



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	277
Publication Year	2023
Acceptance in OA@INAF	2023-07-06T09:40:01Z
Title	Studio di fattibilità per l'upgrade del ricevitore in banda L-P di SRT con focus sulla mitigazione delle RFI in banda
Authors	GAUDIOMONTE, Francesco, LADU, Adelaide, SCHIRRU, Luca, MARONGIU, Pasqualino, PILI, Mauro, ORTU, Pierluigi, VARGIU, GIAN PAOLO
Affiliation of first author	O.A. Cagliari
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/34259 , https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/277

INTERNAL REPORT

Studio di fattibilità per l'upgrade del ricevitore in banda L-P di SRT con focus sulla mitigazione delle RFI in banda

Francesco Gaudiomonte, Adelaide Ladu, Luca Schirru,
Pasqualino Marongiu, Mauro Pili, Pierluigi Ortu, Gian Paolo Vargiu

Reviewer: Giuseppe Carboni, Elise Egron

The logo for the Osservatorio Astronomico di Cagliari (OAC) consists of the letters 'OAC' in a bold, blue, sans-serif font.

Osservatorio
Astronomico
di Cagliari

Sommario

1. Introduzione	3
2. Schema a blocchi del ricevitore coassiale in banda L-P nella sua versione originale.....	4
3. Modifiche da apportare al sistema per migliorarne le prestazioni	6
3.1 Campagne di misura e mitigazione dei segnali RFI provenienti dal territorio circostante il telescopio	6
3.1.1 Banda P.....	6
3.1.2 Banda L	11
3.2 Mitigazione delle RFI autoprodotte dai sistemi che compongono il ricevitore	18
3.2.1 Mitigazione dei segnali indesiderati generati dal sistema elettronico di controllo	18
3.2.2 Mitigazione dei segnali indesiderati generati dal processo di alimentazione dei componenti attivi a microonde del ricevitore	18
3.3 Modifiche logistiche	20
4. Conclusioni	22
Bibliografia.....	23

1. Introduzione

Il presente rapporto tecnico contiene uno studio di fattibilità sulle modifiche da apportare al ricevitore criogenico coassiale in banda L-P [1-6] al fine di ridurre la presenza in banda di segnali interferenti, denominati RFI (radio frequency interference), auto-generati ed attenuare (idealmente eliminare) i segnali interferenti provenienti da sorgenti (sistemi di telecomunicazioni militari e civili, sistemi radar militari, link radio, comunicazioni mobili, ecc.) installate nel territorio circostante il telescopio.

Il ricevitore coassiale in banda L-P, installato sul fuoco primario del Sardinia Radio Telescope (SRT), permette di effettuare osservazioni radioastronomiche nel range di frequenze comprese tra 305 e 410 MHz (canale in banda P) e tra 1300 e 1800 MHz (canale in banda L). Esso, come gli altri ricevitori di SRT (ricevitori in banda C e in banda K), è equipaggiato con un complesso sistema di raffreddamento, che permette di lavorare a temperature criogeniche inferiori a 20 K, in maniera tale da ridurre al minimo il contributo di temperatura di rumore del ricevitore. Maggiori dettagli sulle caratteristiche tecniche del sistema di raffreddamento sono riportate nel documento [7].

Sebbene per anni il ricevitore sia stato ampiamente utilizzato con risultati accettabili per osservazioni di sorgenti molto brillanti, sono emerse una serie di criticità tecniche che potrebbero essere risolte o migliorate al fine di aumentare le prestazioni dell'intero sistema. Il sistema elettronico di controllo originale è basato su schede elettroniche con microcontrollori di vecchia generazione, che generano una serie di RFI che si propagano all'interno della banda di frequenze del ricevitore (maggiormente in banda P) [8]. Questa versione di schede elettroniche è utilizzata anche nei ricevitori installati sul tamburo rotante presente nella Gregorian room (ricevitore in banda K) ed in beam wave guide (ricevitore in banda C), comportando una ulteriore generazione di segnali indesiderati che vengono ricevuti dal ricevitore in banda L-P installato sul fuoco primario del telescopio. Per ridurre i livelli di potenza di questi segnali indesiderati, si è provveduto negli anni ad installare (a mano, ogni volta che si programmavano osservazioni in banda L e P) una copertura metallica sulla finestra della Gregorian room che garantiva un'attenuazione di circa 10 dB delle RFI in questione. Inoltre, lo scenario dei segnali interferenti generati da sorgenti installate nel territorio circostante a SRT si è evoluto rispetto agli anni in cui il ricevitore fu inizialmente installato sul telescopio. Purtroppo, la presenza di questi segnali ha ridotto notevolmente la banda utile del ricevitore (sia per quanto riguarda la banda P che la banda L), rendendo una buona quantità di dati, rilevati durante le osservazioni radioastronomiche, inutilizzabili per scopi scientifici.

Nella sezione 2 di questo report sono descritte le principali caratteristiche tecniche del ricevitore nella sua versione originale [1-6], ponendo particolare attenzione al sistema elettronico di controllo e ai sistemi a microonde e a radio frequenza che lo compongono, individuando e analizzando gli aspetti che potrebbero essere migliorati. Nella sezione 3 sono invece riportate tutte le modifiche considerate nello studio di fattibilità per l'aggiornamento del suddetto ricevitore [9], con l'obiettivo di migliorarne le prestazioni. In particolare, nella sottosezione 3.1 si descrivono le modifiche da apportare per contrastare la presenza in banda di RFI generate da sorgenti installate nel territorio circostante il telescopio; mentre, nella sottosezione 3.2, si trattano gli interventi da effettuare per ridurre l'auto-generazione, da parte del sistema elettronico di controllo del ricevitore, di segnali interferenti che disturbano le osservazioni; infine, nella sottosezione 3.3 si espongono una serie di migliorie logistiche che permetteranno una maggiore praticità negli interventi di manutenzione e futuri upgrade sul ricevitore.

2. Schema a blocchi del ricevitore coassiale in banda L-P nella sua versione originale

Il ricevitore in banda L-P lavora a temperature criogeniche inferiori a 20 K e permette di osservare contemporaneamente sia in banda L che in banda P. Il ricevitore è stato progettato per funzionare in maniera ottimale in un range di frequenze che va da 305 a 410 MHz (banda P) e da 1300 a 1800 MHz (banda L). Esso permette di trattare sia segnali polarizzati linearmente (polarizzazioni lineari horizontal H e vertical V), che segnali polarizzati circolarmente (polarizzazioni circolari left hand circular polarization LHCP e right hand circular polarization RHCP). Per tutti i dettagli tecnici del ricevitore, sia per quanto riguarda la progettazione elettromagnetica che per quanto riguarda la progettazione del sistema di criogenia, si rimanda ai lavori [1-8]. Un generico schema a blocchi del sistema è riportato nella seguente Figura 1.

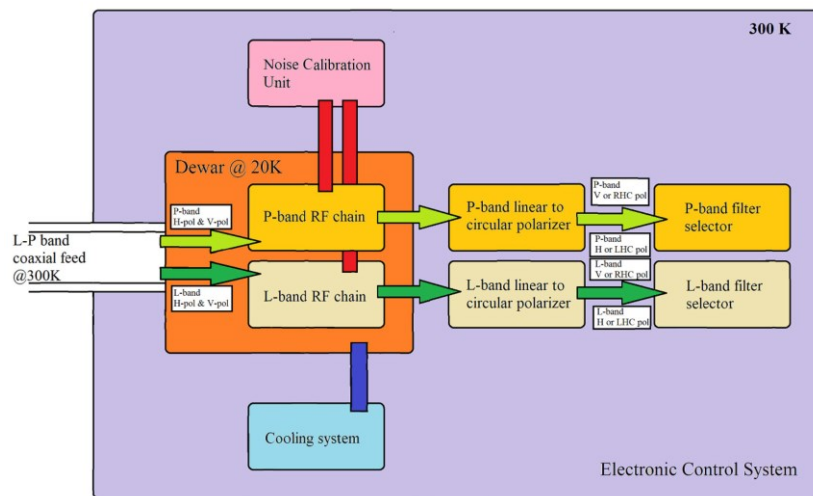


Figura 1 – Generico schema a blocchi del ricevitore in banda L-P [9].

Analizzando la Figura 1, si nota come il primo blocco sia costituito dal *feed* coassiale in banda L-P, che lavora a temperatura ambiente (300 K). Il secondo blocco è costituito dal criostato (o *Dewar*), che lavora a temperatura criogenica inferiore ai 20 K, all'interno del quale sono installate le due catene di componenti a microonde per i canali in banda P e in banda L [1-6, 10-12]. Collegati direttamente al *Dewar*, vi sono sia un blocco relativo al sistema di raffreddamento (che permette di effettuare il vuoto per poi procedere con il raffreddamento del contenuto del criostato), che un blocco utile per la calibrazione del sistema (che consente di iniettare del rumore noto nel ricevitore in maniera tale da poterne valutare il suo contributo di rumore al sistema). A valle del *Dewar* vi è un blocco polarizzatore che consente, in base alle esigenze dell'osservatore, di trasformare il segnale polarizzato linearmente (polarizzazioni H e V) in un segnale polarizzato circolarmente (polarizzazioni RHCP e LHCP). Lungo la catena che compone il ricevitore, vi è infine un blocco di filtri a microonde che permette di selezionare delle sotto-bande di frequenze ottimali per le osservazioni radioastronomiche (sia per il canale in banda P che per il canale in banda L). Sia il blocco polarizzatore che il blocco dei filtri lavorano a temperatura ambiente.

Tutti i blocchi di Figura 1 possono essere controllati da remoto grazie al sistema elettronico di controllo, basato su schede denominate "*AliSRT*" [8], che permette l'alimentazione e il monitoraggio dei componenti attivi, principalmente i low noise amplifier (LNA) criogenici e gli amplificatori che lavorano a temperatura ambiente, presenti nella catena di ricezione, il controllo della temperatura all'interno del *Dewar* e la gestione del sistema di raffreddamento.

Inoltre, la sua posizione sul fuoco primario del telescopio ha imposto forti vincoli di peso (700 Kg) e dimensioni (volume di circa 1.5m x 1.5m x 1.5m).

In Figura 2 è riportato lo schema a blocchi delle catene di componenti a microonde per l'acquisizione ed il condizionamento del segnale fino all'ingresso del back-end. Le specifiche tecniche dei componenti sono riportate nel dettaglio nei lavori [1-6, 9].

