

INTERNAL REPORT

Monitoraggio RFI presso il Radio Telescopio di Noto con il laboratorio Mobile di SRT

Serra G., Gaudiomonte F., Poppi S., Nicotra G.¹, Nicotra
L.¹, Bolli P.², Bortolotti C.³, Roma M.³

¹ INAF-IRA-NOTO, ² INAF-Osservatorio di Arcetri, ³ INAF-IRA-Medicina

Report N. 55, released: 16/05/2016

Reviewer: A. Possenti



Osservatorio
Astronomico
di Cagliari

IMPORTANT NOTICE: This document is primarily intended to provide an overview for radio-astronomical purposes only. Every other use of the collected data and/or considerations here reported is not in compliance with the authors wishes and therefore is in no way permitted. Characteristics like band occupancies or the presence of signals, even outside of the frequency bands allocated to the radio-astronomical service, have been observed with the only purpose of optimizing the design of the receivers that will be operating in that specific electromagnetic spectrum environment and/or the choice of the most appropriate observational strategy.

NOTA IMPORTANTE: Si precisa che il presente documento ha avuto come unico scopo quello di rappresentare un'indagine conoscitiva, ad esclusivo uso radio-astronomico. Ogni altro utilizzo dei dati raccolti e/o delle considerazioni ivi effettuate è del tutto arbitrario e contrario alla volontà degli autori. Occupazioni di banda, presenza di segnali a varie frequenze, anche al di fuori delle bande di frequenze assegnate al servizio di radio astronomia, sono state osservate per l'esclusivo scopo di ottimizzare il progetto dei ricevitori che dovranno poi operare in quello specifico ambiente spettrale e/o la scelta della più idonea tipologia/strategia osservativa.

INDICE

| | |
|---|----|
| INDICE | 3 |
| 1. INTRODUZIONE | 4 |
| 2. PRECEDENTI INDAGINI RFI PRESSO NOTO | 5 |
| 3. MISURE RFI CON IL LABORATORIO MOBILE..... | 8 |
| 3.1 Analisi spettrale nell'intervallo di frequenza 0.05-18 GHz..... | 11 |
| 3.2. RFI nelle bande dei ricevitori radio astronomici e nell'area INAF..... | 13 |
| 4. RIEPILOGO RISULTATI E NOTE CONCLUSIVE..... | 14 |
| 5. BIBLIOGRAFIA..... | 15 |

1 **Introduzione**

I ricevitori radio astronomici sono progettati per funzionare in bande di frequenza molto più larghe rispetto a quelle assegnate per legge al servizio di radio astronomia (RAS) [1]. In questo modo i radio astronomi possono allargare l'esplorazione del cielo rispetto alle bande ufficialmente assegnate alla RAS, ma devono convivere con l'eventualità che i radio telescopi ricevano segnali artificiali, aventi potenze di molti ordini di grandezza superiori a quelle dei segnali cosmici, che possono interferire le osservazioni scientifiche e, talvolta, rendere i dati acquisiti inutilizzabili per la ricerca scientifica.

Per rilevare un'interferenza radio, nota anche con l'acronimo inglese RFI (Radio Frequency Interference), è consuetudine, presso le stazioni radio astronomiche, svolgere un monitoraggio di routine delle bande dei ricevitori e in particolare delle bande RAS. Quando un segnale è rilevato all'interno delle bande dei ricevitori, un'indagine più accurata è necessaria per misurarne la frequenza, la direzione e la potenza. Tali misure permettono di accertare un'eventuale violazione delle bande assegnate al servizio radioastronomia e di verificare l'eventuale superamento della soglia di potenza stabilita dalla raccomandazione ITU-R RA.769-2 [2].

Quando tutte queste informazioni sono disponibili, è possibile intraprendere utili azioni a tutela delle osservazioni, come ad esempio: la scelta di opportuni filtri a radio frequenza da inserire nella catena ricevente o l'applicazione di algoritmi di mitigazione dei segnali RFI che agiscono sul segnale ricevuto in tempo reale o in post-elaborazione, quando l'emissione è presente nella banda di un ricevitore radio astronomico, ma non rientra nelle bande RAS. Viceversa se l'emissione occupa illecitamente una banda RAS, si procede con la segnalazione al Ministero dello Sviluppo Economico (MISE, [3]).

In generale, questo *modus operandi* è applicato dal gruppo RFI distribuito tra le stazioni radio astronomiche. In particolare il gruppo RFI italiano opera presso le antenne delle stazioni di Medicina (BO) in Emilia-Romagna [4], di Noto (SR) in Sicilia [5] e presso il radio telescopio SRT di S. Basilio (CA) in Sardegna [6]. I membri locali del gruppo svolgono questa attività in stretta collaborazione tra loro e con gli Ispettorati territoriali competenti [3] con mezzi e sistemi di misura a radio frequenza allo stato dell'arte.

A Medicina è attiva una postazione di misura fissa e un laboratorio mobile, equipaggiati di un sistema ricevente con una copertura in frequenza compresa rispettivamente negli intervalli tra 0.3 e 12 GHz [7],[8] e tra 0.3 e 40 GHz [7],[9]; presso il Radio Telescopio di Noto (NRT) è invece presente una postazione fissa che permette una copertura in frequenza nell'intervallo 0.1 e 3 GHz [10]; infine presso SRT è utilizzato un laboratorio mobile allestito con un sistema ricevente che permette una copertura in frequenza nell'intervallo tra 0.3 e 40 GHz [11]. L'utilizzo di questi strumenti, opportunamente calibrati, permette di misurare la potenza assoluta di un segnale in aria, al netto del guadagno della catena di ricezione, e di confrontarlo con le soglie definite nelle Tabelle in [2].

Di recente i gruppi RFI italiani sono stati chiamati a partecipare con il proprio personale e i mezzi a loro disposizione al Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN) TECNO 2012 dal titolo "*RFI mitigation at the Italian radio telescopes*". Il progetto, finanziato dall' INAF nel 2013 e della durata di due anni, ha come obiettivo quello di realizzare un sistema di mitigazione delle RFI per tutte le bande di frequenza utilizzate per le osservazioni radio astronomiche nei tre radiotelescopi italiani. Per il raggiungimento di questo obiettivo, uno dei passi essenziali proposti nel progetto, è di fornire un quadro generale e aggiornato dello scenario radio nelle bande dei ricevitori installati ai siti delle antenne italiane.

Questo rapporto tecnico descrive quindi la campagna di misure a radio frequenza svolta in Sicilia tra la fine di Novembre e l'inizio di Dicembre del 2014 per monitorare l'ambiente RFI al sito del

NRT anche a frequenze superiori a 3 GHz, quindi oltre la massima frequenza del sistema ricevente della stazione RFI locale. La campagna di misura, finanziata con i fondi del suddetto PRIN, è stata condotta all'interno di una collaborazione tra il team siciliano e quello sardo del gruppo RFI. Quest'ultimo ha raggiunto Noto mediante trasferimento del laboratorio mobile via nave da Cagliari a Noto.

Il monitoraggio è stato eseguito da più postazioni di misura nell'intervallo di frequenza tra 0.1-18 GHz, nelle bande P, L, S, C, C-metanolo e X dei ricevitori a più bassa frequenza del NRT e dove la maggior parte dei servizi di radiocomunicazione hanno le bande allocate. In aggiunta, l'indagine è stata estesa anche a più alta frequenza nell'intervallo tra 18 e 40 GHz (inclusente la banda dei ricevitori K e Q), dove non si poteva escludere a priori la presenza di segnali RFI.

Il resto del rapporto tecnico è così organizzato. Il paragrafo 2 è dedicato alla descrizione del sito di Noto e delle precedenti indagini RFI. La campagna di misura con il laboratorio mobile è descritta nel paragrafo 3 che è stato suddiviso a sua volta in due sotto paragrafi: nel primo è mostrata l'analisi degli spettri acquisiti da due postazione di misura opportunamente selezionate; nel secondo è descritto, invece, l'indagine che ha portato all'individuazione di alcuni dei segnali ricevuti presso la stazione radio astronomica, con particolare attenzione a quelli aventi frequenze all'interno della banda dei ricevitori radio astronomici installati sul NRT. Infine nel paragrafo 4 si riepilogano i risultati ottenuti.

2 *Precedenti indagini RFI presso Noto*

La stazione radio astronomica di Noto si trova nel Sud-Est della Sicilia a circa 12 km dalla città di Noto in provincia di Siracusa ed a circa 100 m sul livello del mare, Figura 1. L'orografia del territorio intorno alla stazione è tale che il NRT sia più esposto alla ricezione di eventuali segnali RFI a partire dal settore meridionale proseguendo poi fino a Ovest in senso orario (si veda Figura 2).

Il NRT opera attualmente in 8 bande di frequenza non contigue da circa 250 MHz fino a 43 GHz e da due posizioni focali (primario e cassegrain, si veda la Tabella 1). La Tabella 1 mostra inoltre le bande ad uso secondario, primario ed esclusivo assegnate alla RAS e alla ricerca spaziale dal Piano Nazionale di Ripartizione Frequenze [12] che, come è possibile notare, rappresentano solo una piccola parte delle bande dei ricevitori in uso.

Presso la stazione di Noto è attivo un monitoraggio radio, durante le sessioni osservative, delle bande IF (compresa tra 100 e 500 MHz) dei ricevitori con l'analizzatore di spettro. Questo approccio ha tuttavia alcuni limiti tra cui la difficoltà ad esprimere la potenza misurata nei termini definiti in [2]. Perciò anche a Noto ci si affida ad un sistema di ricezione indipendente dal radio telescopio, che allo stato attuale è in grado di eseguire un monitoraggio completo fino ad una frequenza massima di 3 GHz. Per questa ragione è nata l'esigenza di svolgere un monitoraggio RFI intorno al sito su un più ampio intervallo di frequenza che includesse anche le bande dei ricevitori a più alta frequenza.

In previsione della nuova campagna di monitoraggio, il team locale RFI di Noto ha realizzato alcune simulazioni con il software Microwave Path Profile Estimation [13] per individuare le direzioni dalle quali sarebbe stato più probabile aspettarsi delle interferenze nelle bande dei ricevitori e, poi, ha svolto un'indagine conoscitiva dei principali servizi radio presenti nel territorio che avrebbero potuto trasmettere da quelle particolari direzioni.

In Figura 3 è mostrata la mappa del territorio intorno alla stazione di Noto prodotta con Path Profile,

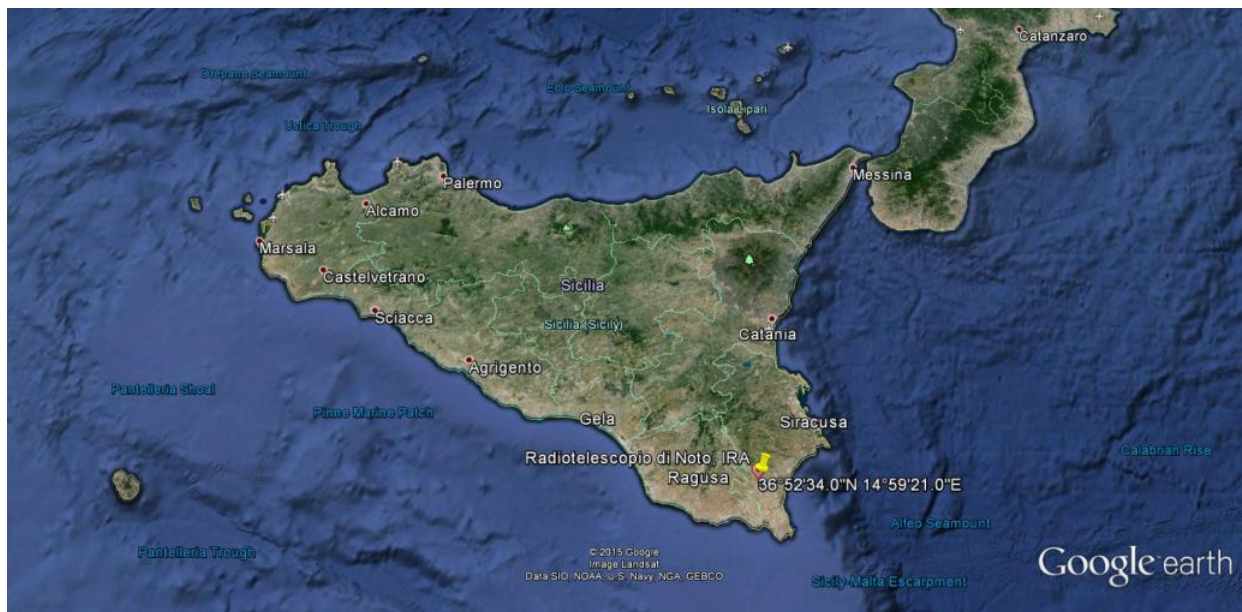


Figura 1 Posizione geografica della stazione radio astronomica di Noto da Google Map

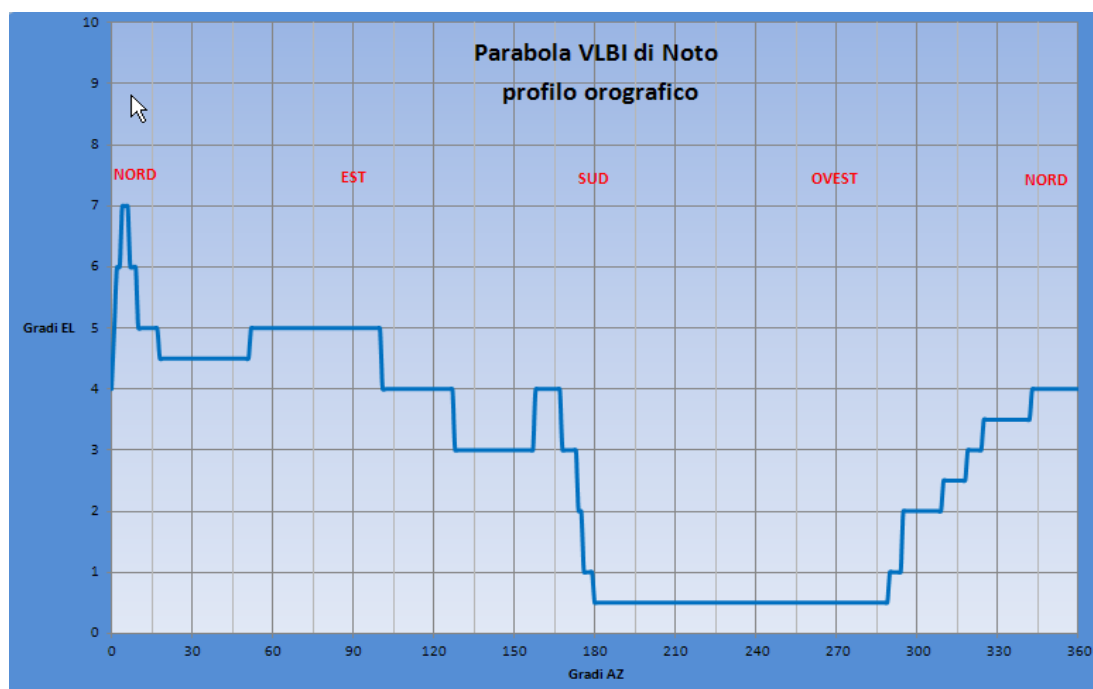


Figura 2 Profilo orografico intorno al radio telescopio di Noto

nella quale si evidenzia in falsi colori l'attenuazione di tratta di un segnale trasmesso da un'ipotetica antenna installata sulla sommità del NRT con una potenza pari a 1 W (EIRP) alla frequenza di 1.5 GHz. I colori freddi (dal celeste al verde) evidenziano le direzioni intorno al sito del radio telescopio dove il segnale si propaga maggiormente per l'assenza di rilievi montuosi, presenti invece nelle zone della mappa contraddistinte dai colori caldi (dal giallo al viola).

La Figura 4 mostra invece la posizione degli impianti di trasmissione dei principali servizi (civili e militari) presenti in un raggio di circa 50 km intorno al NRT, dai quali in linea di principio è possibile ricevere un segnale interferente più o meno intenso secondo la mappa dell'attenuazione di tratta mostrata in Figura 3.

| Posizione focale | Banda Ricevitore (Nome) [GHz] | Bande RAS uso secondario, primario (*) ed esclusivo(**) [GHz] | Bande Ricerca Spaziale uso primario [GHz] |
|------------------|-------------------------------|---|---|
| Primario | 0.256-0.512 (P) | 0.3220-0.3286, 0.4061-0.4100(*) | - |
| Primario | 1.400-1.708 (L) | 1.400-1.427(**), 1.6106-1.6138(*), 1.660-1.670(*) | - |
| Primario | 2.189-2.371 (S) | - | 2.2-2.3 |
| Secondario | 4.70-5.15 (C basso) | 4.825-4.835, 4.95-5.00 | - |
| Secondario | 6.50-6.80 (C alto Metanolo) | 6.6500-6.6752 | - |
| Primario | 8.138-8.922 (X) | - | 8.4-8.5 |
| Secondario | 21.18-22.46 (K) | 22.-22.5(*) | - |
| Secondario | 39.00-43.50 (Q) | 42.5-43.5(*) | - |

Tabella I Bande di frequenza dei ricevitori installati e funzionanti presso il NRT e relative sotto bande assegnate al RAS alla ricerca spaziale con diversi livelli di salvaguardia.

