



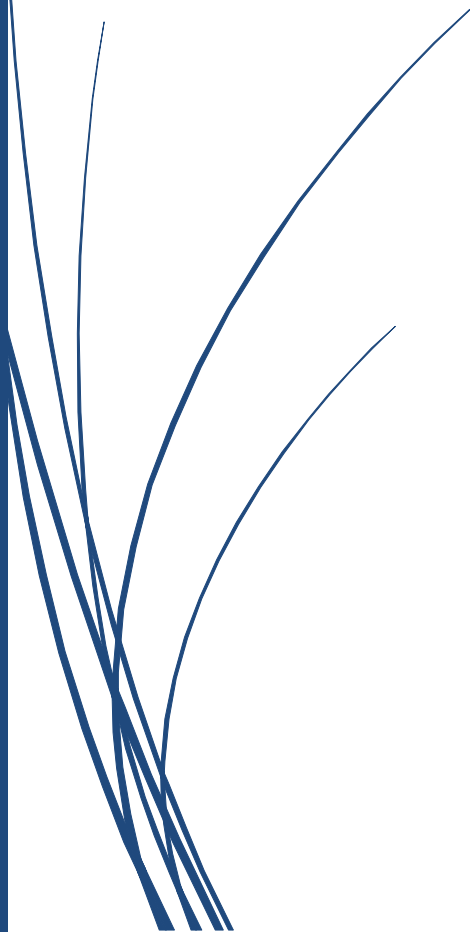
Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	4
Publication Year	2019
Acceptance in OA@INAF	2020-01-10T10:28:22Z
Title	ControlBOX Pharos 2
Authors	ORTU, Pierluigi, SABA, Andrea, MARONGIU, Pasqualino, GAUDIOMONTE, Francesco, NAVARRINI, Alessandro, CATTANI, ALESSANDRO, MACCAFERRI, ANDREA, SCALAMBRA, ALESSANDRO
Affiliation of first author	O.A. Cagliari
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/23053 , http://dx.doi.org/10.20371/INAF/TechRep/4



INAF Technical Report

ControlBOX Pharos2



Pierluigi Ortu, Andrea Saba, Pasqualino
Marongiu, Francesco Gaudiomonte, Alessandro
Navarrini, Alessandro Cattani, Andrea
Maccaferri, Alessandro Scalambra

Sommario

Introduzione	2
1. Architettura e schema a blocchi del modulo di controllo della Warm Section.....	5
2. Progettazione e realizzazione dell'hardware.	7
Prima versione	7
Seconda versione.....	10
Terza versione.....	11
3. Misure RFI	12
4. Firmware e controllo remoto	18
5. Montaggio del modulo di controllo all'interno del rack Warm Section.....	21
5. Conclusioni.....	22
Riferimenti.....	23

Introduzione

PHAROS2 (PHased Arrays for Reflector Observing Systems2) [1] [2] [3] [4] [5] è un dimostratore di Phased Array Feed in banda C (4-8 GHz) per applicazioni radio astronomiche che è stato progettato nell'ambito dell'Advanced Instrumentation Program dei PAF per lo Square Kilometer Array da una collaborazione internazionale che coinvolge l'Istituto Nazionale di Astrofisica. PHAROS2 è basato su un array di 10×11 antenne di tipo Vivaldi a doppia polarizzazione raffreddato a 20 K all'interno di un criostato (vedi Figura 1) insieme a degli amplificatori a bassissimo rumore di tipo LNA (low-noise amplifier). L'array è popolato con 24 LNA su uno dei due canali di polarizzazione, mentre i restanti elementi sono terminati su un carico adattato a 50 Ω . I 24 segnali RF in uscita dal criostato di PHAROS2 vengono inviati tramite cavi coassiali ad una Warm Section, ovvero un ricevitore multicanale a 32 ingressi (di cui sono utilizzati solo 24) che permette il filtraggio, l'amplificazione e la downconversione di ciascun canale ad una banda di frequenza intermedia IF compresa tra 375 e 650 MHz. Tale banda IF è adatta al successivo processamento da parte del backend digitale iTPM (Italian Tile Processing Module) che è stato sviluppato nell'ambito del progetto SKA Low Frequency Aperture Array (LFAA). Tale backend, basato su Field Programmable Gate Array (FPGA) consente di campionare fino a 32 segnali RF su una larghezza di banda istantanea di ≈ 500 MHz. I 24 segnali IF in uscita dalla Warm Section vengono inviati al backend tramite 12 link analogici in fibra ottica di tipo WDM (Wavelength Division Multiplexing). Tali link consentono di trasmettere due segnali IF all'interno di un'unica fibra mediante due trasmettitori laser operanti alle lunghezze d'onda ottiche (infrarosse) $\lambda = 1270$ nm e $\lambda = 1330$ nm. Uno schematico della catena di ricezione PHAROS2 è indicata in Figura 2.

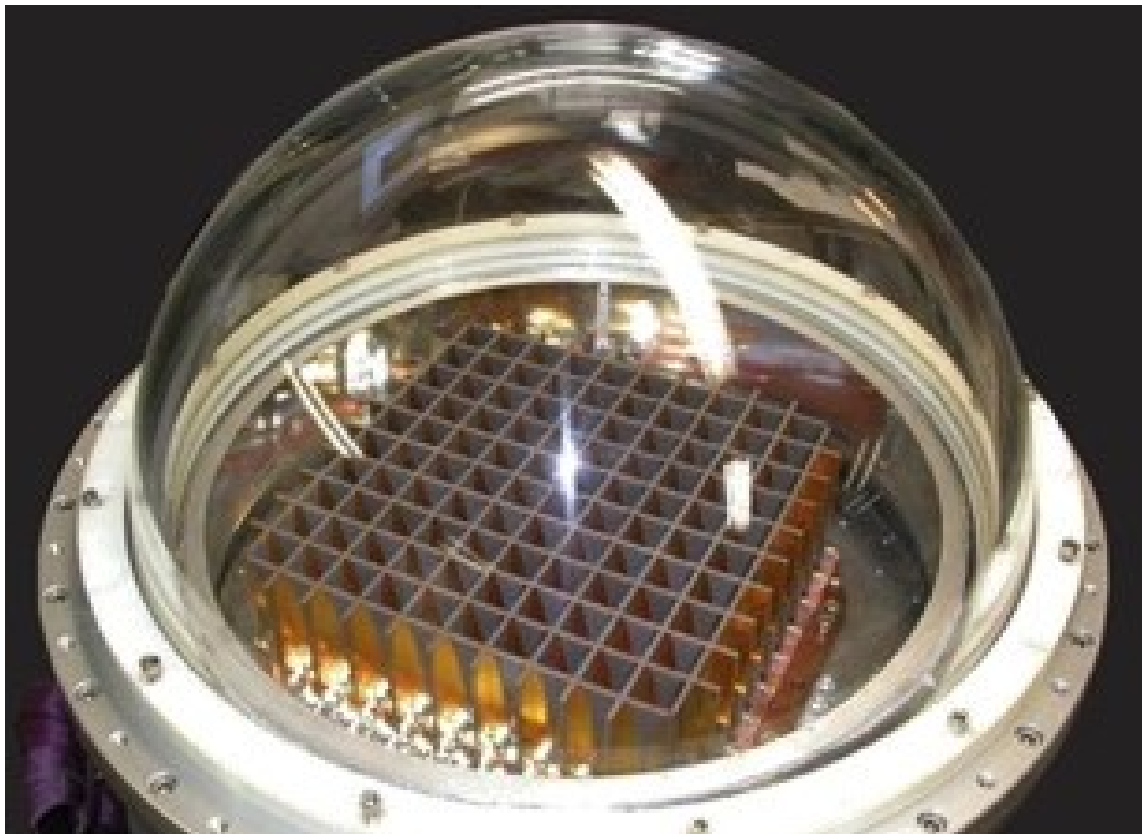


Figura 1: Piano focale del Phased Array Feed PHAROS2 che mostra la finestra da vuoto emisferica (Plexiglass 15.6 mm di spessore) e le antenne Vivaldi raffreddate a 20 K all'interno del criostato.

