

**Realizzazione di
Preamplificatori in Banda L da
progetto NRAO e Yebes**

*Piero Curioni, Sergio Mariotti, Enzo Natale,
Dario Panella*

Rapporto Interno IRA 313 / 2001

Revisori: A. Cremonini, A. Scalambra

Indice:

1. Utilizzo	3
2. Costruzione.....	3
2.1. <i>Contenitore fresato</i>	3
2.2. <i>Circuito Stampato</i>	4
2.3. <i>Approvvigionamento Componenti</i>	5
2.4. <i>Montaggio</i>	5
3. Prestazioni	7
3.1. <i>Shock termici</i>	7
3.2. <i>Guadagno e Adattamento d'impedenza</i>	8
3.3. <i>Dinamica, IP₃</i>	9
3.4. <i>Stabilità – Auto oscillazioni</i>	9
3.5. <i>Misure Criogeniche</i>	9
4. Conclusioni	11
5. Bibliografia e Riferimenti	12

Lo scopo del presente rapporto è documentare la realizzazione di Low Noise Amplifiers (LNA) per la **Banda L** (18 – 21 cm), da un progetto proveniente dal **Centro Astronomico Di Yebes (E)** a sua volta proveniente da **NRAO (USA)**.

È la prima volta, che preamplificatori criogenici costruiti da Radioastronomi italiani utilizzano la tecnologia di montaggio dei componenti elettronici “ ibrida ” (denominata in gergo “bonding”). Tale tecnologia permette di ottenere oltre a bassissimo rumore, una banda passante relativamente larga ed una bassa probabilità di auto oscillazione.

1. Utilizzo

I LNA descritti nel presente rapporto verranno utilizzati in almeno due progetti diversi:

- Come amplificatori IF criogenici collegati in cascata a mixer SIS in ricevitori millimetrici
- Come preamplificatori criogenici in Ricevitori VLBI nella banda 18 cm e 21 cm.

È stato scelto di costruire N° 5 esemplari, che con l’aggiunta del prototipo acquistato **Centro Astronomico Di Yebes**, costituiscono una quantità sufficiente a soddisfare i precedenti punti ed a garantire un numero sufficiente di LNA di ricambio in caso di guasto.

La realizzazione è solida, compatta e massiccia. Non richiede operazioni di taratura. L’alimentazione è standard per LNA. Pertanto l’impiego di tali LNA è facile ed immediato con l’eventuale aggiunta di un isolatore a ferrite all’ingresso.

Le caratteristiche di Guadagno e Cifra di Rumore, ottimali a qualunque temperatura, suggeriscono l’utilizzo anche a temperatura ambiente con buone prestazioni.

2. Costruzione

Per la costruzione dei 5 LNA si è proceduto alla copia fedele del prototipo che è ampiamente descritta in [1] in ogni parte: progetto, circuito elettrico, disegni meccanici, suggerimenti di montaggio. [1] è il documento principale cui riferirsi per la replica di altri LNA uguali.

Solo le minime differenze rispetto al prototipo originale sono descritte nel presente rapporto.

2.1. Contenitore fresato

Il contenitore fresato “*brass body*” che nel nostro gergo ed in seguito in questo rapporto verrà denominato “**scatolino**” è stato disegnato dall’originale e replicato dalla ditta **Cloema**, loc. Vallina (FI) tel. 055 696131. Tale ditta detiene i disegni realizzativi.

Gli scatolini, sono realizzati in ottone e lavorati principalmente di fresa.

La finitura superficiale è una doratura denominata in gergo “**Soft-Gold**”. Consiste in un trattamento galvanico con oro tenero e finitura a “buccia d’arancia”. L’aspetto del prodotto finito, diversamente dai gioielli, non è né lucente né riflettente, il colore è giallo chiaro a volte sono presenti minimi riflessi che vanno dal giallo scuro al verde chiaro. Lo spessore richiesto è almeno 6 micron. Tale finitura necessaria e fondamentale per la successiva lavorazione di ancoraggio di alcuni componenti elettronici in miniatura (**bonding**) è un processo di lavorazione da considerarsi critico.

