



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	278
Publication Year	2023
Acceptance in OA@INAF	2023-08-24T12:14:47Z
Title	Progettazione, realizzazione e caratterizzazione della catena ricevente per il sistema SADino precursore del Sardinia Aperture Array Demonstrator (SAAD)
Authors	LADU, Adelaide; SCHIRRU, Luca; PILI, Mauro; VARGIU, GIAN PAOLO; GAUDIOMONTE, Francesco; PERINI, FEDERICO; MELIS, Andrea; CONCU, Raimondo; MURGIA, MATTEO
Affiliation of first author	O.A. Cagliari
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/34359 ; https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/278

Progettazione, realizzazione e caratterizzazione della catena ricevente per il sistema *SADino* precursore del *Sardinia Aperture Array Demonstrator (SAAD)*

Adelaide Ladu¹, Luca Schirru¹, Mauro Pili¹, Gian Paolo Vargiu¹, Francesco Gaudiomonte¹, Federico Perini², Andrea Melis¹, Raimondo Concu¹, Matteo Murgia¹

Reviewers: Giuseppe Carboni¹, Elise Egron¹

¹ Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Osservatorio Astronomico di Cagliari (OAC), Via della Scienza, 5, 09047 Selargius (CA)

² Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Istituto di Radioastronomia (IRA), Via Fiorentina, 3513, 40059 Medicina (BO)

Sommario

1. Introduzione.....	3
2. Campagna di misure RFI preliminare.....	4
3. Progettazione, realizzazione e caratterizzazione della catena di acquisizione del segnale.....	6
3.1 Caratterizzazione del primo LNA della catena, progettato e realizzato da personale INAF.....	6
3.2 Caratterizzazione della parte di catena ricevente installata nella scatola di derivazione posizionata a valle di ciascuna antenna Vivaldi.....	8
3.3 Caratterizzazione cavo da 70 m.....	11
3.4 Caratterizzazione della porzione di catena ricevente installata nel rack interno posizionato nell'armadio dove è installato il back-end iTPM.....	12
3.5 Caratterizzazione dell'intera catena di acquisizione del segnale.....	15
4. Sistema di alimentazione.....	17
5. Conclusioni.....	18
Bibliografia.....	19

1. Introduzione

Il presente rapporto tecnico riassume la progettazione, realizzazione e caratterizzazione della catena di componenti a microonde e a radio frequenza per l'acquisizione del segnale del sistema *SADino*, precursore del Sardinia Aperture Array Demonstrator (SAAD). Il progetto SAAD prevede la realizzazione di un aperture array composto da 128 antenne Vivaldi a doppia polarizzazione lineare [1-7], installate al sito del Sardinia Radio Telescope (SRT), ciascuna delle quali verrà collegata alla sua catena dedicata di componenti a microonde per l'acquisizione del segnale, che permette di trasportare il segnale analogico rilevato in radio frequenza dall'antenna fino al back-end digitale. Con l'obiettivo di eseguire velocemente i primi test, inizialmente si è deciso di implementare parzialmente l'array SAAD. L'implementazione parziale del sistema SAAD prende appunto il nome di *SADino*, che prevede la realizzazione di un mini-array di 16 elementi a doppia polarizzazione, con il quale è possibile effettuare le prime osservazioni e i primi test di beam-forming con il back-end digitale dedicato basato sulle schede Italian Tile Processing Module (iTPM) [8]. Con *SADino* sono state scelte solo 16 antenne (a doppia polarizzazione) dell'intero array SAAD da 128 elementi, disposte in maniera casuale, poiché il back-end digitale iTPM è dotato di soli 32 ingressi.

La catena ricevente (una per ogni canale di polarizzazione di ciascuna antenna Vivaldi) è stata progettata basandosi sui risultati di una campagna di misure, effettuata nell'estate del 2020, utile a valutare la presenza in banda di segnali interferenti generati dall'uomo e indesiderati per le attività di ricerca radioastronomica, noti come radio frequency interference (RFI) [6]. Per l'esecuzione di tale campagna di misure, si è utilizzata una delle antenne Vivaldi del SAAD, equipaggiandola con una catena di acquisizione del segnale che ha fatto da precursore (almeno per quanto riguarda la valutazione degli stadi di amplificazione) alla versione finale di catena ricevente da utilizzare sul sistema *SADino*, precursore dell'intero SAAD. L'obiettivo di questa campagna di misure RFI è stato quello di selezionare una banda di frequenze il più possibile libera da segnali indesiderati e contenuta ovviamente all'interno della banda di lavoro delle antenne che costituiscono l'array. Le antenne Vivaldi del SAAD sono state progettate per lavorare con buona efficienza in un range di frequenze che va da 50 MHz a 500 MHz [4], mentre i componenti a microonde che costituiscono la catena di acquisizione del segnale sono ottimizzati per lavorare nel range di frequenze selezionato in base ai risultati delle misure RFI e all'interno del quale poi opererà il telescopio.

In questo rapporto interno vengono presentati i risultati della campagna di misure RFI preliminare, illustrando la catena ricevente utilizzata per queste misure (vedi Sezione 2). Nella Sezione 3 viene descritta la progettazione, realizzazione e caratterizzazione della catena di componenti a microonde per ciascuna antenna del sistema *SADino*. Nella Sezione 4 viene descritto il sistema di alimentazione che permette di alimentare i componenti attivi inseriti all'interno della catena ricevente e, infine, nella Sezione 5 si riportano le considerazioni conclusive sul lavoro svolto.

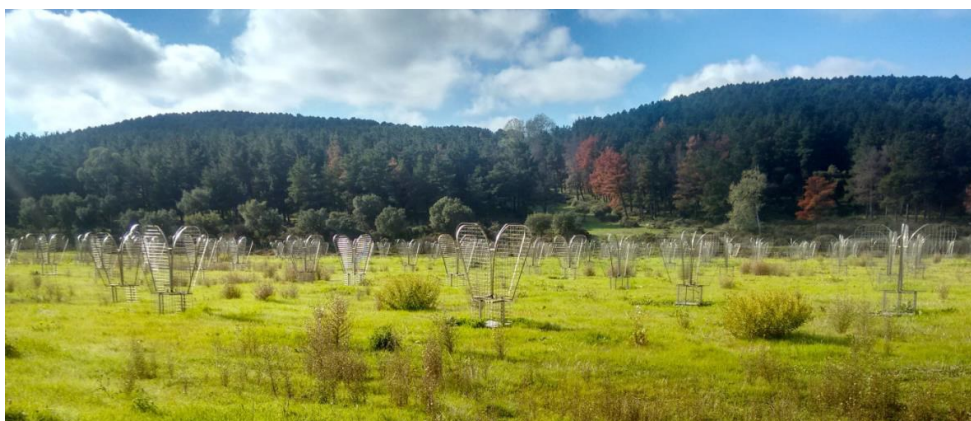


Figura 0 – Foto delle antenne SAAD installate nel sito del Sardinia Radio Telescope.

2. Campagna di misure RFI preliminare

La banda di frequenze per la quale sono state progettate le antenne Vivaldi che compongono il SAAD (50-500 MHz) è molto vulnerabile ai segnali radio generati dall'uomo e che rappresentano un grosso disturbo per le osservazioni radioastronomiche. Quando si progetta e si lavora per mantenere efficientemente in servizio un radiotelescopio, occorre monitorare periodicamente (almeno una volta ogni due anni) lo scenario RFI del territorio circostante al sito nel quale esso è installato. Analizzando i dati rilevati dalle campagne di misure RFI, è possibile ottimizzare il front-end del telescopio, tagliando o attenuando le RFI più intense, con lo scopo sia di ridurre il rischio di mandare in saturazione il back-end digitale, sia di ridurre la presenza in banda di segnali indesiderati che renderebbero i dati rilevati inutilizzabili dal punto di vista scientifico.

La campagna di misure RFI preliminare, utile per scegliere la banda di frequenze nella quale opererà il nuovo telescopio SAAD, è stata realizzata (nell'estate del 2020) servendosi di una delle antenne Vivaldi del SAAD, posizionata fuori dall'array e quindi lontano dalle altre antenne, e di una catena di acquisizione del segnale che permettesse di arrivare al back-end (analizzatore di spettro) con una buona dinamica e introducendo un basso livello di rumore. In particolare, la catena è composta da due low noise amplifier (LNA), uno per ciascuno dei due canali di polarizzazione, che verranno poi combinati con un power combiner ed alimentati tramite un Bias-Tee [6]. Il modello dell'LNA in questione è stato progettato da personale dell'Istituto di Radioastronomia (IRA-INAF, Medicina, Bologna) e la sua caratterizzazione dal punto di vista delle microonde e radio frequenze verrà mostrata nella sezione 3.1 di questo report. Per quanto riguarda la campagna di misure RFI, è utile conoscere il guadagno e l'attenuazione dei vari componenti inclusi nella catena ricevente, nella banda 50-500 MHz. Nella seguente Figura 1 si può vedere lo schema dettagliato della catena di acquisizione utilizzata per la campagna RFI preliminare. Nella Tabella 1 sono invece riassunti i livelli di attenuazione e guadagno dei diversi componenti della catena.

