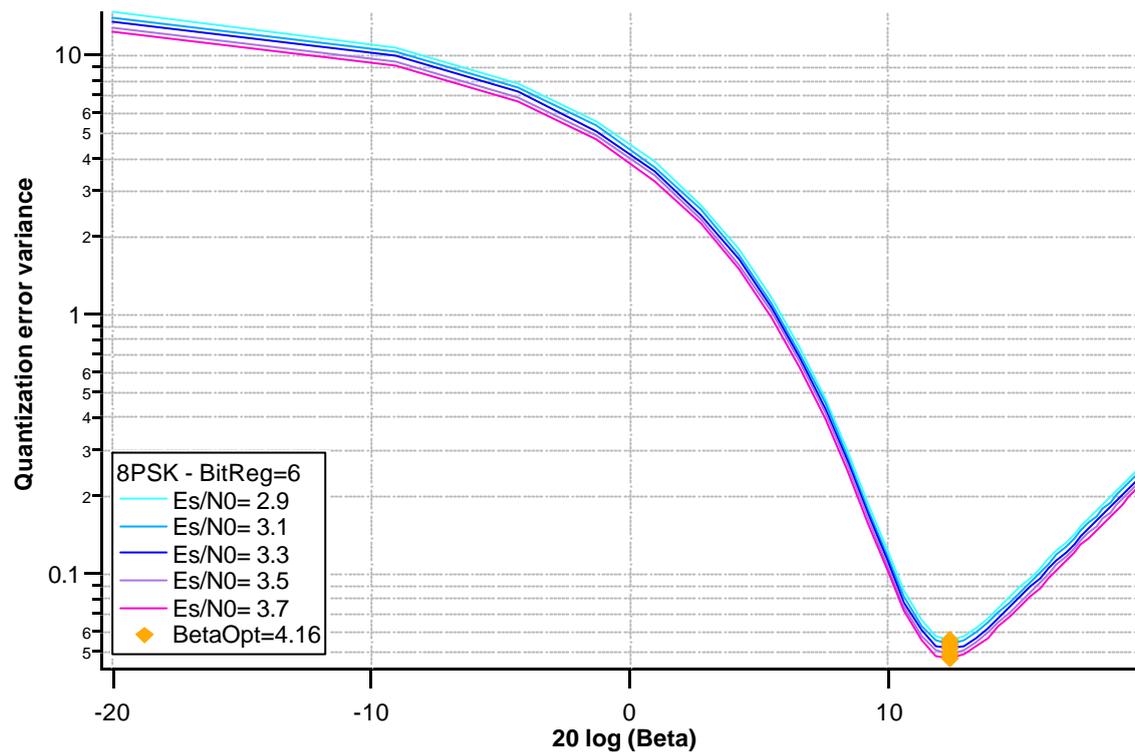


Figura 3.12e- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 8PSK con b=6

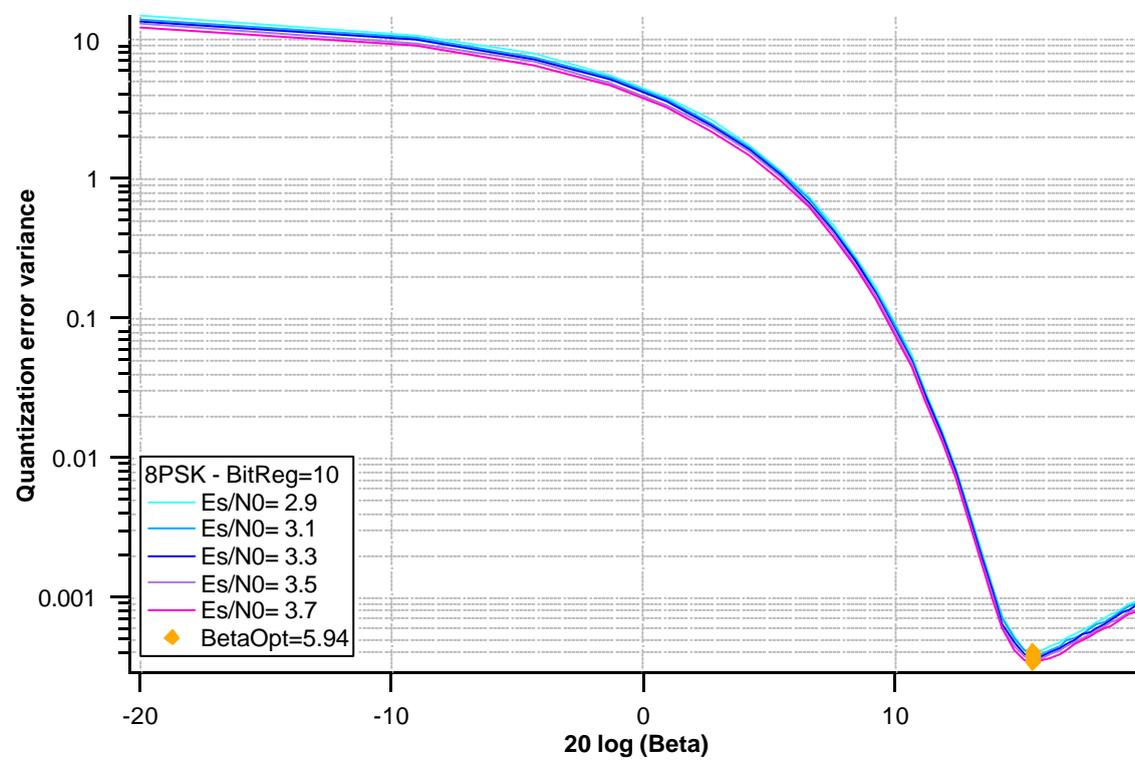


Figura 3.12f- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 8PSK con b=10

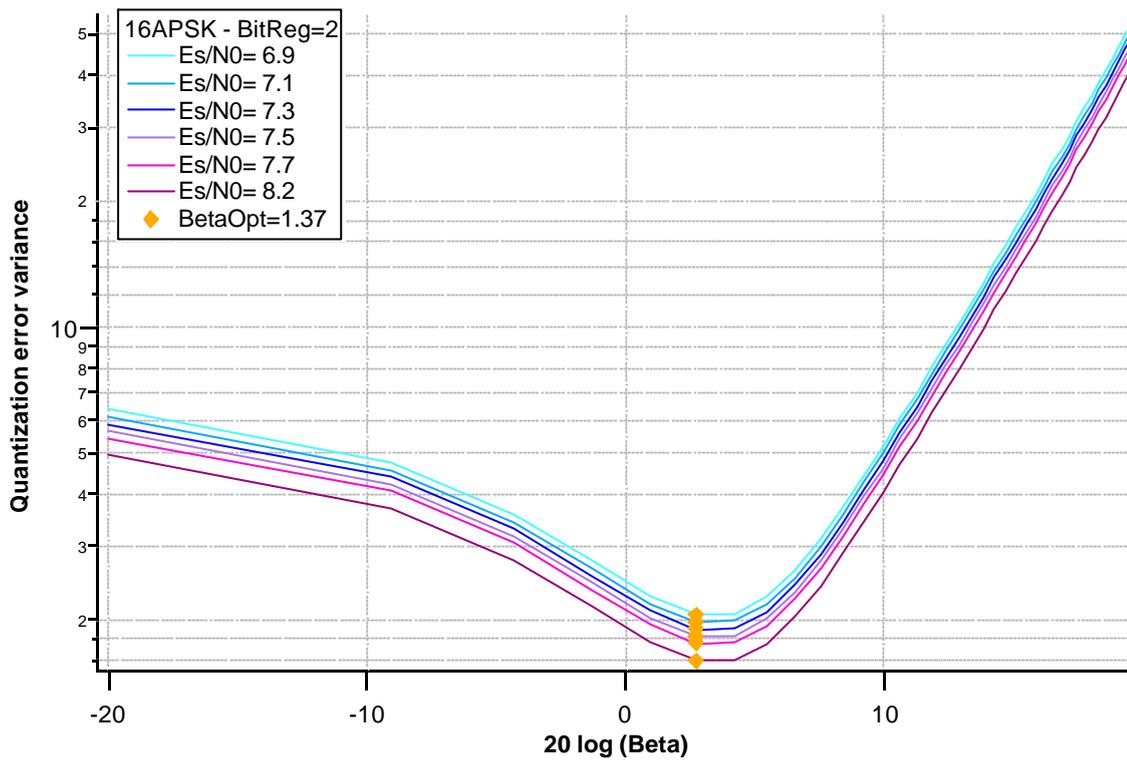


Figura 3.13a- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 16APSK con b=2

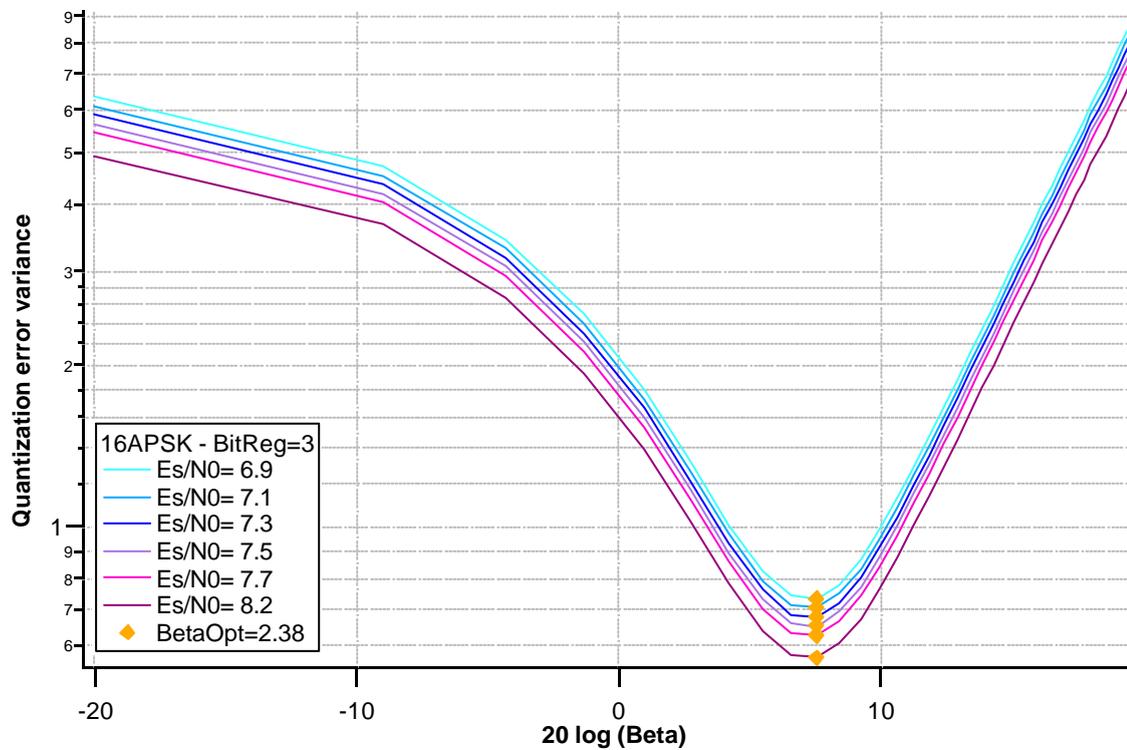
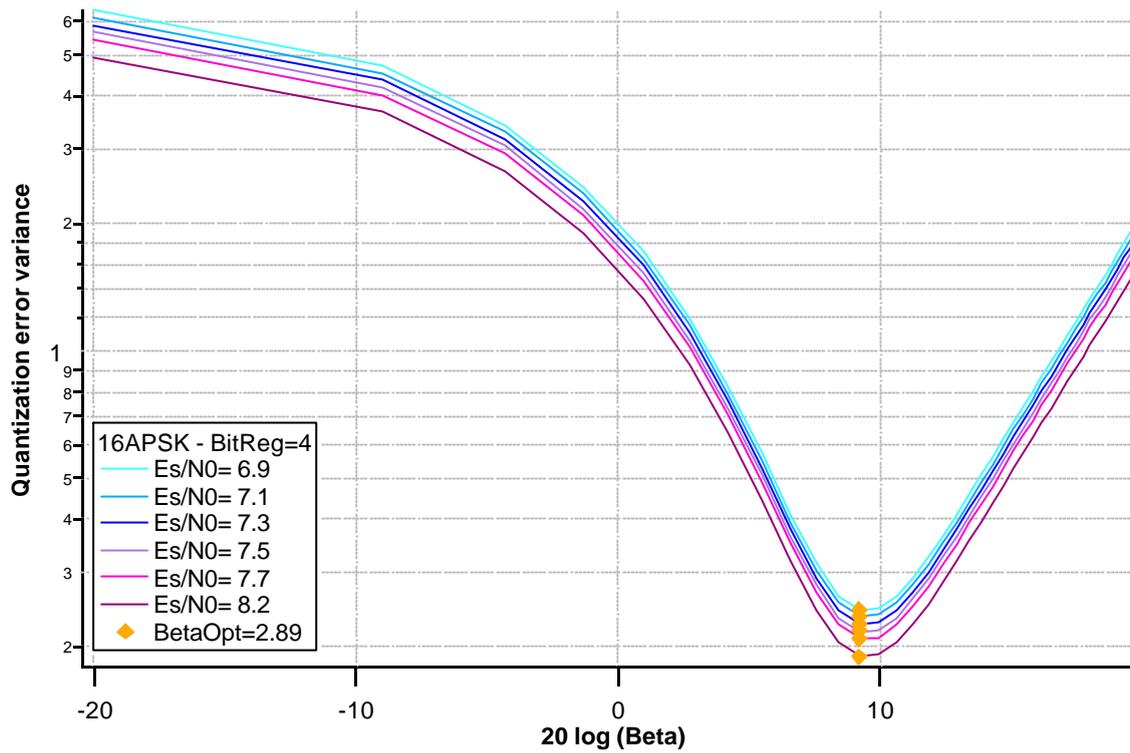
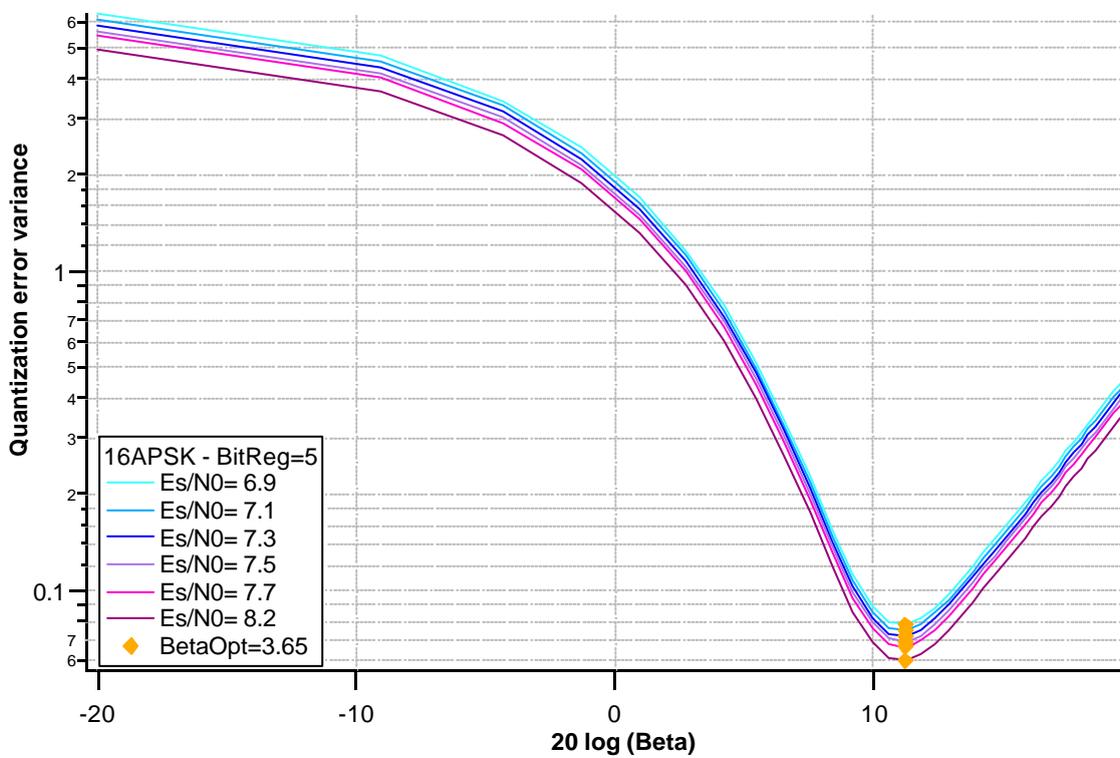