L'unica variazione al progetto originale è stata la sostituzione dei connettori coassiali di Input e Output.

Il progetto originale prevede i connettori tipo **K** che presentano alcuni svantaggi:

- Fragilità del pin centrale del connettore, dovuta alla linea dello stesso “in aria”
- Notevole complicazione nella lavorazione meccanica, sono infatti necessari pezzi aggiuntivi
- Notevole complicazione nel montaggio dovuta al fatto che è necessario fissare tale connettore con una colata di Sn-Pb, pertanto è necessario portare a circa 300°C lo scatolino pregiudicando la finitura **Soft-Gold**.
- L'uso del connettore **K** è necessario solo per frequenze superiori a circa 18 – 26 GHz,

Pertanto si è pensato di sostituire i connettori **K** con i compatibili connettori **SMA** flangiati, semplificando la realizzazione senza pregiudicare minimamente le prestazioni. Particolare attenzione è stata prestata all'adattamento d'impedenza e resistenza allo shock termico.

I connettori utilizzati sono : Huber + Suhner mod. 23 SMA-50-0-120-/111NE



Figura 2.1 Connettori SMA (sx) e K (dx) , si noti che la flangia del connettore SMA è corpo unico con il connettore

2.2. Circuito Stampato

La lunga ricerca di possibili fornitori di circuiti stampati con finitura Soft-Gold, ha portato alla luce che in Italia, tali fornitori sono estremamente rari, probabilmente uno o due.

La ditta **Nuova Eurotar** di Pignani Flavio, via Consolini, 3/5 BAGNI DI TIVOLI (Roma), tel. 0774 353522 <http://www.galattica/it/aziende/eurotar>, si è dimostrata non solo competente nella lavorazione dei circuiti stampati e nell'editing dei files di disegno (file Gerber), ma anche, caratteristica non comune, interessata sia a realizzare piccole serie, sia a utilizzare substrati non convenzionali.

La ditta Nuova Eurotar ha realizzato magistralmente i circuiti stampati.

2.3. Approvvigionamento Componenti

Per l'approvvigionamento dei componenti necessari più comuni ci si è rivolti ai fornitori consueti (RS Components), per i componenti più particolari, che costituiscono la maggioranza, ci si è rivolti ad un fornitore, **Syncro**, v. Ugo Foscolo, 37 FIRENZE tel. 055 224550 che ha provveduto al lavoro di ricerca, importazione e rivendita.

Gli unici componenti non commerciali, le bobine di filo smaltato, sono state realizzate da Piero Curioni.

2.4. Montaggio

Per il montaggio del del circuito ci si è rivolti, su indicazione del sig. Pignani, alla ditta **Oerlikon-Contraves** v. Affile, 102 (v. Tiburtina Km. 13.5) Roma, tel. Tel. 06 43611 <http://www.oerlikoncontraves.it/>. Le persone di riferimento sono L'Ing. Flavio Bergamini, responsabile commerciale ed il sig. Carlo Daidone responsabile della produzione.

Il gruppo diretto dal Sig. Daidone, che ha realizzato gli LNA con grande maestria, possiede un metodo di lavoro estremamente preciso ed attento ai dettagli. Non abituati a tale metodologia, abbiamo dovuto rivedere alcuni dettagli ed imprecisioni trascurati nella fase di realizzazione dello scatolino riguardanti la sistemazione dei componenti nello scatolino stesso. In particolare, i problemi riscontrati e le soluzioni sono state le seguenti:

- nel progetto dello scatolino, non sembrano previste né le “vie di fuga” per il materiale saldante fra piano di massa del **PCB** ed il proprio alloggio all'interno dello scatolino né lo spessore della lega saldante stessa. Sensibilizzati sull'argomento, abbiamo condotto alcune prove sperimentali al fine di determinare lo spessore della lega Sn-Pb e di trovare una valida soluzione alle vie di fuga per la lega Sn-Pb liquida.
La soluzione alle vie di fuga è stata raggiunta smussando a 45° dello spigolo inferiore del **PCB** per circa 1 mm.
Lo spessore Sn-Pb richiesto per garantirne una distribuzione uniforme ma che non innalzi troppo la quota del **PCB** (che impedirebbe al pin del connettore SMA di infilarsi nello scatolino) è stata calcolata in 0.016 mm, e realizzata stendendo lungo la sede del **PCB**, due fili di Sn-Pb con diametro 0.5mm. Lo spessore misurato dopo la saldatura (aiutata con flussante alcoolico) è risultato pari a 0.02±0.03 mm, che ha permesso ancora di inserire il pin centrale del connettore SMA senza forzature. Lo Sn-Pb in eccesso si è depositato in maniera pulita lungo gli smussi senza investire altre zone del circuito. Per saldare il **PCB** si è utilizzato un fornello a temperatura controllata. Per evitare il galleggiamento del PCB, gli è stato appoggiato un peso di ottone (ricoperto di nastro di **PTFE** per evitare che si saldasse) di circa 40 g.
- Il processo galvanico di doratura, per sua natura deposita uno spessore maggiore sugli spigoli. Tale effetto si è dimostrato un problema per il foro filettato 5/16” 24 UNF del connettore DC. È stato pertanto necessario ripassare con opportuno maschio per filettature la sede di tale connettore.
- Il fissaggio dei “chip capacitor” di bypass della DC al fondo dello scatolino, originariamente previsto con saldatura Sn-Pb non ha convinto il sig. Daidone che ha preferito saldare tali chip-capacitor con la resina **Epo Tek H20E** con la quale ha più dimestichezza.

Le connessioni “bonding” sono state effettuate in camera bianca classe 10000 da personale specializzato utilizzando una bond machine termosonica manuale mod. **West Bond mod. 7400** con punta “**deep access**” e filo in oro 17 micron.

Come nel prototipo, sono state ricoperte le pareti laterali delle cavità che alloggiavano i **PCB** con materiale radio assorbente **MF 124 Emerson & Cuming**.

Tale materiale è stato incollato con colla epossidica bi-componente della quale si ha già esperienza in utilizzi criogenici. Per prossime applicazioni, si suggerisce l’uso di colla bi-componente **Armstrong A12** mescolata in rapporto 4:1 che garantisce, dopo la polimerizzazione, una resina leggermente morbida anche a temperature criogeniche.