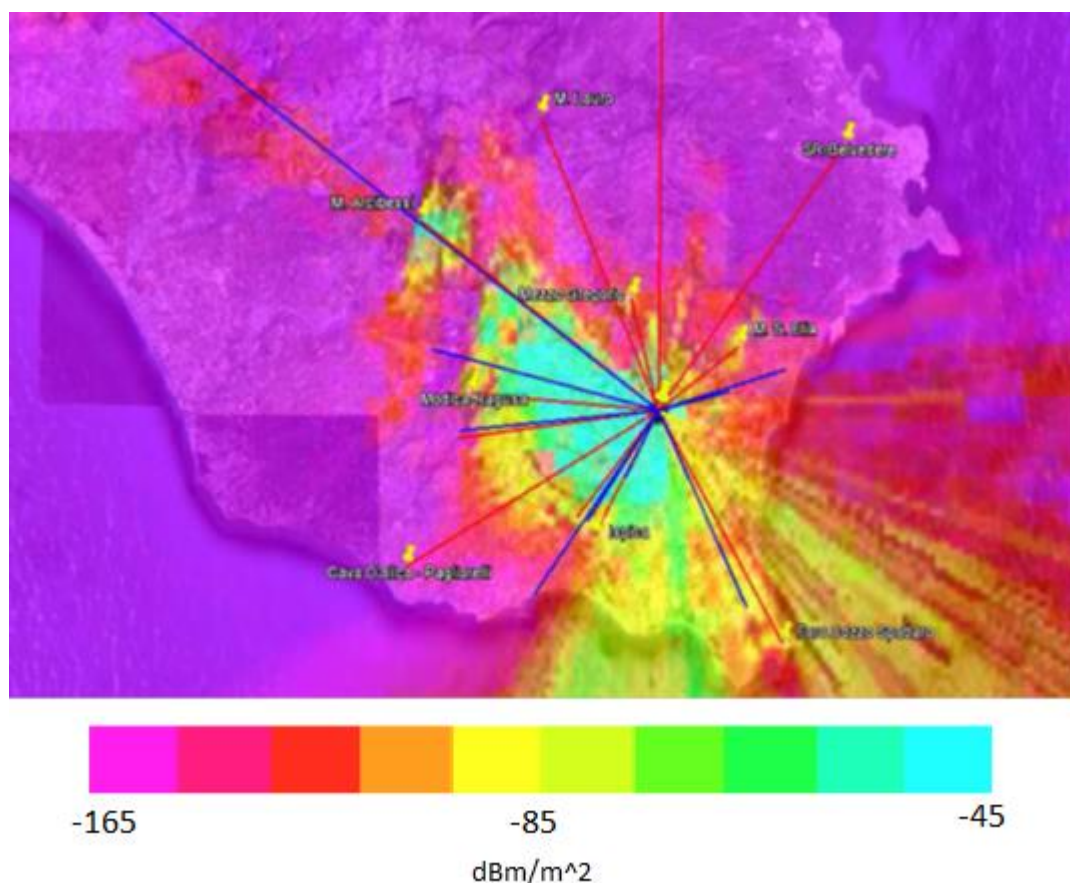


Figura 3 Mappa prodotta con il software Path profile dell'attenuazione di tratta di un segnale trasmesso con una potenza pari a 1 W(EIRP) ad una frequenza pari a 1.5 GHz da un'ipotetica antenna montata sulla cima del NRT. La mappa è rappresentativa di un'area di circa 100 x100 km²

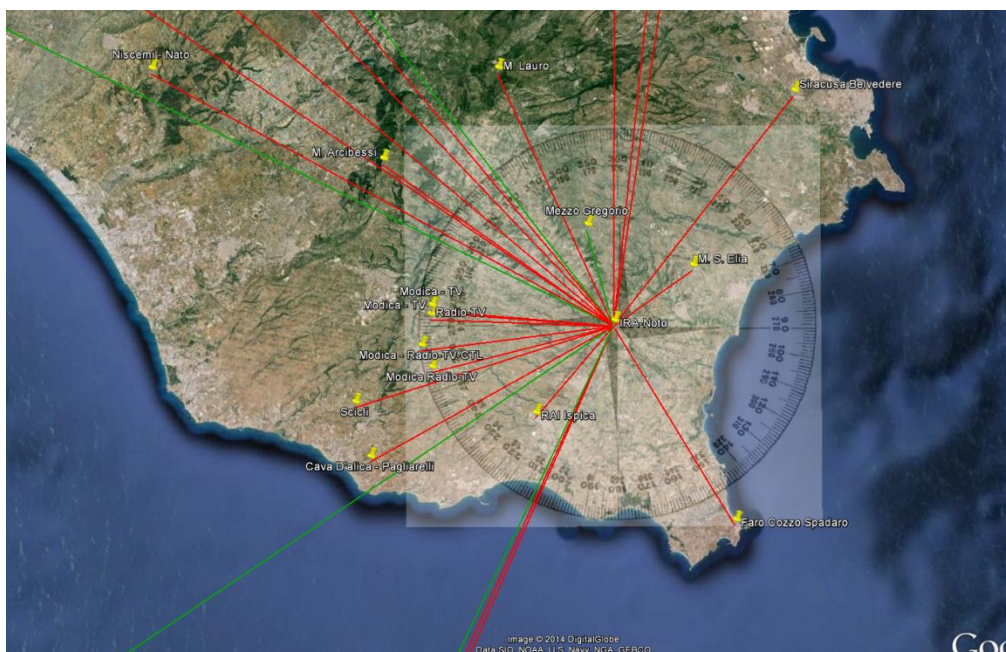


Figura 4 Mappa costruita da un'immagine di Google Earth. Sono mostrate le principali installazioni radio in un raggio di circa 50 Km intorno all' NRT e le relative direzioni dalle quali ci si può aspettare la propagazione di un segnale. Le righe rosse individuano le installazioni militari, le righe verdi quelle civili. Le righe che si allungano oltre i 50 Km di raggio incontrano le installazioni radio di Malta e Lampedusa a Sud e l'isola di Ustica e la città di Marsala a Ovest-Nord-Ovest.

3 Misure RFI con il laboratorio mobile

La campagna di misure RFI presso il NRT con il laboratorio mobile si è svolta dal 29 Novembre al 6 Dicembre 2014, trasporto incluso. Durante questo periodo sono stati effettuati numerosi rilievi nella banda di frequenza tra 0.05 e 40 GHz ed acquisiti numerosi spettri in entrambe le polarizzazioni lineari, verticale (Pol V) ed orizzontale (Pol H).

I primi giorni di rilievi sono stati necessari per conoscere lo scenario dello spettro radio locale, scegliere le postazioni più agevoli da raggiungere con il furgone e, allo stesso tempo, più adatte per effettuare le misure RFI. Il principio seguito è stato quello di porsi nelle condizioni migliori per poter ricevere tutti i segnali radio a tutte le frequenze e da tutte le direzioni, acquisire informazioni sulla presenza di segnali maggiormente dannosi per le osservazioni e ripetere le misure in prossimità del radiotelescopio, dove è quindi possibile effettuare stime più realistiche del loro impatto sull'osservazione astronomica.

Una prima postazione è presso il monte Renna ($36^{\circ}55'22.7''$ N, $14^{\circ}59'02.9''$ E, 600 m s.l.m) situato a circa 5 km in linea d'aria dal NRT in direzione Nord (Figura 5.a). Da tale postazione, che si presenta con un orizzonte libero da ostacoli in tutte le direzioni per decine di km, è stato possibile costruire uno scenario spettrale completo rilevando anche quei segnali provenienti dai settori Nord e Est che l'orografia intorno alla stazione radioastronomica del NRT riesce a schermare. Le altre postazioni sono state scelte nei pressi ed alla stessa quota sul livello del mare del NRT (che da qui in poi chiameremo tutte indistintamente "Area INAF", Figura 5.b). Da queste ultime è stato possibile rilevare uno scenario radio confrontabile con quello che può ricevere il NRT, anche se con diversa sensibilità, includendo inoltre gli eventuali segnali radio emessi dai sistemi e apparati elettronici installati presso l' "Area INAF" classificate come auto-interferenze.

Le misure sono state svolte in due giorni, prima presso la postazione sul monte Renna, il 3 Dicembre, e poi nei pressi dell' "Area INAF" il 4 Dicembre. Sulla base delle caratteristiche del sistema di ricezione del laboratorio mobile [11] e delle peculiarità dello scenario radio rilevato nei



Figura 5 Postazioni di misura scelte durante la campagna di misure RFI con il laboratorio mobile: nei pressi del Monte Renna a sinistra (5.a) e nei pressi di una delle postazioni indicate come l' "Area INAF" a destra (5.b)

precedenti giorni di indagine, si è scelto di dividere l'ampio intervallo di frequenze (circa 18 GHz da 0.05 a 18 GHz) in 9 sotto intervalli, come mostrato nelle Tabelle I e II, relative, rispettivamente, alle misure presso il monte Renna e presso l' "Area INAF". Nelle Tabelle I e II riepiloghiamo: le impostazioni dell'analizzatore di spettro (Agilent PSA E4446A) nelle colonne da 1 a 5, il canale del sistema ricevente del laboratorio mobile e il tipo di antenna utilizzati per ciascuno di questi intervalli di frequenza nella colonna 6 e, infine, il guadagno del sistema (antenna inclusa) per ciascuna di queste configurazioni di misura nella colonna 7 [14].

In realtà dalla postazione sul monte Renna è stata svolta anche un'approfondita indagine nell'intervallo di frequenze tra 18 e 40 GHz, i cui spettri, tuttavia, sono risultati liberi da segnali radio e per questa ragione non degni di nota nel seguito del documento. Inoltre, sono state eseguite alcune misure nei pressi del NRT per escludere la presenza di link radio in bande conosciute e normalmente utilizzate dagli operatori telefonici, che potrebbero compromettere l'attività osservativa in banda K.

L'attenzione maggiore è stata posta nell'intervallo di frequenza tra 0.05 e 18 GHz che risulta maggiormente utilizzato da parte dei servizi radio civili e militari.

Questo intervallo di frequenze è stato rappresentato con un adeguato numero di punti, impostando l'analizzatore di spettro in due distinte configurazioni di risoluzione: a banda larga (*Resolution Band Width*, RBW, e *Video Band Width*, VBW, pari a 3 MHz), acquisendo un campione ogni MHz ed a banda stretta (RBW e VBW pari a 0.1 MHz), acquisendo un campione ogni 0.25 MHz, si vedano ancora le Tabelle I e II. Inoltre per una dettagliata descrizione degli spettri acquisiti dalle due postazioni di misura, si rimanda al sotto-paragrafo 3.1. Il sotto-paragrafo 3.2 è dedicato principalmente all'indagine sui segnali ricevuti durante le misure presso l' "Area INAF" e, in particolare, su quelli che rientrano nelle bande dei ricevitori radioastronomici, che per praticità sono elencati nella Tabella III.

| Frequency span [GHz] | RBW/VBW [MHz] | # punti | Sweep Time [s] | Bin [MHz] | Amplif System/Antenna | System gain (max,min) [dB] | Figure |
|----------------------|---------------|---------|----------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|--------|
| 0.05-1 | 3/3 | 950 | 0.1 | 1 | NO/LPDA370-10 | (6,5) | 6.a |
| | 0.1/0.1 | 3800 | 0.2 | 0.25 | | | 6.c |
| 1-1.4 | 3/3 | 400 | 0.1 | 1 | NO/LPDA2000-10 | (6,5) | 8.a |
| | 0.1/0.1 | 1600 | 0.1 | 0.25 | | | 8.c |
| 1.4-2 | 3/3 | 600 | 0.1 | 1 | Box IF Ch B/ LPDA2000-10 | (42,40) | 9.a |
| | 0.1/0.1 | 2400 | 0.1 | 0.25 | | | 9.c |
| 2-3 | 3/3 | 1000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch C/ Horn DRG-118-A | (40,38) | 11.a |
| | 0.1/0.1 | 4000 | 0.1 | 0.25 | | | 11.c |
| 3-5 | 3/3 | 2000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch D/ Horn DRG-118-A | (38,34) | 13.a |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 13.c |
| 5-7 | 3/3 | 2000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch E/ Horn DRG-118-A | (63,60) | 15.a |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 15.c |
| 7-9 | 3/3 | 2000 | 1 | 1 | Box IF Ch F/ Horn DRG-118-A | (60,57) | 17.a |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 17.c |
| 9-11 | 3/3 | 2000 | 1 | 1 | Box IF Ch F/ Horn DRG-118-A | (56,53) | 19.a |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 19.c |
| 11-18 | 3/3 | 7000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch F/ Horn DRG-118-A | (53,43) | 20.a |
| | 0.1/0.1 | 28000* | 0.1 | 0.25 | | | 20.c |

Tabella 1 Riepilogo delle sotto bande di frequenza, delle configurazioni della catena ricevente del laboratorio mobile utilizzate durante le misure svolte presso il Monte Renna.

| Frequency span [GHz] | RBW/VBW [MHz] | # punti | Sweep Time [s] | Bin [MHz] | Ampl. box Channel/Antenna | System gain (max,min) [dB] | Figure |
|----------------------|---------------|---------|----------------|-----------|---------------------------|----------------------------|--------|
| 0.05-1 | 3/3 | 950 | 0.1 | 1 | NO/LPDA370-10 | (6,5) | 6.b |
| | 0.1/0.1 | 3800 | 0.2 | 0.25 | | | 6.d |
| 1-1.4 | 3/3 | 400 | 0.1 | 1 | Box IF Ch B/ LPDA2000-10 | (43,42) | 8.b |
| | 0.1/0.1 | 1600 | 0.1 | 0.25 | | | 8.d |
| 1.4-2 | 3/3 | 600 | 0.1 | 1 | Box IF Ch B/ LPDA2000-10 | (42,40) | 9.b |
| | 0.1/0.1 | 2400 | 0.1 | 0.25 | | | 9.d |

| | | | | | | | |
|-------|---------|--------|-----|------|--------------------------------|---------|------|
| 2-3 | 3/3 | 1000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch C/Horn DRG-118-A | (40,38) | 11.b |
| | 0.1/0.1 | 4000 | 0.1 | 0.25 | | | 11.d |
| 3-5 | 3/3 | 2000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch D/Horn DRG-118-A | (38,34) | 13.b |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 13.d |
| 5-7 | 3/3 | 2000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch E/Horn DRG-118-A | (63,60) | 15.b |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 15.d |
| 7-9 | 3/3 | 2000 | 1 | 1 | Box IF Ch F/Horn DRG-118-A | (60,57) | 17.b |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 17.d |
| 9-11 | 3/3 | 2000 | 1 | 1 | Box IF Ch F/Horn DRG-118-A | (56,53) | 19.b |
| | 0.1/0.1 | 8000 | 0.2 | 0.25 | | | 19.d |
| 11-18 | 3/3 | 7000 | 0.1 | 1 | Box IF Ch F/ Horn DRG-118-A | (53,43) | 20.b |
| | 0.1/0.1 | 28000* | 0.1 | 0.25 | | | 20.d |

Tabella II Riepilogo delle sotto bande di frequenza, delle configurazioni della catena ricevente del laboratorio mobile utilizzate durante le misure svolte presso l'Area INAF.

3.1 Analisi spettrale nell'intervallo di frequenza 0.05-18 GHz

Gli spettri acquisiti nell'intervallo di frequenze compreso tra 0.05 e 18 GHz sono mostrati nelle Figure da 6 a 20. In particolare nelle Figure 6, 8, 9, 11, 13, 15, 17, 19 e 20 sono riportati gli spettri in Pol H e V acquisiti dal monte Renna (a sinistra in alto spettri a banda larga #.a, a sinistra in basso spettri a banda stretta #.c, dove # indica il numero della figura) e quelli acquisiti dall' "Area INAF" (a destra in alto spettri a banda larga #.b e a destra in basso spettri a banda stretta #.d). Le Figure 7, 10, 12, 14, 16 e 18 mostrano rispettivamente gli zoom, nelle bande dei ricevitori del NRT, degli spettri nelle Figure 6.b e d, 9.b e d, 11.b e d, 13.b e d, 15.b e d e 17.b e d acquisiti presso l' "Area INAF".

I livelli di potenza riportati nelle ascisse degli spettri mostrati nelle Figure da 6 a 20 si riferiscono all'ampiezza del segnale ricevuto all'analizzatore di spettro in modalità di acquisizione *maxhold* su una scansione di 360 gradi della durata di circa un minuto ad un'altezza di 8 m dal suolo. A tali livelli di potenza è già stato rimosso il guadagno del sistema (incluso quello delle antenne), si veda la colonna 7 delle Tabelle I e II. Per fare questa operazione si è supposto un guadagno del sistema che diminuisce gradualmente all'aumentare della frequenza nell'intervallo di valori compreso tra il valore massimo e minimo che è riportato per ciascun intervallo di frequenza nella colonna 7 delle Tabelle I e II. Pertanto il risultato di questa operazione permette di stimare i valori dei segnali equivalenti a quelli ricevuti da un'antenna isotropica.

Inoltre si vuole far notare che a parità di sotto-banda, si è scelto di utilizzare le stesse impostazioni all'analizzatore di spettro e stesso canale del sistema ricevente per facilitare il confronto tra gli spettri acquisiti presso le due postazioni di misura.

Questo approccio è stato seguito anche nella sotto-banda 0.05-1 GHz, nella quale però il canale A del sistema di amplificazione del box IF non è mai stato utilizzato, preferendo un collegamento diretto dall' antenna all'analizzatore di spettro su entrambe le postazioni di misura. Questa scelta era determinata dal fatto che il canale A amplifica solo la banda 0.3-0.42 GHz, in quanto tale canale è stato progettato per il monitoraggio della banda del ricevitore P di SRT, e non amplifica le

rimanenti porzioni di sotto-banda sotto i 0.3 GHz e sopra i 0.42 GHz. In questo modo abbiamo rinunciato ad ottenere una maggiore sensibilità nell'intervallo 0.3-0.42 GHz, ma abbiamo ottenuto una sensibilità uguale su tutto il sotto intervallo di misura 0.05-1 GHz.

In realtà solo in un caso abbiamo usato una configurazione del sistema ricevente diversa a parità di sotto-banda tra le due postazioni di misura: questo è il caso della sotto-banda 1-1.4 GHz. Infatti dalla postazione sul monte Renna, sono state eseguite misure senza l'utilizzo del sistema di amplificazione, collegando l'uscita dell'antenna direttamente all'analizzatore di spettro, per evitare la saturazione della catena ricevente a causa dell'elevata potenza dei segnali ricevuti a quella quota. Questo non accadeva presso la postazione "Area INAF" a una quota più bassa, dove invece l'utilizzo del sistema di amplificazione è stato necessario per aumentare la sensibilità della catena ricevente. Per questa ragione, a parità di impostazioni dell'analizzatore di spettro, il *noise floor* degli spettri acquisiti in questo particolare intervallo di frequenze nella postazione "Area INAF" risulta essere più basso rispetto a quello degli spettri acquisiti nell'altra postazione di circa 19 dB.