Figura 3.13b- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 16APSK con b=3

Figura 3.13c- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 16APSK con  $b=4$ Figura 3.13d- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 16APSK con  $b=5$

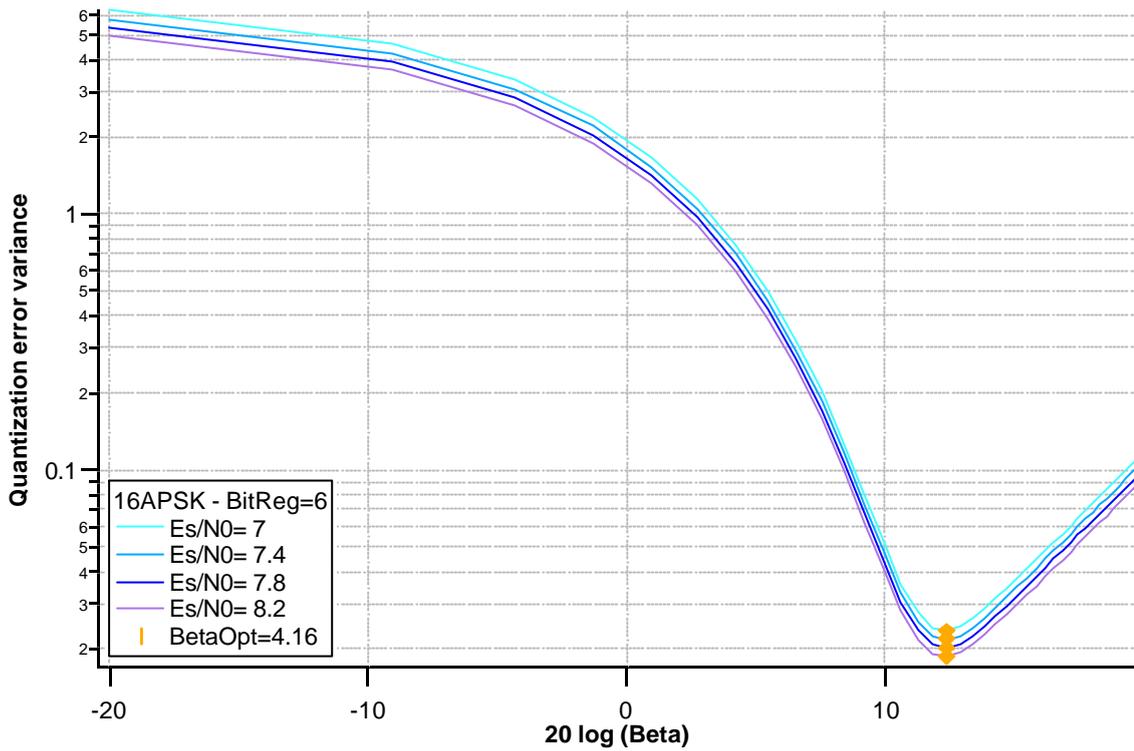


Figura 3.13e- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 16APSK con b=6

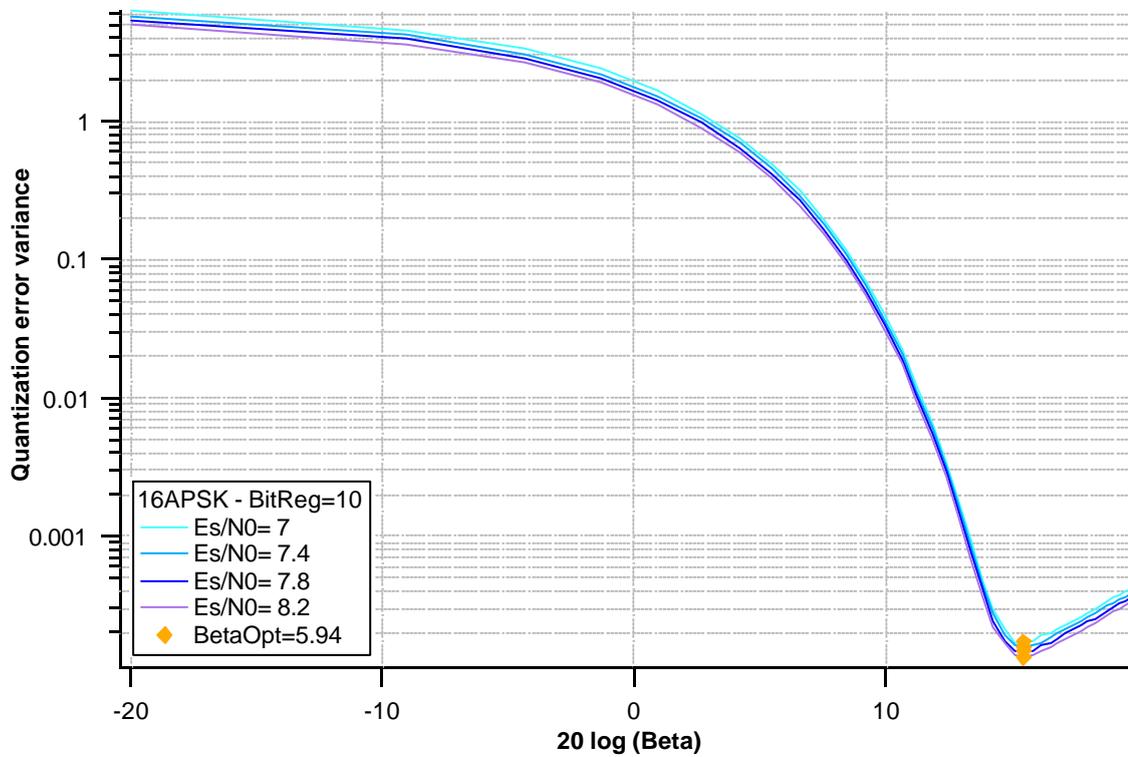
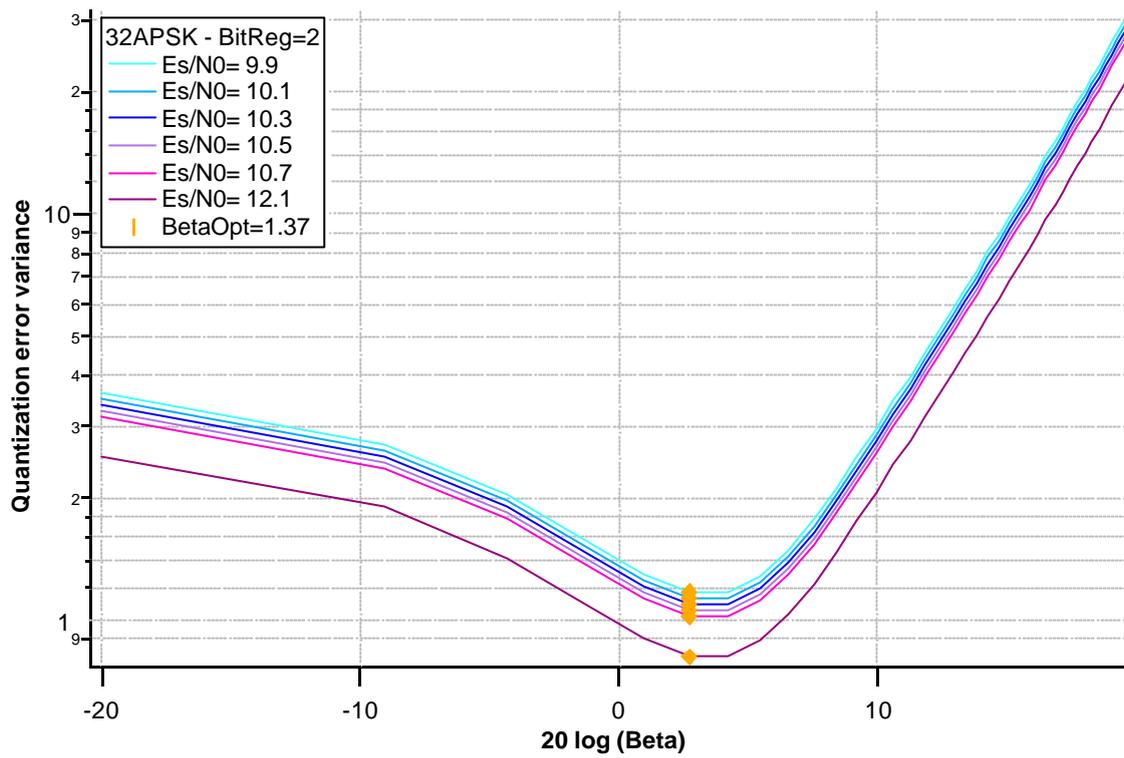
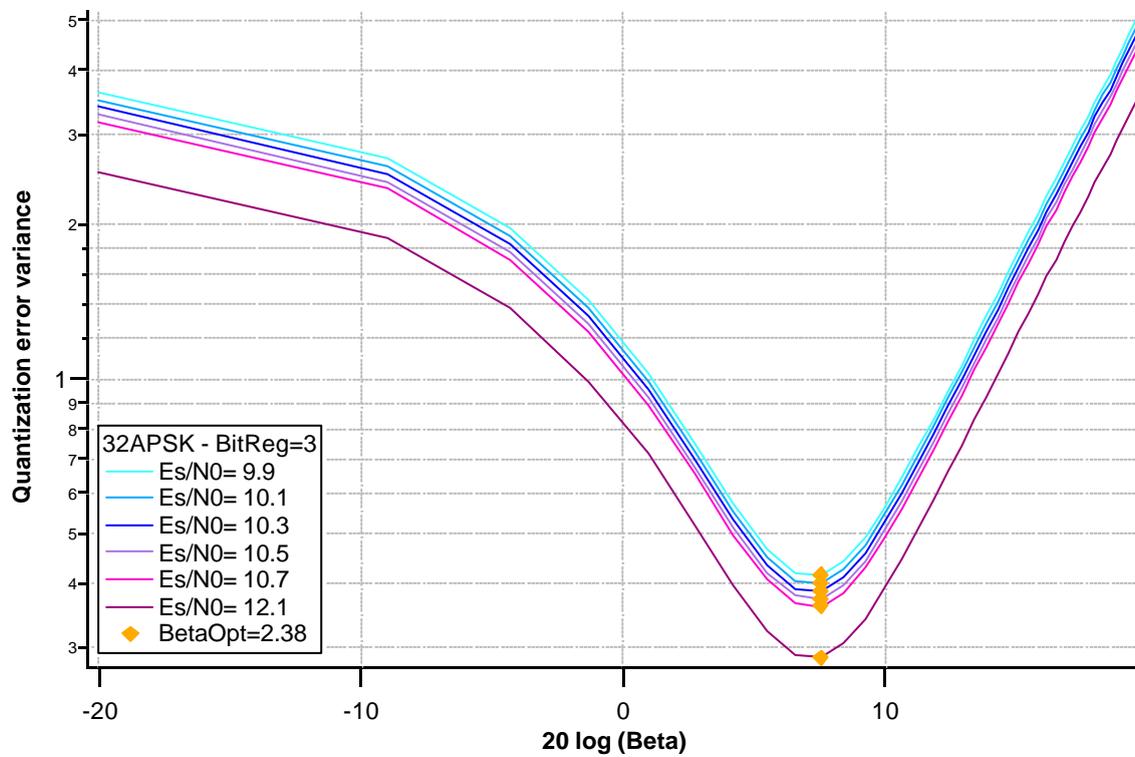