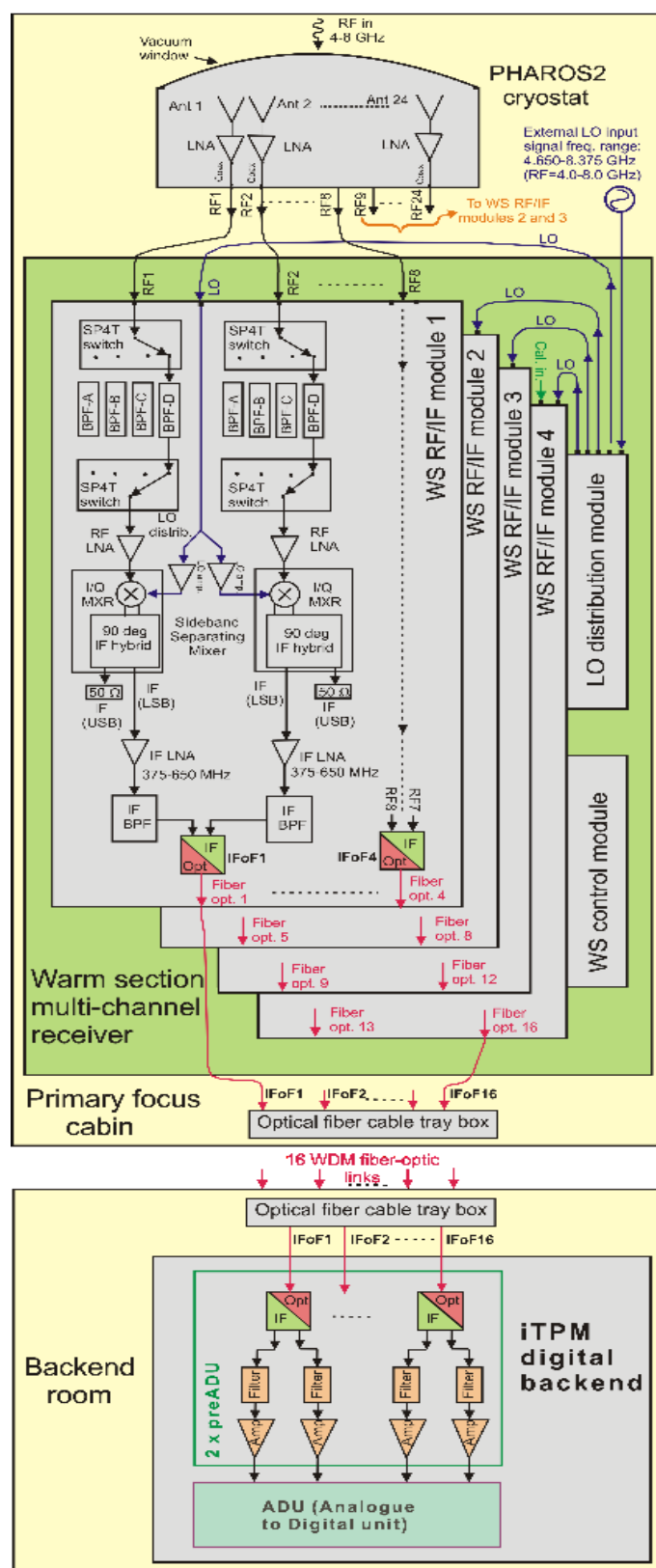


Figura 2: Schema a blocchi del ricevitore PAF PHAROS2 dove vengono evidenziati il criostato con le antenne Vivaldi (in alto), il ricevitore multicanale a temperatura ambiente Warm Section (nel mezzo) ed il backend digitale iTPM (in basso). Lo schematico del ricevitore multicanale Warm Section, da installare a fuoco primario di un radio telescopio, è evidenziato nel rettangolo verde.

La Warm Section è composta da un rack 19 pollici 6U che ospita 4 moduli WS RF/IF, 1 modulo di distribuzione dell'Oscillatore Locale (OL), 3 alimentatori lineari 5V/6 A (PSG105) ed un modulo di controllo che verrà descritto con maggiore dettaglio più avanti. Ciascun modulo RF/IF è costituito da una scheda PCB a quattro strati realizzata su substrato Rogers RG4003C con spessore 0.504 mm e dimensioni 6U x 160 mm di profondità. La scheda ha 8 connettori SMA per altrettanti ingressi RF ed un connettore SMA per l'ingresso dell'OL posizionato al centro del frontalino della scheda. Ogni segnale RF viene filtrato individualmente all'ingresso della Warm Section mediante un banco di 4 filtri passa banda con le seguenti bande passanti:

- BPF-A: 2.300-8.200 GHz
- BPF-B: 4.775-5.050 GHz
- BPF-C: 5.780-6.055 GHz
- BPF-D: 6.445-6.720 GHz

Ciascuna delle 4 schede RF/IF monta a bordo dei sensori di temperatura analogici DS18B20 per il monitoraggio della temperatura della scheda.

L'oscillatore locale viene distribuito alle 4 schede RF/IF mediante una apposita scheda di distribuzione (LO distribution module) che permette di splittare con uguale potenza il segnale proveniente da un sintetizzatore (esterno) operante in banda 2.950-8.575 GHz con potenze di ingresso pari a +5dBm (potenza all'ingresso delle schede RF/IF di -5dBm). La scheda di distribuzione OL è alloggiata all'interno di un modulo 6Ux160 mm di profondità. Tale scheda monta a bordo un accoppiatore direzionale seguito da un power detector (AD8317) che fornisce un valore di tensione di uscita inversamente proporzionale alla potenza OL di ingresso e consente pertanto di monitorare da locale e da remoto il valore di tale potenza.

1. Architettura e schema a blocchi del modulo di controllo della Warm Section.

Il “control module” della Warm Section di PHAROS2 esegue le seguenti funzioni:

- 1) Permette di settare uno fra i quattro filtri BPF-A, BPF-B, BPF-C o BPF-D;
- 2) Legge il valore di temperatura delle quattro schede RF/IF;
- 3) Legge il valore di potenza di ingresso dell’oscillatore locale al modulo di distribuzione;

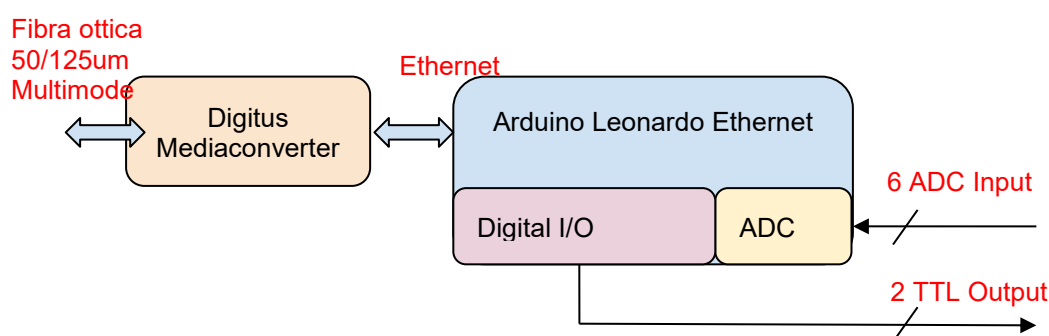


Figura 3: Architettura e schema a blocchi.

La Control Box per la Warm Section di PHAROS2 si basa su un Media-Converter **Digitus dn-82010-1** [6] e una scheda di sviluppo a microcontrollore **Arduino Ethernet Leonardo**[7]. In Figura 3 viene mostrata l’architettura implementata per la realizzazione della control box.

Una delle caratteristiche imposte in fase progettuale è che la comunicazione remota dovesse avvenire tramite fibra ottica. Questa soluzione infatti elimina la generazione di RFI emesse per la comunicazione tra la control box e la sala controllo. Inoltre la prevista installazione della Warm Section nel radiotelescopio dell’Osservatorio Jodrell Bank di Manchester implica che per la trasmissione dati debba essere utilizzata una trasmissione su fibra ottica multimodale 50/125um. Come vedremo successivamente, questa specifica è stata modificata in corso d’opera ed è stato pertanto richiesto il passaggio ad un doppino di fibra monomodale con conseguente modifica del mediaconverter utilizzato.

Una volta che il segnale in fibra ottica è stato convertito in RJ45 dal Digitus, l’Arduino potrà dialogare in rete con il resto degli apparati e potrà quindi leggere o fornire dei segnali su richiesta.

Nella control BOX l’Arduino fornirà 2 uscite I/O digitali in formato TTL (0-5V). Queste due uscite pilotano, in combinazione binaria, due switch RF posizionati nella scheda principale della Warm

- Da 10/100Base-TX a 100Base-FX
- Collegamenti: 1 RJ45, 1 ST Duplex
- Portata: fino a 2 km
- Lunghezza d'onda: 1310 nm
- Fibra doppia multimode
- Adatto per cavi in fibra ottica 50/125 μm e 62,5/125 μm
- Tensione in ingresso: 5V DC
- Assorbimento di corrente max.: 800mA
- Consumo di corrente: 2,5W

2. Progettazione e realizzazione dell'hardware.

Prima versione

Per integrare al meglio i componenti all'interno della box, è stato realizzato il modello 3D (Figura 5). Il file CAM del pannello frontale e della slitta interna sono stati realizzati nel centro di lavoro ad asse verticale presente nell'officina meccanica dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari.



