

P. Bolli, L. Cresci, D. Panella

Un filtro a microonde su un superconduttore ad alta temperatura per il ricevitore radio astronomico banda C del Sardinia Radio Telescope

A high temperature superconductor microwave filter working in C-band for the Sardinia Radio Telescope

INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze

Sommario. Le interferenze generate dai segnali radio antropici limitano la qualità delle osservazioni astronomiche e quindi le prestazioni delle antenne radio. In questo contributo si descrive un filtro passa-banda a microonde realizzato su tecnologia planare in microstriscia su materiale superconduttore ad alta temperatura per uno dei ricevitori radio astronomici del Sardinia Radio Telescope. I risultati sperimentali ottenuti a temperature criogeniche mostrano bassissime perdite ohmiche, un ottimo accordo con le simulazioni ed una buona ripetibilità tra i vari prototipi.

Parole chiave. Radioastronomia, filtri a microonde, interferenze a radio frequenza, superconduttori ad alta temperatura

Abstract. The interference generated by radio signals of human origin negatively affects the quality of astronomical data and hence the performance of the radio antennae. In this contribution we describe a microwave band-pass filter, created using microstrip planar technology on high temperature superconductor material, for one of the radio astronomical receivers of the Sardinia Radio Telescope. The experimental results obtained at cryogenic temperatures display very low ohmic losses, excellent consistency with the simulations and good repeatability among the various prototypes.

Keywords. Radio astronomy, microwave filters, radio frequency interference, high temperature superconductors.

The need to be able to receive the very weak radio signals originating from the most remote regions of the Universe calls for the creation of highly sensitive receiving systems character-



La necessità di poter ricevere i debolissimi segnali radio che provengono dalle regioni più remote dell'Universo determina l'esigenza di realizzare sistemi riceventi estremamente sensibili caratterizzati da antenne a riflettore con enormi aree di raccolta e front-end (cioè il modulo con i componenti tecnologicamente più sofisticati necessari per ricevere il segnale) raffreddati a temperature criogeniche. Dagli albori della radio astronomia, negli anni '30 del secolo scorso ad oggi, la sensibilità dei moderni radio telescopi è migliorata di 5-6 ordini di grandezza. Nel prossimo decennio con l'avvento di SKA (Square Kilometer Array) si prevede un ulteriore balzo in avanti di un paio di ordini di grandezza raggiungendo quindi l'era delle densità spettrali di flusso di potenza del nano-Jansky. È chiaro come in questo contesto la presenza di segnali radio di natura antropica (dispositivi radio wireless ad utilizzo personale, servizi commerciali di broadcast, impianti radar militari o meteorologici, transponder su satelliti, sistemi mobili marittimi o aeronautici solo per citarne alcuni) rappresenti una problematica alquanto seria al successo dell'osservazione radio astronomica. I ricevitori radio astronomici sono infatti concepiti per individuare segnali di alcune decine di dB sotto il livello di rumore del sistema ricevente e di conseguenza l'intensità dei segnali "artificiali" (che di seguito indicheremo genericamente con *radio frequency interference* - RFI) genera un deterioramento della qualità del segnale astronomico ricevuto, laddove non addirittura un totale accecamento del ricevitore.

Nel corso degli anni varie tecniche di mitigazione sono state sviluppate per limitare l'impatto delle RFI. Sebbene molte di queste si applichino in fase di riduzione dati, esiste una soluzione pro-attiva, complementare alle altre, che con-

ised by reflector antennas with vast collecting areas and front-ends (that is the module with the most technologically sophisticated components necessary to receive the signal) cooled to cryogenic temperatures. From the earliest days of radio astronomy in the 1930s up to the present, the sensitivity of the modern radio telescopes has improved five or sixfold. In the coming decade, with the advent of the SKA (Square Kilometer Array), another leap forward is scheduled of a couple of orders of magnitude, thus reaching the era of spectral power flux densities of nano-Jansky. Clearly, in such a context a serious problem for the success of radio astronomical observation is represented by the presence of radio signals of human origin (wireless radio devices for personal use, commercial broadcast services, military or meteorological radar systems, transponders on satellites and mobile maritime or aviation systems, to name but a few). The radio astronomical receivers are in fact conceived to identify signals of several tens of dB below the noise level of the receiver system. Consequently the intensity of the "artificial" signals (hereinafter generically indicated as radio frequency interference - RFI) generates a deterioration in the quality of the astronomical signal received, if not a complete blinding of the receiver.

