



I.A.R.A.



SIR
RADIOASTRONOMIA

Programmare un'osservazione: i software per ricezione ed elaborazione dei dati

di Salvo Pluchino

email: s.pluchino@ira.inaf.it

INAF-IRA, Radiotelescopi di Medicina
Coordinatore IARA Group
Responsabile Sezioni di Ricerca UAI

Sommario

- Misure di “total power”
 - temperatura di rumore
 - metodo On/Off
 - calibrazione
- Misura dello spettro
 - caratteristiche di uno spettro
 - come ottenere uno spettro
 - calibrazione
- esempi di Software



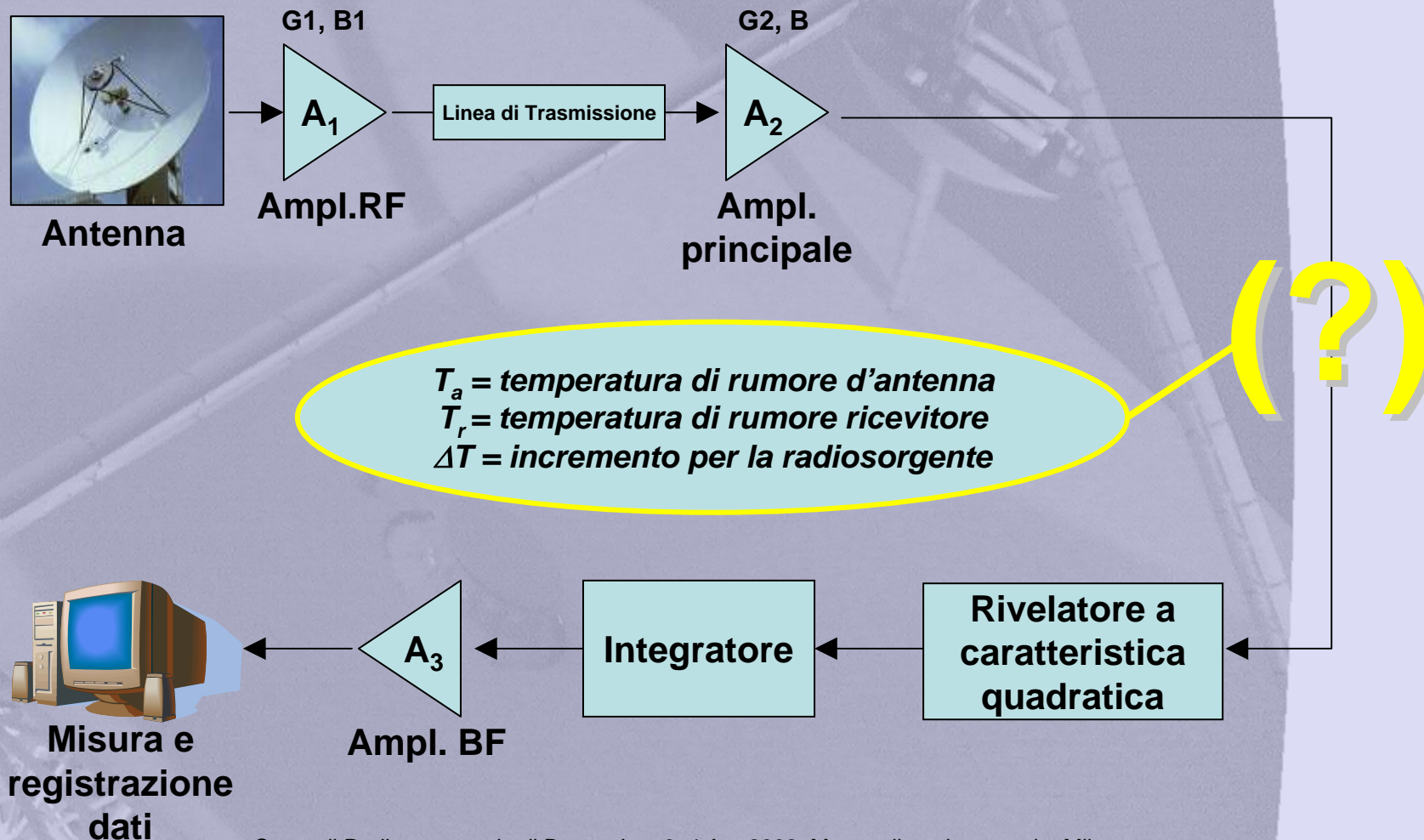
I.A.R.A.

SIR
RADIOASTRONOMIA

Misure di potenza in radioastronomia

Misura del Total Power

Schema di un radiometro total-power



Esempio di misure del Total Power in banda HF



Sagittarius A @ 26 MHz, Yagi 5 el.

Interferenze

Interferenze

Drift siderale giornaliero

Misura del Total Power

La temperatura equivalente di rumore

In un radiotelescopio una qualsiasi sorgente di rumore *interna* o *esterna* al sistema ricevente è sommabile in potenza e riconducibile a rumori di tipo termico.

La *temperatura equivalente di rumore* T_a è quella temperatura (in Kelvin) di un ipotetico *carico resistivo* che collegato all'ingresso di un dispositivo (privo di rumore) produrrebbe una potenza in uscita pari a

$$N_a = kT_a B \quad [\text{W}]$$

con: $k = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ J/K}$; $B = \text{banda}$

Misura del Total Power

Utilizzando il concetto di temperatura equivalente (TE) di rumore, poniamo:

- T_a = temperatura di rumore residuo dell'antenna
- T_r = temperatura di rumore del ricevitore
- ΔT = incremento della temperatura d'antenna dovuta ad una radiosorgente

La TE di rumore di un radiotelescopio può variare da pochi gradi a **centinaia di gradi K**.

La TE di rumore del segnale radioastronomico è di solito una **piccola frazione** di grado K.

$$\Delta T \ll T_a \quad ; \quad \Delta T \ll T_r$$

Misura del Total Power

La temperatura equivalente d'antenna T_a è la risultante di:

- *radio interferenze artificiali*
- *rumore atmosferico (specie sotto i 50 MHz)*
- *assorbimento atmosferico*
- *rumore del terreno*
- *dissipazione dell'antenna*

La T_a è funzione della **frequenza** e del **puntamento** dell'antenna.

Misura del Total Power (metodo 1)

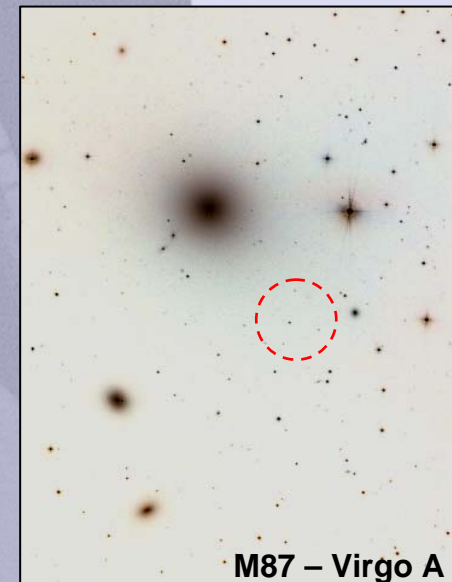
Misuriamo la temperatura d'antenna utilizzando una marca di rumore nota (*noise diode*).