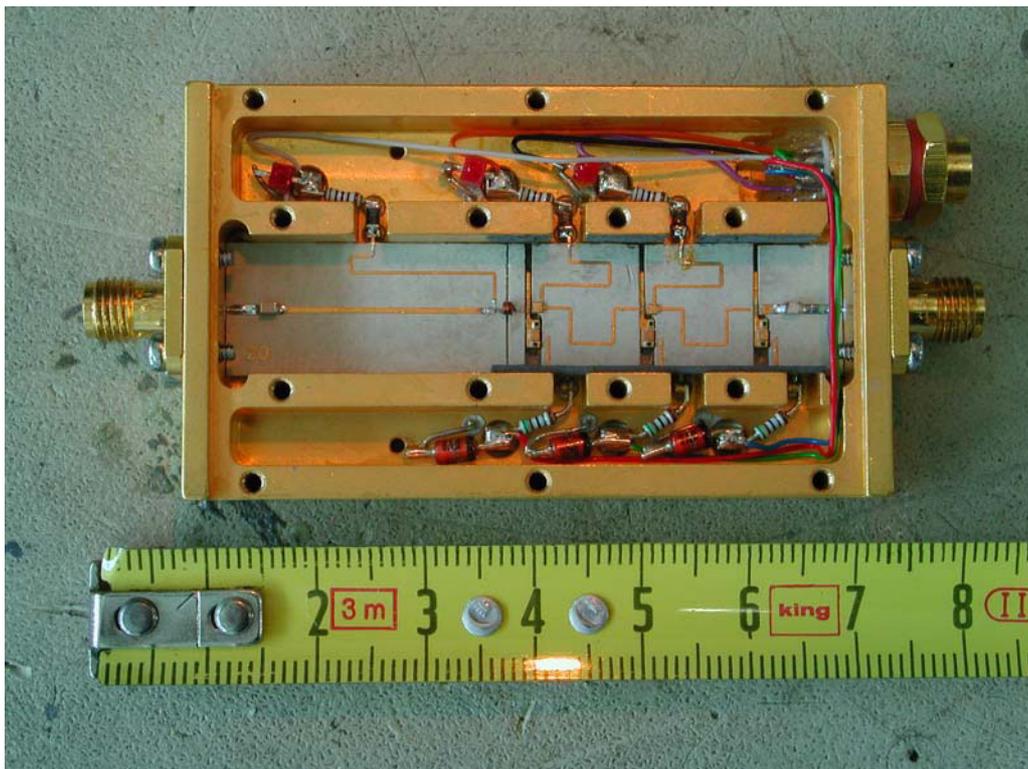


Figura 2.2 Realizzazione completa

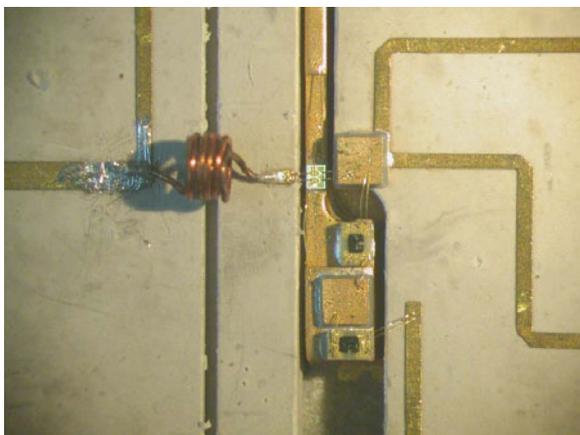


Figura 2.3 particolare HEMT Fujitsu FHR02FH,

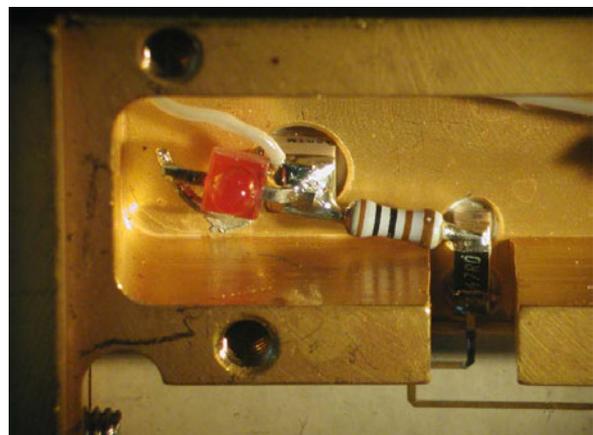


Figura 2.4 particolare circuito DC

3. Prestazioni

Le valutazioni ed i controlli sul primo prototipo di amplificatore Banda L sono stati i seguenti:

- ispezione visiva del montaggio
- controllo delle correnti assorbite (I_d) e tensioni di gate (V_g).
- controllo dei parametri fondamentali (Guadagno, Cifra di rumore, Adattamento, IP_3)
- resistenza allo shock termico (immersione in Azoto liquido)
- misura precisa della cifra di rumore @ 20 °K

L'ispezione visiva di tutte le parti che compongono l'amplificatore, ha mostrato che tale LNA è stato assemblato con grande maestria, seguendo una scrupolosa metodologia. Il confronto fra l'artwork prodotto da **Oerlikon-Contraves (OCI)** e quello prodotto a **Yebes** mostra che il primo è sicuramente più ordinato, e più pulito; questi aspetti non sono secondari, in Radiofrequenza la disposizione dei componenti, l'estetica delle saldature ecc. possono influire sulle prestazioni del dispositivo.

Dopo un tentativo fallito, il primo prototipo prodotto ha mostrato un funzionamento in corrente continua ottimale. Messe a confronto le alimentazioni DC, i LNAs prodotti ed il prototipo proveniente da **Yebes**, hanno mostrato, entro la ragionevole fascia di incertezza di 50 mV, le stesse tensioni di gate a parità di corrente assorbita.

Una misura di guadagno e cifra di rumore alla temperatura ambiente è stata condotta, dall'esperto di misure, Ing. Marco Trussardi, nei laboratori **OCI** alla presenza di Curioni e Mariotti. Il confronto ha mostrato subito grande accordo fra le misure sul prototipo **OCI** e sul prototipo **Yebes**.

