

Digital Backends in Radioastronomy

Workshop ICT INAF 2014

Pula, 19 Settembre 2014

Andrea Melis

Sommario

- Introduzione sui backend digitali
- Backend attualmente disponibili e progetti in essere
- Ordine di grandezza dei dati digitali acquisiti e prodotti
- Sviluppi futuri

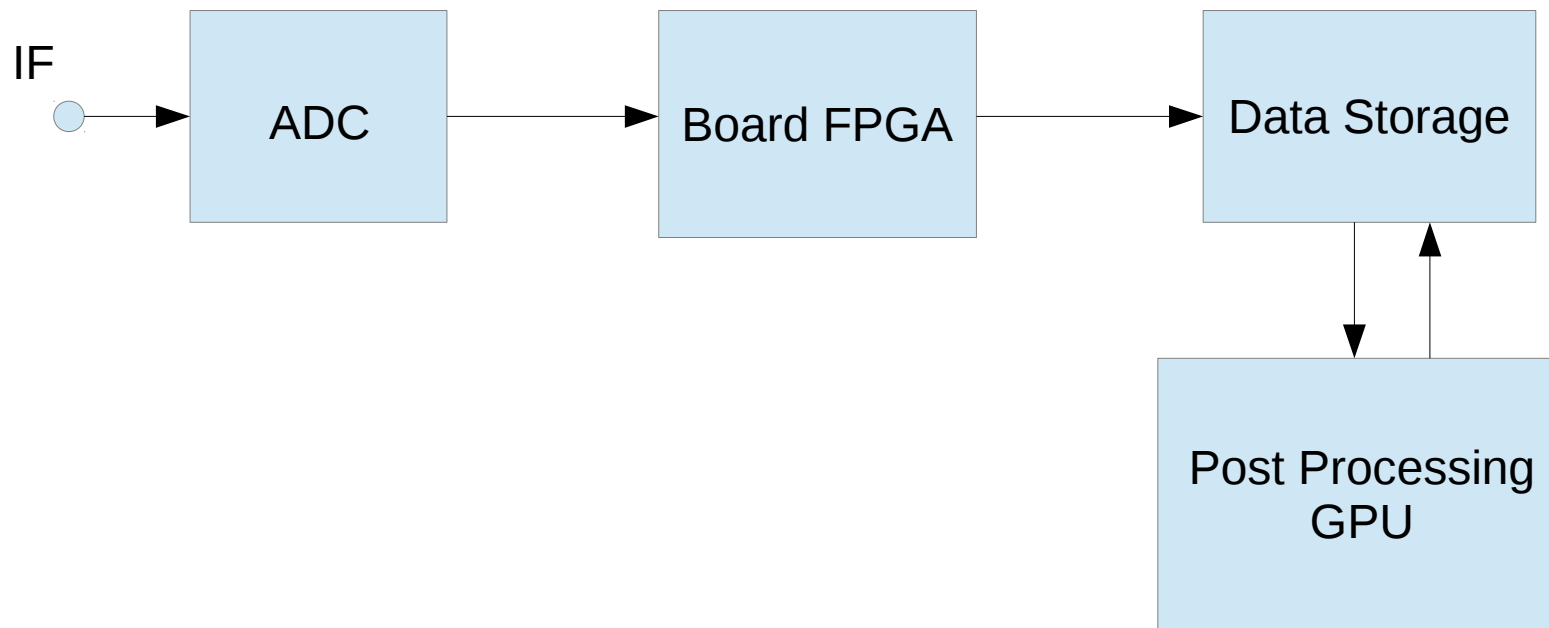
Gruppi di lavoro per le 3 antenne italiane

- **Osservatorio Astronomico di Cagliari** (*Melis, Concu, Migoni, Poppi*)
- **Osservatorio Astrofisico di Arcetri** (*Comoretto*)
- **IRA – Medicina** (*Bartolini, Naldi, Mattana, Bianchi, Monari*)
- **IRA – Noto** (*Tuccari, Buttaccio, Schillirò*)

Cos'e' un backend?

- Ultimo stadio nella catena di ricezione del segnale radioastronomico
- Converte l'analogico segnale celeste in un segnale digitale
- Processa i segnali digitali in base alle richieste scientifiche
- Invia i dati ad un sistema di data storage o di post processing.

Schema a blocchi minimale di un backend



Modalità osservative

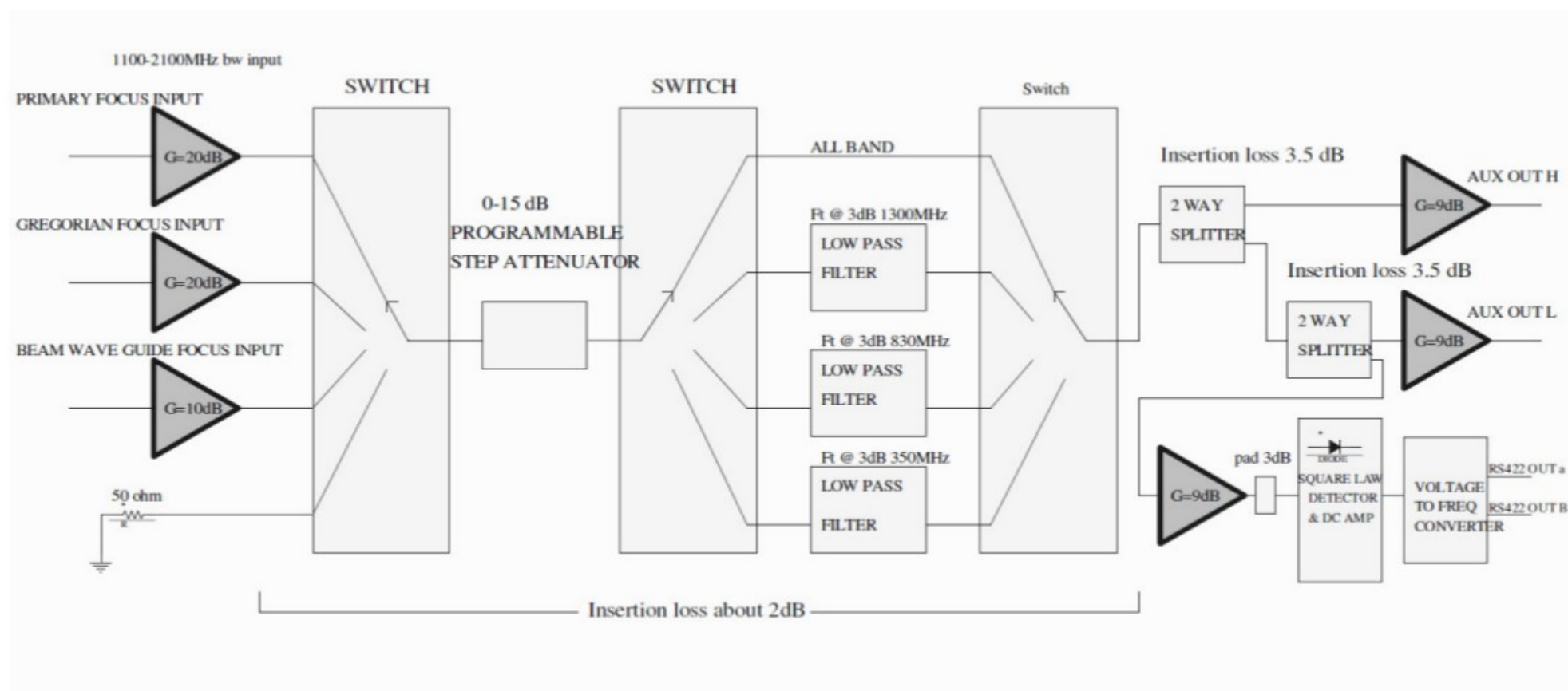
- Total Power
- Polarimetria
- Spettroscopia
- Spettropolarimetria
- VLBI
- Pulsar
- RFI detection/mitigation
- Space Debris
- Beamforming
- SETI

Backend nei radiotelescopi italiani

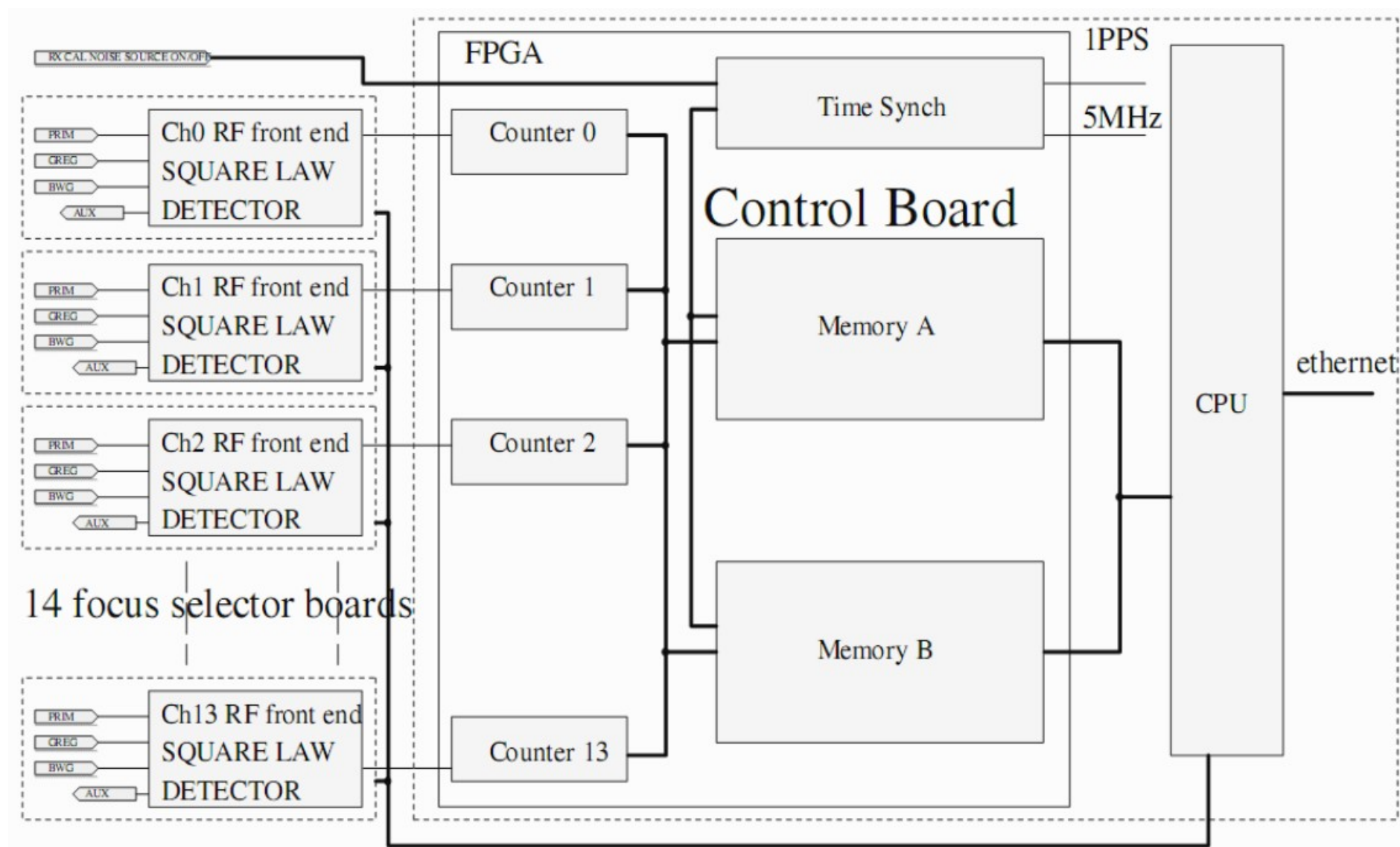
- TOTAL POWER (*Medicina, SRT*)
- MSPEC0 (*Medicina*)
- XARCOS (*Medicina, SRT*)
- DIGITAL BASE BAND CONVERTER (*Medicina, Noto, SRT*)
- PULSAR DIGITAL FILTER BANK (*SRT*)
- ROACH (*Medicina, Noto, SRT*)
- ROACH 2 (*Medicina, SRT*)

Total Power (1)