Figura 5: Rendering 3D della control BOX multimodale V1

La Box è composta da un pannello anteriore, uno posteriore, uno chassis della Schroff modello **PIU HF 3U 14HP 167D** per rack 1U, e una slitta interna (Figura 6).

Il pannello anteriore ospita:

- Led di stato;
- Porta UTP Link;
- Porta Micro USB;
- Digitus a pannello con connettore ST per doppino fibra ottica 50/125um

Il pannello posteriore ospita il connettore DIN 41612 che permette l'interfacciamento all'interno del cestello.

Sulla slitta interna sono installati l'Arduino Leonardo Ethernet, il Digitus e l'elettronica necessaria.

Sul pannello frontale sono presenti i seguenti LED di stato:

- LED ON (colore verde), è il led di stato che ci permette di verificare che la box sia alimentata;
- LED V1 e V2 (colore giallo), sono i led che ci permettono di monitorare in tempo reale da locale quale filtro della Warm Section è settato.
- LED LO (colore rosso), segnala eventuali problemi sulla potenza dell'oscillatore locale.

Per rendere più agevoli le operazioni di test e debug in laboratorio, questa versione della control BOX è stata munita di Micro USB a pannello e porta UTP Link.

Infatti, tramite la porta micro USB è possibile:

- alimentare l'intero sistema;
- aggiornare il firmware.

Mentre tramite la porta di rete è possibile inviare i comandi alla control BOX e ricevere eventuali risposte bypassando la sezione di comunicazione in fibra ottica



Figura 6: A) Fronte BOX.

La BOX in alluminio che racchiude la Control BOX permette di limitare l'emissione di segnali generati da tutto il sistema (RFI).

Per collegare la BOX all'interno del Rack è stato posizionato un connettore DIN 41612 nel pannello posteriore. Il pinout utilizzato nel connettore è il seguente:

PIN	Funzione	Nome	Connessione ad Arduino
C1	Alimentazione	+5V_TTL	Arduino Vin/Digitus Vcc
C2	N.C.	N.C.	N.C
C3	Lettura analogica Temperatura	A0	A0
C4	Lettura analogica Oscillatore Locale	A1	A1
C5	I/O Digitale setup filtri	V1	D8
C6	I/O Digitale setup filtri	V2	D9
C7	Lettura analogica	A2	A2
C8	Lettura analogica	A3	A3
C9	Lettura analogica	A4	A4
C10	Lettura analogica	A5	A5
C32	Massa	GND	GND

Tabella 1: Pinout del connettore Din 41612 della Control BOX di PHAROS 2 V1

Seconda versione

Dopo le prime misure RFI illustrate nel capitolo successivo, è stato riscontrato che la box, con il Digitus messo a pannello, generava un'eccessiva quantità di RFI su buona parte della banda. Pertanto è stata realizzata una nuova BOX V2 senza Digitus a pannello e con un frontale come quello mostrato in Figura 7:

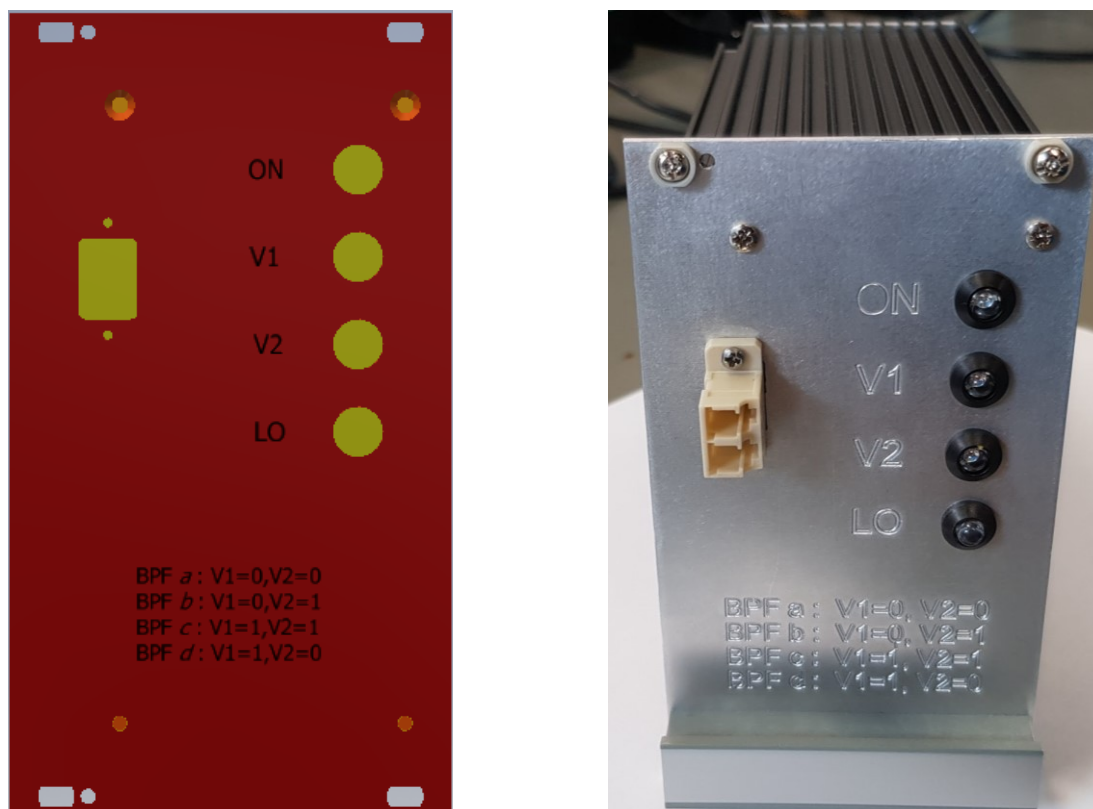


Figura 7: A) fronte BOX V2 modello 3D. B) fronte BOX V2 realizzato.

In questa seconda versione nel pannello anteriore troviamo gli stessi LED di stato della versione precedente e il connettore LC per doppino in fibra ottica 50/125um.

In questa versione, sono state eliminate le porte UTP e USB. Questo rende indispensabile, per le misure di laboratorio, avere un secondo convertitore in fibra ottica per la comunicazione via LAN tramite interfaccia di rete RJ45 e rende inoltre indispensabile accedere all'interno della BOX per l'eventuale aggiornamento del firmware. Tutto questo a beneficio di una notevole riduzione delle emissioni RFI della BOX (Figura 8).

Nel pannello posteriore è presente lo stesso connettore DIN 41612 della precedente versione che ha conservato lo stesso pinout della versione V1 con in aggiunta 4 ingressi analogici a 10 bit 0-5V che possono essere utilizzati per leggere altrettanti sensori di temperatura.

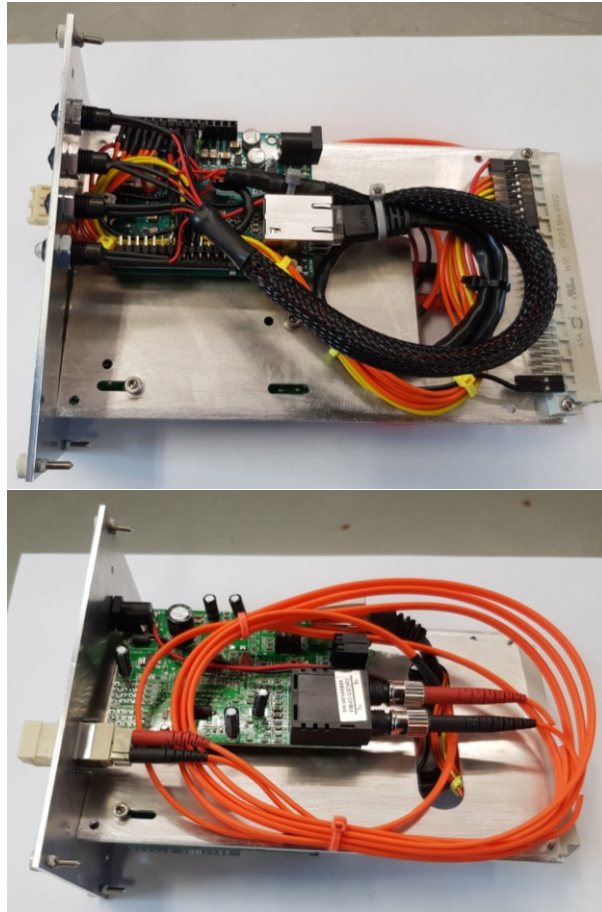


Figura 8: A) Lato Arduino. B) Lato Digitus

Con il nuovo posizionamento della componentistica, la posizione del connettore posteriore maschio risulta essere spostata orizzontalmente rispetto a quella del connettore installato nella Control BOX V1. Il che ha reso indispensabile spostare il connettore femmina sul backplane di alcune posizioni. Il pinout di questa configurazione è illustrato in Tabella 1.