Figura 3.13f- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 16APSK con b=10

Figura 3.14a- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 32APSK con  $b=2$ Figura 3.14b- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 32APSK con  $b=3$

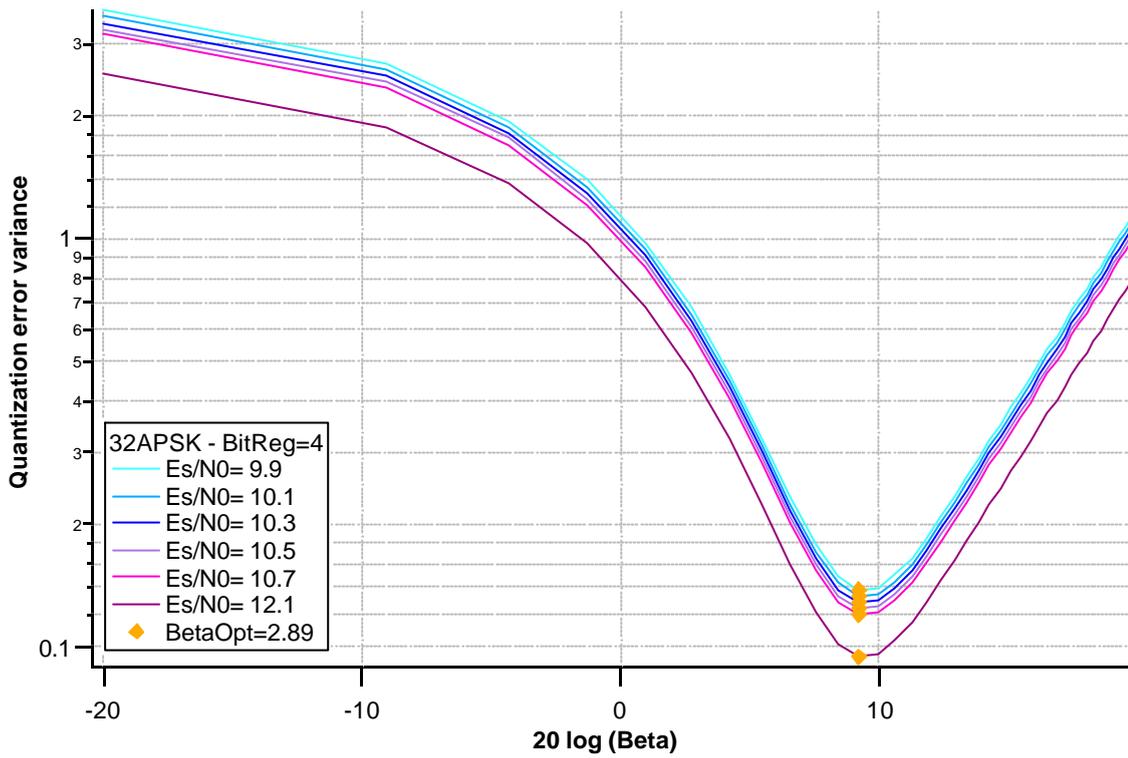


Figura 3.14c- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 32APSK con b=4

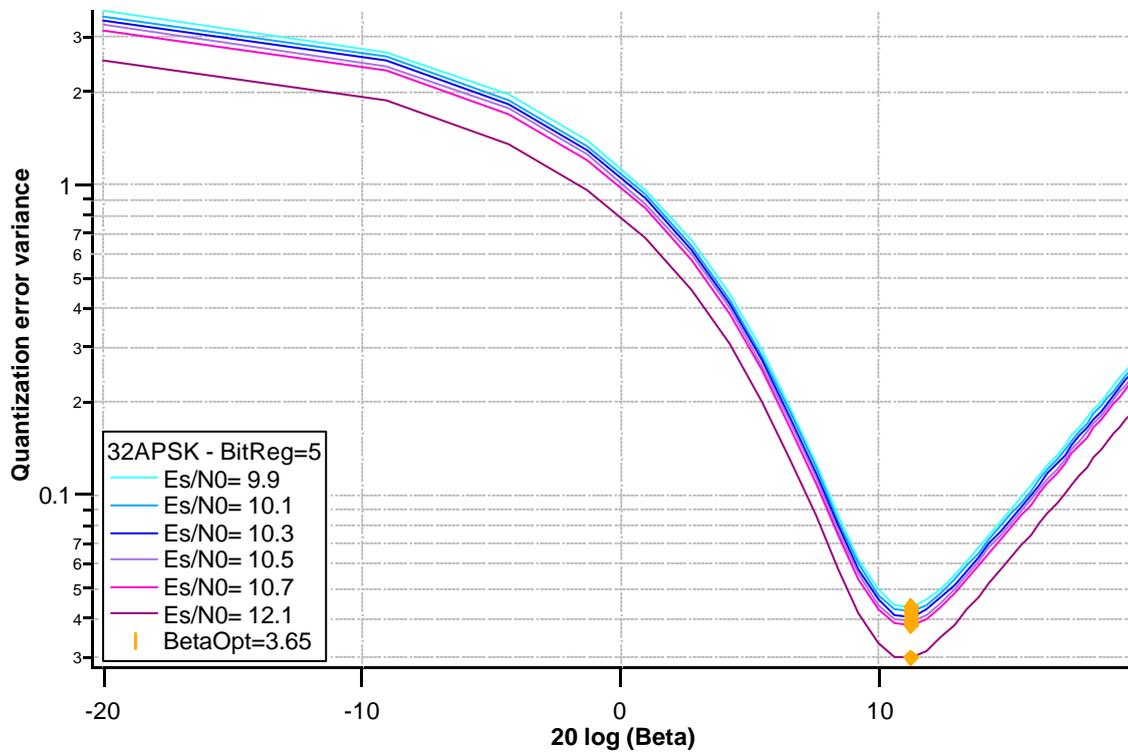


Figura 3.14d- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 32APSK con b=5

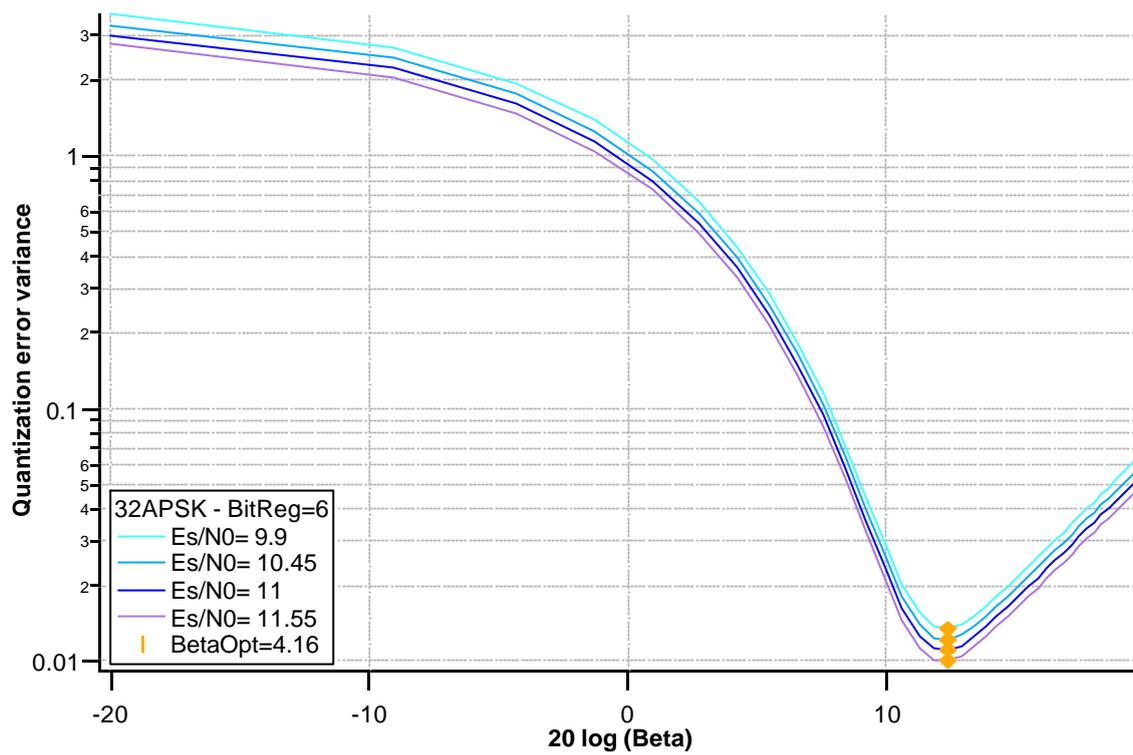


Figura 3.14e- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 32APSK con  $b=6$

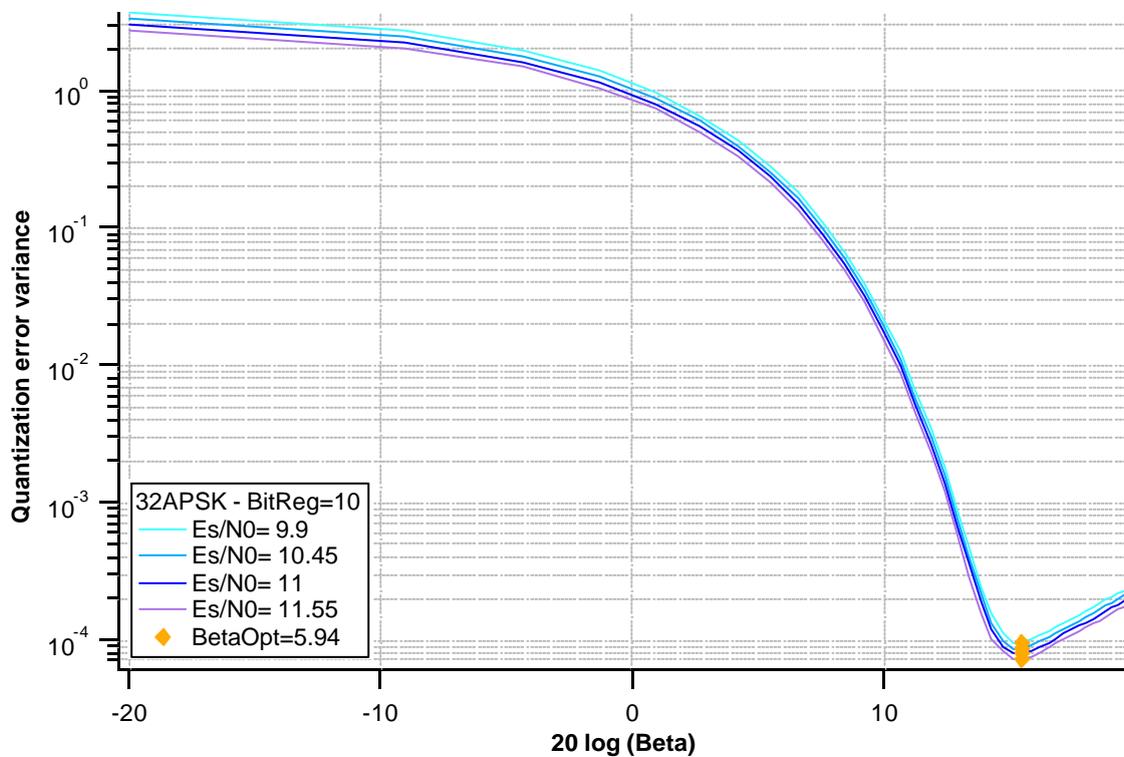


Figura 3.14f- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 32APSK con  $b=10$

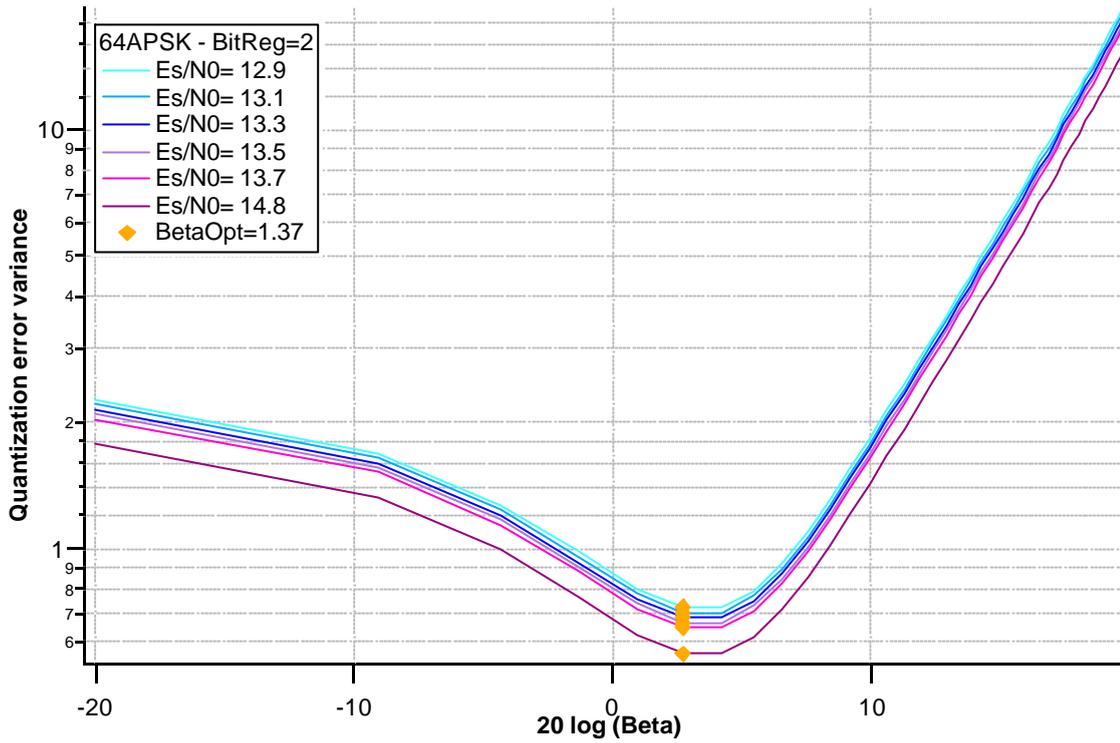


Figura 3.15a- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 64APSK con b=2