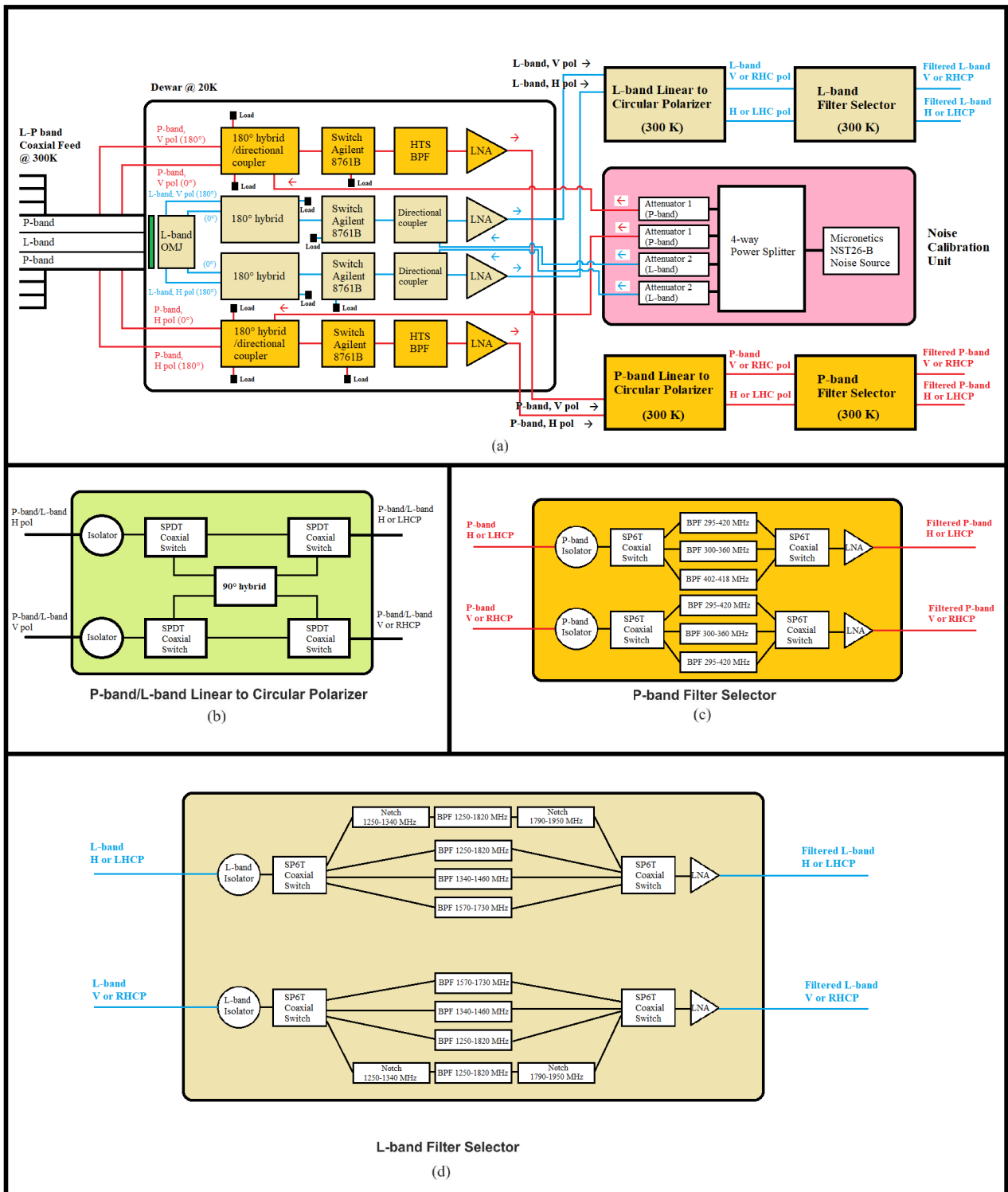


Figura 2 – (a) Schema delle catene (sia per il canale in banda P che per il canale in banda L) di componenti a microonde per l'acquisizione ed il condizionamento del segnale [9]; (b) Schematico del polarizzatore che permette la trasformazione della polarizzazione lineare in circolare [9]; (c) Blocco di filtri del canale in banda P; (d) Blocco di filtri del canale in banda L [9].

3. Modifiche da apportare al sistema per migliorarne le prestazioni

Le criticità individuate nelle prestazioni del ricevitore che devono essere migliorate sono state suddivise in tre blocchi [9]: la mitigazione delle interferenze in radio frequenza (RFI) provenienti dal territorio circostante il telescopio (vedi Sezione 3.1); la mitigazione delle RFI auto-generate dal sistema ed in particolare dalle schede elettroniche di controllo (vedi Sezione 3.2); una serie di modifiche logistiche sulla struttura del ricevitore al fine di semplificare i futuri interventi di manutenzione ed eventuali upgrade (vedi Sezione 3.3).

3.1 Campagne di misura e mitigazione dei segnali RFI provenienti dal territorio circostante il telescopio

Con l'avanzare della tecnologia, è stato inevitabile l'incremento esponenziale di segnali in radio frequenza che si propagano nell'ambiente circostante, come per esempio i segnali generati dai sistemi radar militari, i segnali generati dai sistemi di telecomunicazioni mobili civili e militari, i segnali provenienti dai link satellitari, ecc. La presenza nell'etere di RFI è da considerarsi un vero e proprio problema per i radiotelescopi, che con la loro elevata sensibilità riescono a rilevare tutti i segnali che si propagano a frequenze che rientrano all'interno delle bande dei ricevitori. Per questo motivo, è richiesto un costante monitoraggio dello scenario RFI, con lo scopo di rilevare e catalogare (stabilendo la frequenza esatta, i livelli di ampiezza e la natura temporale di propagazione) eventuali nuovi segnali indesiderati rilevati dai ricevitori del telescopio, che rappresentano un disturbo per le osservazioni radioastronomiche. Per quanto riguarda il monitoraggio delle RFI presso il sito di SRT, si hanno a disposizione due modalità di rilevazione:

- Telescopio con un back-end dedicato composto da un analizzatore di spettro e un software realizzato ad hoc per il trattamento di questo tipo di segnali [9];
- Laboratorio mobile a disposizione dell'Osservatorio astronomico di Cagliari [13].

In questo studio sono prese in considerazione le misure effettuate sia utilizzando SRT (misure effettuate nel 2021, prima del fermo antenna per i lavori relativi al progetto PON), ed in particolare il ricevitore in banda P ed L come front-end e l'analizzatore FSV40 della Rohde & Schwarz come back-end, sia utilizzando il laboratorio mobile (misure effettuate tra la fine del 2022 e l'inizio del 2023) con il front-end in dotazione per servire questi range di frequenze.

3.1.1 Banda P

Per quanto riguarda la rilevazione dello scenario RFI in banda P usando SRT (relativo all'anno 2021), è stato selezionato il filtro con la maggiore larghezza di banda disponibile tra quelli a disposizione nel blocco di filtri installati nel ricevitore (vedi Figura 2c). Il filtro selezionato è il 5B340-357.5/T120-O/O della K&L con una frequenza centrale di 357.5 MHz ed una larghezza di banda a -3dB di 120 MHz. Nella seguente Figura 3, è riportato lo spettro rilevato, considerando uno *span* che va da 250 MHz a 450 MHz.

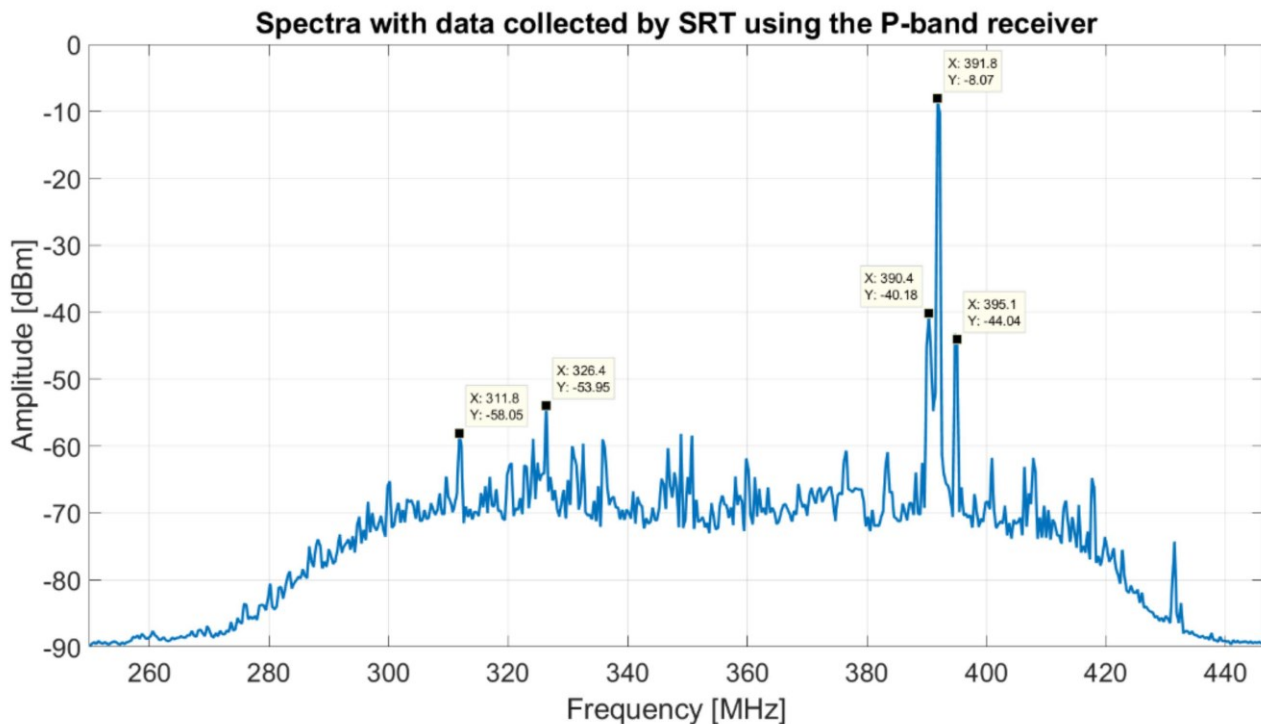


Figura 3 – Spettro rilevato nel 2021 con il ricevitore in banda P di SRT, utilizzando il filtro 5B340-357.5/T120-O/O della K&L e l’analizzatore di spettro FSV40 come back-end.

Osservando lo spettro in Figura 3, si può notare come i segnali con un livello di ampiezza più alto siano quelli all’interno del range di frequenze 385-395 MHz. Questi segnali sono generati dalla stazione TETRA (Terrestrial Trunked Radio), che fa parte di un sistema di telecomunicazioni utilizzato dal Ministero della Difesa, che sfortunatamente è stato installato sul Monte Ixi, a circa 1 km di distanza in linea d’aria da SRT. Questo forte segnale è rilevato dal telescopio da qualsiasi puntamento d’antenna e rende quella porzione di banda inutilizzabile per scopi di ricerca scientifica. Inoltre, questo segnale manda in saturazione alcuni dei back-end digitali utilizzati per la memorizzazione e l’elaborazione dei dati, rendendo i dati acquisiti parzialmente o completamente inutilizzabili. Nello spettro di Figura 3, sono inoltre visibili una serie di segnali nell’intervallo di frequenze che va da 310 a 330 MHz, generati dai sistemi radar e di telecomunicazioni in possesso dell’Esercito Italiano. Si possono notare anche ulteriori RFI con livelli di potenza non trascurabili, per esempio alle frequenze di 355, 360, 400-401 e 410 MHz, che purtroppo rappresentano dei segnali auto-generati dal sistema elettronico di controllo del ricevitore.

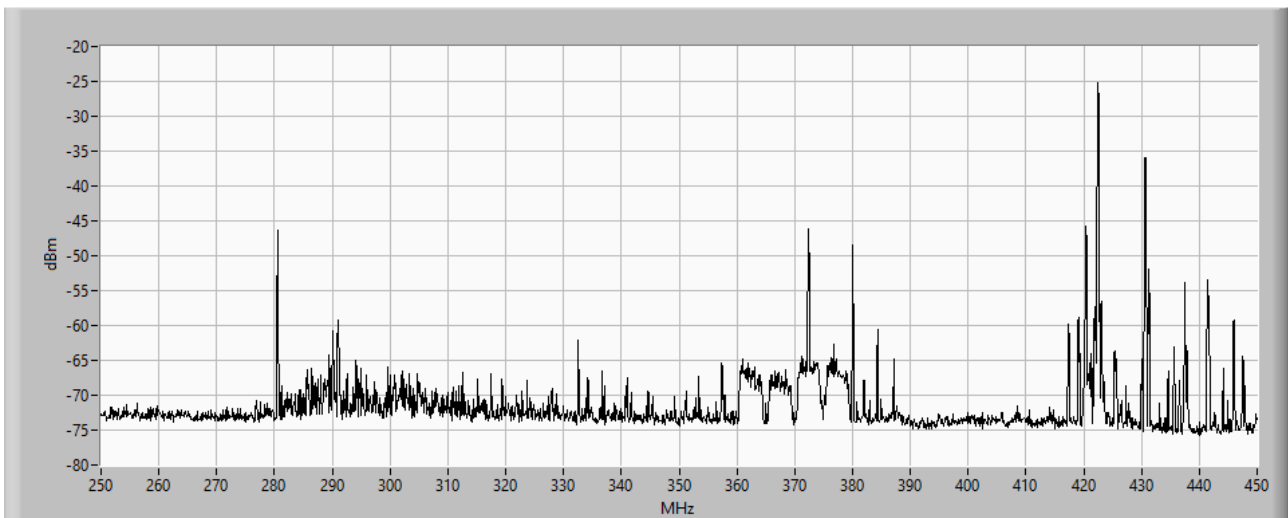
Per quanto riguarda la campagna di misure RFI con il laboratorio mobile in banda P (campagna di misure effettuata tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023), sono state effettuate due tipologie di misure al fine di rilevare sia i segnali stazionari che i segnali impulsivi. Il setup di misura è stato il seguente:

- Antenna log-periodica modello LPA 370-10: adatta a lavorare in maniera ottimale nella banda di frequenza 290-450 MHz con un guadagno medio di circa 11 dBi [13];
- Front-end #1 del laboratorio mobile, progettato e realizzato per effettuare misure tra 300 MHz e 18 GHz: per la misura in banda P è stato selezionato il filtro A, modello 8BC-360/A120-S, con una banda di funzionamento tra 300 - 420 MHz e una IL di 1dB [13];
- Analizzatore di spettro Agilent PSA E4446A utilizzato come back-end [13], impostato in modalità *max hold* e con una adeguata *resolution bandwidth* (RBW) per le misure di segnali stazionari (100 kHz) e impulsivi (1 MHz).