Over the course of the years, various mitigation techniques have been developed to alleviate the impact of the RFI. Although many of these are applied in the data reduction phase, there is also a complementary proactive solution which consists of the introduction of microwave filters based on high temperature superconductor (HTS) technology, to be placed in front of the initial amplification stages of the receiver, with the aim of avoiding the compression caused

siste nell'introduzione di filtri a microonde basati su tecnologia *high temperature superconductor* (HTS) da porre a monte dei primi stadi di amplificazione del ricevitore con l'obiettivo di evitarne la compressione prodotta da eventuali forti disturbi RFI fuori-banda. Al tempo stesso grazie alla tecnologia HTS si riesce comunque a preservare la bassa temperatura di rumore del ricevitore, ciò grazie alla rapida diminuzione della resistività elettrica del superconduttore alle basse temperature rispetto a quella ottenibile dai normali conduttori metallici. Gli HTS sono inoltre caratterizzati dal fatto che questo fenomeno di superconduttività compare a temperature relativamente alte (intorno al punto di ebollizione dell'azoto liquido, 77 Kelvin).

Un nuovo componente basato proprio sulla tecnologia HTS, oggetto del presente contributo, è rappresentato da un filtro passa-banda planare (Bolli et al. 2014) sviluppato per il front-end criogenico del ricevitore banda C (frequenza centrale 6.7 GHz con 30% di larghezza di banda) del Sardinia Radio Telescope (SRT, www.srt.inaf.it). Il ricevitore banda C è uno dei tre ricevitori di prima luce di SRT ed in particolare è quello con cui è stata osservata la prima radio sorgente (3C218) del nuovo impianto sardo nell'Estate del 2012 ed è utilizzato per osservazioni in continuo oltre che spettroscopiche essendo centrato attorno alla riga di emissione del metanolo.

Il dispositivo è uno dei risultati di un progetto nazionale co-finanziato dall'INAF attraverso il bando TECNO-INAF 2009 condotto all'Osservatorio Astrofisico di Arcetri assieme all'Istituto di Radioastronomia ed all'Università di Birmingham (UK).

by any strong RFI disturbances outside the nominal frequency band. At the same time, the HTS technology also makes it possible to preserve the low receiver noise temperature. This is due to the rapid lowering of the electrical resistance of the superconductor at low temperatures, compared to that which can be achieved using normal metal conductors. Another characteristic of the HTS is that this superconducting phenomenon appears at relatively high temperatures (around the boiling point of liquid nitrogen, 77 Kelvin).

The new component that is the subject of this contribution is based on HTS technology and consists of a band-pass planar filter (Bolli et al. 2014) developed for the cryogenic front-end of the C-band receiver (centre frequency 6.7 GHz with 30% bandwidth) of the Sardinia Radio Telescope (SRT, www.srt.inaf.it). The C-band receiver is one of the first-light receivers of the SRT, more specifically that through which the first radio source (3C218) was observed by the new Sardinian facility in the summer of 2012, and is used for continuum and spectroscopic observations being centred around the methanol emission line.

The device is one of the results of a national project co-funded by INAF through the call for applications TECNO-INAF 2009, conducted by the Arcetri Astrophysical Observatory together with the Institute of Radioastronomy and the University of Birmingham (UK).

