

# Sistemi di Comunicazione

## Prova Finale

### Studenti:

Messina Giorgio  
Musso Riccardo  
Tulip Alex  
Vignolo Samuele

### Tutor:

Moro Stefano  
Scazzoli Davide

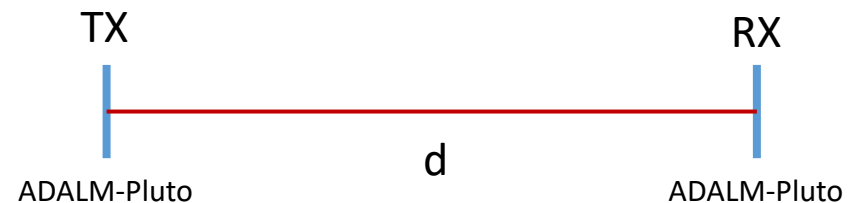
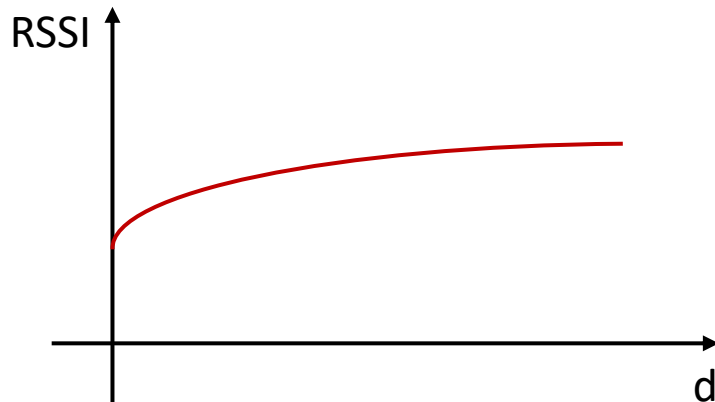


# Stima della distanza di canale



# Obiettivi

- Setup di un **sistema TX-RX** con modulazione **QPSK**
- Studio della **probabilità di bit errato (BER)** e di **simbolo errato (SER)** al variare del **rapporto segnale-rumore (SNR)**
- Rilevazione dell'**indicatore di potenza del segnale ricevuto (RSSI)**
- Sviluppo di un algoritmo di **stima della distanza** a partire dall'**RSSI**





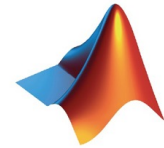
## ADALM-PLUTO SDR

Software Defined Radio utilizzate per la trasmissione e la ricezione



## MATLAB® & SIMULINK®

Sistema di comunicazione con misurazione di BER, SER e SNR



## GNU Radio

Rilevazione dell'RSSI e calcolo della stima della distanza





## RSSI

Acronimo di *Received Signal Strength Indicator*, è un valore che indica la **potenza ricevuta** a seguito dell'attenuazione dovuta al canale. Si misura in **-dBm**.

In spazio libero, la potenza del segnale si attenua con un andamento logaritmico rispetto alla distanza tra TX e RX.

Esistono diversi modelli per stimare la distanza a partire dal valore di attenuazione; i più comuni sono il modello di **propagazione in spazio libero** e il modello di perdita di canale log-distance.

Ai fini di questo progetto è stato scelto il modello log-distance, adatto a misurazioni in ambienti indoor e outdoor. Tuttavia, questo modello è sensibile ad errori dovuti al fenomeno di multipath e ad ambienti altamente riflettenti, come corridoi indoor.

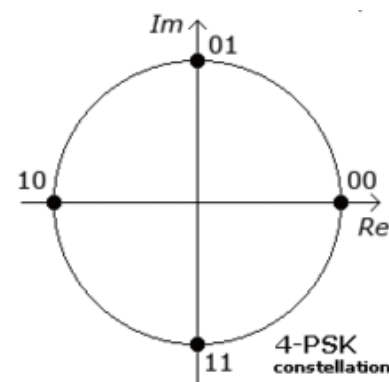
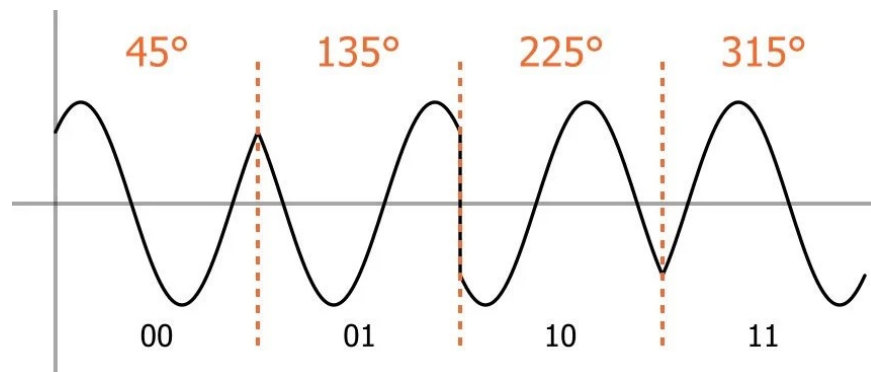
Tale modello prevede un'attenuazione logaritmica espressa matematicamente dalla seguente formula:  $RSSI = 10n \cdot \log_{10}(d) + A$ , dove:

- $n \rightarrow$  esponente di perdita di canale; calcolato per ogni ambiente e con valori tipici di 2 in situazioni outdoor e 1.6~1.8 in situazioni indoor.
- $d \rightarrow$  distanza, espressa in metri, tra TX e RX.
- $A \rightarrow$  valore dell'RSSI di riferimento a distanza di un metro.



## Modulazione PSK

Acronimo di *Phase Shift Keying*, è una modulazione numerica in cui l'informazione è codificata nella fase dell'onda portante che assume valori discreti in funzione della sequenza di simboli da trasmettere.



È possibile interpretare la modulazione PSK come una modulazione d'ampiezza con portanti in quadratura, in cui i simboli sono legati tra loro dalla fase.

Poiché l'ampiezza dell'onda è costante, anche la potenza trasmessa lo sarà. Questa caratteristica è stata valutata nella scelta di tale modulazione, ai fini della stima della distanza.



## SNR

Acronimo di *Signal to Noise Ratio*, è una grandezza numerica che mette in relazione la potenza del segnale utile rispetto a quella del rumore. Matematicamente è esprimibile come il rapporto tra la potenza del segnale e quella del rumore, ed è solitamente espresso in dB.