Dal confronto tra gli spettri acquisiti dalle due diverse postazioni di misura, appare evidente che lo scenario radio presso l' "Area INAF" è caratterizzato dalla presenza di un numero inferiore di segnali e ciascuno di questi più attenuato rispetto ai corrispondenti segnali misurati presso la postazione sul monte Renna, come del resto ci potevamo aspettare, considerando l'effetto schermante dovuto all'orografia del territorio. Ad ogni modo, questo fatto appare più evidente negli intervalli di frequenza dove sono concentrati i servizi radio-TV digitali *broadcasting* della telefonia mobile terrestre (GSM e UMTS, Figure 6 e 9), ma anche in quelli riservati al servizio di radio-localizzazione aeronautica (Figura 8). In particolare, un'indagine più accurata dalla postazione "Area INAF" sulla banda allocata a quest'ultimo servizio ha permesso di escludere la presenza di segnali spuri in prossimità della banda RAS 1400-1427 MHz, come si vede meglio in Figura 21.

All'interno di questi intervalli di frequenza le bande dei ricevitori P e L e, in particolare, le bande RAS risultano quasi del tutto esenti da segnali RFI, si vedano le Figure 7.a, 7.b e 10.a, 10.b, zoom rispettivamente degli spettri nelle Figure 6.b, 6.d e 9.b e 9.d. Alcune eccezioni da segnalare sono nella banda RAS 1400-1427 MHz, dove tre segnali sono stati ricevuti alle frequenze 1406, 1412 e 1414 MHz, come mostra la Figura 10.a. Tali segnali, aventi ciascuno una larghezza di banda di circa 1 MHz e potenza pari a circa -100 dBm, sono stati misurati in Pol H presso l' "Area INAF", ma non sono presenti negli spettri acquisiti presso il monte Renna. Questo potrebbe far pensare che la o le sorgenti di questi segnali si trovino vicino all' "Area INAF" o al suo interno, e non siano ricevibili dalla postazione sul monte Renna. In ogni caso ulteriori indagini sono necessarie per accertarne la direzione e l'origine dell'emissione. Questi e gli altri segnali ricevuti nelle bande di frequenza dei ricevitori durante questa campagna di misure sono riepilogati nella Tabella III, come promemoria per un approfondimento nel sotto paragrafo successivo e anche per eventuali indagini future.

Anche i segnali ricevuti presso la postazione "Area INAF" nell'intervallo di frequenza 2-3 GHz appaiono fortemente attenuati, eccezione fatta per i segnali nella banda del servizio Wi-Fi e UMTS, si veda la Figura 11, che sono ricevuti quasi con la stessa potenza da entrambe le postazioni di misura. Ciononostante, la banda del ricevitore S appare quasi del tutto libera da RFI, eccezion fatta per qualche segnale ricevuto al centro della banda (all'interno della banda riservata alla ricerca spaziale) a 2279 MHz e all'estremità alta della banda a 2368 MHz, si vedano la Figura 12 e la Tabella III. Inoltre vale la pena notare che i segnali del servizio LTE della telefonia mobile a larga banda, le cui installazioni sono in continuo aumento sul territorio nazionale, non sono stati ricevuti dalle due postazioni di misura.

Negli intervalli di frequenza tra 3-5 GHz (Figura 13) e 5-7 GHz (Figura 15) sono ricevibili ancora dei servizi radio, ancora in numero inferiore e più attenuati presso la postazione dell' "Area INAF" (Figure 13.b e d e Figure 15.b e d) rispetto a come vengono ricevuti dalla postazione presso il Monte Renna (Figure 13.a e c e Figure 15.a e c), tutti, comunque, fuori dalle bande dei ricevitori C

basso e C-metanolo, le quali sono risultate completamente libere da RFI, come appare evidente dalle Figure 14 e 16.

Si vuole far notare, inoltre, che le piccole oscillazioni, che si sommano al *noise floor*, ben visibili in Figura 16, sono dovute all'effetto di un disadattamento della catena di ricezione a partire dal canale E (5-7 GHz) e fino al canale F (7-18 GHz). Tale effetto non è presente invece nella catena RF degli altri canali (Box IF Ch da A a D) del sistema ricevente. Nonostante la presenza di queste oscillazioni, che tendono peraltro ad aumentare in ampiezza con la frequenza, le misure negli intervalli di frequenza tra 7-9 GHz (Figura 17), 9-11 GHz (Figura 19) e 11-18 GHz (Figura 20) permettono di valutare l'occupazione di banda di segnali aventi potenza a partire da circa 5 dB (ossia, oscillazione massima causata dal disadattamento) sopra il *noise floor*. In queste condizioni di misura l'intervallo di frequenza tra 7 e 9 GHz, ed al suo interno la banda del ricevitore X (Figura 18), e l'intervallo tra 11 e 18 GHz delle misure svolte presso l'Area INAF (Figure 20.b e d) risultarono esenti da RFI. Alcuni segnali sono stati ricevuti invece nell'intervallo di frequenze 9-11 GHz intorno a 9.4 GHz, ma al momento in quelle frequenze sul NRT non è installato alcun ricevitore radio astronomico.

3.2 RFI nelle bande dei ricevitori radio astronomici e nell'area INAF

Le misure effettuate dalle due postazioni di misure il 3 e 4 Dicembre sono state molto utili per dipingere un quadro generale dello scenario radio intorno al NRT, individuare la frequenza e la massima potenza dei principali segnali presenti in aria e, tra questi, quelli che possono interferire le bande dei ricevitori installati sul radio telescopio (si veda la Tabella III). Tuttavia, di questi segnali RFI non si conosceva da quale apparato e da quale direzione fossero trasmessi. Per questa ragione gli ultimi giorni della campagna di misura sono stati dedicati a cercare di identificarli in modo inequivocabile. Qui di seguito riportiamo alcuni esempi dei segnali che sono stati identificati, mentre i rimanenti non identificati (si vedano le righe della colonna 6 in Tabella III con l'acronimo N.I.) saranno oggetto di indagine di una futura campagna di misura. Inoltre si vuole far notare che mentre i valori di potenza dei segnali riportati nella tabella III sono già stati decurtati del guadagno del sistema, i valori di potenza degli spettri, ai quali si fa riferimento in questo sotto paragrafo, includono ancora il guadagno della catena ricevente utilizzata per misurarli.

Una prima indagine nella banda del ricevitore P (da 250 MHz a 450 MHz, ossia in corrispondenza dell'intervallo di funzionamento del canale A del sistema di ricezione del laboratorio mobile 300-420 MHz) e nella banda del ricevitore L (fino a 1427 MHz) ha rilevato che alcuni dei segnali elencati in Tabella III provenivano da una stessa direzione pari a 160° di azimut e riconducibili con molta probabilità alla 50 Hz. Si può ipotizzare, infatti, che tali segnali siano emessi da un trasformatore Media Tensione-Bassa Tensione (del tipo mostrato nella Figura 22) posto sulla sommità di un palo di sostegno di una linea elettrica situata a poche centinaia di metri dalla recinzione dell'area INAF in quella stessa direzione. Gli spettri di tali segnali sono mostrati nelle Figure da 23 a 26 nella polarizzazione prevalente, ossia quella orizzontale.

La Figura 23 mostra i tre spettri acquisiti nella banda 250-450 MHz presso l'area INAF davanti alla foresteria, prima in direzione del trasformatore (traccia celeste analizzatore di spettro sincronizzato alla 50 Hz, traccia gialla con strumento non sincronizzato) e, poi, con l'antenna puntata in alto verso il cielo (traccia viola). Lo spettro del segnale sincronizzato alla 50 Hz e acquisito alla frequenza di 250 MHz con l'analizzatore di spettro in modalità *maxhold* e *zero span* (per una visualizzazione del fenomeno nel tempo) è mostrato in Figura 24. Lo stesso fenomeno è stato poi misurato anche a più alta frequenza all'interno della banda RAS 1400-1427 MHz e mostrato nelle Figure 25 e 26. La prima di queste figure mostra il segnale ricevuto all'analizzatore di spettro, con quest'ultimo sincronizzato alla 50 Hz, prima, mentre l'antenna puntava nella direzione del trasformatore (traccia

gialla) e, poi, mentre puntava in alto verso il cielo (traccia viola). La seconda figura mostra invece lo stesso segnale ricevuto in modalità *zero span* e *maxhold* alla frequenza (1415 MHz), in corrispondenza della quale si è misurato il massimo nello spettro mostrato in Figura 25. E' importante sottolineare che finché non sarà possibile avvicinarsi al trasformatore elettrico in questione (finora non lo è stato in quanto l'area interessata non è facilmente accessibile), non si potrà avere la certezza assoluta che il medesimo trasformatore sia la sorgente dei segnali rilevati.

Durante i rilievi di quest'ultima indagine nella banda del ricevitore P presso l'area INAF sono emersi altri segnali RFI, mai rilevati prima, provenienti dalla direzione Nord e interni alla stazione radio astronomica. Da ulteriori misure effettuate all'interno e all'esterno della recinzione della stazione si è trovato, infatti, che il sistema automatico di apertura del cancello di ingresso (si veda la Figura 27) generava segnali RFI a larga banda in entrambe le polarizzazioni lineari, ma con maggiore intensità in Pol H. Nelle Figure 28 e 29 sono mostrati rispettivamente lo spettro in Pol H del segnale mentre l'antenna del laboratorio mobile puntava verso il cancello, e lo spettro a 318 MHz con l'analizzatore di spettro impostato in modalità *zero span* e *max hold*. Nel dettaglio, cerchiato in rosso in Figura 27, è mostrato invece il trasmettitore del sistema di apertura automatico, il quale è stato inequivocabilmente riconosciuto come sorgente dell'emissione RFI in questione, dopo un avvicinamento con un analizzatore di spettro ed un'antenna log-periodica portatili.

Tra gli altri segnali RFI elencati nella Tabella III, di alcuni è stata individuata la direzione di massimo, ma non è stato possibile effettuare un avvicinamento. Questo è il caso dei segnali in banda L massimizzati a 90, 210 e 135 gradi. Dei segnali rimanenti si è semplicemente preso nota rimandando la loro identificazione ad una prossima campagna di misura.

Infine, vale la pena riferire anche di altre due sorgenti RFI che sono state ricevute all'interno dell'area INAF e individuate come auto-interferenze. Benché queste ultime fossero ricevute in frequenze al di fuori delle bande dei ricevitori, i relativi segnali sono stati individuati e, laddove è stato possibile, spenti.

Il primo esempio si riferisce al segnale a 8080 MHz, si veda lo spettro in Figura 30, che era generato da un oscillatore digitale interno del ricevitore PLSX, sul quale, in quel periodo, erano in corso dei test nel piazzale davanti alla finestra del laboratorio della stazione (Figura 31). Il segnale, che probabilmente passava attraverso una delle aperture poste nella parte alta del ricevitore, è sparito quando l'alimentatore dell'oscillatore è stato spento.

Altri esempi sono i segnali a 29.25 e 39.01 GHz, ossia terza e quarta armonica della frequenza fondamentale a 9.75 GHz dell'oscillatore locale dell'illuminatore di un sistema satellitare commerciale installato sul tetto della stazione, si veda la Figura 32. Una volta individuata la sorgente di emissione, il sistema satellitare è stato spento ed i due segnali sono spariti dall'analizzatore di spettro.

4 Riepilogo risultati e note conclusive

La prima campagna di misura RFI con il laboratorio mobile di SRT presso la stazione radio astronomica di Noto ha fornito una descrizione generale dell'ambiente radio intorno al radio telescopio nell'ampio intervallo di frequenze tra 0.05 e 40 GHz e, soprattutto, ha permesso di monitorare le bande dei ricevitori radio astronomici allo scopo di rilevare eventuali segnali RFI. Dall'analisi degli spettri è risultato che le bande dei ricevitori C basso e C-metanolo, X, K e Q sono del tutto esenti da RFI, mentre le bande dei ricevitori P, L, e S presentano alcuni segnali RFI che hanno richiesto o richiederanno ulteriori indagini e che abbiamo riportato nella Tabella III. Di questi ultimi alcuni, quelli la cui origine è stata individuata nei pressi della stazione radio astronomica, sono riconducibili ad auto-interferenze, altri, quelli probabilmente dovuti ad altri servizi, richiedono

ulteriori indagini conoscitive.

Tuttavia, per accertarsi in che misura i segnali elencati in Tabella III possano interferire le osservazioni radio astronomiche, è necessario condurre nuove indagini che prevedano delle misure ad hoc per ogni segnale e, soprattutto, da distanza ravvicinata per identificare al di sopra di ogni dubbio la relativa sorgente. A partire, per esempio, dalle indagini sui segnali ricevuti nella banda RAS 1400-1427 MHz generati probabilmente dal mal funzionamento di un trasformatore della linea elettrica che, per la vicinanza al radio telescopio, desta maggiore preoccupazione. Proseguendo poi con le indagini sui segnali a più alta frequenza (in banda L, S e X) di cui si conosce la direzione di massimo, ma non la sorgente.

Pertanto sarebbe auspicabile ripetere la campagna di misura da una parte per identificare eventuali nuovi segnali nelle bande dei ricevitori del NRT e dall'altra per approfondire l'indagine sui segnali potenzialmente interferenti già identificati e, a maggior ragione, su quelli ancora da identificare.

Bibliografia

- [1] <http://www.craf.eu/CRAFhandbook3.pdf>
- [2] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/ra/R-REC-RA.769-2-200305-I!!PDF-E.pdf
- [3] <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/component/content/article?viewType=1&id=1000763>
- [4] <http://www.med.ira.inaf.it/>
- [5] <http://www.noto.ira.inaf.it/>
- [6] <http://www.srt.inaf.it/>
- [7] http://www.med.ira.inaf.it/Interferenze_page.htm
- [8] <https://www.ira.inaf.it/Library/rapp-int/465-12.pdf>
- [9] https://www.ira.inaf.it/Library/rapp-int/420_08.pdf
- [10] <https://www.ira.inaf.it/Library/rapp-int/379-06.pdf>
- [11] Bolli, P. ; Gaudiomonte, F. ; Ambrosini, R. ; Bortolotti, C. and more authors “*The Mobile Laboratory for Radio-Frequency Interference Monitoring at the Sardinia Radio Telescope*” Antennas and Propagation Magazine, IEEE, Vol. 55, Issue: 5, Ottobre 2013
- [12] <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/comunicazioni/radio/pnrf-piano-nazionale-di-ripartizione-delle-frequenze>
- [13] <http://www.mike-willis.com/software.html>
- [14] P. Bolli, F. Gaudiomonte, R. Ambrosini, C. Bortolotti, M. Roma, Internal Report N. 20 – Agosto 2012, *Il sistema di ricezione del laboratorio mobile per misure RFI*, disponibile al web link: http://www.oa-cagliari.inaf.it/area.php?page_id=10&skip=3

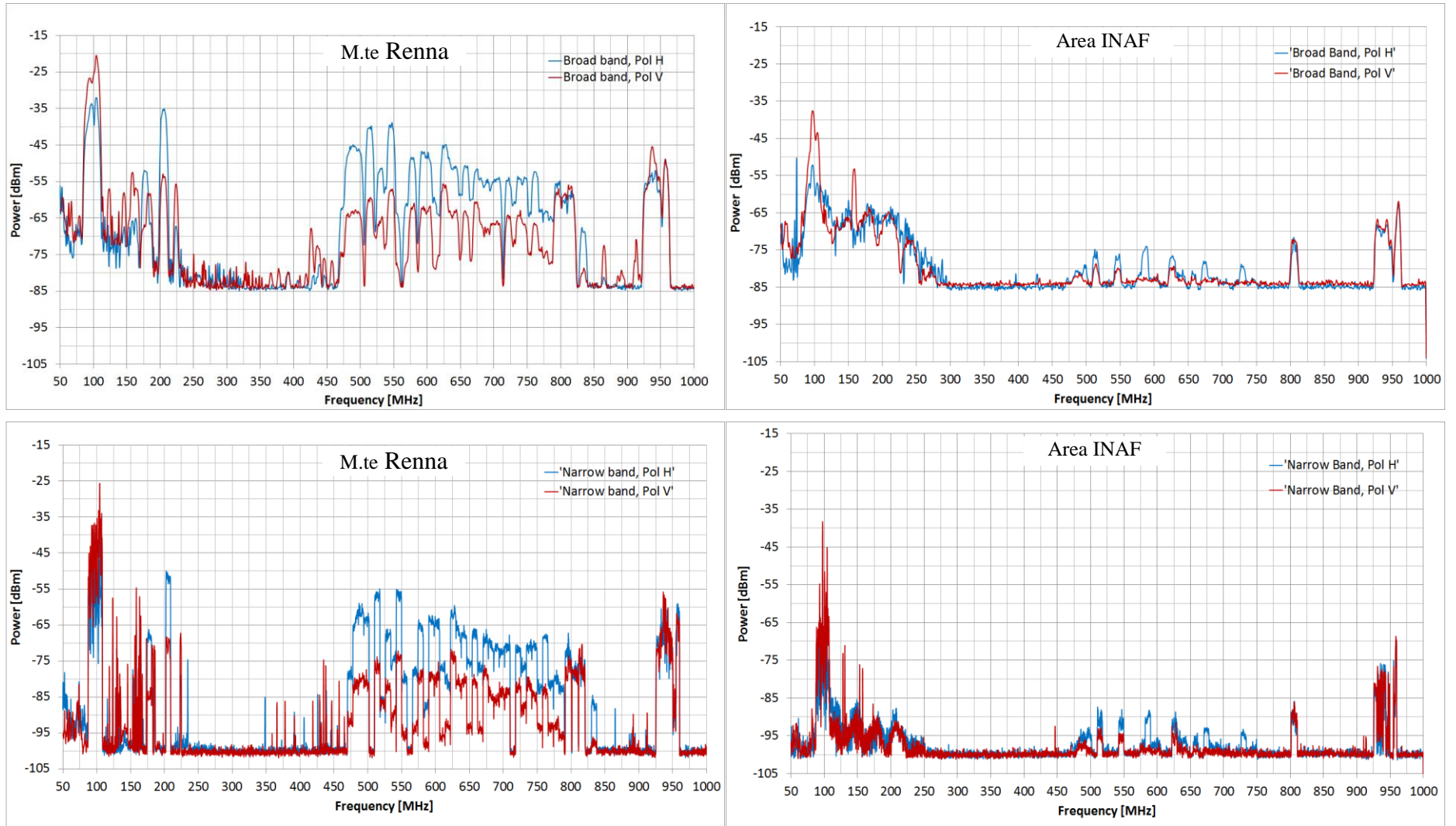


Figura 6 Spettri nell'intervallo di frequenza 50-1000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 6.a spettro a banda larga, in basso 6.c) spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 6.b) spettro a banda larga, in basso 6.d) spettro a banda stretta.

