

Progetto Predistorsione Adattiva

Luca Nicoli

Febbraio 2024

1 Introduzione

L'obiettivo del progetto è quello di implementare un blocco, detto predistorsore, da applicare ad un segnale che verrà successivamente amplificato da un amplificatore non lineare. Tale amplificatore, per la sua non linearità, amplierà lo spettro del segnale elaborato e ridurrà il BER. Il concetto del predistorsore è quello di creare un amplificatore non lineare la cui funzione di trasferimento sia l'inversa del vero e proprio amplificatore. L'amplificatore è modellizzabile matematicamente attraverso il Rapp model.

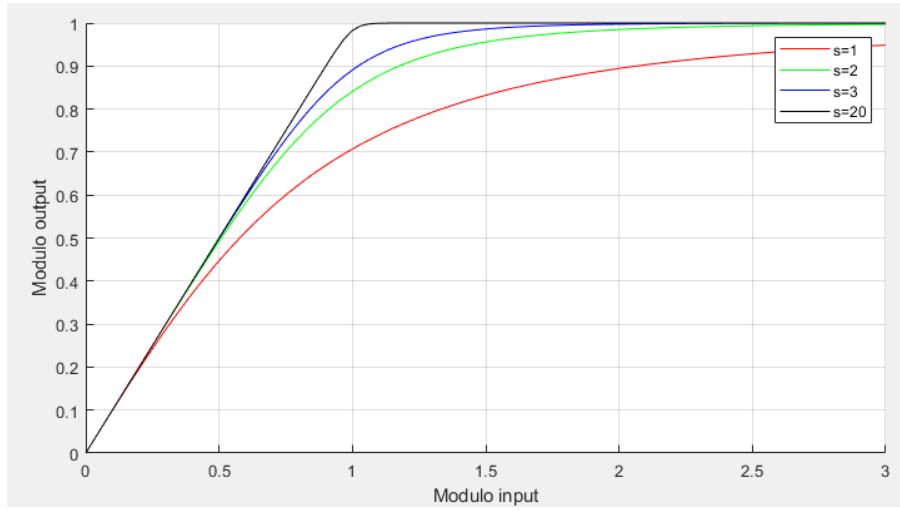


Figure 1: uscita, in modulo, dell'amplificatore basato sul Rapp model per vari valori del parametro s . La potenza di saturazione e il guadagno sono pari a 1.

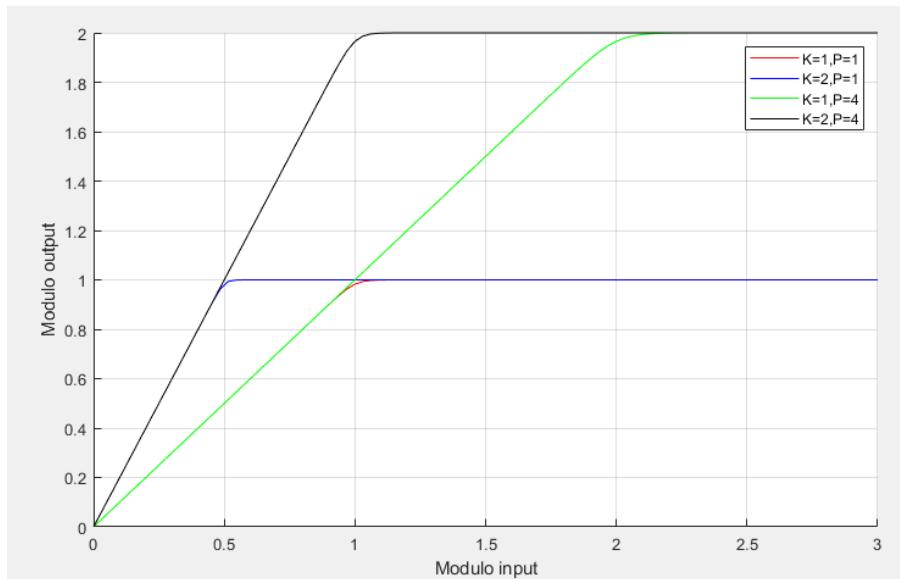


Figure 2: uscita, in modulo, dell'amplificatore basato sul Rapp model per vari valori dei paramentri K e P_{sat} con $s = 20$.

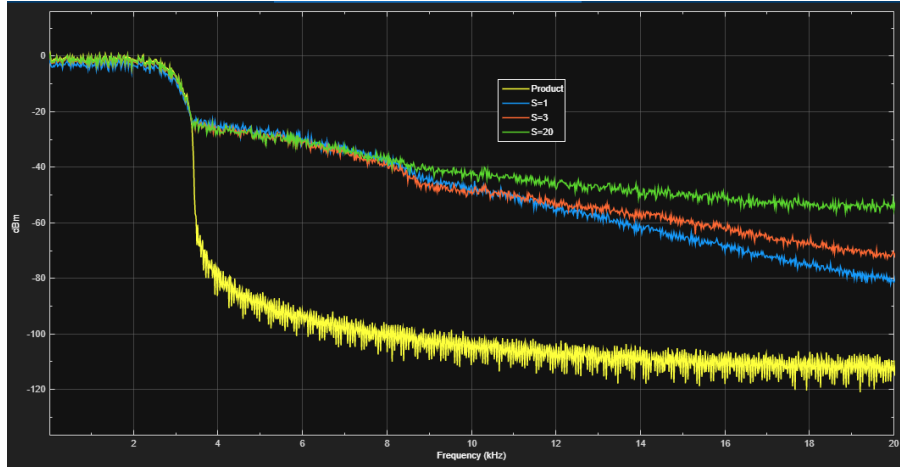


Figure 3: Spettro del segnale reale distorto confrontato con l'input.