## BER

Acronimo di *Bit Error Ratio*, è il rapporto tra i bit non ricevuti correttamente e i bit trasmessi. Il BER evidenzia quanto viene perso o distorto a causa di disturbi e rumore nel canale di trasmissione.

---

In generale il BER dipende dall'SNR dopo la demodulazione e, se il rumore termico è l'unico disturbo, il BER ha un andamento esponenziale in funzione dell'SNR. Dunque il BER diventa rapidamente molto piccolo quando l'SNR aumenta (migliora).

La probabilità di bit errato per la M-PSK, valutata con Union Bound, è:

$$P_b(E) = \frac{2}{\log_2 M} * Q\left(\sqrt{2 \log_2 M \frac{E_b}{N_0} * \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)}\right)$$



# Modello per la stima della distanza

## Stima della distanza

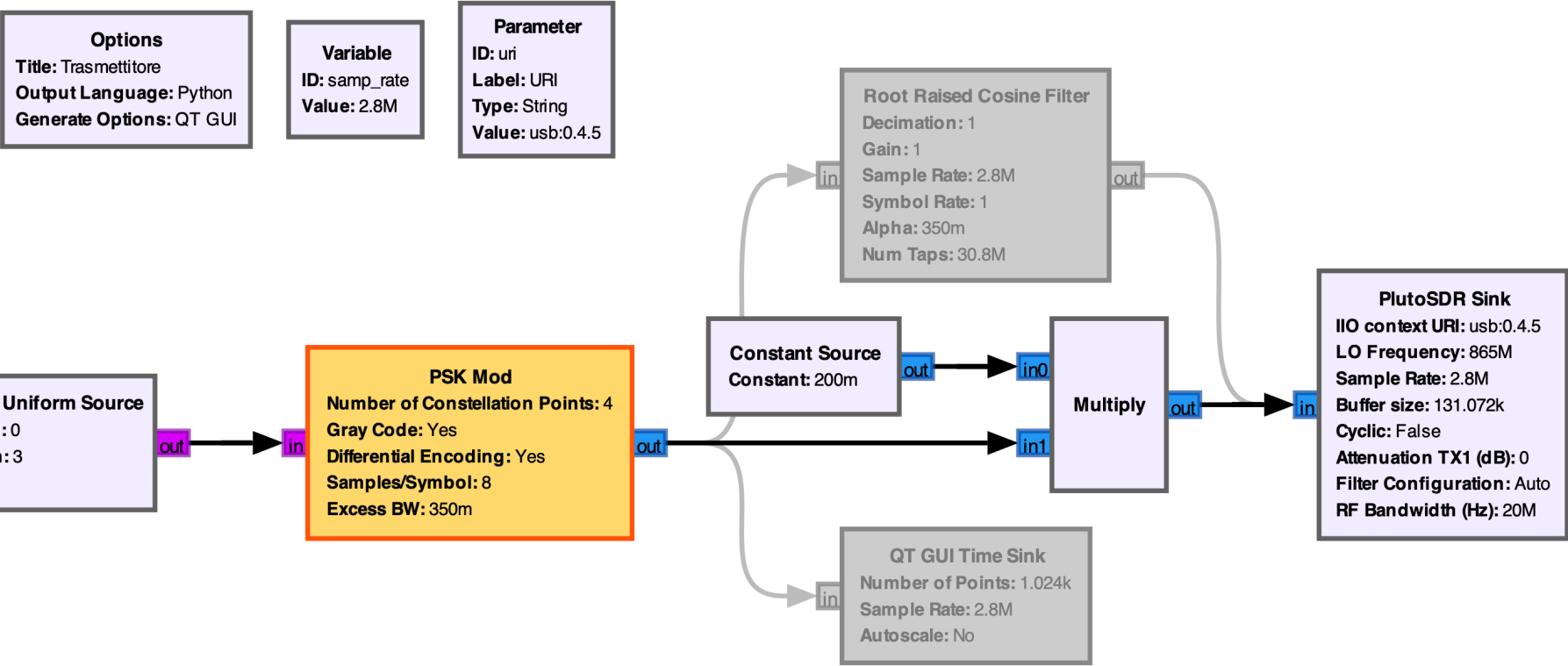
Partendo dal modello di attenuazione logaritmica, si ottiene una distanza espressa matematicamente dalla seguente formula:  $d = 10^{\frac{RSSI-A}{10 \cdot n}}$ .

I parametri  $RSSI$ ,  $A$  e  $n$  sono stati attribuiti nel seguente modo:

- **$RSSI$**  → calcolato in ricezione dal blocco «IIO Attribute Source» del software GNU Radio. A livello teorico è possibile calcolare l' $RSSI$  con una media dei moduli al quadrato dei campioni del segnale.
- **$A$**  → in una fase preliminare è stato posto fisicamente il TX a distanza di 1m dall' $RX$ , e attribuito ad  $A$  il valore dell' $RSSI$  valutato.
- **$n$**  → avendo svolto gli esperimenti in spazio libero, è stato assegnato a tale indice il valore di 2,0.