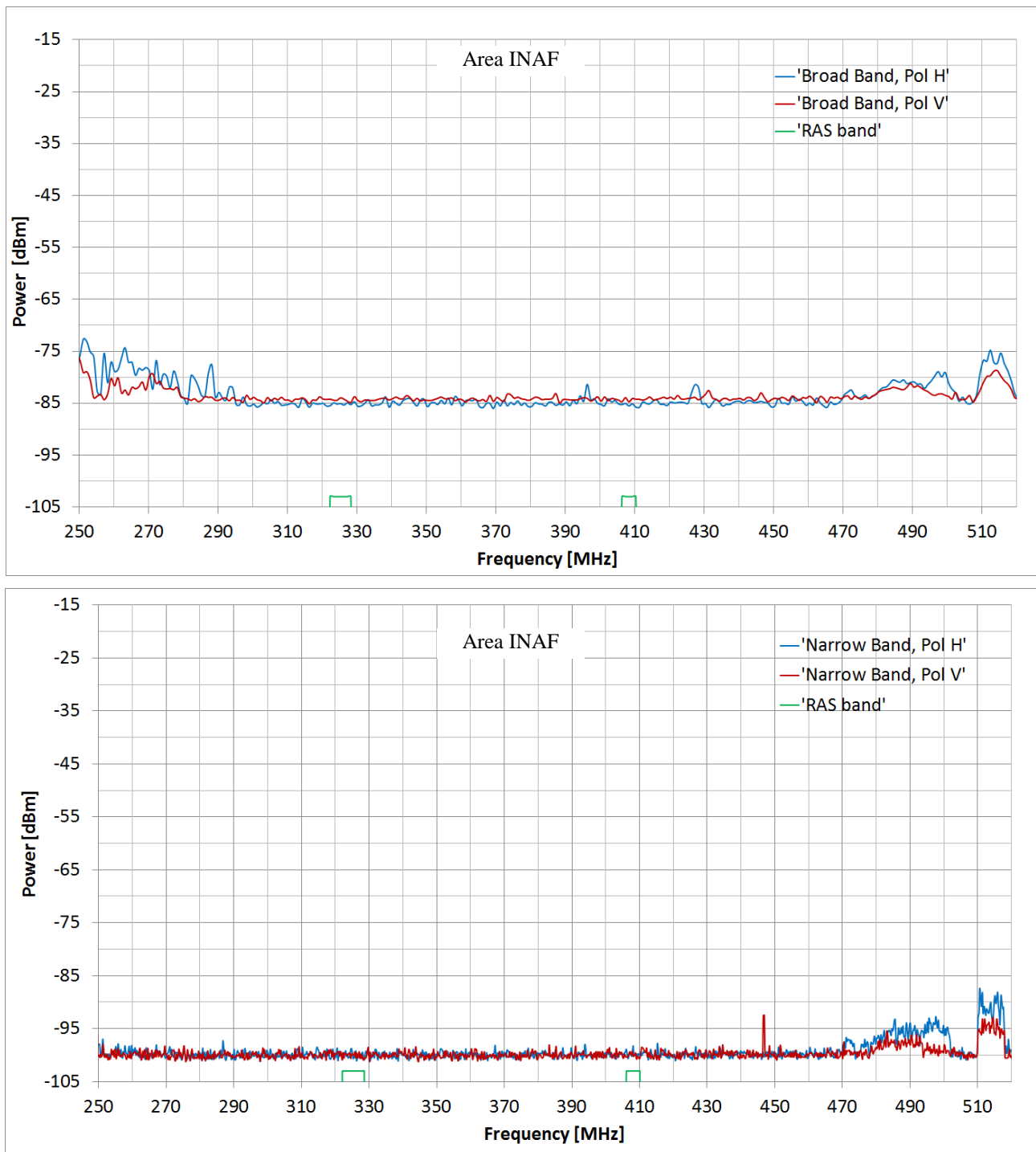


Figura 7 256-512 MHz, banda del ricevitore P. Zoom degli spettri delle figure 6.b e 6.d. In alto spettro a banda larga, 7.a, in basso spettro a banda stretta, 7.b. I tratti di linea verde mostrano le bande RAS. Le bande RAS appaiono libere da RFI.

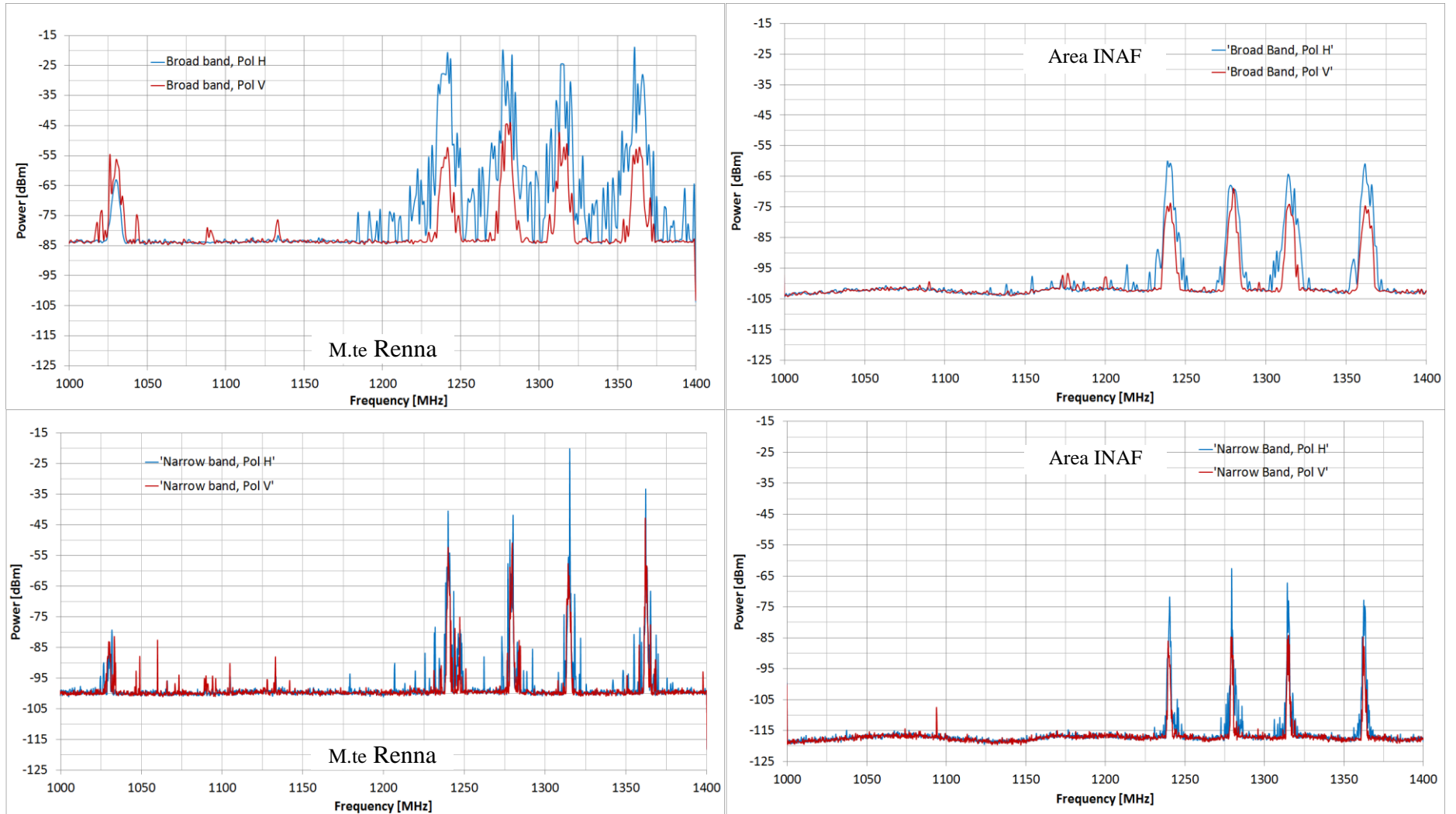


Figura 8 Spettri nell'intervallo di frequenza 1000-1400 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di monte Renna, colonna a sinistra: in alto 8.a spettro a banda larga, in basso 8.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 8.b spettro a banda larga, in basso 8.d spettro a banda stretta. In questo intervallo di frequenze durante le misure sul Monte Renna gli spettri furono acquisiti senza il box di amplificazione per evitare la saturazione del sistema a causa dell'alto livello di potenza dei segnali ricevuti alle frequenze più alte di questi spettri (frequenze assegnate al servizio di radio localizzazione aeronautica). Per questa ragione a parità di RBW, il sistema di misura utilizzato nell'Area Inaf era circa 19 dB più sensibile di quello utilizzato sul monte Renna.

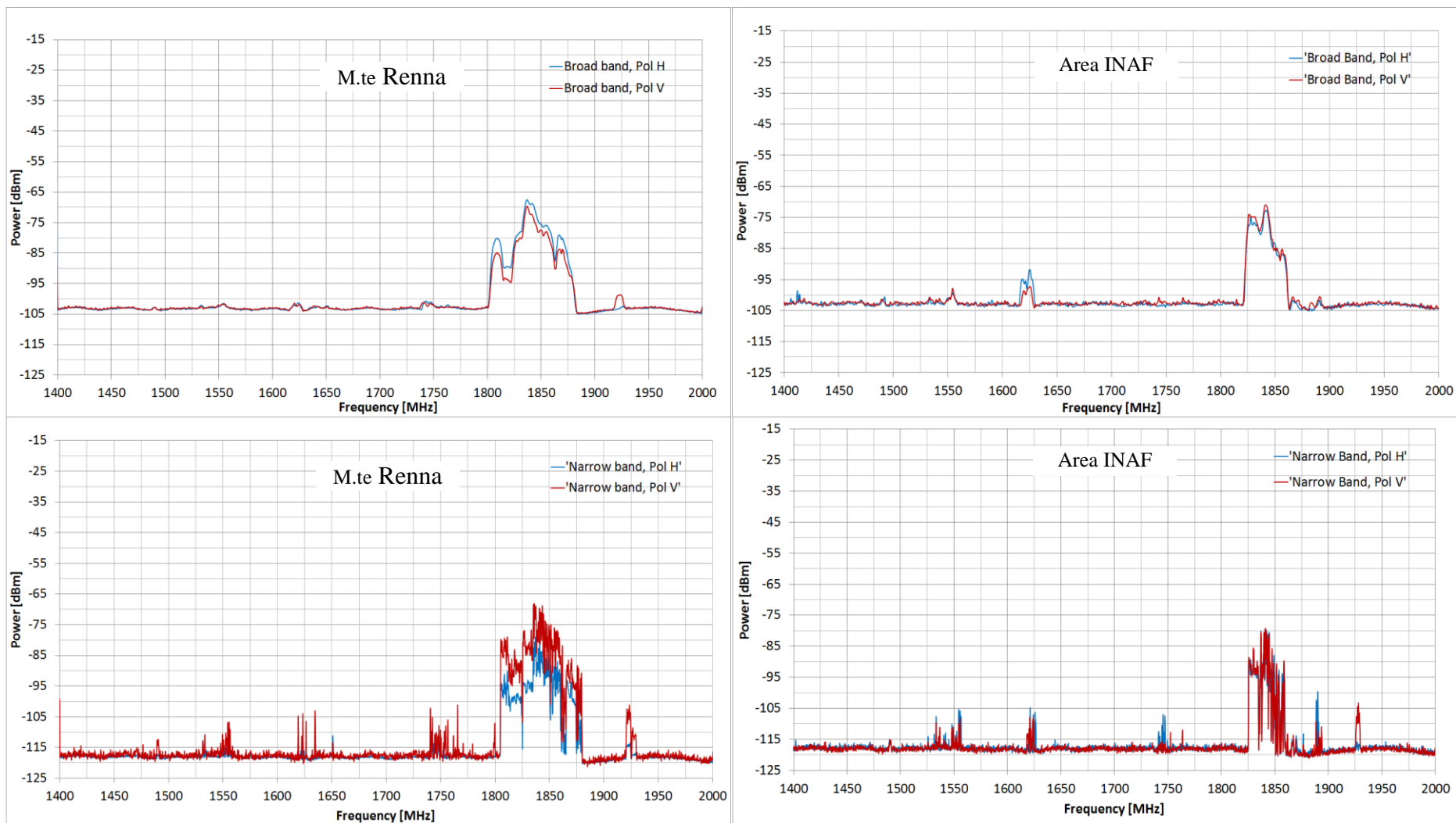


Figura 9 Spettri nell'intervallo di frequenza 1400-2000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 9.a spettro a banda larga, in basso 9.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 9.b spettro a banda larga, in basso 9.d spettro a banda stretta.

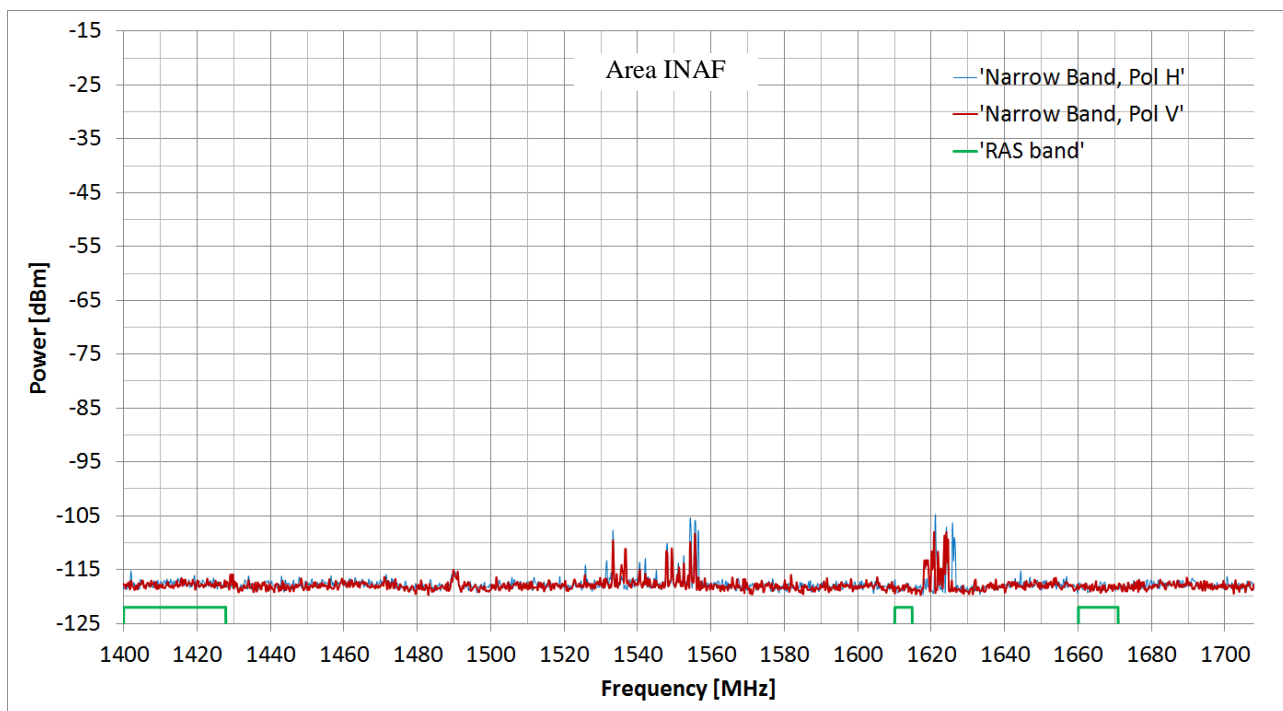
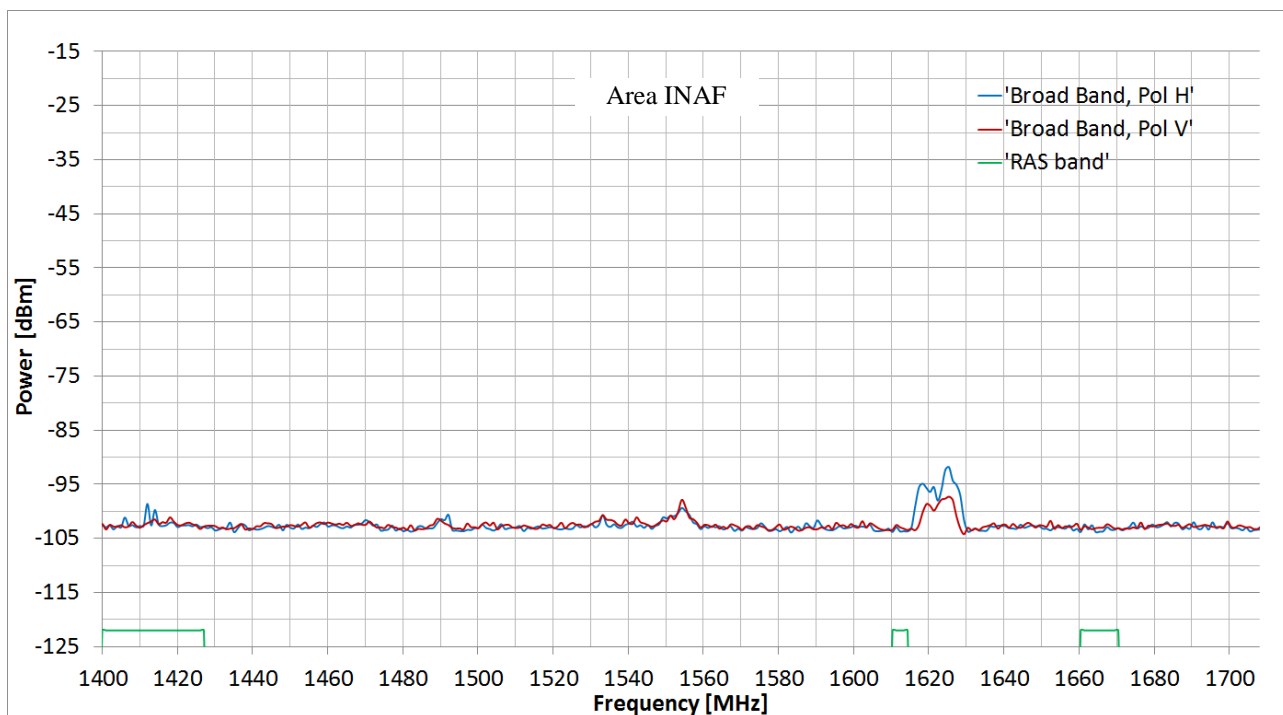


Figura 10 1400-1708 MHz, banda del ricevitore L. Zoom degli spettri delle figure 9.b e 9.d. In alto 10.a spettro a banda larga, in basso 10.b spettro a banda stretta. I tratti di linea verde mostrano le bande RAS. Alcuni segnali RFI visibili nello spettro 9.b cadono nella banda RAS 1400-1427 MHz.