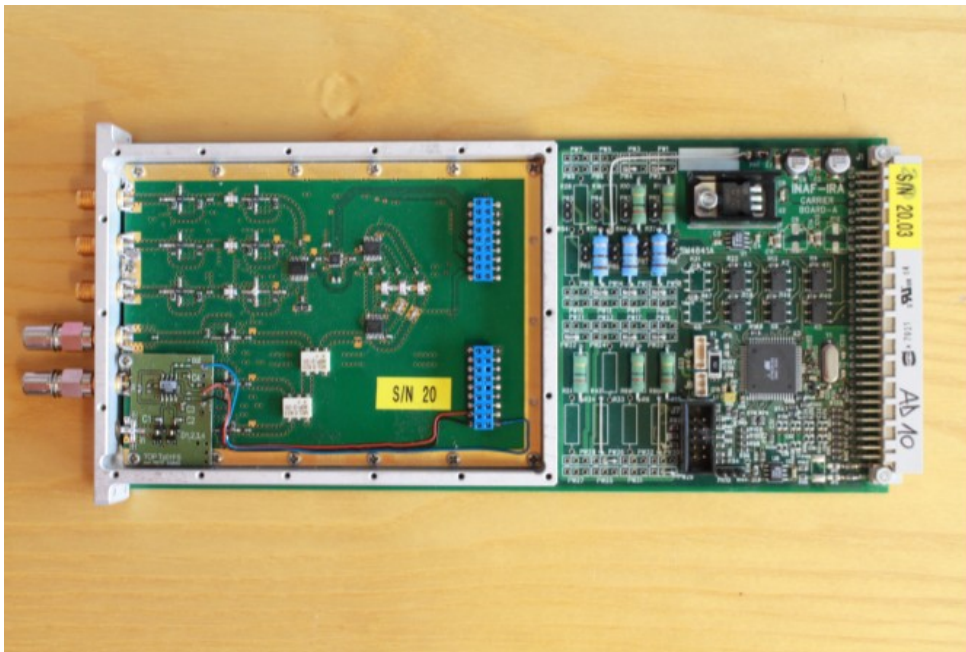
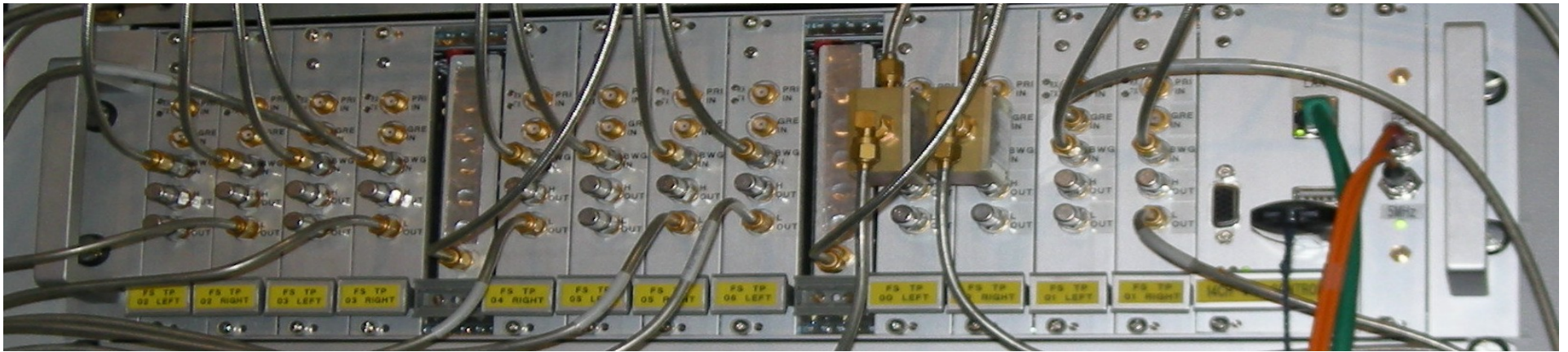
- Sviluppato a Medicina. Usato sia come focus selector che come backend nel continuo.



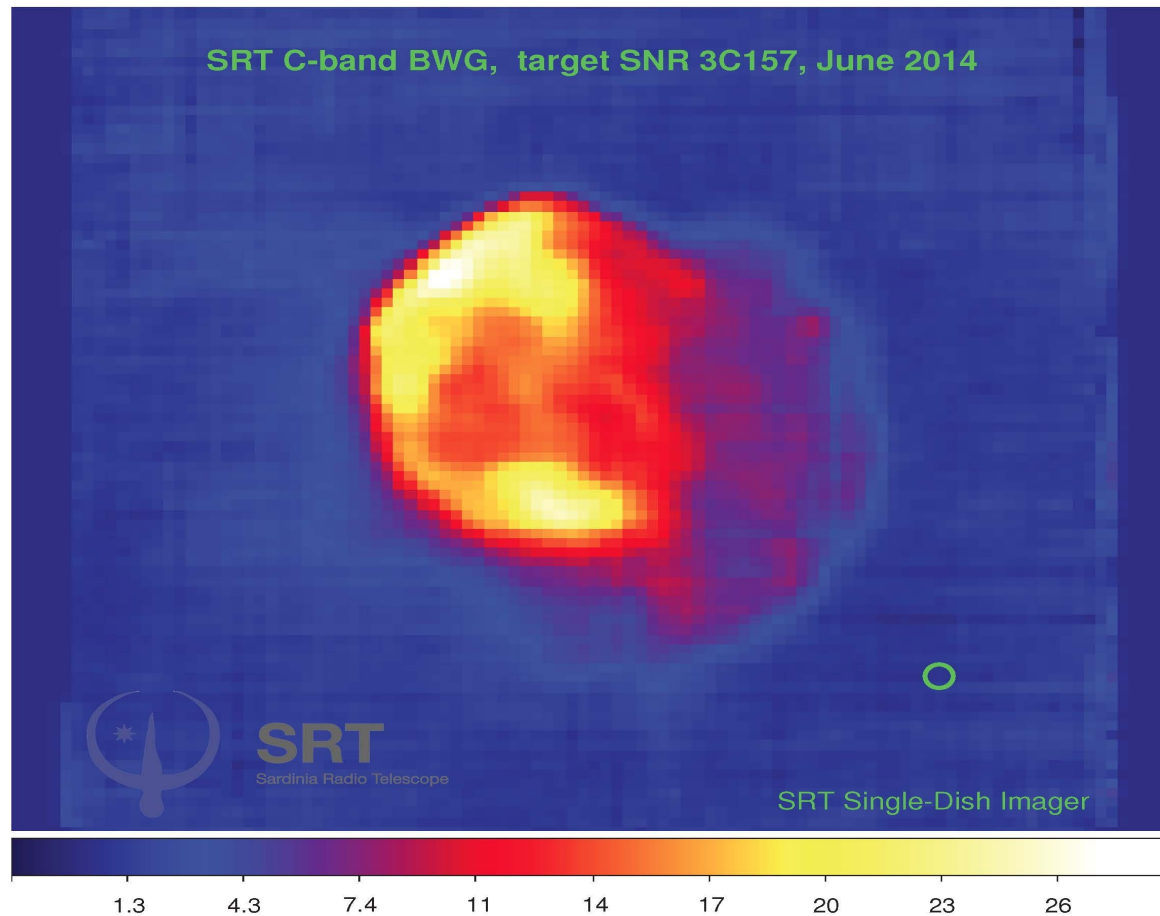
Total Power (2)



Total Power (3)

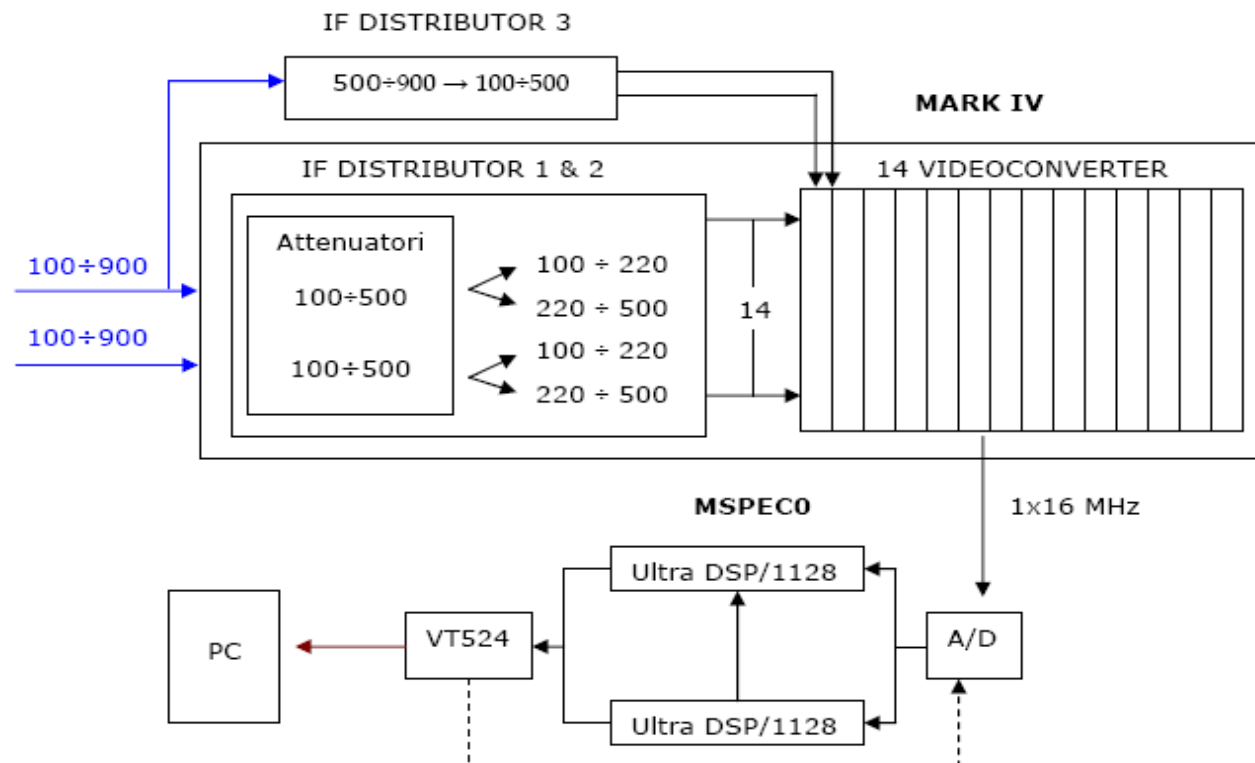


Mappa supernovae 3C157 col Total Power

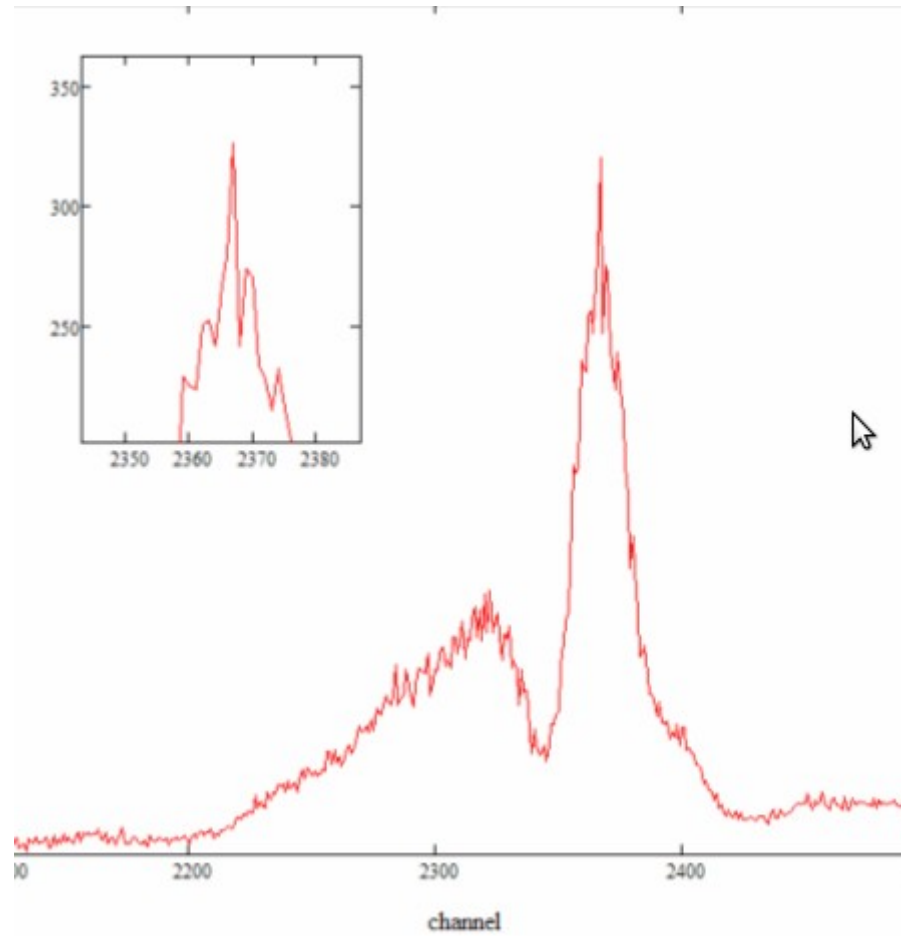


MSPEC0

- Spettrometro sviluppato a Medicina.
- Banda istantanea: fino a 16 MHz
- Numero di canali spettrali: fino a 131.072