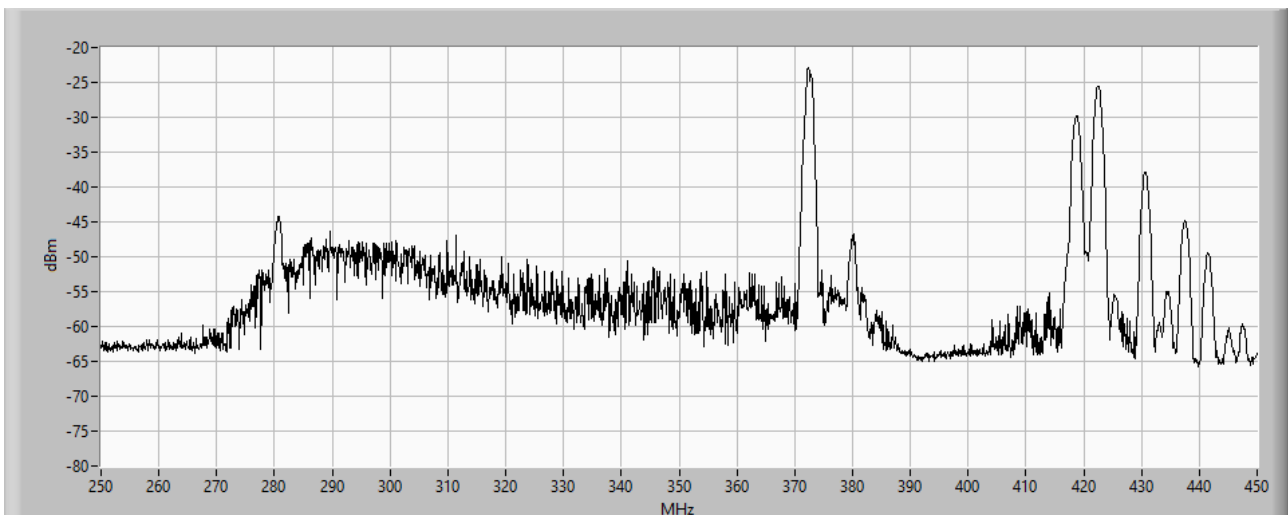
Al fine di non mandare in saturazione il front-end #1 del laboratorio mobile e quindi rischiare di perdere la sua risposta lineare, si è installato lungo la catena ricevente (subito a valle dell’antenna) un filtro Notch

(modello 6PR6-392.5-X4.5 S11 della Reactel) che ha permesso di attenuare mediamente di 70 dB i forti segnali generati dal sistema TETRA nella banda 385-395 MHz.

La procedura di misura ha previsto la rotazione in azimuth di 360° per 2-3 volte dell'antenna installata sul palo telescopico del mezzo e la relativa acquisizione del segnale ricevuto con il back-end (analizzatore di spettro), accuratamente configurato per la tipologia di misura desiderata (rilevazione di segnali stazionari e di segnali impulsivi). Questa procedura è stata ripetuta per entrambe le polarizzazioni dell'antenna (orizzontale e verticale). Entrambe le tipologie di misura (segnali stazionari e segnali impulsivi) sono state ripetute in due postazioni strategiche differenti situate intorno al sito di SRT: in cima al Monte Ixi e sulla Colonia Montana, in modo tale da avere uno scenario completo delle interferenze presenti nel circondario, rilevate alla stessa altezza del ricevitore installato sul Telescopio. I risultati delle campagne di misura a banda stretta e a banda larga effettuate sulla Colonia Montana sono riportati in Figura 4, mentre in Figura 5 sono riportati gli spettri delle misure effettuate sul Monte Ixi.

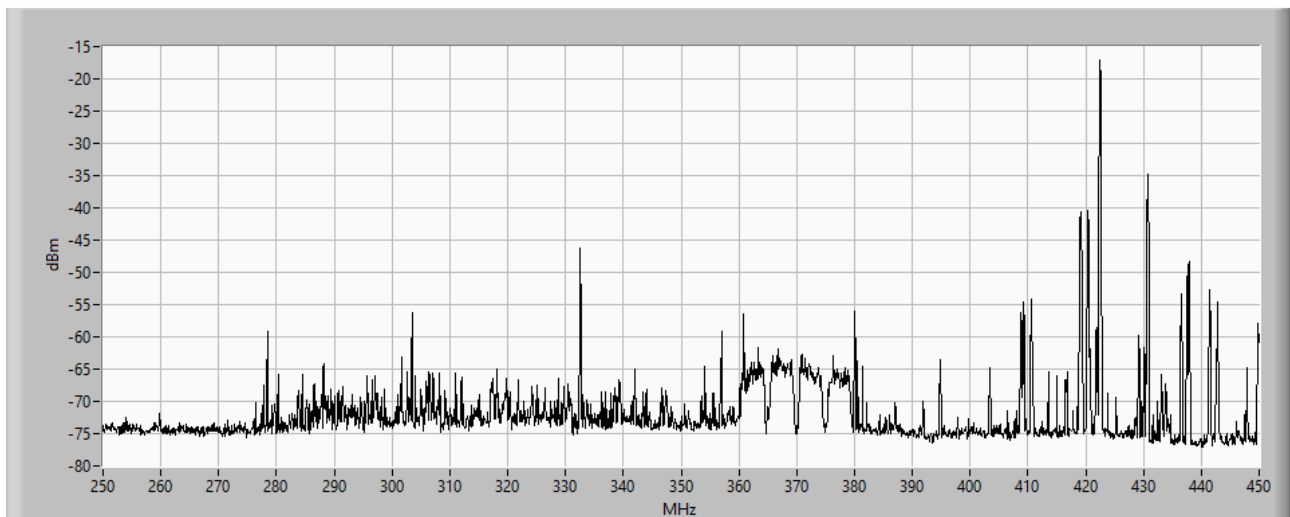


(a)

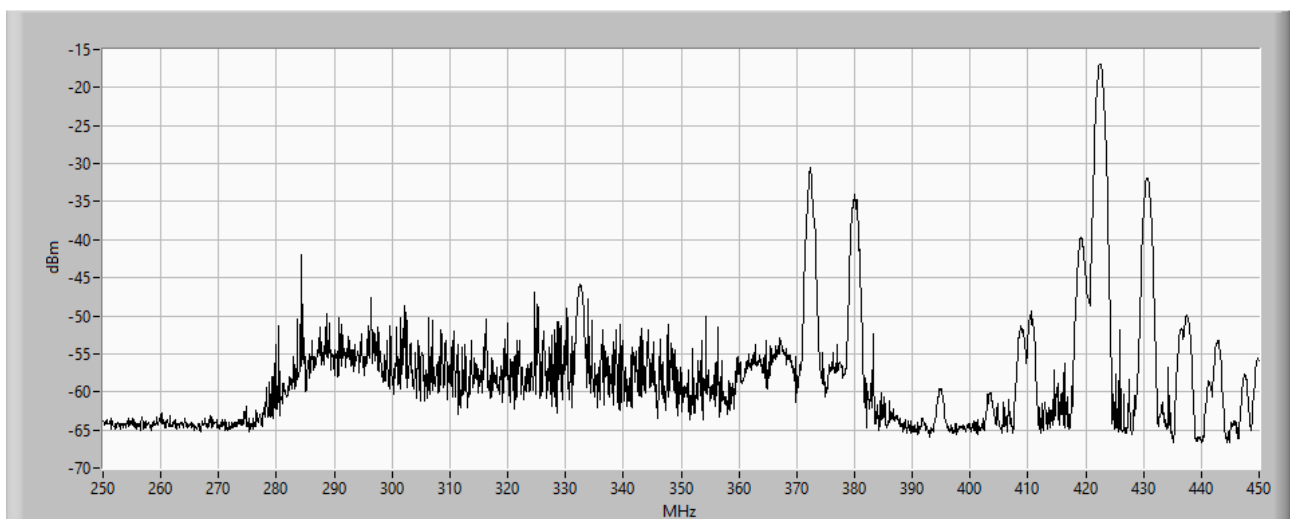


(b)

Figura 4 – (a) Spettro rilevato nella campagna di misura a banda stretta per la rilevazione di segnali stazionari (RBW dell'analizzatore di spettro configurata a 100 kHz), effettuata sulla Colonia montana tra la fine del 2022 e l'inizio del 2023; (b) Spettro rilevato nella campagna di misura a banda larga per la rilevazione di segnali impulsivi (RBW dell'analizzatore di spettro configurata a 1 MHz), effettuata sulla Colonia Montana tra la fine del 2022 e l'inizio del 2023.



(a)



(b)

Figura 5 – (a) Spettro rilevato nella campagna di misura a banda stretta per la rilevazione di segnali stazionari (RBW dell’analizzatore di spettro configurata a 100 kHz), effettuata sul Monte Ixi tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023; (b) Spettro rilevato nella campagna di misura a banda larga per la rilevazione di segnali impulsivi (RBW dell’analizzatore di spettro configurata a 1 MHz), effettuata sul Monte Ixi tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle due campagne di misure (segnali stazionari e segnali impulsivi), sono state individuate, in collaborazione con gli astronomi utilizzatori, le specifiche per la progettazione e realizzazione dei nuovi filtri a microonde da installare sul ricevitore, in sostituzione dei filtri presenti nel progetto originale. In Tabella 1.a sono riportate le specifiche dei filtri a microonde installati sul ricevitore nella sua versione originale. In Tabella 1.b, invece, sono riassunte le specifiche dei nuovi filtri, richiesti nella prima metà del 2023 dai vari gruppi di ricercatori astronomi, secondo le rispettive esigenze osservative.

Tipologia filtro – Applicazione	Modello	Banda -3dB	Banda -30dB
Band pass filter	5B340-357.5/T120-O/O from K&L	295-420 MHz	250-460 MHz
Band pass filter	5B340-330/T50-O/O from K&L	300-360 MHz	270-380 MHz
Band pass filter	3B110-410/T15-O/O from K&L	402-418 MHz	380-440 MHz

(a)

Tipologia filtro – Applicazione	Modello	Banda -3dB	Banda -30dB
No filter – extragalattico	-	250-460 MHz	-
Band pass filter + Notch filter – Pulsar e VLBI	-	290-410 MHz + 380-400 MHz	270-430 MHz + 385-395 MHz
Band pass filter – Pulsar	-	290-360 MHz	270-380 MHz
Band pass filter – Space debris	3B110-410/T15-O/O from K&L	402-418 MHz	380-440 MHz

(b)

Tabella 1 – (a) Specifiche dei filtri a microonde installati sul blocco di filtri del canale in banda P del ricevitore nella sua versione originale; (b) Specifiche dei possibili nuovi filtri per il canale in banda P al fine di mitigare le RFI rilevate con le varie campagne di misura.

3.1.2 Banda L

Per quanto riguarda la rilevazione dello scenario RFI in banda L usando SRT, è stato selezionato il filtro con la maggiore larghezza di banda disponibile tra quelli a disposizione nel blocco di filtri installati nel ricevitore (vedi Figura 2d). Il filtro selezionato è il 5B120-1540/T520-O/O della K&L con una frequenza centrale di 1540 MHz ed una larghezza di banda a -3dB che va da 1250 a 1820 MHz. In Figura 6 è riportato lo spettro rilevato dall'analizzatore di spettro utilizzato come back-end per la ricezione e il salvataggio dei dati. Sfortunatamente, anche la banda L è popolata da una serie di segnali indesiderati che disturbano le osservazioni radioastronomiche.