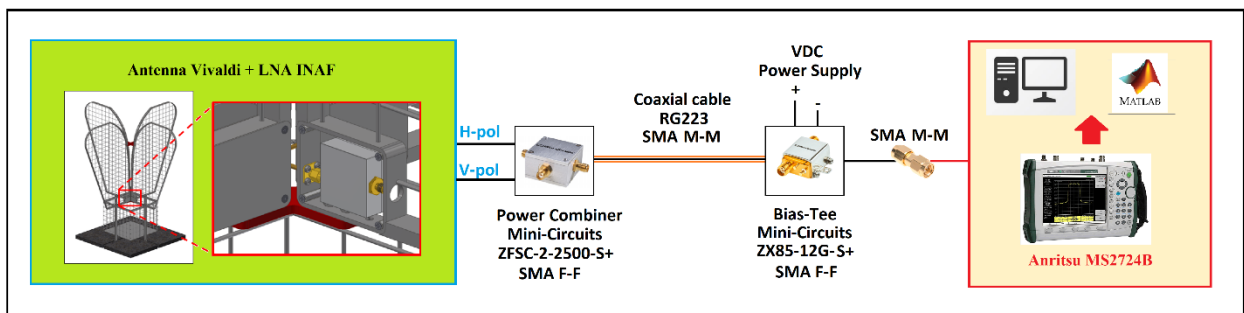


Figura 1 – Schema della catena di componenti a microonde per l'acquisizione del segnale usata per la campagna di misure RFI. La catena è composta da un LNA per ciascun canale di polarizzazione dell'antenna Vivaldi, da un power combiner che combina i due canali di polarizzazione, da un Bias-Tee utile per l'alimentazione degli LNA e da un analizzatore di spettro usato come back-end [6].

Tabella 1 – Attenuazione e guadagno dei componenti a microonde e a radio frequenza installati nella catena ricevente per le misure RFI [6].

Receiving Chain components	Max Attenuation	Gain
LNA	-	23 dB \pm 1dB
Coax cable 1 (1.5m) – RG223	0.4 dB @450 MHz	-
Power combiner – ZFSC-2-2500-S+	3.6 dB @450 MHz	-
Coax cable 2 (20 m) – RG223	5.7 dB @450 MHz	-
Bias Tee – ZX85-12G-S+	0.4 dB @ 450 MHz	-

Il risultato della campagna di misure può essere riassunto nello spettro di **Figura 2** [6]. L'analizzatore di spettro ha acquisito per diversi intervalli temporali ed è stato impostato con uno span di 550 MHz, frequenza centrale di 275 MHz e *resolution bandwidth* (RBW) di 1 MHz. Le misure effettuate permettono di valutare la frequenza esatta alla quale si propagano le maggiori RFI presenti nella banda 50-500 MHz. Per quanto riguarda le ampiezze, è possibile risalire ai livelli di ampiezza del segnale nell'etere rilevato dall'antenna Vivaldi, escludendo i contributi di guadagno o attenuazione dei vari componenti della catena, dal valore di ampiezza rilevato con l'analizzatore di spettro. I segnali con i livelli più alti di ampiezza sono stati etichettati e possono essere riassunti di seguito:

- ✓ Radio FM: 87.5-108 MHz con un livello massimo nell'etere di circa -40 dBm;
- ✓ Servizi di sicurezza: 175-185 MHz con un livello massimo nell'etere di circa -65 dBm;
- ✓ Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB): 177.5-226.5 MHz con un livello massimo nell'etere di circa -65 dBm;
- ✓ Sistema di telecomunicazioni TERrestrial Trunked Radio (TETRA): 385-395 MHz con un livello massimo nell'etere di circa -45 dBm;
- ✓ Sistemi di telecomunicazioni per il pronto soccorso: 460-470 MHz con un livello massimo nell'etere di circa -55 dBm.

In **Figura 2** è stato evidenziato l'intervallo di frequenze meno popolato da segnali indesiderati (riquadro rosso, che va da 270 MHz a 420 MHz), a meno del forte segnale TETRA nell'intervallo 385-395 MHz [6].

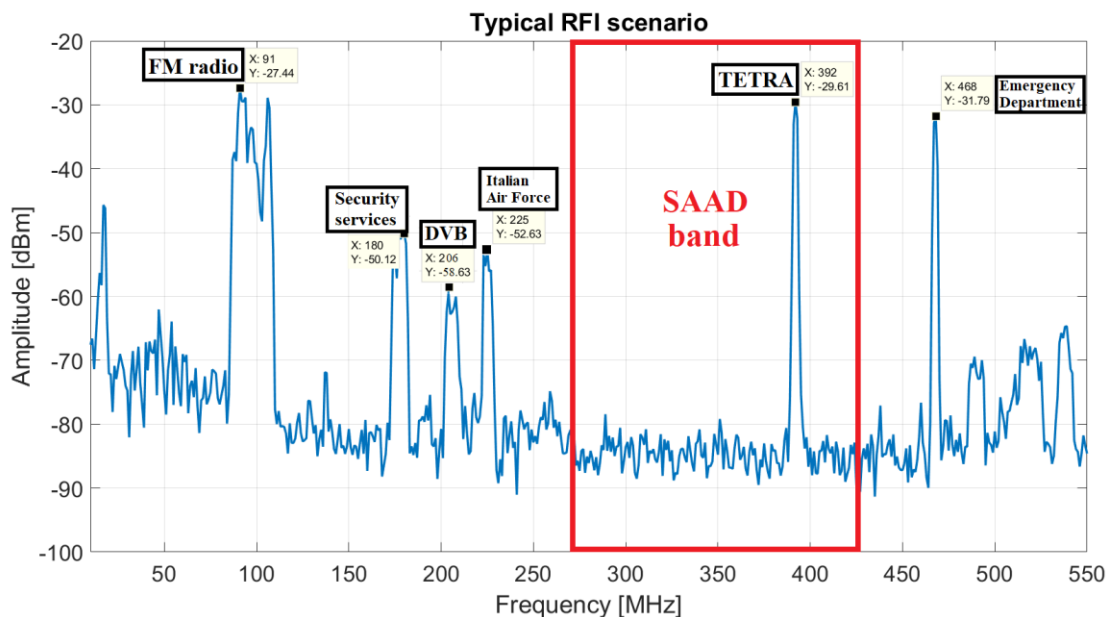


Figura 2 – Spettro riassuntivo dello scenario RFI nel territorio circostante il SAAD, nell'intervallo di frequenze 50-500 MHz [6]. Questo spettro permette di valutare la frequenza esatta dei diversi segnali RFI presenti in banda. Per quanto riguarda le ampiezze dei segnali mostrati in questo spettro, è da considerare il contributo di amplificazione e attenuazione fornito dai componenti della catena ricevente, riassunti in **Tabella 1**.

3. Progettazione, realizzazione e caratterizzazione della catena di acquisizione del segnale

Sulla base dei risultati delle campagne di misura RFI, è stata progettata una catena di acquisizione del segnale che potesse attenuare i segnali indesiderati e rendere disponibile la porzione di banda pulita. In **Figura 3** è riportato lo schema generale dell'intera catena ricevente realizzata per ciascun canale (polarizzazione X e polarizzazione Y) di ciascuna delle 16 antenne Vivaldi che compongono il sistema *SADino*, precursore del SAAD. La catena ricevente è costituita da 4 blocchi principali posizionati a valle dell'antenna Vivaldi:

- ✓ LNA INAF: è collegato direttamente all'antenna e deve garantire una buona cifra di rumore e una buona robustezza che permetta il suo funzionamento in regime di linearità;
- ✓ Scatola di derivazione: è posizionata subito dopo il primo LNA e permette l'alimentazione dell'LNA collegato all'antenna ed il primo filtraggio dello spettro;
- ✓ Cavo 70 m: collega la scatola di derivazione all'ultimo blocco (rack interno), installato dentro l'armadio per rack nel quale è posizionato il back-end digitale;
- ✓ Rack interno: è posizionato subito a monte del back-end e garantisce un ulteriore filtraggio della banda utile e altri due stadi di amplificazione.

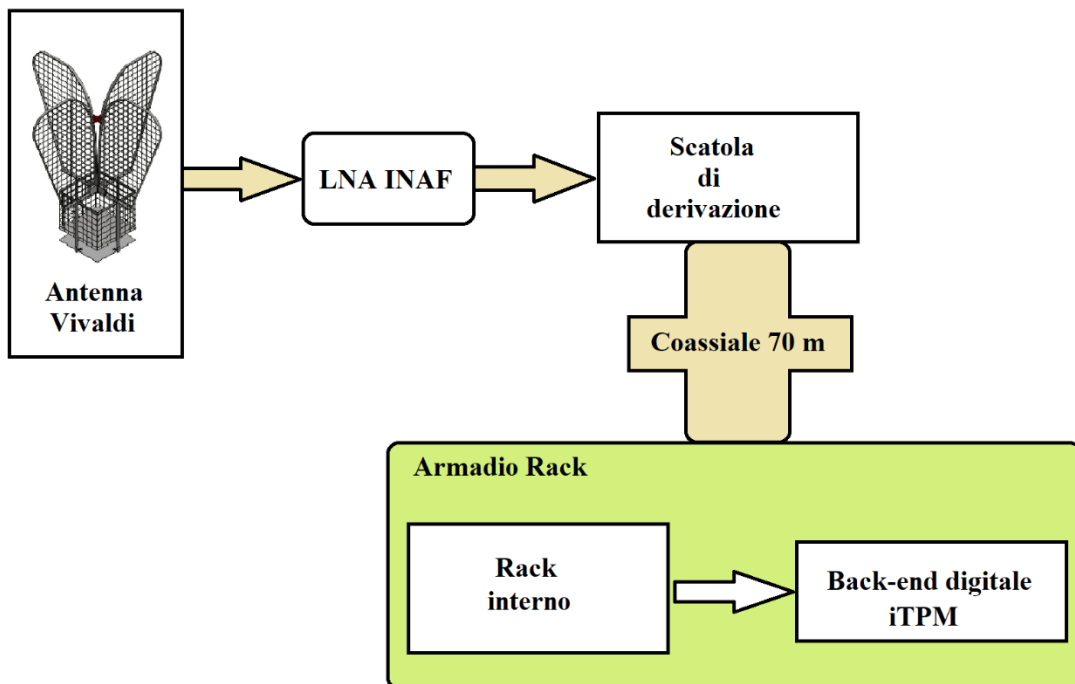


Figura 3 – Schema a blocchi generico dell'intera catena di acquisizione del segnale per il sistema *SADino*.