# Schema di trasmissione





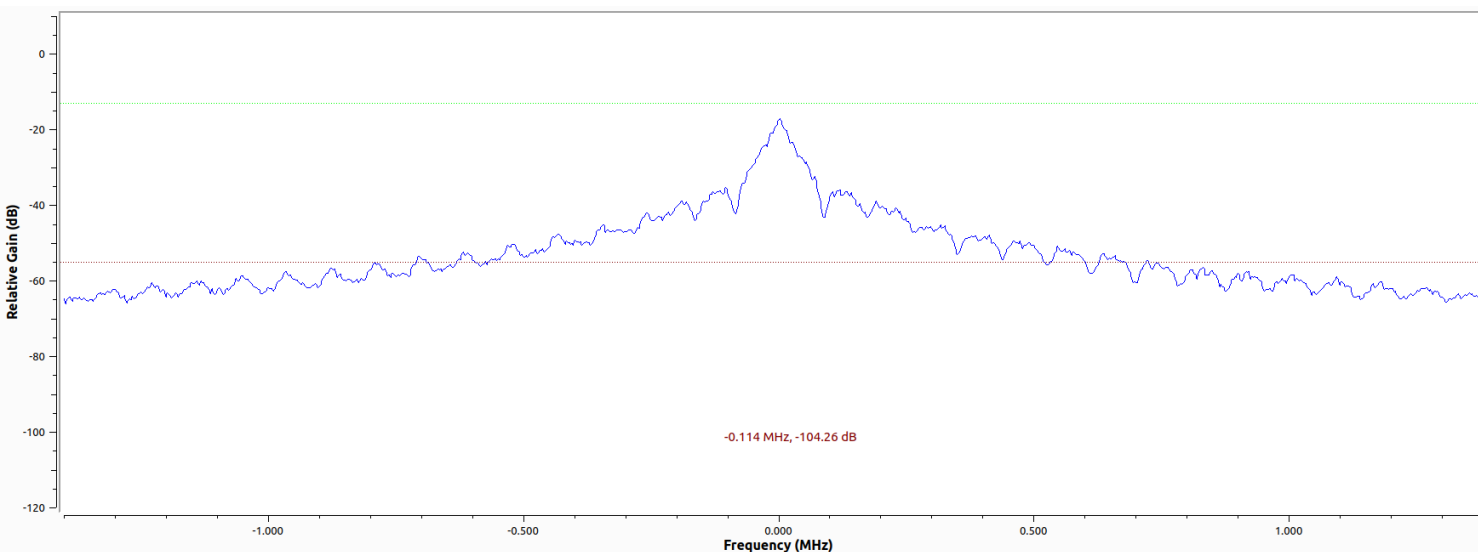


# Schema di trasmissione

- **Random Uniform Source**: blocco per la creazione di simboli casuali uniformemente distribuiti. Data l'ininfluenza del contenuto del messaggio, ai fini del progetto tale blocco è stato preferito ad altri tipi di contenuti.
- **PSK Mod**: blocco per la modulazione PSK dei simboli generati. Il blocco è stato configurato con:
  - Numero di punti della costellazione pari a 4 (QPSK);
  - Codifica di Gray attivata;
  - Numero di campioni per simbolo pari a 8.
- **Constant Source - Multiply**: gli SDR ADALM-PLUTO non riescono a trasmettere valori di input con modulo maggiore di 1, pena la saturazione del dispositivo stesso. I blocchi citati sono quindi stati applicati per aggiungere un fattore moltiplicativo, in questo caso pari a 0.2, che diminuisce l'ampiezza del segnale.
- **PlutoSDR Sink**: blocco che interfaccia lo schema di trasmissione con il dispositivo ADALM-PLUTO. Il blocco è stato configurato con:
  - Frequenza portante pari a 865MHz (preferita alla banda 2.4GHz per via delle interferenze nella banda ISM 2GHz ~ 2.45GHz);
  - Sample rate pari a 2.8 Msimb/sec;
  - Attenuazione nulla (0 dB) per trasmettere alla massima potenza disponibile.

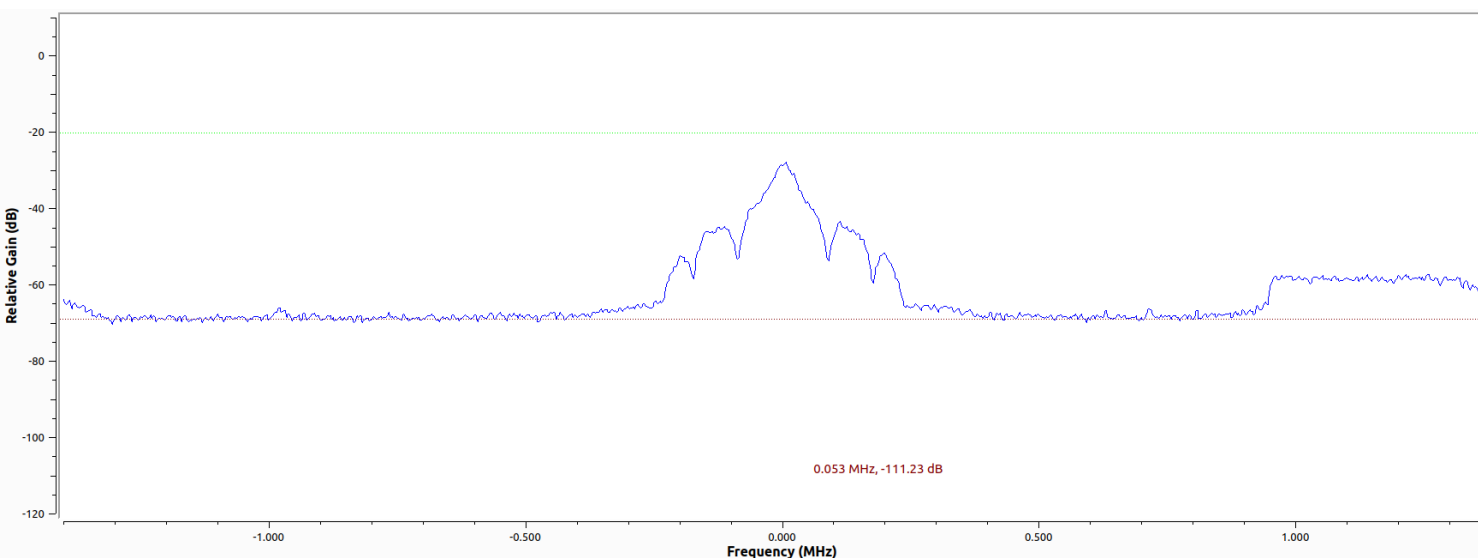


# Schema di trasmissione



## Spettro saturo:

Si ottiene collegando il blocco **PSK Mod** direttamente al blocco **PlutoSDR Sink**.

