Elogio del rumore …

Impariamo ad usarlo a nostro vantaggio

Mario Armando Natali, I0NAA

mario.natali@gmail.com

Elogio del rumore

Il rapporto segnale/rumore

- ✓ **L'attività EME è caratterizzata dai «segnali deboli» da segnali utili, cioè, che hanno livelli vicinissimi al rumore (*noise*).**

- ✓ **E' quindi di fondamentale importanza capire bene come ottimizzare i parameteri di stazione in modo da poter massimizzare il rapporto segnale rumore e quindi decodificare l'informazione**

$$\mathbf{SNR=}\ \frac{P_{Segnale}}{P_{rumore}}$$

- ✓ **La potenza del segnale ricevuto è determinato dalla potenza irradiata dalla sorgente (EIRP), dal guadagno del sistema ricevente e dall'attenuazione di tratta.**

- ✓ **La potenza del rumore ricevuto è determinata da innumerevoli fattori, ma se ben capito e gestito esso può essere usato a nostro vantaggio !**

Elogio del rumore

Il rapporto segnale/rumore

Potenza del rumore *(Noise)*

- ***Rumore interno al sistema di ricezione***
  - ✓**Rumore di quantizzazione (nel caso di segnali digitali)**
  - ✓**Rumore di intermodulazione**
  - ✓**Rumore di fase**
  - ✓**Rumore termico**

- ***Rumore esterno al sistema di ricezione***
  - ✓**Rumore artificiale**
  - ✓***Rumore cosmico* / ambientale**

Elogio del rumore

L'importanza del rapporto segnale rumore

Elogio del rumore

L'importanza del rapporto segnale rumore

Il Film Contact è incentrato sulla ritrasmissione, da parte di una ipotetica civiltà aliena situata vicino alla stella Vega, del primo segnale radio (TV) ad *alta frequenza* (*quindi in grado di attraversare la ionosfera*) ed *alta potenza* emesso durante le olimpiadi del 1936

..... Ma il rapporto SNR lo consentirebbe ?

Distanza Vega	***Anni luce***	**25**
Distanza Vega	***Km***	**2.3652E+14**
Potenza EIRP	***Watt***	**1,000,000**
Frequenza	***Mhz***	**400**
Tsky	***K***	**2.7**
Attenuazione di tratta	***dB***	**372**

$$Guadagno\ antenna_{dB} = 10 \log_{10} j \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$$

$$Potenza\ rumore_{dBm} = 10 \log_{10}(KTB)$$

$$FSPL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2$$

D = Diametro della parabola
d = Distanza
f = Frequenza
λ = Lunghezza d'onda
j = Efficienza dell'antenna
K = Costante di Boltzmann
B = larghezza di banda
c = velocità della luce

LINK BUDGET

Larghezza di banda (Hz)	Potenza di Rumore (dBm)	Minimo SNR richiesto (dB)	Guadagno antenna (dB)	Diametro parabola (Km)	Nota
5,000,000	-127	20	175	129,474	TV Analogica
2,500	-160	15	137	1,628	Audio analogico
10	-184	-29	69	1	*Segnali digitali*

I calcoli riportati, pur essendo formalmente corretti, non tengono in considerazione innumerevoli altre variabili che diminuiscono ulteriormente le probabilità del successo !

Elogio del rumore

La temperatura di rumore

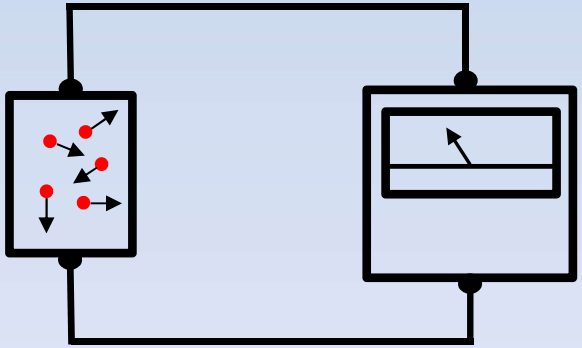
Il rumore in un sistema di comunicazione è un ineliminabile contributo di disturbo che si sovrappone al segnale di interesse che ne degrada le caratteristiche

Rumore → ***Rumore interno al ricevitore***

Rumore → **Rumore esterno o ambientale**

Rumore interno al ricevitore →
Rumore di quantizzazione (nel caso di segnali digitali)
Rumore di intermodulazione
Rumore di fase
Rumore termico

Il *rumore termico* è dovuto all'agitazione termica degli elettroni che, ad una temperatura T> 0 K, si muovono con moto caotico (browniano)