Terza versione

Vista la necessità di installare la Warm Section di PHAROS2 su un radiotelescopio diverso da quello inizialmente previsto, si è dovuto modificare il modulo di controllo allo scopo di garantire una compatibilità ottica con il doppino di fibre disponibile in tale antenna, ovvero fibre unicamente di tipo monomodale. Pertanto, dal modulo di controllo è stato rimosso il Digitus multimodale ed è stato installato un Digitus **DN-82130** con porta SFP. Il connettore SFP permette quindi l'installazione di transceiver ottici sia di tipo monomodale che di tipo multimodale. Per la nostra applicazione è stato installato un transceiver monomodale Digitus **DN-81001**. L'utilizzo del connettore SFP permette di riconfigurare il sistema di controllo con doppini di fibre TX/RX di tipo monomodale o multimodale. E' necessario verificare la compatibilità del transceiver con il mediaconverter prima di eseguire l'eventuale installazione.

Il pinout di questa versione è lo stesso riportato in Tabella 1.

3. Misure RFI

Sotto vengono riportati le misure spettrali relative ai segnali RFI generati dalla scheda su uno span da 100 MHz a 9 GHz. Tutte le misure sono state eseguite con la controlBOX rinchiusa all'interno di una struttura completamente schermante (in modo da isolare tutte le emissioni RF non prodotte DUT) all'interno della quale è stata montata una sonda RF (antenna a spira).

La traccia blu rappresenta il fondo strumentale, ottenuto con la controlBOX spenta. I deboli segnali ricevuti in questa condizione di OFF sono segnali residui relativi a emissioni broadcast televisivi e radio FM, nonché telefonia mobile e segnali WiFi locali.

La traccia rossa è relativa alle emissioni RFI generate dalla Control BOX V1 quando accesa, in verde le RFI generate dalla Control BOX V2 quando accesa e in viola le RFI generate dalla Control BOX V2 in cui è stato inserito dell'eccosorb all'interno della BOX per cercare di attenuare le emissioni RFI.

Le misure sono state effettuate a banda stretta in quanto è stato preventivamente osservata l'assenza di RFI generati con transitorio rapido (impulsivi), di conseguenza la banda stretta è stata la scelta più opportuna per aumentare la risoluzione in frequenza.

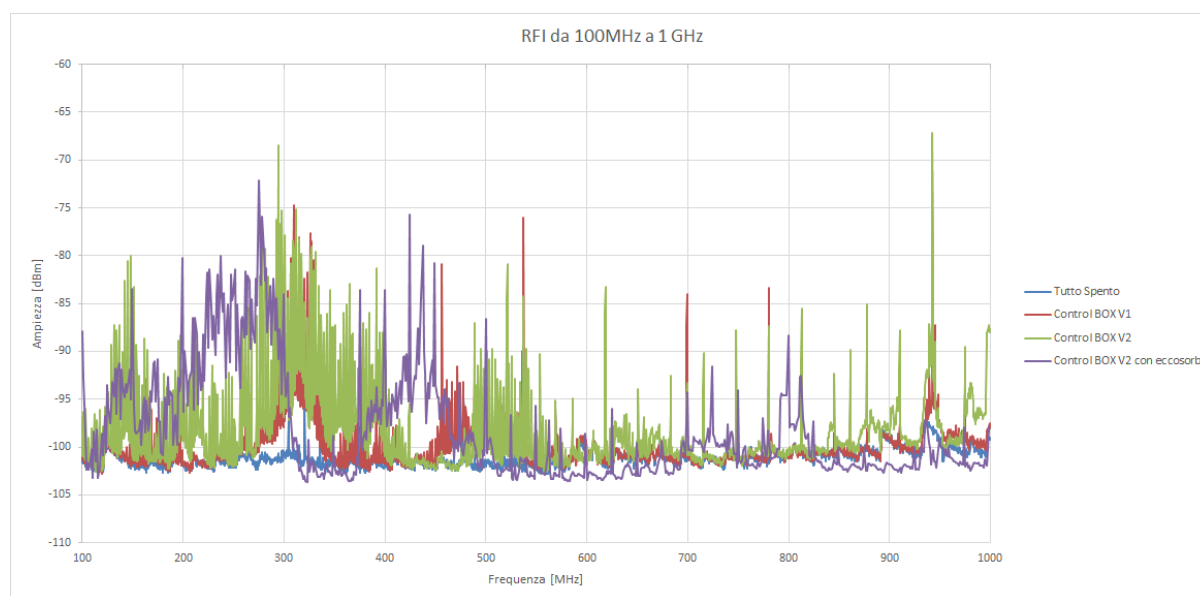


Figura 9: RFI da 100MHz a 1GHz (ci sono troppe curve tutte assieme è di difficile lettura)

Nella porzione di banda tra 100 MHz e 1 GHz (Figura 9) è evidente una forte emissione su tutta la banda esplorata, in particolare derivante dalla Control BOX V2. Prevalentemente le RFI sono distribuite, come previsto, alle frequenze più basse che presentano un andamento di distribuzione a larga banda. Superati i 600 MHz la tipologia delle emissioni RFI cambia diventando a distribuzione a "riga singola" stabile in frequenza e in ampiezza. Anche in questo caso le emissioni della versione 2 sono predominanti rispetto alla versione 1.

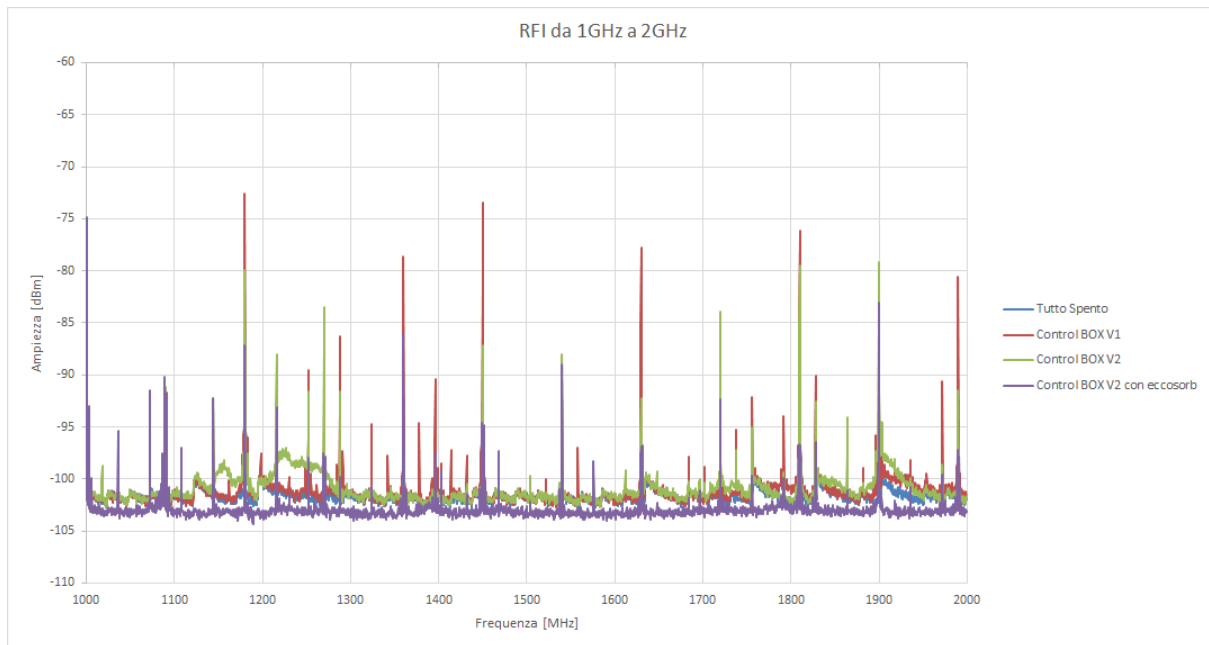


Figura 10: RFI da 1GHz a 2 GHz

Nella porzione 1 – 2 GHz (Figura 10) sono sempre presenti emissioni RFI a singola riga (spurie derivanti da clock delle due versioni di schede), ma si nota un apprezzabile miglioramento nella versione della Control BOX con eccosorb (anche il rumore di fondo risulta migliorato).