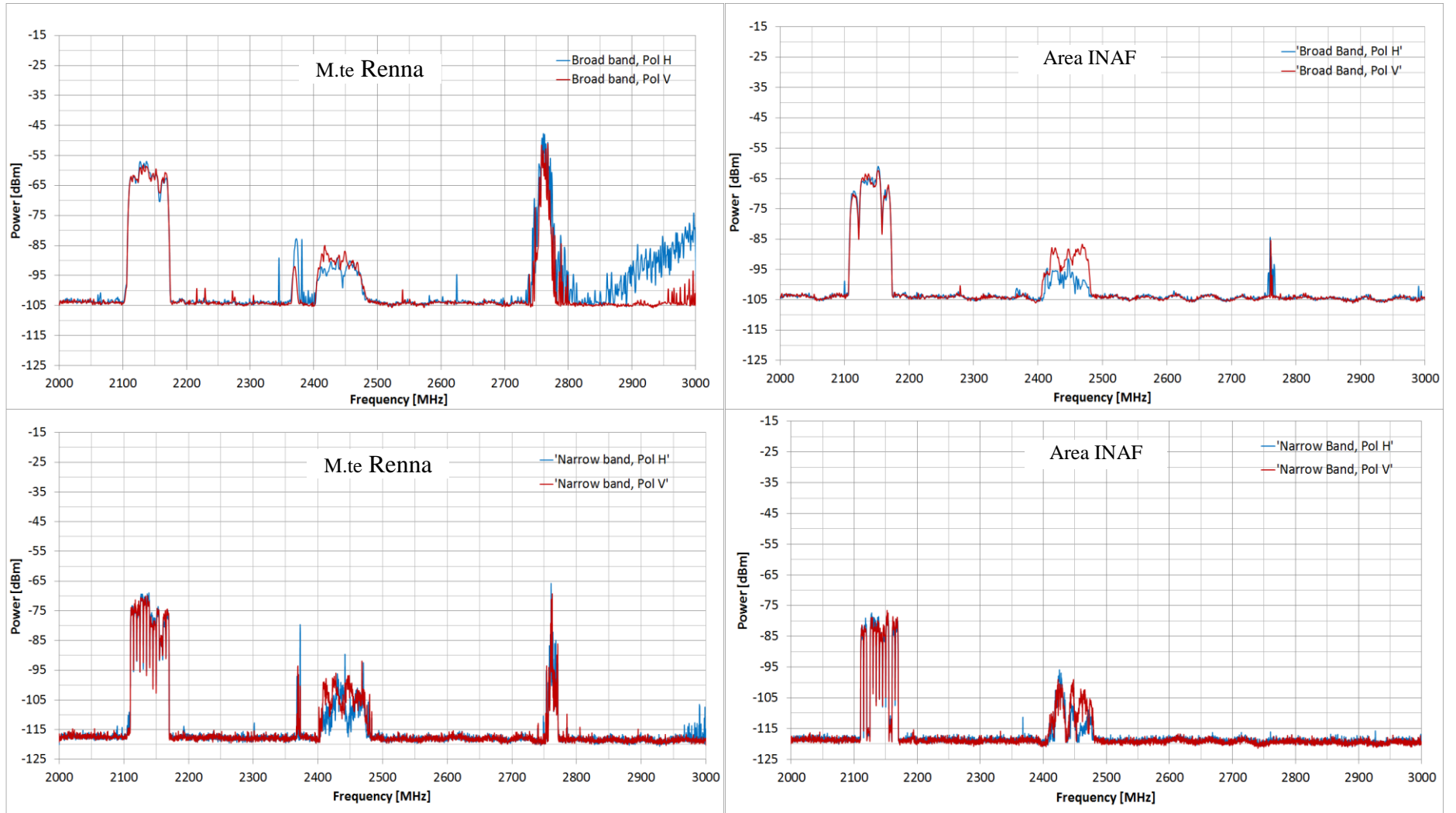


Figura 11 Spettri nell'intervallo di frequenza 2000-3000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 11.a spettro a banda larga, in basso 11.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 11.b spettro a banda larga, in basso 11.d spettro a banda stretta

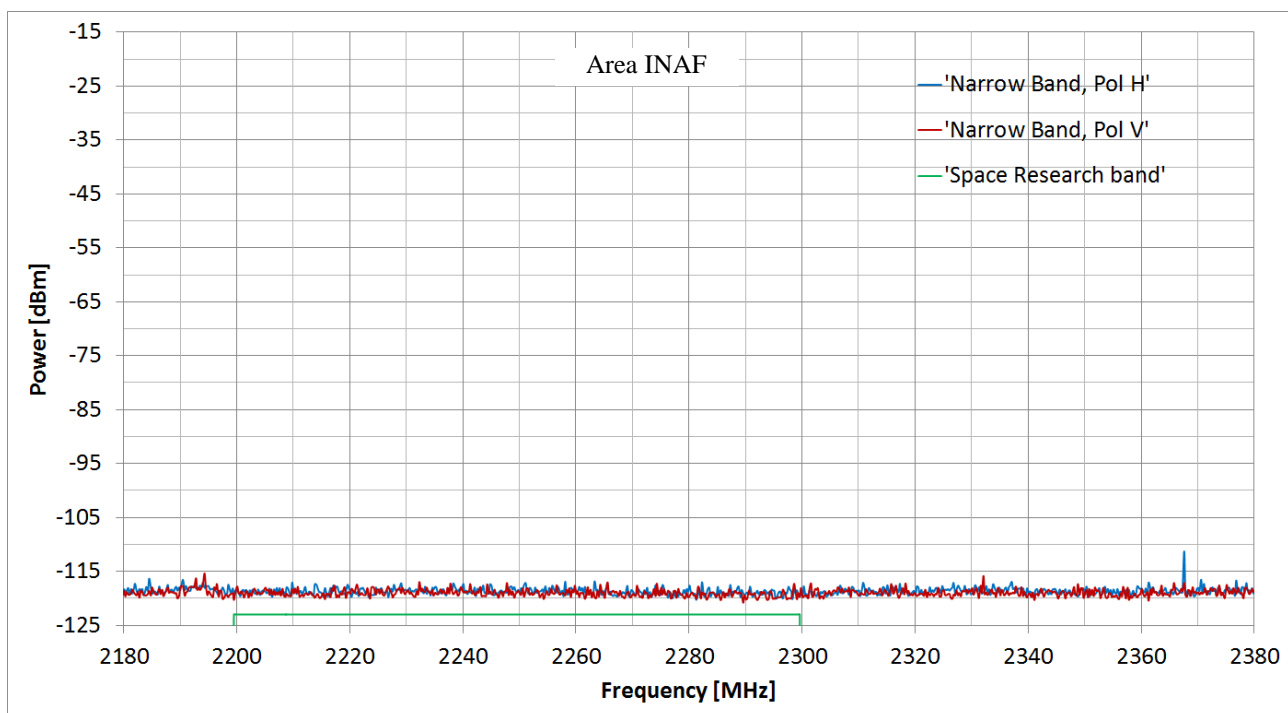
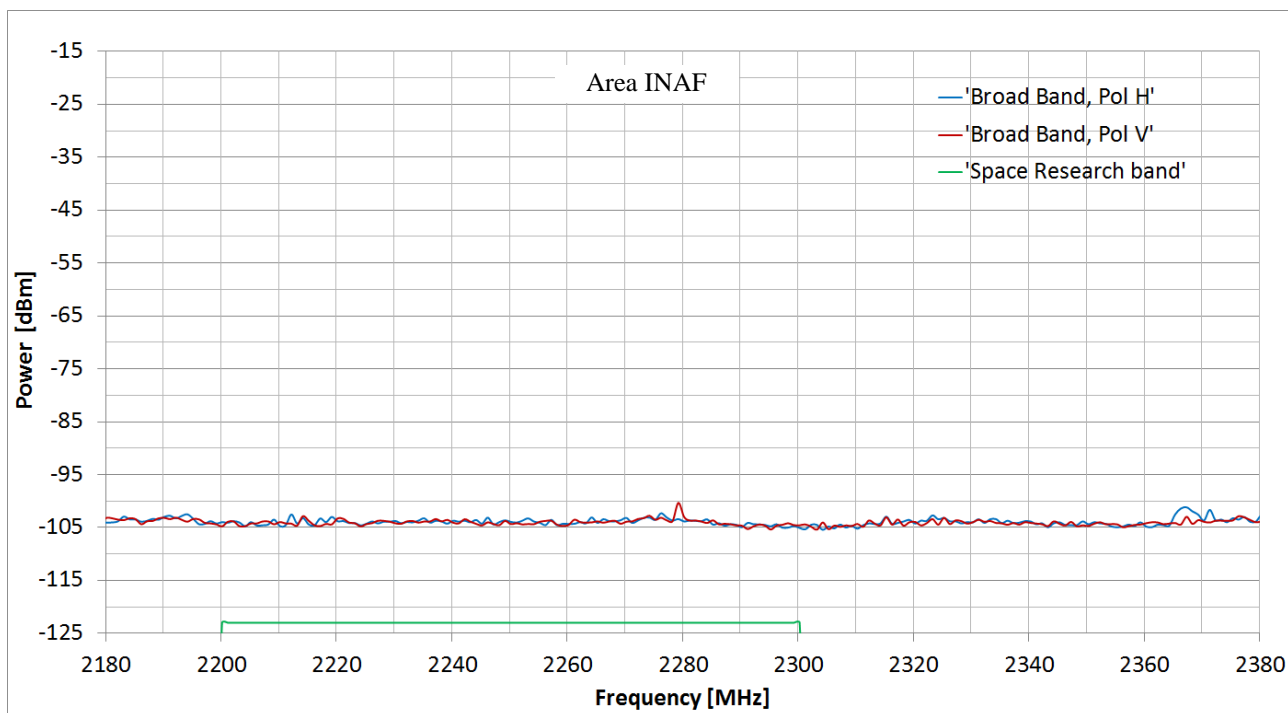


Figura 12 2189-2371 MHz, banda del ricevitore S. Zoom degli spettri delle figure 11.b e 11.d. In alto 12.a spettro a banda larga, in basso 12.b spettro a banda stretta. Il tratto di linea verde mostra la banda della ricerca spaziale. In quest'ultima è presente un segnale RFI a 2279 MHz sul quale sarà necessario svolgere ulteriori indagini.

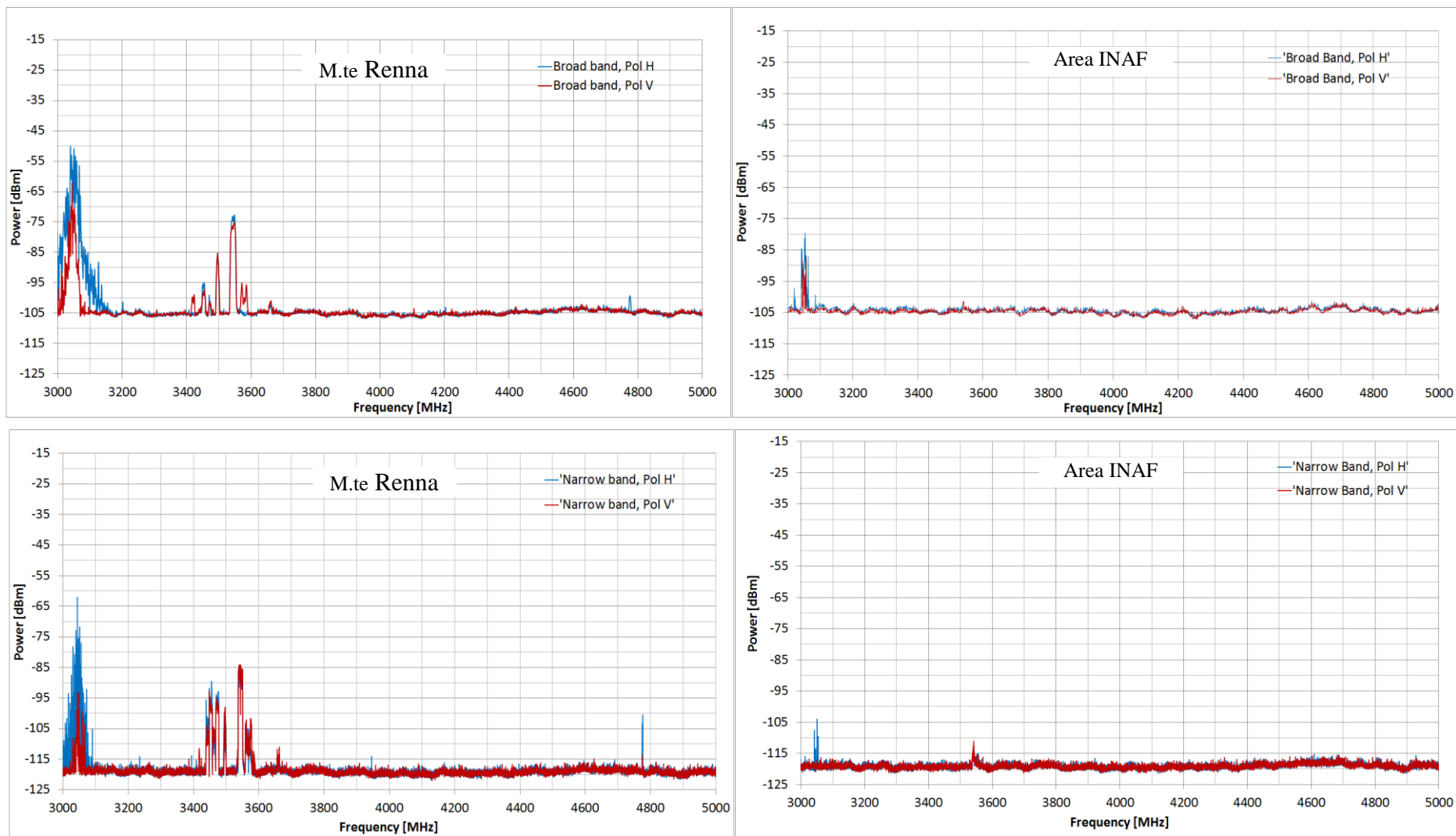


Figura 13 Spettri nell'intervallo di frequenza 3000-5000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 13.a spettro a banda larga, in basso 13.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 13.b spettro a banda larga, in basso 13.d spettro a banda stretta.

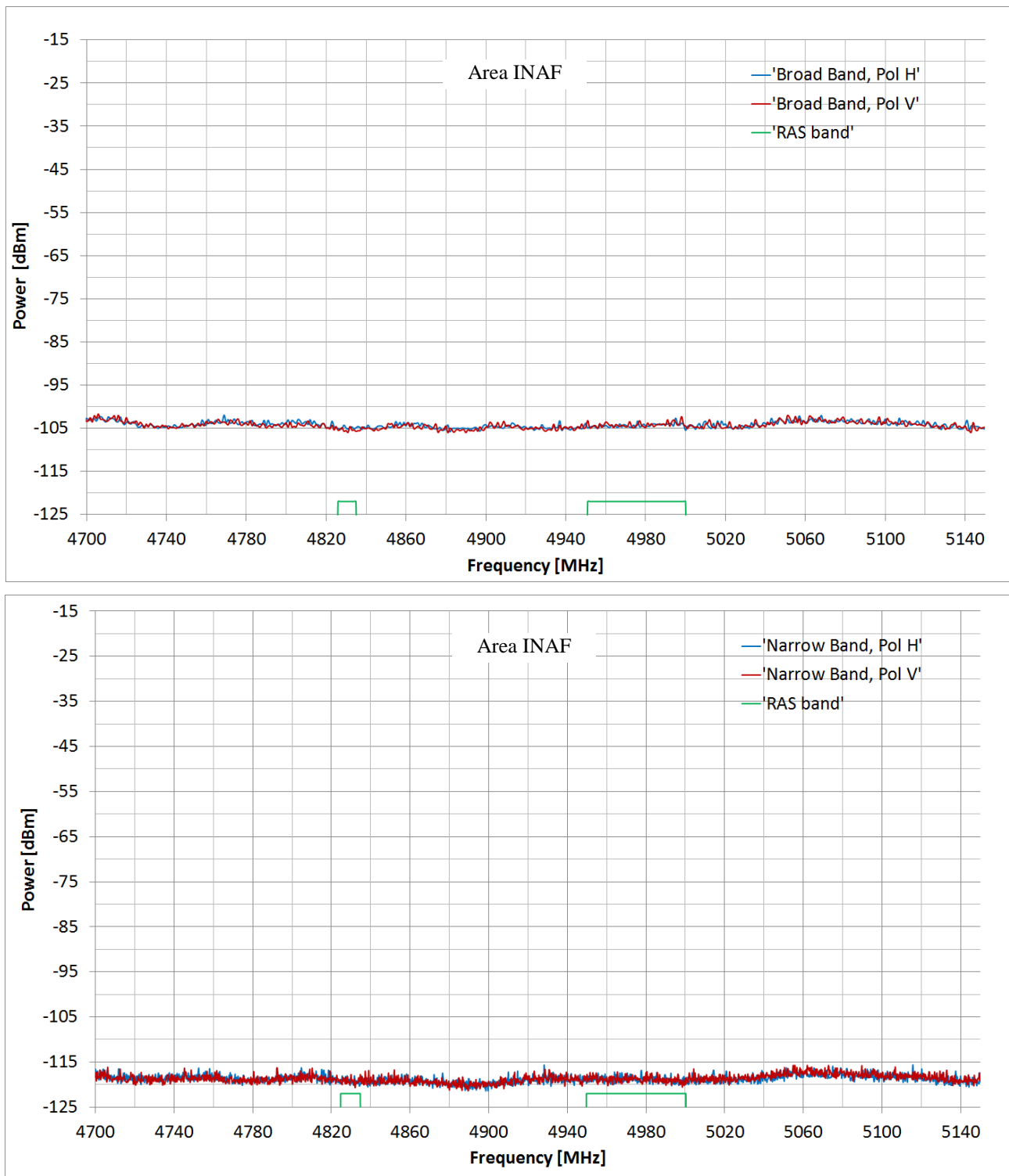


Figura 14 4700-5150 MHz, banda del ricevitore C basso. Zoom degli spettri delle figure 13.b e 13.d. In alto 14.a spettro a banda larga, in basso 14.b spettro a banda stretta. I tratti di linea verde mostrano le bande RAS. Queste ultime risultano libere da segnali RFI.

