

Ricevitore 43 GHz: Temperatura, Marca, Drift, Polarizzazione, Dinamica

C. Contavalle, A. Cremonini, S. Mariotti, C. Nocita, D. Panella, F. Schillirò

Rapporto Interno IRA N° 372 / 2005

Revisore: Jader Monari

RICEVITORE 43 GHZ: TEMPERATURA, MARCA, DRIFT, POLARIZZAZIONE, DINAMICA..... 1

1. GENERALITÀ.....	3
1.1. SCOPO.....	3
1.2. SIMBOLI.....	3
1.3. NOTE.....	3
1.4. SETUP DI MISURA E STRUMENTAZIONE ADOTTATA.....	4
1.5. INCERTEZZE.....	7
1.6. RISULTATI.....	9
1.7. RIPETIBILITÀ E RIPRODUCIBILITÀ.....	10
2. DRIFT.....	11
2.1. SETUP DI MISURA.....	11
2.2. POST PROCESSING.....	11
2.3. RISULTATI.....	12
3. POTENZE.....	13
3.1. SPETTRI DI POTENZE.....	13
4. POLARIZZAZIONE.....	14
5. SATURAZIONE: PO_1.....	15
6. BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI.....	16

1. Generalità

1.1. Scopo

Lo scopo del presente lavoro consiste principalmente nella determinazione della “marca” di rumore del ricevitore per banda Q (43 GHz).

Dati gli strumenti impiegati e le operazioni eseguite, di fatto sono state eseguite altre misure complementari quali misure di stabilità, di potenza e guadagno.

1.2. Simboli

T_e	Temperatura di rumore del Ricevitore
T_h	Temperatura “hot” calda
T_c	Temperatura “cold” fredda
T_m	Temperatura della marca (da intendere come “step”)
P_h	Potenza letta con carico caldo
P_c	Potenza letta con carico freddo
P_m	Potenza letta con carico freddo e marca accesa
Y	P_h/P_c
ΔP	$P_h - P_c$
ΔT	$T_h - T_c$
σ_{T_e}	deviazione standard di T_e
σ_{T_h}	deviazione standard di T_h
σ_{T_c}	deviazione standard di T_c
σ_Y	deviazione standard di Y

1.3. Note

I dati campionati durante la campagna di misura cui si riferisce questo rapporto sono conservati in foglio MS Excel[®] da uno degli autori: Sergio Mariotti. Il file è disponibile a richiesta.

1.4. Setup di Misura e Strumentazione Adottata

Il metodo adottato è la determinazione di una differenza ignota di Temperatura tramite confronto con un salto di temperatura noto.

In particolare si ritiene di conoscere il salto di temperatura fra un corpo nero (cryo load) immerso in liq. N₂ e un altro corpo nero alla temperatura ambiente.

I “corpi neri” sono costituiti da assorbitori “Eccosorb™” tipo CV6® o similare di forma a cono convoluti (simile al cartone porta uova).

Il contenitore “freddo” è in polistirolo espanso, a cella chiusa. È stato verificato che non si forma ne acqua ne ghiaccio sulle pareti.

Il procedimento di misura consiste nel acquisire almeno 3 letture: Potenza con carico “caldo” (Ph), potenza con carico “freddo” (Pc), potenza con carico freddo e lampada di rumore accesa (Pm).

In pratica però conviene acquisire altre 2 letture: carico caldo più lampada accesa e una ripetizione, a fine ciclo, della prima lettura (Ph); queste ultime due letture servono a controllare la linearità e il drift.