La tensione di rumore termico ha media nulla, distribuzione di ampiezza gaussiana e valore efficace

$$v_{rms}=\sqrt{4kTBR}$$

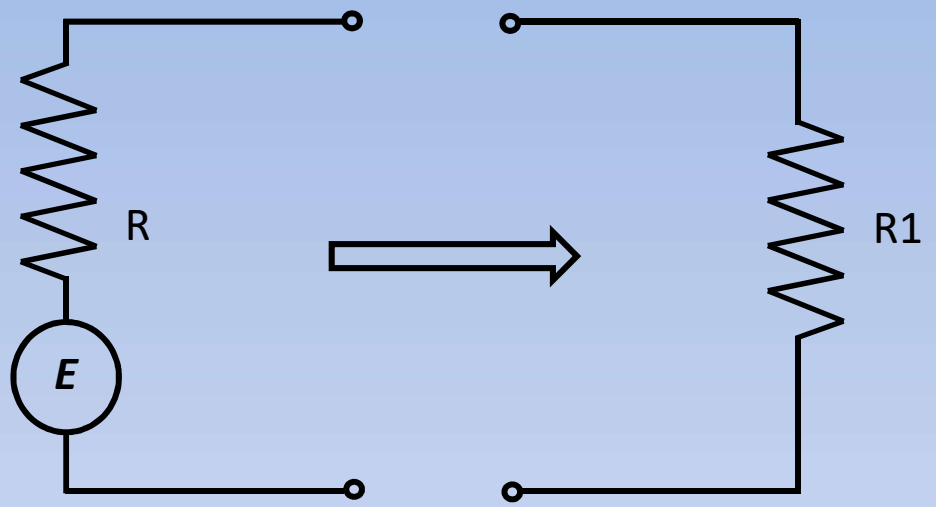
k = costante di Boltzmann (1.38 ·10–23 J/K)
T = temperatura assoluta (gradi Kelvin),
B = banda passante (in Hz)
R = resistenza (in Ohm)

Elogio del rumore

La temperatura di rumore

$$v_{rms}=\sqrt{4kTBR}$$

Circuito equivalente di un resistore reale R : generatore *E* con valore v in serie ad un resistore ideale R1



La condizione di massimo trasferimento di potenza sarà R = R1 (carico adattato)

In condizioni di adattamento si avrà quindi

$$P = \left(\frac{v_{rms}}{R+R1}\right)^2 \mathrm{R} = \frac{{v_{rms}}^2}{4R} = \mathrm{kTB}$$

Si nota una proporzionalità diretta fra P (potenza di rumore) e T (Temperatura)

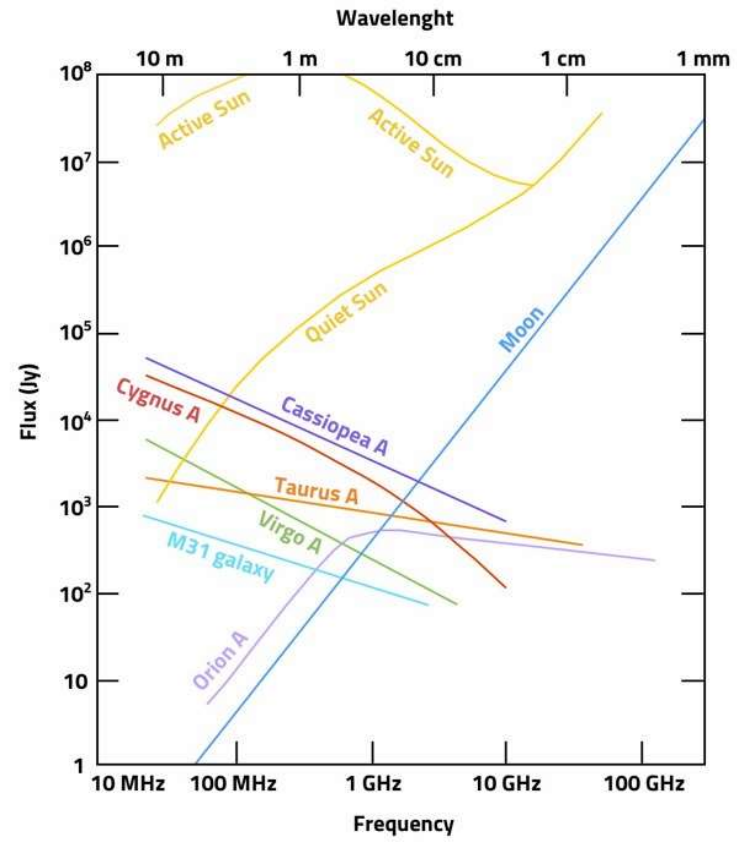
Per quantificare il rumore può essere utilizzata, quindi, la temperatura equivalente T (K)

Elogio del rumore

La temperatura di rumore

Rumore → **Rumore interno al ricevitore**

Rumore → ***Rumore esterno o ambientale*** → **Rumore artificiale**
Rumore cosmico **/ ambientale**



http://www.britastro.org

Il rumore captato dall'antenna dipende dalla «temperatura di rumore equivalente» che l'antenna «vede» nella direzione di puntamento.