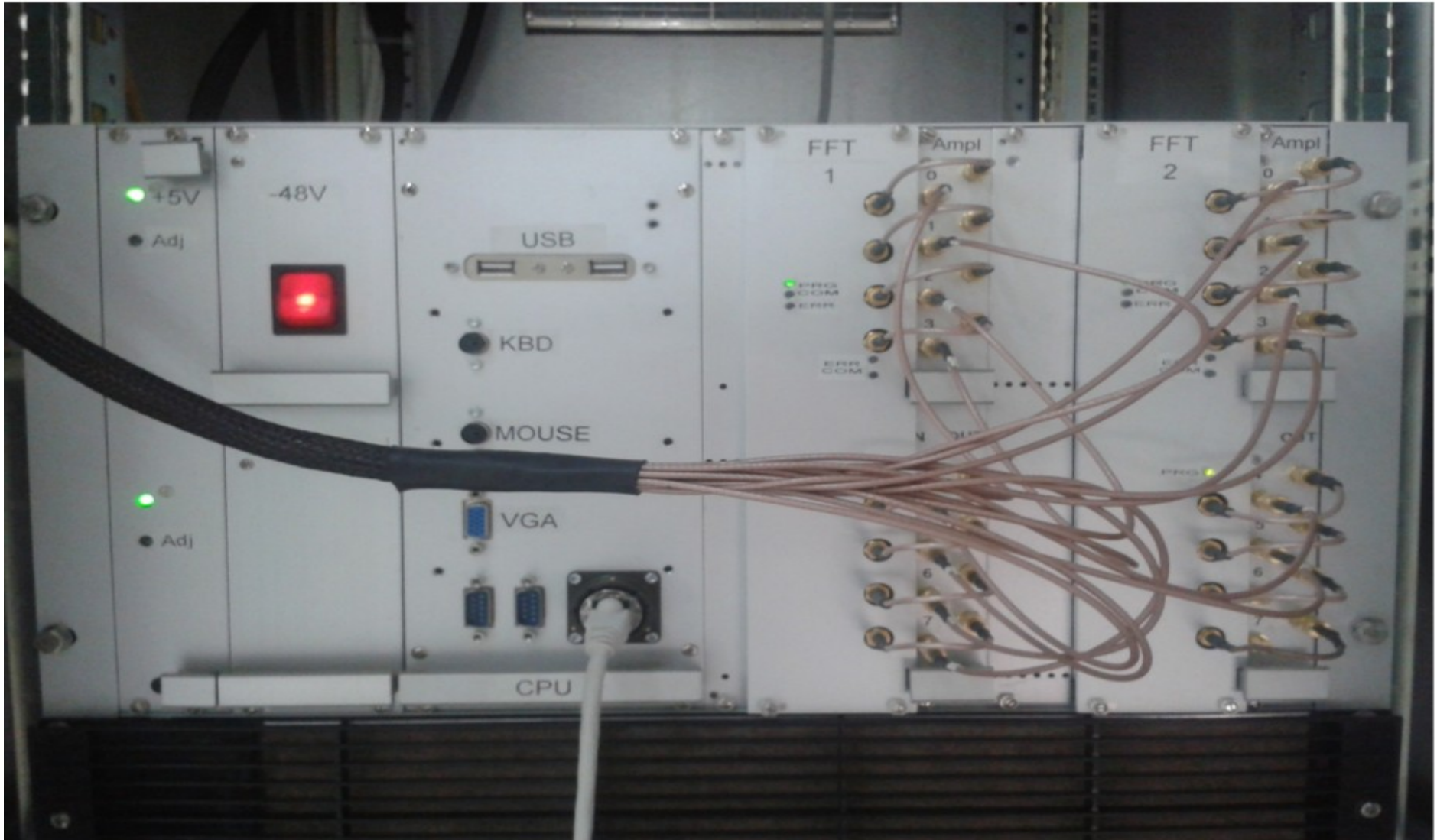
W3OH con MSPEC0



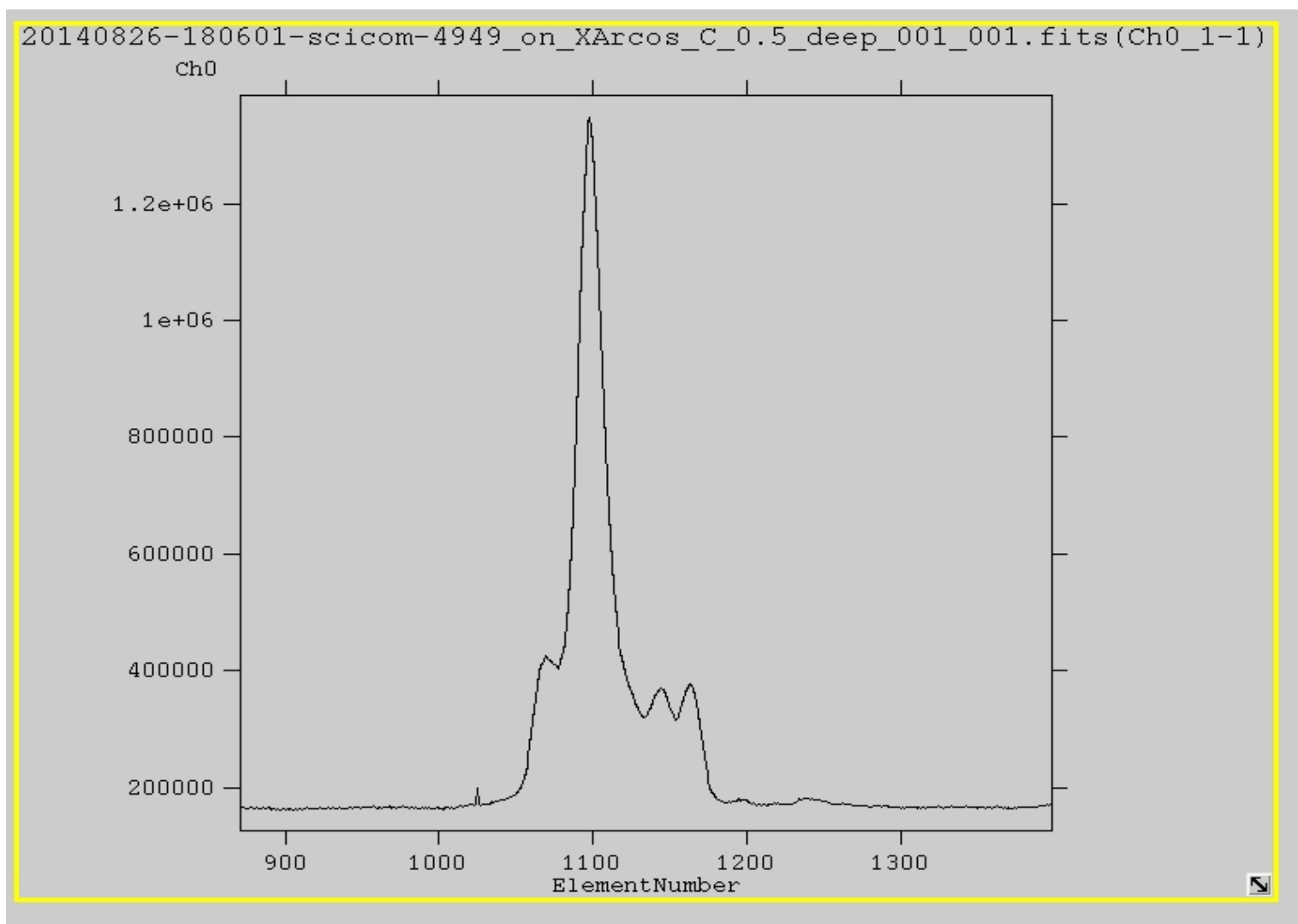
XARCOS

- Realizzato da Gianni Comoretto (Osservatorio Astrofisico di Arcetri)
- Spettropolarimetro multi-canale:
 - 16 IF, operanti nel range 125-250 MHz
 - Larghezza di banda: 125 MHz teorici, circa 80 MHz realmente fruibili
 - 2048 canali spettrali
 - 4 parametri di Stokes
 - Possibilità di stringere la banda fino a 0.5 MHz
 - Possibilità di selezionare qualunque intervallo all'interno dei 125 MHz
- Basato su schede utilizzate per il correlatore di ALMA
- Installato ad SRT ed operativo

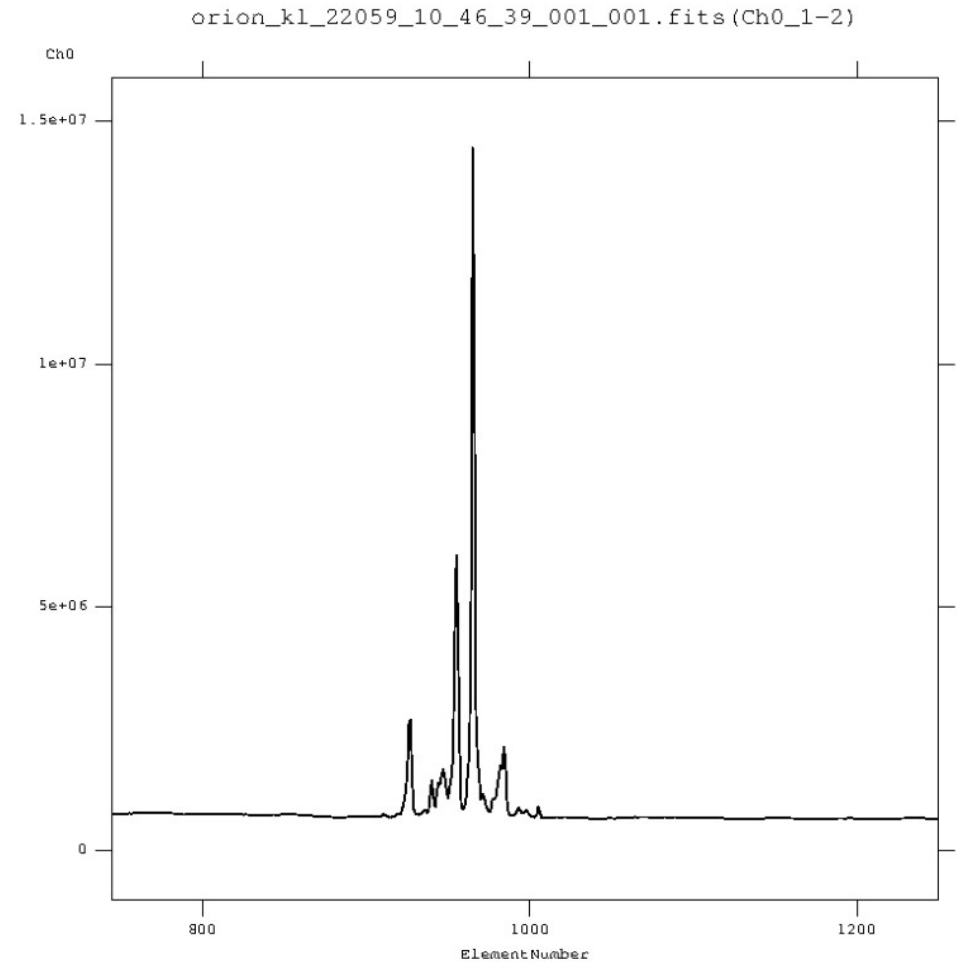
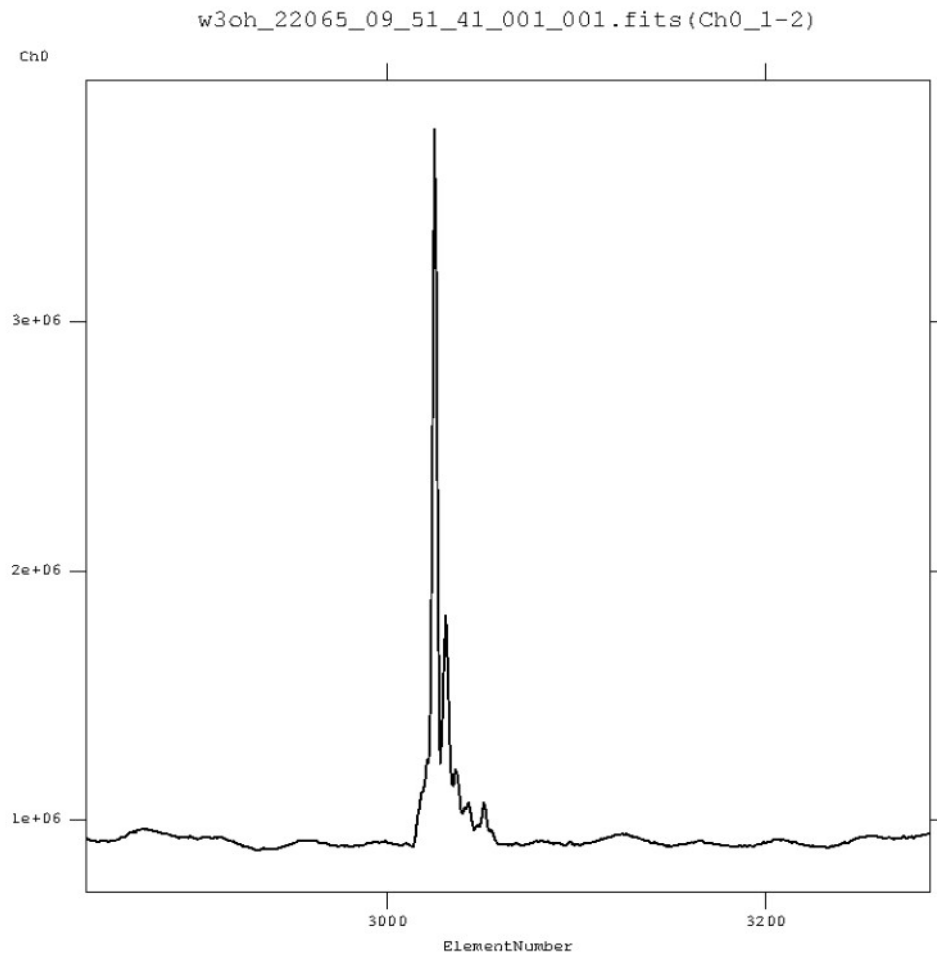
XARCOS installato e cablato ad SRT