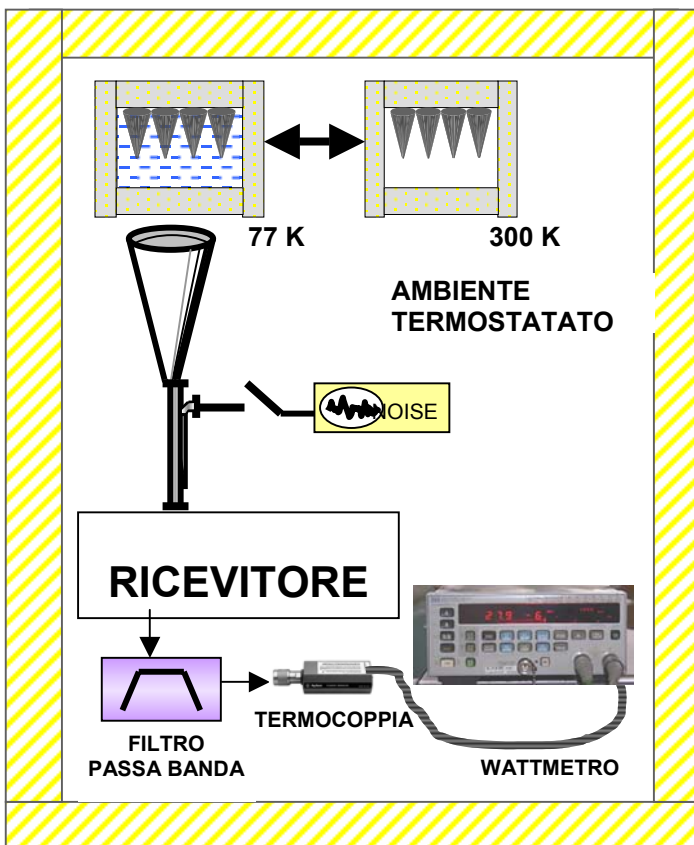
La sequenza, tesa a velocizzare al massimo le letture per diminuire il drift, è stata una lettura in rapida sequenza di:

HOT → HOT + Marca → COLD + Marca → COLD → HOT .

Ciascuna lettura è stata eseguita frequenza per frequenza con spaziatura di circa 100 MHz con filtri larghi circa 15 MHz. Un foglio MS-Excel ha collezionato i dati raccolti.

Sono state curate particolarmente, cioè ripetute più volte, le frequenze di maggior interesse scientifico.

Sono stati condotti test per verificare sia la ripetibilità sia la riproducibilità.

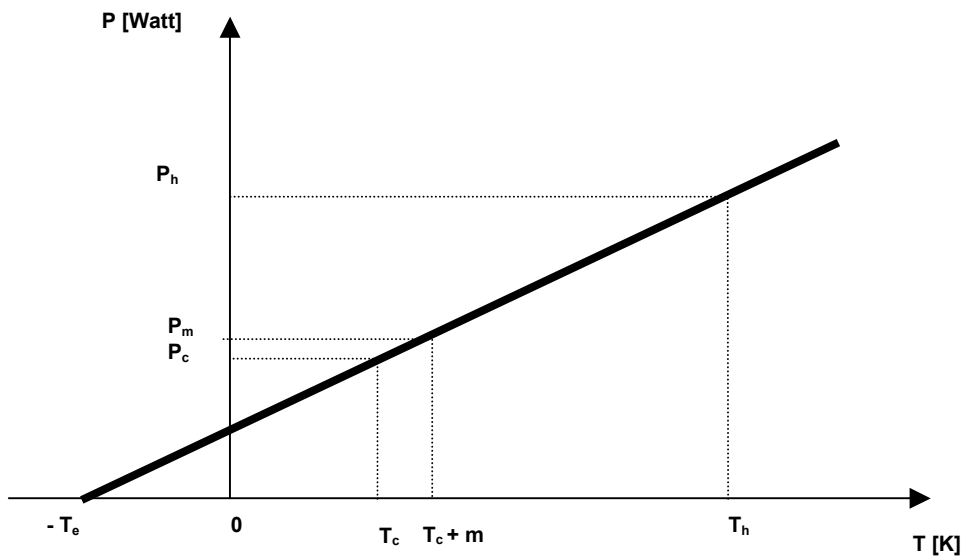


Schema SETUP di MISURA



SETUP di MISURA

L'andamento, lineare, che lega le potenze con le temperature è ben noto ed è rappresentato graficamente nel seguente grafico,



e le relative equazioni di misura sono le seguenti:

$$m = \frac{P_h - P_c}{T_h - T_c} \quad T_m = \frac{(P_m - P_c)}{m} \quad T_c = \frac{P_h \cdot \Delta T - T_h \cdot \Delta P}{\Delta P} \quad T_e = \frac{T_h - Y \cdot T_c}{Y - 1}$$

La chiave per ottenere un'alta accuratezza è utilizzare strumentazione stabile nel tempo.

L'instabilità nel tempo è generata da almeno due cause: il jitter e il drift.

Per minimizzare il jitter è necessario massimizzare il prodotto Costante di tempo * Banda passante. Tramite un'accurata scelta della strumentazione è stato selezionato un wattmetro con alta costante di tempo ed un filtro passa banda, sufficientemente largo per minimizzare il jitter ma abbastanza stretto da poter fare misure spot.