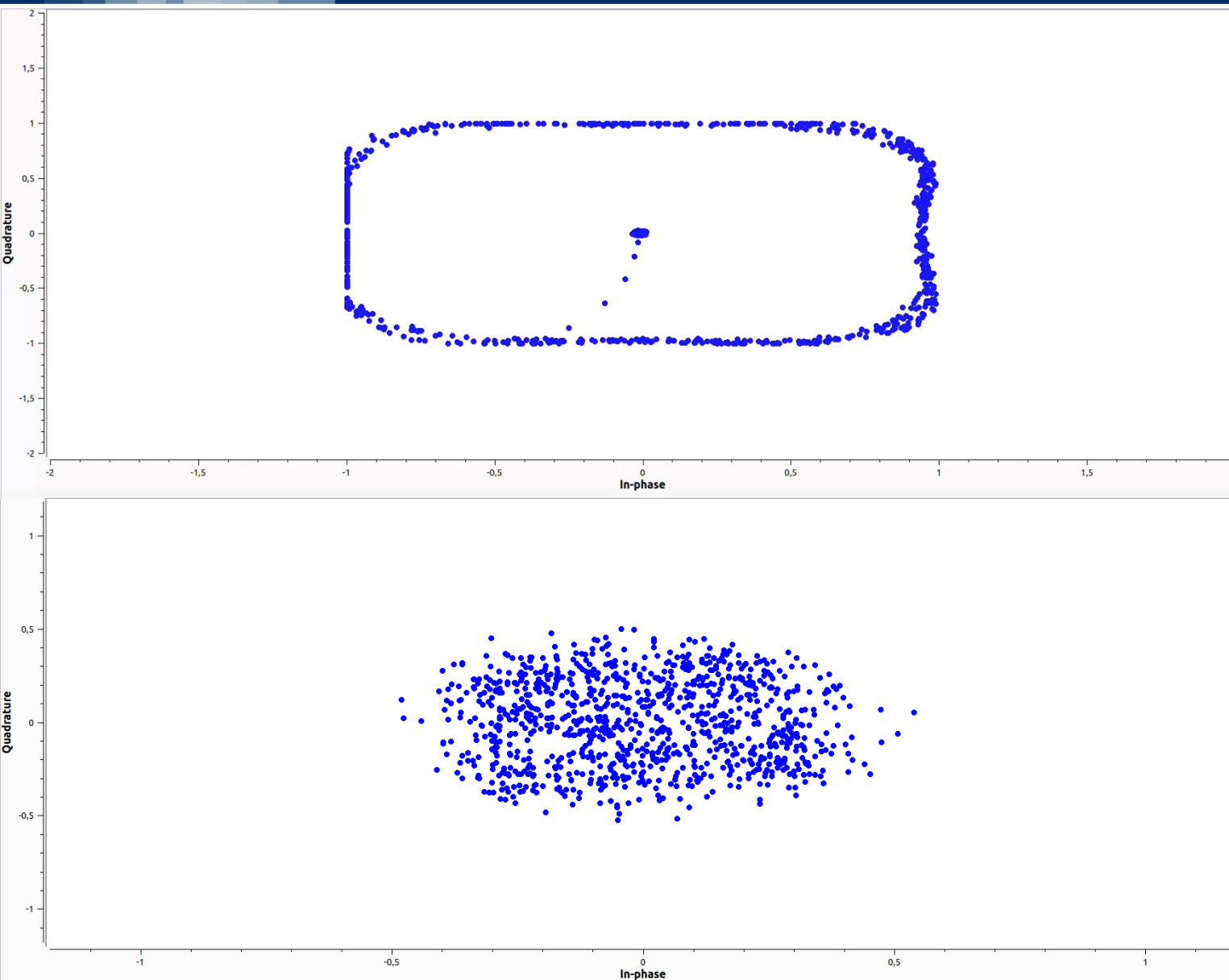


## Spettro non saturo:

Si ottiene aggiungendo il fattore moltiplicativo di 0,2. La banda risulta molto vicina a quella teorica di 472,5 KHz, calcolata con  $B = R_s * (1 + \alpha)$ .



# Disturbi nella banda 2 ~ 2.45 GHz



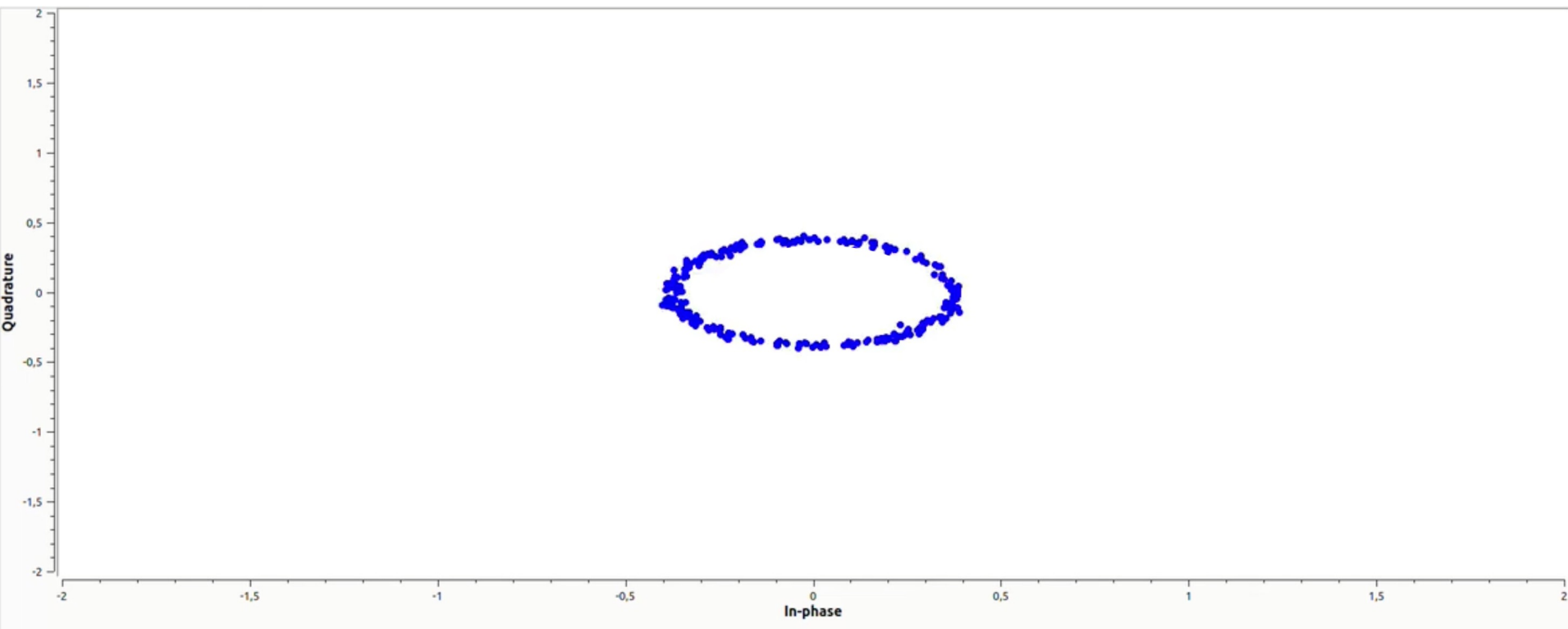
## Costellazioni ricevute in assenza di trasmissione

Si è avviata la sola ricezione con ADALM-PLUTO RX per rilevare i disturbi presenti in tale range di frequenze.