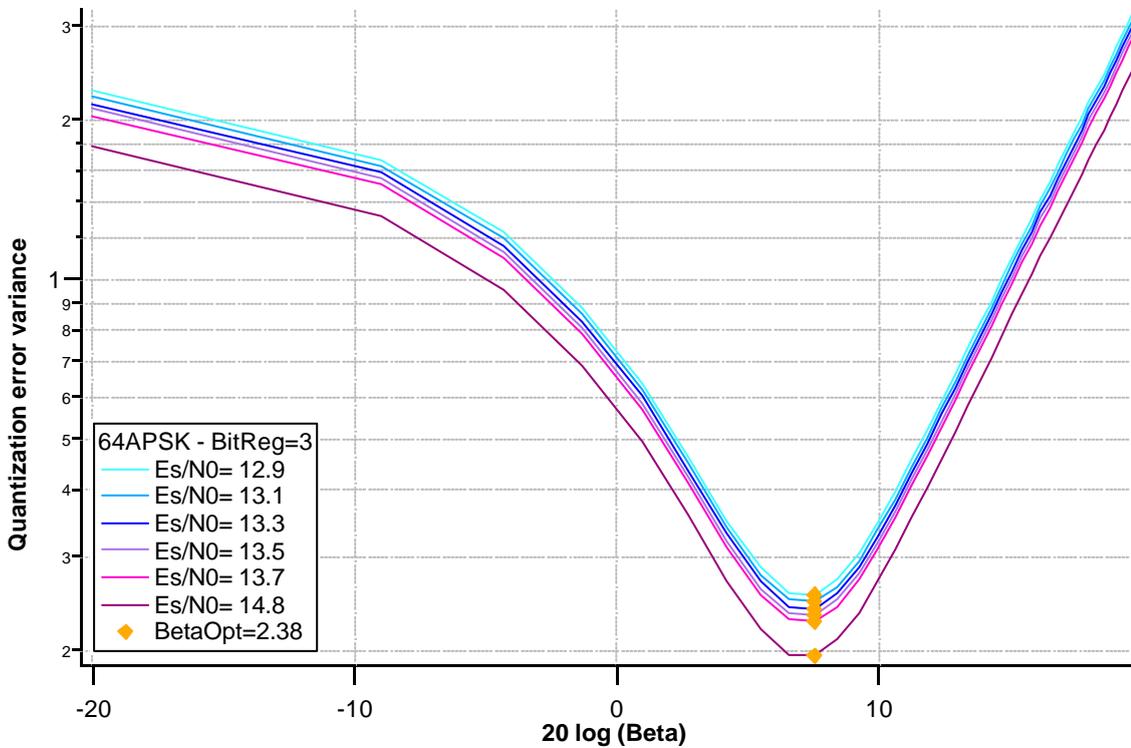


Figura 3.15b- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 64APSK con b=3

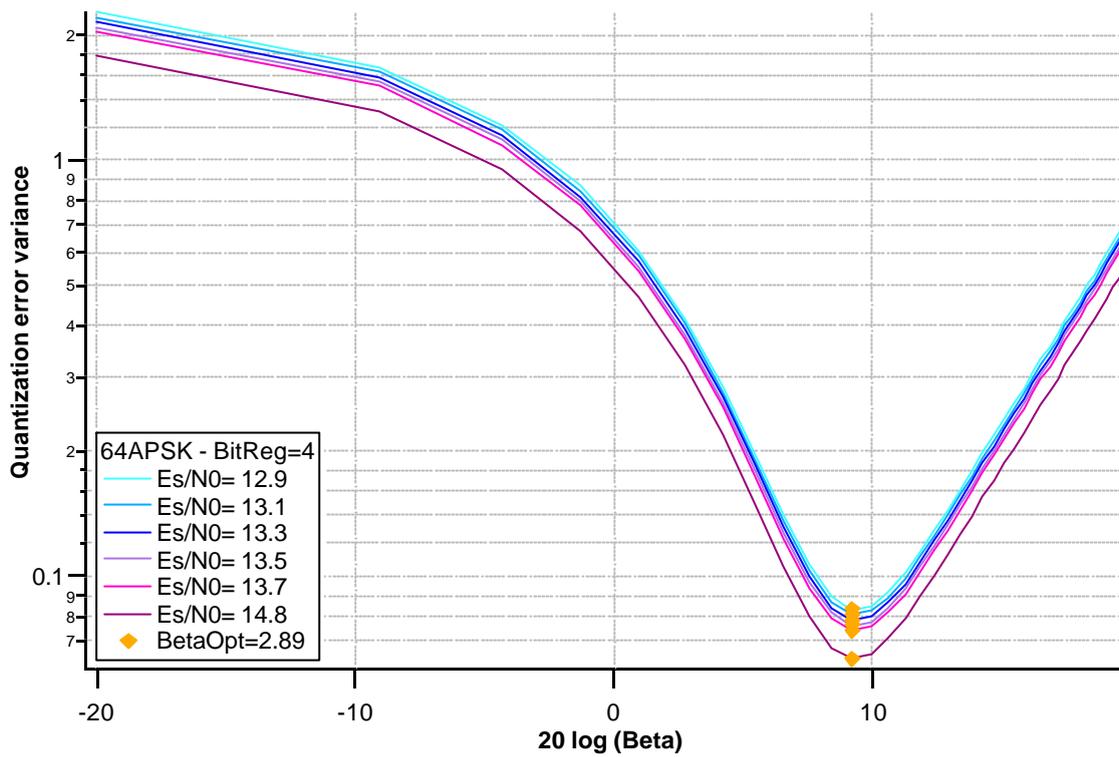


Figura 3.15c- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 64APSK con b=4

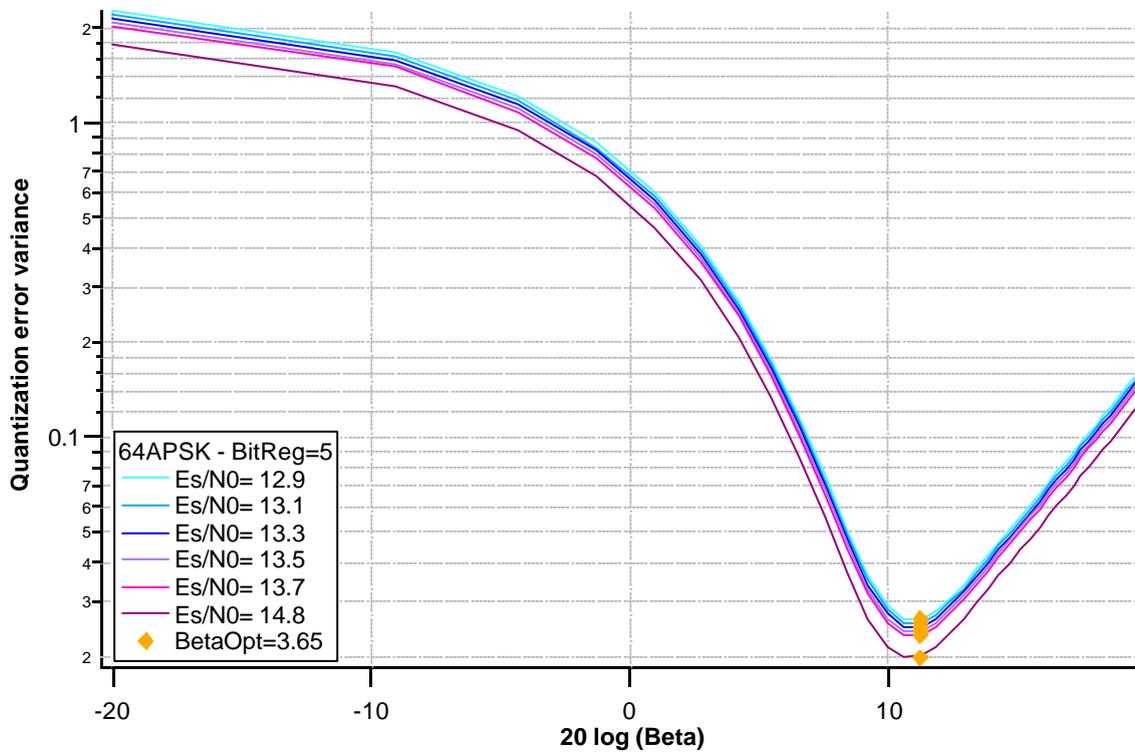


Figura 3.15d- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 64APSK con b=5

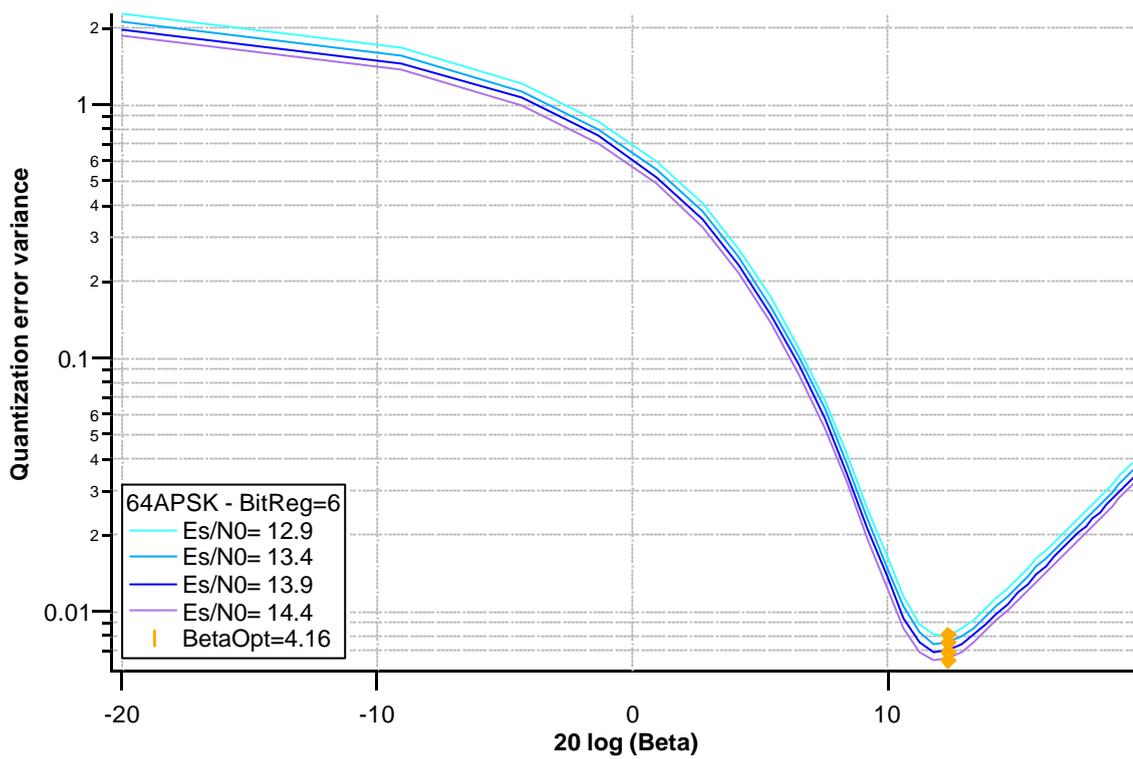


Figura 3.15e- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 64APSK con b=6