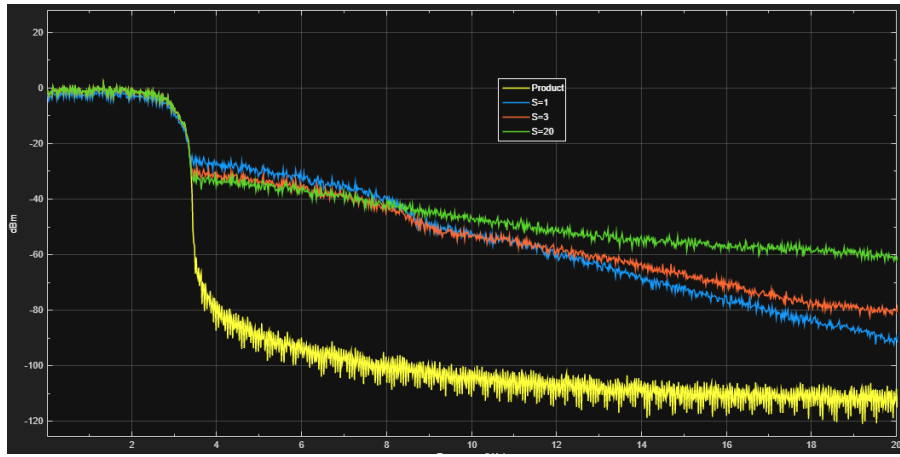


Figure 4: Spettro del segnale complesso distorto confrontato con l'input.

Definiamo x il segnale all'ingresso del predistorsore, y il segnale elaborato dal predistorsore e z il segnale all'uscita dell'amplificatore. $z = K \cdot x$ è quindi l'uscita ideale dell'amplificatore se fossimo in grado di invertire correttamente la funzione di trasferimento, con K il guadagno desiderato. Se si fosse a conoscenza dei parametri che lo caratterizzano, si potrebbe invertire facilmente la funzione di trasferimento essendo una funzione biunivoca, a patto che $K^2 |x|_{max}^2 = |z|_{max}^2 < P_{sat}$.