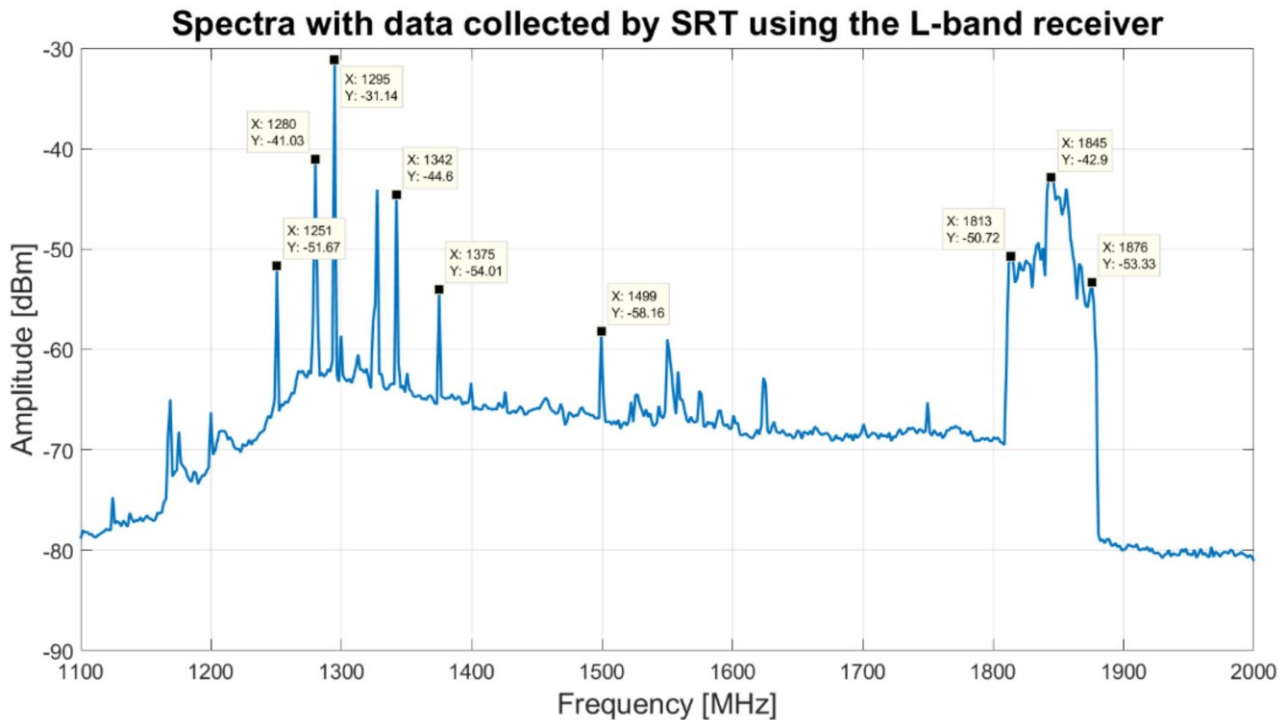


Figura 6 – Spettro rilevato nel 2021 con il ricevitore in banda L di SRT, utilizzando il filtro 5B120-1540/T520-O/O della K&L e l'analizzatore di spettro FSV40 come back-end.

Osservando la Figura 6, si nota come i segnali con il livello di ampiezza maggiore si propagano alle seguenti frequenze:

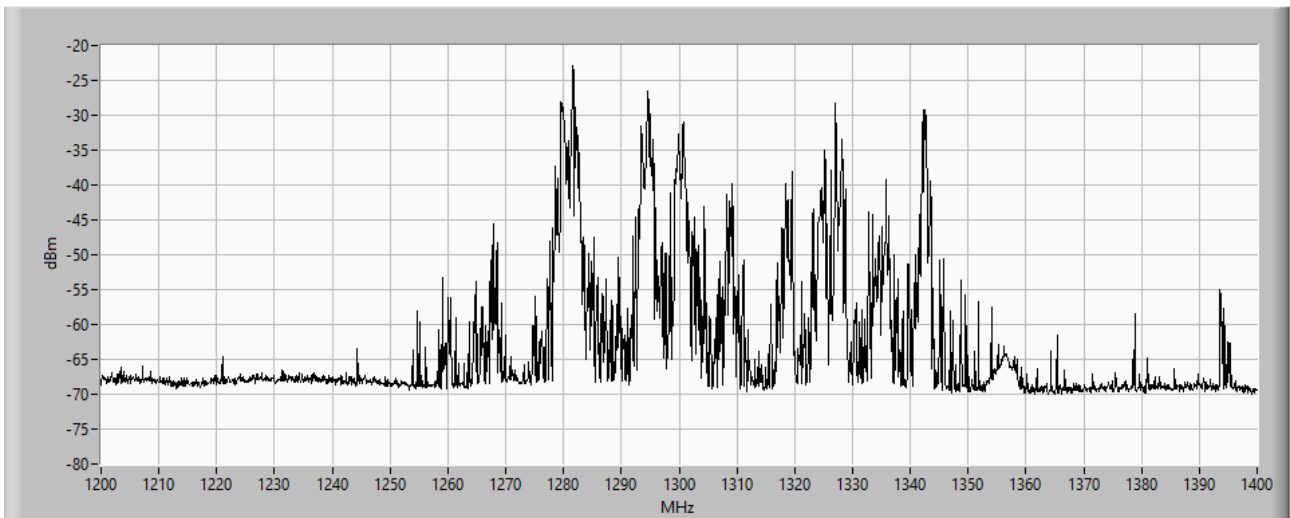
- Segnali generati dai radar dell'Esercito Italiano (1310–1370 MHz);
- Segnali del sistema Global Positioning System (GPS), relativi alla banda L1 (centro banda di 1575.42 MHz con una larghezza di banda di 15.345 MHz), alla banda L2 (centro banda di 1227.6 MHz con una larghezza di banda di 11 MHz) e alla banda L5 (con frequenza centrale di 1176.45 MHz ed una larghezza di banda di 12.5 MHz);
- Segnali autoprodotti dal sistema *focus selector* installato nella sala elevation equipment room (EER) di SRT (1499 MHz);
- I segnali generati dai link vari di sistemi di telecomunicazioni radio (1620 MHz);
- Segnali relativi alle comunicazioni mobili (1810–1880 MHz).

Per quanto riguarda la campagna di misure RFI con il laboratorio mobile, così come si è fatto per la banda P, sono state effettuate sia le misure a banda larga che le misure a banda stretta, al fine di rilevare sia i segnali impulsivi che i segnali stazionari, rispettivamente. Il setup di misura utilizzato è il seguente:

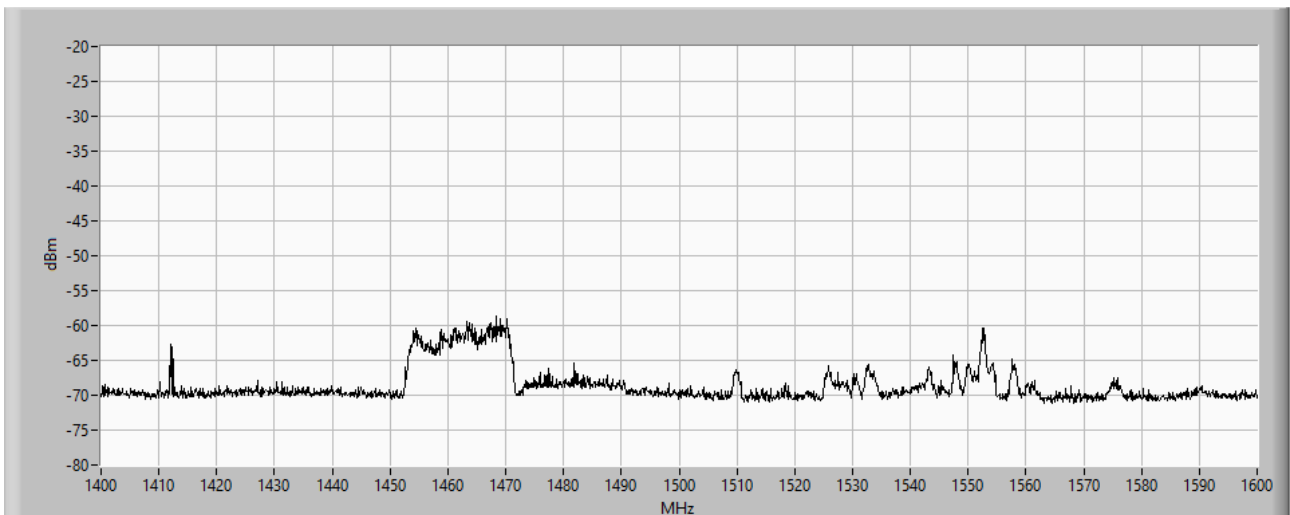
- Antenna log-periodica modello LPA 2000-10: adatta a lavorare in maniera ottimale nella banda di frequenza 1200-3300 MHz con un guadagno medio di circa 11 dBi [13];

- Front-end #1 del laboratorio mobile, progettato e realizzato per effettuare misure tra 300 MHz e 18 GHz: per la misura in banda L è stato selezionando il filtro B, modello 8BC-1510/A590-S, con una banda di funzionamento tra 1215-1805 MHz e una IL di 1dB [13];
- Analizzatore di spettro Agilent PSA E4446A come back-end [13], configurato in modalità *max hold* e con una adeguata *RBW* per le misure di segnali stazionari (100 kHz) e impulsivi (1 MHz). Poiché nel caso della banda L si è analizzata una finestra di 600 MHz (da 1200 a 1800 MHz), si è deciso di suddividere l'acquisizione in tre parti, ciascuna con *span* di 200 MHz.

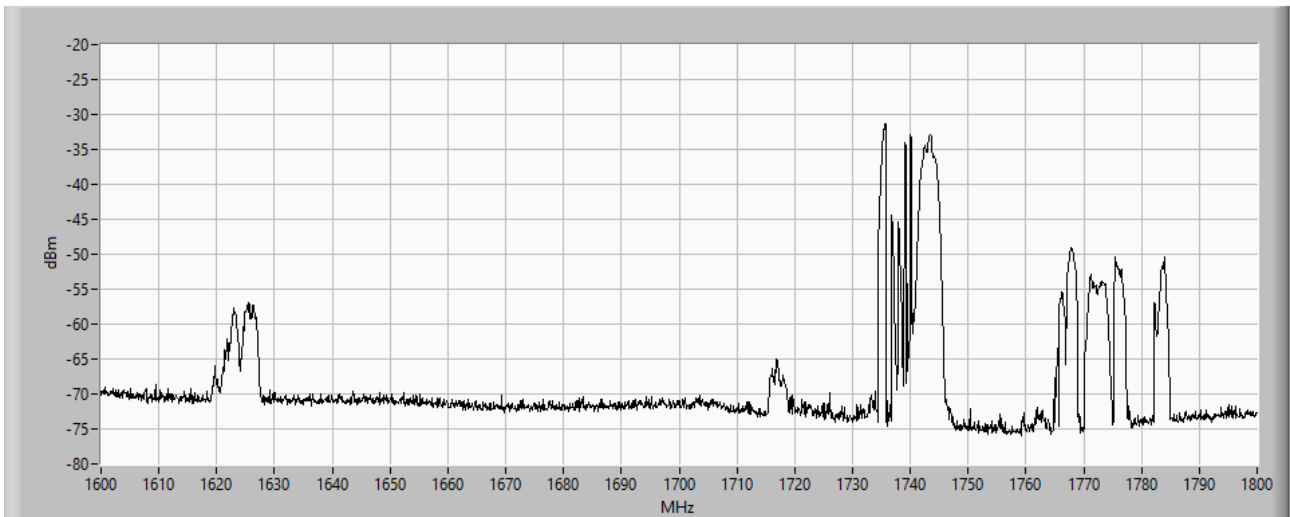
La tipologia della procedura di misura è la stessa di quella adottata per la banda P. I risultati delle campagne di misura a banda larga e a banda stretta effettuate sulla Colonia Montana sono riportati in Figura 7 e Figura 8, rispettivamente.