3.1 Caratterizzazione del primo LNA della catena, progettato e realizzato da personale INAF

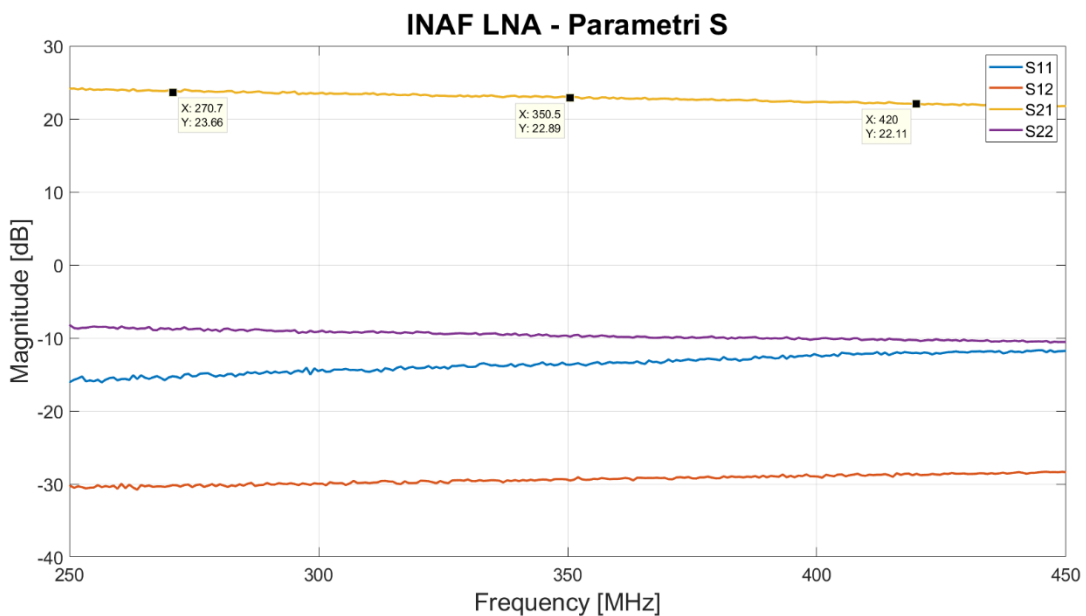
Si può notare come, subito a valle dell'antenna Vivaldi, ci sia un primo stadio di amplificazione. Poiché si tratta del primo componente presente nella catena ricevente, che influenza maggiormente la cifra di rumore dell'intero sistema, occorre avere un amplificatore che introduca complessivamente nel sistema un basso livello di rumore (LNA), che garantisca un guadagno di almeno una ventina di dB e che sia robusto dal punto di vista del punto di compressione. Si è visto infatti come, all'interno della banda in cui opererà il telescopio, siano presenti diversi segnali generati da apparati installati presso il territorio circostante il sito, che potrebbero mandare in saturazione una catena non abbastanza robusta da tollerare alti livelli di ampiezza dei segnali rilevati. L'amplificatore utilizzato è un LNA progettato e realizzato da personale INAF e si tratta di

un one-stage 50 Ohm single-ended LNA basato su un amplificatore Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) della Qorvo, modello SPF-5122Z [9]. La scheda tecnica con i parametri primari dell'LNA è riportata nella seguente Tabella 2. In Figura 4 sono invece mostrati i grafici dei parametri S (Figura 4-a) e del 1dB compression point (Figura 4-b), che mostrano come il componente abbia un guadagno di circa 23 dB e riesce a sopportare segnali in ingresso con ampiezza fino a -3 dBm prima di perdere linearità nella sua risposta, all'interno della banda SAAD (270-420 MHz).

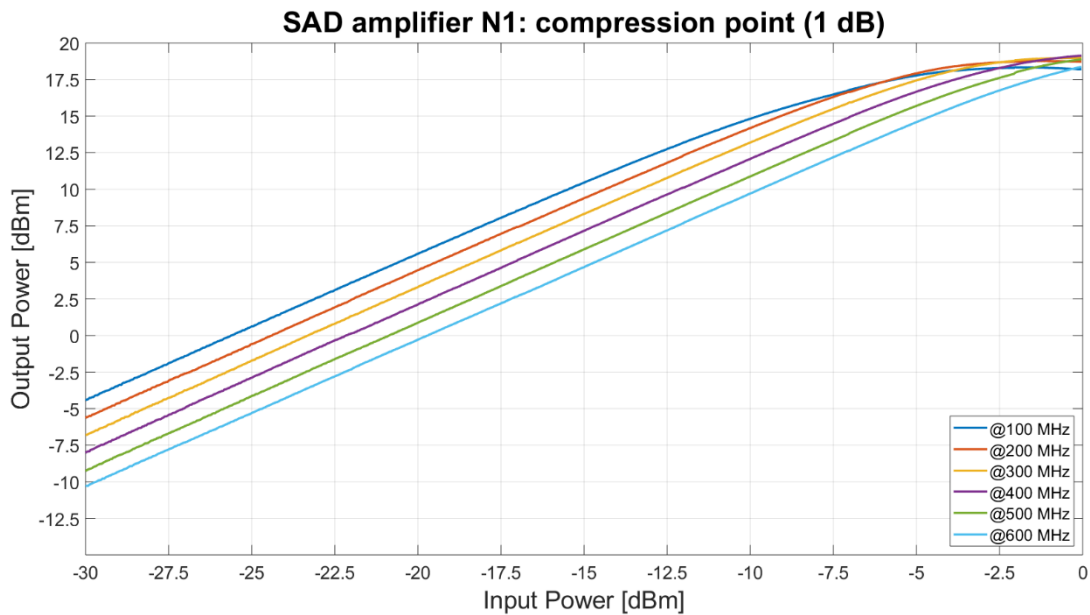
Per quanto riguarda l'alimentazione, esso necessita di 5V e assorbe circa 55 mA. L'alimentazione viene fornita tramite cavo SMA e, di conseguenza, è indispensabile utilizzare un Bias-Tee lungo la catena ricevente, subito a valle dell'LNA.

Tabella 2 – caratteristiche tecniche del primo LNA della catena ricevente del sistema SADino, precursore del SAAD.

Guadagno tipico @ 250-450 MHz	23 dB \pm 1dB
OIP1dB @ 250-450 MHz	-3 dBm
Noise Figure	0.5 dB
Input connector	SMA M
Output connector	SMA F
Power supply	5 V
Assorbimento	55 mA



(a)

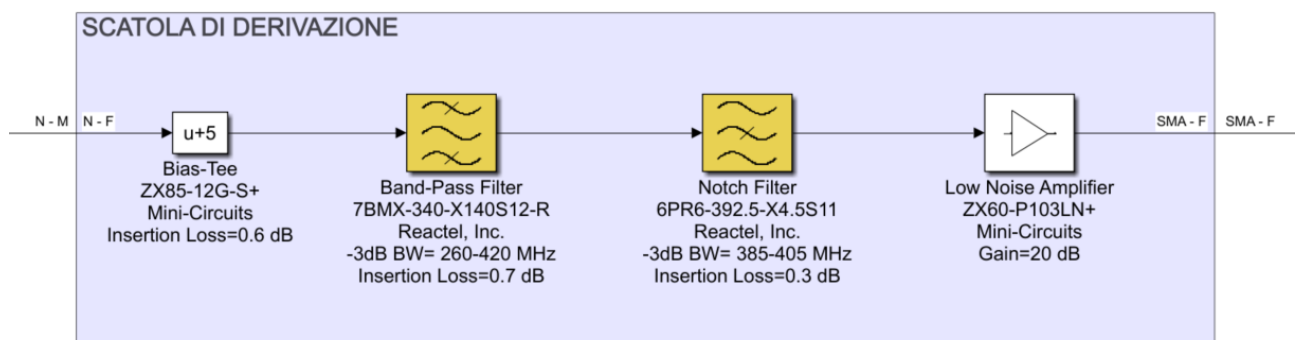


(b)