1. si punta l'antenna in prossimità della sorgente se ne misura la potenza (off source)
2. si punta l'antenna sulla radiosorgente (on source) e si misura la variazione di potenza in uscita al radiometro:

$$\Delta\alpha_s = \text{on source} - \text{off source}$$

3. poi in posizione off source si somma una marca di calibrazione nota e si misura la variazione di potenza $\Delta\alpha_k$ dovuta alla ΔT_k della marca
4. infine si ricava la temperatura d'antenna dalla:

$$T_a = \Delta T_k \frac{\Delta\alpha_s}{\Delta\alpha_k}$$

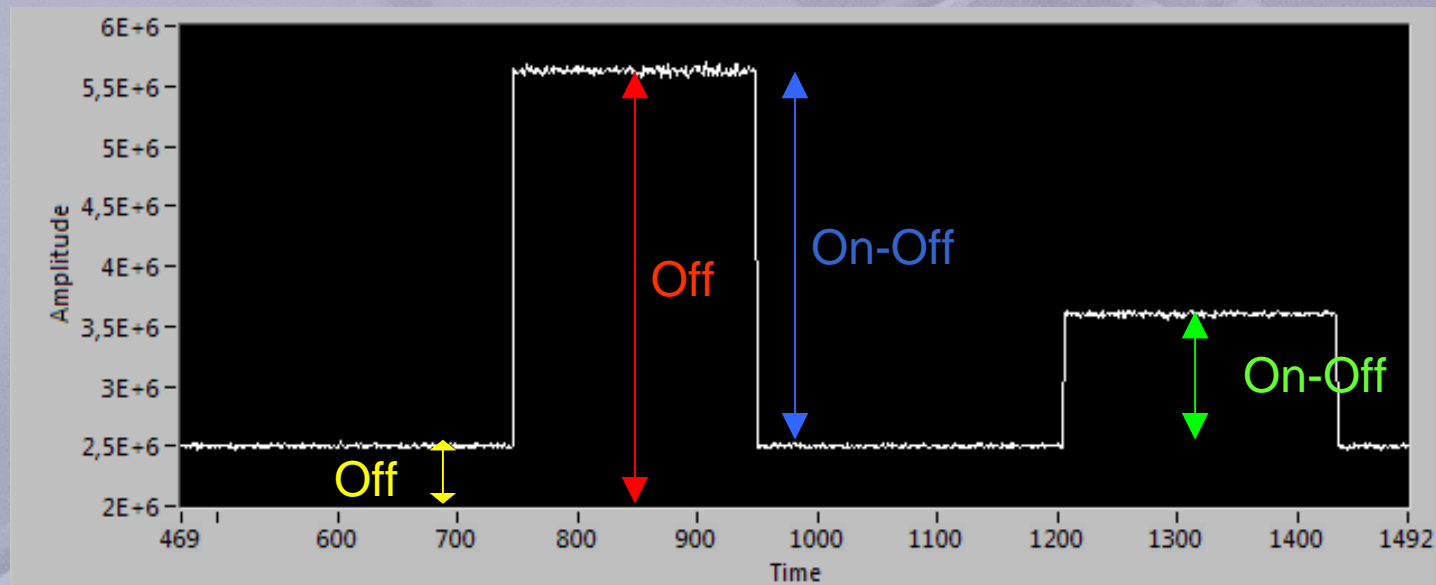


Misura del Total Power (metodo 2)

A differenza del metodo 1 non si possiede una marca di calibrazione.

1. si esegue un on-off su una sorgente di flusso noto
2. si calibra la misura effettuata conoscendo:
 - i. *l'effetto di diluizione della sorgente nel beam*
 - ii. *attenuazione atmosferica*
 - iii. *perdita di guadagno d'antenna per deformazioni*
 - iv. *contributo del ricevitore e dello spillover*
3. si calcola in prima approssimazione il rapporto (Jy/count) tra il flusso noto del calibratore e l'on-off calibrato
4. si esegue un ciclo on-off sulla sorgente incognita
5. si calibra l'on-off ottenuto come al punto 2
6. per conoscere il flusso della sorgente incognita si esegue il prodotto della misura on-off per il guadagno Jy/count calcolato

Misura del Total Power

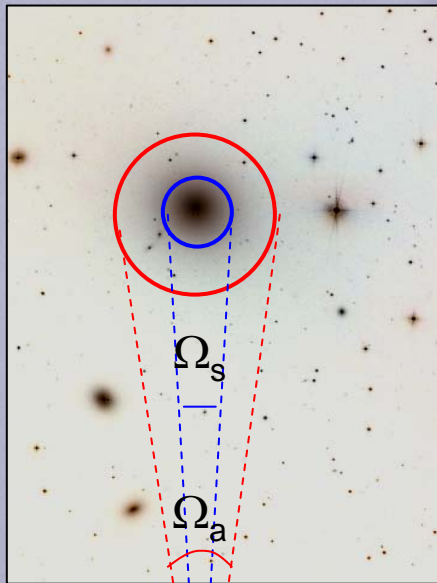


Calibratore di flusso

Sorgente di flusso
incognito

Misura del Total Power

Effetto diluizione



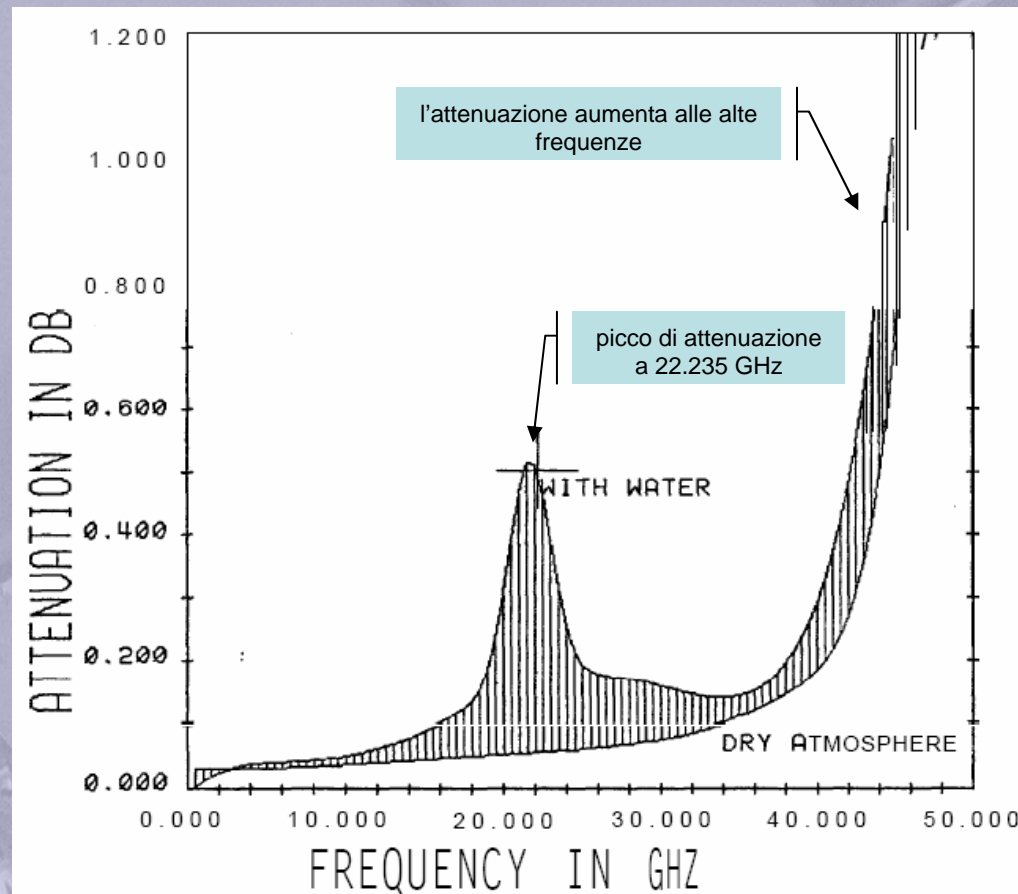
Se le dimensioni angolari Ω_s della sorgente sono inferiori alle dimensioni angolari del fascio principale d'antenna, si verifica un effetto di diluizione.