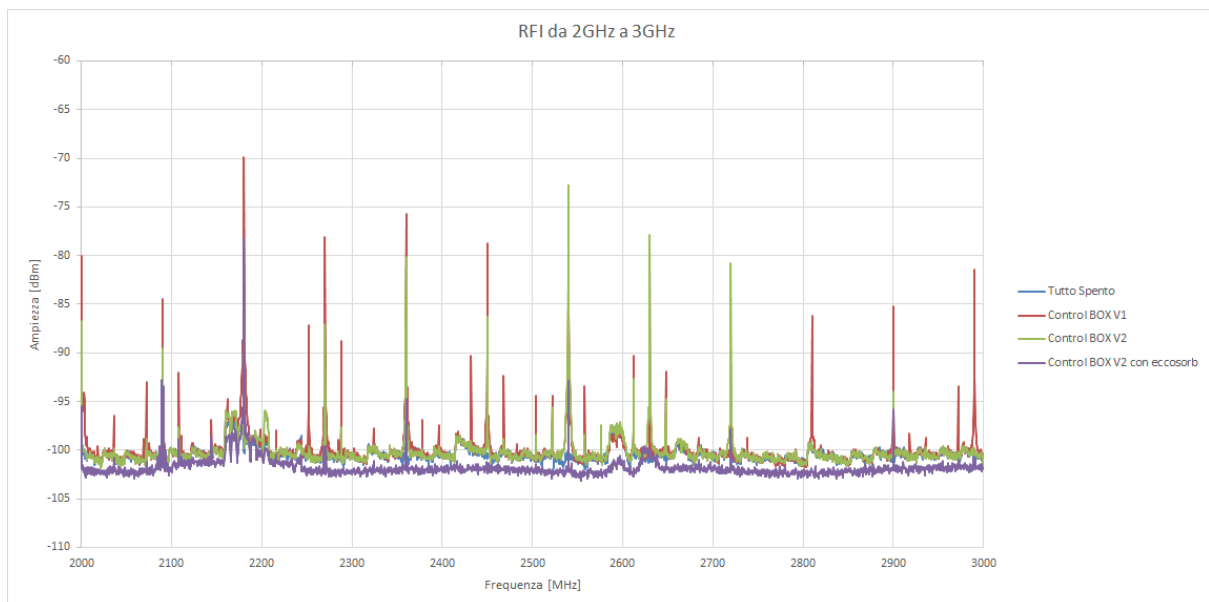


Figura 11: RFI da 2GHz a 3GHz

Tra 2 e 3 GHz (Figura 11) la situazione è molto simile a quella precedente, nessuna variante da segnalare

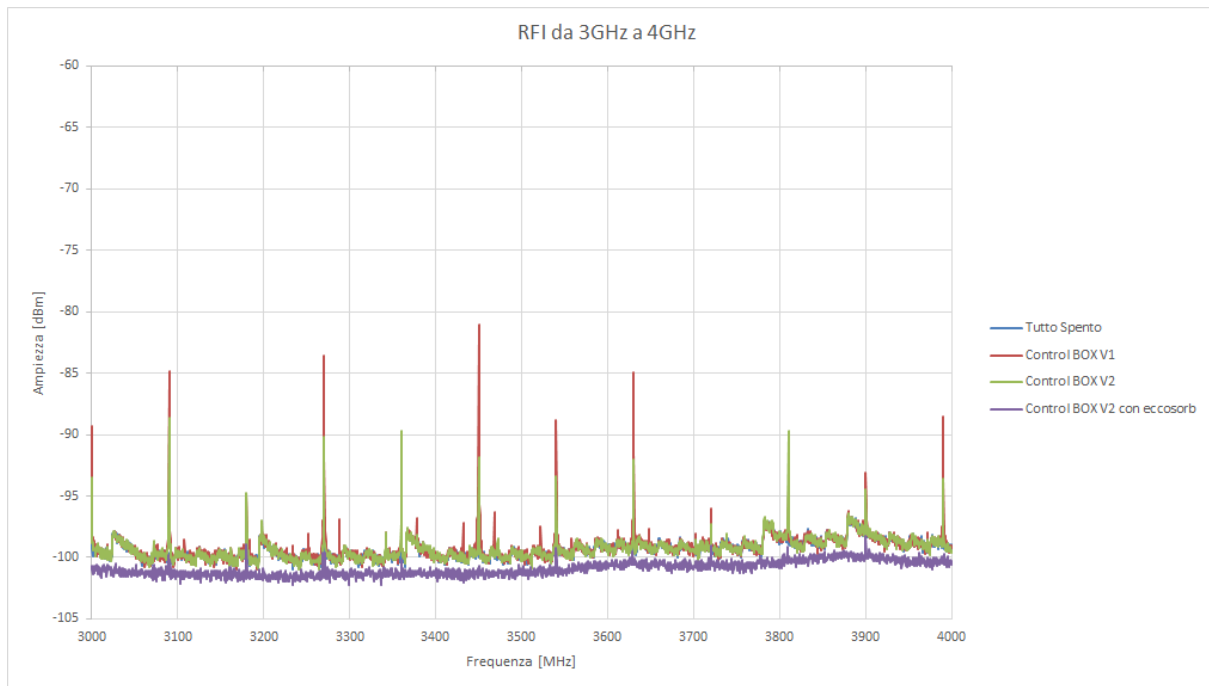


Figura 12: RFI da 3GHz a 4GHz

Nella porzione di banda 3 – 4 GHz (Figura 12) la Control BOX V2 con eccosorb risulta ulteriormente migliorativa.

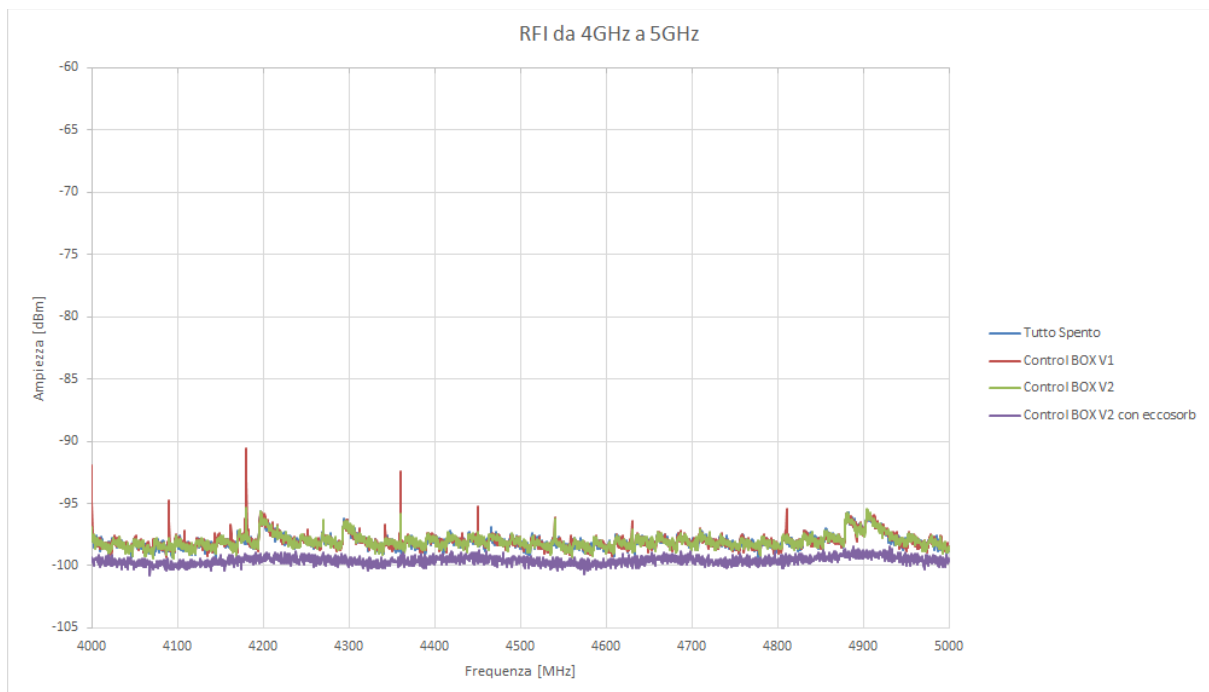


Figura 13: RFI da 4GHz a 5GHz

Nella banda 4 – 5 GHz (Figura 13) è la Control BOX V1 che risulta essere peggiore della versione 2 in termini di presenza di RFI derivanti da spurie dei clock che riescono a propagarsi fino a più alta frequenza. La versione 2 con eccosorb risulta priva di RFI.