Maser del metanolo W4949-0.39 in banda C con XARCOS



W3OH e Orion KL in banda K



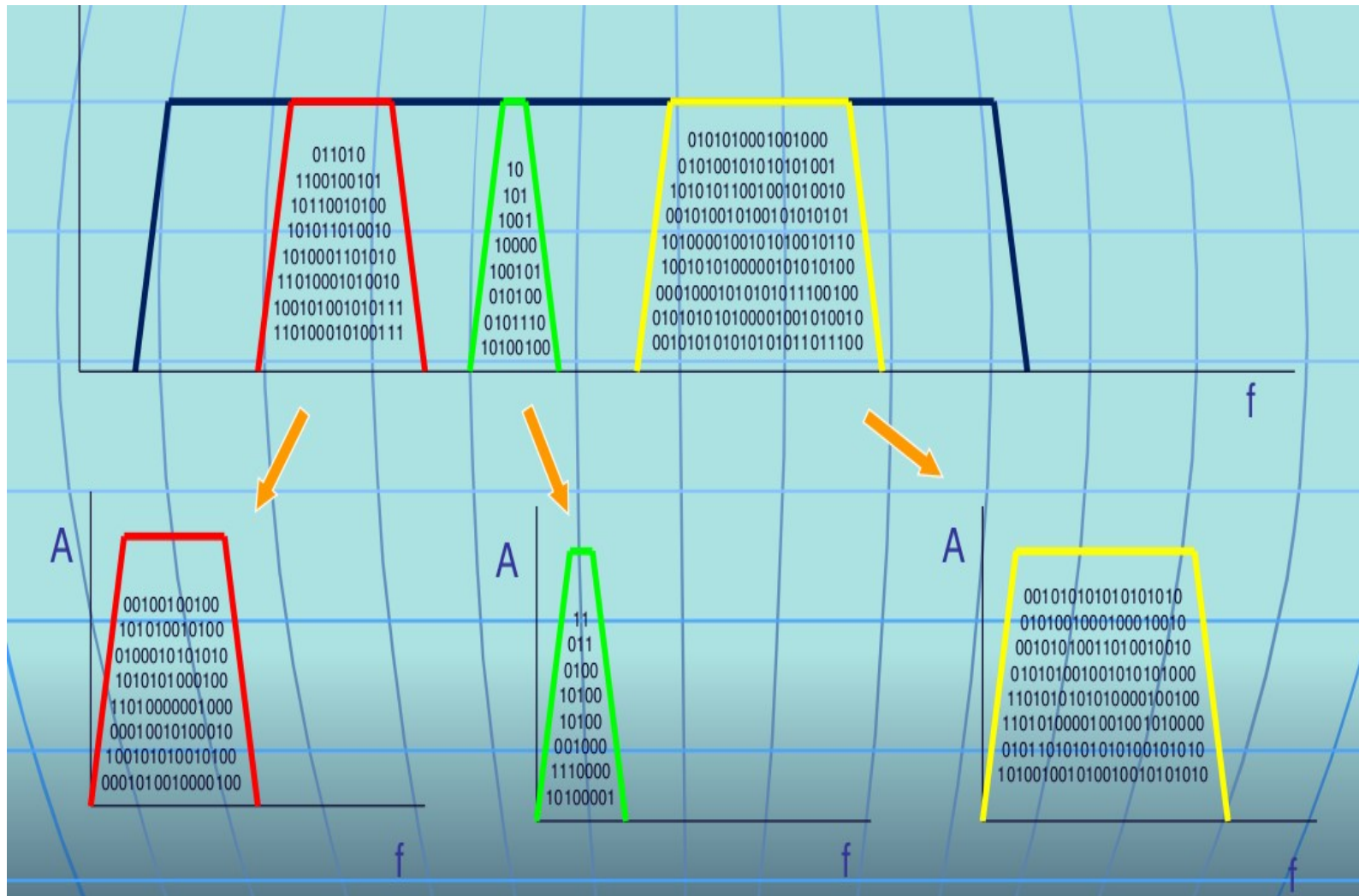
Digital Base Band Converter

- Backend sviluppato all'IRA di Noto
 - 4 IF con moduli di condizionamento
 - ADC 1 GS/s oppure 2 GS/s
 - Schede di elaborazione basate su FPGA Xilinx Virtex5
 - Scheda Fila10G (due uscite 10 Gbe in fibra ottica)
 - PC interno
 - Sintetizzatore digitale
 - DAC
- Applicazioni:
 - VLBI
 - RFI monitoring

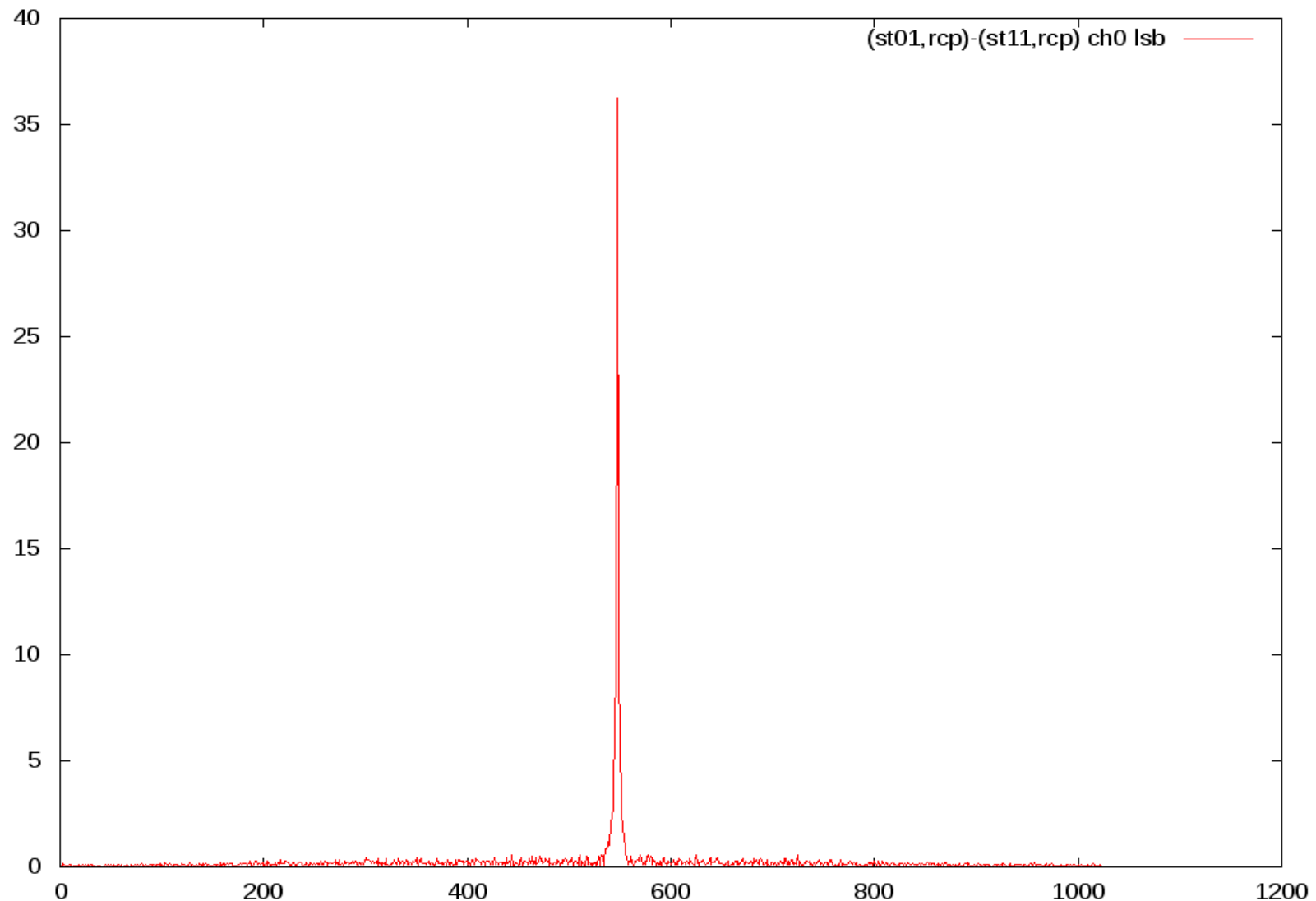
DBBC & MARK5C



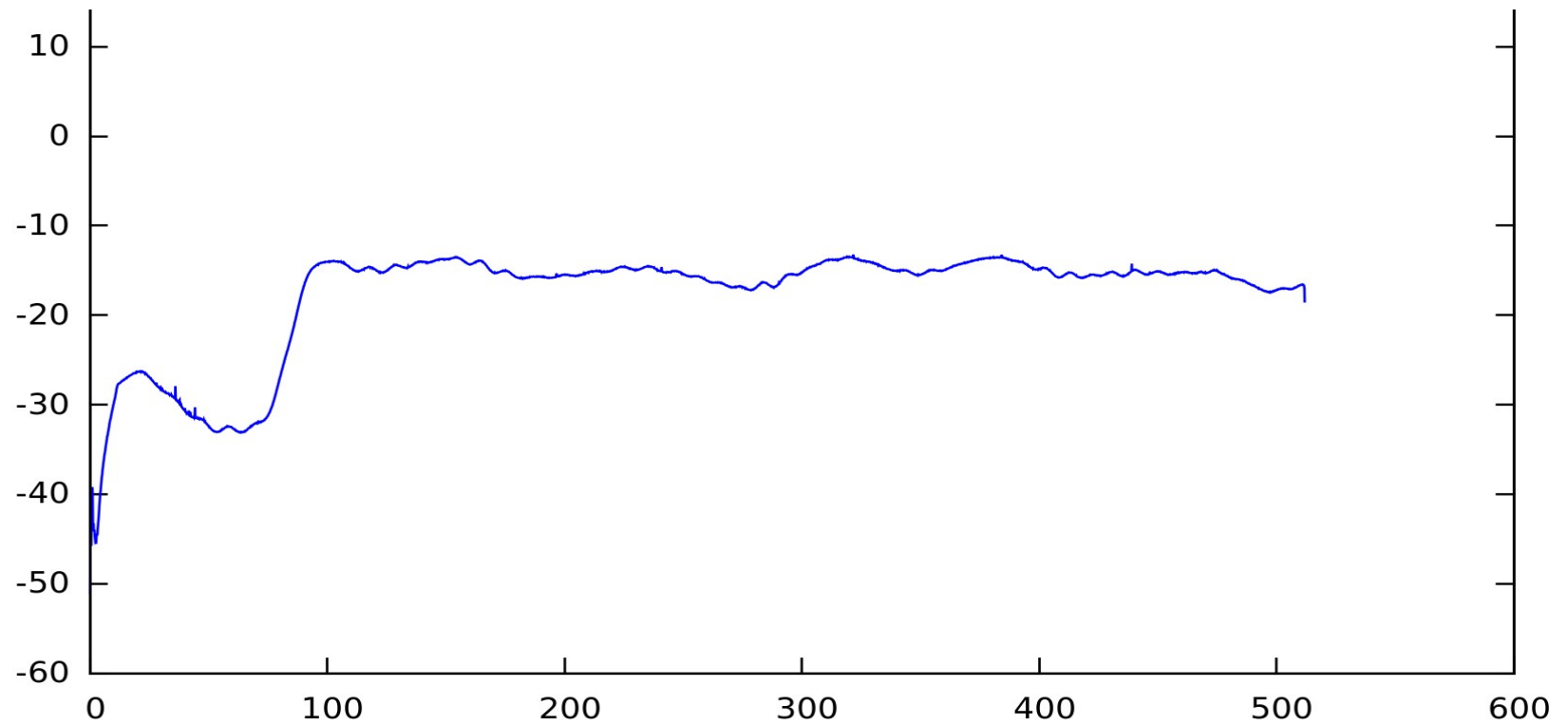
VLBI



Febbraio 2014: Prima frangia SRT-Effelsberg (banda L)