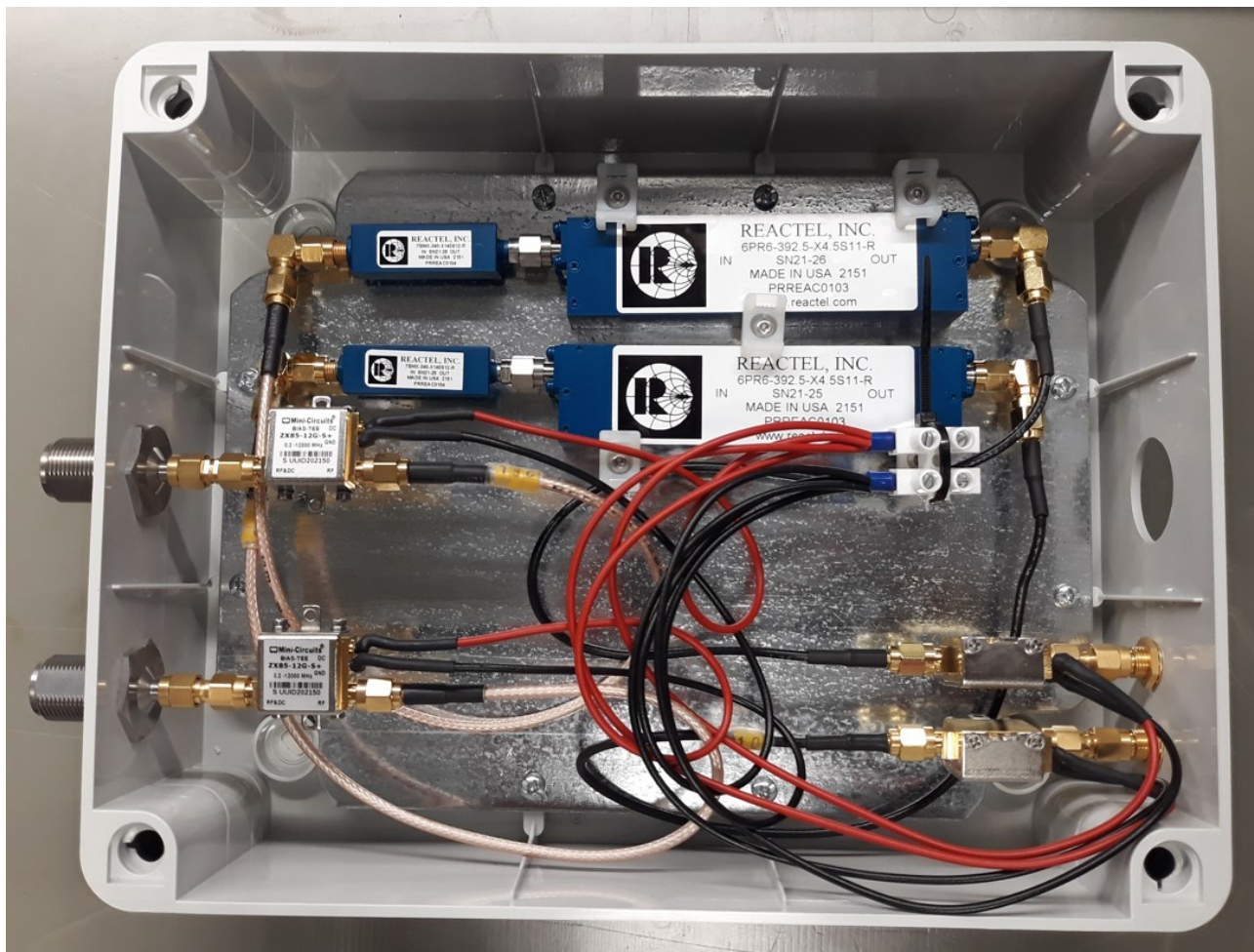
Figura 4 – (a) Parametri S del primo LNA della catena ricevente, valutati nella banda di frequenze 250-450 MHz. Si nota come si abbia un guadagno in banda che va da circa 23 dB (inizio banda) fino a circa 22 dB (fine banda); (b) 1 dB compression point del primo LNA della catena ricevente, valutato alle frequenze di 100, 200, 300, 400, 500 e 600 MHz. Si nota come l'amplificatore vada in compressione per potenze del segnale di ingresso maggiori di -3 dBm a 300 e 400 MHz (banda SAAD).

3.2 Caratterizzazione della parte di catena ricevente installata nella scatola di derivazione posizionata a valle di ciascuna antenna Vivaldi

All'interno della scatola di derivazione, posizionata sul fondo di ciascuna antenna Vivaldi, sono installati i filtri più performanti della catena ricevente ed un ulteriore stadio di amplificazione. Inoltre, vi è presente il componente (Bias-Tee) che permette di alimentare l'LNA INAF (che necessita di una tensione di 5V) installato direttamente sull'antenna Vivaldi. Ciascuna scatola di derivazione conterrà due porzioni di catena ricevente identiche, in maniera tale da servire entrambi i canali di polarizzazione dell'antenna Vivaldi sulla quale è installata. Uno schema descrittivo dei componenti installati nella scatola di derivazione è riportato in **Figura 5-a**, mentre una foto della scatola di derivazione finalizzata e pronta da essere installata sull'antenna, si può vedere in **Figura 5-b**.



(a)



(b)

Figura 5 – (a) schema dei componenti a radio frequenza installati all'interno della scatola di derivazione; (b) foto della scatola di derivazione.

In particolare, come primo componente della catena contenuta nella scatola di derivazione, è stato selezionato un Bias-Tee della Mini-Circuits, modello ZX85-12G-S+, caratterizzato da un basso insertion loss (tipicamente di 0.6 dB). A valle del Bias-Tee, è stato posizionato il primo filtro passabanda (band-pass filter, BPF), realizzato ad hoc dalla Reactel, Inc., modello 7BMX-340-X140S12-R, caratterizzato da una banda passante a -3 dB che va da 260 a 420 MHz e con un insertion loss di 0.7 dB in banda. Si tratta di un filtro con 7 poli che permettono di ottenere un'attenuazione a bordo banda molto ripida (-30 dB @250 MHz e @435MHz). Le specifiche di questo filtro sono state selezionate ad hoc per selezionare la porzione di banda meno affetta da RFI, sulla base dei risultati della campagna di misure RFI presentata nella sezione 2 di questo report. I parametri S di tale filtro sono riportati nel grafico di **Figura 6**.

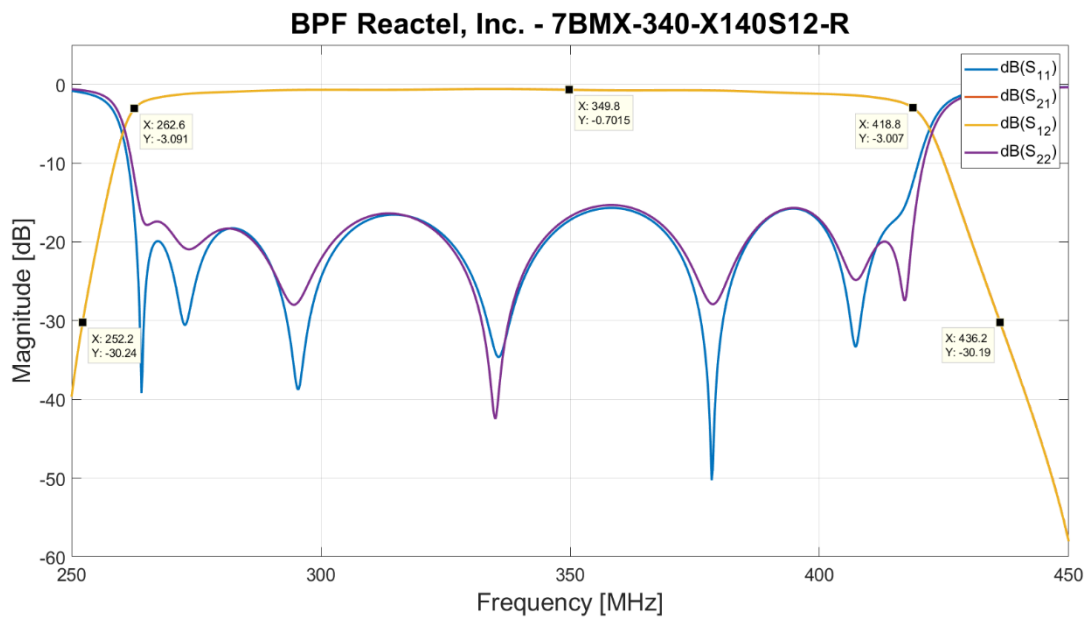


Figura 6 – Parametri S del filtro BPF della Reactel, Inc., modello 7BMX-340-X140S12-R.

A valle del BPF Reactel, è stato posizionato un filtro elimina-banda (filtro Notch), che permette di attenuare drasticamente i forti segnali generati dal sistema TETRA nell'intervallo 385-395 MHz. Il filtro selezionato è stato progettato dalla Reactel, Inc., modello 6PR6-392.5-X4.5S11 ed è caratterizzato da un insertion loss in banda di circa 0.3 dB e da un'attenuazione di oltre 70 dB nell'intervallo d'interesse 385-395 MHz. I parametri S del filtro Notch sono riportati sul grafico di **Figura 7**.

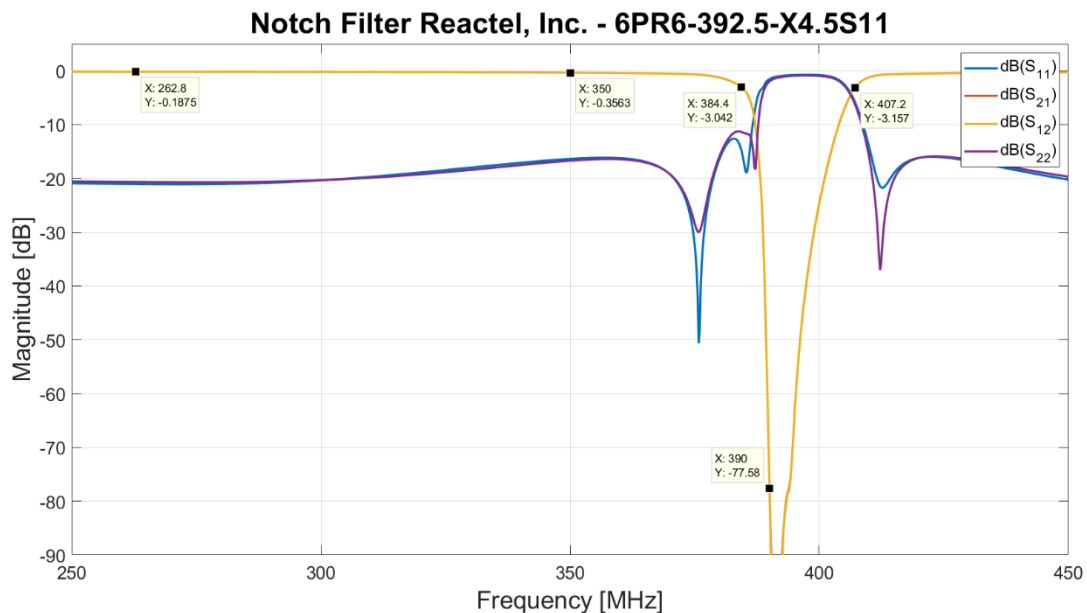


Figura 7 – Parametri S del filtro Notch della Reactel, Inc., modello 6PR6-392.5-X4.5S11.