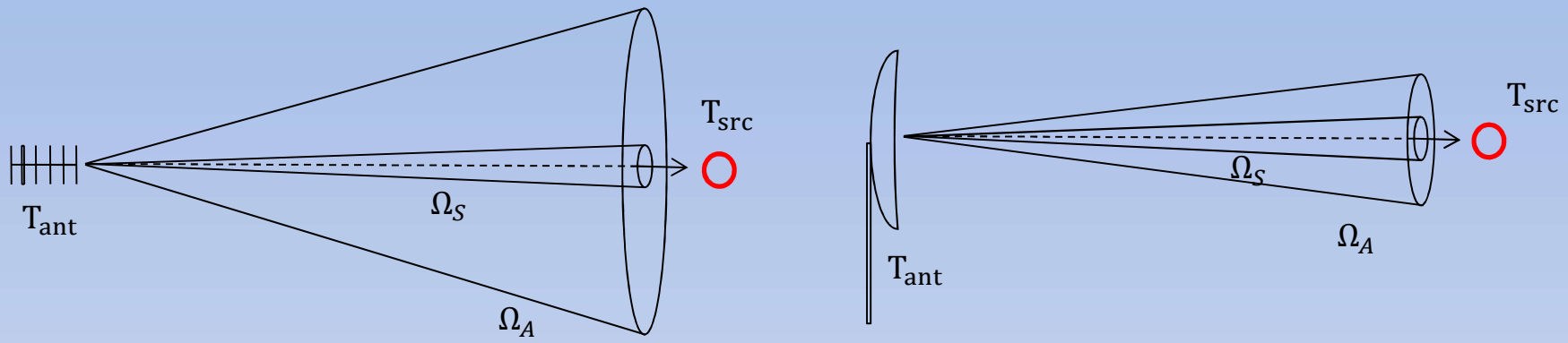
Il sole è la sorgente di rumore con il «flusso» più forte ma è anche quella con variazioni più marcate a seconda dell'attivita' !

L'unita' di misura del flusso e' il «Jansky» Jy

$$1\ Jy = 10^{-26}\ W m^{-2}\ Hz^{-1}$$

Elogio del rumore

La temperatura equivalente di rumore di antenna



la temperatura equivalente di rumore di una antenna che osserva una sorgente di rumore non polarizzata di temperatura T_{src} dipende dala rapporto fra gli angoli solidi della sorgente e dell'antenna :

$$T_{ant} = T_{src}\left(\frac{\Omega_S}{\Omega_A}\right)$$

Ω_S ***= angolo solido sorgente***
Ω_A ***= angolo solido antenna***

Se vogliamo quindi misurare la temperatura equivalente di rumore dell'antenna dobbiamo basarci ad una *sorgente di rumore di riferimento* e comparare i valori misurati :

$$Y = \frac{P}{P_0}$$

P ***= potenza ricevuta puntando la sorgente in esame***
P_0 ***= potenza ricevuta puntando una sorgente di riferimento come a esempio il cielo «freddo»***

Elogio del rumore

La temperatura di rumore : Il fattore Y

La potenza di rumore può essere rappresentata con temperature equivalenti e quindi :

$$Y = \frac{P}{P_0} \quad \Longrightarrow \quad Y = \frac{T_{sys} + T_{ant}}{T_{sys} + T_{ref}}$$

T_{sys} = ***temperatura equivalente del sistema ricevente***
T_{ant} = ***temperatura equivalente rilevata della sorgente***
T_{ref} = ***temperatura equivalente rilavata del cielo «freddo»***

Poiché la temperatura del cielo freddo è molto bassa possiamo trascurarla e possiamo esprimere Y in dB :

$$Y = 10\ log_{10}\left(\frac{T_{sys} + T_{ant}}{T_{sys}}\right)$$

Poiche' sappiamo anche che (*)

$$T_{ant} = F\frac{A_e}{2\,K_b} = F\frac{A_e}{2760} \quad \textit{dove} \quad A_e = G\frac{\lambda^2}{4\Pi} = k\,\frac{\pi\,D^2}{\lambda}$$

A_e = ***Area efficace antenna***
k = ***Efficienza antenna (usulamente fra 0.5 e 0.7)***
G = Guadagno antenna
D = Diametro antenna (in caso di parabola)
K_b = ***Costante di Boltzman 1.380662*** $10^{-23}\ J/K$
F = ***Flusso della sorgente in Jy***

(*) J.D.Kraus, radio Astronomy , 2° edition, Cygnus-Quasar Books, 1986, chapter 6

IMPONENDO UN RENDIMENTO DELL'ANTENNA (E QUINDI IMPONENDO LA SUA AREA EFFICACE) E CONOSCENDO IL FLUSSO «F» DELLA SORGENTE SAPREMO QUALE E' IL RAPPORTO Y CHE CI DOBBIAMO ATTENDERE

Elogio del rumore

La temperatura di rumore : take away …

- ✓**Il sole emette un rumore (detto flusso) che dipende dalla sua attività.**
- ✓**Puntando alternativamente l'antenna sul sole e su una zona «fredda» del cielo possiamo misurarne il rumore per comparazione.**
- ✓**Il rumore rilevato deriverà della area efficace dell'antenna e dal puntamento.**