3.1. Shock termici

Tutti i LNA realizzati da **OCI** hanno superato con successo un ciclo di quattro shock termici tramite immersione in Azoto liquido e successivo riscaldamento.

Il materiale dielettrico a base di **PTFE** del quale è costituito il **PCB**, possiede una dilatazione termica lineare molto maggiore del materiale di cui è costituito lo scatolino (Ottone). Nonostante ciò tale differenza nelle dilatazioni lineari non costituisce un problema in quanto il substrato è molto morbido quindi sopporta egregiamente e senza danno forti compressioni e stiramenti.

3.2. Guadagno e Adattamento d'impedenza

I seguenti grafici mostrano il valore $|s_{21}|^2$ (Guadagno) e $|s_{11}|^2$ (Input Return Loss) misurati a temperatura ambiente con $V_d=2.5\text{ V}$, $I_d=10\text{ mA}$.

Si noti che i valori e le curve di guadagno sono particolarmente uguali.

È stata indagata la ragione delle differenze fra le due curve di Input Return Loss.

Qualora se ne presentasse la necessità, si può tarare il valore di Input Return Loss aumentando l'induttanza di source del 1° stadio tramite la "rottura" di uno o due bond wires di source. Un altro metodo consiste nel modificare leggermente il valore della bobina in aria che alimenta il gate del 1° stadio.

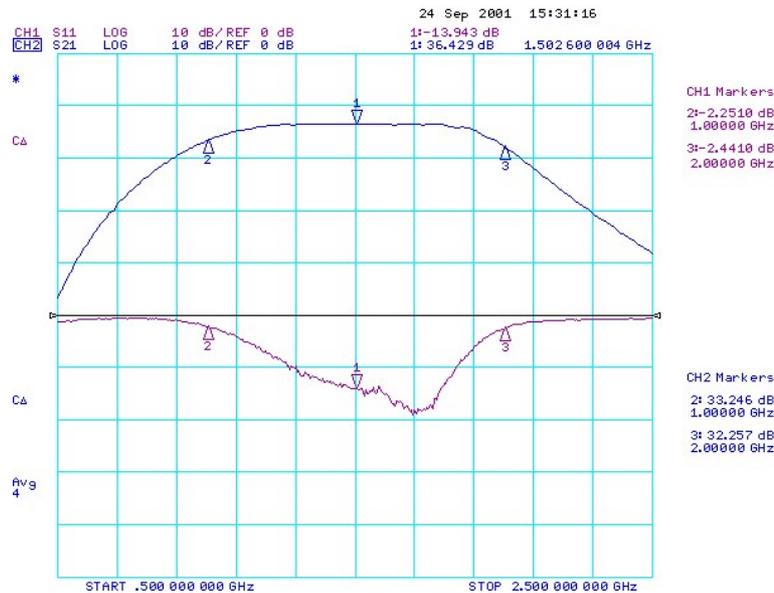


Figura 3.1 Guadagno ed Input Return Loss di un prototipo costruito da OCI a temperatura ambiente