Di seguito alla coppia di filtri BPF+Notch, è stato posizionato il secondo stadio di amplificazione della catena ricevente. È stato selezionato un LNA della Mini-circuits, modello ZX60-P103LN+, che necessita di una tensione di alimentazione di 5V (con assorbimento di circa 95 mA), e che è caratterizzato da un guadagno in banda di circa 20 dB ed un basso valore di figura di rumore, tipicamente pari a circa 0.5 dB.

Tutti i componenti presenti nella scatola di derivazione sono componenti dotati di connettore SMA e, per comodità di installazione, sono collegati tra loro con dei cavetti coassiali intestati con connettori SMA,

lunghi al massimo alcune decine di centimetri e con perdite basse alla frequenza di interesse, al massimo di alcuni decimi di dB (vedi **Figura 5-b**).

La caratterizzazione completa della porzione di catena ricevente installata all'interno della scatola di derivazione è riportata in **Figura 8**. Dall'analisi del grafico, si può notare come la catena abbia un guadagno di circa 44 dB all'interno della banda 270-380 MHz, ed un guadagno di circa 40 dB nella banda 410-420 MHz. Si nota come, nel range di frequenze relative ai segnali TETRA, si ha un'attenuazione che va da 10 ai 70 dB. Per quanto riguarda i due estremi della banda, si raggiungono attenuazioni di 30 dB a partire al di sotto dei 250 MHz (estremo sinistro) e al di sopra dei 435 MHz (estremo destro).

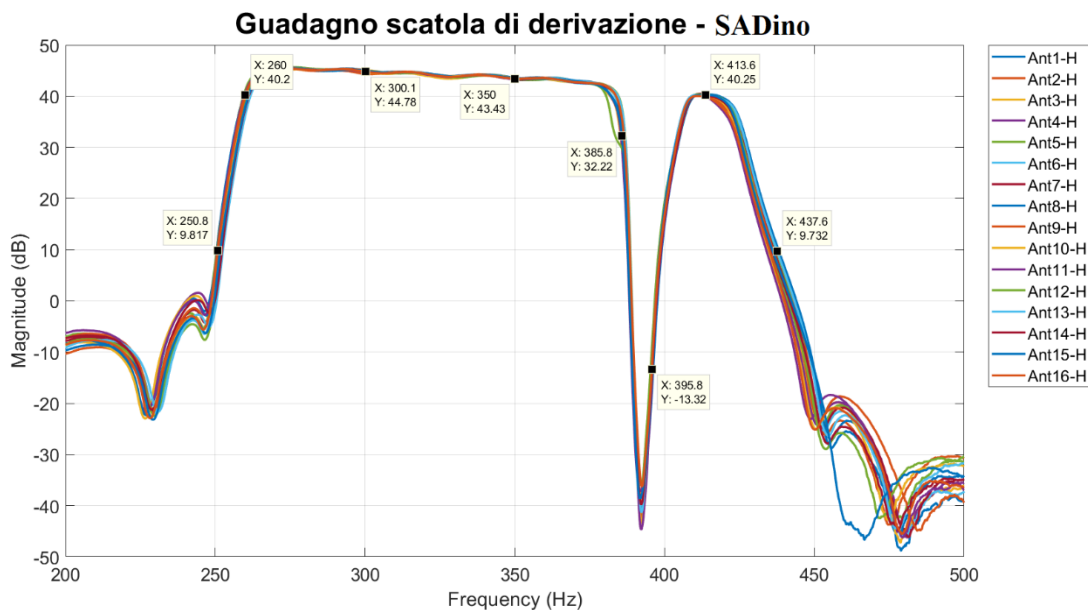


Figura 8 – Guadagno della porzione di catena posizionata all'interno della scatola di derivazione. Si può notare come le 16 scatole di derivazione abbiano un comportamento identico.

3.3 Caratterizzazione cavo da 70 m

Si è selezionato un cavo coassiale con basse perdite per il collegamento diretto tra ciascuna antenna Vivaldi, dotata della sua scatola di derivazione, e la rispettiva scheda contenuta nel cosiddetto rack interno posizionato nell'armadio da rack in Box CR (vedi **Figura 3**). Il cavo selezionato è prodotto dalla Huber+Suhner e si tratta del modello Spuma_400-FR-01, che garantisce delle perdite massime di circa 6 dB nel range di frequenze in cui opera il SAAD. Il cavo è dotato di connettori SMA maschio, in modo da collegarsi direttamente al connettore SMA femmina installato in uscita alla scatola di derivazione, e al connettore SMA femmina installato in ingresso a ciascuna scheda del rack interno. In **Figura 9** sono mostrati i parametri S di uno dei 32 cavi (due cavi per antenna in modo da servire entrambi i canali di polarizzazione). Si nota come si abbia un'attenuazione di circa 5 dB a 270 MHz e di circa 6 dB a 420 MHz, in linea con quanto dichiarato nel datasheet del cavo **[10]**.

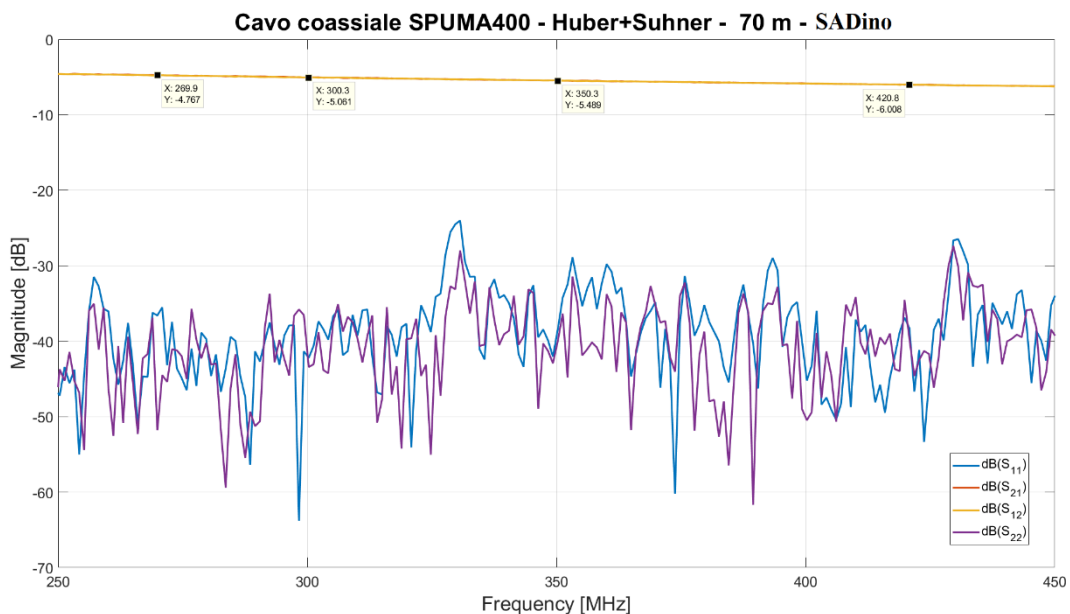
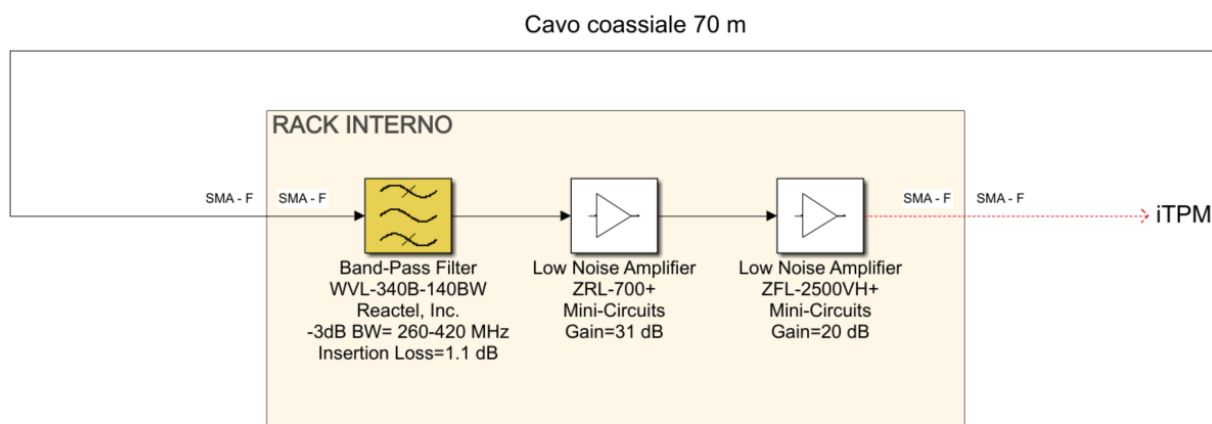