Elogio del rumore

La temperatura di rumore : il rumore del sole

Il sole NON E' UNA SORGENTE DI RUMORE COSTANTE e quindi prima di fare qualsiasi misura si deve essere sicuri del flusso alla frequnza di interesse.

```
:Product: Solar Radio Data             rad.txt
:Issued: 2032 UTC 19 Sep 2019
#
# Prepared by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Weather Prediction Center
# Please send comments and suggestions to SWPC.Webmaster@noaa.gov
#  Units: 10^-22 W/m^2/Hz
#  Missing Data:  -1
#
#    Daily local noon solar radio flux values - Updated once an hour
#
  Freq  Learmonth  San Vito  Sag Hill  Penticton  Penticton  Palehua  Penticton
   MHZ    0500 UTC  1200 UTC  1700 UTC   1700 UTC   2000 UTC  2300 UTC  2300 UTC


2019 Sep 18
   245        13        11        10         -1         -1        11         -1
   410        27        26        28         -1         -1        26         -1
   610        34        -1        38         -1         -1        34         -1
  1415        45        47        52         -1         -1        47         -1
  2695        60        -1        62         -1         -1        64         -1
  2800        -1        -1        -1         66         66        -1         66
  4995       103       113       103         -1         -1       105         -1
  8800       214       230       213         -1         -1       213         -1
 15400       538       532       529         -1         -1       547         -1


2019 Sep 19
   245        13        16         9         -1         -1        -1         -1
   410        27        25        27         -1         -1        -1         -1
   610        34        -1        37         -1         -1        -1         -1
  1415        43        46        52         -1         -1        -1         -1
  2695        58        -1        64         -1         -1        -1         -1
  2800        -1        -1        -1         67         -1        -1         -1
  4995       100       115       105         -1         -1        -1         -1
  8800       214       229       220         -1         -1        -1         -1
 15400       531       520       538         -1         -1        -1         -1
```

La NOAA ha una rete modiale di osservatori che pubblicano continuamente i dati di flusso per un certo set di frequenze all'indirizzo :

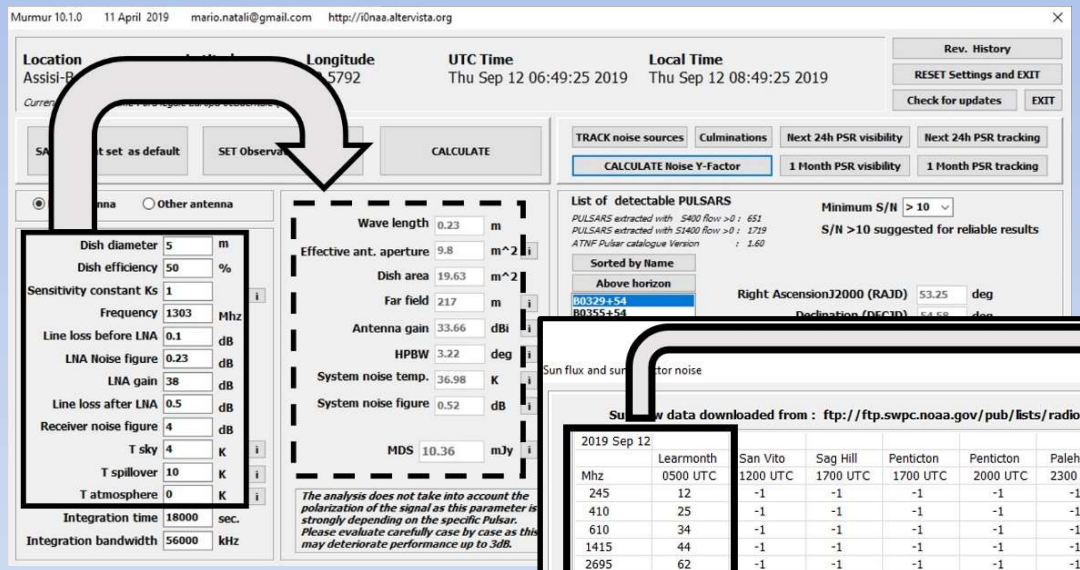
ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/lists/radio/rad.txt

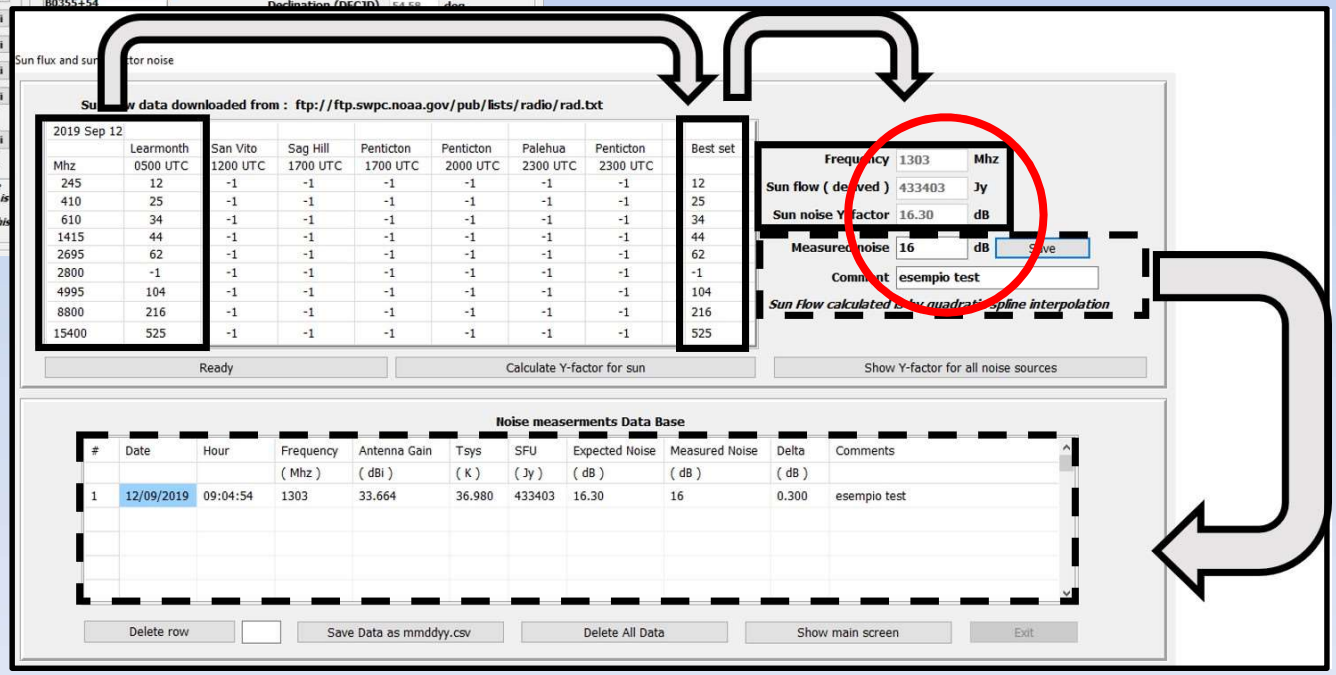
A partire da questi dati si possono calcolare i dati di flusso alla frequenza di interesse tramite interpolazione.