La temperatura d'antenna è uguale allora alla temperatura di brillantezza attenuata di un fattore uguale al rapporto delle dimensioni angolari di sorgente e lobo principale:

$$T_d = \frac{\Omega_s}{\Omega_a} \cdot T_a$$

Misura del Total Power

Attenuazione atmosferica



- alle alte frequenze le fluttuazioni dell'atmosfera incidono maggiormente e con elevata frequenza temporale

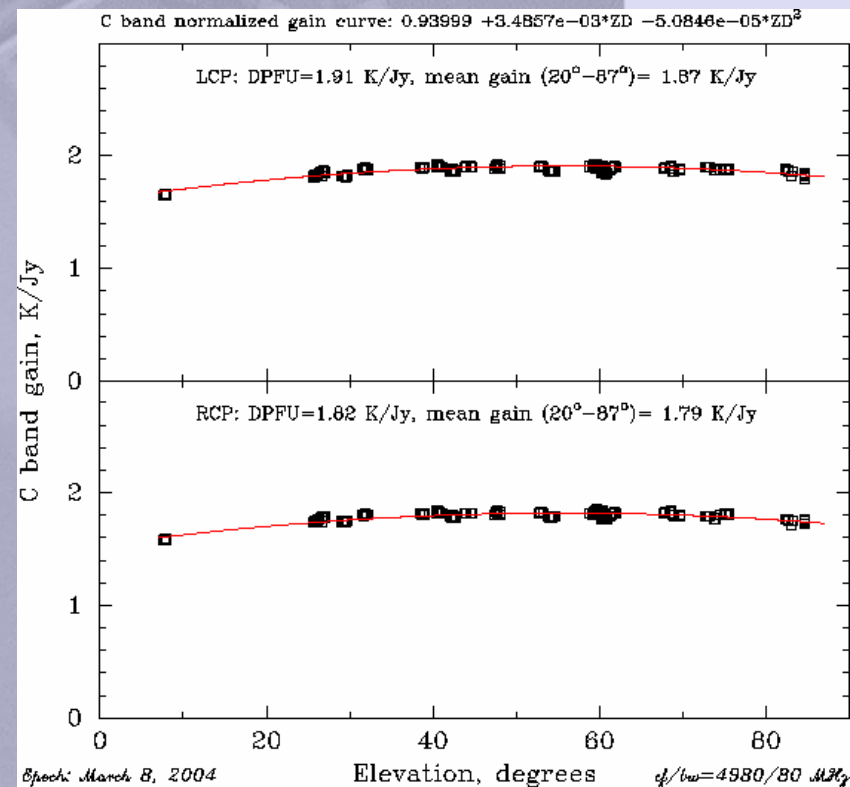
Misura del Total Power

Il guadagno dell'antenna per deformazioni meccaniche del disco varia al variare dell'elevazione.

L'andamento può essere approssimato da una curva di secondo grado del tipo:

$$ax^2 + bx + c$$

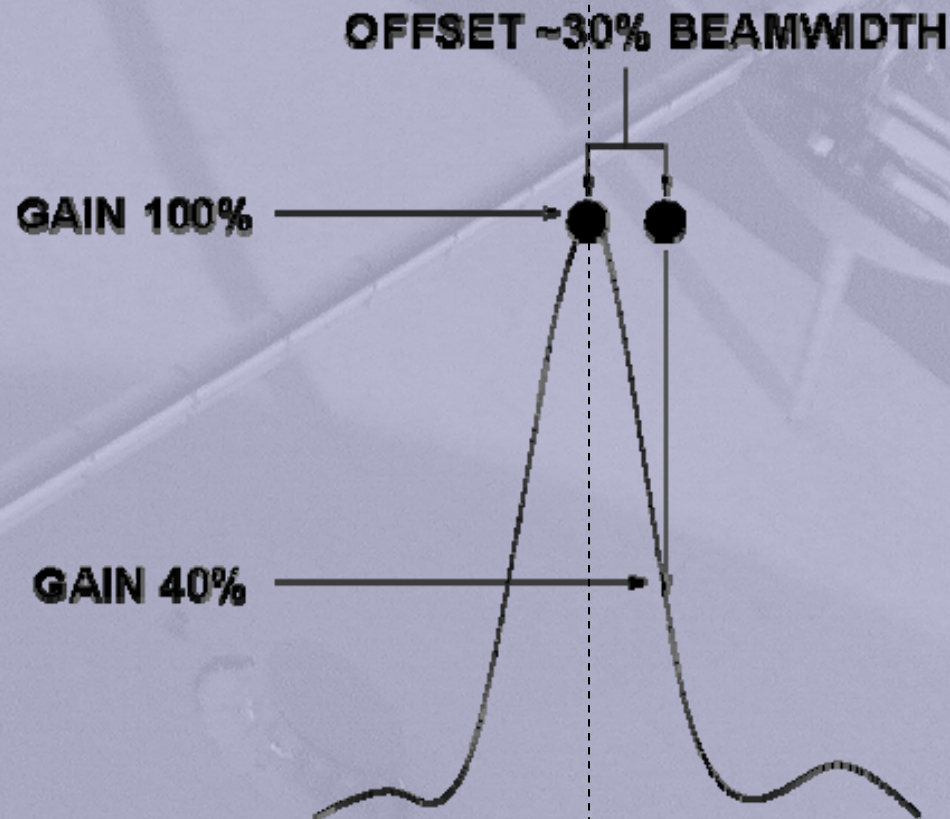
che fitta dei dati sperimentali ottenuti ad una certa frequenza, osservando più volte una sorgente forte a flusso costante al variare dell'elevazione.



GBT gain curve measurements in the 6cm band (C-band) were done March 8, 2004, 11:30 -- 16:30 EST

Misura del Total Power

Errore nel puntamento d'antenna



Un errore del 30% del FWHM nel puntamento d'antenna può indurre una perdita di guadagno dell'antenna pari al 60%.

Misura del Total Power

Segnale in uscita

Il segnale radioastronomico e il rumore indesiderato, seppur indipendenti, hanno identiche caratteristiche statistiche e per questo sono indistinguibili.