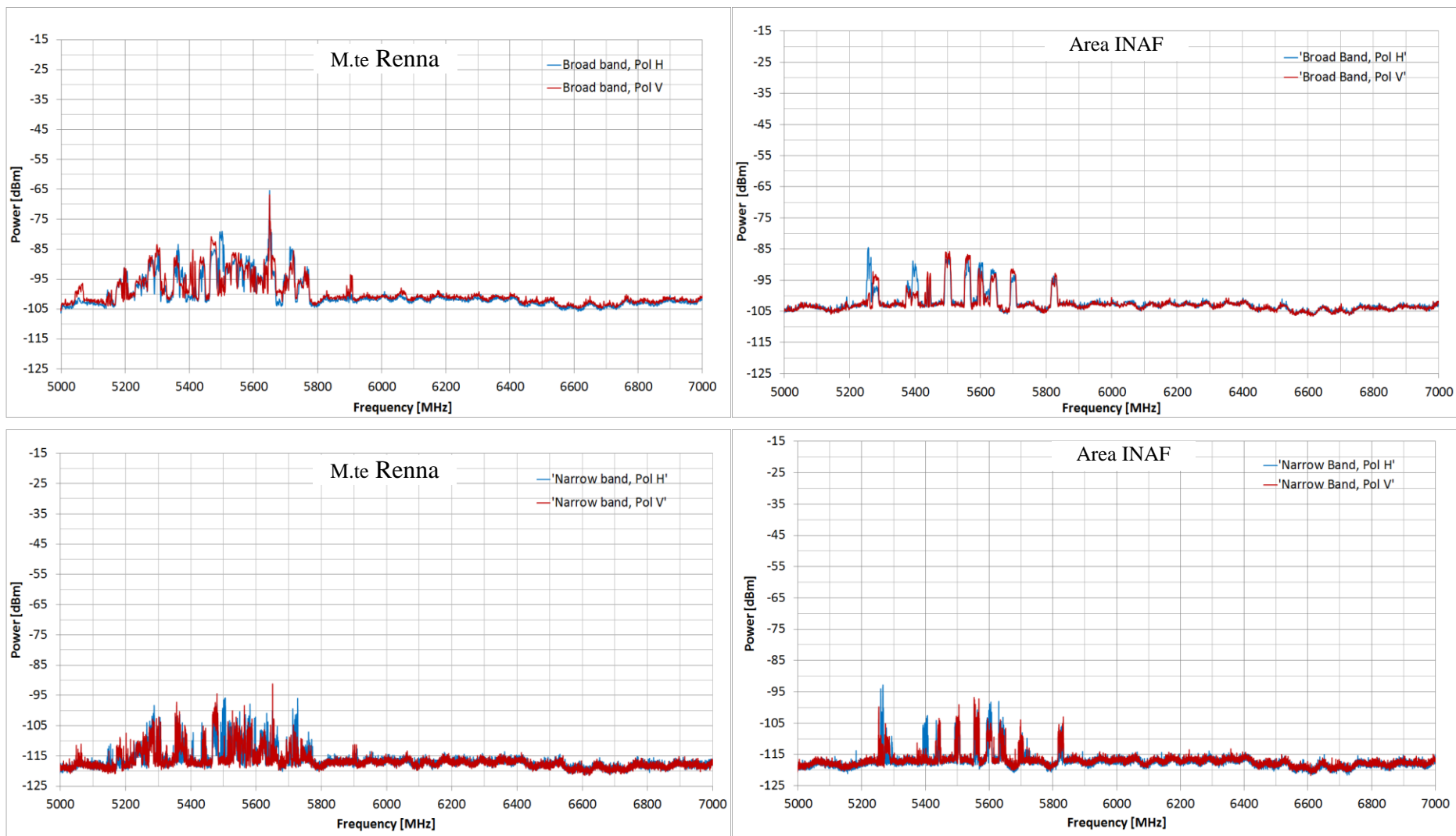


Figura 15 Spettri nell'intervallo di frequenza 5000-7000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra,: in alto spettro a banda larga 15.a, in basso spettro a banda stretta 15.c. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto spettro a banda larga 15.b, in basso spettro a banda stretta 15.d

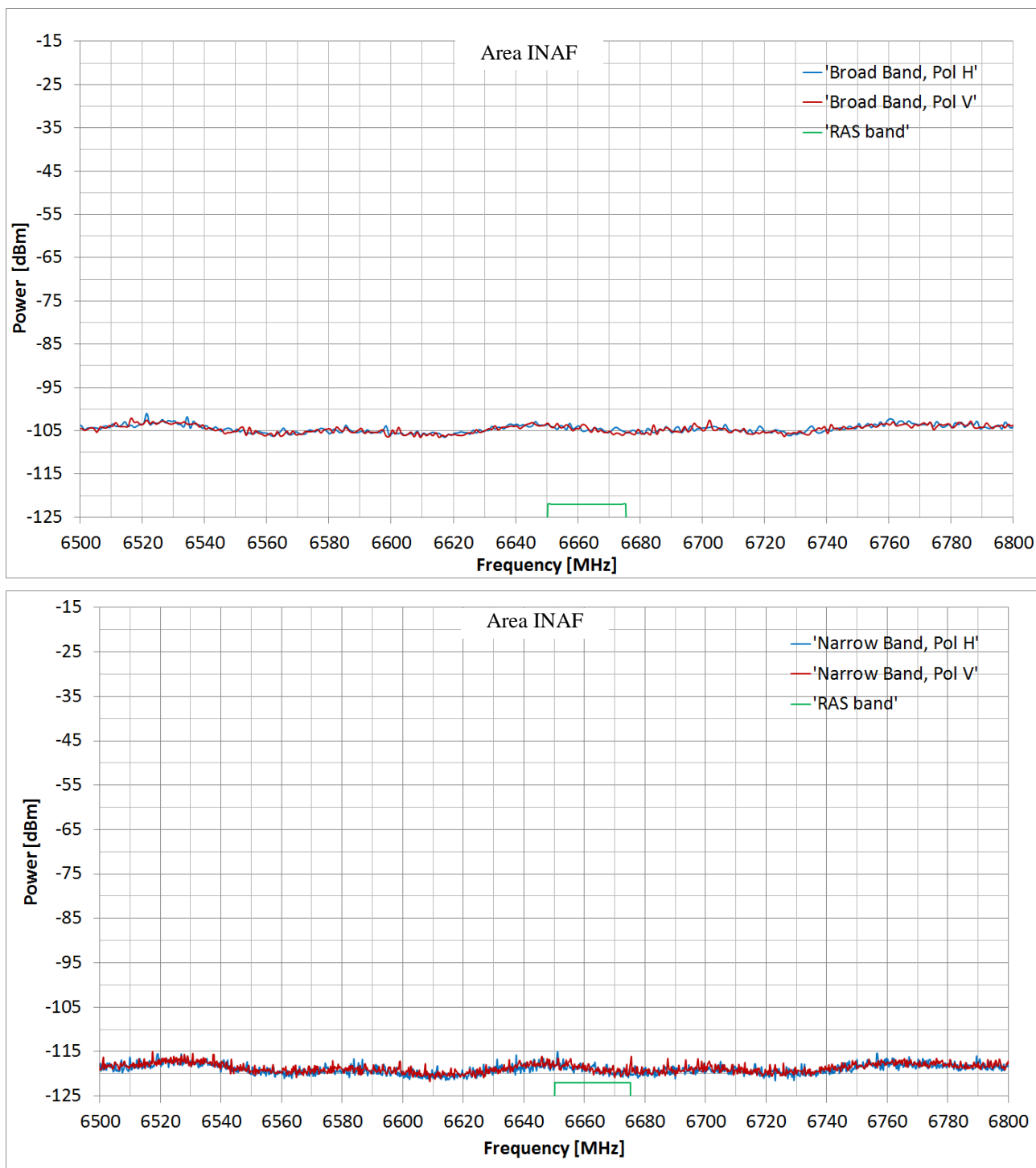


Figura 16 6500-6800 MHz, banda del ricevitore C alto. Zoom degli spettri delle figure 15.b e 15.d. In alto spettro a banda larga, 16.a, in basso spettro a banda stretta, 16.b. Il tratto di linea verde mostra la banda RAS. Queste ultime risultano libere da segnali RFI.

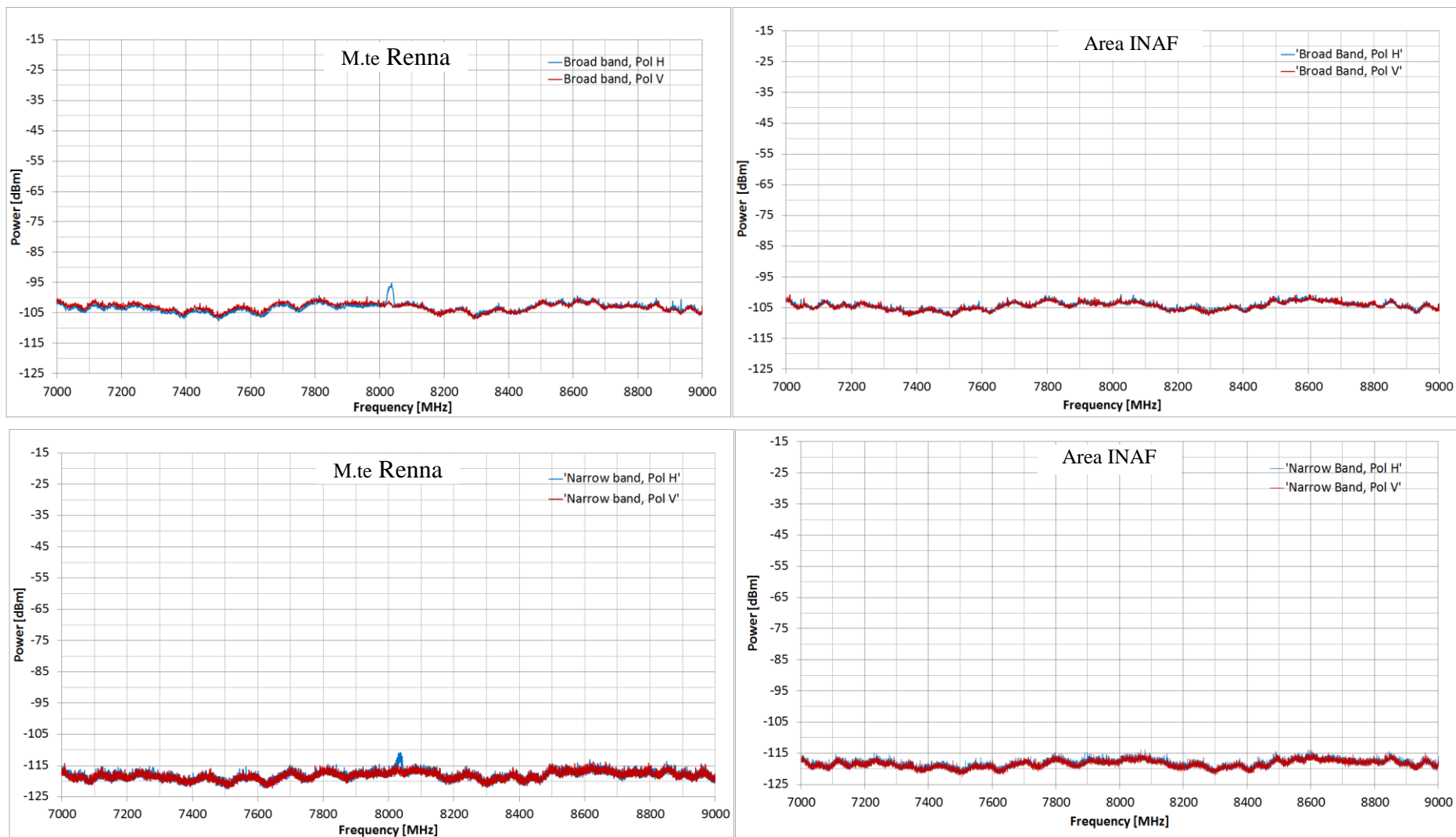


Figura 17 Spettri nell'intervallo di frequenza 7000-9000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 17.a spettro a banda larga, in basso 17.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 17.b spettro a banda larga, in basso 17.d spettro a banda stretta.

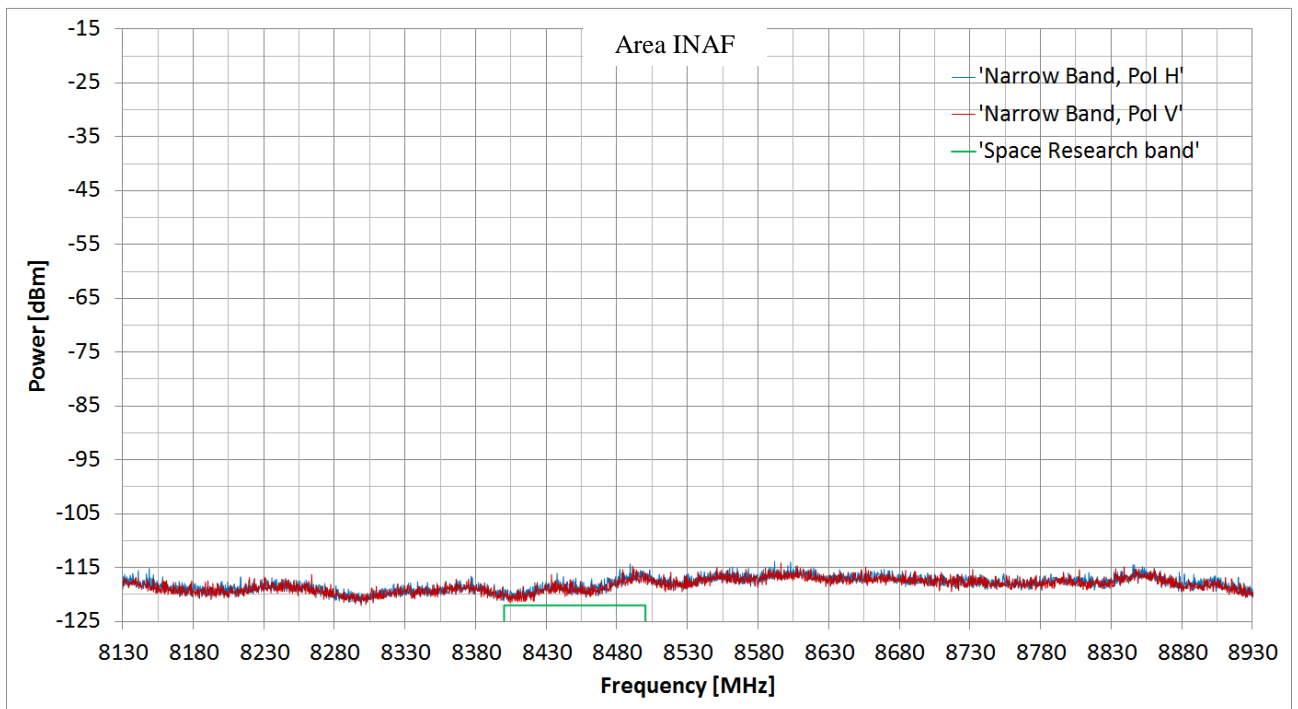
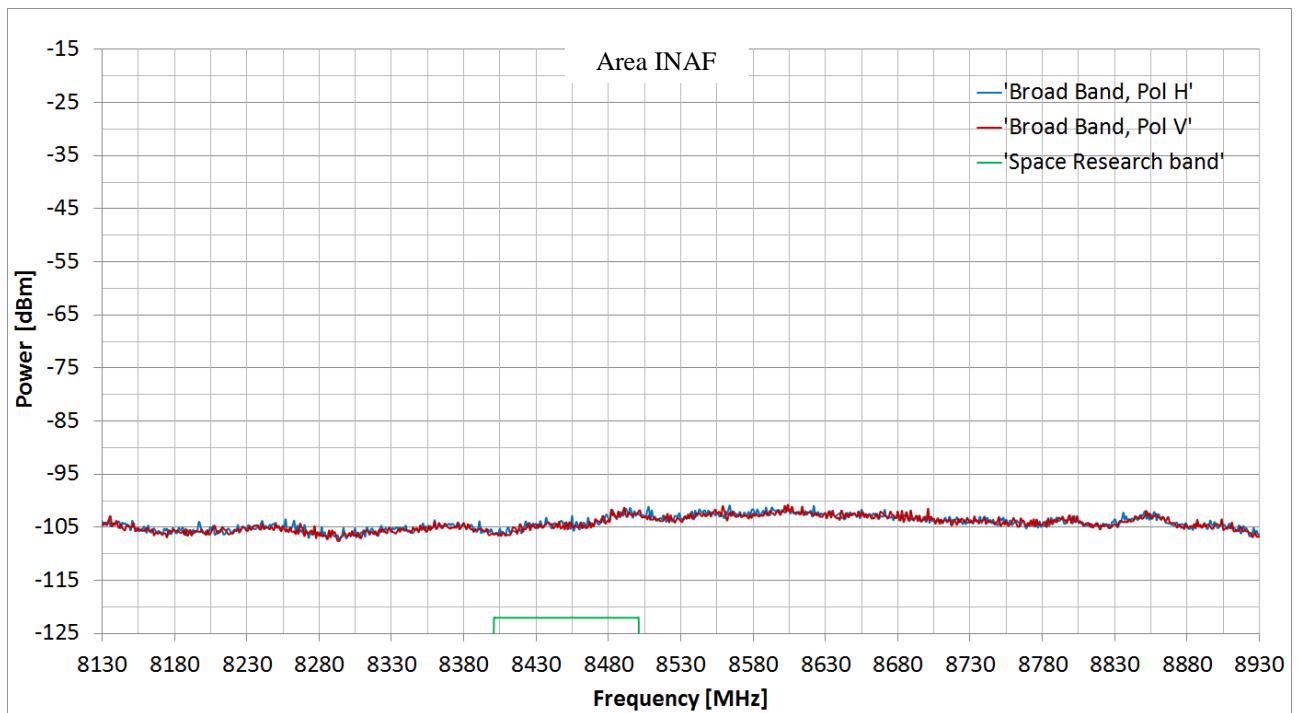


Figura 18 8140-8920 MHz, banda del ricevitore X. Zoom degli spettri delle figure 17.b e 17.d. In alto 18.a spettro a banda larga, in basso 18.b spettro a banda stretta. Il tratto di linea verde mostra la banda della ricerca spaziale. Quest'ultima risulta libera da segnali RFI.