(a)

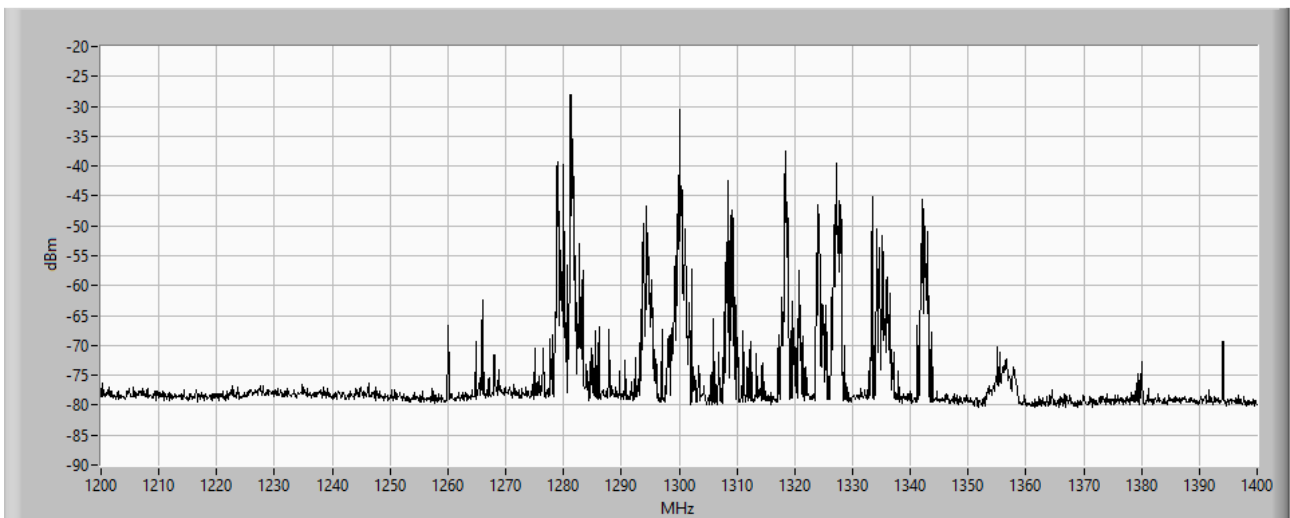


(b)

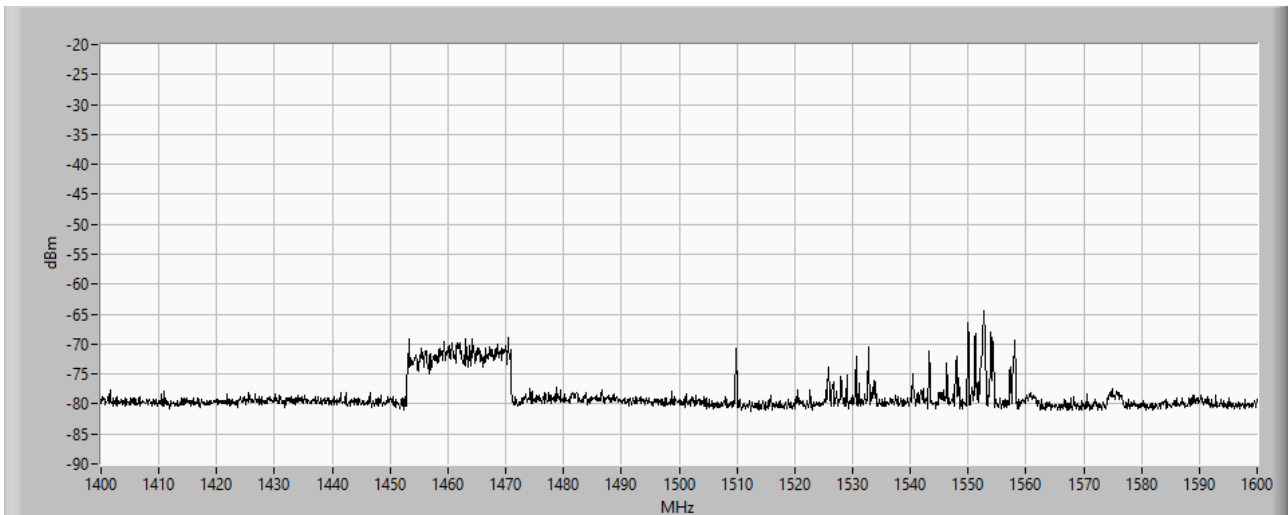


(c)

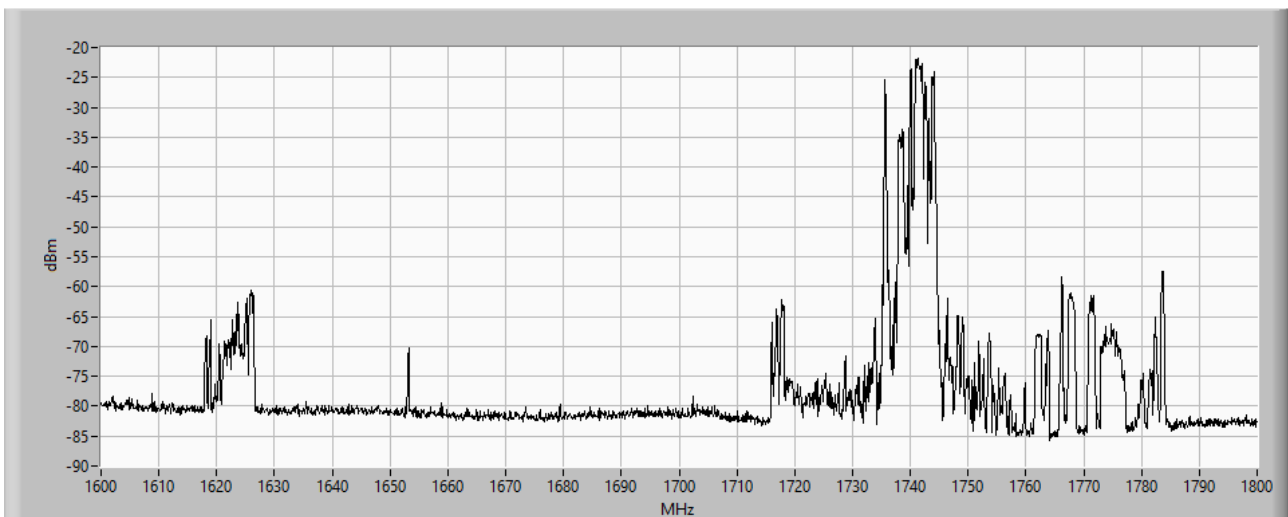
Figura 7 – Spettro rilevato nella campagna di misura a banda larga (RBW dell’analizzatore di spettro configurata a 1 MHz) per la rilevazione di segnali impulsivi in banda L, effettuata sulla Colonia Montana tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023. Per ottenere delle misure più accurate, si è suddivisa la banda in tre parti, ciascuna delle quali con span di 200 MHz: (a) Spettro con span 1200-1400 MHz, (b) Spettro con span 1400-1600 MHz, (c) Spettro con span 1600-1800 MHz.



(a)



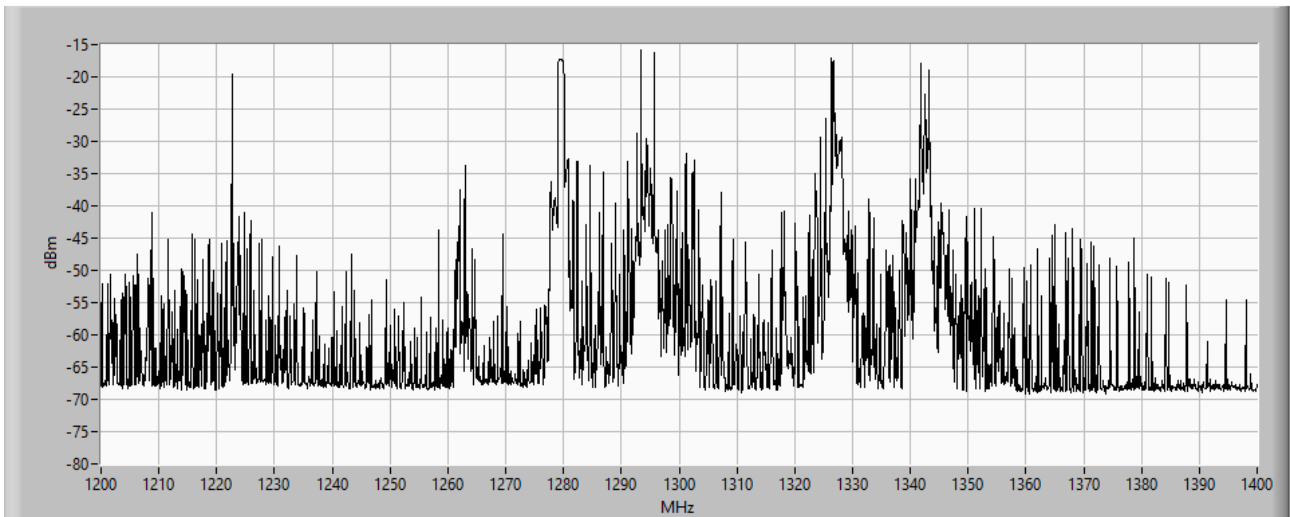
(b)



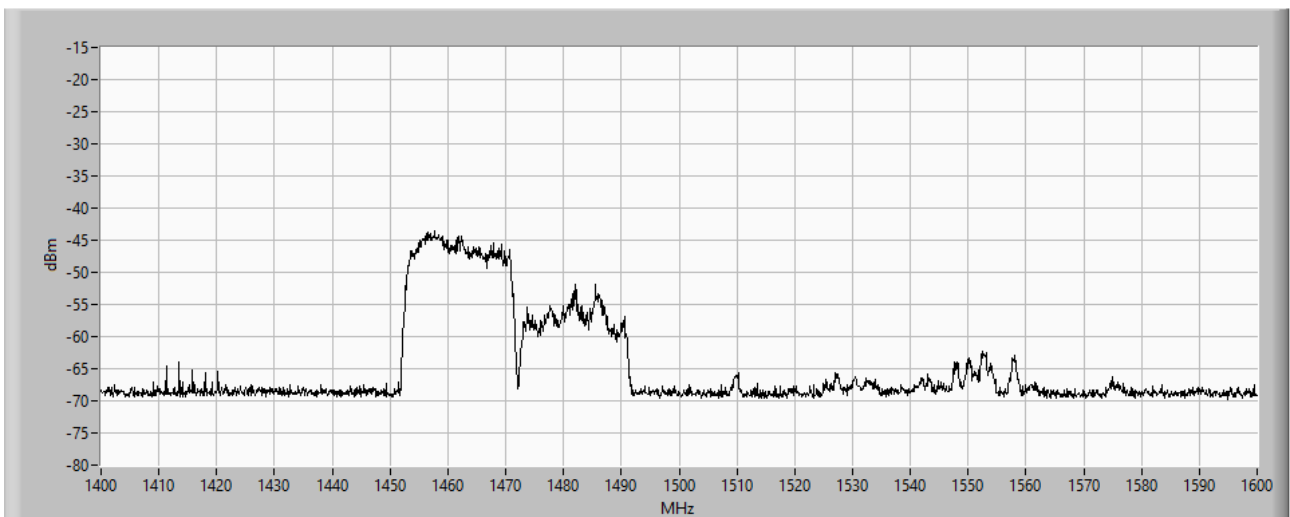
(c)

Figura 8 – Spettri rilevati nella campagna di misura a banda stretta (RBW dell’analizzatore di spettro configurata a 100 kHz) per la rilevazione di segnali stazionari in banda L, effettuata sulla Colonia Montana tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023. Per ottenere delle misure più accurate, si è suddivisa la banda in tre parti, ciascuna delle quali con span di 200 MHz: (a) Spettro con span 1200-1400 MHz, (b) Spettro con span 1400-1600 MHz, (c) Spettro con span 1600-1800 MHz.