Elogio del rumore

La temperatura di rumore : il rumore del sole

Esistono siti web a programmi che consentono il calcolo del flusso solare alla frequenza di interesse come l'eccellente «EME planner» di Doug VK3UM (SK) che costituisce una riferimento per tutta la attività EME od il programma Murmur (*http://i0naa.altervista,org*)





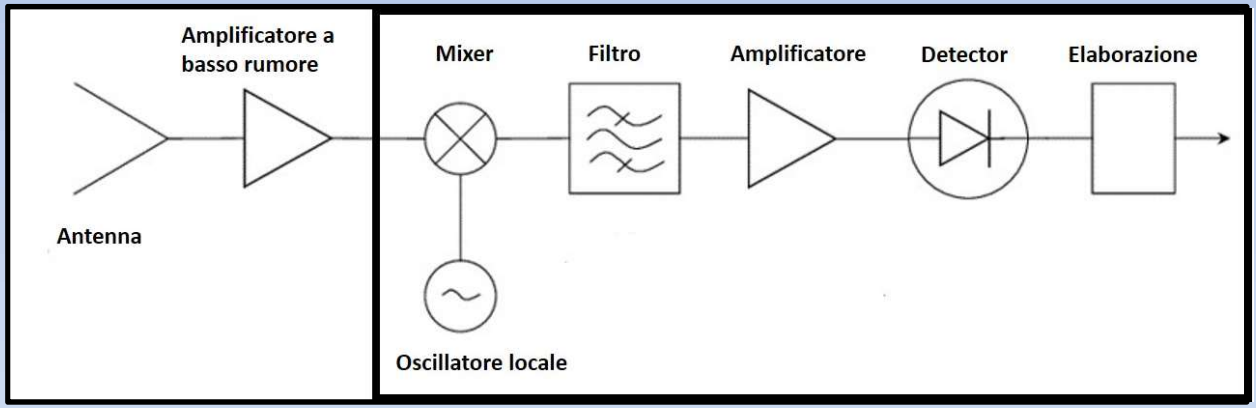
Inizializzazione parametri

Calcolo Sun noise Y-factor

Elogio del rumore

Come misurare il rumore

La tecnica di ricezione del rumore e' basata sulla rilevazione del segnale elettromagnetico in ingresso in antenna e la sua conversione in una tensione proporzionale alla potenza dell'onda incidente.