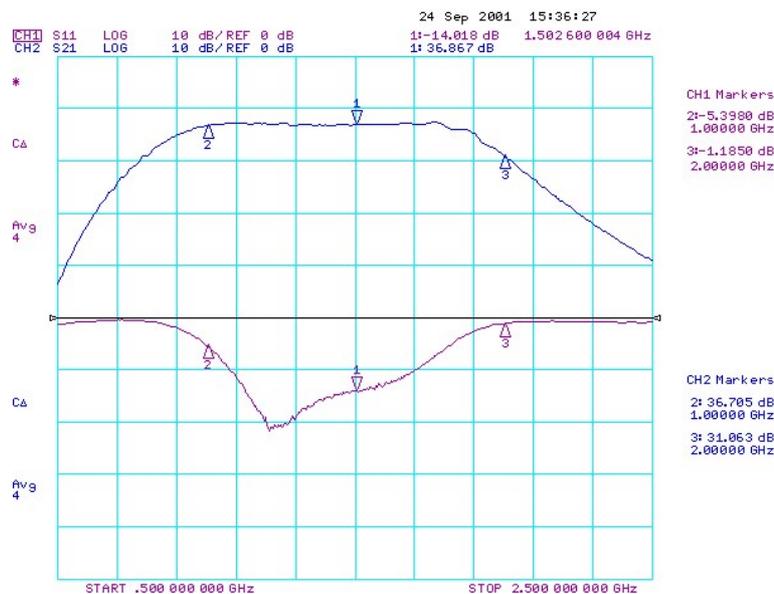


Figura 3.2 Guadagno e Return Loss del prototipo Yebes a temperatura ambiente

3.3. Dinamica, IP_3

La misura IP_3 misurato alla temperatura ambiente, poi a $20^\circ K$, alla frequenza 1500 MHz , e con alimentazione standard è pari a + 9.5 dBm; un valore notevolmente inferiore rispetto ai tipici valori degli LNA che si piazzano fra i + 15 ÷ +20 dBm. Ciononostante, non costituisce un problema quando l'LNA viene impiegato come IF in ricevitori millimetrici.

3.4. Stabilità – Auto oscillazioni

Sono state controllate le auto oscillazioni chiudendo i 2 terminali (IN o OUT) rispettivamente su carichi 50 Ohm, poi su Shorts, poi su Opens (9 combinazioni). Poi il connettore IN è stato collegato ad un dipolo sintonizzato a 1400 MHz.

In nessun caso ed a nessuna temperatura si sono verificate oscillazioni.

3.5. Misure Criogeniche

Le successive misure RF, alla temperatura fisica $20^\circ K$, condotte presso il laboratorio del Radiotelescopio di Medicina, hanno mostrato i valori riportati nei grafici di fig.3.3