DBBC per RFI monitoring



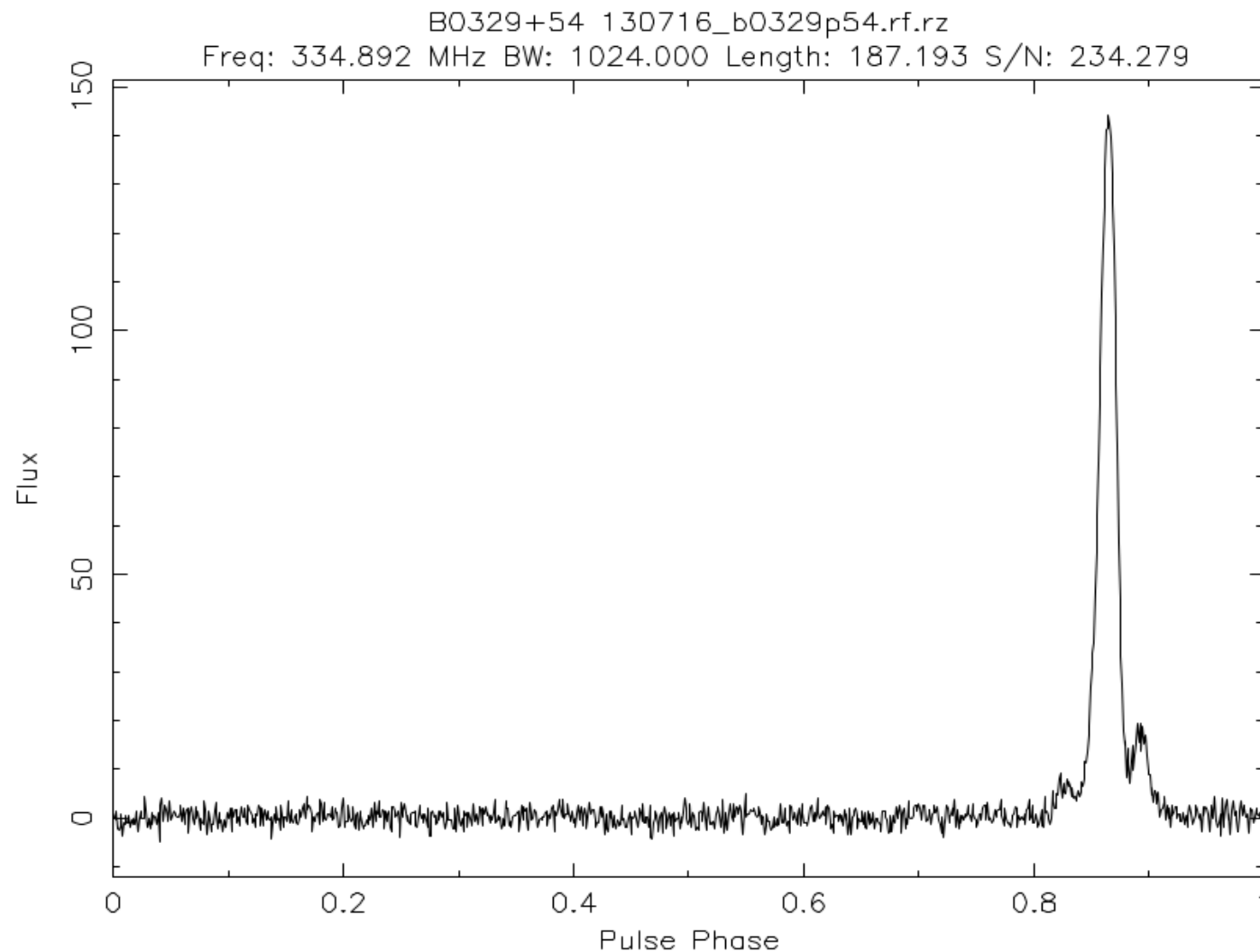
Pulsar Digital Filter Bank (PDFB)

- Sviluppato all'ATNF
 - 4 IF
 - ADC 2 GS/s
 - Schede di elaborazione basate su FPGA Xilinx Virtex II PRO
 - 2 Server dedicati per controllo e gestione dei dati
 - Larghezza di banda (in MHz): 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024
 - Numero canali massimo: 16384
 - Formato dati in uscita: RPFITS (modalità spettrometro) CFITS(pulsar timing)
- Applicazioni
 - Pulsar (search mode, base band mode, folding mode)
 - Spettropolarimetria

PDFB e relativi server

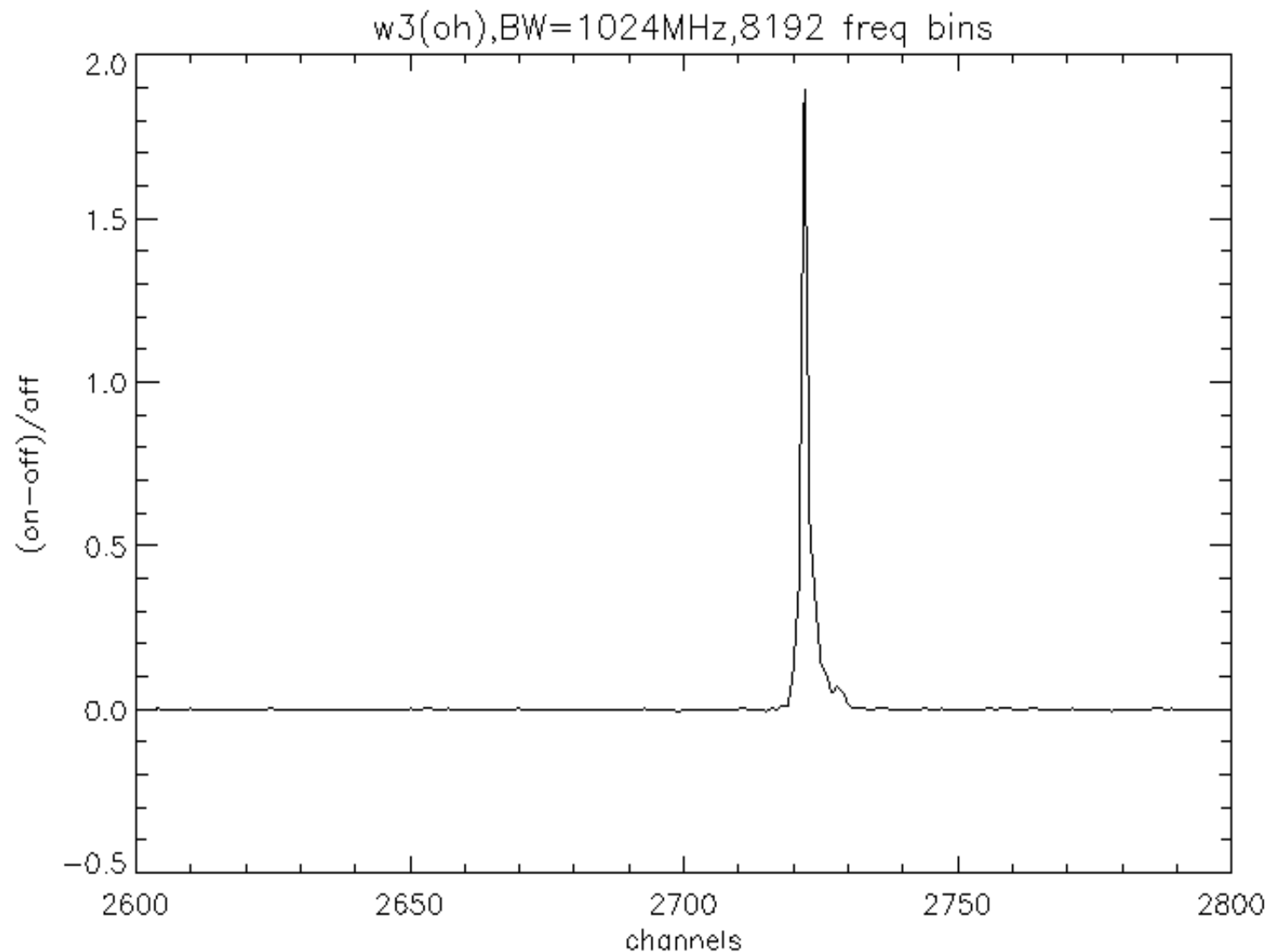


B0329+54 col PDFB - Banda P (Giugno 2013)



Maser di H₂O su W3OH col PDFB

Banda K – Giugno 2013



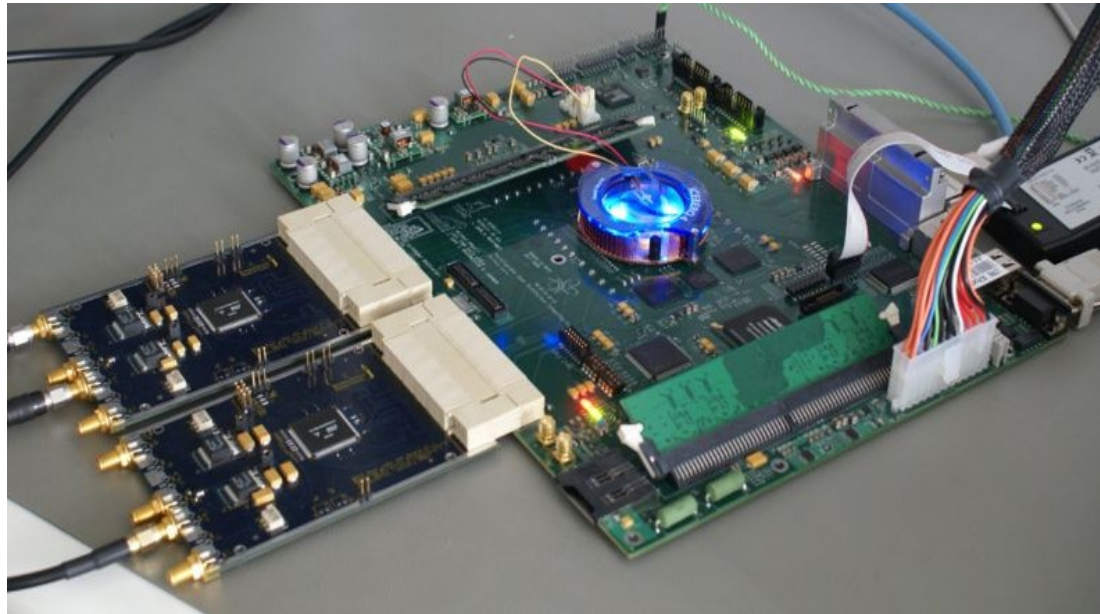
CASPER

- Collaboration for Astronomy Signal Processing and Electronic Research
- Consorzio internazionale con sede UC Berkeley
- Motto: hardware e software open source
- *SRT e Medicina ufficialmente nel consorzio*

ROACH

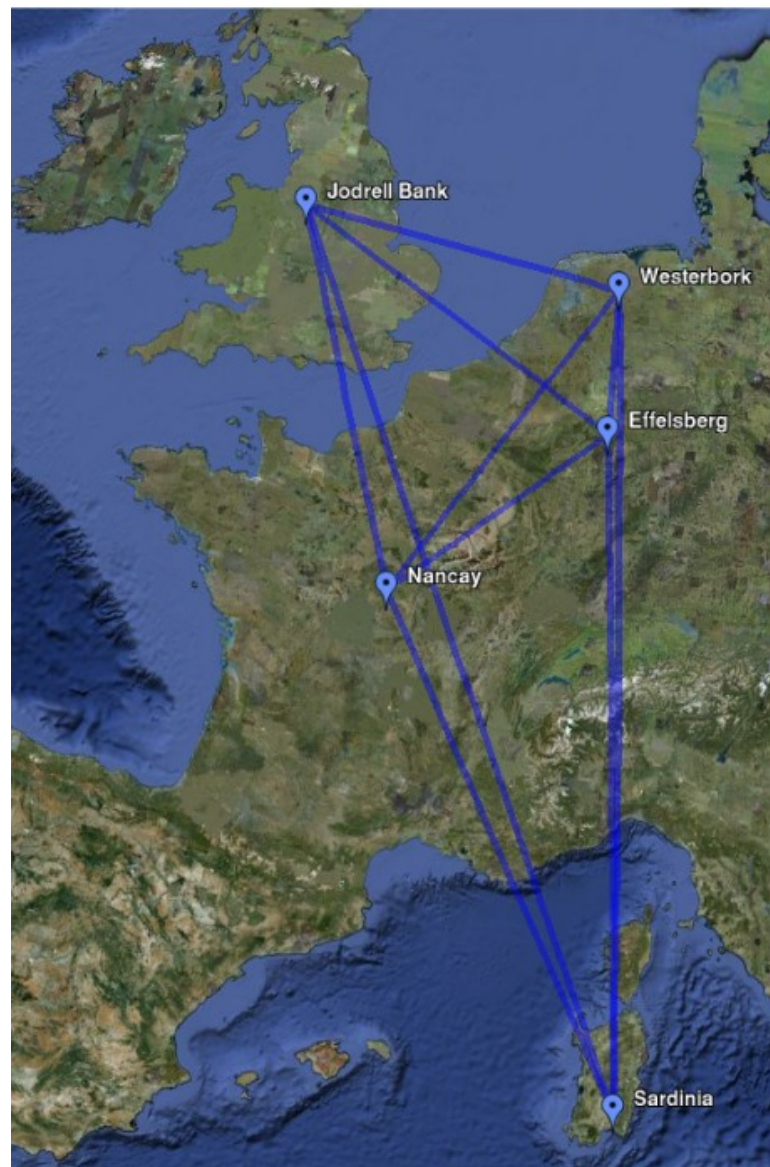
- Reconfigurable Open Architecture and Computing Hardware
- Board sviluppata dal consorzio CASPER
 - Motore di calcolo: FPGA Virtex 5 SX95T
 - 4 uscite 10 Gbe CX4
- Applicazioni
 - LEAP (Large European Array for Pulsar)
 - Pulsar search e folding mode
 - Spettroscopia