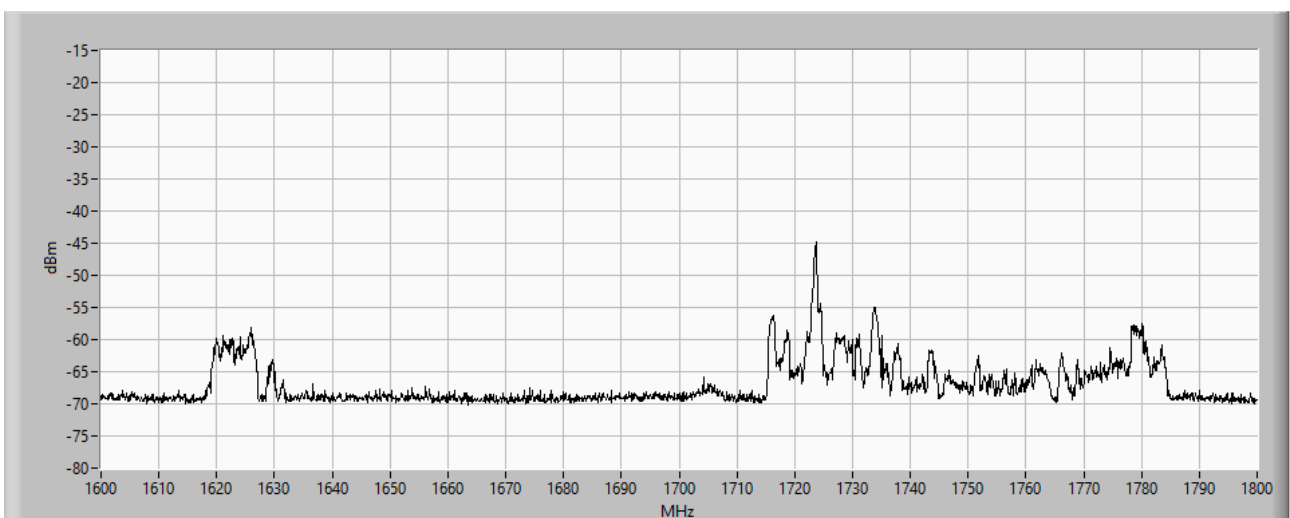
I risultati delle campagne di misura a banda larga e a banda stretta effettuate sul Monte Ixi sono riportati in Figura 9 e Figura 10, rispettivamente.



(a)



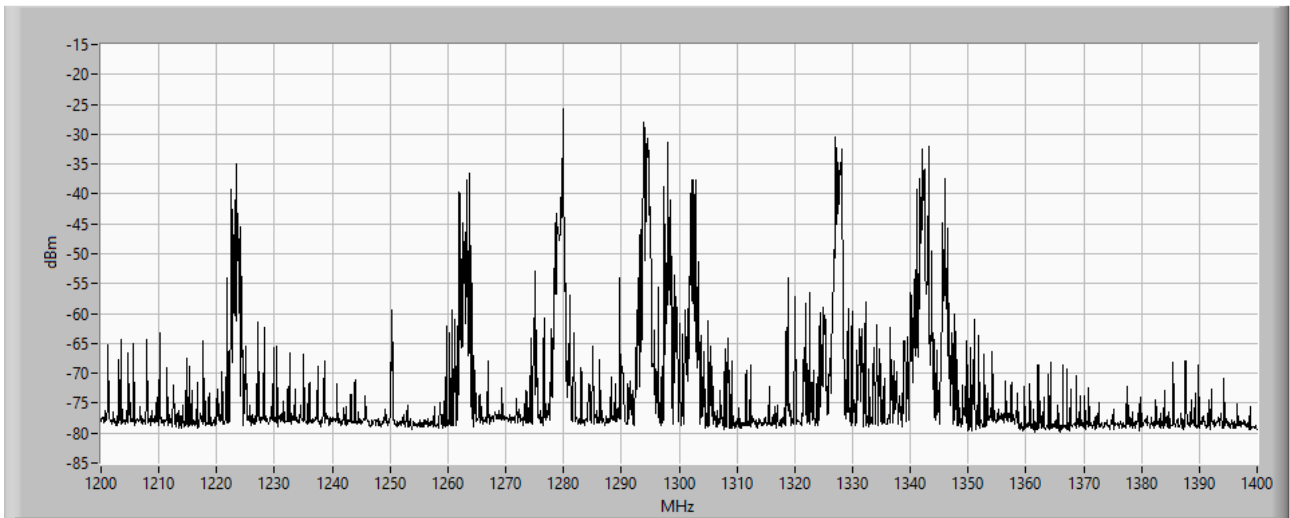
(b)



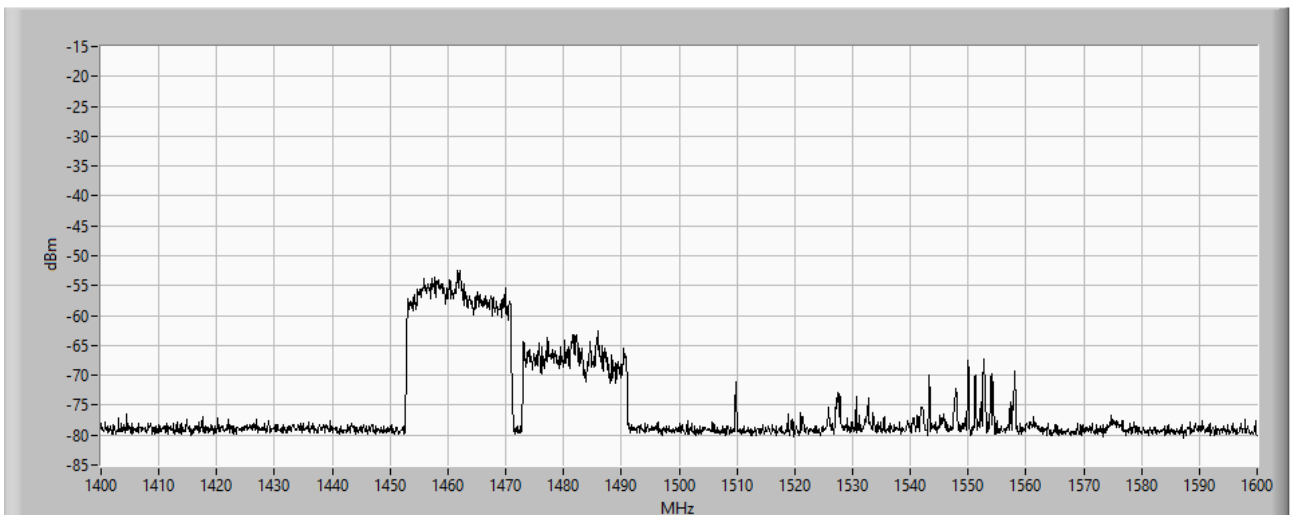
(c)

Figura 9 – Spettri rilevati nella campagna di misura a banda larga (RBW dell’analizzatore di spettro configurata a 1 MHz) per la rilevazione di segnali impulsivi in banda L, effettuata sul Monte Ixi tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023. Per

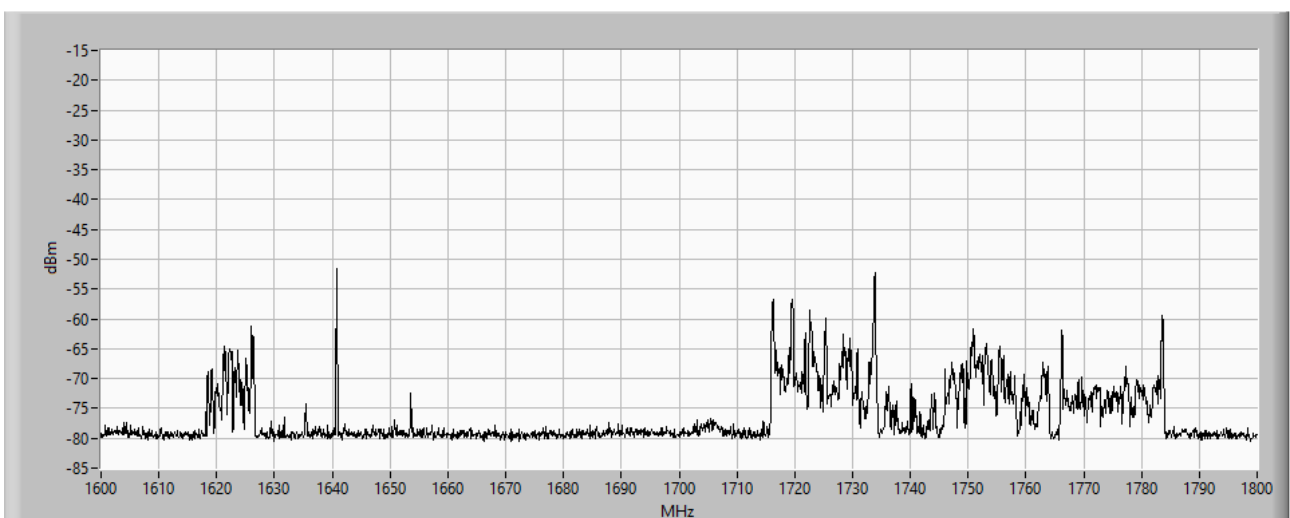
ottenere delle misure più accurate, si è suddivisa la banda in tre parti, ciascuna delle quali con span di 200 MHz: (a) Spettro con span 1200-1400 MHz, (b) Spettro con span 1400-1600 MHz, (c) Spettro con span 1600-1800 MHz.



(a)



(b)



(c)

Figura 10 – Spettri rilevati nella campagna di misura a banda stretta (RBW dell’analizzatore di spettro configurata a 100 kHz) per la rilevazione di segnali stazionari in banda L, effettuata sul Monte Ixi tra la fine del 2022 e l’inizio del 2023. Per ottenere delle misure più accurate, si è suddivisa la banda in tre parti, ciascuna delle quali con span di 200 MHz: (a) Spettro con span 1200-1400 MHz, (b) Spettro con span 1400-1600 MHz, (c) Spettro con span 1600-1800 MHz.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle due campagne di misure (segnali stazionari e segnali impulsivi) in banda L, sono state individuate, in collaborazione con gli astronomi utilizzatori, le specifiche per la progettazione e realizzazione dei nuovi filtri a microonde da installare sul ricevitore, in sostituzione dei filtri presenti nel progetto originale. In Tabella 2.a sono riportate le specifiche dei filtri a microonde installati sul ricevitore nella sua versione originale. In Tabella 2.b, invece, sono riassunte le specifiche dei nuovi filtri, richiesti nella prima metà del 2023 dai vari gruppi di ricercatori astronomi, secondo le rispettive esigenze osservative.

Tipologia filtro – Applicazione	Modello	Banda -3dB	Banda -30dB
Band pass filter	5B120-1540/T520-O/O from K&L	1250-1820 MHz	1000-2000 MHz
Band pass filter	5B120-1400/T120-O/O from K&L	1340-1460 MHz	1250-1520 MHz
Band pass filter	5B120-1655/T120-O/O from K&L	1600-1730 MHz	1500-1850 MHz
Notch filter + band pass filter + notch filter	6N45-1320/E62.7-O/O from K&L + 5B120-1540/T520-O/O from K&L + 6NS11-1880/E138-O/O from K&L	1310-1340 MHz + 1250-1820 MHz + 1790-1960 MHz	-

(a)

Tipologia filtro – Applicazione	Modello	Banda -3dB	Banda -30dB
No filter - extragalattico	-	880-2100 MHz	-
Band pass filter - Pulsar	-	1320-1780 MHz	1300-1800 MHz
Band pass filter – Pulsar e VLBI	-	1380-1780 MHz	1360-1800 MHz
Band pass filter - Spettroscopia	-	1350-1550 MHz	-
Band pass filter - Spettroscopia	-	1530-1730 MHz	-

(b)

Tabella 2 – (a) Specifiche dei filtri a microonde installati sul blocco di filtri del canale in banda L del ricevitore nella sua versione originale; (b) Specifiche dei possibili nuovi filtri per il canale in banda L al fine di mitigare le RFI rilevate con le varie campagne di misura.

3.2 Mitigazione delle RFI autoprodotte dai sistemi che compongono il ricevitore

Esistono una serie di segnali indesiderati che si propagano in aria a frequenze che rientrano nelle bande del ricevitore. Approfittando del fermo antenna necessario per l'implementazione delle modifiche e aggiornamenti del Telescopio previsti dal progetto PON (2021), che ha previsto la disinstallazione del ricevitore in banda L-P, si sono effettuate una serie di misure e test al fine di caratterizzare questi segnali in laboratorio. In generale, questi segnali sono generati in parte dalle schede che costituiscono il sistema elettronico di controllo del ricevitore (vedi sezione 3.2.1), ed in parte dal sistema di alimentazione dei componenti attivi a microonde (come, per esempio, gli switches a microonde presenti all'interno del *Dewar* di Figura 2), aspetto trattato meglio nella sezione 3.2.2.