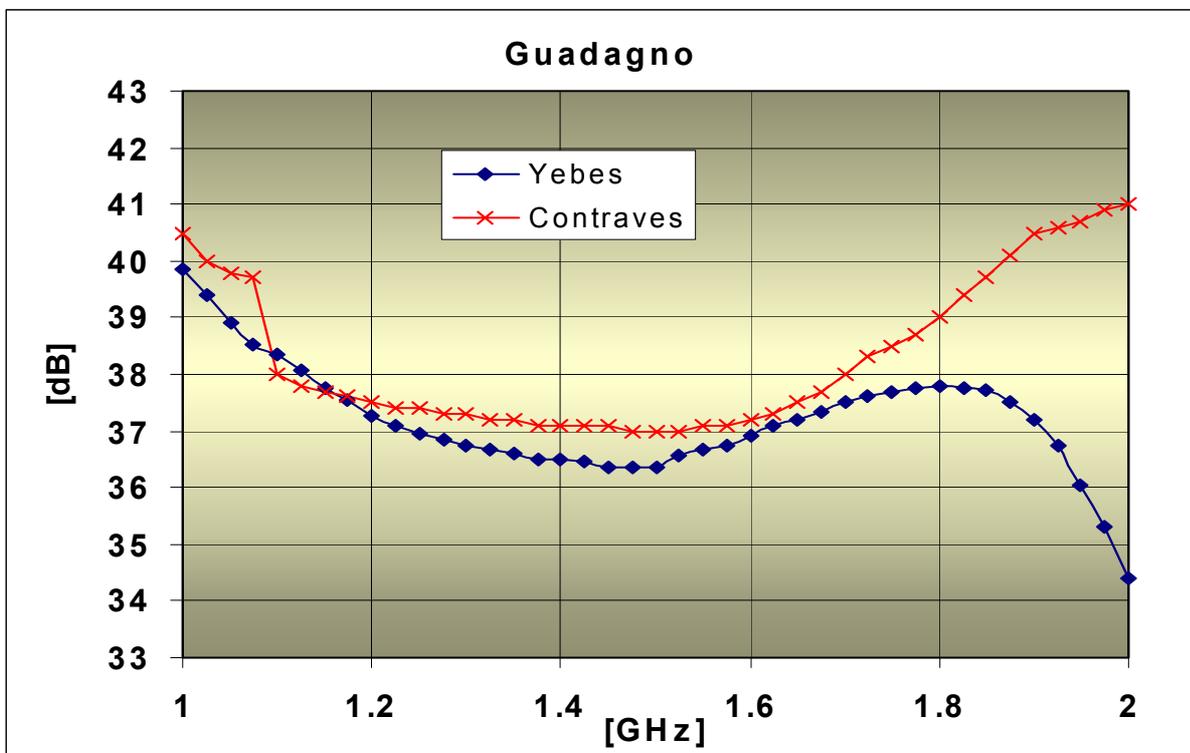


Figura 3.3 Guadagni misurati @ $20^\circ K$

In particolare si nota che i guadagni, misurati alla temperatura di 20°K sono particolarmente simili fra loro. Si può ritenere che ai fini di applicazioni Radioastronomiche essi siano sufficientemente piatti.

La temperatura di rumore, misurata alla bocca del dewar di laboratorio è mostrata in fig.3.4

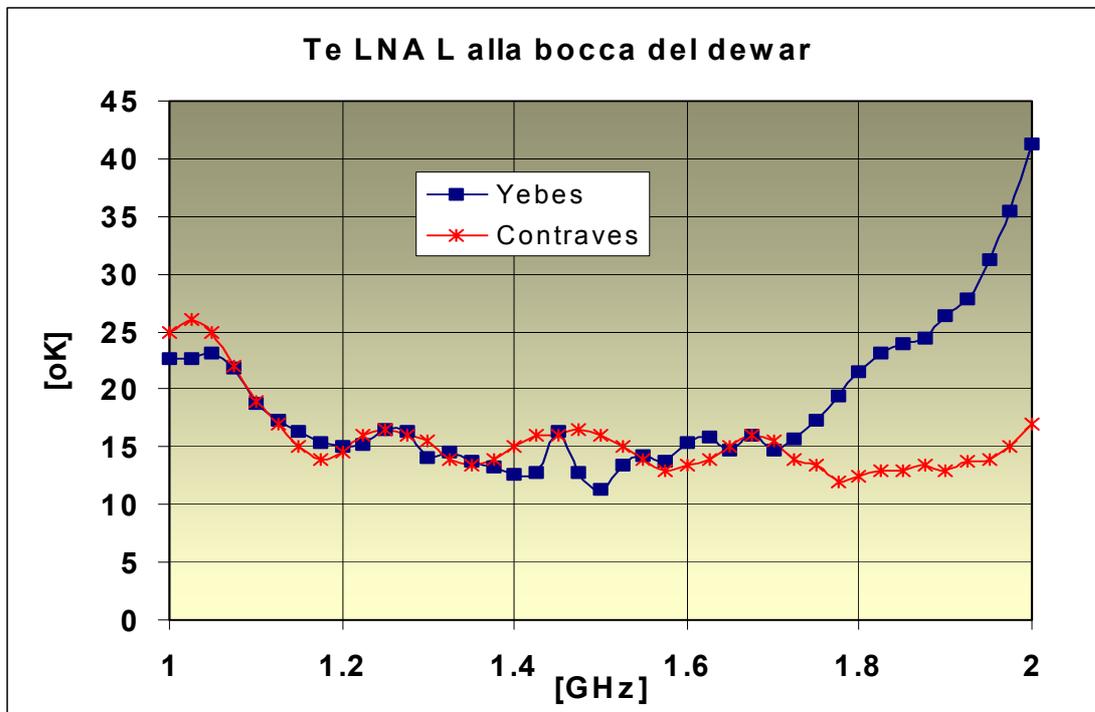


Figura 3.4 Temperature di rumore degli LNA a 20°K, misurate alla bocca del dewar

La temperatura di rumore, del solo LNA, quindi dopo un lavoro di “de-embedding” atto a detrarre le attenuazioni dei cavetti di collegamento, è mostrata in fig.3.5. Notare che le barre di errore sono particolarmente estese rispetto al valore di misura. Nonostante ciò tale imprecisione non pregiudica le prestazioni dei sistemi dove tali LNA verranno piazzati.