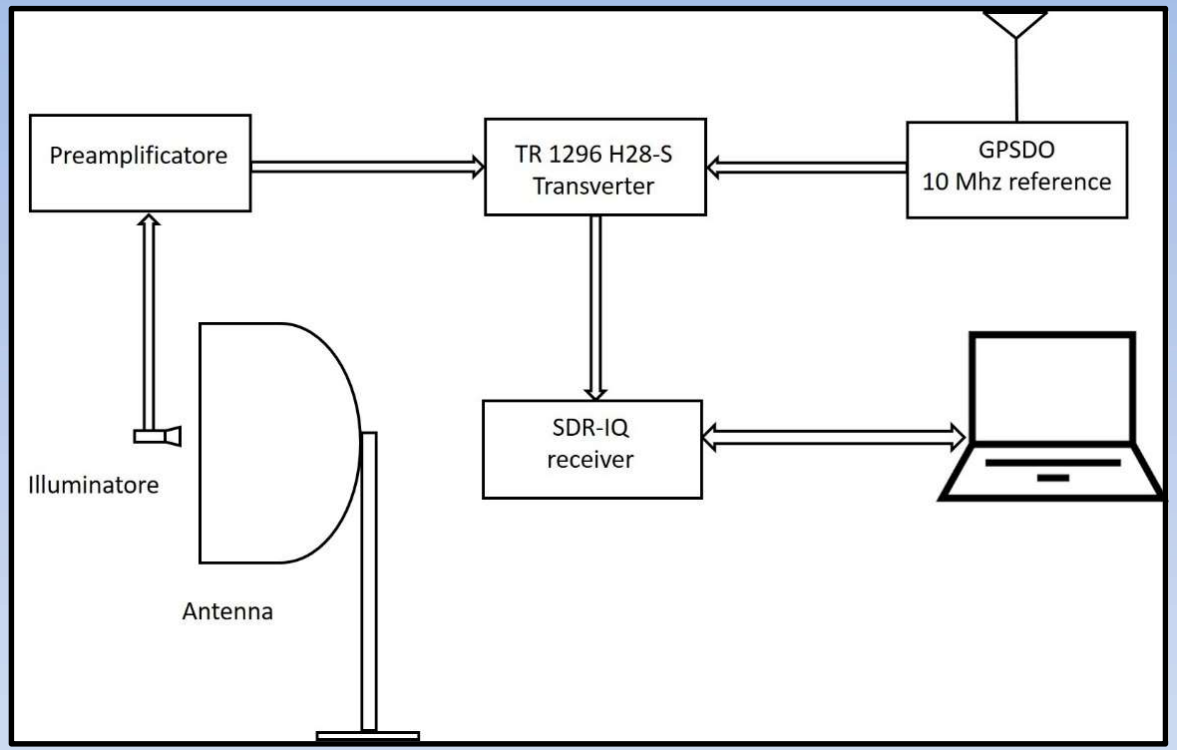


Lo schema di base e' molto semplice. La parte nel riquadro può essere sostituita con una SDR (Software Defined Radio) che permette analisi ed elaborazioni molto più potenti. Esistono molte soluzioni software ed hardware e di seguito vedremo due possibili approcci

1-SDR-IQ con il suo software SpectraVue (http://www.rfspace.com).
2-RTL-SDR con il software TotalPower

Elogio del rumore

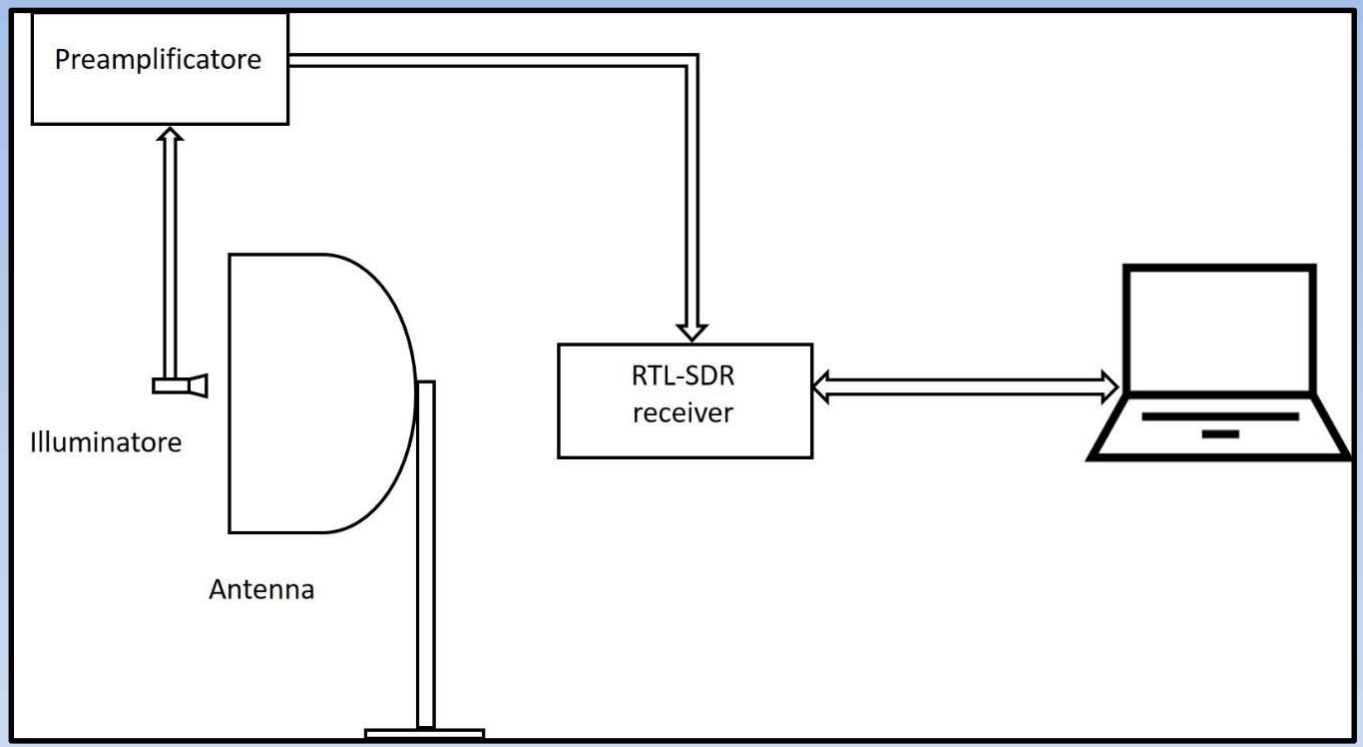
Come misurare il rumore : Spectravue con Rfspace SDR-IQ



Le limitazioni di questo set-up sono dovute alla ridotta larghezza di banda del transverter che rende impossibili misure su frequenza distanti dai 1296 Mhz ed alla larghezza di banda dell'SDR-IQ (non piu' prodotto) limitata a 190 Khz.