Per minimizzare il drift, le uniche strade percorribili sono la termostatazione dell'ambiente e l'uso di strumenti di alta qualità ed affidabilità quali wattmetro a termocoppia, cavi e connettori affidabili, filtri stabili ecc.

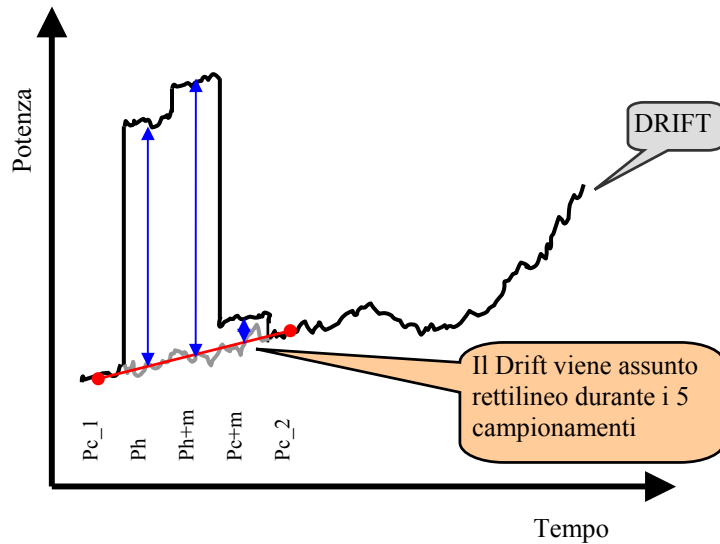


Wattmetro e Attenuatori "level setting"



Banco di filtri sintonizzabili

Purtroppo, nonostante l'utilizzo dei più avanzati strumenti di cui si dispone, il drift non si riduce a sufficienza. Si è pertanto provveduto ad applicare ai dati campionati un algoritmo teso a ridurre ulteriormente il drift. Il principio della correzione applicata è visualizzabile nella seguente figura:



Le letture Pc_1 e Pc_2 dovrebbero coincidere fra loro se il drift fosse nullo. In pratica saranno differenti seppur di poco. Ciascuna lettura Ph , $Ph+m$, $Pc+m$ verrà acquisita in foglio MS Excel poi istantaneamente corretta in base alla pendenza della linea che congiunge Pc_1 e Pc_2 . In particolare, se non ci fosse nessuna correzione, la linea di base sarebbe orizzontale, mentre applicando la correzione, la linea di base è determinata facilmente in base all'equazione della retta che passa dai punti Pc_1 e Pc_2 .

1.5. Incertezze

Per stimare l'incertezza di misura è necessario determinare l'incertezza associata alle singole variabili dell'equazione di misura, stimarne la distribuzione, e calcolare la somma RSS nella nota equazione di propagazione dell'incertezza [1].
Date le due equazioni di misura di T_e e T_m , ne sono state calcolate le derivate parziali e sono state scritte le equazioni di propagazione dell'incertezza di seguito riportate:

$$\sigma_{T_e} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{T_h}}{Y-1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T_c} \cdot Y}{Y-1}\right)^2 + \left[\frac{\sigma_Y \cdot (T_c - T_h)}{(Y-1)^2}\right]^2}$$

$$\sigma_{T_m} = \sqrt{\left[\frac{\sigma_{\Delta T} \cdot (P_m - P_c)}{\Delta T}\right]^2 + \left[\frac{\sigma_{\Delta p} \cdot \Delta T \cdot (P_m - P_c)}{\Delta P^2}\right]^2 + \left[\frac{\sigma_{P_m - P_c} \cdot \Delta T}{\Delta P}\right]^2}$$

È necessario inoltre conoscere o stimare le incertezze associate ai dati strumentali; di seguito si elencano le incertezze considerate e le rispettive cause:

- **Correzione Planckiana:**

in banda Q (33-50 GHz) la temperatura di brillantezza è inferiore alla temperatura fisica di una quantità funzione della frequenza e della temperatura fisica; per semplificare i calcoli, si può approssimare tale differenza a circa 1 K in tutta la banda Q e in tutto il range di temperature fisiche comprese fra 77 K e 300 K. Applicando tale approssimazione si commette un errore molto piccolo, (tipicamente inferiore a 0.1 K) in quanto in quanto la correzione “planckiana” colpisce quasi in ugual misura sia T_h sia T_c , quindi si deduce che, approssimando al decimo di K, non viene modificato il valore ΔT . Pertanto, I valori di temperatura fisica dei carichi “caldo” e “freddo” verranno diminuiti di 1 K. Formalmente la correzione Planckiana viene effettuata anche se di fatto è così piccola da non influire la determinazione di T_e e T_m . Per gli scopi preposti in questo rapporto, trascuriamo l'incertezza introdotta dall'approssimazione eseguita.