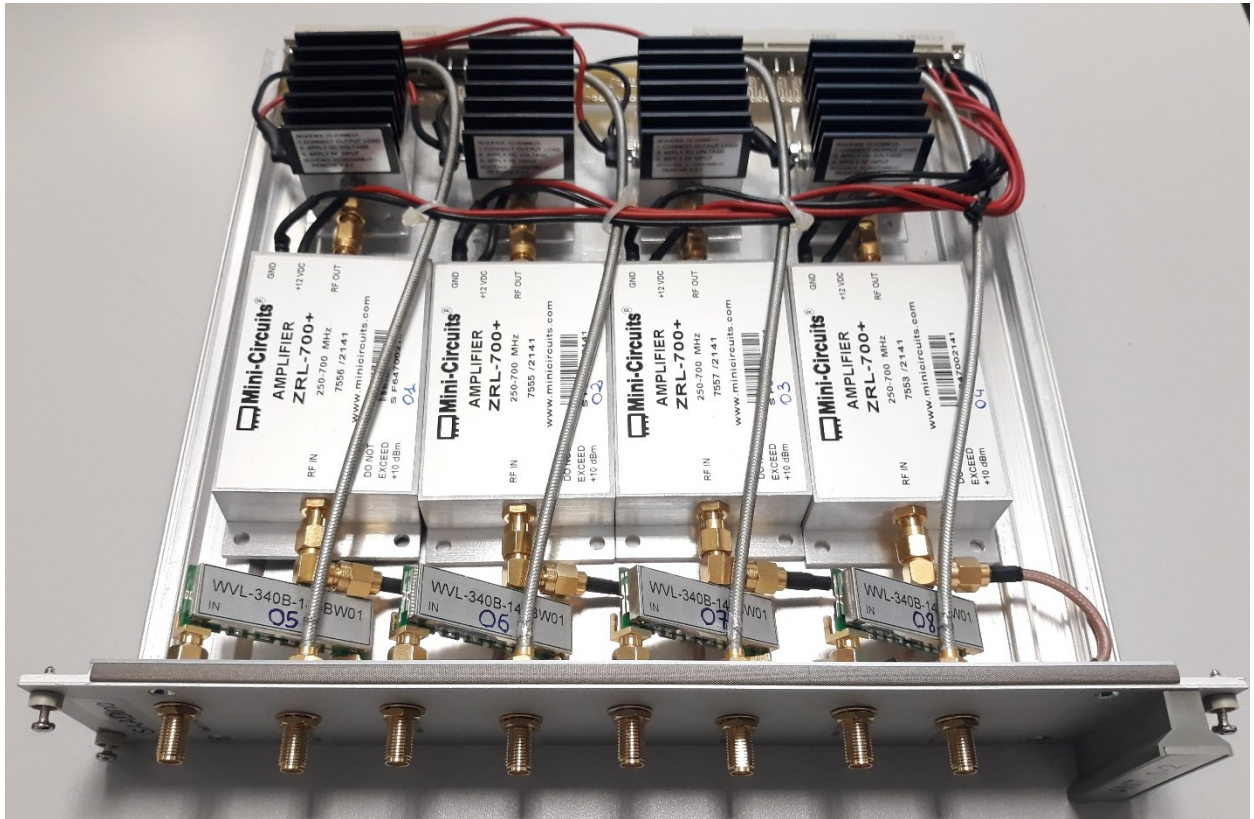
Figura 9 – parametri S del cavo da 70 m, modello Spuma_400-FR-01 della Huber+Suhner, che permette il collegamento tra la scatola di derivazione di ciascuna antenna Vivaldi a ciascuna delle schede che compongono il rack interno installato nel Box CR.

3.4 Caratterizzazione della porzione di catena ricevente installata nel rack interno posizionato nell'armadio dove è installato il back-end iTPM

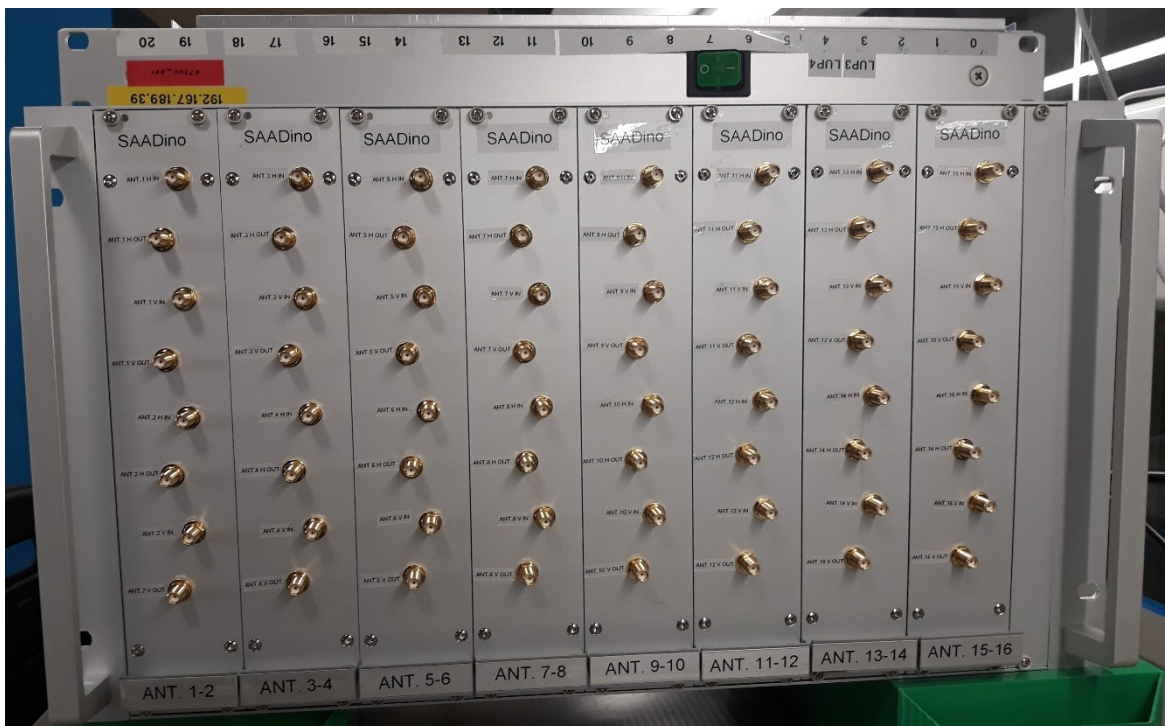
Il rack interno è posizionato nell'armadio da rack, nel quale è installato anche il back-end digitale basato su iTPM. L'intero armadio è posizionato all'interno del Box CR, situato al sito di SRT e distante circa 60 metri dall'array di antenne Vivaldi che compongono il SAAD. Il cosiddetto rack interno è costituito da 8 schede di componenti a radio frequenza, ciascuna delle quali contiene 4 porzioni di catena ricevente identiche, che consentiranno di servire 2 antenne (ciascuna determinata dai soliti due canali di polarizzazione). In ogni porzione di catena di questa scheda sono stati posizionati un ulteriore filtro BPF e due ulteriori stadi di amplificazione, utili a raggiungere quei livelli di densità di potenza necessari per far funzionare in maniera ottimale il back-end digitale basato su schede iTPM. Uno schema dei componenti della porzione di catena di acquisizione del segnale installata su ciascuna scheda del rack interno, con rispettiva foto di una di esse completamente assemblata con i suoi 4 canali (2 per ciascuna antenna), sono riportati in **Figura 10**.



(a)



(b)



(c)

Figura 10 – (a) Schema dei componenti a radio frequenza che costituiscono una delle porzioni di catena ricevente installate su una delle schede del cosiddetto rack interno; (b) Foto di una delle otto schede che compongono il rack interno, costituita da quattro catene identiche che permetteranno di servire rispettivamente i due canali di polarizzazione di due antenne differenti; (c) Foto dell'intero rack interno costituito dalle otto schede totali.

Il primo componente di ciascuna porzione di catena ricevente, installata su una delle otto schede che compongono il rack interno, è un filtro passa-banda, modello WVL-340B-140BW01. Dal punto di vista delle

specifiche, il filtro è una replica del filtro BPF realizzato dalla Reactel, Inc., modello 7BMX-340-X140S12-R, installato nella scatola di derivazione, ma con prestazioni inferiori poiché si trova a valle di esso lungo la catena e serve per rimarcare la banda già ben selezionata. I parametri S di questo filtro sono riportati in **Figura 11**.

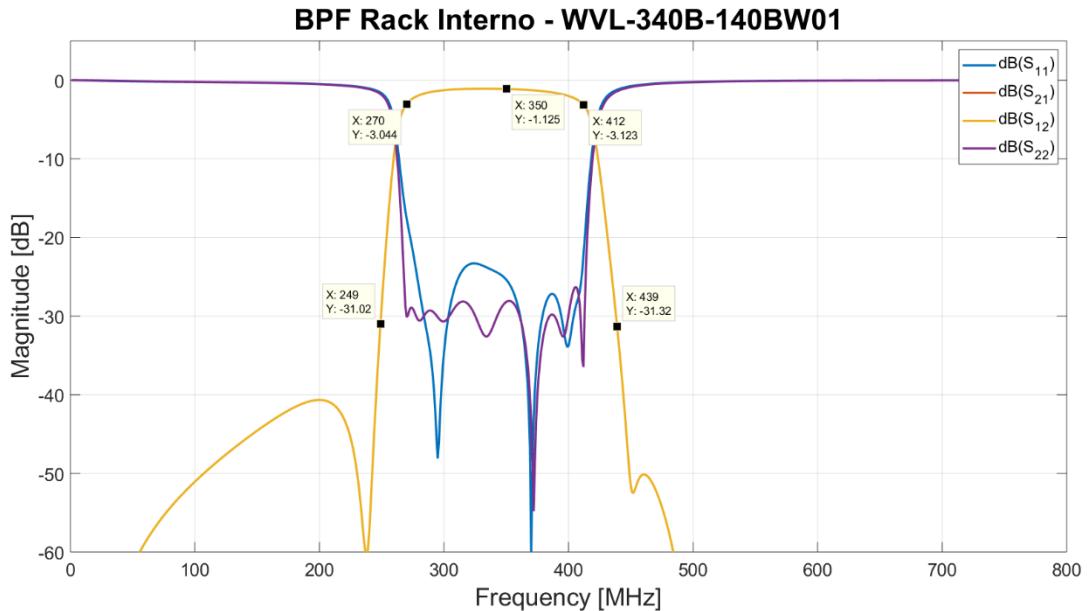


Figura 11 – parametri S del filtro BPF modello WVL-340B-140BW01.