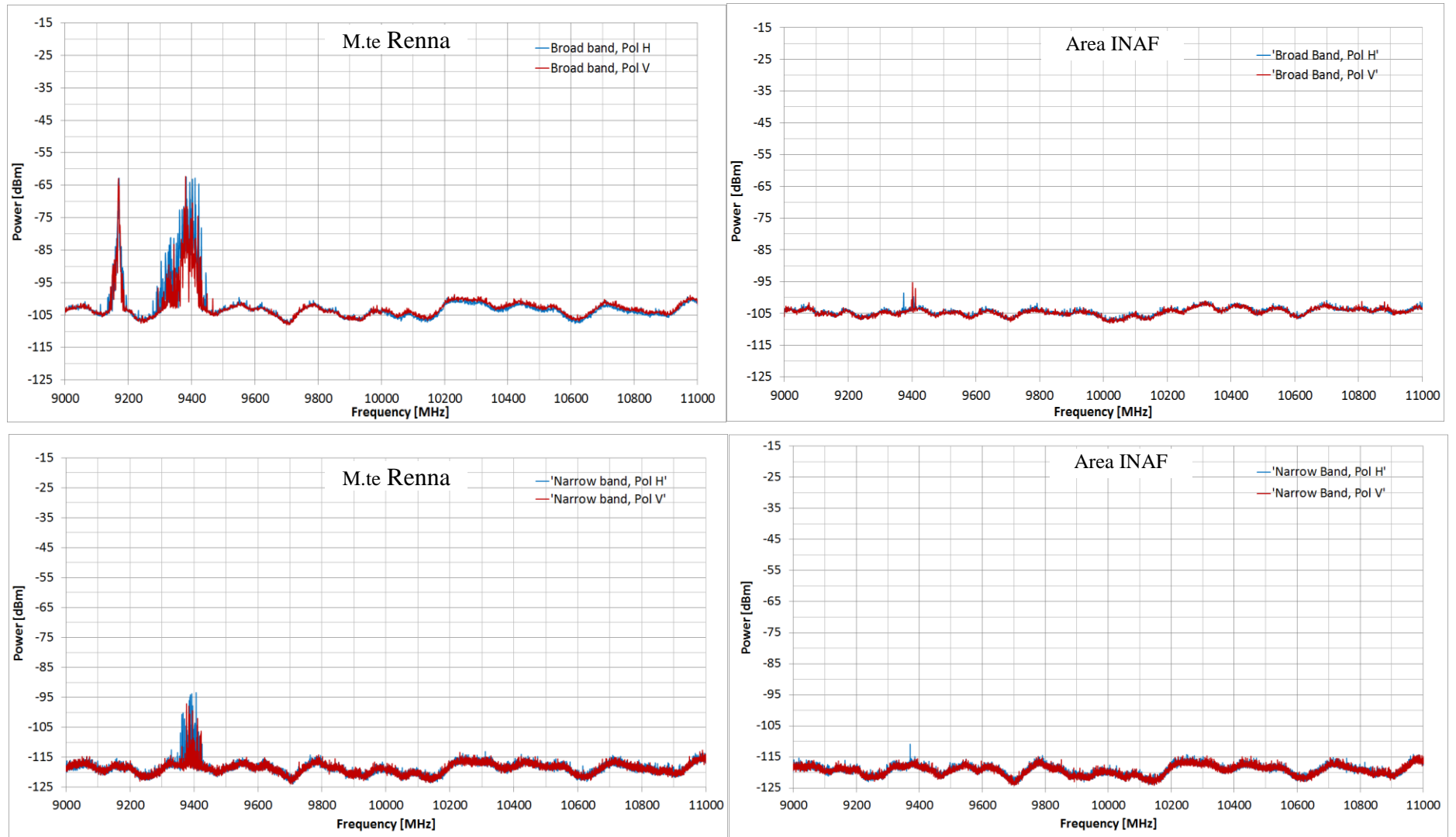


Figura 19 Spettri nell'intervallo di frequenza 9000-11000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 19.a spettro a banda larga, in basso 19.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 19.b spettro a banda larga, in basso 19.d spettro a banda stretta

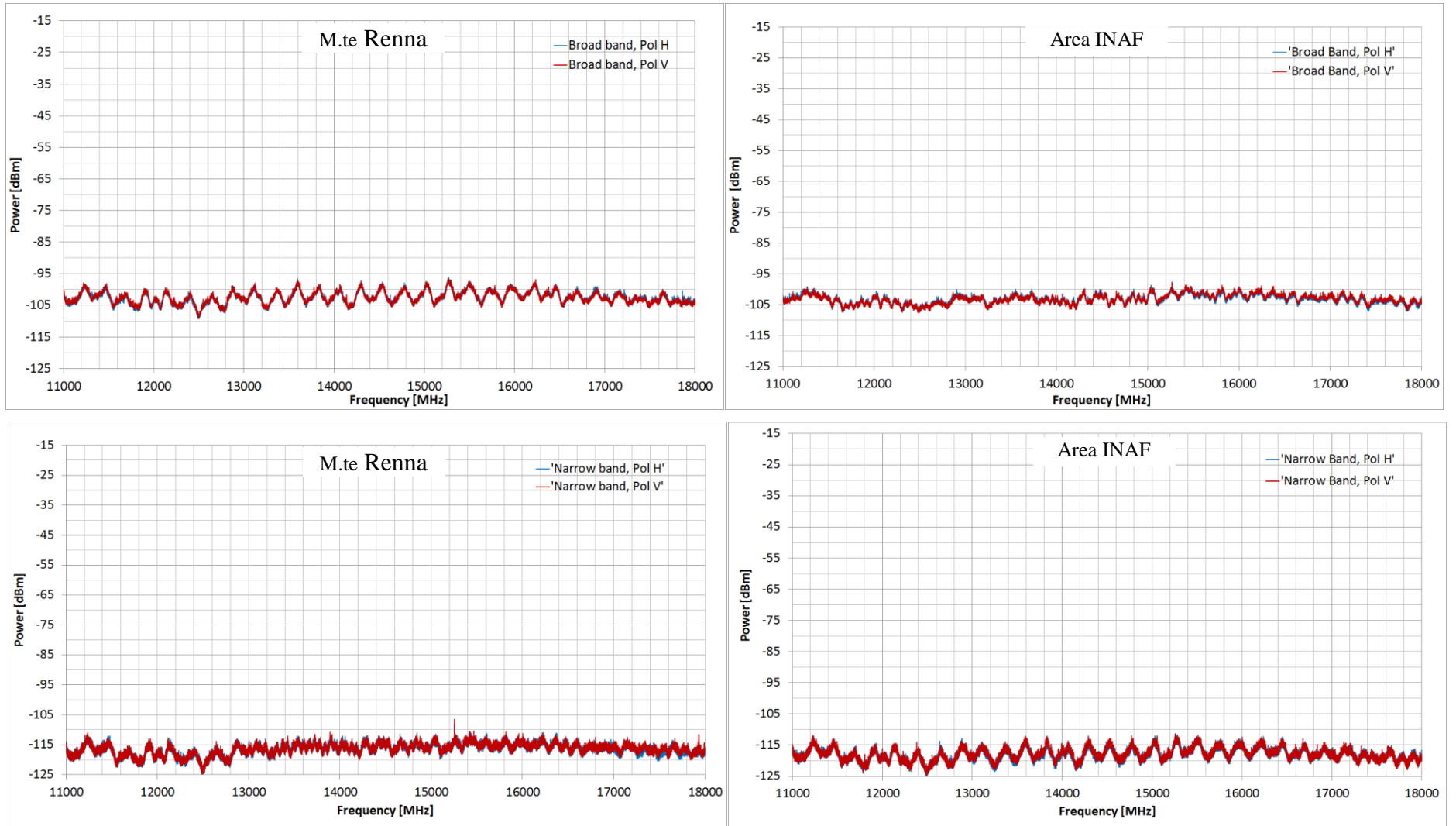


Figura 20 Spettri nell'intervallo di frequenza 11000-18000 MHz. Spettri acquisiti dalla postazione di misura di Monte Renna, colonna a sinistra: in alto 20.a spettro a banda larga, in basso 20.c spettro a banda stretta. Spettri acquisiti dalla postazione di misura dell'Area INAF, colonna a destra: in alto 20.b spettro a banda larga, in basso 20.d spettro a banda stretta

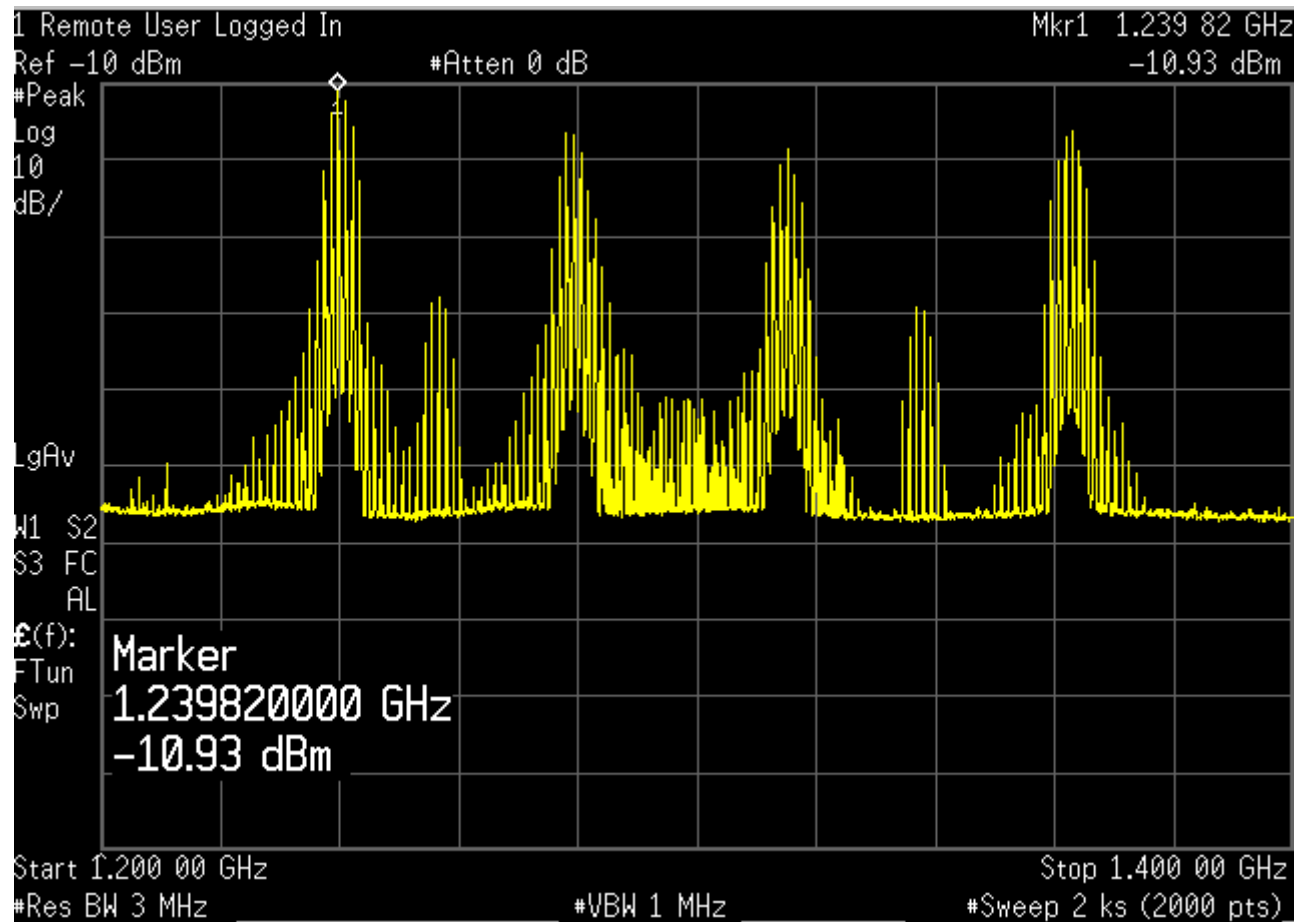


Figura 21 Spettro segnale del servizio di radio localizzazione aeronautica acquisito dalla postazione “Area INAF” con una RBW pari a 3 MHz e uno sweep time pari a 2000 s in modalità maxhold. I valori di potenza misurati includono il guadagno della catena ricevente del laboratorio mobile (si veda Ch B in Tabella II). Oltre la componente a più alta frequenza del segnale non sono evidenti segnali spuri vicini alla banda RAS 1400-1427 MHz.

| Receiver | Signal freq [MHz] | Polarization (H,V) | Max Power [dBm] | Banda RAS o Ricerca Spaziale (Si,No) | Azimut [deg] | Figure |
|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--|-----------------|--------|
| P | 260-295 | H | -74 | No | 160 | 7.a |
| P | 480-503 | H | -79 | No | N.I. | 7.b |
| P | 447 | V | -92.5 | No | N.I. | 7.b |
| L | 1406 | H | -101 | Si | 160 | 10.a |
| L | 1412 | H | -99 | Si | 160 | 10.a |
| L | 1414 | H | -100 | Si | 160 | 10.a |
| L | 1533 | H/V | -116 | No | 90 | 10.b |
| L | 1537 | V | -111 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1541 | H/V | -115 | No | 210 | 10.b |
| L | 1542 | H | -113 | No | 210 | 10.b |
| L | 1548 | H/V | -112 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1549 | V | -111 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1551 | H/V | -115 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1553 | H/V | -114 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1554 | H | -110 | No | 90 | 10.b |
| L | 1555 | H/V | -108 | No | 90 | 10.b |
| L | 1557 | H | -108 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1618 | V | -114 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1620 | V | -108 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1621 | H | -105 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1622 | V | -111 | No | N.I. | 10.b |
| L | 1624 | H/V | -114 | No | 135 | 10.b |
| L | 1626 | H | -106 | No | N.I. | 10.b |
| S | 2279 | V | -100 | Si | N.I. | 12.a |
| S | 2368 | H | -112 | No | N.I. | 12.b |

Tabella III Riepilogo segnali ricevuti nelle bande dei ricevitori presso la postazione di misura dell'Area INAF



Figura 22 Esempio di trasformatore di media tensione posto su un palo di sostegno della linea elettrica. Un modello simile potrebbe essere la sorgente dei segnali RFI misurati nella banda del ricevitore P ed L.