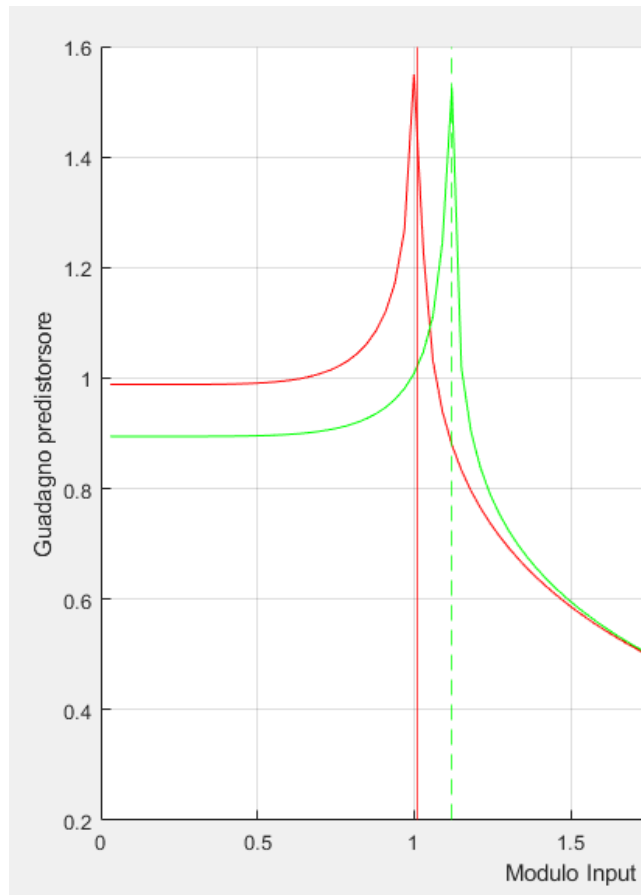


Figure 5: Guadagno del predistorsore ideale per diversi valori di K

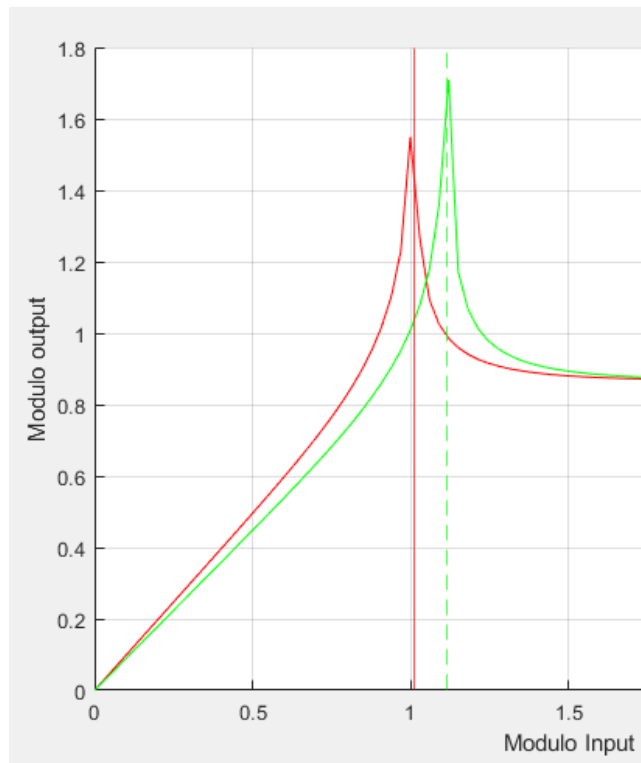


Figure 6: Output del predistorsore ideale per diversi valori di K

Possiamo notare dai grafici che, avvicinandoci alla soglia imposta dalla potenza di saturazione, il segnale diverge. (tutto ciò a destra della linea verticale va ignorato in quanto artefatto dovuto a componenti immaginarie). La linea rossa è caratterizzata da $K = \sqrt{0.977}$ mentre quella verde da $K = \sqrt{0.8}$.

Il segnale x all'ingresso del predistorsore è gaussiano. Questo implica che la condizione $K^2 |x|_{max}^2 = |z|_{max}^2 < P_{sat}$ possa non essere rispettata. Per evitare ciò, introduciamo volontariamente un blocco che satura il modulo del segnale se supera una soglia imposta (in questo caso a 1). L'operazione è detta Crest Factor Reduction, in quanto stiamo forzando la potenza di picco in uscita ad essere più vicina alla potenza media. Introduciamo anche un parametro λ che scala il segnale prima di entrare nel CR. Sia $OBO = \frac{P_{sat}}{E[|z|^2]}$. L'OBO è una misura effettuata all'amplificatore che mette a confronto la massima potenza di picco erogabile e la potenza media. Essa è correlata con il fattore di cresta CF. Un OBO maggiore indica una maggiore dinamica nel segnale. Ponendo $K = \sqrt{0.977}$ e $K = \sqrt{0.8}$, otteniamo rispettivamente un $OBO = 6.21 \text{ dB}$ e $OBO = 7.02 \text{ dB}$ con gain unitario dell'amplificatore e $s = 3$.