3.2.1 Mitigazione dei segnali indesiderati generati dal sistema elettronico di controllo

Questi tipi di segnali indesiderati si propagano maggiormente in banda P e rappresentano un disturbo per le osservazioni scientifiche. In particolare, si tratta di segnali con un considerevole livello di ampiezza, come per esempio i picchi a 355, 360, 400-401 MHz visibili nello spettro di Figura 3. Le schede elettroniche che compongono il sistema di controllo del ricevitore permettono l'alimentazione dei componenti attivi a microonde presenti nella catena di ricezione del ricevitore (amplificatori, switches, ecc.), il vero e proprio monitoraggio del sistema (verifica dei livelli di tensione delle alimentazioni dei componenti attivi, delle temperature, ecc.) ed il controllo da remoto dell'architettura di raffreddamento (generazione del vuoto, attivazione del sistema di raffreddamento e monitoraggio dei livelli di temperatura raggiunti). Inoltre, in aggiunta ai segnali generati che rappresentano un disturbo per le osservazioni, queste schede non permettono uno spegnimento temporaneo da remoto degli LNA, che potrebbe essere una operazione necessaria nel caso in cui si dovessero auto-generare forti segnali RFI che potrebbero danneggiare il ricevitore. Malgrado queste criticità, non è possibile eliminare il sistema elettronico di controllo, indispensabile per il buon funzionamento del ricevitore e per il suo controllo da remoto. Questo problema può essere risolto (o limitato) grazie alla sostituzione del vecchio sistema di controllo, basato su schede ALiSRT, con uno basato su una scheda di nuova generazione, chiamata *GAIA* e utilizzata in alcuni dei nuovi ricevitori realizzati con il progetto PON [14-15]. La scheda *GAIA*, come ampiamente descritto in [15], genera un numero di segnali, che ricadono nelle bande del ricevitore, decisamente inferiore rispetto al numero di segnali generati dalle schede ALiSRT, permettendo così un notevole miglioramento (teorico, visto che si parla di studio di fattibilità) dello scenario RFI auto-prodotte all'interno delle bande di interesse.

3.2.2 Mitigazione dei segnali indesiderati generati dal processo di alimentazione dei componenti attivi a microonde del ricevitore

La maggior parte dei componenti attivi a microonde che compongono il ricevitore, presumendo che essi siano stati selezionati in maniera tale da avere una bassa generazione di segnali indesiderati durante il processo di alimentazione, sono di fondamentale importanza per il sistema e non possono essere rimossi. Alcuni di essi, però, grazie anche all'upgrade del sistema elettronico di controllo del ricevitore basato sull'utilizzo delle nuove schede *GAIA*, potrebbero essere rimossi dalla catena ricevente. È questo il caso degli switches meccanici commerciali (modello Agilent 8761B), installati all'interno del *Dewar*, che lavorano a temperature criogeniche e visibili sia in Figura 2 che nella seguente Figura 11. Questi switches furono inseriti in fase di progettazione del ricevitore per avere la possibilità di isolare gli LNA criogenici, collegandoli direttamente ad un carico, nel caso in cui si fosse riscontrata la presenza di un forte segnale interferente capace di danneggiare la componentistica del sistema. Sebbene, durante i suoi anni di funzionamento, non sia mai capitato di rilevare segnali talmente forti da danneggiare il sistema ricevente, è anche vero che SRT potrebbe, in futuro, essere equipaggiato con un sistema di trasmissione che potrebbe generare segnali potenzialmente dannosi per gli LNA del ricevitore. Pertanto, è necessario che il ricevitore sia dotato di un

sistema di protezione per gli LNA criogenici. Il nuovo sistema elettronico di controllo basato sulla scheda *GAIA* consente di svolgere la stessa funzione dei sopracitati switches, spegnendo da remoto gli LNA in caso di necessità. In questo modo, agli LNA è garantito un alto livello di protezione da questi possibili scenari rendendo inutile la presenza di questi switches nella catena ricevente.

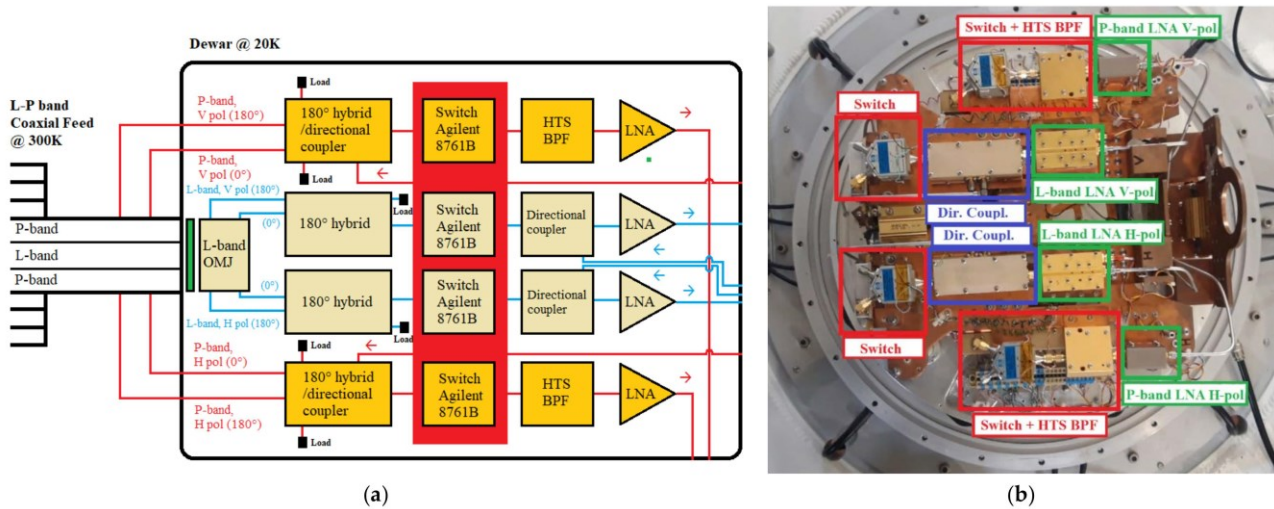


Figura 11 – (a) Schema a blocchi della catena ricevente all’interno del *Dewar*, con gli switches Agilent 8761B evidenziati in rosso. (b) Foto del *Dewar* [9].

Al fine di validare la scelta di eliminare questi componenti attivi dalla catena di ricezione si è deciso di dimostrare che tali elementi emettessero segnali non voluti nella banda di interesse. Per questo motivo, è stata effettuata una campagna di misure RFI con l’obiettivo di trovare quanti segnali indesiderati fossero prodotti a seguito del processo di alimentazione degli switches Agilent 8761B. Per effettuare queste misure, il *feed* del ricevitore è stato coperto con un tappo metallico e si è utilizzato un sensore (antenna a spira risonante alla frequenza di interesse), collegato all’analizzatore di spettro, per rilevare i segnali. L’analizzatore di spettro è stato impostato in modalità *average*, con uno *span* di 130 MHz (in un *range* di frequenze che va da 300 MHz a 430 MHz, ovvero l’intera banda del ricevitore in banda P) ed una *resolution bandwidth* di 50 Hz. Il risultato di queste misure è riportato in Figura 12, dove si può notare un alto numero di segnali RFI nel range di frequenze 300-350 MHz che si generano quando si avvia il processo di alimentazione degli switches (curva blu), rispetto al caso in cui gli switches non vengono alimentati (curva rossa). Questi risultati confermano la necessità di eliminare questi componenti dalla catena di ricezione.

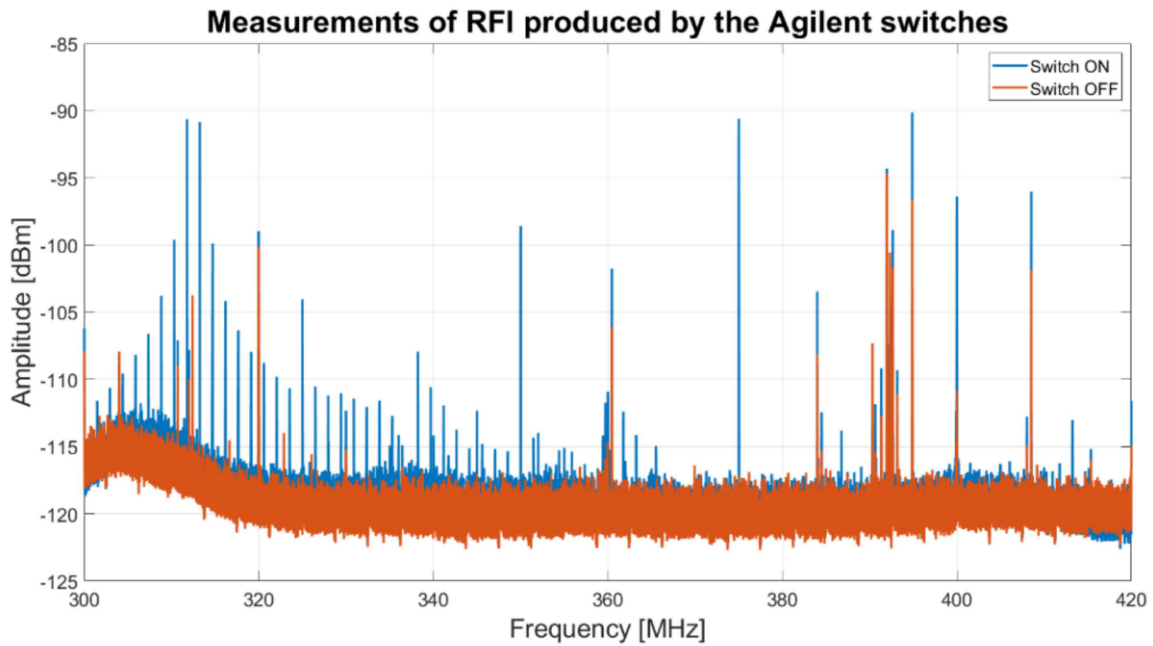
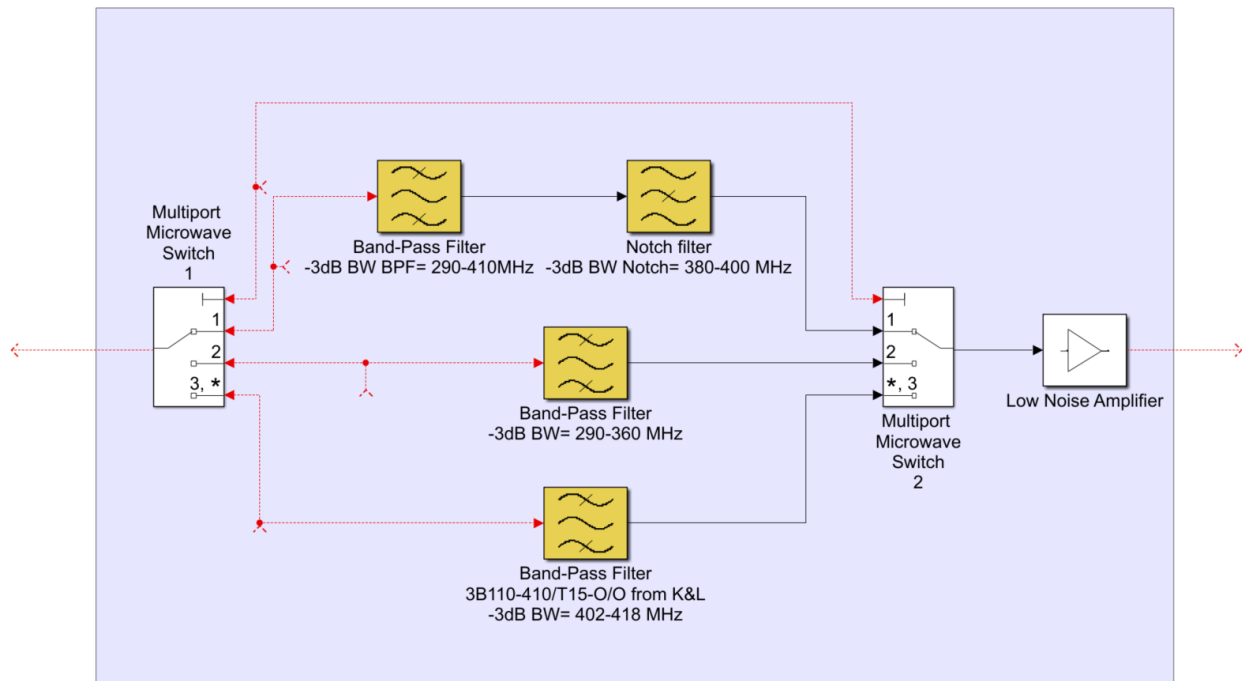


Figura 12 – Risultato della campagna di misure RFI per indagare sui segnali RFI generati dal processo di alimentazione degli switches Agilent 8761B [9].