ROACH

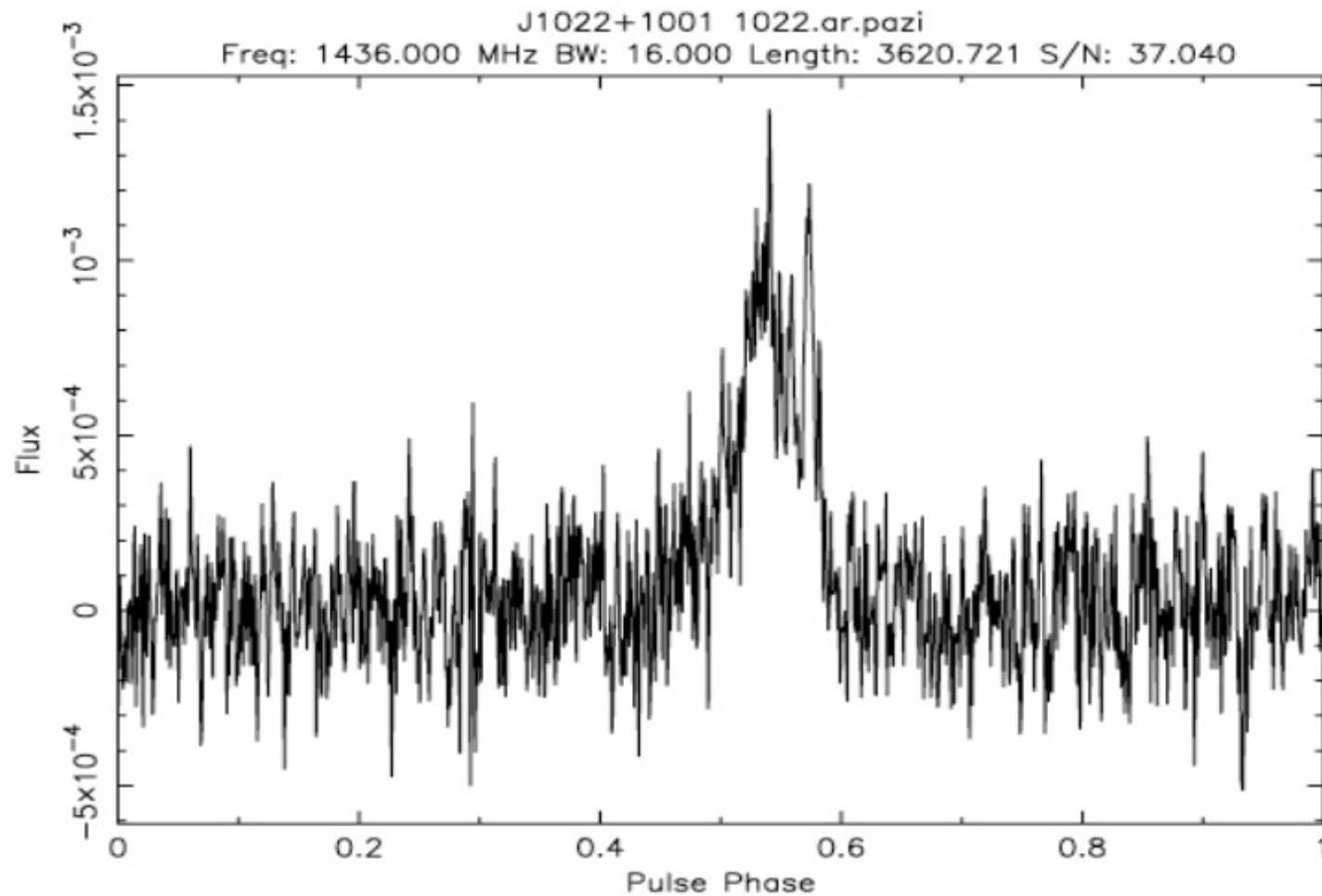


LEAP

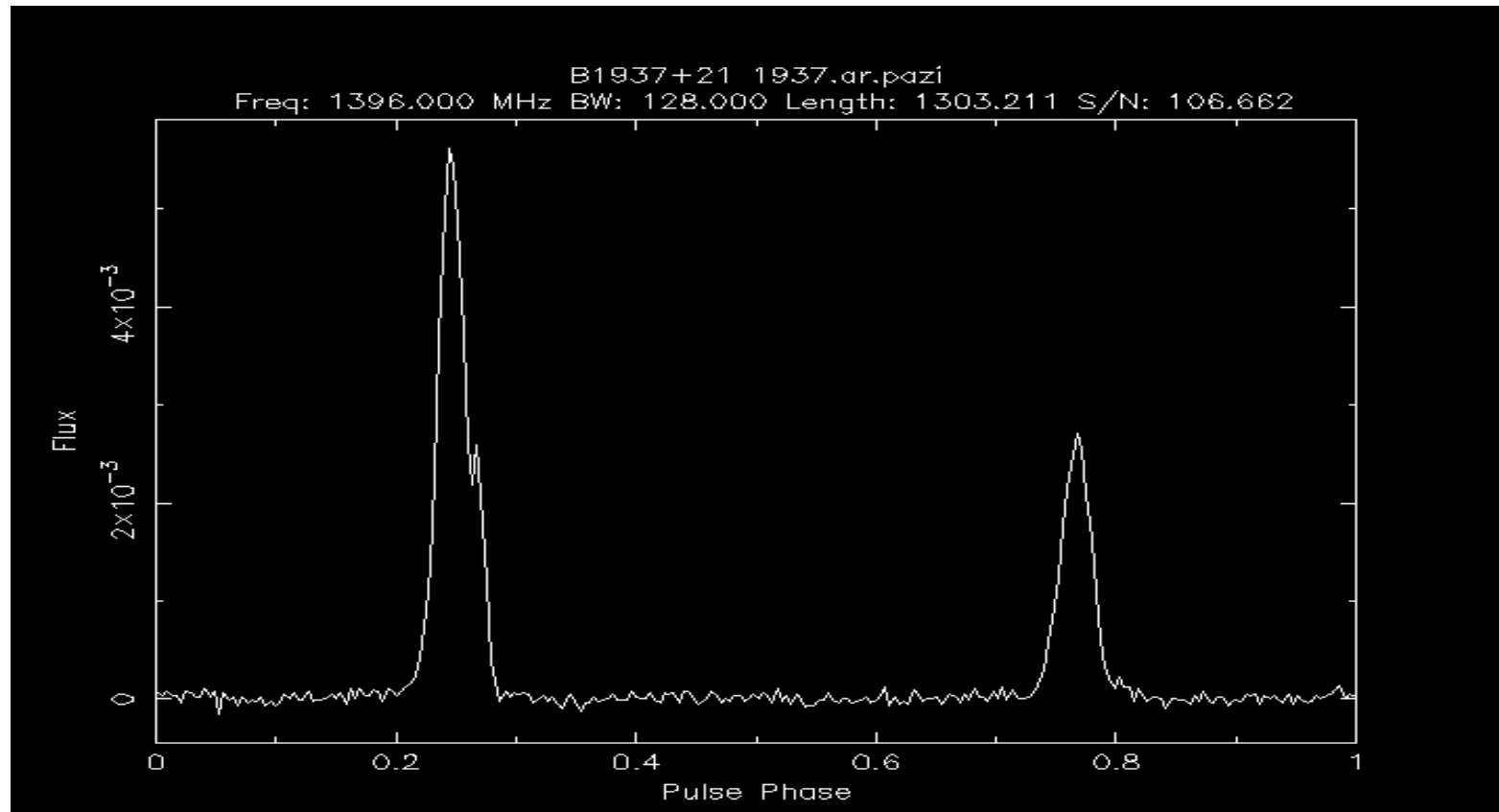
- “VLBI” per le pulsar
- Osservazioni in banda L
- 5 radiotelescopi:
 - Effelsberg (100 m)
 - Nancay (94 m)
 - Westerbork (94 m)
 - Jodrell Bank (76 m)
 - SRT (64 m)



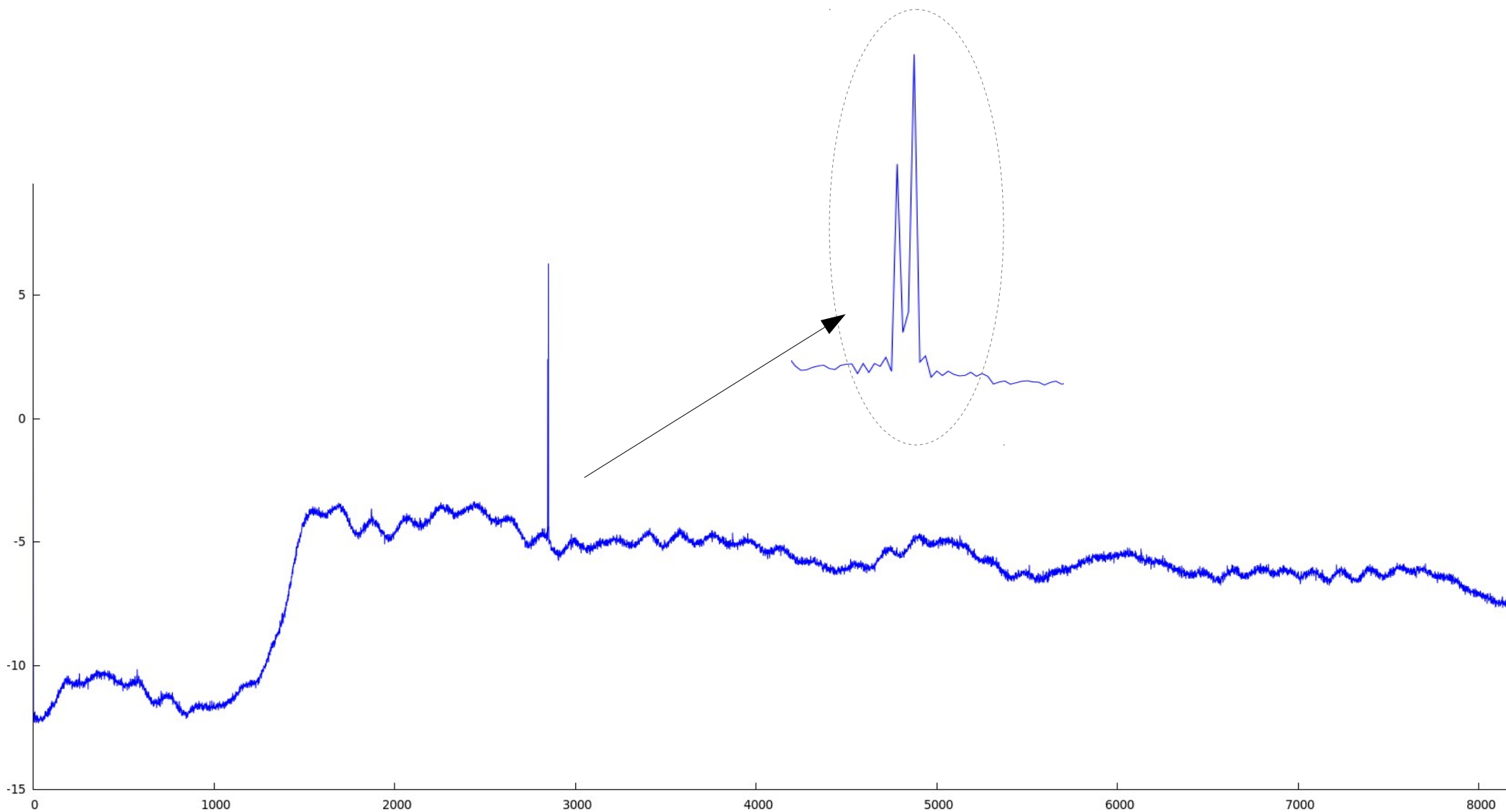
J1022+1001: prima pulsar osservata con le 5 antenne in contemporanea (Luglio 2013)