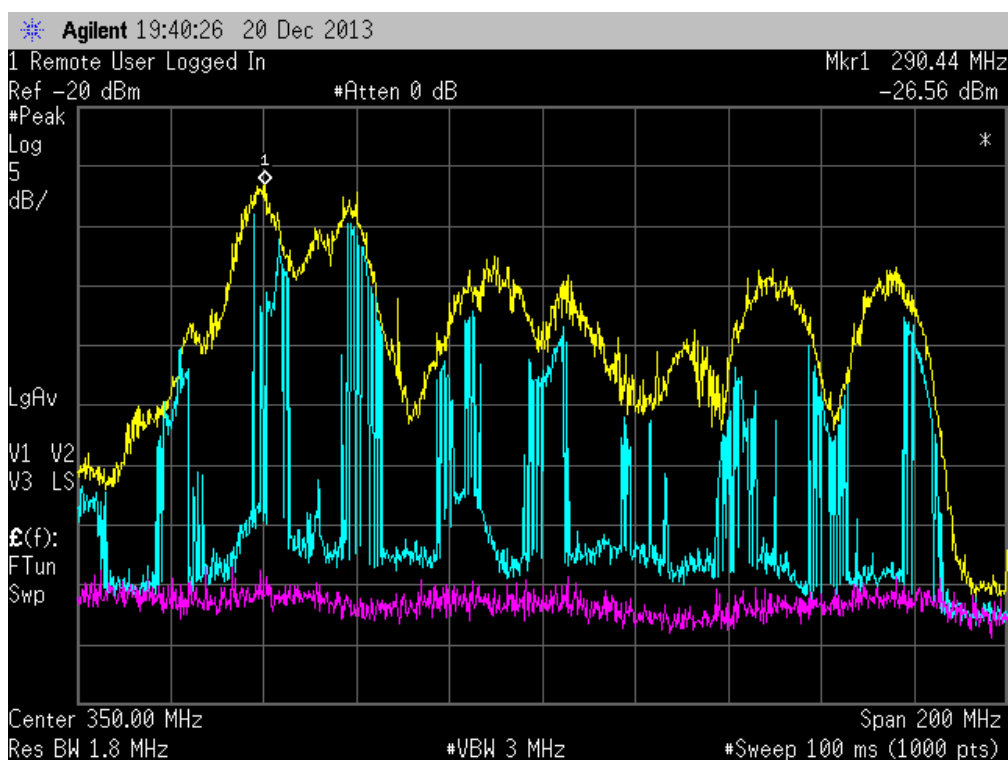


Figura 23 Spettri acquisiti nell'intervallo di frequenza 250-450 MHz misurati presso l'Area INAF nella direzione azimutale pari a 160° e dovuti probabilmente all'emissione radio spuria prodotta da un trasformatore di tensione montato su un palo di una linea elettrica a poche centinaia di metri dalla stazione radio astronomica. La traccia celeste e gialla sono gli spettri misurati puntando verso il trasformatore di tensione con l'analizzatore di spettro rispettivamente agganciato e sganciato alla frequenza 50 Hz della linea elettrica; la traccia viola mostra invece lo spettro rilevato dalla stessa postazione di misura ma puntando verso l'alto.

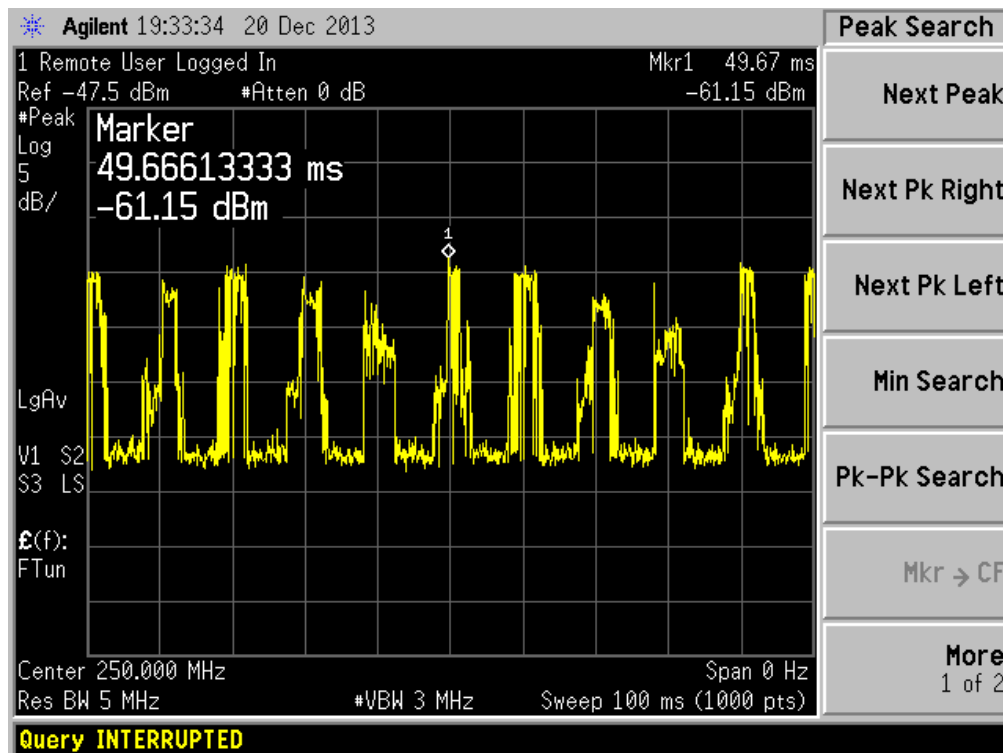


Figura 24 Spettro del segnale emesso dal trasformatore elettrico alla frequenza di 250 MHz acquisito all'analizzatore di spettro in modalità zero span sincronizzandolo con la 50 Hz.

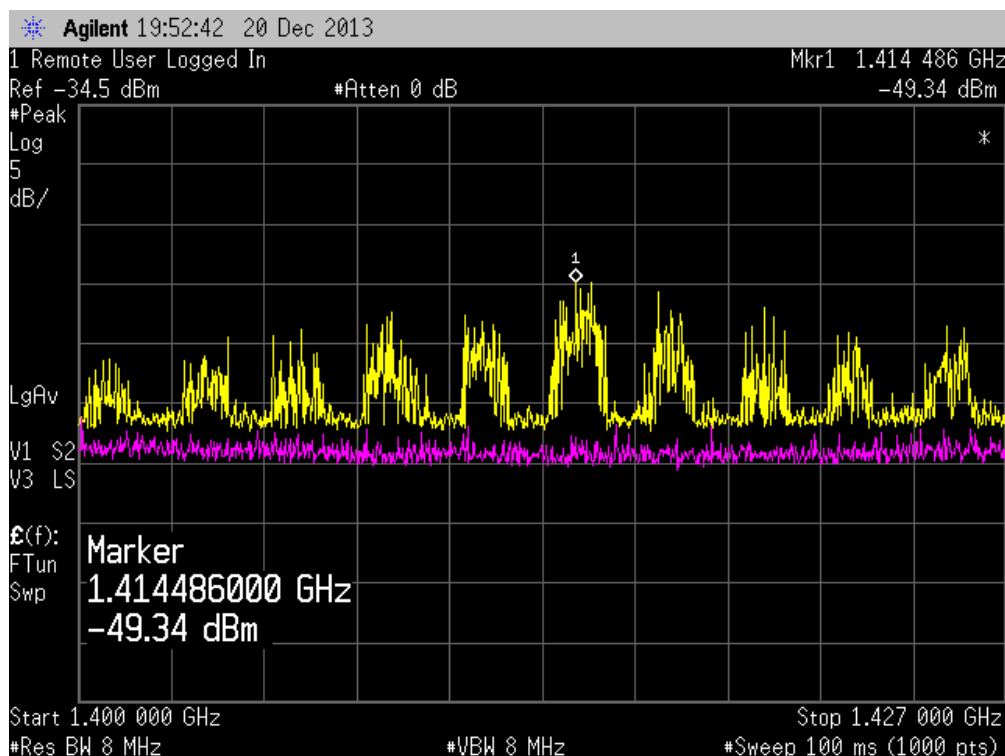


Figura 25 Spettri acquisiti nell'intervallo di frequenza 1.4-1.427 MHz (Banda RAS) misurati presso l'Area INAF puntando nella direzione azimutale pari a 160°. La traccia gialla si riferisce allo spettro misurato con l'analizzatore di spettro rispettivamente sincronizzato con la frequenza 50 Hz delle linee elettriche, mentre l'antenna puntava verso il trasformatore; la traccia viola mostra invece lo spettro rilevato dalla stessa postazione di misura, mentre invece l'antenna puntava verso l'alto.

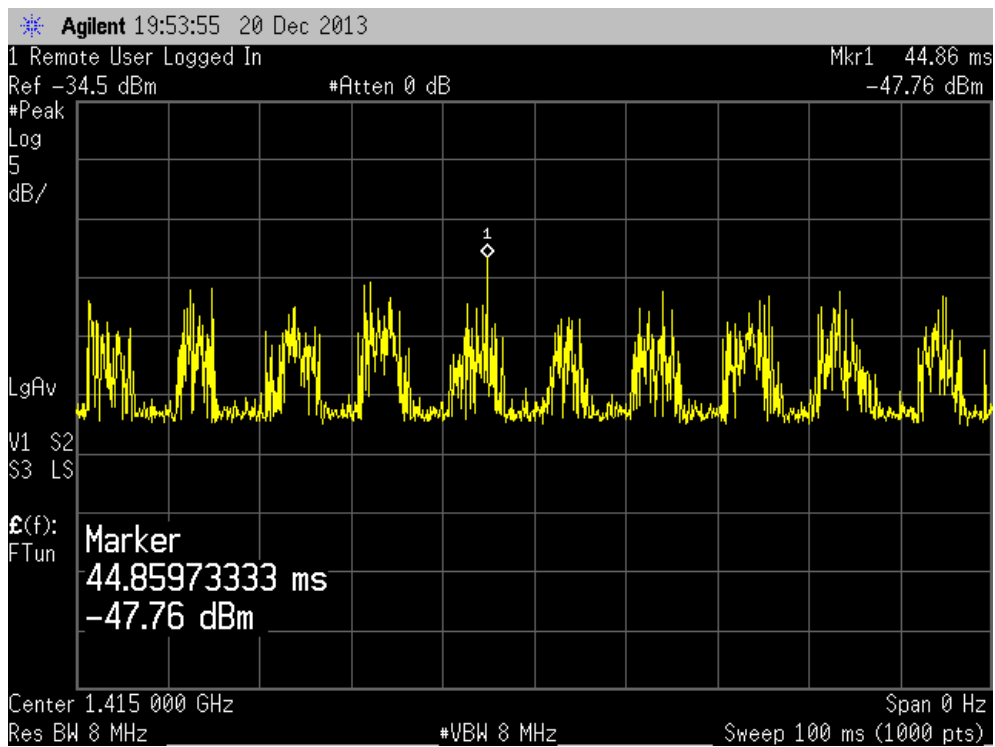


Figura 26 Spettro del segnale emesso dal trasformatore elettrico alla frequenza di 1415 MHz acquisito all'analizzatore di spettro in modalità zero span sincronizzandolo con la frequenza 50 Hz della linea elettrica.



Figura 27 Cancelli di ingresso della stazione radio astronomica di Noto. Nel dettaglio cerchiato di rosso è mostrato il sistema di apertura automatica che da origine ai segnali RFI in banda P mostrati in Figura 28.

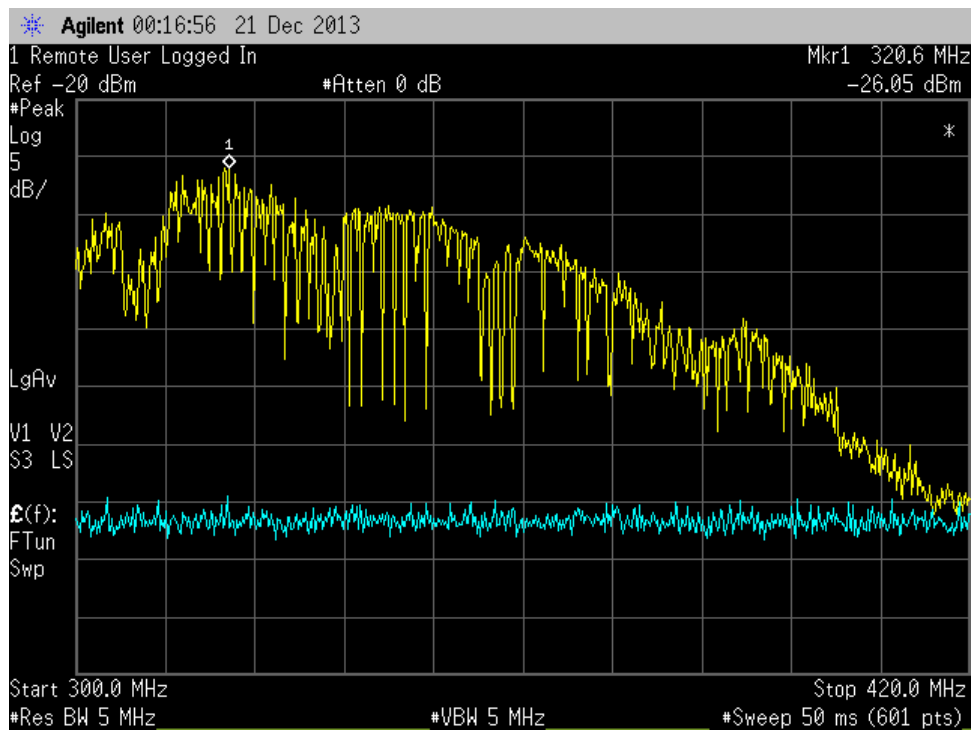


Figura 28 Spettri in Pol H dei segnali ricevuti in banda P puntando l'antenna del laboratorio mobile verso il cancello (traccia gialla) e verso l'alto (traccia celeste).

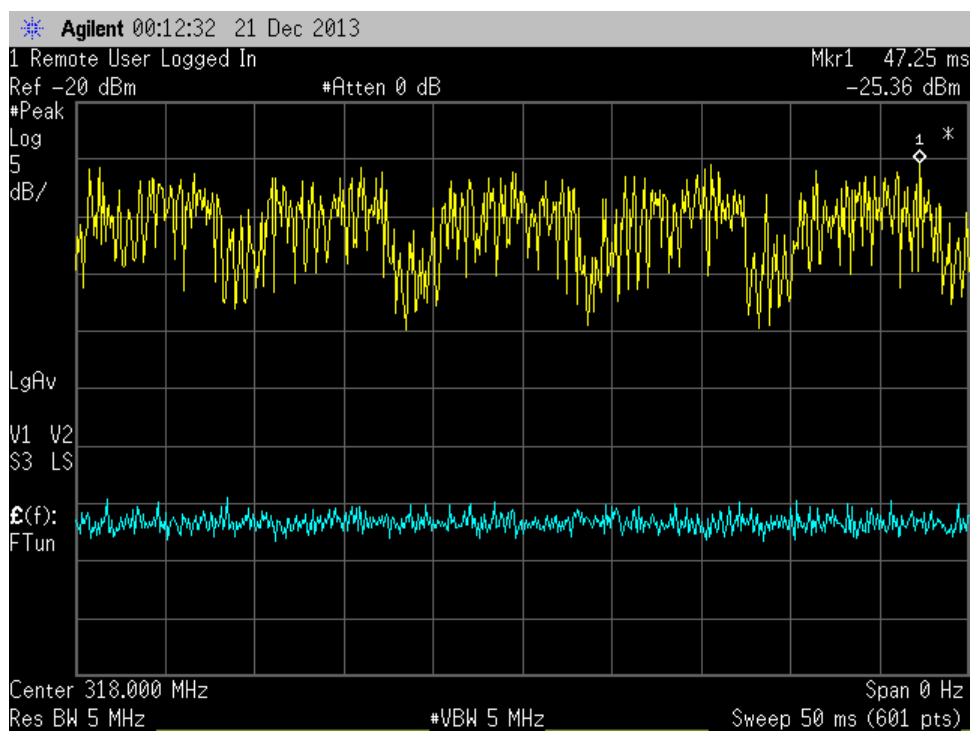


Figura 29 Spettri in Pol H dei segnali ricevuti a 318 MHz impostando l'analizzatore di spettro in modalità zero span mentre l'antenna del laboratorio mobile puntava verso il cancello di ingresso (traccia gialla) e verso l'alto (traccia celeste).

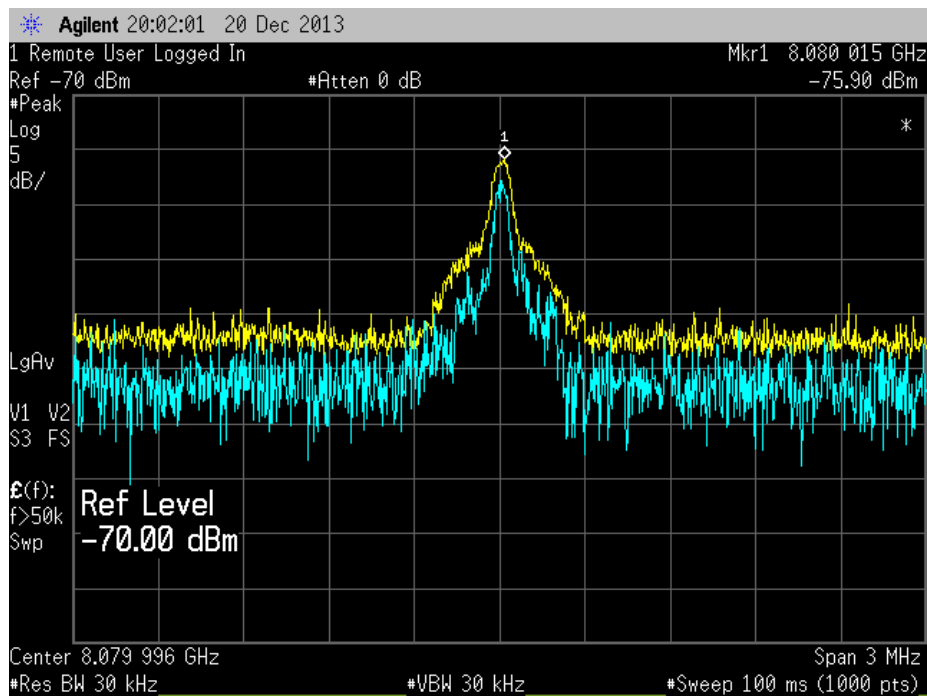


Figura 30 Spettri del segnale emesso dall'oscillatore locale del nuovo ricevitore PLSX parcheggiato per dei test all'esterno del laboratorio della stazione radio astronomica: lo spettro in Pol H è mostrato con la traccia gialla, quello in Pol V con la traccia celeste.



Figura 31 Assemblaggio del nuovo ricevitore PLSX che durante il periodo della campagna di misure si trovava davanti alla finestra del laboratorio della stazione. Il segnale a 8080 MHz emesso da un oscillatore locale interno era trasmesso all'esterno probabilmente attraverso uno dei feed posti sulla parte superiore della scatola.



Figura 32 Sistema di ricezione della TV satellitare installato sul tetto della stazione radio astronomica di Noto. Alcuni rilievi nella banda 18-40 GHz evidenziano che un mal funzionamento dell'oscillatore locale dell'illuminatore della parabola alla frequenza 9750 MHz genera una forte emissione alle frequenze 29.25 GHz e 39.01 GHz rispettivamente terza e quarta armonica della frequenza fondamentale 9750 MHz.