Elogio del rumore

Come misurare il rumore :TotalPower con RTL-SDR



Il punto di forza di questo set-up è il bassissimo costo dell'hardware e l'assenza di limitazioni di frequenza, ma al tempo stesso le interferenze da segnali fuori banda sono molto più forti. Questo rende difficoltoso il puntamento alla zona «fredda» del cielo.

Elogio del rumore

Come misurare il rumore : Spectravue con Rfspace SDR-IQ

Sun flux and sun Y-factor noise

Sun Flow data downloaded from : ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/lists/radio/rad.txt

2019 Sep 19

Mhz	Learmonth 0500 UTC	San Vito 1200 UTC	Sag Hill 1700 UTC	Penticton 1700 UTC	Penticton 2000 UTC	Palehua 2300 UTC	Penticton 2300 UTC	Best set
245	13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	13
410	27	-1	-1	-1	-1	-1	-1	27
610	34	-1	-1	-1	-1	-1	-1	34
1415	43	-1	-1	-1	-1	-1	-1	43
2695	58	-1	-1	-1	-1	-1	-1	58
2800	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
4995	100	-1	-1	-1	-1	-1	-1	100
8800	214	-1	-1	-1	-1	-1	-1	214
15400	531	-1	-1	-1	-1	-1	-1	531

Frequency 1303 Mhz
Sun flow (derived) 420934 Jy
Sun noise Y-factor 17.55 dB
Measured noise 14.9 dB Save
Comment -82 120 35
Sun Flow calculated is by quadratic spline interpolation

Ready | Calculate Y-factor for sun | Show Y-factor for all noise sources

Noise measerments Data Base

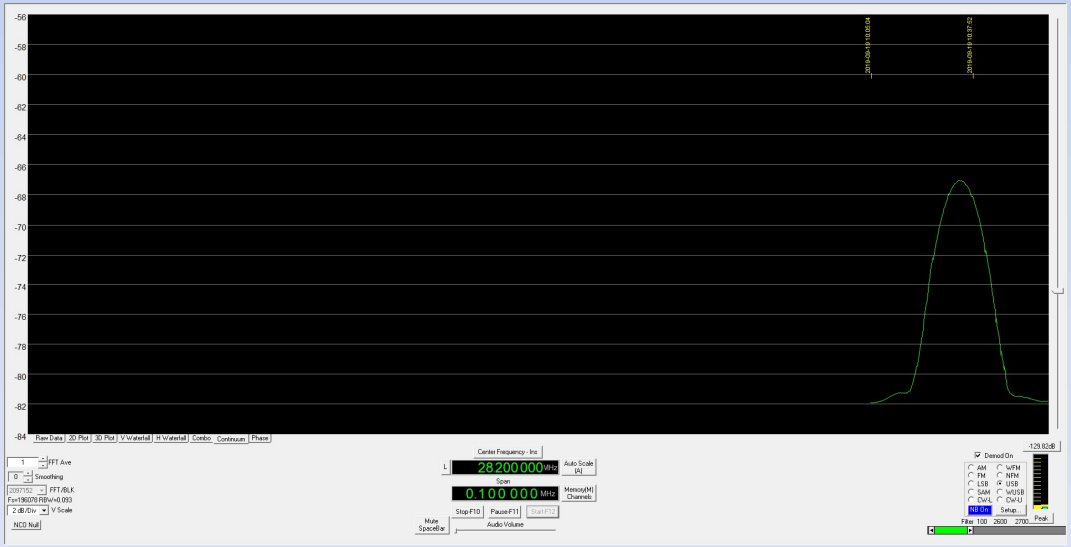
#	Date	Hour	Frequency (Mhz)	Antenna Gain (dBi)	Tsys (K)	SFU (Jy)	Expected Noise (dB)	Measured Noise (dB)	Delta (dB)	Comments
80	13/09/2019	2:18:12 PM	1303	35.062	36.980	438486	17.72	15	2.721	-81.7 150 40
81	19/09/2019	11:34:04 AM	1303	35.062	36.980	420934	17.54	14.9	2.647	-82 120 35

Delete row | Save Data as mmddyy.csv | Delete All Data | Hide main screen | Exit

Drift scan planner

Object	+10min.(12:14:06)	+20min.(12:24:06)	+30min.(12:34:06)	+40min.(12:44:06)	+60min.(13:04:06)	+120min.(14:04:06)
Moon						
Sun	161.71 : 46.97	165.31 : 47.49	168.97 : 47.89	172.69 : 48.18	180.20 : 48.40	202.17 : 46.25
Cygnus-A						
Taurus-A						
Cassiopeia						
Sagittarius-A						
3C273	146.88 : 44.07	150.13 : 45.03	153.48 : 45.89	156.93 : 46.66	164.10 : 47.88	186.75 : 48.77
XTE J1810-197						
VIRGO A	139.37 : 53.16	143.03 : 54.31	146.87 : 55.36	150.89 : 56.30	159.45 : 57.84	187.65 : 59.09