Pulsar B1937+21



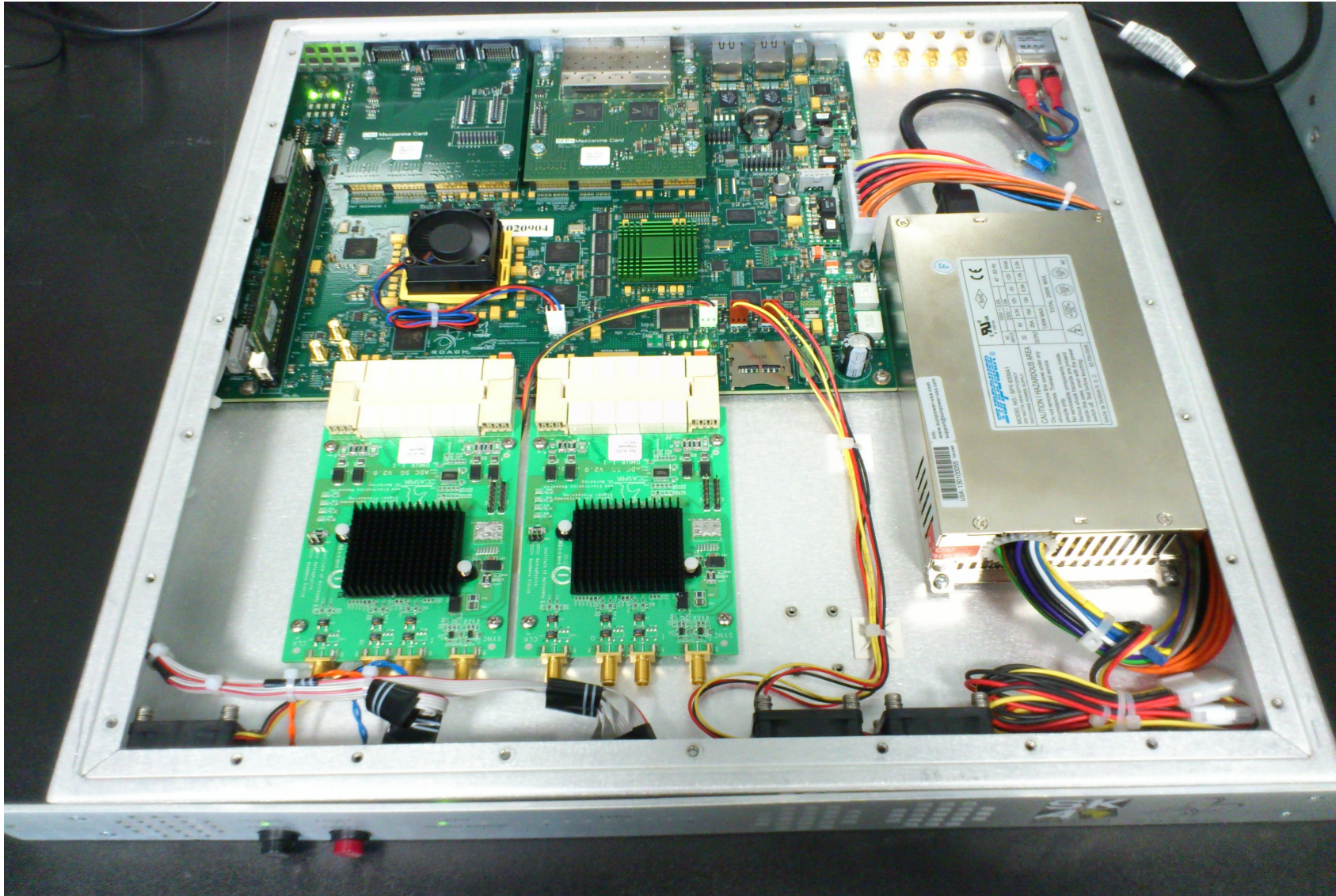
Spettroscopia: W3OH



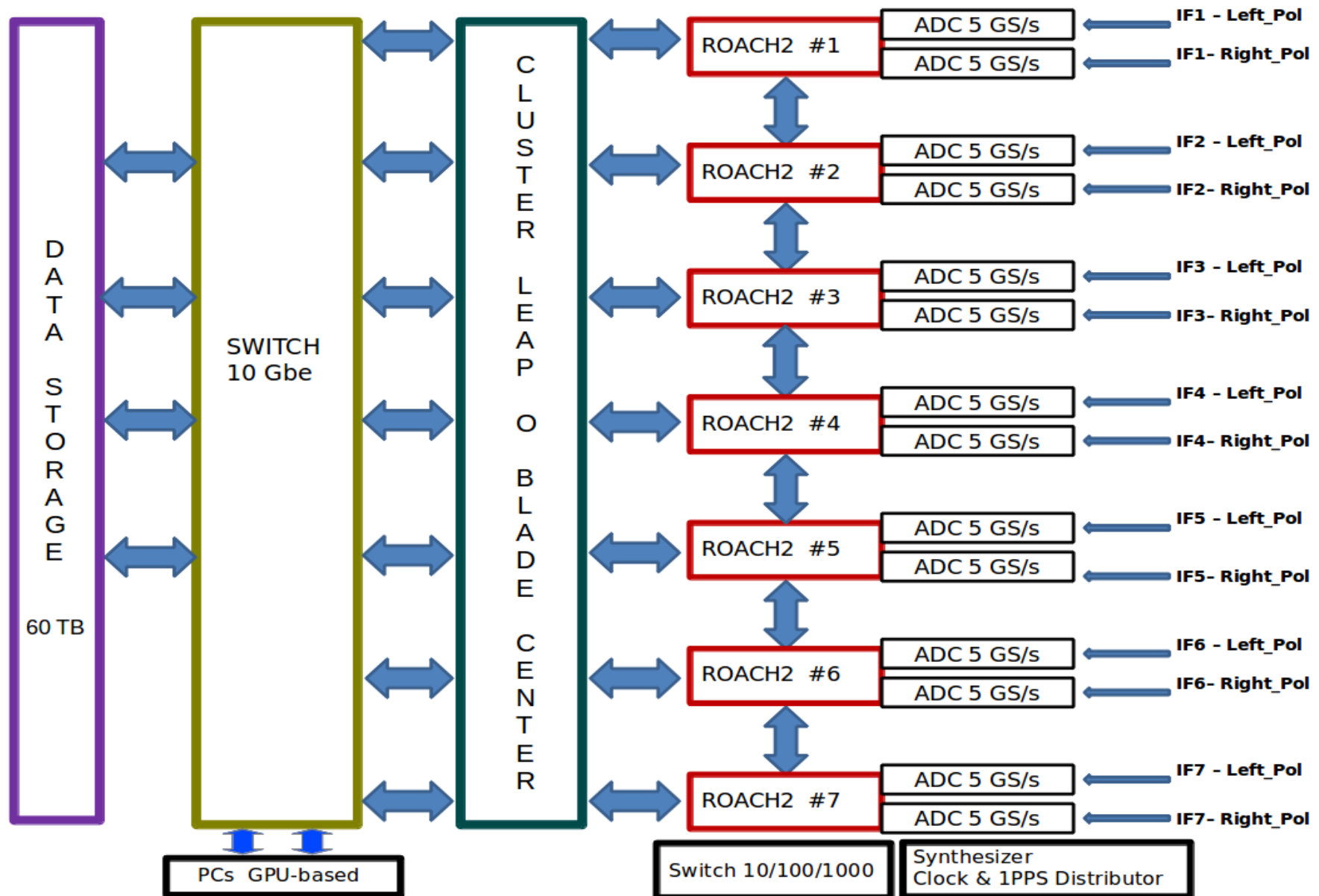
ROACH 2

- 5 volte più potente di una ROACH
- Motore di calcolo: FPGA Xilinx Virtex 6
- Fino a 8 uscite 10 Gbe SFP+
- ADC 5GS/s
- Larghezza di banda: fino a 2.5 GHz

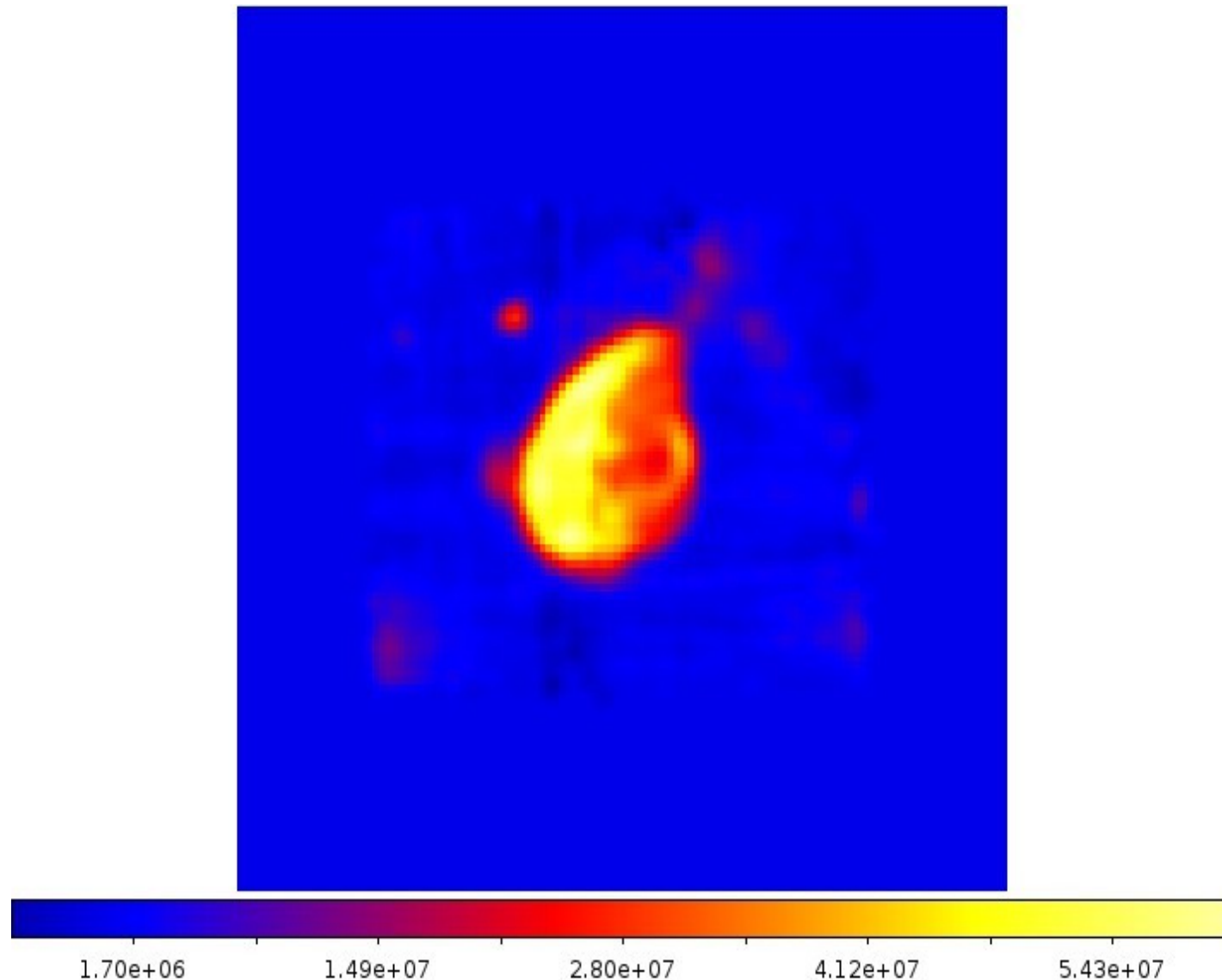
ROACH 2



Backend general purpose ROACH2-based



Imaging ROACH2: Supernovae W44



*QUANTI DATI PRODUCE
UN'OSSERVAZIONE
RADIOASTRONOMICA?*

1) Base band mode

- Tutti i segnali digitalizzati e memorizzati: soluzione ideale ma “surreale”
- Necessario per l'interferometria: VLBI, LEAP
- LEAP: 128 MHz suddivisi in 8 sottobande da 16 MHz
 - 1 sottobanda: 64 MB/sec → **512 MB/sec**
 - Una sessione LEAP dura circa due giorni.....

2) Processing interamente on-board

- Le FPGA sono in grado di processare enormi quantità di dati.