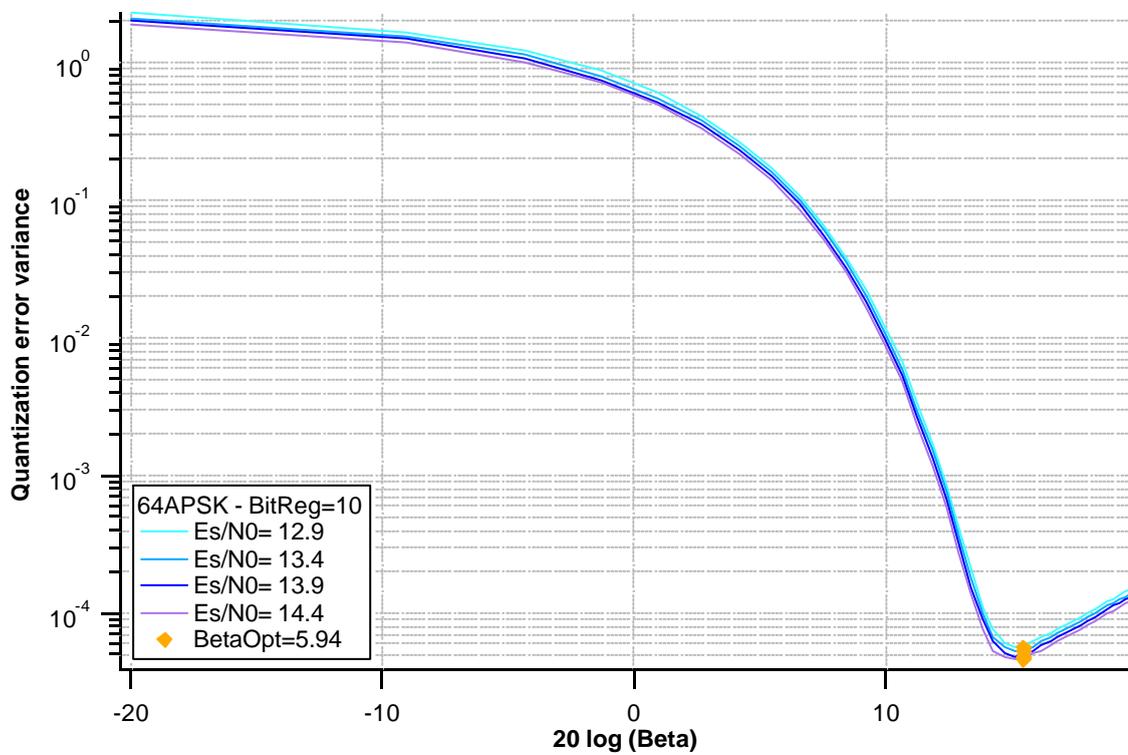


Figura 3.15f- Varianza dell'errore di quantizzazione per una 64APSK con b=10

I risultati ottenuti dalle simulazioni sono riassunti nella tabella 3.1:

$b$	$b_{OPT}$
2	1.37
3	2.38
4	2.89
5	3.65
6	4.16
7	4.50
8	5.15
9	5.55
10	5.94

Tabella 3.1- Valori ottimali della soglia del quantizzatore

I valori della soglia  $b_{OPT}$  sono quelli che minimizzano per tutte le costellazioni, dato un registro del quantizzatore di  $b$  bit, la varianza dell'errore di quantizzazione, in modo da attenuare al massimo l'errore di quantizzazione.

Vedremo nel prossimo paragrafo come fissato un certo valore di  $b_{OPT}$  si comporti il sistema in termini di BER al variare del numero di bit del registro del quantizzatore  $b$ .

### 3.4 – DIMENSIONAMENTO DEL REGISTRO DEL QUANTIZZATORE

In questo paragrafo si vedrà come, fissata una soglia ottimale  $b_{OPT}$ , il numero di bit del registro del quantizzatore influenza il sistema in termini di BER.

Dalla (3.5) poiché le componenti del segnale in ingresso al quantizzatore sono modellate come due processi gaussiani indipendenti a media nulla allora si può ottenere:

$$s_{TOT}^2 = P_S + P_N \quad (3.12)$$

dove la potenza del segnale ricevuto a IF può essere pensata come la somma della potenza del segnale utile  $P_S$  e di quella del rumore gaussiano introdotto dal canale  $P_N$ .

Inoltre dalla (3.8) nell'ipotesi che la dinamica del quantizzatore sia ben adattata alla dinamica del segnale, ossia per  $\mathbf{b} \simeq 1$ , il rumore di quantizzazione può essere considerato uniformemente distribuito in  $\left[-\frac{\Delta}{2}, +\frac{\Delta}{2}\right]$ , per cui come mostrato in [4] si può approssimare la varianza dell'errore di quantizzazione con:

$$\mathbf{s}_e^2 = P_Q \simeq \frac{\Delta^2}{12} \quad (3.13)$$

dove con  $P_Q$  si è indicata la potenza del rumore di quantizzazione.

Si richiede allora di determinare il minimo numero di bit  $b$  del registro del quantizzatore in modo da ottenere che la potenza del rumore di canale sia significativamente maggiore di quella del rumore di quantizzazione, ossia che, definito un coefficiente  $\mathbf{g}$ :

$$P_N \geq \mathbf{g} P_Q \quad (3.14)$$

Ipotizzando  $b$  sufficientemente grande e sostituendo nella (3.14) le equazioni (2.18), (3.9), (3.12), (3.13), dopo alcune manipolazioni si ottiene:

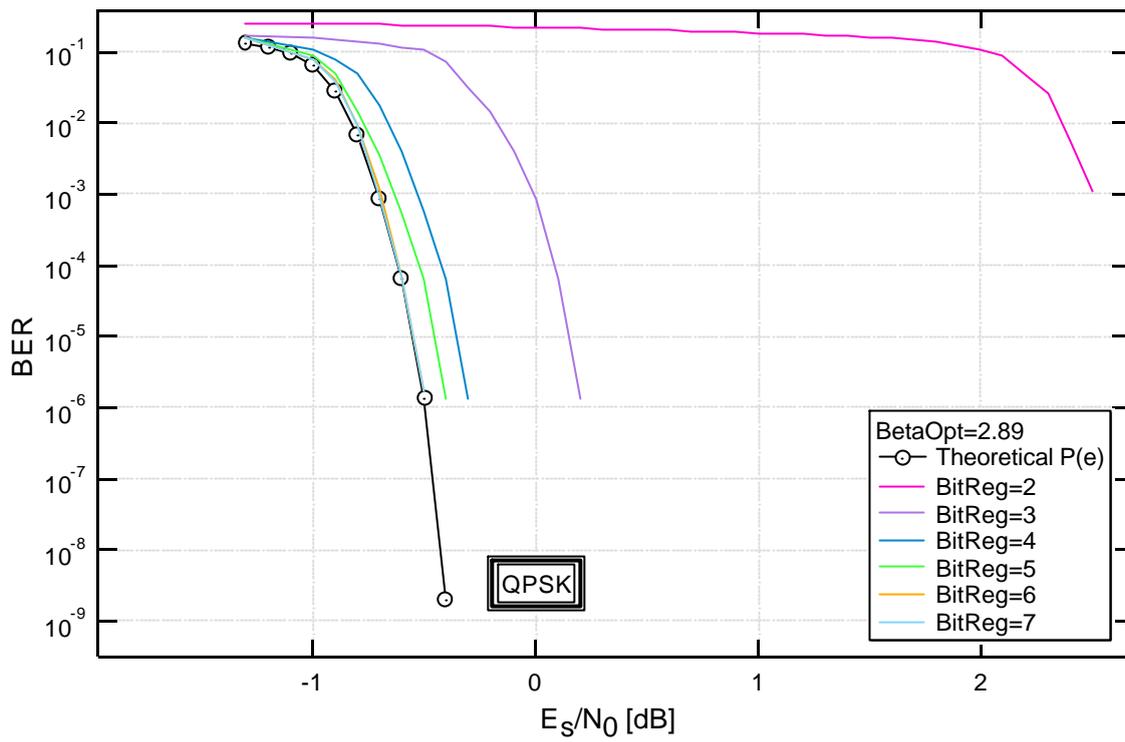
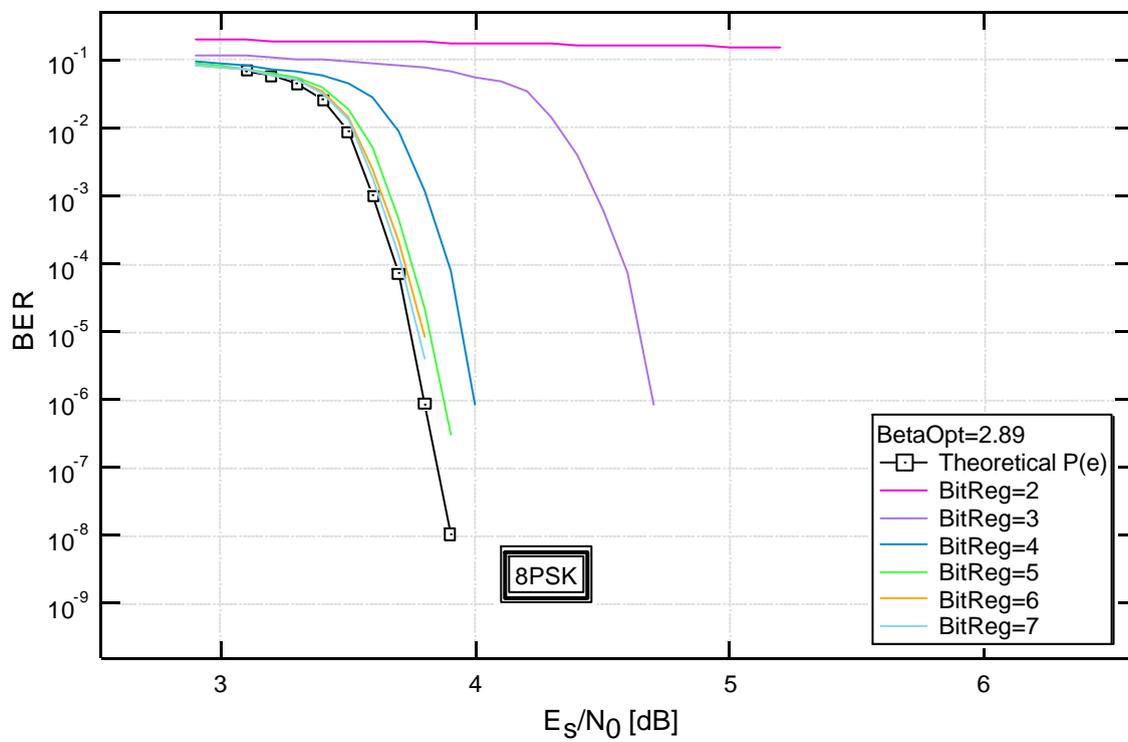
$$b \geq \frac{1}{2} \log_2 \left[ \frac{\mathbf{g} \mathbf{b}^2}{3} (SNR + 1) \right] \quad (3.15)$$

avendo definito il rapporto segnale-rumore come:

$$SNR \triangleq \frac{P_S}{P_N} \quad (3.16)$$

L'equazione (3.15) ci assicura un limite inferiore di  $b$  a seconda delle prestazioni desiderate.

Ad esempio per ottenere  $\mathbf{g} = 10$  con  $\mathbf{b} = 4.16$ ,  $SNR|_{dB} = 20$  si deve avere almeno  $b \geq 6$  mentre se vogliamo  $\mathbf{g} = 100$  si deve avere almeno  $b \geq 8$ .

Figura 3.16a- BER per una QPSK con  $b_{OPT}=2.89$ Figura 3.16b- BER per una 8PSK con  $b_{OPT}=2.89$