The component was initially designed and subsequently produced in a number of different prototypes, which were finally characterised at cryogenic temperatures using supplementary measuring methods. Some of the prototypes are shown in Figure 1. Research activity was also directed towards testing alternative technical solutions for the production of superconductor

Il componente è stato dapprima progettato e successivamente realizzato in differenti prototipi, i quali sono stati infine caratterizzati a temperatura criogenica con metodi di misura complementari. Alcuni prototipi sono mostrati nella Figura 1. L'attività di ricerca è stata indirizzata anche a testare soluzioni tecniche alternative per la produzione dei filtri superconduttori, quali per esempio l'utilizzo di differenti materiali per il *carrier* del componente e la sua placcatura, così come l'utilizzo di connettori differenti rispetto a quanto utilizzato nelle procedure di produzione consolidate. Dall'analisi effettuata è risultato che i connettori SMA e la placcatura del *carrier* in argento risultano essere valide opzioni per tenere la fabbricazione dei filtri più semplice e più competitiva in termini di costi.

Le misure criogeniche dei parametri di *scattering* del componente mostrano un buon accordo con i risultati numerici come si può notare dalla Figura 2 che mostra il coefficiente di trasmissione del dispositivo: a parte alcuni *spikes* localizzati tra 15 e 20 GHz il filtro permette il passaggio del segnale radio solo nella banda desiderata (5.7 – 7.7 GHz) ed attenuando tutto ciò che è fuori da tale inter-

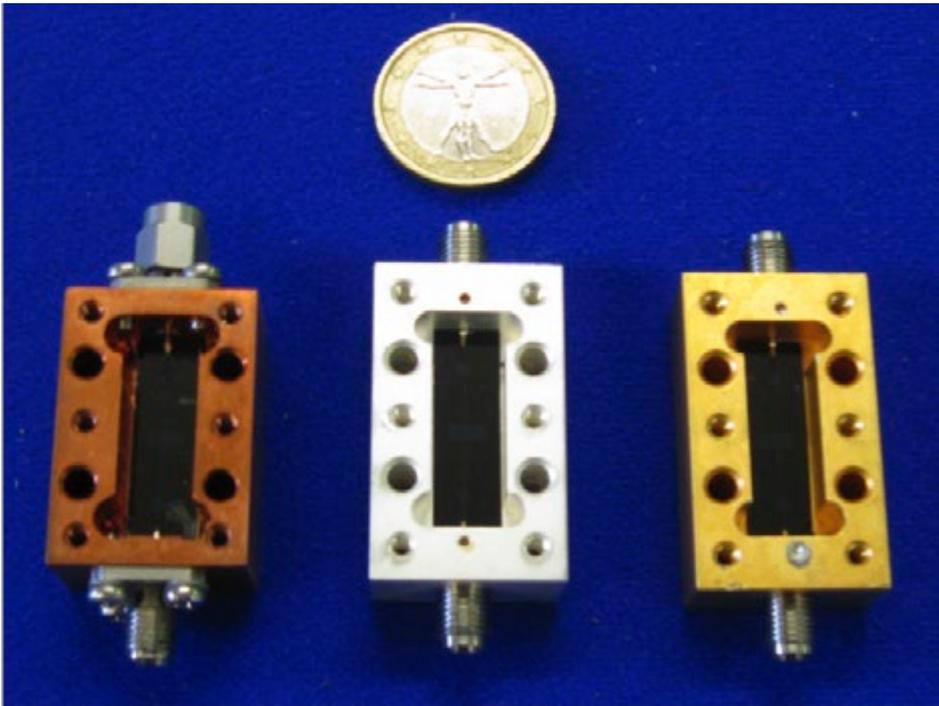


Figura 1. Immagini di alcuni prototipi dei filtri a microonde fabbricati con il superconduttore ad alta temperatura YBaCuO. La fotografia mostra una selezione di prototipi realizzati con differenti materiali del carrier: rame, titanio placcato con argento e titanio placcato con oro (da sinistra a destra).

Figure 1. Images of some of the prototypes of the microwave filters made with the high-temperature superconductor YBaCuO. The photograph shows a selection of prototypes made with different carrier materials: (from left to right) copper, silver-plated titanium and gold-plated titanium.