- **Incetenza associata al cryo-load**

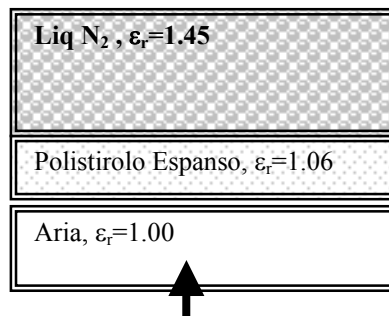
Il giorno della misura la pressione ambiente era 1021 mBar, pertanto la temperatura di ebollizione del liq. N_2 valeva 77.4K [4]

I cryo-loads disponibili erano 2: il primo, a “bassa incetenza”, con parete in BASF® 3035 e superfici “*tapered*” ($T_C = T_{LN_2} + 1 \pm 1K$) ma tale che dopo circa 30 min. diventava inutilizzabile a causa del fatto che si beveva di acqua; il secondo, in polistirolo espanso, più stabile nel tempo e tale che al confronto con il primo cryo-load ha mostrato avere una T_C maggiore di circa 2K. Al fine di stimare l'incetenza di tale cryoload è necessario conoscere l'offset di temperatura rispetto alla temperatura di ebollizione dell'Azoto liquido (T_{LN_2}). Si può solamente ipotizzare l'andamento in frequenza di tale offset separando due andamenti, uno periodico “*ripple*”, più fastidioso, dovuto a riflessioni multiple e l'altro monotono dovuto ad attenuazione dissipativa del polistirolo espanso. La riflettività di una pila di superfici piane Aria-Polistirolo-liq. N_2 (vedi figura seguente) è stata calcolata con simulatore e vale circa : 20...30 dB che produce un “*ripple*” con andamento periodico pari a -0/+0.8K.

Gli algoritmi adottati per il calcolo di come le riflessioni agiscono sulle temperature generate, che non si riportano per semplicità, sono riferiti a [6] pag.29...37 e non a [7] verso il quale c'è un apparente disaccordo [8]



Cryoload in polistirolo espanso



Struttura riflettente simulata

È stato verificato sperimentalmente che l'eventuale spill-over non è apprezzabile. Il metodo utilizzato è stata l'osservazione della potenza di rumore durante un "transito" del cryo-load davanti all'horn. Se la curva Potenza vs. Posizione descrive una gaussiana allora lo spill-over è sensibile (se pur non determinato), se invece la curva ha l'andamento di una gaussiana ma fortemente appiattita al vertice, allora è evidente che lo spill-over non è misurabile.

Si applica la correzione Planckiana detraendo 1 K.

Prudentemente si è assunto che la T_c del cryo-load in polistirolo espanso valesse $T_c = 79.4 \pm 2.0$ K

In ogni caso per mantenere contenuta sia l'incertezza su T_c sia il drift, per precauzione si è provveduto ad asciugare periodicamente eventuale condensa sul cryoload con carta assorbente e soffiando continuamente aria molto secca .

- Incertezza associata alla temperatura "calda" T_h :

La stanza dove avviene la misura si è mostrato di fatto termostato. La temperatura acquisita con termometro di precisione era 297K ± 0.5 K

Applicando la correzione Planckiana otteniamo $T_h = 296 \pm 0.5$ K

- Incertezze di lettura Wattmetro

± 1 digit + circa ± 0.015 dB (effetto del drift).[3]

Le incertezze di calibrazione della scala sono nulle in quanto si eseguono misure a rapporto.

La seguente tabella mostra il sommario della stima delle incertezze associate ai dati strumentali:

Incetnze sulle letture strumentali						
	U(T_h)	U(T_c)	U(Y)	U(ΔT)	U(ΔP)	U($P_m - P_c$)
+/-	0.5	2	0.008	2	10...20	5...11
Distribuzione	Rect.	U	Rect.	U	Rect	Rect
Dividere per	1.73	1.41	1.73	1.41	1.73	1.73
	σ_{T_h}	σ_{T_c}	σ_Y	$\sigma_{\Delta T}$	$\sigma_{\Delta P}$	$\sigma_{(P_m - P_c)}$
+/-	0.29	1.42	0.005	1.42	6...12	3...6

Sostituendo i valori opportuni si può calcolare l'incertezza sulla Temperatura della "Lampada" (Marca) e sulla temperatura di Rumore.