Le interferenze sono dovute, tra le altre cause, alla presenza di reti Wi-Fi, connessioni Bluetooth, comunicazioni wireless tra accessori informatici e forni a microonde, che condividono tutte la stessa banda.



# Disturbi nella banda 2 ~ 2.45 GHz



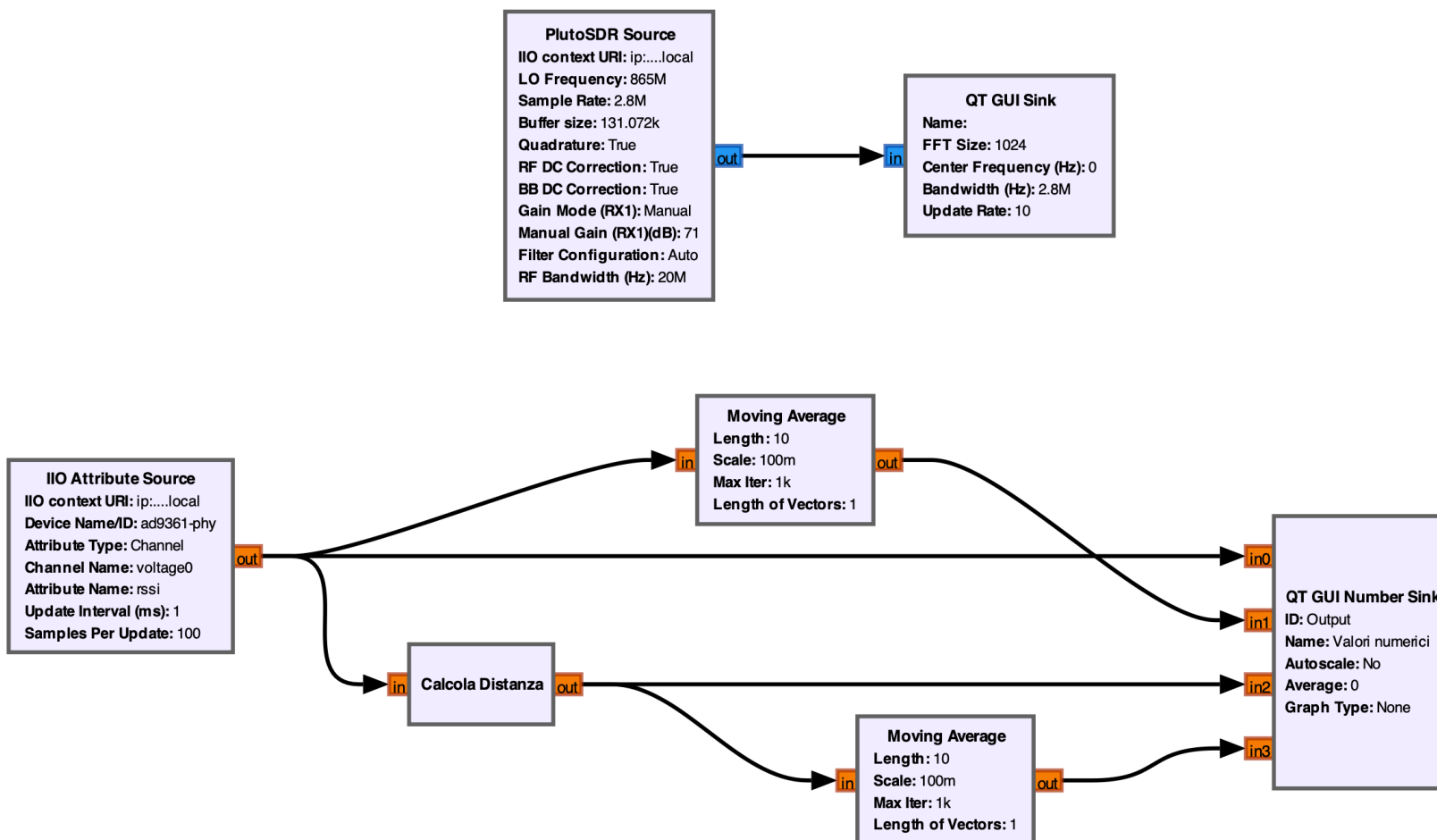
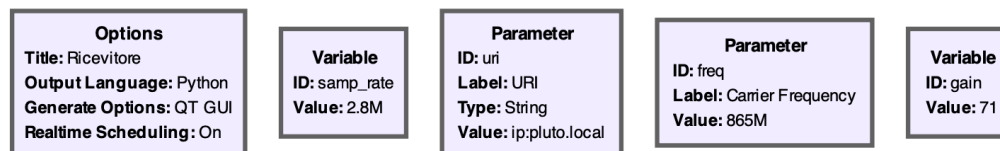
## Costellazione ricevuta con trasmissione a 865 MHz con modulazione PSK

È stata rilevata una circonferenza poiché, ai fini della distanza, è stato omesso il blocco di sincronizzazione della fase e della frequenza dell'onda portante.

Lo spessore della corona circolare è dovuto al rumore termico dei dispositivi utilizzati.



# Schema di ricezione





# Schema di ricezione

- **IIO Attribute Source**: blocco utilizzato per ottenere il valore dell'RSSI dall'SDR ADALM-PLUTO di ricezione. I parametri interni al blocco sono stati impostati affinché il valore in output fosse aggiornato ogni 100ms (*Samples Per Update \* Update Interval*).
- **PlutoSDR Source**: blocco che interfaccia lo schema di ricezione con il dispositivo ADALM-PLUTO. Il blocco è stato configurato con:
  - Frequenza portante pari a 865MHz;
  - Gain Mode impostato in modalità manuale con un valore di Gain fisso pari a 71dB (valore massimo consentito dalle ADALM-PLUTO), bypassando così il controllo automatico del gain (AGC) interno all'SDR, che avrebbe compromesso i risultati.
- **Calcola Distanza**: blocco sviluppato in Python che calcola la distanza in funzione del valore di RSSI.
- **Moving Average**: blocchi utilizzati per il calcolo della media mobile (nel tempo) dei valori in output da *IIO Attribute Source* e da *Calcola Distanza*, al fine di stabilizzare i risultati.
- **Blocchi Sink**: il blocco *QT GUI Sink* fornisce il grafico dello spettro e della costellazione dei punti; il blocco *QT GUI Number Sink* visualizza gli output numerici di RSSI e distanza.