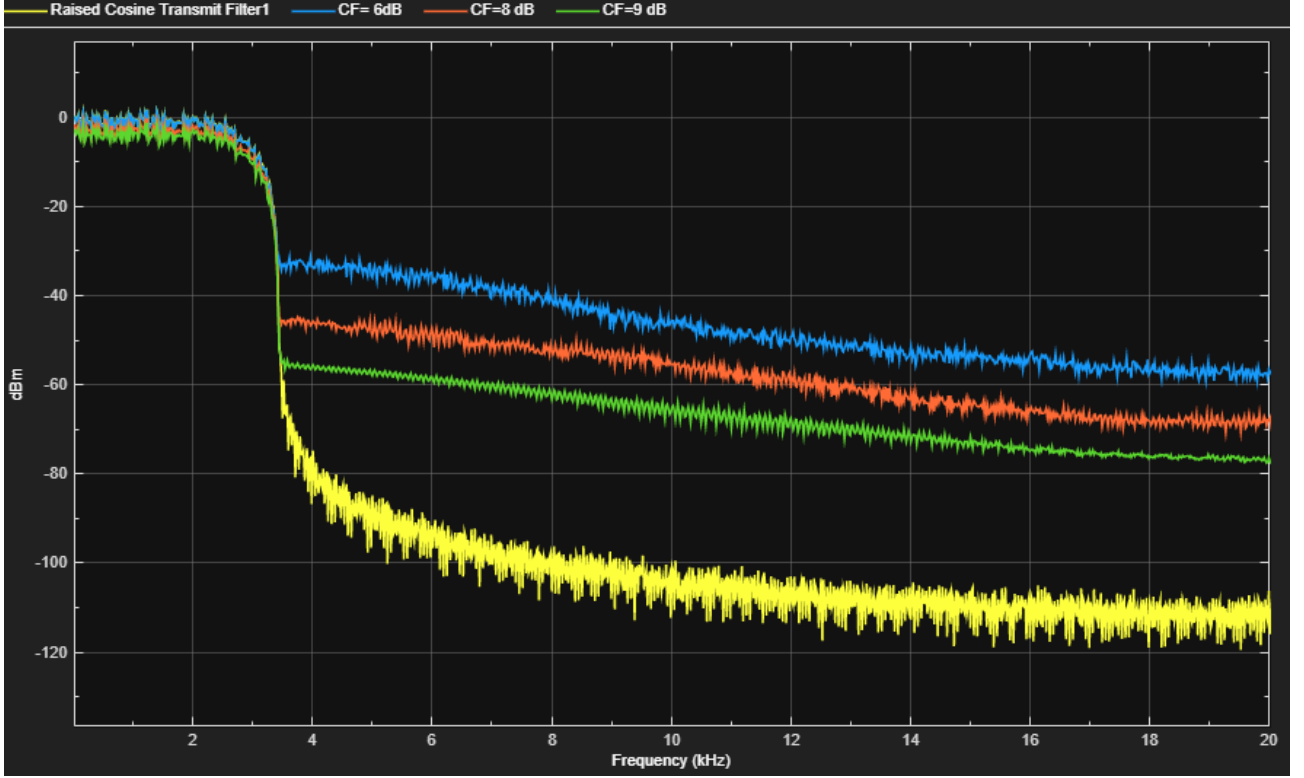


Figure 7: Distorsione dello spettro in base a vari valori del Crest Factor, il rapporto tra potenza di picco e potenza media. Valori ottenuti con $\lambda = 1, \lambda = 0.8$ e $\lambda = 0.71$

2 Predistorsore adattivo

Il problema fondamentale del sistema di predistorsione è che la funzione di trasferimento dell'amplificatore non ideale può variare nel tempo per fattori esterni quali la temperatura. Si introduce quindi un blocco adattivo che genera dei coefficienti per il guadagno del predistorsore tali per cui l'errore tra segnale in uscita dall'amplificatore e segnale ideale sia minimizzato. Esso è in grado di riconoscere in quale intervallo di quantizzazione cade il segnale x e fornisce al predistorsore i due coefficienti necessari che verranno interpolati linearmente affinché in output ci sia il valore corretto di predistorsione.

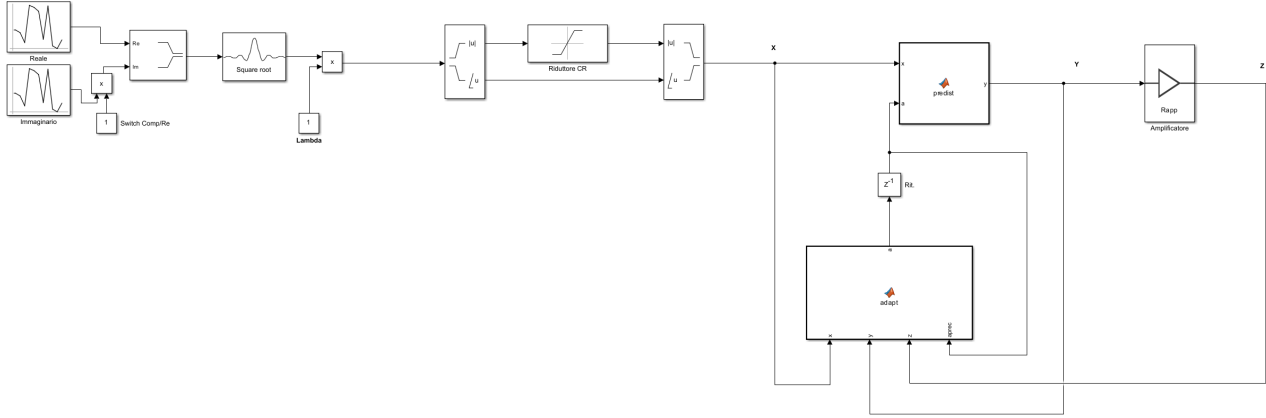


Figure 8: Schema generale del sistema.

Il vettore dei coefficienti è inizializzato a 1, ovvero a guadagno unitario. Ponendo lo step-size $\gamma = 0.4$, si converge velocemente a una caratteristica del predistorsore che è simile a quella ideale.