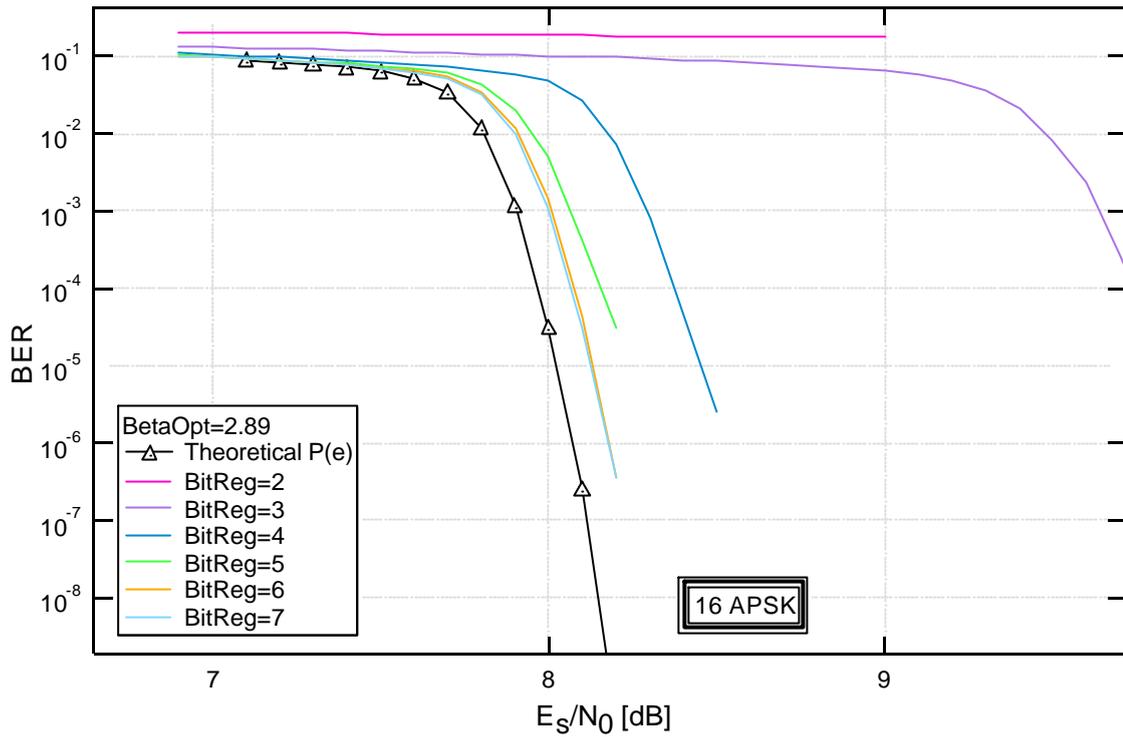


Figura 3.16c- BER per una 16APSK con  $b_{OPT}=2.89$

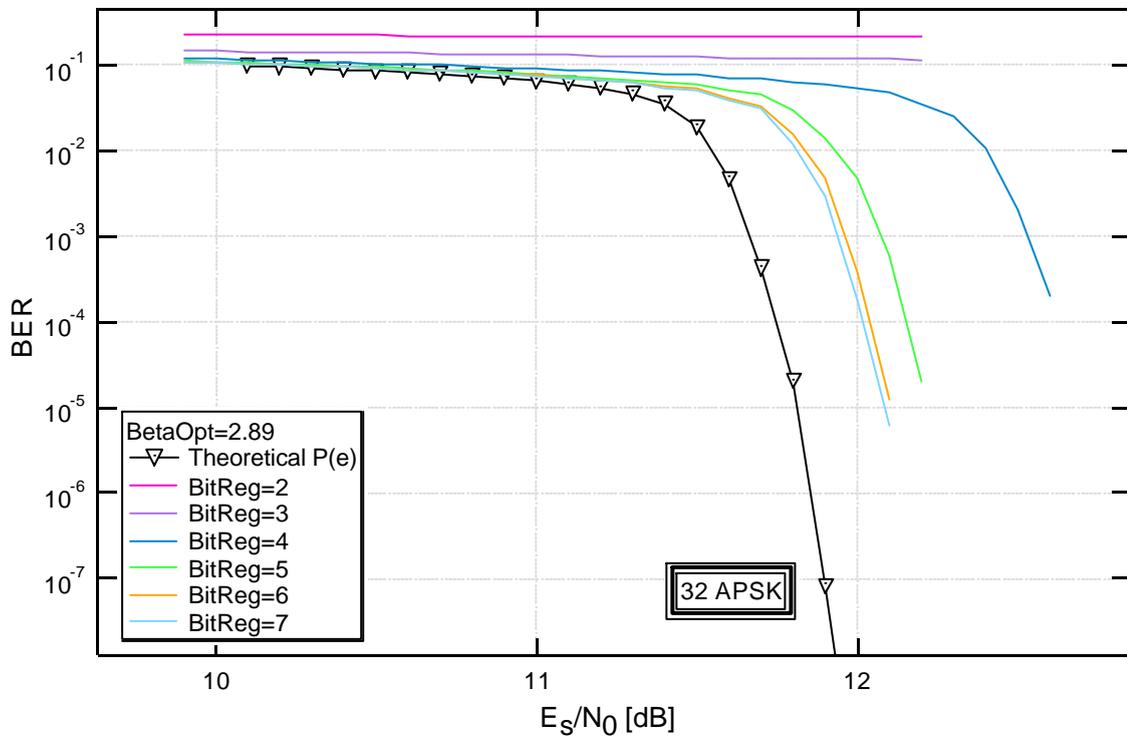


Figura 3.16d- BER per una 32APSK con  $b_{OPT}=2.89$

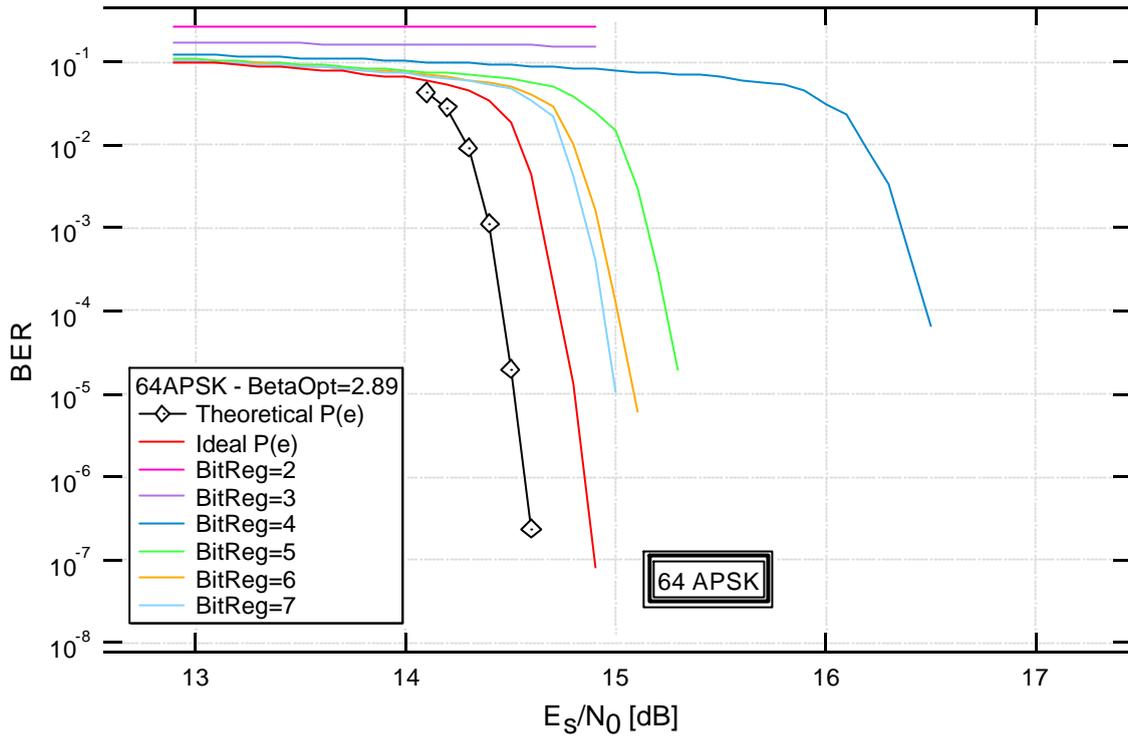


Figura 3.16e- BER per una 64APSK con  $b_{OPT}=2.89$

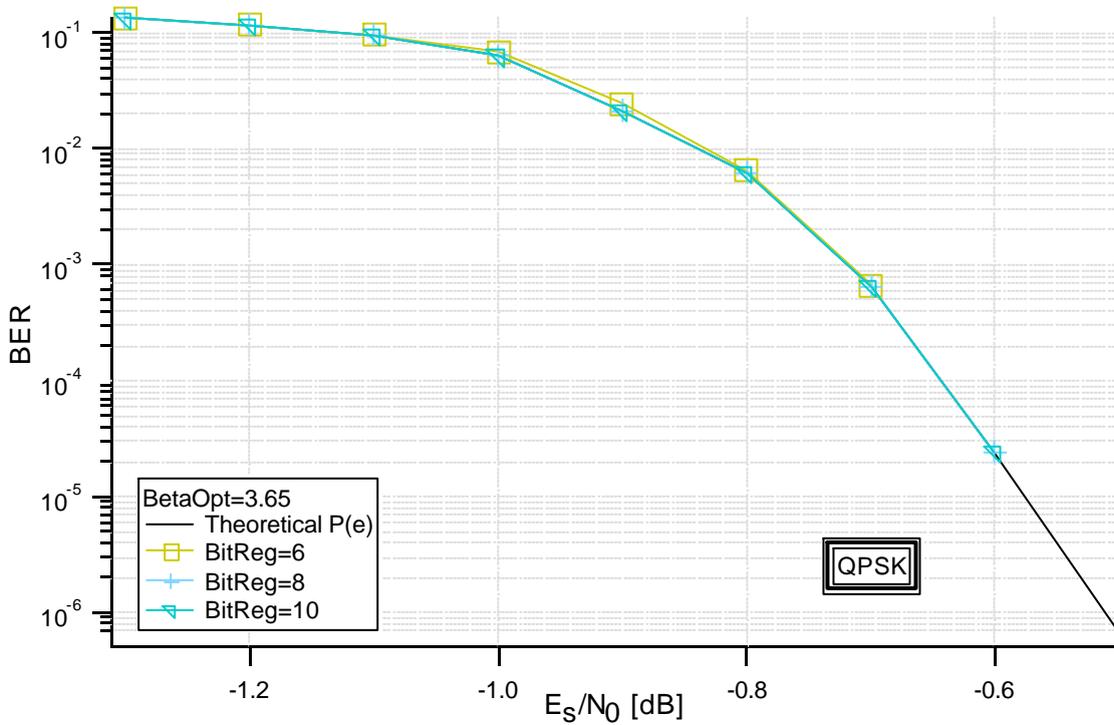


Figura 3.17a- BER per una QPSK con  $b_{OPT}=3.65$

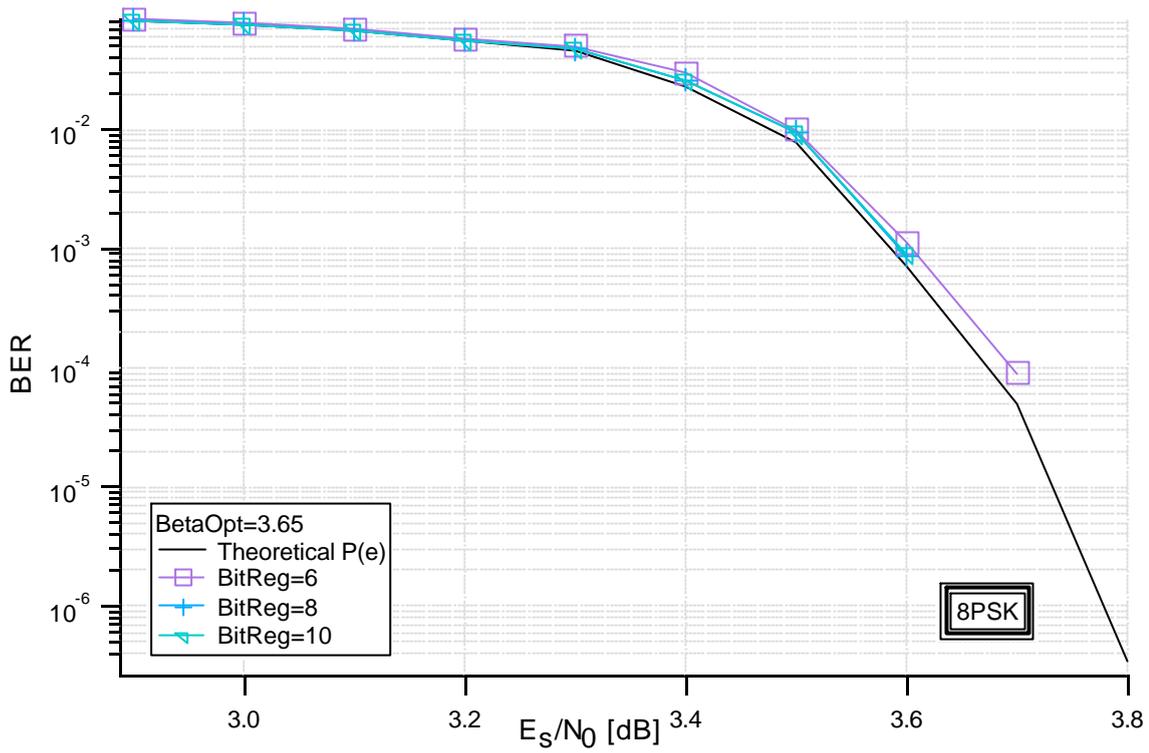


Figura 3.17b- BER per una 8PSK con  $\beta_{OPT}=3.65$

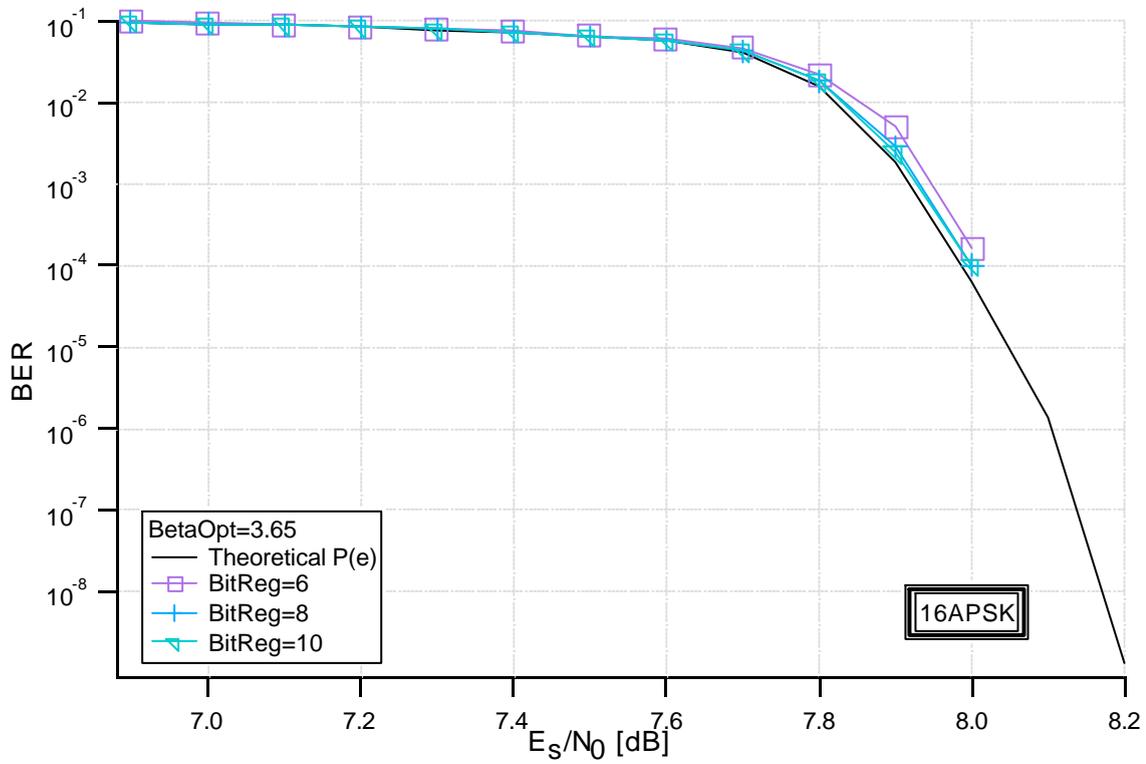


Figura 3.17c- BER per una 16APSK con  $\beta_{OPT}=3.65$

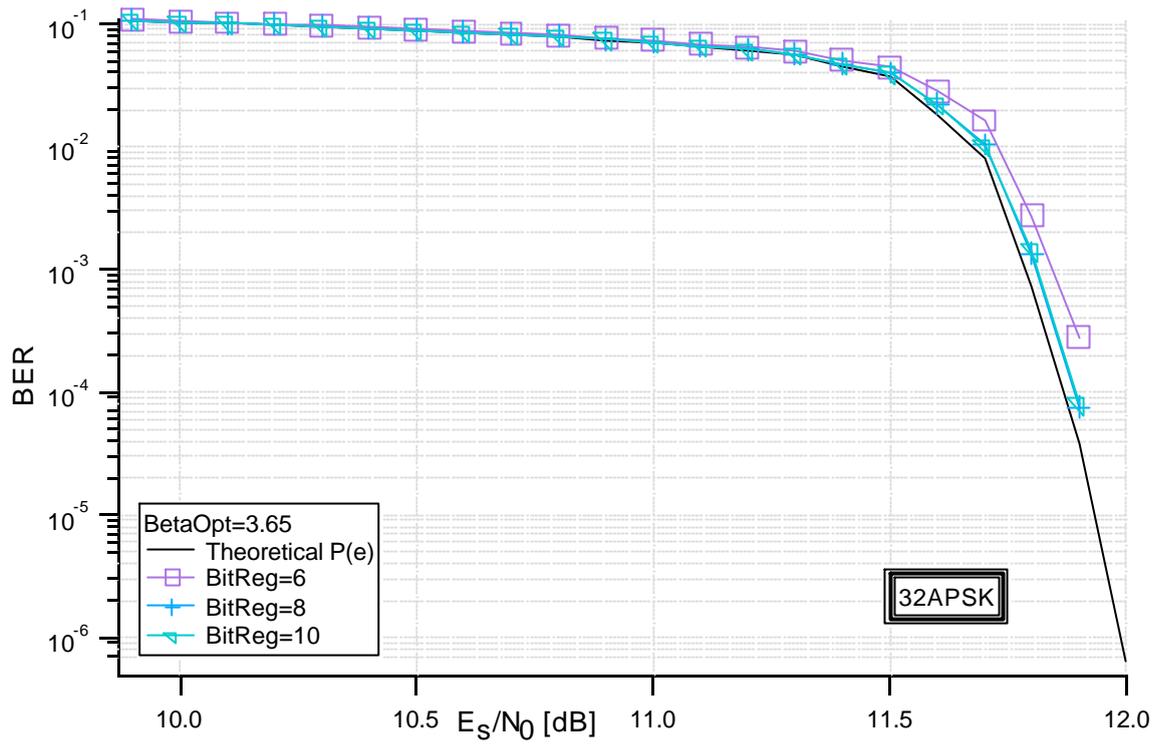


Figura 3.17d- BER per una 32APSK con  $b_{OPT}=3.65$

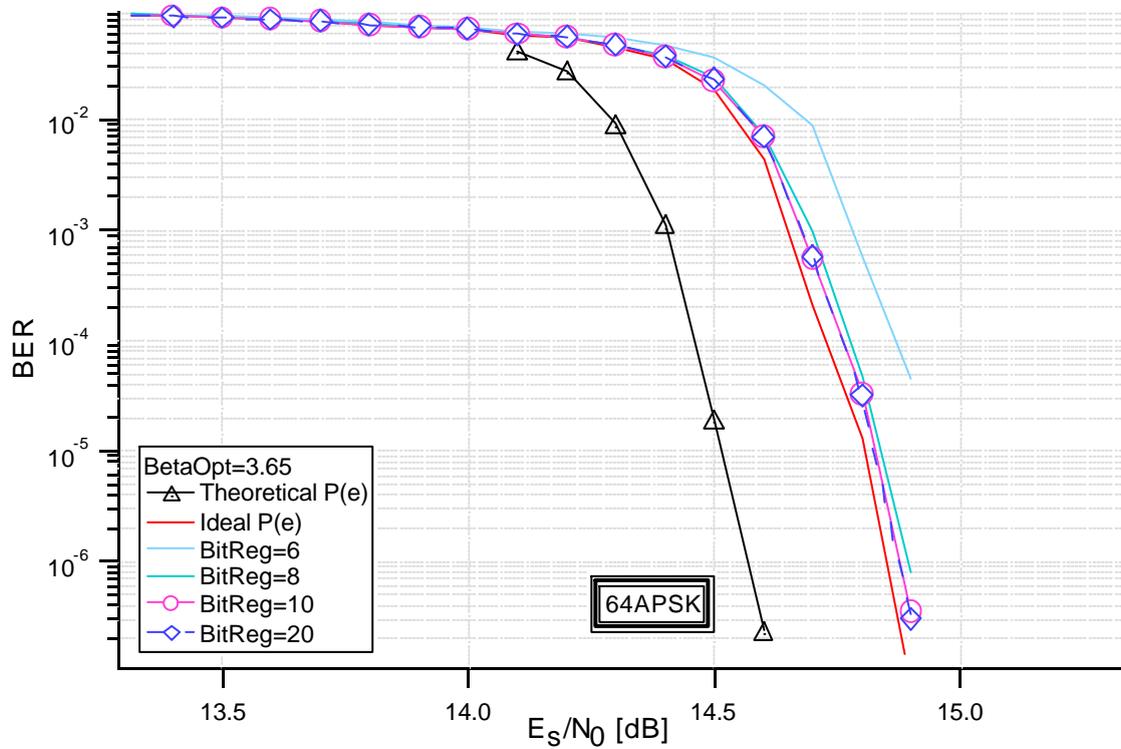


Figura 3.17e- BER per una 64APSK con  $b_{OPT}=3.65$

Nella figure 3.16 e 3.17 si riportano alcune simulazioni per diversi valori della soglia ottimale  $b_{OPT}$  al variare del numero di bit  $b$  del registro del quantizzatore, per tutte le costellazioni.

Dalle simulazioni effettuate al calcolatore si può osservare come, fissata una soglia ottimale, aumentare il numero di bit  $b$  del registro oltre un certo limite non introduca ulteriori miglioramenti in termini di BER, non potendo ridurre ulteriormente l'errore di quantizzazione. Aumentare  $b$  comporta invece un appesantimento del sistema in termini di elaborazione dei dati e di registri delle memorie. Si deve allora cercare il più piccolo  $b$  possibile che garantisca prestazioni in termini di BER il più possibile vicine a quelle ideali, congiuntamente con la scelta della soglia ottima adeguata.

Osservando infatti le figure 3.17a – 3.17d si nota come già con una soglia di solo  $b_{OPT} = 3.65$  si ottengono prestazioni in termini di BER molto vicine a quelle ideali.