Il segnale in uscita dall'integratore sarà quindi:

$$S_r = kB \beta (\Delta T + T_a + T_r) G$$

dove k è la costante di Boltzmann, B è la banda, β è un fattore di amplificazione del rivelatore e dell'integratore e G è il guadagno in potenza.



I.A.R.A.

SIR
RADIOASTRONOMIA

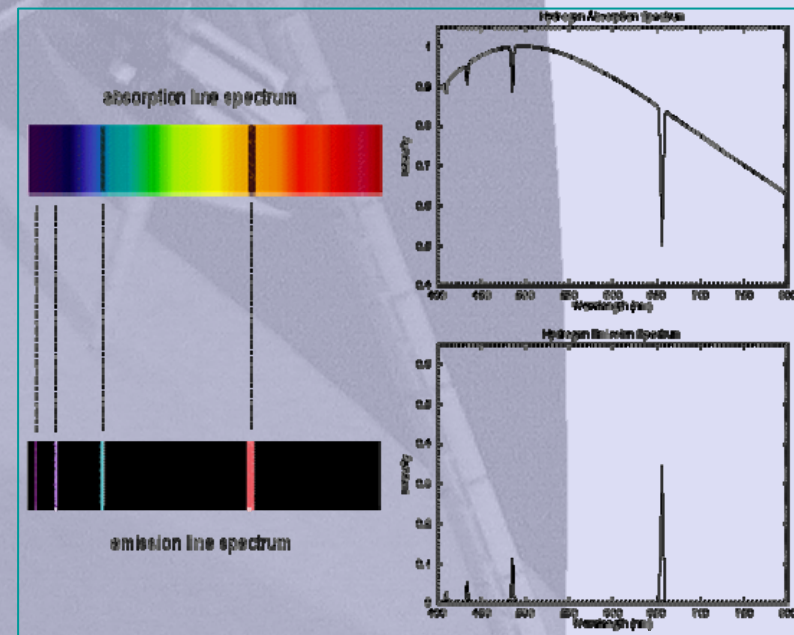
Misure di spettri in radioastronomia

Misura dello spettro

Lo studio delle linee spettrali in radioastronomia comincia nel 1951 quando nello spazio interstellare venne detectata la riga dell'idrogeno a $\lambda = 21$ cm.

Fin dall'inizio le misure di righe spettrali hanno richiesto:

- accuratezza nei puntamenti
- stabilità del guadagno
- stabilità della frequenza degli oscillatori locali



Misura dello spettro

Le frequenze vibrazionali-rotazionali delle molecole sono in genere ben conosciute dalle misure di laboratorio.

Ciò consente di limitare la porzione di spettro da studiare attorno ad una certa frequenza.

Chemical sp.	Frequency f
Deuterium	327.384 MHz
Hydrogen	1420.406 MHz
Hydroxyl radical	1612.231 MHz
Formaldehyde	4829.660 MHz
Methanol	6668.518 MHz
Water vapor	22.235 GHz
Silicon monoxide	42.519 GHz
Carbon monoxide	109.782 GHz
Water vapor	183.310 GHz

Misura dello spettro

Intensità di una riga spettrale

Una riga può essere d'emissione, d'assorbimento (o entrambi).

E' il coefficiente di assorbimento della transizione che determina l'opacità e dunque l'intensità di riga.

Per una **riga di emissione** la temperatura equivalente d'antenna T_L può essere calcolata come segue:

$$T_L(\nu) = T_{ex} \left(1 - e^{-\tau(\nu)} \right) \cdot \Omega_S / \Omega_A$$

$\tau(\nu)$ = spessore ottico ad una frequenza ν

T_{ex} = temperatura di eccitazione

Ω_S, Ω_A = dimensioni degli angoli solidi di sorgente e del beam d'antenna

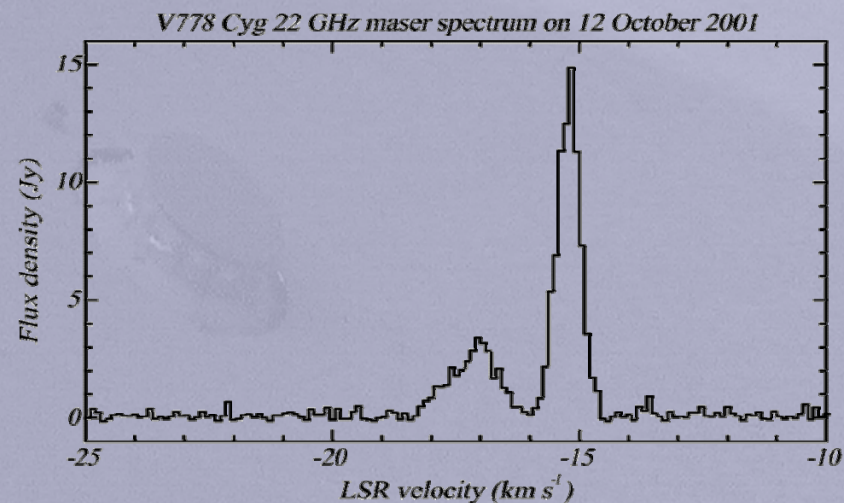
Misura dello spettro

Larghezza di una riga spettrale

Nel dominio delle onde radio la naturale larghezza di riga è molto piccola.

Essa assume un profilo gaussiano principalmente dovuto a:

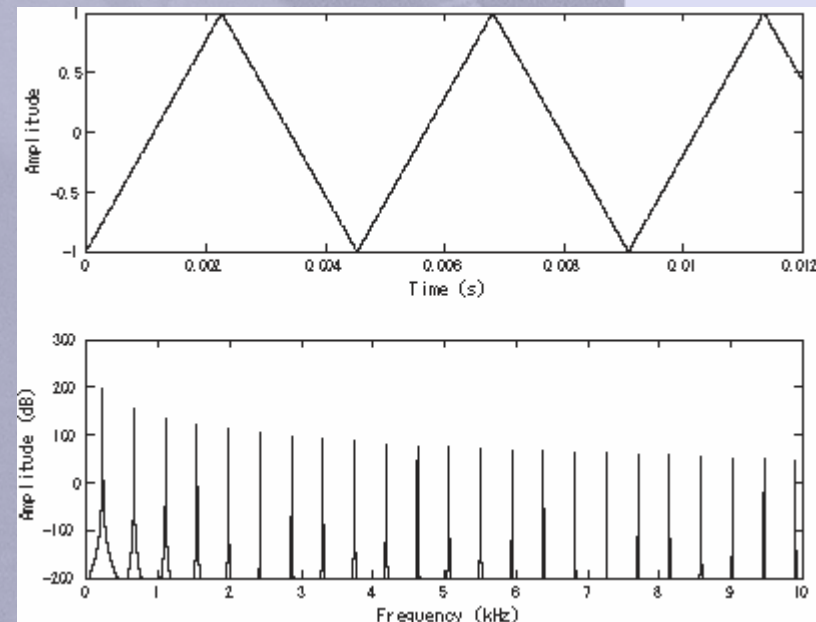
1. doppler per la temperatura cinetica del gas
2. velocità di turbolenza