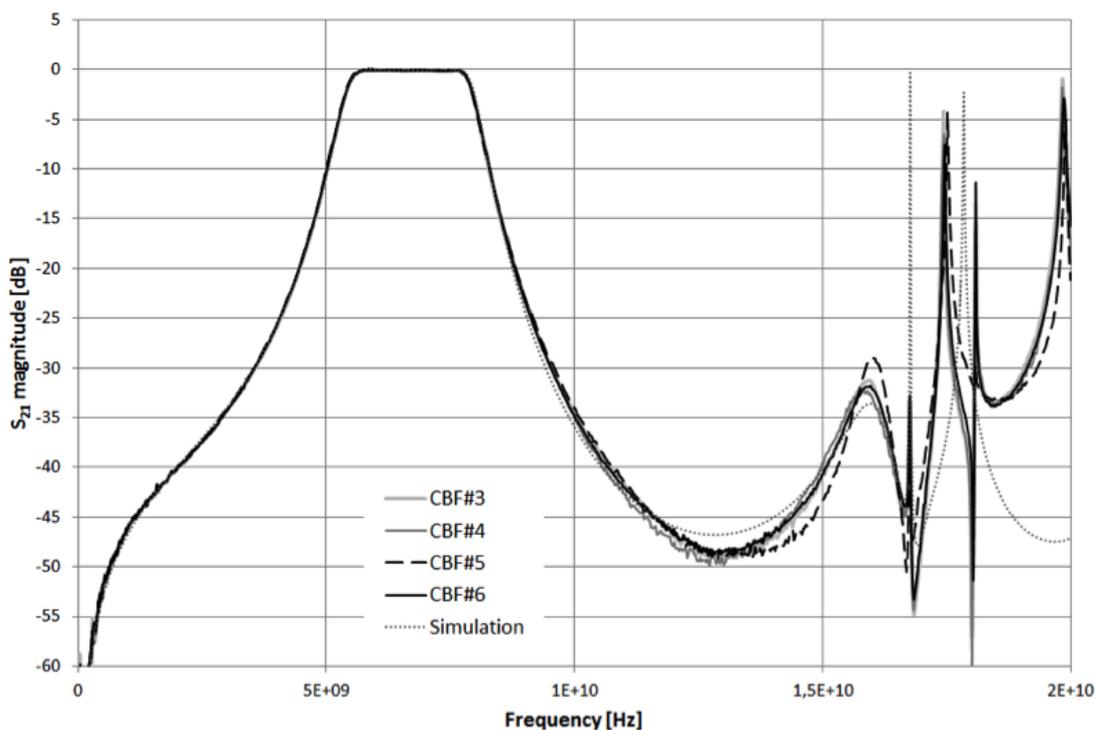


Figura 2. Coefficiente di trasmissione del filtro a 20 Kelvin. Le curve si riferiscono a misure sperimentali di 4 prototipi di filtro ed ai risultati numerici ottenuti in fase di progettazione del componente con l'ausilio di potenti software di simulazione elettromagnetica.

Figure 2. Transmission coefficient of the filter at 20 Kelvin. The curves indicate the experimental measurements of 4 filter prototypes and the numerical results obtained in the component design phase with the help of powerful electromagnetic simulation software.

filters, such as for example the use of different materials for the carriers of the component and its plating, or the use of different connectors from those normally used in the consolidated production procedures. From the analysis performed, it emerged that the SMA connectors and silver-plating of the carrier are valid options for simplifying the manufacture of the filters and keeping them more competitive in terms of costs.

The cryogenic measurements of the scattering parameters of the component demonstrate good correspondence with the numerical results, as can be seen in Figure 2, which shows the transmission coefficient of the device. Apart from a few spikes located between 15 and 20 GHz, the filter allows the radio signal to pass only through the desired band (5.7 – 7.7 GHz), mitigating everything outside that frequency interval. The transmission losses are on average in the range 0.15–0.25 dB depending on the measured prototype, while the reflection coefficient is lower than –16 dB. Finally, repeated sequences of cooling were performed, yielding a good repeatability of the results in both the short and medium term.