Dalla figura 3.17e infine si osserva, come già accennato, che la costellazione 64APSK è quella più suscettibile al problema della quantizzazione, ed inoltre si può anche notare come non ci sia nessuna differenza tra l'utilizzo di un registro con  $b = 10$  bit piuttosto che un registro con  $b = 20$  bit.

Quindi per migliorare ulteriormente le prestazioni del sistema si può solamente aumentare ancora la soglia del quantizzatore in modo da ottenere prestazioni ideali.

Solo un confronto congiunto tra i risultati di questo paragrafo e quelli del paragrafo precedente ci permetterà di ottimizzare il quantizzatore in termini di BER, come vedremo nel prossimo paragrafo.

### **3.5 – OTTIMIZZAZIONE DEL QUANTIZZATORE**

Nel paragrafo precedente si è visto come considerare un numero di bit eccessivamente alto, ad esempio  $b > 10$ , sia ininfluenza ai fini della BER del sistema, fissata una certa soglia.

Si è allora fatto un confronto fissando  $b = 10$  e facendo variare la soglia tra i valori ottimali, come mostrato in figura 3.18.

Come si può vedere il valore minimo della soglia ottimale che permette prestazioni del sistema in termini di BER praticamente coincidenti con quelle ideali è  $b_{OPT} = 4.16$ .

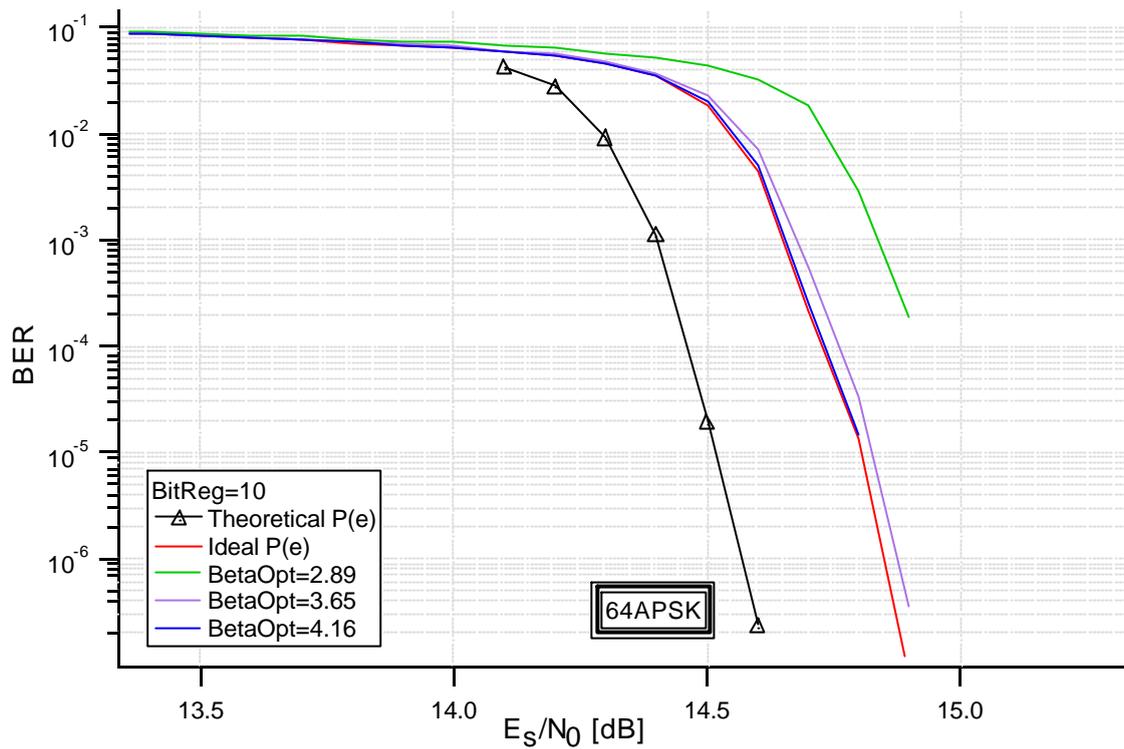


Figura 3.18- BER per una 64APSK con  $b = 10$  al variare della soglia del quantizzatore

Si sono fatti infine ulteriori confronti, al variare di  $b$  tra i valori  $b = 8$  e  $b = 10$ , per tutte le costellazioni, come riportato nelle figure 3.19a - 3.19e, tra la soglia ottima appena determinata  $b_{OPT} = 4.16$  ed il valore successivo  $b_{OPT} = 4.50$ , visto che anche se un aumento della soglia non migliora le prestazioni in termini di BER può comunque assicurare all'intero sistema una maggiore stabilità nei confronti di eventuali fluttuazioni dell'ampiezza del segnale in ingresso e non ha alcuno svantaggio dal punto di vista implementativo.

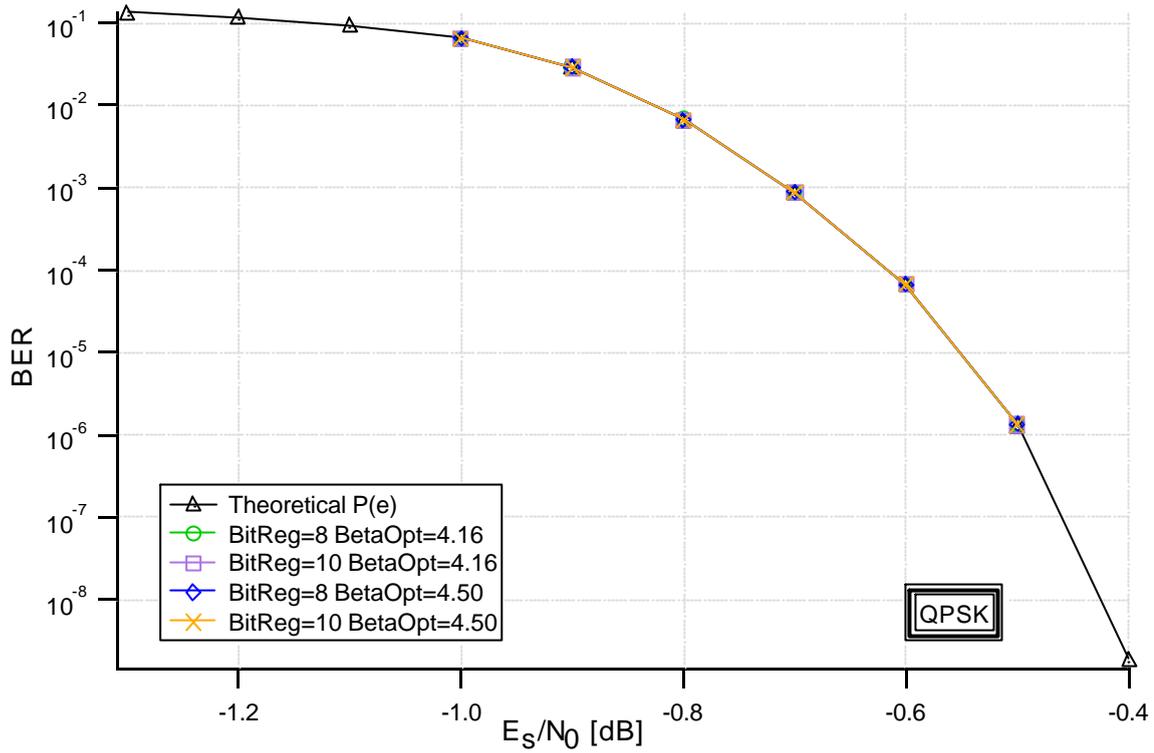


Figura 3.19a- Confronto fra  $b = 8$  e  $b = 10$ ,  $b_{OPT} = 4.16$  e  $b_{OPT} = 4.50$  per una QPSK