**22GHz H₂ maser spectrum of V778 Cyg.
Fonte Merlin.**

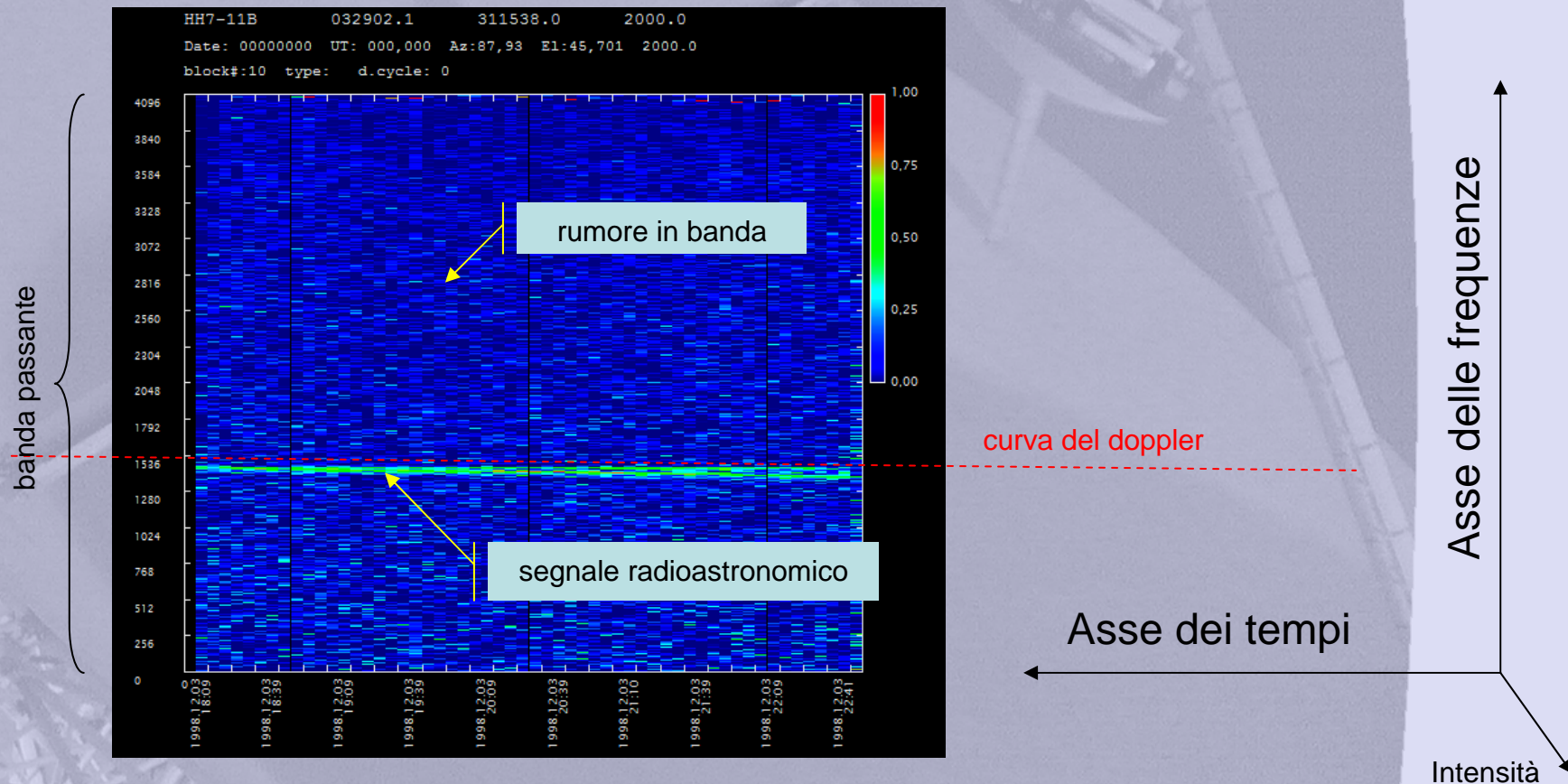
Come ottenere uno spettro

- In ambito professionale oggi esistono schede hardware veloci che calcolano lo spettro in radiofrequenza in tempo reale
- In ambito amatoriale la soluzione più immediata rimane quella di utilizzare software che calcolano lo spettro (solitamente il Power Spectrum) a partire dal dominio del tempo mediante la FFT (Fast Fourier Transform).
- La Trasformata di Fourier è la rappresentazione di una funzione che produce uno spettro in termini di frequenza e non di tempo
- A destra in alto un segnale di forma triangolare mentre in basso la FFT del segnale