Hide main screen | Exit



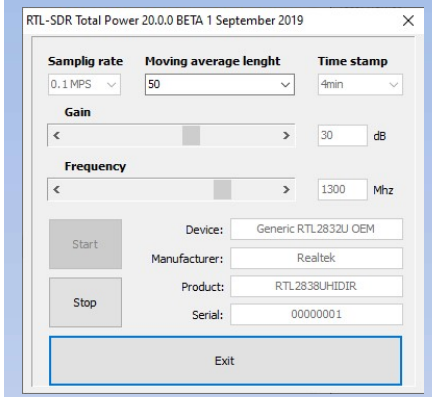
Sun drift scan con parabola da 5 metri del 19 settembre : si nota una leggera asimettria dei lobi secondari

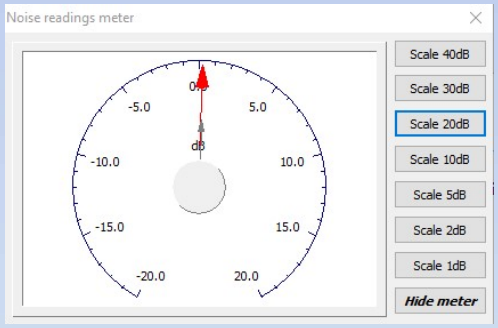
Il programma Murmur oltre a calcolare il sun noise Y-factor basandosi sui dati di sun flow aggiornati, fornisce anche i puntamenti di molti oggetti con diverse intervalli temporali rendendo semplice la rilevazione.

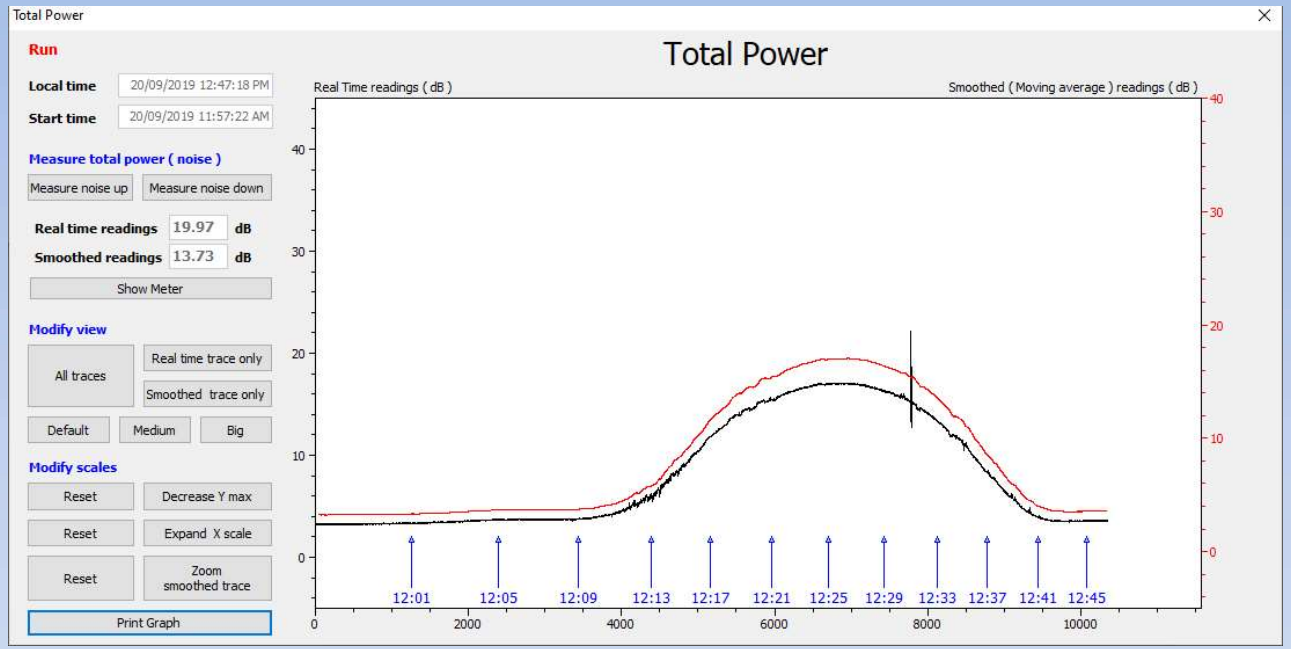
Si deve tenere presente che ogni ora la terra ruota di 15 gradi !

Elogio del rumore

Come misurare il rumore :TotalPower con RTL-SDR







Il Programma TotalPower (ad oggi ancora in BETA) oltre a misurare numericamente il rumore è dotato di un «meter» analogico che consente un aggiustamento del puntamento dell'antenna molto preciso.

DEMO

Elogio del rumore

Conclusioni

TotalPower è ancora in BETA e richiede miglioramenti e risoluzione di alcuni bugs, ma già consente di misurare il rumore abbastanza accuratamente e, grazie al «meter» analogico, l'affinamento del puntamento dell'antenna con un hardware di bassissimo costo.

Le funzionalità future riguarderanno :

- ✓ **L'interazione con Murmur e con PstRotator in modo da rendere il puntamento dell'antenna totalmente automatico.**
- ✓ **La possibilità di usare due o tre sorgenti di rumore cosmico in modo da individuare problemi di inclinazione dell'antenna.**
- ✓ **La possibilità di salvare i dati numerici per elaborazioni successive.**
- ✓ **La possibilità di usare sorgenti di rumore predeterminate.**

GRAZIE