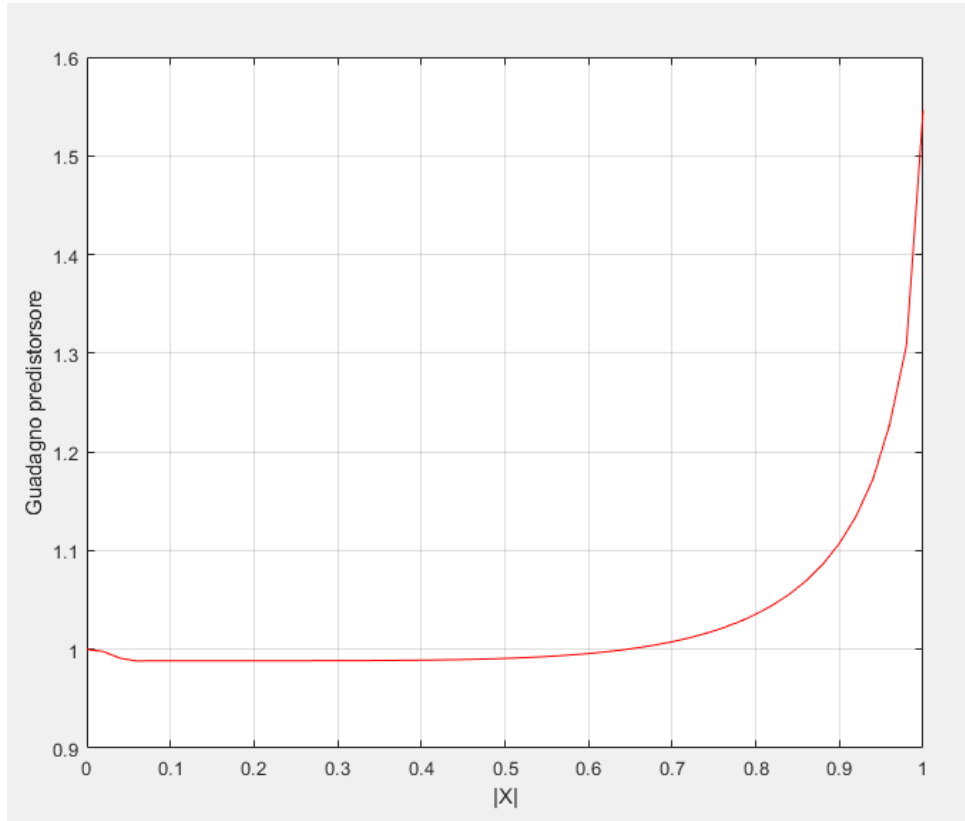


Figure 9: Caratteristica del predistorsore costruita tramite l'adaption.

$$K = \sqrt{0.977} \text{ e } |x|_{max} = 1.$$

3 Misurazioni effettuate sul sistema

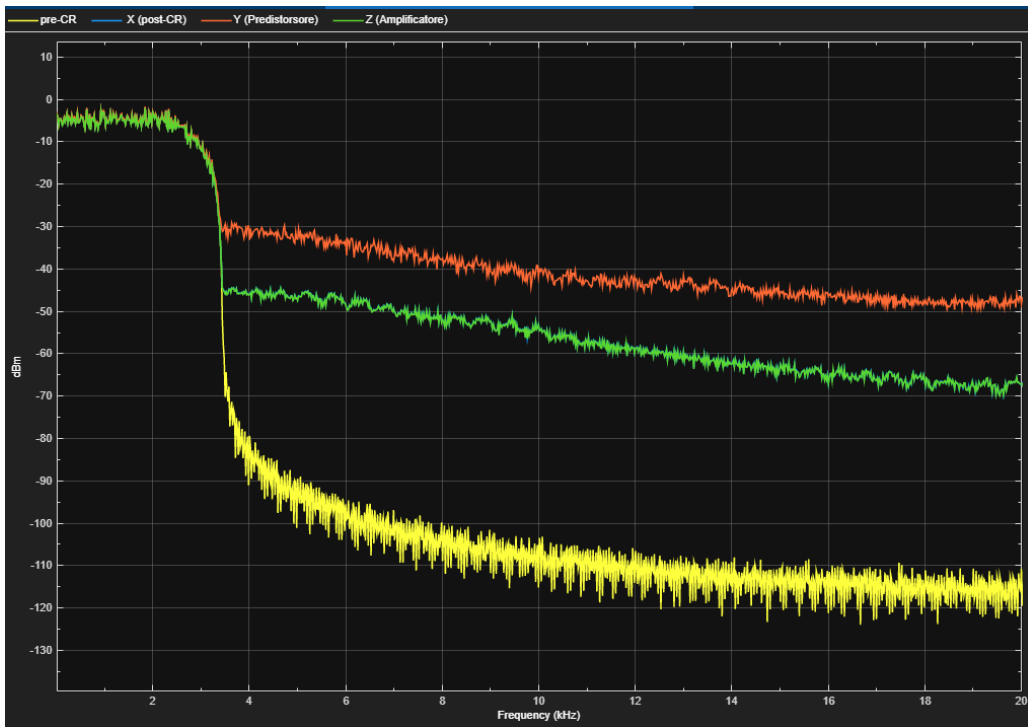


Figure 10: Spettro dell'ingresso pre-CR reale, di x , y e z .