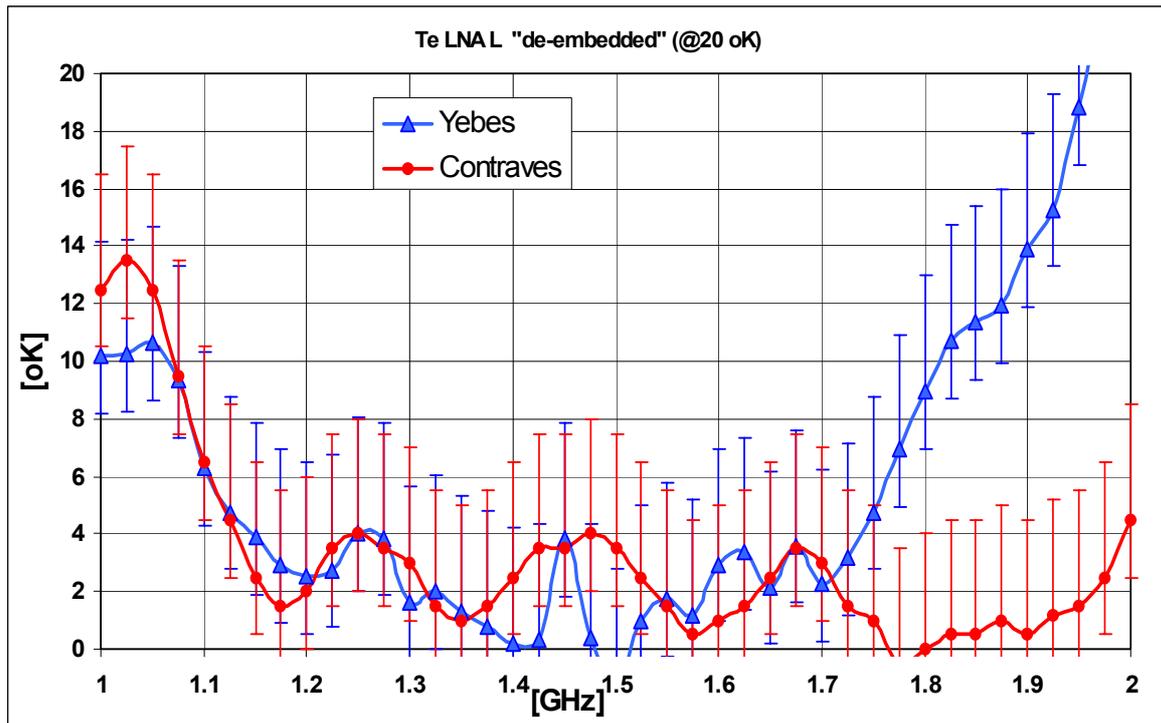


Figura 3.5 Temperature di rumore degli LNA a 20°K

4. Conclusioni

Sono stati prodotti 5 esemplari di preamplificatori criogenici in banda L (1 – 2 GHz) su progetto e disegno provenienti dall'oss. Di **Yebes** (E).

La produzione è stata commissionata a produttori esterni ed è stata supervisionata da personale che afferisce alla Radioastronomia.

Le prestazioni, ottimali alla temperatura fisica 20°K, rendono tali LNA adatti per essere utilizzati come preamplificatori per ricevitori nella banda 18 – 21 cm e/o come amplificatori IF seguenti mixer SIS in ricevitori millimetrici.

5. Bibliografia e Riferimenti

- [1] Gallego J. D. , Pospieszalski M. W.: “**DESIGN AND PERFORMANCE OF CRYOGENICALLY-COOLABLE, ULTRA LOW-NOISE, L-BAND AMPLIFIER** ” . *NRAO Electronic Division Internal Report No 286*)
- [2] Gallego J. D. , : “ **L-BAND CRYOGENIC AMPLIFIERS STATUS REPORT**” . *Informe Técnico CAY 1992-8*
- [3] Bill Lakatosh, : NRAO, *Comunicazioni private* ,1992
- [4] S. Mariotti, T. Pisanu, A. Scalambra: “ **Accuratezza Delle Misure Di Temperatura Di Rumore**” *Rapporto Interno IRA 302/00*