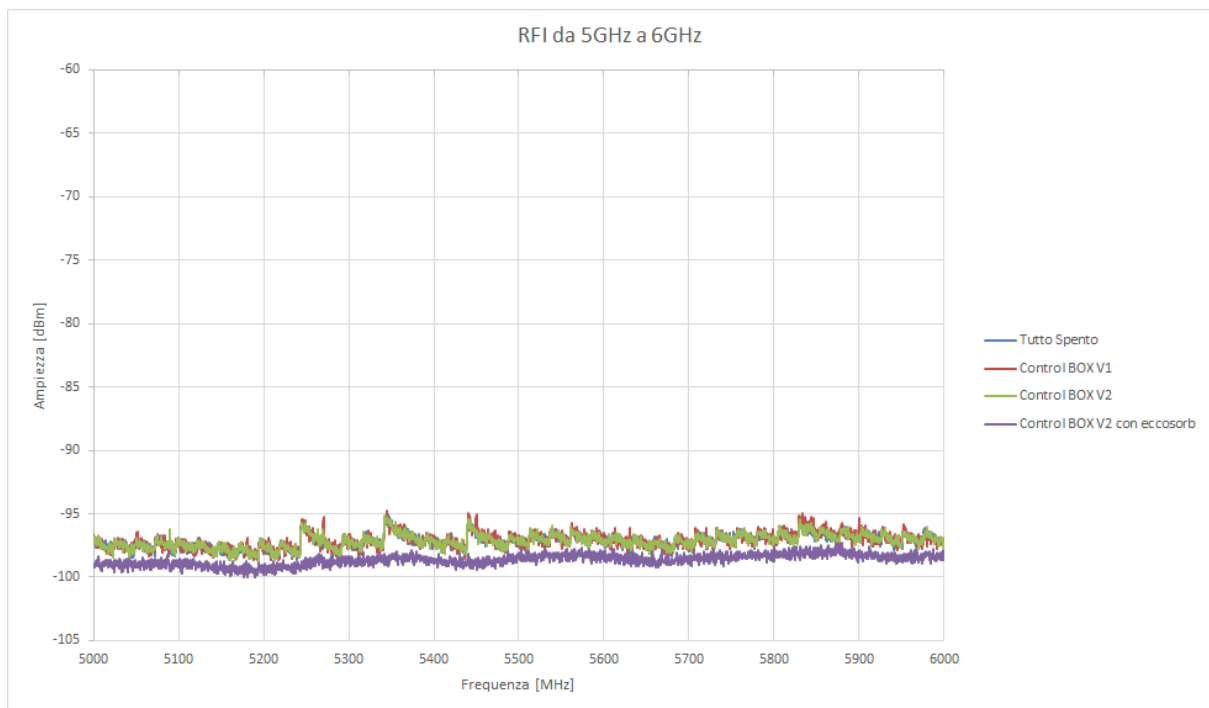


Figura 14: RFI da 5GHz a 6GHz

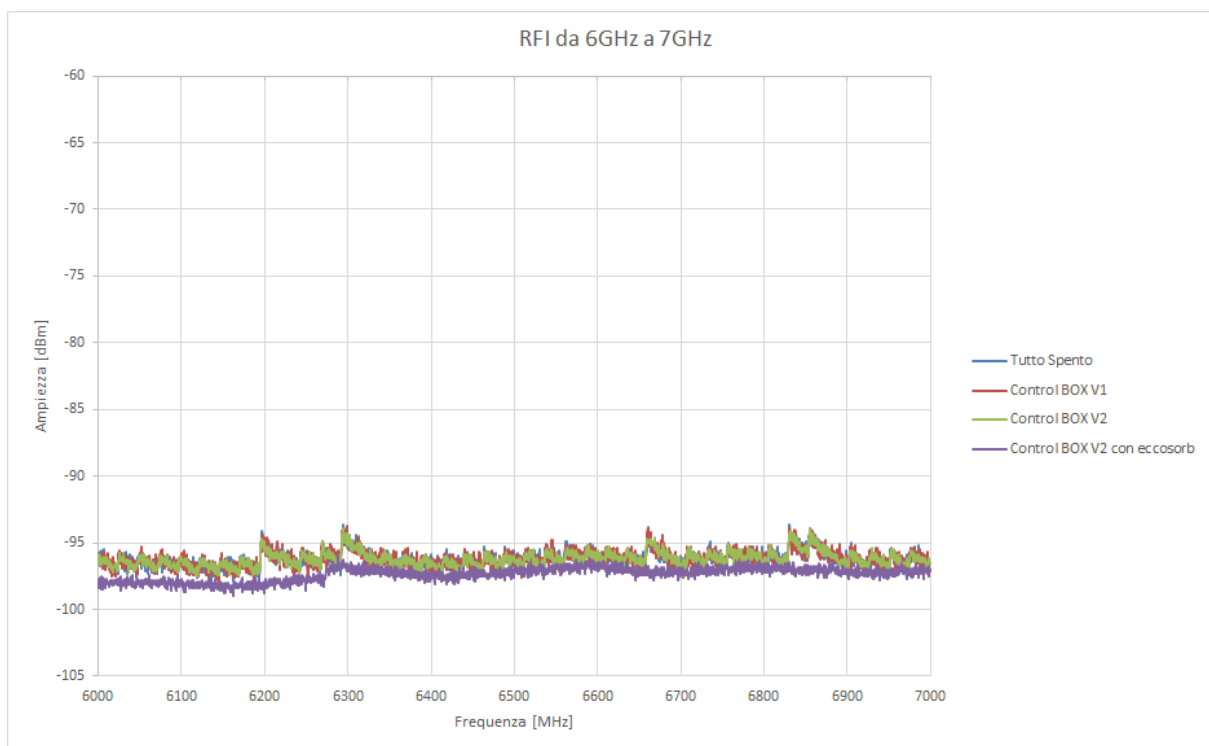


Figura 15: RFI da 6GHz a 7GHz

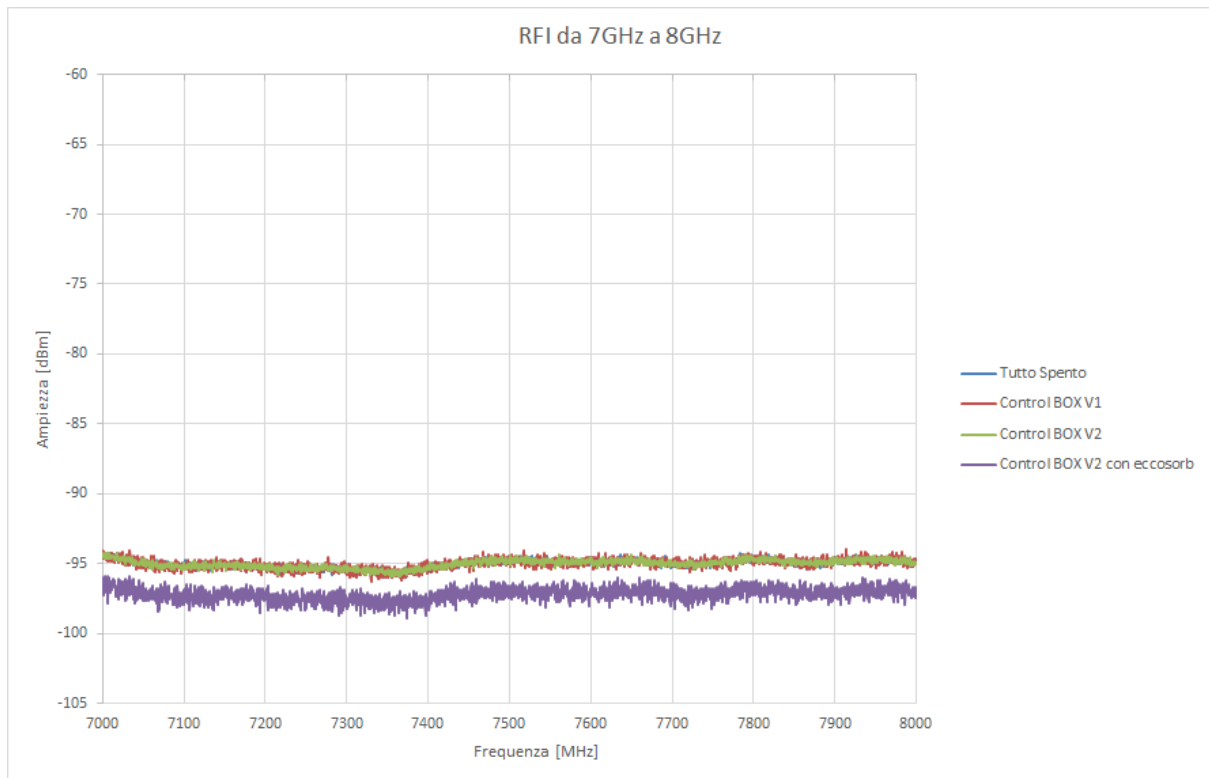


Figura 16: RFI da 7GHz a 8GHz

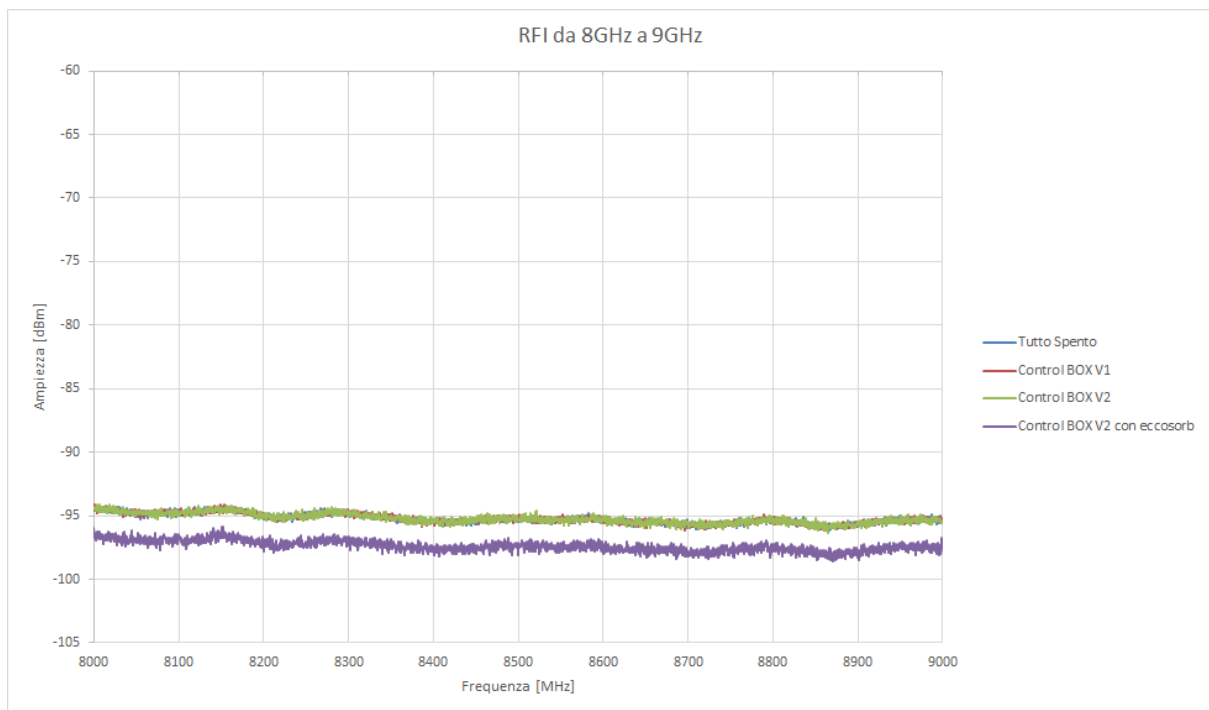


Figura 17: RFI da 8GHz a 9GHz

Da 5 a 9 GHz (Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17) non si nota presenza di emissioni RFI apprezzabili strumentalmente. E' bene evidenziare che a livello di noise floor relativamente alle tracce blu, rossa e verde (in tutti gli spettri tranne da 7 GHz in su) l'andamento a dente di sega deriva da una fluttuazione strumentale e non da emissioni derivanti dal DUT. In ogni caso questo andamento non ha

impedito la messa in evidenza delle diverse emissioni RFI generate dai DUT. A parte la porzione iniziale di banda, da 100 MHz a 500 MHz circa, la equi-spaziatura delle righe RFI suggeriscono proprio la classica emissione spuria da clock, comune a tutte e due le versioni della Control BOX.

4. Firmware e controllo remoto

Il firmware della ControlBOX svolge le seguenti funzioni:

- Rimane in ascolto sulla porta 5025 in attesa di pacchetti UDP corrispondenti ai comandi inviati;
- Esegue i settaggi relativi ai comandi inviati;
- Invia dei pacchetti UDP in risposta ai comandi ricevuti.

Le impostazioni di rete della scheda (IP, Subnetmask, gateway, DNS) possono essere modificate solo tramite l'aggiornamento del firmware.

I comandi che è in grado di gestire la ControlBox sono quelli riportati nella seguente tabella:

Comando	Variabile	Funzione	Output
*IDN? or #*IDN?		Restituisce una stringa con le informazioni sulla box Es. PHAROS2_WARM_SECTION Rev. 0.0.1/04	Stringa: PHAROS2_WARM_SECTION Rev. 0.0.1/04
#SETFILTER x	x = [1, 2, 3, 4]	Imposta il filtro da utilizzare	
#GETTEMP		Restituisce il valore della temperatura	
#GETLEVEL		Restituisce il valore del power meter	

Tabella 2: Elenco dei comandi.