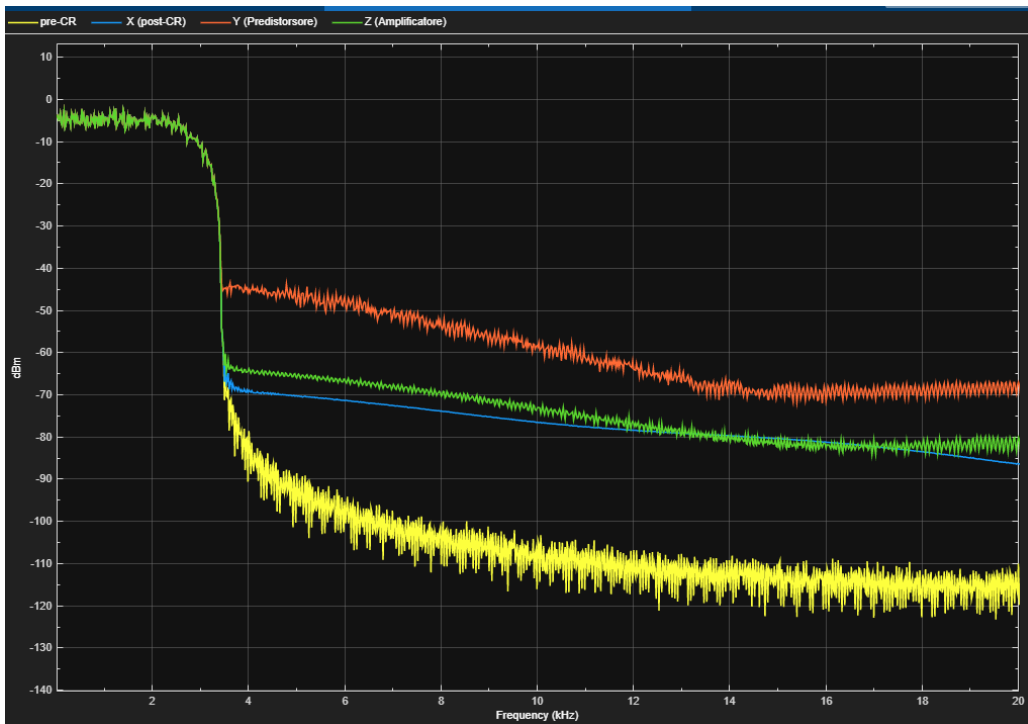


Figure 11: Spettro dell'ingresso pre-CR complesso, di x , y e z .

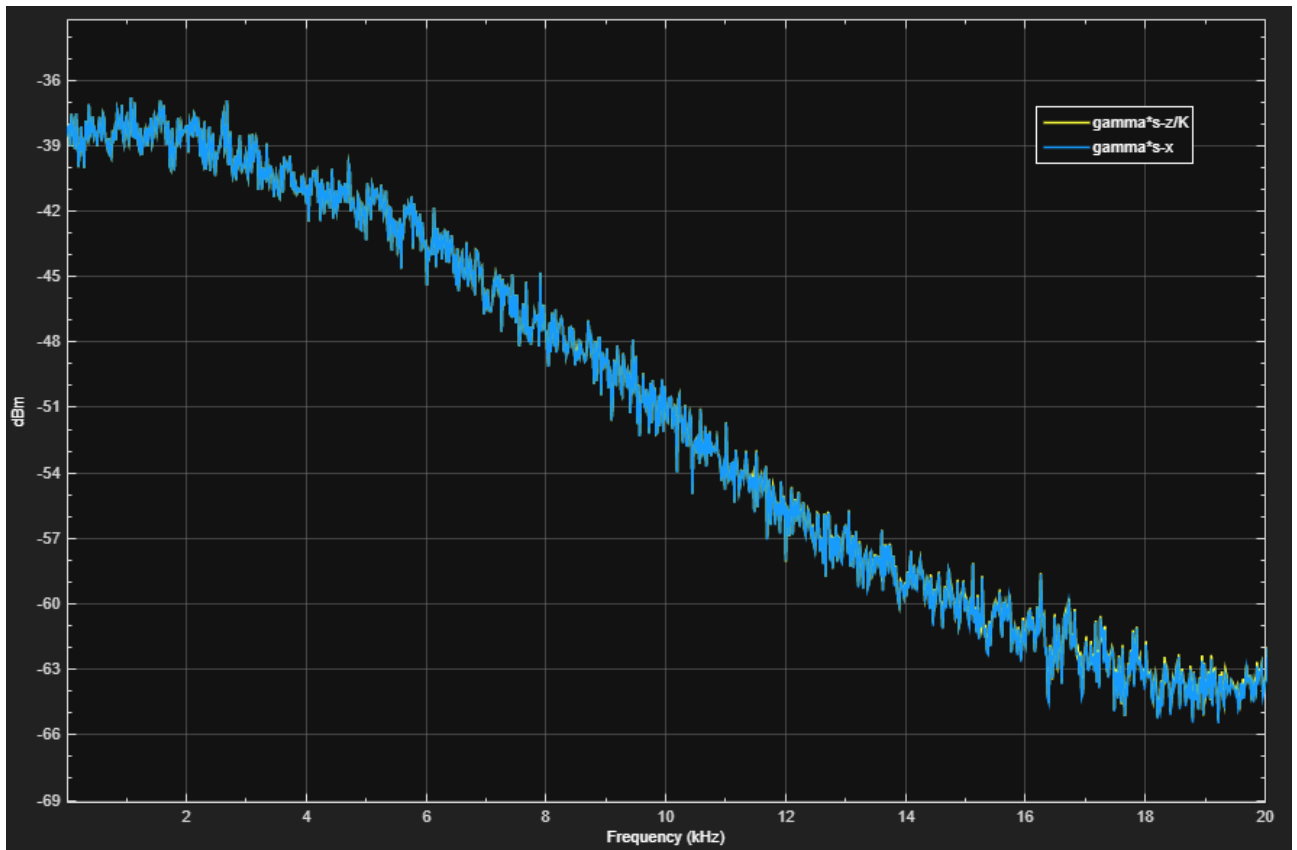


Figure 12: Spettro dell'errore con segnale reale.