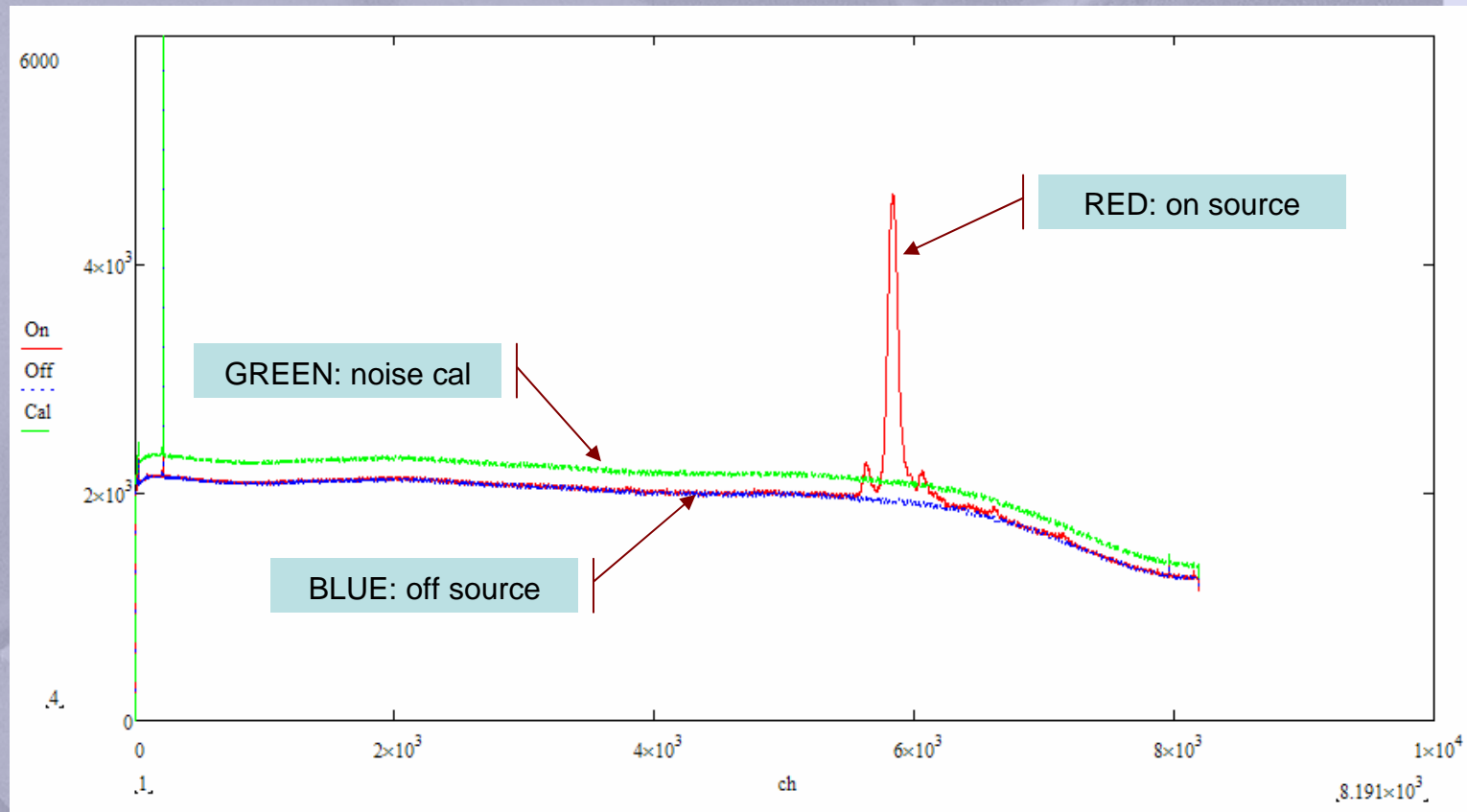
Visualizzare più spettri

Torna utile il più delle volte visualizzare una sequenza temporale di spettri. In tal caso si ricorre alla “waterfall”:



Elaborazione di spettri in radioastronomia

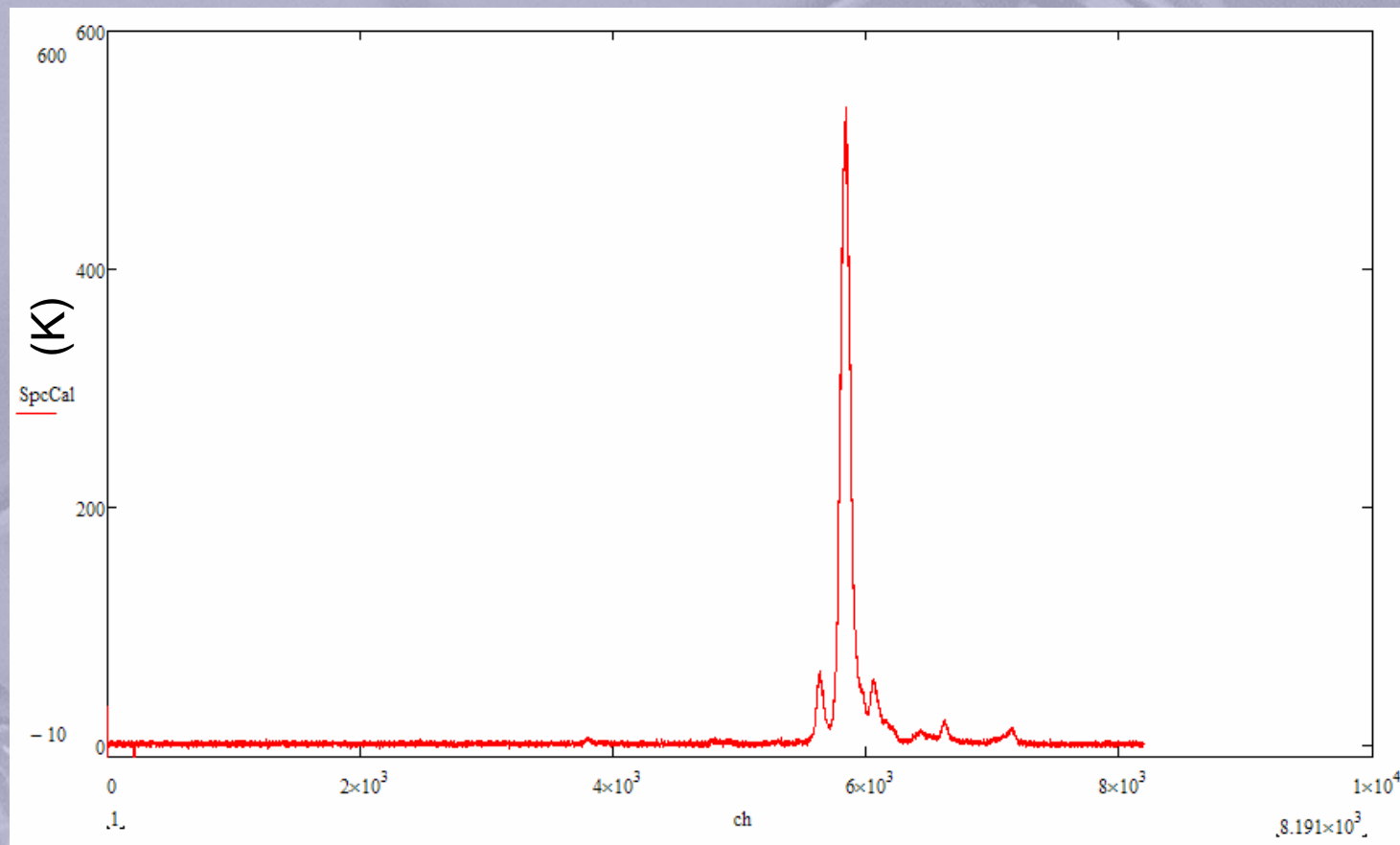
Un esempio a 22 GHz: W3OH



8196 canali FFT

Elaborazione di spettri in radioastronomia

Disponendo dei singoli spettri On source, Off source e Cal è possibile processarli ed ottenere uno spettro finale:





I.A.R.A.