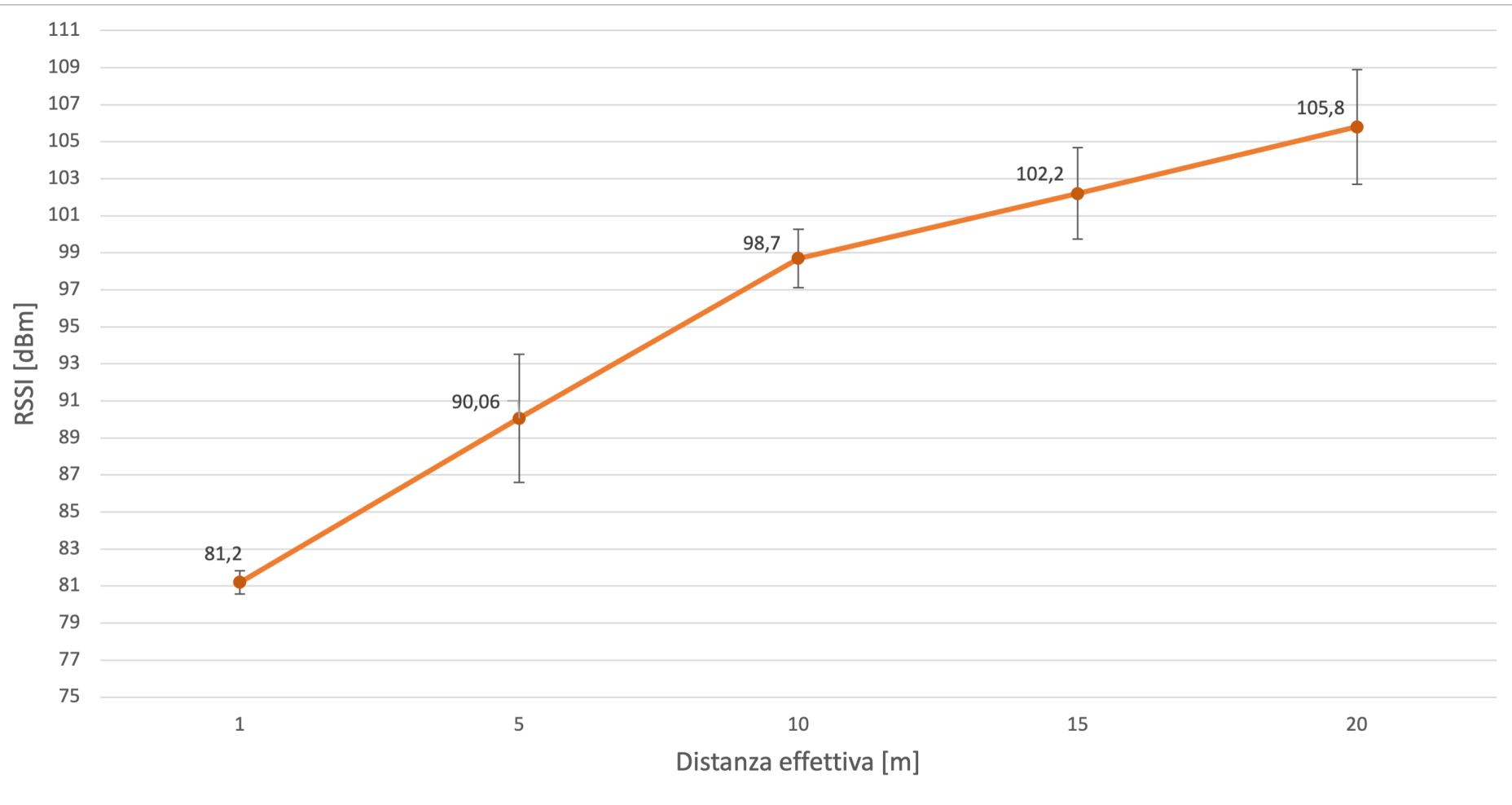


# Script del blocco «Calcola Distanza»

```
1  import numpy as np
2  from gnuradio import gr
3
4
5  class blk(gr.sync_block):
6
7      def __init__(self):
8          gr.sync_block.__init__(
9              self,
10             name='Calcola Distanza',
11             in_sig=[np.float32],
12             out_sig=[np.float32]
13         )
14
15     def work(self, input_items, output_items):
16         rssi = input_items[0][0]
17         A = 81
18         n = 2
19
20         output_items[0][0] = 10 ** ((rssi - A) / (10*n))
21         return 1
```



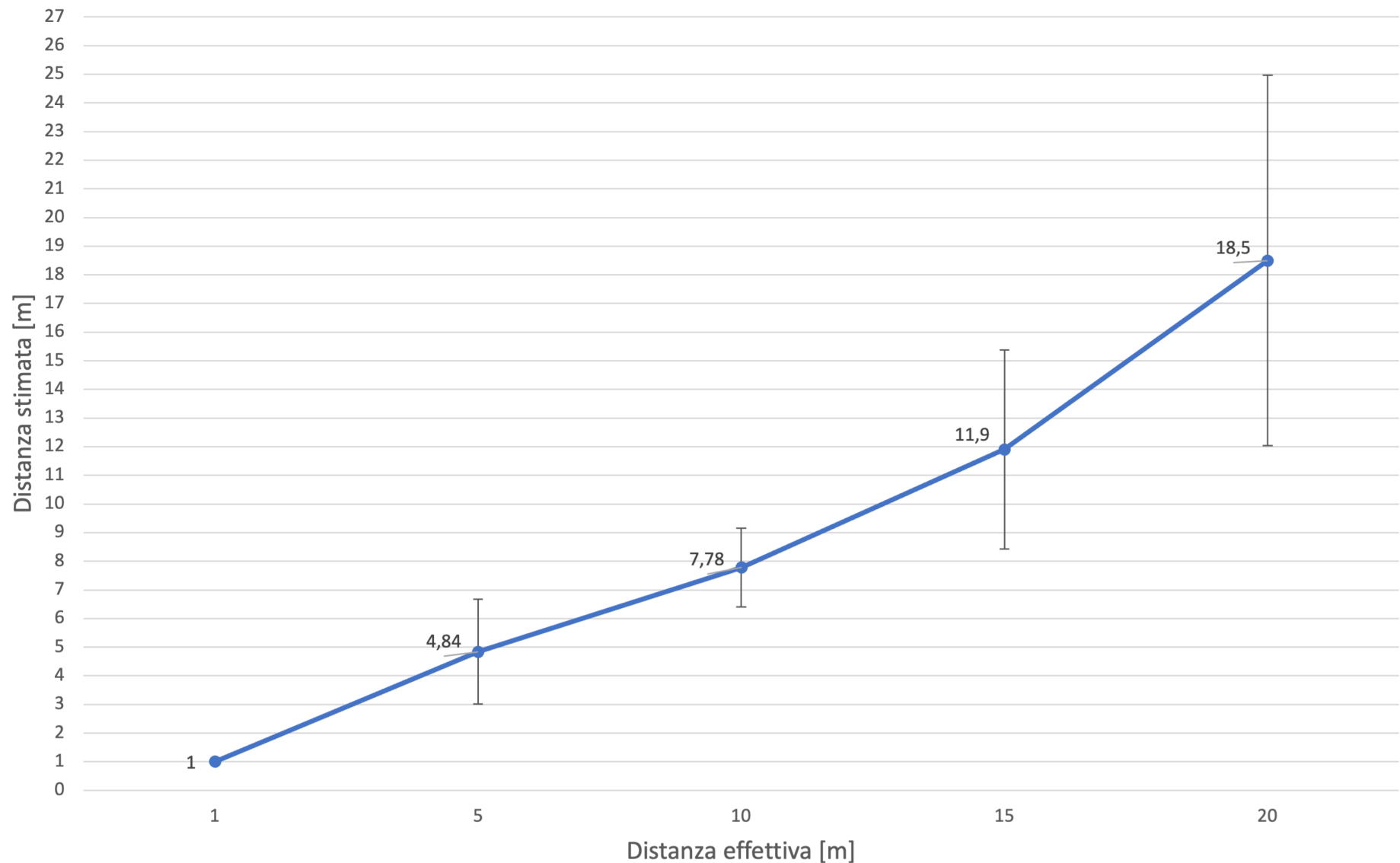
# RSSI misurati al variare della distanza