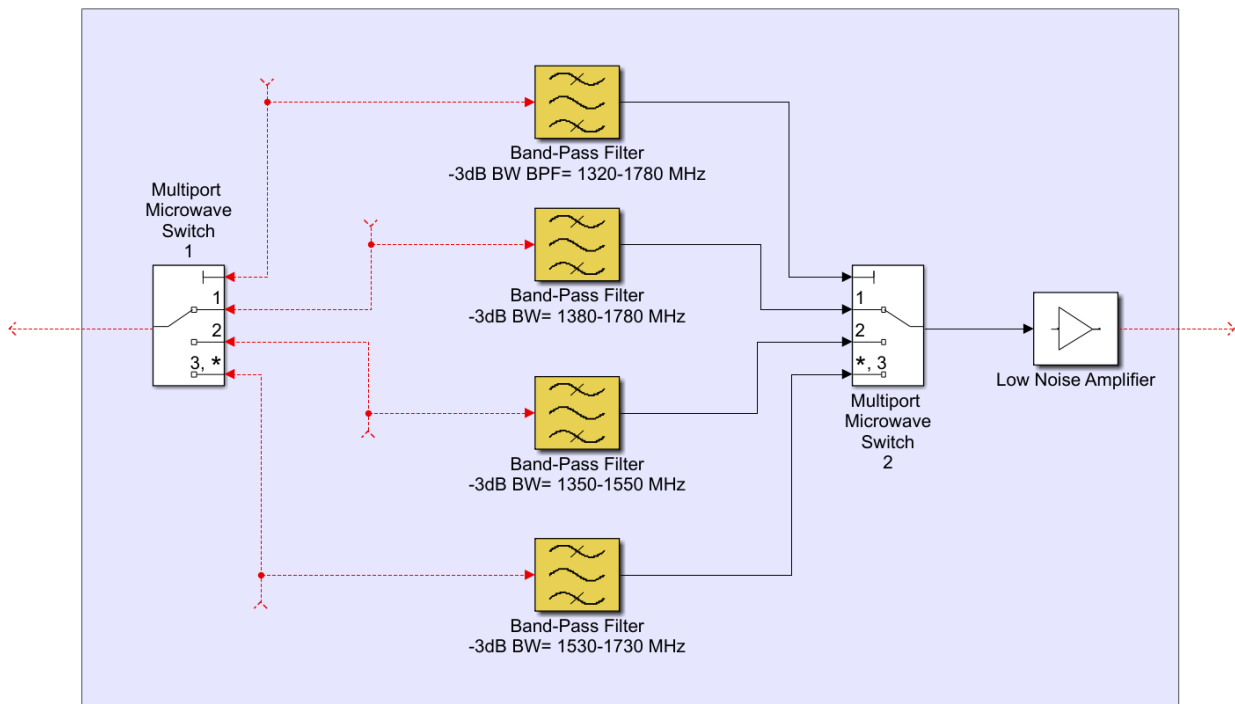
3.3 Modifiche logistiche

Per anni, al fine di attenuare le RFI auto-generate dai sistemi di controllo dei ricevitori installati in Gregorian room e in beam wave guide, si è installata a mano una copertura metallica sulla finestra della Gregorian room ogni volta che vi erano in programma osservazioni in banda L-P. Questa procedura, non essendo automatica, ha comportato diverse limitazioni nelle osservazioni dovute al maltempo e alla poca disponibilità di personale abilitato alle operazioni di installazione. Per questi motivi, sfruttando i finanziamenti del progetto PON utile al miglioramento di SRT, si è pensato di progettare ed installare una copertura automatica che possa essere controllata da remoto ogni qualvolta siano previste osservazioni con il ricevitore in banda L-P.

Poiché il ricevitore è installato sul fuoco primario di SRT, le eventuali operazioni di manutenzione possono essere svolte solamente usufruendo di una piattaforma mobile elevabile (PLE), con tutte le limitazioni che essa comporta (ambiente di lavoro scomodo, possibilità di utilizzo solo in giornate con buone condizioni meteorologiche, ecc.). Dopo una decina d’anni di utilizzo del ricevitore, è emerso che la maggior parte dei problemi di malfunzionamento riguardava la componentistica del sistema che lavora a temperatura ambiente [9]. Per ovviare a questi aspetti critici e permettere un intervento di manutenzione agile sul sistema, si è pensato di ridurre al minimo i componenti che lavorano a temperatura ambiente, spostando gli altri elementi in APEX room; un locale raggiungibile tramite la scala posizionata su uno dei piedi del quadrupode di SRT. In particolare, si potrebbero trasferire in APEX room il banco di filtri in banda P di Figura 2c e il banco di filtri in banda L di Figura 2d con un ulteriore stadio di amplificazione, in maniera tale da agevolare sia le procedure di manutenzione, evitando di svolgere lavori complessi direttamente sulla PLE, sia la possibilità futura di dotare il ricevitore di nuovi filtri con nuove bande di frequenza per nuove modalità di osservazione. Lo schematico del nuovo rack, con i nuovi filtri selezionati in maniera tale da ridurre i segnali indesiderati in banda descritti nella sezione 3.1, viene mostrato nella seguente Figura 13 (il canale per la banda P è riportato in Figura 13a, mentre il canale per la banda L è riportato in Figura 13b).



(a)



(b)

Figura 13 – (a) Schema a blocchi del nuovo blocco di filtri per il ricevitore in banda P, le cui specifiche sono riportate in Tabella 1, da installare in APEX room; (b) Schema a blocchi del nuovo blocco di filtri per il ricevitore in banda L, le cui specifiche sono riportate in Tabella 1, da installare in APEX room.

4. Conclusioni

Il ricevitore in banda L-P è un sistema fondamentale per le osservazioni a bassa frequenza con SRT. Sebbene per anni sia stato utilizzato per osservazioni di sorgenti brillanti con risultati sufficienti, ha presentato alcune limitazioni e criticità. In particolare, i punti critici riscontrati riguardano la gestione dei segnali indesiderati ricevuti dal ricevitore (relativi al territorio circostante e auto-generati dai sistemi di controllo di SRT) ed alcune limitazioni logistiche sull'installazione del sistema sul Telescopio.

Per quanto riguarda i segnali indesiderati che ricadono in banda, lo scenario RFI del territorio circostante a SRT si è evoluto con il passare degli anni ed è stato necessario ridefinire le bande di frequenza dei filtri a microonde installati nel ricevitore. A tale proposito, tra la fine del 2022 e l'inizio del 2023, con il laboratorio mobile sono state effettuate delle campagne di misura in banda P ed L, al fine di definire la situazione dei segnali indesiderati ricevuti dal ricevitore. Sulla base dei risultati di queste misure, sono state selezionate le bande dei nuovi filtri considerando le esigenze dei vari gruppi di ricerca. Sono state inoltre studiate delle modifiche da apportare al ricevitore in modo da ridurre le RFI auto-prodotte, come per esempio la sostituzione del sistema di controllo con schede di nuova generazione.

Per quanto riguarda le migliorie logistiche, si è pensato di spostare in Apex room l'insieme dei componenti a microonde del ricevitore che lavorano a temperatura ambiente (banco di filtri a microonde utili a selezionare le sotto-bande di frequenza per le necessità di osservazione). In questo modo, si facilitano i possibili interventi di manutenzione su questa parte della catena ricevente, poiché non sarebbe più necessario l'utilizzo della PLE per raggiungere il fuoco primario di SRT.

Bibliografia

1. Valente, G.; Pisanu, T.; Bolli, P.; Mariotti, S.; Marongiu, P.; Navarrini, A.; Nesti, R.; Orfei, A.; Roda, J. The Dual Band L-P Feed System for the Sardinia Radio Telescope prime focus. In Proceedings of the SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy V, San Diego, CA, USA, 15 July 2010.
2. Valente, G.; Pisanu, T.; Navarrini, A.; Marongiu, P.; Orfei, A.; Mariotti, S.; Nesti, R.; Roda, J.; Cattani, A.; Bolli, P.; et al. The Coaxial L-P Cryogenic Receiver of the Sardinia Radio Telescope. *IEEE Access* 2022, 10, 2631–2645. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3139744>.
3. A. Orfei, et al. Studio di Fattibilità del front-end per il ricevitore doppia frequenza nelle bande L e P per il fuoco primario di SRT. Rapporto interno IRA 413/08.
4. G. Valente, et al. Progettazione Realizzazione e Caratterizzazione dei Componenti del Canale Banda L del Ricevitore Coassiale LP. Rapporto interno OAC N. 15, 28 Dicembre 2011.
5. G. Valente, et al. Progettazione Realizzazione e Caratterizzazione dei Componenti del Canale Banda P del Ricevitore Coassiale LP. INAF Technical Reports—Rapporti Tecnici.
6. G. Valente, et al. Progettazione Caratterizzazione dei Componenti del sistema di post amplificazione del ricevitore coassiale LP. INAF Technical Reports—Rapporti Tecnici.
7. Valente, G.; Marongiu, P.; Roda, J. Studio dell'architettura criogenica del ricevitore coassiale LP; INAF Technical Reports—Rapporti Tecnici; INAF: Rome, Italy, 2014; Volume 43.
8. Fiocchi, f.; Morsiani, M.; Maccaferri, G.; Orlati, A. Scheda a Microcontrollore per Applicazioni di Uso Generale. Rapporto interno IRA N°359/04.
9. Ladu, A.; Schirru, L.; Gaudiomonte, F.; Marongiu, P.; Angius, G.; Perini, F.; Vargiu, G.P. Upgrading of the L-P Band Cryogenic Receiver of the Sardinia Radio Telescope: A Feasibility Study. *Sensors* 2022, 22, 4261. <https://doi.org/10.3390/s22114261>
10. Bolli, P.; Huang, F. Superconducting filter for radio astronomy using interdigitated, capacitively loaded spirals. *Exp. Astron.* 2012, 33, 225–236.
11. Perini, F. Low noise design experience for the SKADS/BEST demonstrator. In Proceedings of the Final Conference Wide Field Astronomy & Technology for the Square Kilometre Array (SKADS), Ottignies, Belgium, 4–6 November 2009.
12. Design and Performance of Cryogenically-Coolable Ultra Low Noise, L-Band Amplifier. Available online: <https://www.gb.nrao.edu/electronics/edir/edir286.pdf> (accessed on 20 April 2022).
13. Bolli, P.; Gaudiomonte, F.; Ambrosini, R.; Bortolotti, C.; Roma, M.; Barberi, C.; Piccoli, F. The mobile laboratory for radio-frequency interference monitoring at the Sardinia radio telescope. *IEEE Antennas Propag. Mag.* 2013, 55, 19–24.
14. Ortu, P.; Saba, A.; Valente, G.; Gaudiomonte, F.; Navarrini, A.; Pisanu, T.; Urru, E. GAIA, Progettazione, Realizzazione e Caratterizzazione della GAIA Board; INAF Technical Reports—Rapporti Tecnici; INAF: Rome, Italy, 2020; Volume 30. <https://doi.org/20.500.12386/26385>.
15. P. Ortu *et al.*, "A New Monitor and Control Power Supply PCB for Biasing LNAs of Large Radio Telescopes Receivers," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 53134-53143, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3280323.