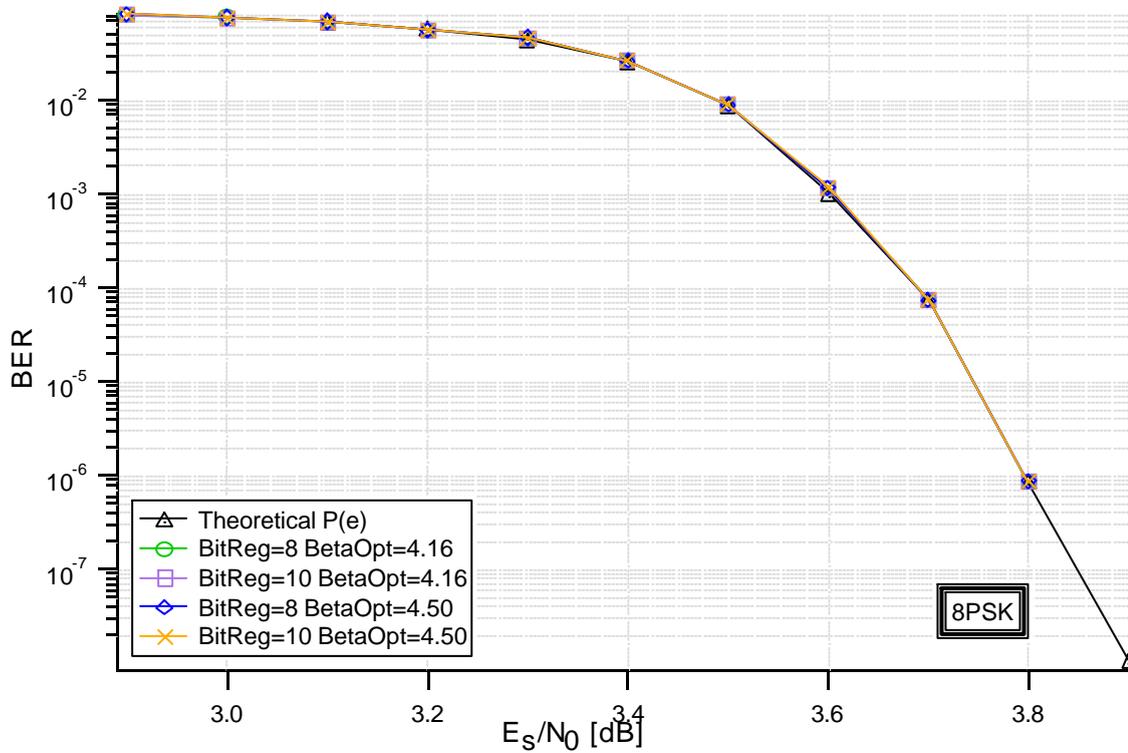


Figura 3.19b- Confronto fra  $b = 8$  e  $b = 10$ ,  $b_{OPT} = 4.16$  e  $b_{OPT} = 4.50$  per una 8PSK

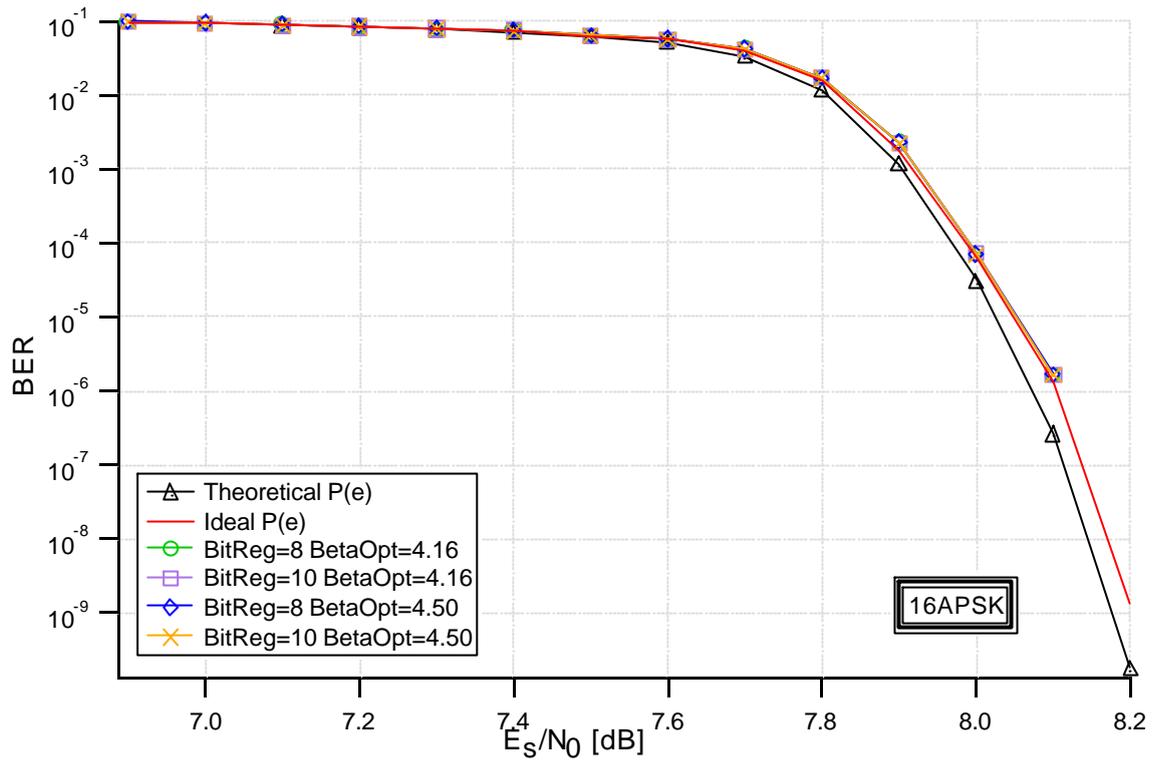


Figura 3.19c- Confronto fra  $b = 8$  e  $b = 10$ ,  $\mathbf{b}_{OPT} = 4.16$  e  $\mathbf{b}_{OPT} = 4.50$  per una 16APSK

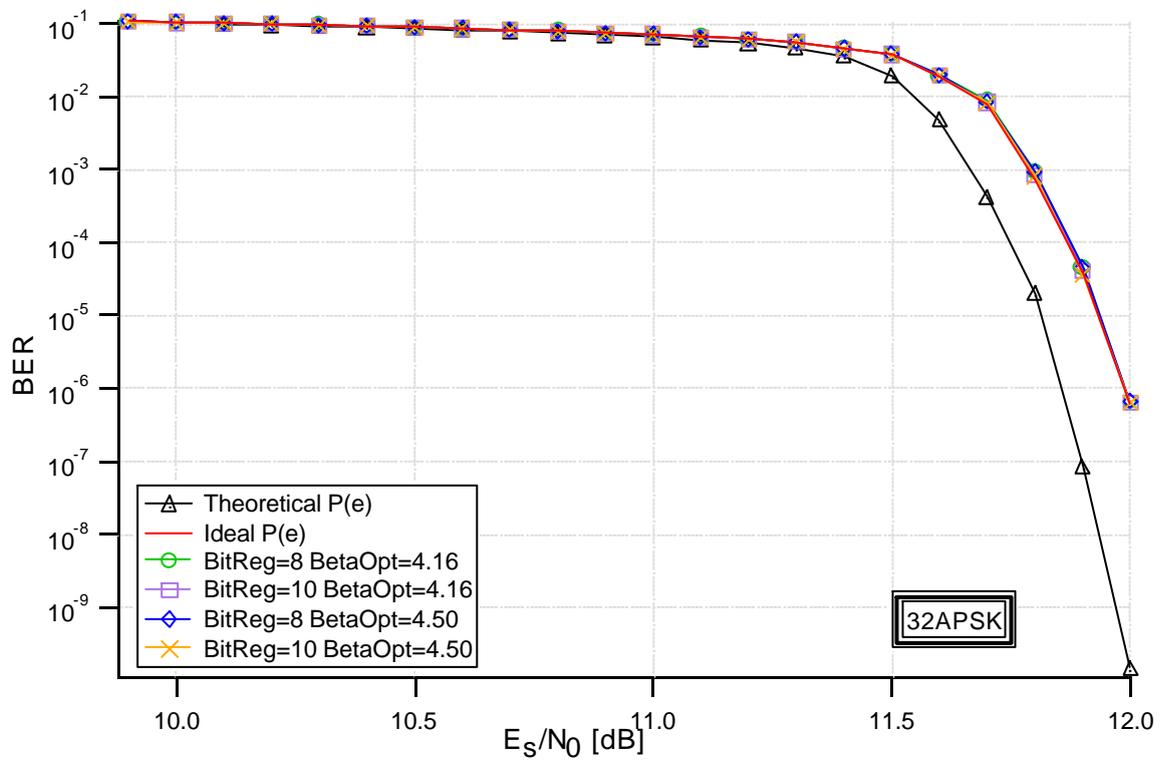


Figura 3.19d- Confronto fra  $b = 8$  e  $b = 10$ ,  $\mathbf{b}_{OPT} = 4.16$  e  $\mathbf{b}_{OPT} = 4.50$  per una 32APSK

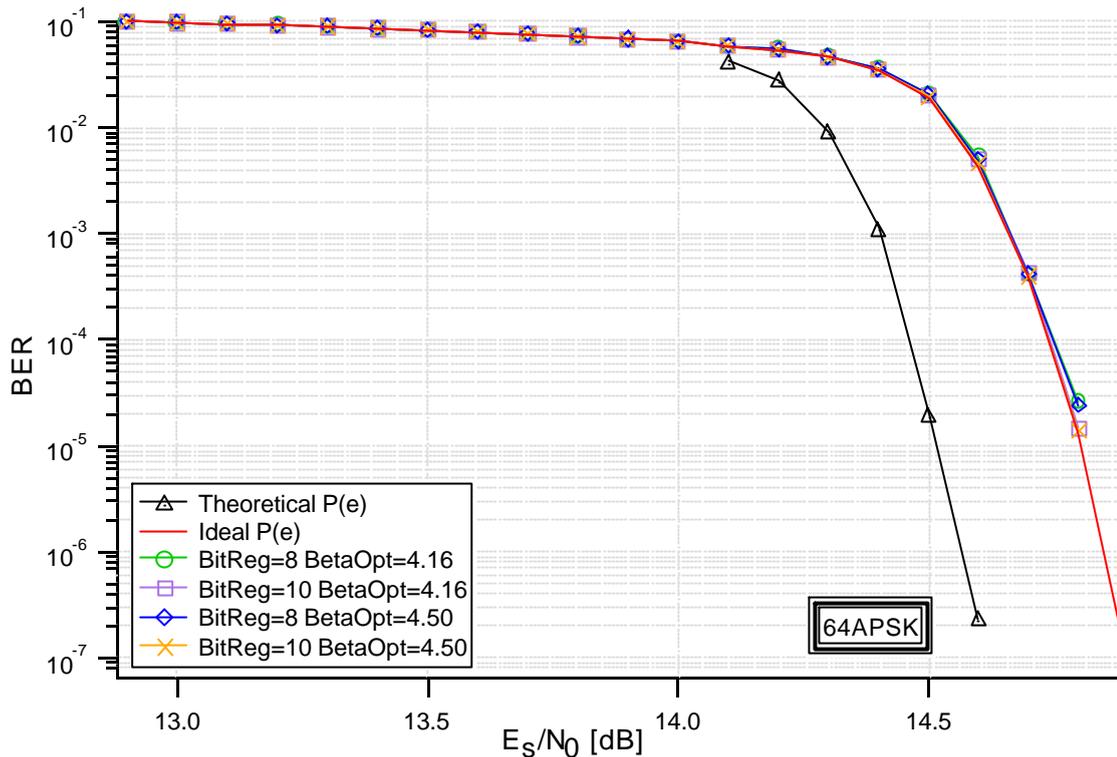


Figura 3.19e- Confronto fra  $b = 8$  e  $b = 10$ ,  $b_{OPT} = 4.16$  e  $b_{OPT} = 4.50$  per una 64APSK

Mentre per tutte le altre costellazioni le quattro casistiche evidenziate si equivalgono, nel caso della costellazione 64APSK evidenziato in figura 3.19e si può notare che le condizioni ideali vengono perfettamente raggiunte nel caso di alti rapporti segnale rumore solo nel caso  $b = 10$ , indipendentemente dal valore massimo della soglia del quantizzatore.

In conclusione possiamo allora affermare che i valori ottimali per il quantizzatore del sistema MHOMS sono:

$$b_{OPT} = 10$$

$$b_{OPT} = 4.50$$

dove per la soglia si è scelto il valore maggiore in modo da assicurare al sistema una maggiore stabilità nei confronti di eventuali fluttuazioni del segnale che potrebbero portare una costellazione come la 64APSK nella zona di saturazione del quantizzatore.