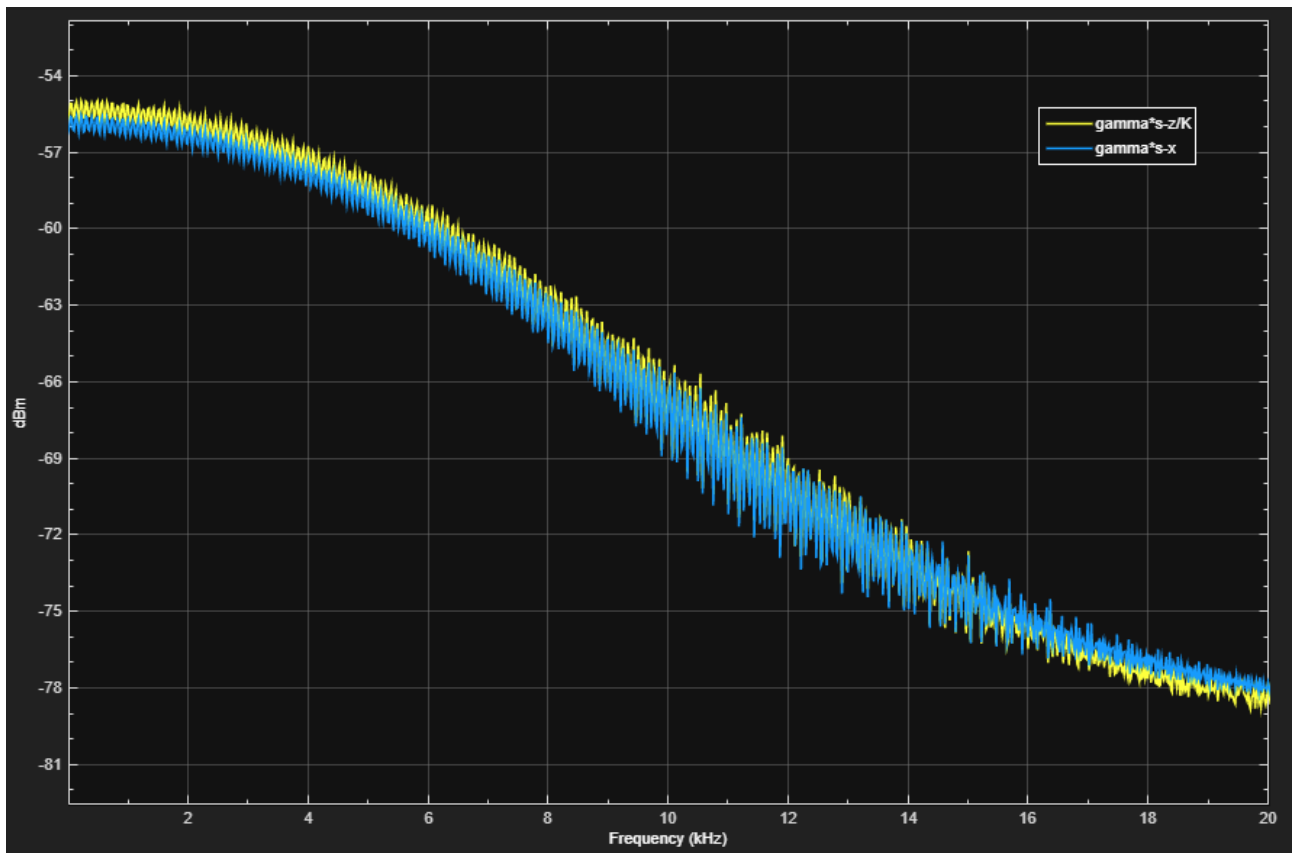


Figure 13: Spettro dell'errore con segnale complesso.