SIR
RADIOASTRONOMIA

Software

RADIOmetrica Software

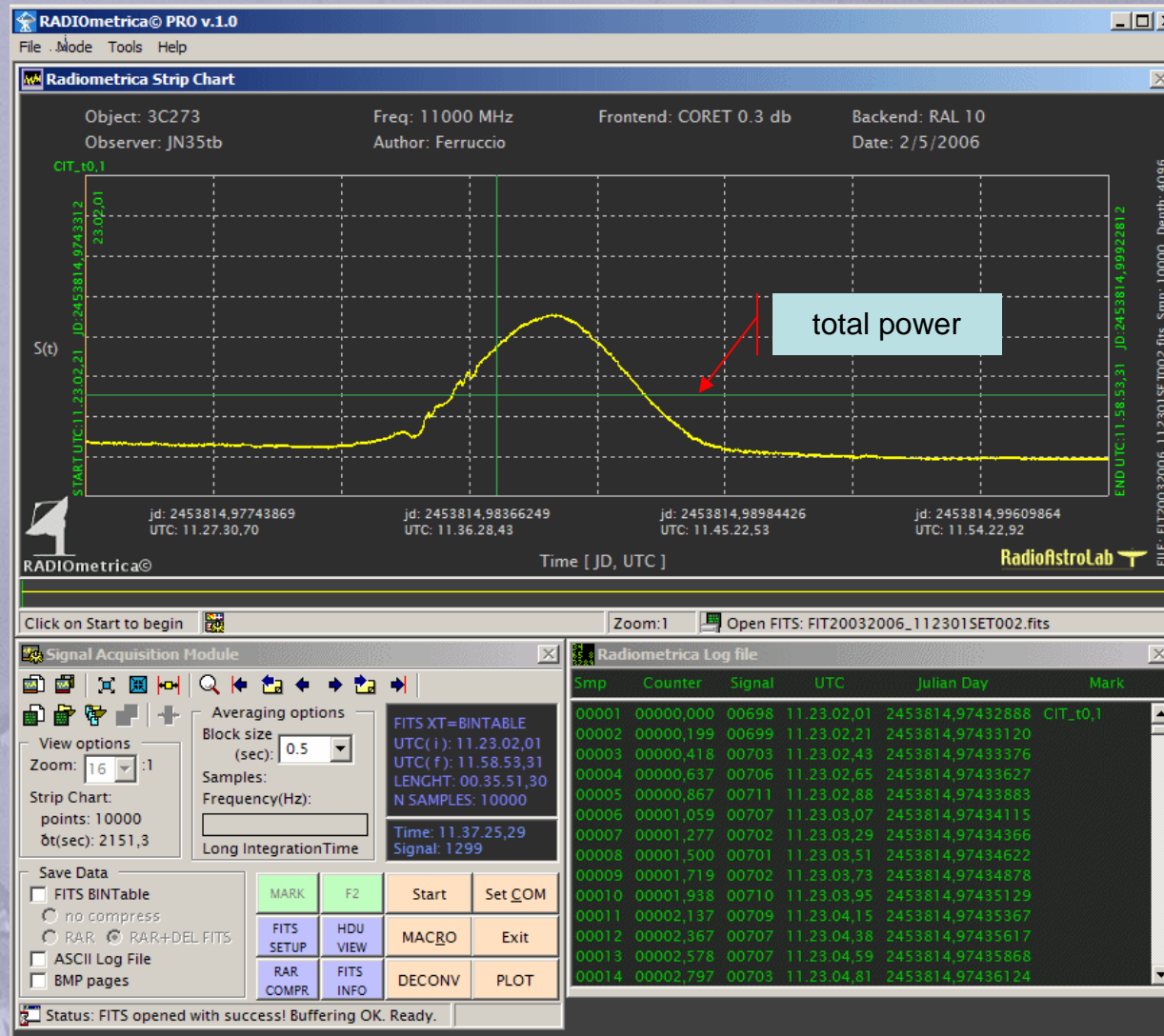


RADIOmetrica è un software di acquisizione e di preprocessing di segnali acquisiti da apparati radioastronomici. Supporta i ricevitori della RadioAstroLab nei modelli RAL10 a 12 bit, RAL10E a 14 bit e RAL11 a 16 bit.

L'acquisizione dei dati avviene tramite porta seriale e protocollo RS-232. I dati possono essere salvati in diversi formati:

1. FITS File Format: Flexible Image Transport System, da 12 a 16 bit in formato FITS BINTABLE
2. ASCII Format: I dati possono anche essere salvati in un file di testo ASCII, leggibile da qualunque editor e stampabili o importabili su fogli di calcolo o pacchetti di analisi statistica dei dati.
3. In bitmap vengono salvate le immagini delle "strip chart" prodotte dall' interfaccia grafica di Radiometrica.

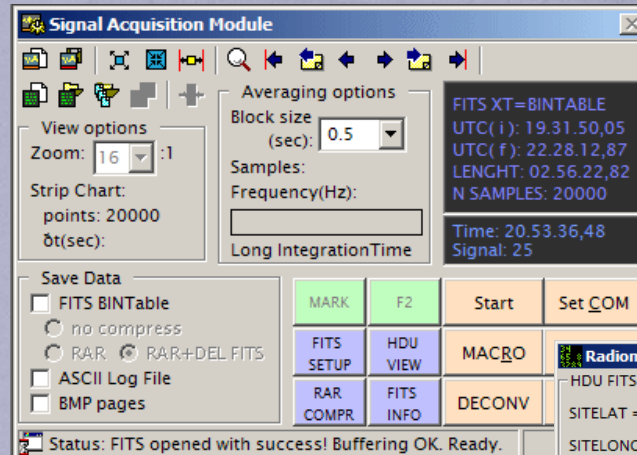
RADIOmetrica Software



Schermata principale di RADIOmetrica. Sono visibili le tre finestre di default, in quella in alto è graficato il FITS relativo ad un transito solare a 11 GHz effettuato dal radioastrofilo e radioamatore Ferruccio Paglia utilizzando un riflettore parabolico da 130 cm, @f 0,66

RADIOmetrica Software

A sinistra, il Signal Acquisition Module, ovvero il pannello di controllo di RADIOmetrica.



Signal Acquisition Module window showing acquisition parameters and controls.

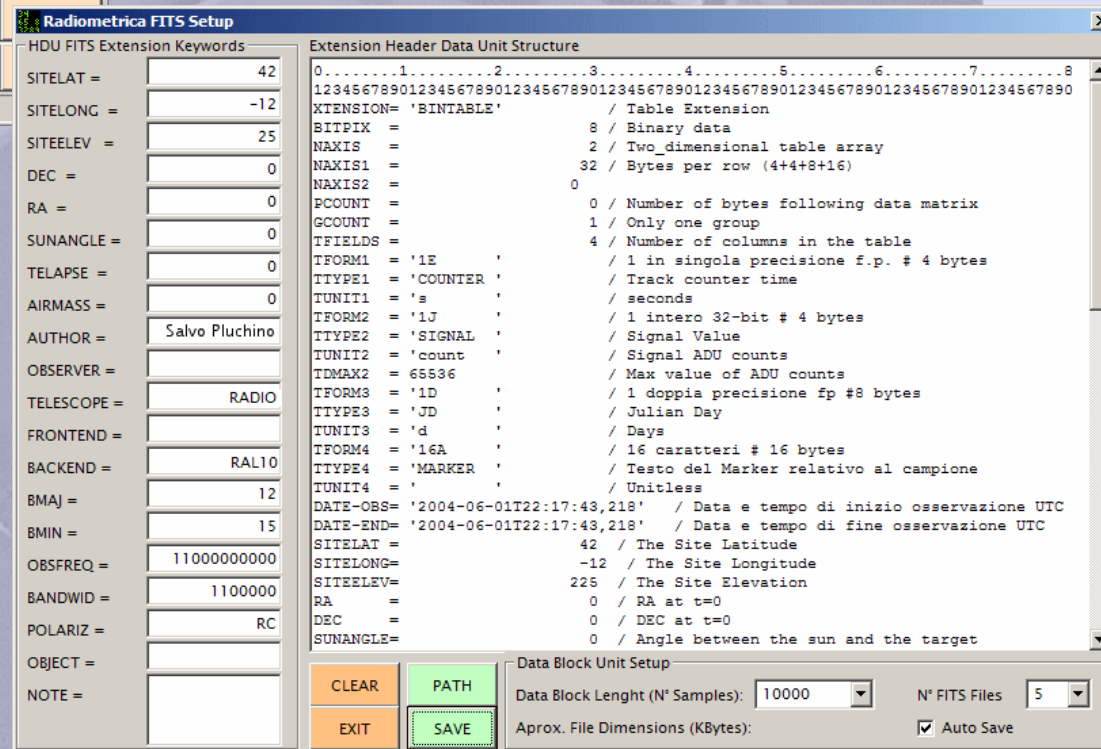
View options
Zoom: 16 :1
Strip Chart: points: 20000, dt(sec):

Averaging options
Block size (sec): 0.5
Samples: Frequency(Hz):
Long IntegrationTime

Save Data
 FITS BINTable
 no compress
 RAR RAR+DEL FITS
 ASCII Log File
 BMP pages

Buttons: MARK, F2, Start, Set COM, FITS SETUP, HDU VIEW, MACRO, RAR COMPR, FITS INFO, DECONV

Status: FITS opened with success! Buffering OK. Ready.