Esempio: 1 ADC 5GS/s produce 40 Gbit/sec → 80 Gbit/sec per ogni ROACH2

- *Applicazioni radioastronomiche:*

*Imaging, Polarimetria, Spettroscopia a larga banda (fino a 2.1 GHz), **non elevata risoluzione in frequenza***

- Dati prodotti: ***qualche MB/sec***

3) Approccio HW/SW

- Catena FPGA – CPU – GPU
- Dati prodotti: via di mezzo fra base-band mode e processing on-board
- Applicazioni:
 - *Pulsar folding e search mode*
 - *Spettropolarimetria ad elevatissima risoluzione*
 - *SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence)*

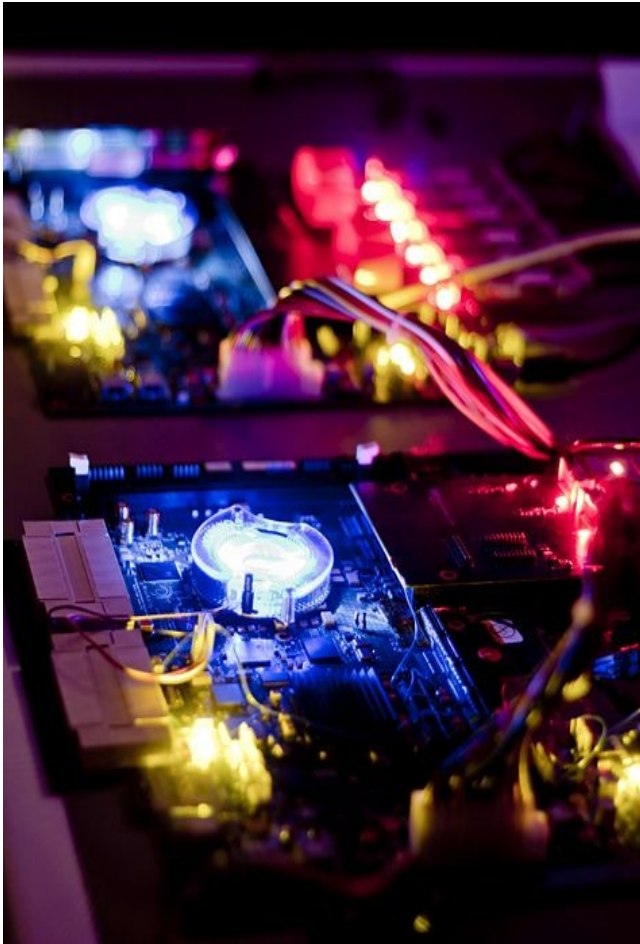
Altri Progetti

- ROACH2 + UNIBOARD
- Sardinia Array Demonstrator
- SKA Tecno-INAF

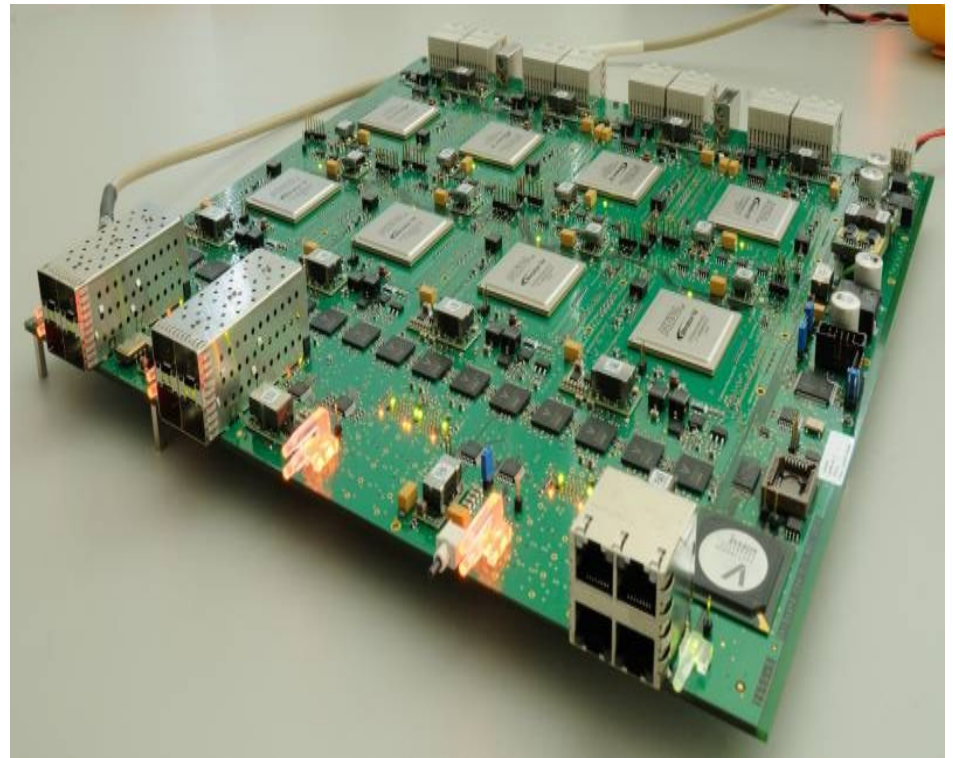
Uniboard



ROACH2 + UNIBOARD



+



SKA Aperture Arrays



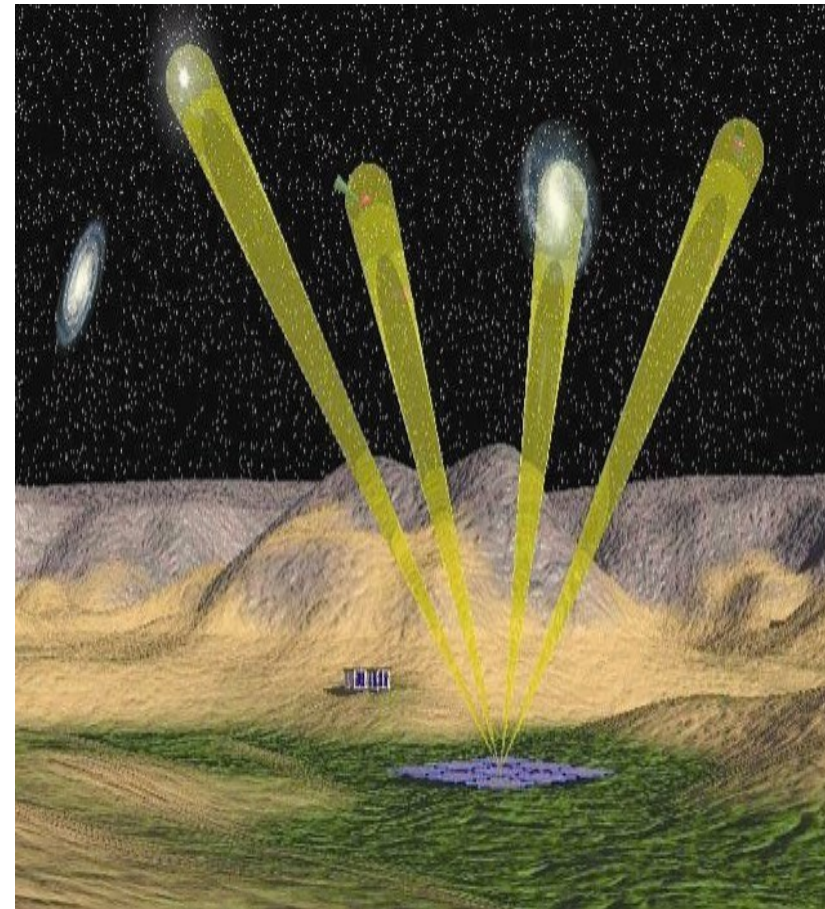
Sardinia Array Demonstrator

- Beamforming 128 antenne Vivaldi
- Utilizzo di ROACH 2
- 64ADC64-12
- Banda di lavoro: 50 - 450 MHz



Prin TECNO INAF

- **Titolo:** Digital Platform development for back end design of new generation SKA Aperture Arrays
- P.I.: *Francesco Schillirò (IRA-Noto)*
- Obiettivo: The aim of this project is to design and build a prototype of digital platform for the backend stadium of an dvanced demonstrator of phased Aperture Array systems (AAVS 0.5 – AAVS 1) in the band 70-450 MHz.
- Istituti coinvolti:
 - IRA
 - OAC
 - Arcetri
 - IASF MI



Ricevitori in fase di sviluppo/realizzazione per SRT

- *Multibeam banda S* → **1-5 beam 2 GHz BW**
- *Multibeam banda Q* → **19 beam 17 GHz BW**

In previsione:

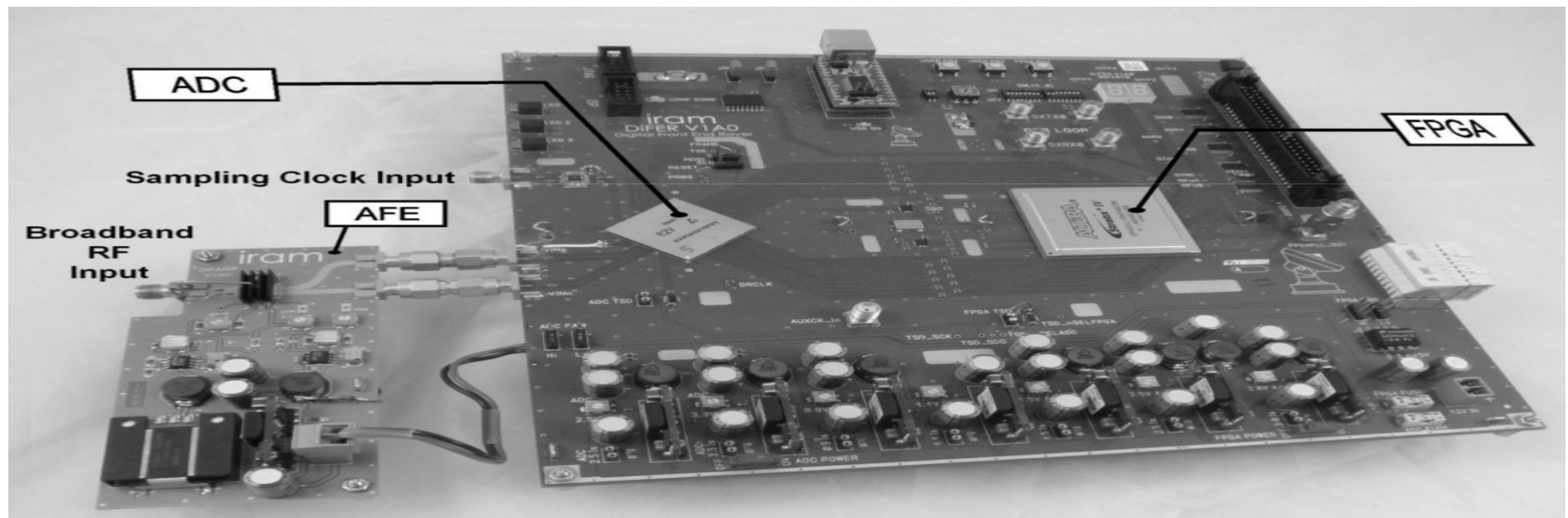
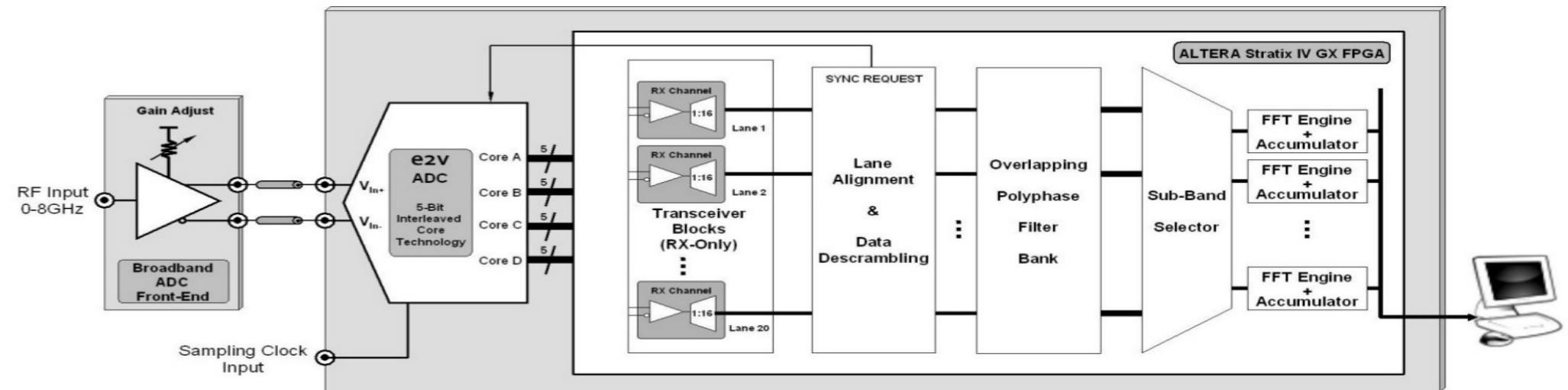
- *Multibeam banda W* → **> 32 beam 32-40 GHz BW**

QUALI BACKEND SI USERANNO?

Backend nuova generazione

- DBBC 3
- UNIBOARD 2
- ROACH3 (4,5,6.....)
- Fai da te?

Spettrometro 8 GHz - IIRAM



ADC larghissima banda

- 20 Gsps 8 bit Agilent ADC
- 20 Gsps 5 bit E2V ADC
- 20 Gsps 6 bit Micram
- 26 Gsps 3 bit Hittite
- 80 Gsps 8 bit Fujitsu

ADC board 10 Gsps per ROACH2

- ADC1x10000-4
- 5 GHz banda istantanea



Nuovi standard Ethernet

- 40 Gbe
- 100 Gbe
- E poi?

DOMANDE?