Il comando ***IDN?** restituisce una stringa con le informazioni della scheda e del suo firmware. La stringa restituita è nella forma NOME DEVICE VERSIONE DEVICE/VERSIONE FIRMWARE

Il comando **#SETFILTER x** permette di selezionare il filtro che verrà utilizzato secondo la seguente tabella:

Valore di x	Filtro	Impostazioni PIN digitali
1	A (4.0-8.0 GHz)	V1=0 V2=0
2	B (4.775-5.050 GHz)	V1=0 V2=1
3	C (5.78-6.055 GHz)	V1=1 V2=1
4	D (6.445-6.720 GHz)	V1=1 V2=0

Tabella 3: Parametro di configurazione del comando **#SETFILTER x**.

In caso di errore il firmware invierà via rete una stringa nella forma

ERROR(**error_code**) [**detail**](**detailDEC**)

Dove **error_code** è uno dei codici di errore che verranno illustrati nella successiva tabella, **detail** è una stringa di informazioni aggiuntive e **detailDEC** è la stessa stringa di informazioni aggiuntive in formato esadecimale.

Nella seguente tabella viene mostrata la lista **error_code**:

Errore	Codice
ERROR_ARGS_NOT_VALID	1000
ERROR_COMMAND_UNKONOW	1001
ERROR_FIRST_ARG_NOT_NUMBER	1002
ERROR_FIRST_ARG_OUT_OF_RANGE	1003
ERROR_NO_ARGS	1004
ERROR_NO_SECOND_ARG	1005
ERROR_NO_TERMINATOR	1006
ERROR_SECOND_ARG_LENGTH_ZERO	1007
ERROR_SECOND_ARG_NOT_PRESENT	1008
ERROR_SECOND_ARG_ONE_NOT_NUMEBR	1009
ERROR_SECOND_ARG_OUT_OF_RANGE	1010
ERROR_SINGLE_WORD_COMMAND_UNKNOW	1011
ERROR_THIRD_ARG_NOT_PRESENT	1013
ERROR_THIRD_ARG_OUT_OF_RANGE	1014
ERROR_TOO_MANY_ARGS	1015

Tabella 4: Codifica degli errori.

Per il controllo remoto e il debugging è stata realizzata un'applicazione con interfaccia grafica scritta in Python 2.7 [9] con librerie grafiche Qt 4.

Il programma richiede le seguenti librerie:

- wx
- IPy
- Pyvisa [10]

Di seguito l'interfaccia grafica dell'applicazione.

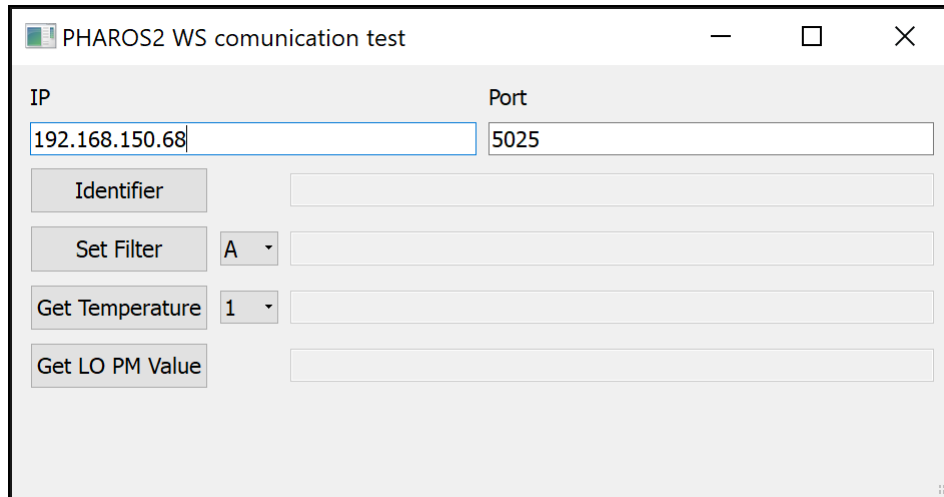


Figura 18: Interfaccia della applicazione per il test della Warm Section

Nella parte in alto della finestra è possibile impostare l'IP della Control BOX e porta di comunicazione. I pulsanti sulla sinistra permettono di inviare i rispettivi comandi mentre sulla destra viene visualizzata la risposta ad ogni comando.