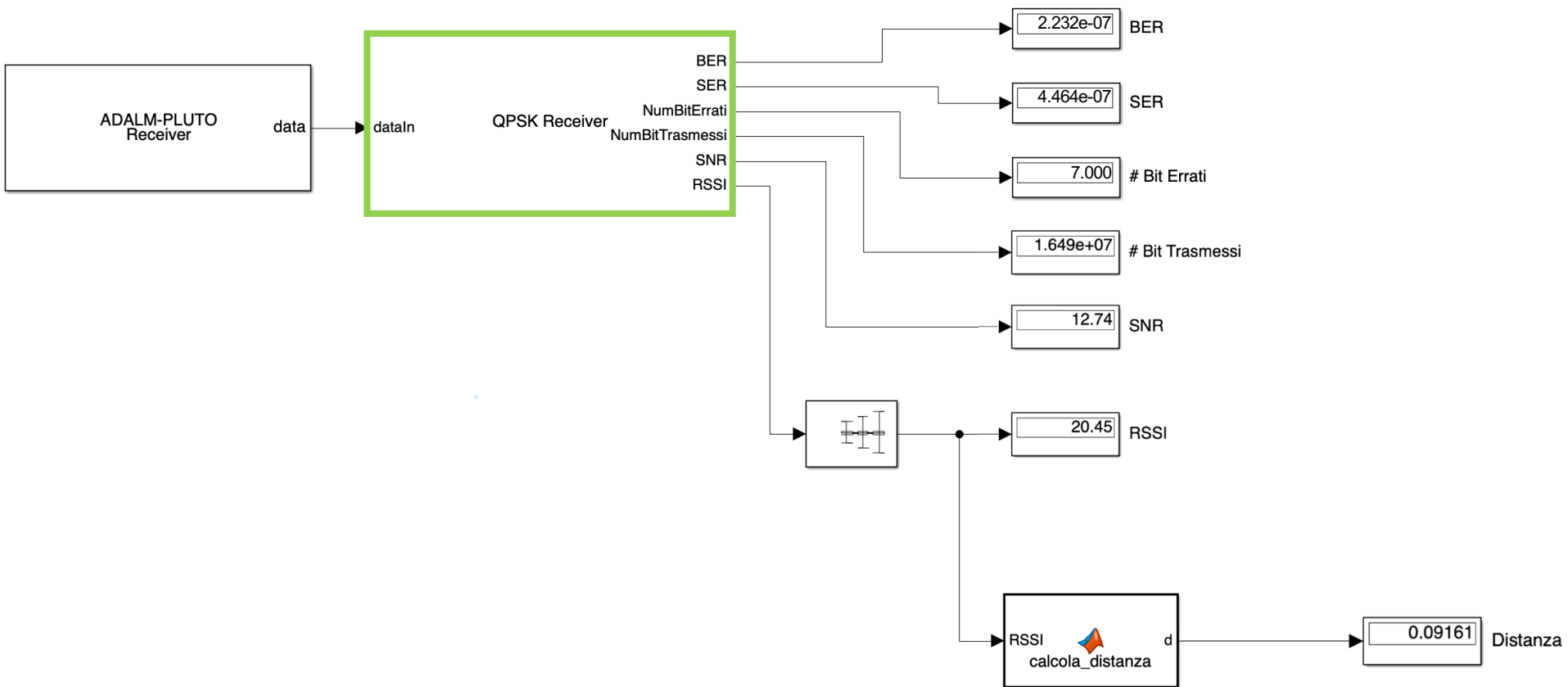


# Distanze stimate al variare della distanza



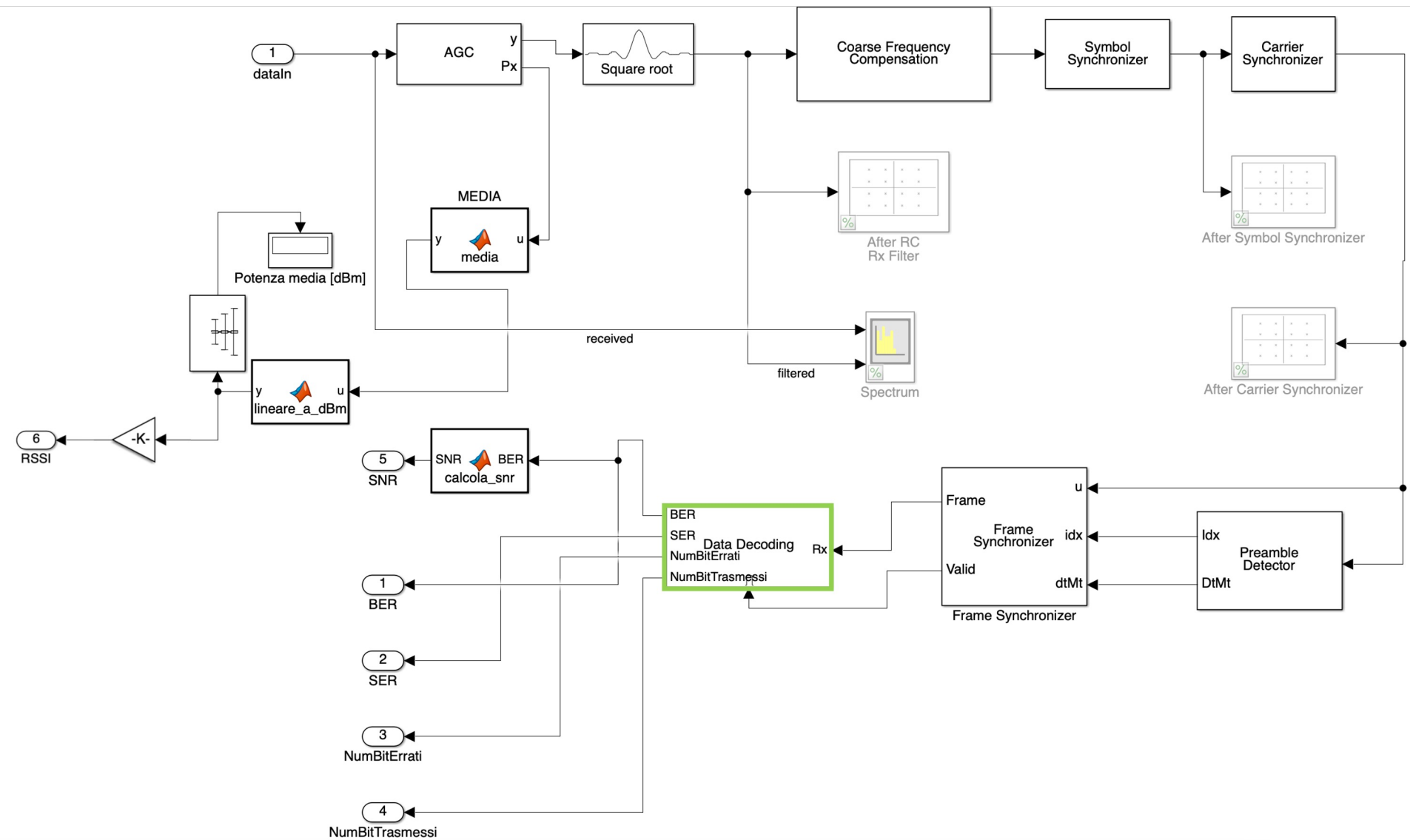


# Simulink: schema generale di ricezione



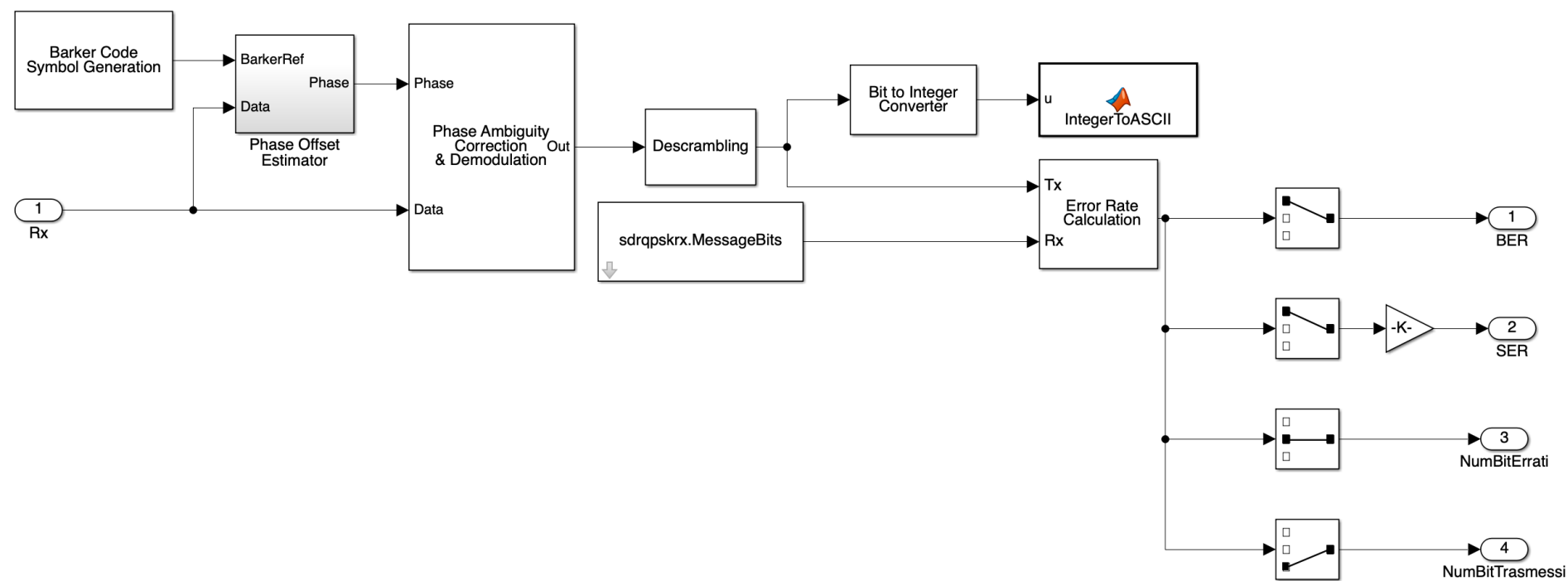


# Simulink: «QPSK Receiver»





# Simulink: «Data Decoding»





## FONTI:

- *Utilization of XBee ZigBee Modules and MATLAB for RSSI Localization Applications*, Sam Shue, Lauren E. Johnson, James M. Conrad
- *Introduzione alle TELECOMUNICAZIONI ANALOGICHE E DIGITALI*, Simon Haykin, Michael Moher – Casa Editrice Ambrosiana
- *Simulink<sup>®</sup> User's Guide: Introduction to Simulink*, MathWorks<sup>®</sup>
- *MATLAB<sup>®</sup> Mathematics*, MathWorks<sup>®</sup>
- *GNU Radio Wiki*,  
© GNU Radio Project