Unlike a similar HTS filter developed for the P-band receiver (305-410 MHz) of SRT and already included in the receiver chain (Bolli et al. 2012), the C-band filter has not yet been integrated in the receiver system, but this will be done as soon as the RFI conditions make

vallo di frequenza. Le perdite di trasmissione sono in media nel range 0.15–0.25 dB in funzione del prototipo misurato, mentre il coefficiente di riflessione è sotto i –16 dB. Infine sequenze ripetute di raffreddamento sono state effettuate verificando una buona ripetibilità nei risultati sia nel corto che nel medio termine.

Differentemente da un analogo filtro HTS sviluppato per il ricevitore banda P (305-410 MHz) di SRT e già incluso nella catena di ricezione (Bolli et al. 2012), il filtro banda C non è ancora integrato nel sistema ricevente ma lo sarà non appena le condizioni RFI lo renderanno necessario. Nel frattempo, dati i risultati promettenti ottenuti, si stanno portando avanti nuovi progetti di componenti a microonde sempre basati su materiale HTS, sia filtri in bande di frequenza diverse, ma anche dispositivi progettati per effettuare differenti operazioni sul segnale radio.

Bibliografia

- P. Bolli, L. Cresci, F. Huang, S. Mariotti, D. Panella 2014 “A high temperature superconductor microwave filter working in C-band for the Sardinia Radio Telescope,” *Journal of Astronomical Instrumentation*, vol. 3, 1.
- P. Bolli, F. Huang 2012 “Superconducting Filter for Radio Astronomy Using Interdigitated Spirals,” *Experimental Astronomy*, vol. 33, 1, pp. 225-236.

it necessary. In the meantime, given the promising results obtained, new designs for microwave components based on HTS material are being carried forward, concerning both filters for different frequency bands and devices designed to perform different operations on radio signals.

Bibliography

- P. Bolli, L. Cresci, F. Huang, S. Mariotti, D. Panella 2014 “A high temperature superconductor microwave filter working in C-band for the Sardinia Radio Telescope,” *Journal of Astronomical Instrumentation*, vol. 3, 1.
- P. Bolli, F. Huang 2012 “Superconducting Filter for Radio Astronomy Using Interdigitated Spirals,” *Experimental Astronomy*, vol. 33, 1, pp. 225-236.

Pietro Bolli graduated in Electronic Engineering at the University of Florence in 1999 and went on to take his PhD in Computer Engineering and Telecommunications in 2003 at the same university. He has been with the National Institute for Astrophysics since 2002, where he deals with the design of microwave systems for radio astronomy applications.

Pietro Bolli consegue la laurea in Ingegneria Elettronica ed il dottorato di ricerca in Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni rispettivamente nel 1999 e 2003 entrambi presso l'Università di Firenze. Dal 2002 è con l'Istituto Nazionale di Astrofisica dove si occupa di progettazione di sistemi a microonde per applicazioni radioastronomiche.

Luca Cresci, diplomato in indirizzo meccanica nel 1981. Dal 1983 al 1999 impiegato presso le Officine Galileo di Firenze e dal 1999 assunto presso l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri dell'INAF.

Dario Panella consegue il diploma di perito tecnico in telecomunicazioni nel 1973. Dal 1982 svolge l'attività di tecnico presso il laboratorio di radioastronomia dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri dell'INAF.

Luca Cresci finished secondary school with a diploma in mechanics in 1981. Between 1983 and 1999 he worked at the Officine Galileo in Florence, and from 1999 was recruited at the Astrophysical Observatory of Arcetri, which is part of INAF.

Dario Panella finished secondary school with a diploma as a telecommunications technician in 1973. Since 1982 he has been working as a technician at the radio astronomy laboratory of the Astrophysical Observatory of Arcetri, which is part of INAF.