5. Montaggio del modulo di controllo all'interno del rack

Warm Section

La Figura 19 illustra una foto del rack Warm Section di PHAROS2 in cui è stato installato il modulo di controllo. Il cablaggio del rack è stato predisposto per ospitare il modulo di controllo che utilizza 11 connessioni dal lato backplane (connettori DIN41612 a tre file 96 pin).

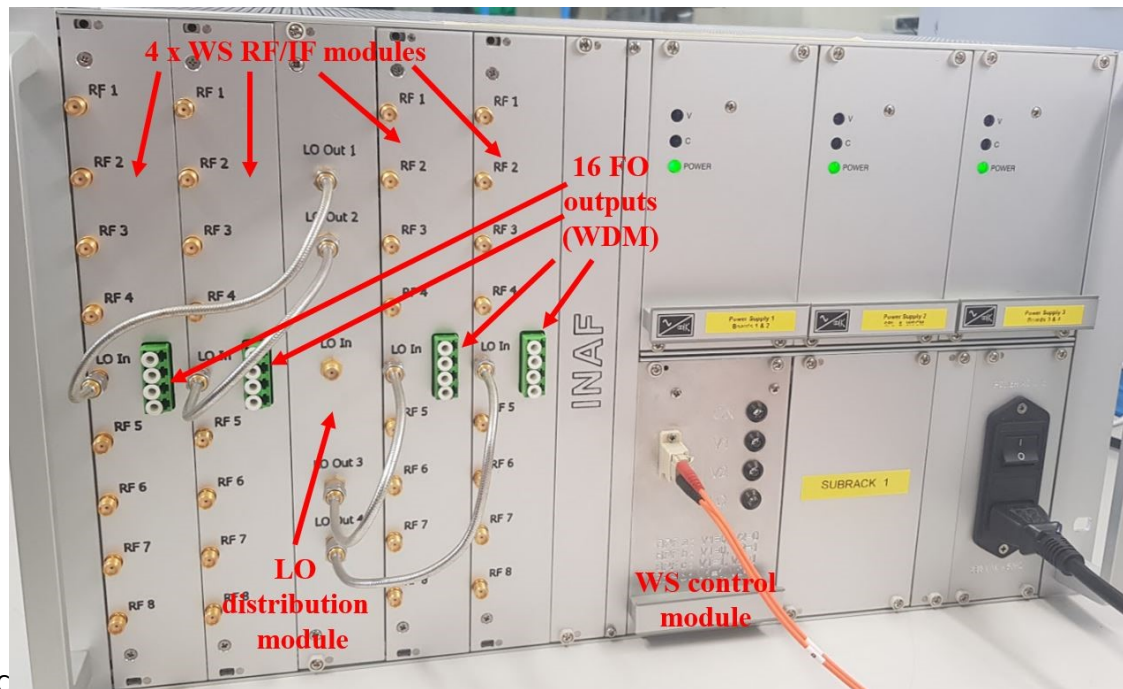


Figura 19: Ricevitore Warm Section a 32-canali con 4 moduli RF/IF, un modulo di distribuzione OL, 3 alimentatori lineari ed il modulo di controllo. I moduli sono ospitati in un rack standard da 6U 19 pollici.

5. Conclusioni

In questo rapporto interbo, abbiamo descritto la progettazione, realizzazione e test del modulo di controllo per il ricevitore multicanale Warm Section del Phased Array Feed PHAROS2. Il modulo sviluppato permette il monitoraggio e controllo dei parametri menzionati (banco di filtri, temperatura schede e potenza OL). Sono state realizzate tre versioni di tale modulo. La prima e la seconda versione utilizzano lo stesso tipo di mediaconverter Digitus basato su fibre multimodali. La seconda versione è stata realizzata allo scopo di mitigare le interferenze radio RFI emesse dal mediaconverter e racchiude tale componente dentro una box con assorbitori RF. Invece, la terza versione ha permesso di adattare la scheda al tipo di comunicazione monomodale richiesta in corso d'opera mantenendo comunque una compatibilità con lo standard multimodale grazie ai transceivers ottici SFP.

Riferimenti

- [1] A. Navarrini, J. Monari, A. Scalambra, A. Melis, R. Concu, G. Naldi, A. Maccaferri, A. Cattani, P. Ortu, J. Roda, F. Perini, G. Comoretto, M. Morsiani, A. Ladu, S. Rusticelli, A. Mattana, P. Marongiu, A. Saba, M. Schiaffino, E. Carretti, F. Schillirò, E. Urru, G. Pupillo, M. Poloni, T. Pisanu, R. Nesti, G. Muntoni, K. Zarb Adami, A. Magro, R. Chiello, L. Liu, K. Grainge, M. Keith, M. Pantaleev, W. van Cappellen, Design of PHAROS2 Phased Array Feed, to be published in Proceedings of 2nd URSI AT-RASC, Gran Canaria, 28 May – 1 June 2018.
- [2] A. Navarrini J. Monari, A. Scalambra, A. Melis, R. Concu, G. Naldi, A. Maccaferri, A. Cattani, P. Ortu, J. Roda, F. Perini, G. Comoretto, M. Morsiani, A. Ladu, S. Rusticelli, A. Mattana, P. Marongiu, A. Saba, M. Schiaffino, E. Carretti, F. Schillirò, E. Urru, G. Pupillo, M. Poloni, T. Pisanu, R. Nesti, G. Muntoni, K. Zarb Adami, A. Magro, R. Chiello, L. Liu, K. Grainge, M. Keith, M. Pantaleev, W. van Cappellen, Design of Cryogenic Phased Array Feed for 4-8 GHz, to be published in Proceedings of XXII Riunione Nazionale Elettromagnetismo –SIEM Academy (RINEM), ISBN 978-88-907599-2-5, Cagliari, Italy, Sep. 3-8, 2018, pp. 21-24.
- [3] A. Navarrini, A. Scalambra, S. Rusticelli, A. Maccaferri, A. Cattani, F. Perini, P. Ortu, Juri Roda, P. Marongiu, A. Saba, M. Poloni, A. Ladu, L. Schirru, The Room Temperature Multi-Channel Heterodyne Receiver Section of the PHAROS2 Phased Array Feed, MDPI Electronics, 8(6), 666, 2019, doi:10.3390/electronics8060666.
- [4] A. Navarrini, A. Scalambra, S. Rusticelli, A. Maccaferri, A. Cattani, F. Perini, P. Ortu, J. Roda, P. Marongiu, A. Saba, M. Poloni, A. Ladu, A 2.3-8.2 GHz room temperature multi-channel receiver for Phased Array Feed application, Accepted for publication in IEEE UKRON2019 Conference, Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019.
- [5] A. Navarrini, A. Scalambra, A. Melis, S. Rusticelli, R. Concu, P. Ortu, G. Naldi, G. Pupillo, A. Maccaferri, A. Cattani, A. Ladu, L. Schirru, F. Perini, M. Morsiani, J. Monari, J. Roda, P. Marongiu, A. Saba, M. Poloni, M. Schiaffino, A. Mattana, G. Bianchi, G. Comoretto, R. Nesti, E. Urru, T. Pisanu, F. Schillirò, K. Zarb Adami, A. Magro, R. Chiello, The Warm Receiver Section and the Digital Backend of the PHAROS2 Phased Array Feed, Accepted for publication in IEEE Int. Symposium on Phased Array Systems and Technology, to be held in Waltham, MA, USA, Oct. 15-18, 2019.
- [6] <https://www.digitus-professional.com/it/products/network-kvm-video-solutions/media-converter/media-converter-fast-ethernet/dn-82010-1/>
- [7] <https://store.arduino.cc/arduino-leonardo-eth>
- [8] A. Scalambra, A. Navarrini, J. Roda, M. Poloni, F. Perini, A. Cattani, A. Maccaferri, S. Mariotti, P. Ortu, A. Saba, P. Marongiu, PCB a 8 canali a singola conversione a reiezione d'immagine sintonizzabile. Primo prototipo, INAF-IRA Internal Report n. 502-18, Nov. 30, 2018, available at <https://www.ira.inaf.it/Library/rapp-int/520-18.pdf>
- [9] G. van Rossum, Python tutorial, Technical Report CS-R9526, Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam, May 1995.
- [10] <https://pyvisa.readthedocs.io/en/stable/>