A valle del filtro BPF, modello WVL-340B-140BW01, vi sono installati i due ulteriori stadi di amplificazione dell'intera catena di acquisizione del SADino. Il primo di questi due amplificatori è un LNA della Mini-circuits, modello ZRL-700+, che necessita di una tensione di alimentazione di 12V ed è caratterizzato da un guadagno tipico di circa 31 dB ed una noise figure tipica di 2 dB. Il secondo amplificatore è invece un LNA della Mini-circuits, modello ZFL-2500VH+, che necessita di una tensione di alimentazione di 15V ed è determinato da un tipico guadagno di circa 20 dB e da una figura di rumore di 5.5 dB. Si può notare come le prestazioni in termini di figura di rumore di questi due amplificatori siano inferiori rispetto ai primi LNA installati sulla catena ricevente. Questo aspetto influisce in maniera trascurabile sull'intera figura di rumore dell'intero sistema, come si evince facilmente utilizzando la formula di Friis per il calcolo della figura di rumore.

Le catene identiche installate nelle 8 schede che compongono il rack interno sono state caratterizzate e si è verificato che rispondessero tutte allo stesso modo (vedi **Figura 12**). In particolare, si ha un guadagno complessivo di circa 55 dB in banda, mentre a bordo banda (250 MHz e 437 MHz) si ha un'attenuazione di circa 30 dB.

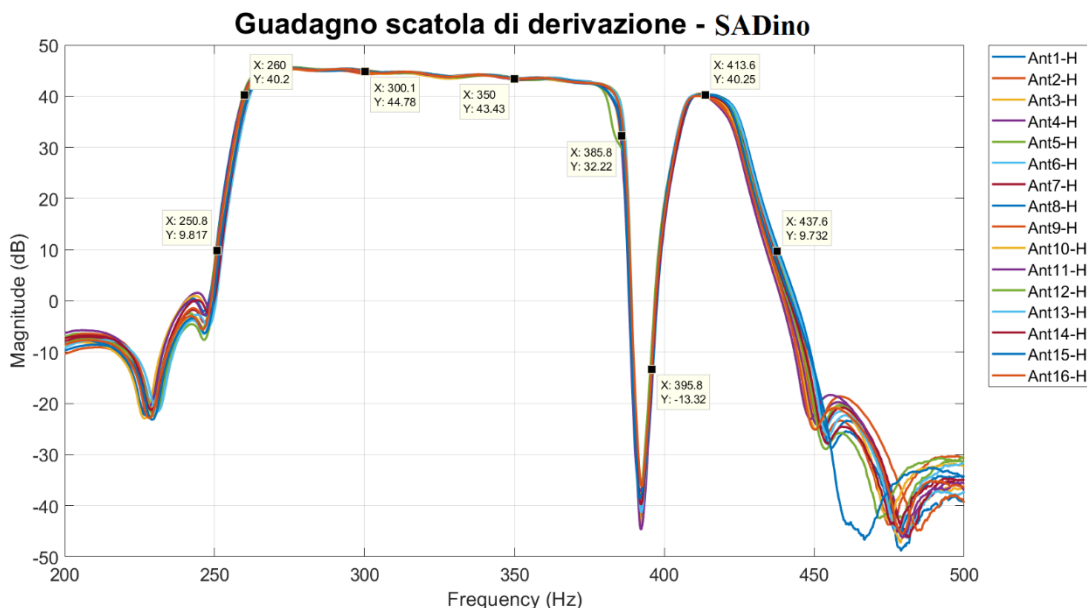


Figura 12 - Guadagno di 16 delle 32 catene installate nelle 8 schede che compongono il rack interno. Si può notare come i 16 canali abbiano un comportamento identico.

3.5 Caratterizzazione dell'intera catena di acquisizione del segnale

Uno schema dell'intera catena di componenti a microonde e a radio frequenza che compongono la catena ricevente del *SADino* è riportato in **Figura 13**. Per valutare il comportamento dell'intera catena, sono state effettuate due differenti misure:

- ✓ Parametri S dell'intera catena, in maniera tale da valutarne il guadagno complessivo;
- ✓ Utilizzo dell'analizzatore di spettro come back-end e acquisizione dello spettro, confrontabile con lo spettro riassuntivo della campagna di misure RFI.

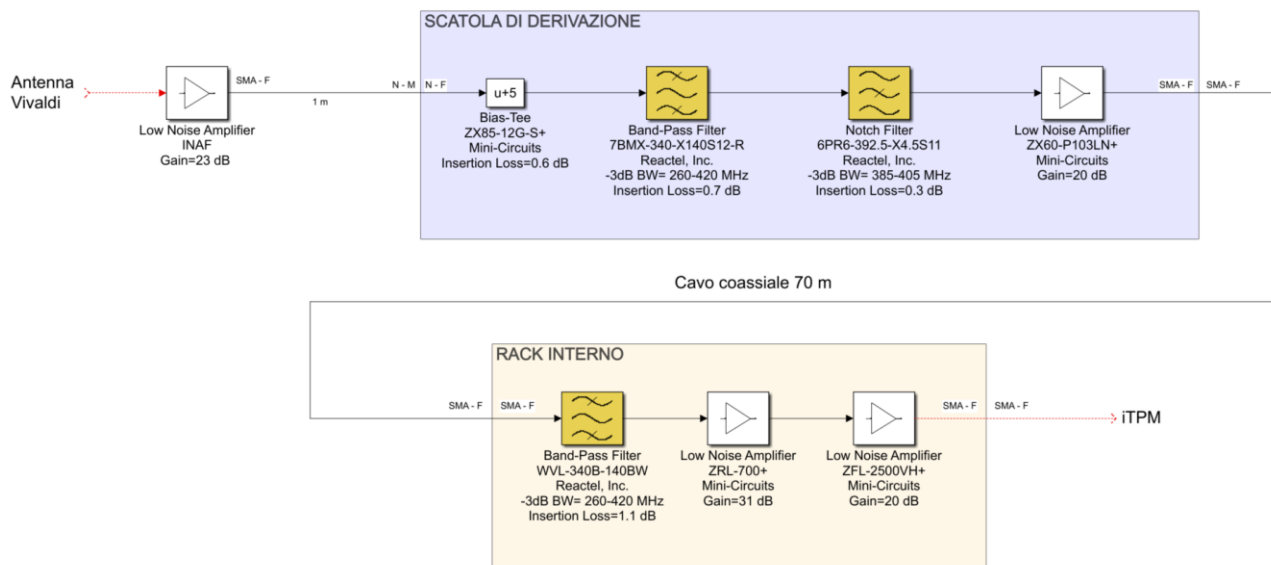


Figura 13 – Schema a blocchi della catena di acquisizione del segnale per il sistema *SADino*.

Per quanto riguarda la misura dei parametri S per la valutazione del guadagno dell'intera catena, i risultati sono riportati in **Figura 14**. Si nota come, i risultati delle misure di guadagno totale, siano in linea con il guadagno grossolano stimato (a meno delle perdite dei singoli cavetti coassiali utilizzati all'interno della scatola di derivazione e delle schede che compongono il rack interno) che si può ottenere dalla somma dei

guadagni e delle attenuazioni di tutti i componenti che costituiscono l'intera catena ricevente. Questi dati sono riassunti in **Tabella 3**. Il guadagno stimato dell'intera catena ricevente del sistema *SADino*, precursore dell'intero array SAAD, è di circa 87 dB.

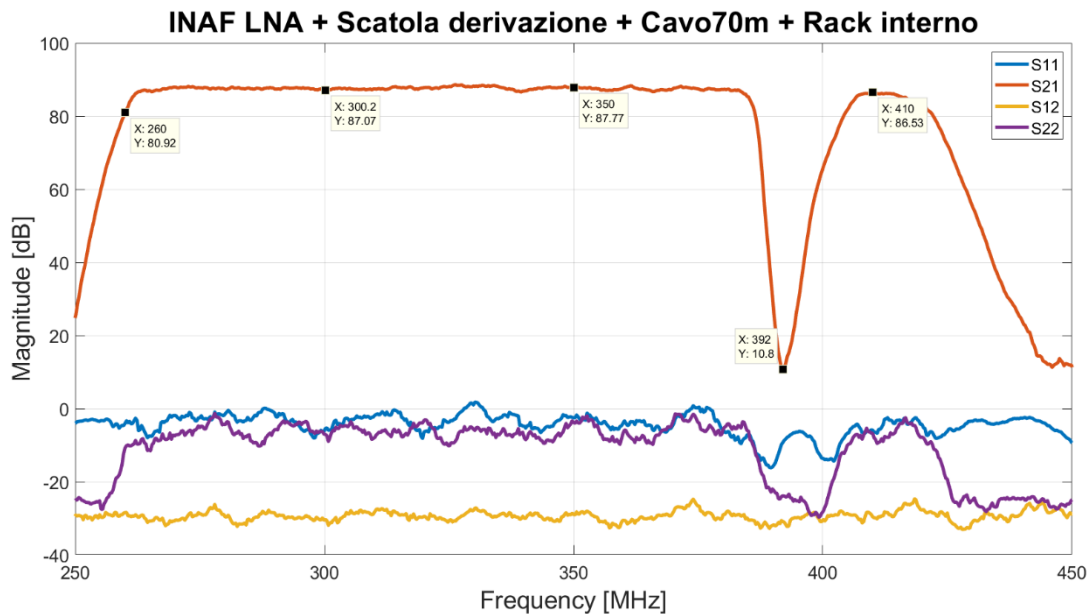


Figura 14 – Parametri S dell'intera catena ricevente del sistema *SADino*, precursore dell'array SAAD.