Radiometrica FITS Setup window showing HDU FITS Extension Keywords and Extension Header Data Unit Structure.

HDU FITS Extension Keywords

SITELAT =	42
SITELONG =	-12
SITEELEV =	25
DEC =	0
RA =	0
SUNANGLE =	0
TE LAPSE =	0
AIRMASS =	0
AUTHOR =	Salvo Pluchino
OBSERVER =	
TELESCOPE =	RADIO
FRONTEND =	
BACKEND =	RAL10
BMAJ =	12
BMIN =	15
OBSFREQ =	11000000000
BANDWID =	1100000
POLARIZ =	RC
OBJECT =	
NOTE =	

Extension Header Data Unit Structure

```

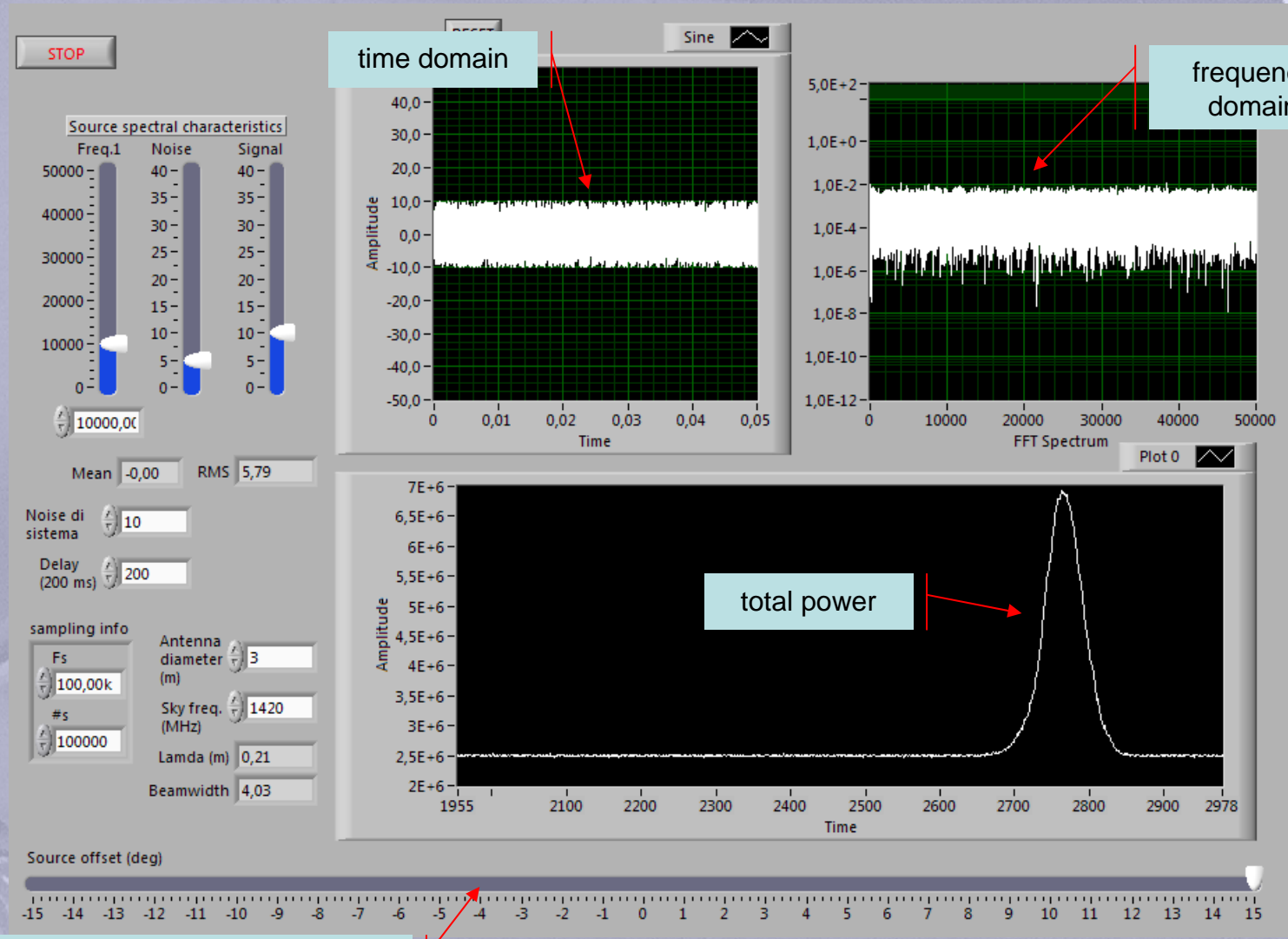
0.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
XTENSION= 'BINTABLE' / Table Extension
BITPIX = 8 / Binary data
NAXIS = 2 / Two dimensional table array
NAXIS1 = 32 / Bytes per row (4+4+8+16)
NAXIS2 = 0
PCOUNT = 0 / Number of bytes following data matrix
GCOUNT = 1 / Only one group
TFIELDS = 4 / Number of columns in the table
TFORM1 = '1E' / 1 in singola precisione f.p. # 4 bytes
TTYPE1 = 'COUNTER' / Track counter time
TUNIT1 = 's' / seconds
TFORM2 = '1J' / 1 intero 32-bit # 4 bytes
TTYPE2 = 'SIGNAL' / Signal Value
TUNIT2 = 'count' / Signal ADU counts
TDMAX2 = 65536 / Max value of ADU counts
TFORM3 = '1D' / 1 doppia precisione fp #8 bytes
TTYPE3 = 'JD' / Julian Day
TUNIT3 = 'd' / Days
TFORM4 = '16A' / 16 caratteri # 16 bytes
TTYPE4 = 'MARKER' / Testo del Marker relativo al campione
TUNIT4 = ' ' / Unitless
DATE-OBS= '2004-06-01T22:17:43,218' / Data e tempo di inizio osservazione UTC
DATE-END= '2004-06-01T22:17:43,218' / Data e tempo di fine osservazione UTC
SITELAT = 42 / The Site Latitude
SITELONG= -12 / The Site Longitude
SITEELEV= 225 / The Site Elevation
RA = 0 / RA at t=0
DEC = 0 / DEC at t=0
SUNANGLE= 0 / Angle between the sun and the target
    
```

Data Block Unit Setup
Data Block Length (N° Samples): 10000 N° FITS Files: 5
Aprox. File Dimensions (KBytes): Auto Save

Buttons: CLEAR, PATH, EXIT, SAVE

Finestra di
settaggio delle
KEYWORD
della HDX

Software OnOff



distanza angolare sorgente/antenna



I.A.R.A.

SdR
RADIOASTRONOMIA

Grazie per l'attenzione

*Per ulteriori approfondimenti visitare i seguenti links:
IARA Group: <http://www.iaragroup.org>
SdR Radioastronomia UAI: <http://radioastronomia.uai.it>
INAF-IRA: <http://www.ira.inaf.it>*