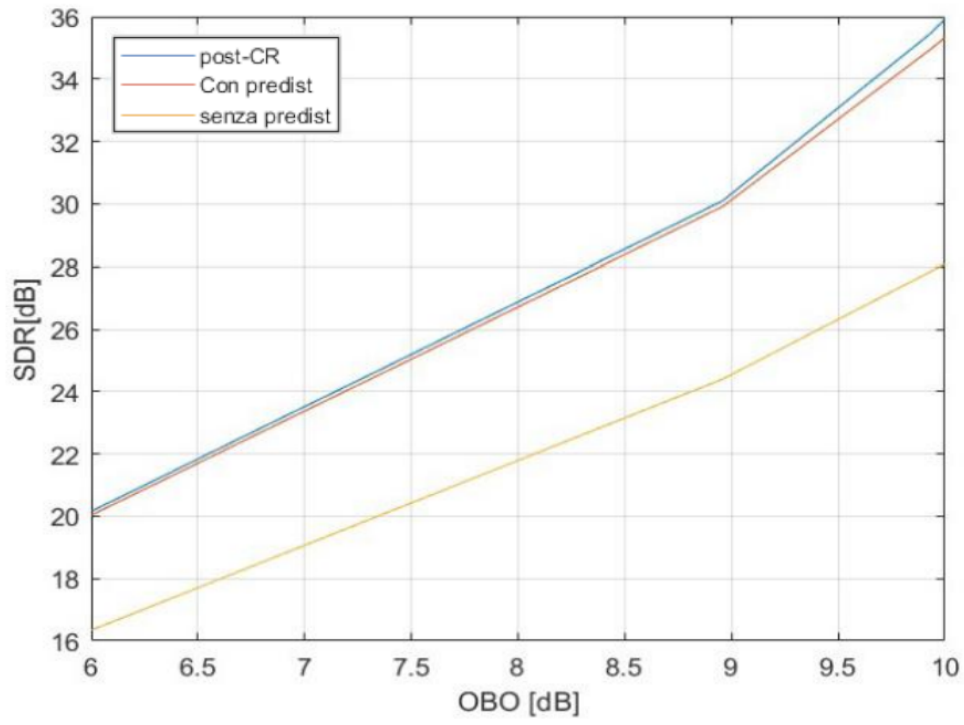


Figure 14: SDR in funzione dell'OBO con segnale reale.

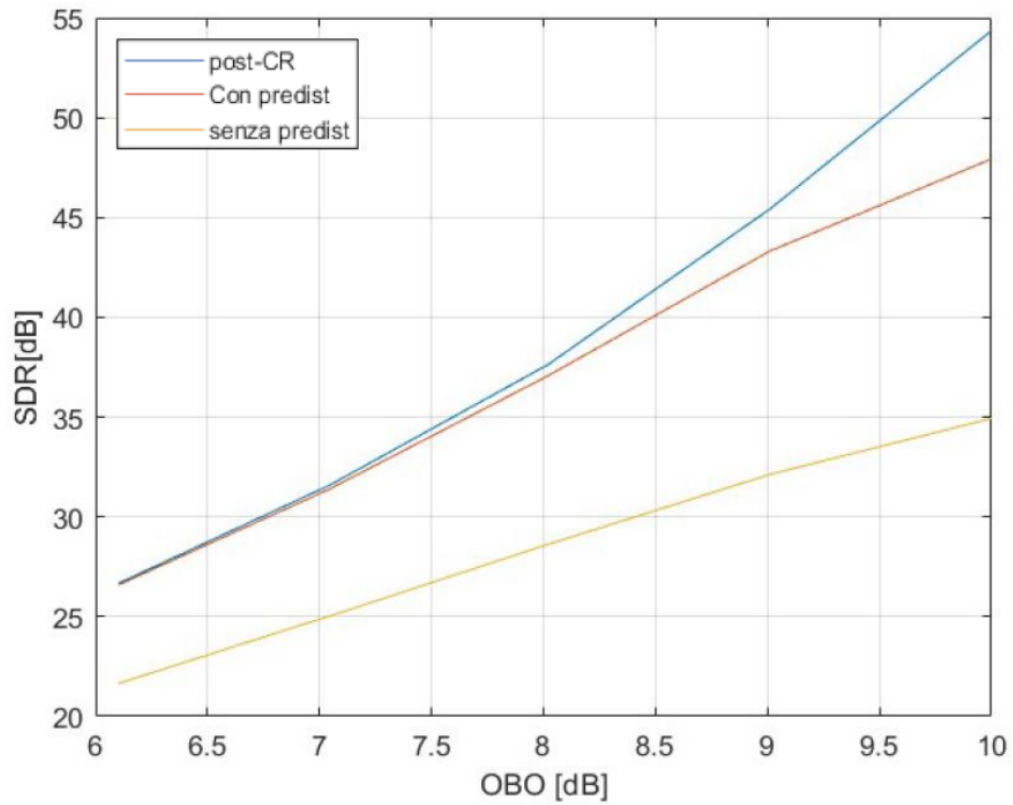


Figure 15: SDR in funzione dell'OBO con segnale complesso.

4 Analisi dei risultati

L'effetto del CR si può notare notando il segnale blu rispetto al giallo (il segnale di input): i valori che superano in modulo il valore 1 vengono troncati e ciò causa una distorsione evidente confrontando la coda del segnale pre-CR e post-CR.

il segnale z , invece, ha un contenuto spettrale minore rispetto a y , l'output del predistorsore, confermando la riduzione degli effetti non lineari dovuti all'amplificatore.

Andiamo poi ad analizzare due segnali di errore: la differenza tra il segnale prima del CR e dopo, per analizzare l'effetto in frequenza dovuto alla distorsione del CR, e la differenza tra il segnale prima del CR e quello in uscita dall'amplificatore (normalizzato al guadagno imposto).

Possiamo notare in entrambi i casi la distorsione è molto simile, ovvero che la maggior parte della distorsione è stata introdotta dal blocco CR.

Per quanto riguarda gli ultimi due grafici possiamo notare che, per valori di OBO maggiori (una maggiore dinamica nel segnale) il signal-to-distortion ratio cresce poiché l'amplificatore tronca in modo minore il segnale. A parità di OBO, il segnale complesso ha un SDR migliore del caso reale poiché il suo modulo va meno frequentemente nella zona non lineare.