Tabella 3 – Attenuazione e guadagno dei componenti a microonde e a radio frequenza installati nella catena ricevente del sistema *SADino*.

Receiving Chain components	Max Attenuation	Gain
LNA INAF	-	23 dB
Bias-Tee , ZX85-12G-S+, Mini-Circuits	0.6 dB	-
BPF , 7BMX-340-X140S12-R, Reactel, Inc.	0.7 dB	-
Notch filter , 6PR6-392.5-X4.5S11, Reactel, Inc.	0.3 dB	-
LNA , ZX60-P103LN+, Mini-circuits	-	20 dB
Cavo coassiale 70 m , Spuma_400-FR-01, Huber+Suhner	5.5 dB	-
BPF , WVL-340B-140BW01	1.1 dB	-
LNA , ZRL-700+, Mini-circuits	-	31 dB
LNA , ZFL-2500VH+, Mini-circuits	-	20 dB

In **Figura 15** è riportato lo spettro acquisito utilizzando il sistema composto da una delle antenne Vivaldi del SAAD, posizionata sul tetto del laboratorio di elettronica di SRT, e dalla catena di acquisizione del segnale per il sistema *SADino* presentata in questo report. Il back-end utilizzato è l'analizzatore di spettro, configurato con una resolution bandwidth di 100 kHz. Nel grafico di **Figura 15** sono evidenti diversi segnali rilevati dal sistema, come per esempio quello nel range di frequenze 360-380 MHz (segnale generato dal sistema MUOS, il cui acronimo sta per Mobile User Objective System, un sistema di comunicazioni satellitari in UHF), che

rappresentano un disturbo per le osservazioni radioastronomiche. Si specifica inoltre che, poiché l'antenna si trovava sul tetto, si sono ricevuti i segnali, nel range di frequenze 260-280 MHz, generati dai motori del sistema di condizionamento degli uffici situati al sito SRT. A prescindere da questi segnali rilevati, che rappresentano dei disturbi per le osservazioni radioastronomiche e che inevitabilmente si presentano in banda, si può affermare che i forti segnali generati dal sistema TETRA (rilevati nella campagna preliminare di misure RFI alle frequenze di 385-395 MHz) vengono accettabilmente attenuati dalla catena di acquisizione del segnale, che garantisce un guadagno sufficiente per poter lavorare con il back-end digitale basato su iTPM.

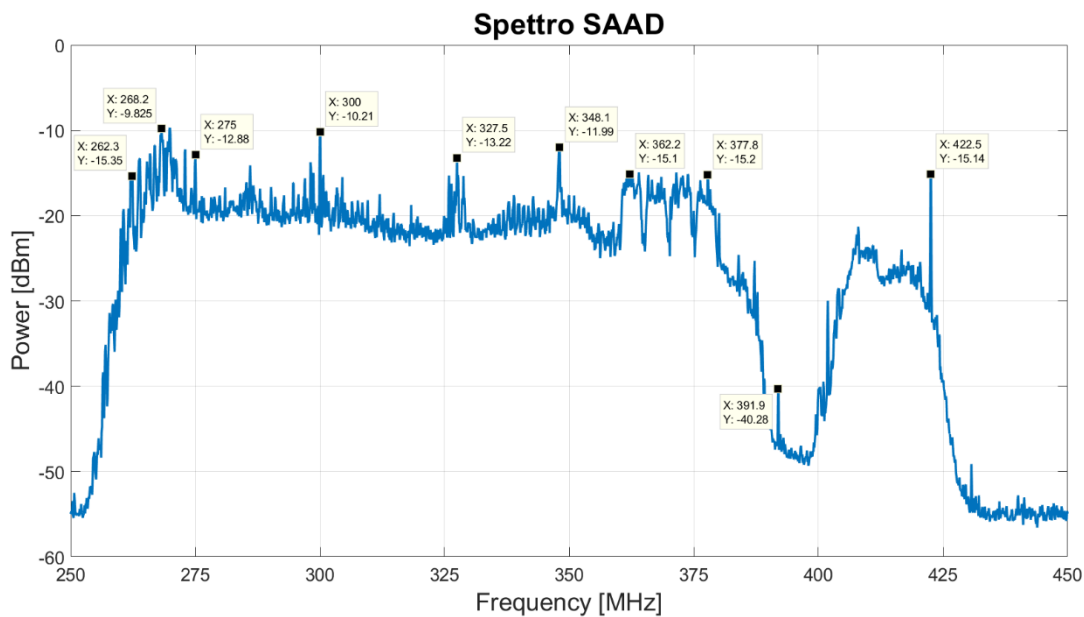


Figura 15 – Spettro rilevato utilizzando una delle antenne Vivaldi, posizionata sul tetto del laboratorio di elettronica (sito SRT), l'intera catena di acquisizione del segnale per il sistema *SADino* e l'analizzatore di spettro come back-end.

4. Sistema di alimentazione

Si è visto come i 4 stadi di amplificazione della catena ricevente necessitino di tensioni di alimentazione differenti:

- ✓ 5V: tensione di alimentazione necessaria per l'LNA INAF e per l'LNA della Mini-circuits, modello ZX60-P103LN+ installato nella scatola di derivazione;
- ✓ 12V: tensione di alimentazione richiesta dall' LNA della Mini-circuits, modello ZRL-700+, installato sulla scheda del rack interno;
- ✓ 15V: tensione di alimentazione richiesto dall'LNA della Mini-circuits, modello ZFL-2500VH+, installato sulla scheda del rack interno.

Per la generazione di queste tensioni, si sono selezionati i seguenti alimentatori, per i quali sono stati allestiti dei rack dedicati da installare direttamente nell'armadio da rack presente in box CR:

- ✓ 5V: modello HB5-3/OVP-AG (5V, 3A), della BEL POWER SOLUTIONS INC;
- ✓ 12V: modello HE12-10.2-AG (12V, 10.2A), della BEL POWER SOLUTIONS INC;
- ✓ 15V: modello F15-15-A+G (15V, 15A), della Condor / SL Power.

5. Conclusioni

Con l'obiettivo di iniziare velocemente ad eseguire i primi test, si è deciso di implementare parzialmente il sistema SAAD, che originariamente prevedeva la realizzazione di un array 128 antenne Vivaldi con rispettive catene di acquisizione del segnale dedicate. L'implementazione parziale dell'array SAAD prende il nome di *SADino*, che consiste in un mini-array di 16 elementi a doppia polarizzazione, con il quale sarà possibile effettuare le prime osservazioni e i primi test di beam-forming con il back-end digitale dedicato basato sulle schede Italian Tile Processing Module (ITPM).

Ciascuna di queste 16 antenne viene dotata di una catena di componenti a microonde utile per l'acquisizione del segnale fin al back-end digitale. La catena ricevente è costituita da 4 stadi di amplificazione e da una serie di filtri a microonde che permettono di attenuare i maggiori segnali indesiderati rilevati con una campagna di misure RFI preliminare. In questo documento è stata presentata nel dettaglio la progettazione, realizzazione e caratterizzazione completa di questa catena.

Sarà ora possibile procedere con l'installazione sul campo di ciascuna catena ricevente ed iniziare con i primi test osservativi.

Bibliografia

- [1] M. Murgia, G. Bianchi, P. Bolli, et al., "Sardinia Aperture Array Demonstrator," Proceedings of SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, 9145, 2014, pp. 91454S-1 - 91454S-12.
- [2] P. Bolli, M. Z. Farooqui, F. Paonessa, et al., "Sardinia aperture Array Demonstrator: electromagnetic analysis and measurements," Proc. 36th ESA Antenna Workshop on Antennas and RF Systems for Space Science, 2015.
- [3] P. Bolli, G. Comoretto, D. Dallacasa, et al., "Sardinia Array Demonstrator: Instrument overview and status," Proc. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2015.
- [4] M. Schiaffino. Studio e realizzazione di antenne Vivaldi 3.1 per progetto SAD. IRA Technical Reports, n. 516. <http://hdl.handle.net/20.500.12386/25839>
- [5] P. Bolli et al., "From MAD to SAD: The Italian experience for the low-frequency aperture array of SKA1-LOW," in Radio Science, vol. 51, no. 3, pp. 160-175, March 2016, doi: 10.1002/2015RS005922.
- [6] F. Gaudiomonte, A. Ladu, L. Schirru, et al., "Sardinia Aperture Array Demonstrator: Measurement Campaigns of Radio Frequency Interferences", Proceedings of SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, 11445, 2020, pp. 1144579-1_10. Doi: 10.1117/12.2576078.
- [7] Ladu, A.; Schirru, L.; Melis, A.; Perini, F.; Gaudiomonte, F.; Rusticelli, S.; Schiaffino, M.; Concu, R.; Mattana, A.; Murgia, M. Preliminary tests to design an ad hoc signal acquisition chain for the Sardinia Aperture Array Demonstrator. In Proceedings of the 34th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), Rome, It-aly, 28 August–4 September 2021. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560615.
- [8] A. Mattana, S. Rusticelli, M. Schiaffino, F. Perini. SAD iTPM Signal Integrity Test Report. IRA Technical Reports, n. 514. <http://hdl.handle.net/20.500.12386/25837>
- [9] Perini, F.; Schiaffino, M.; Mariotti, S.; Monari, J. INAF/IRA AAlO AAVS0 LNA. IRA Technical report, n. 463/12. <http://hdl.handle.net/20.500.12386/25786>
- [10] Flexible RF cable SPUMA_400-FR-01 Datasheet. Available online: https://www.mouser.it/datasheet/2/829/HUBER_2bSUHNER_SPUMA_400_FR_01_DataSheet-1489459.pdf