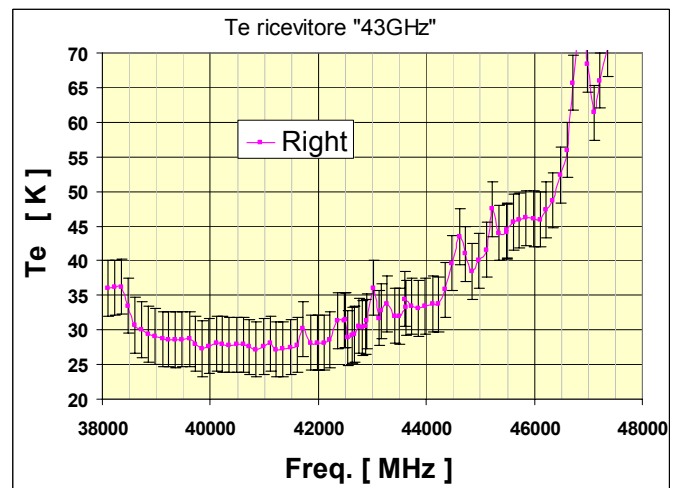
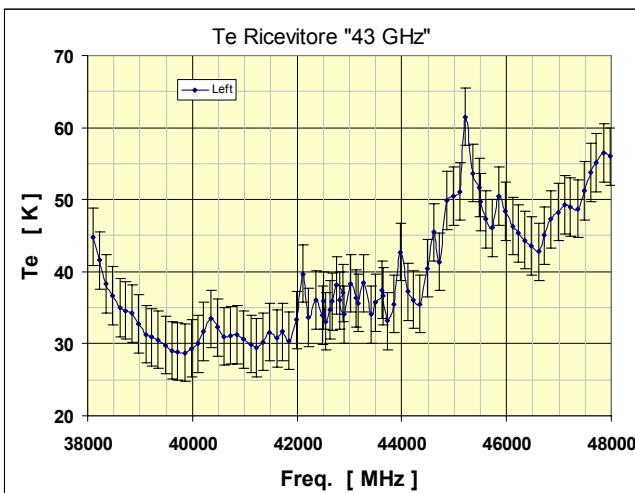
1.6. Risultati

Le seguenti tabelle mostrano i risultati al 95% di probabilità, frequenza per frequenza. I grafici mostrano le Te di ciascun canale con le barre di incertezza.

Sommaro delle Temperature				
Freq [GHz]	LEFT		RIGHT	
	Te	Tm	Te	Tm
38	39.7	26.8	30.7	34.7
39	26.2	27.9	23.6	32.3
40	42.3	20.1	23.0	26.0
41	25.3	17.6	22.9	22.8
42	28.0	23.5	23.1	21.6
43	33.1	15.5	30.5	20.4
44	37.7	12.3	28.7	16.1
45	45.7	8.5	36.2	10.5
46	40.8	5.8	41.0	7.1
47	44.0	2.8	55.8	3.1
48	50.4	3.7	80.1	3.9

Sommaro delle Incertezze		
Freq [GHz]	U(Te)	U(Tm)
	± [K]	± [K]
38	4.0	2.6
39	4.0	3.6
40	4.0	3.0
41	4.0	2.6
42	4.0	3.1
43	4.0	1.9
44	4.0	1.5
45	4.0	1.2
46	4.0	1.2
47	4.0	1.2
48	4.0	1.1

Sommaro delle Temperature alle frequenze di interesse spettrale				
Freq [MHz]	LEFT		RIGHT	
	Te	Tm	Te	Tm
42673	30.7	17.8	24.7	20.3
42820	30.8	14.3	25.5	17.8
43122	31.8	16.0	26.5	19.6
43422	28.4	15.9	27.1	22.1
45490	44.9	6.3	39.4	7.9



Si noti come l'incertezza sia particolarmente elevata per bassi valori di Tm.

Volendo fornire un valore unico, consapevoli di commettere una approssimazione, e prescindendo dal valore di frequenza e di Tm, si può affermare che la stima al 95% di $U(Tm)/Ym$ vale circa:

$$U(Tm)\% = \pm 13\% \text{ (38...45 GHz)}, \quad U(Tm)\% = \pm 30\% \text{ (46...50 GHz)}$$

1.7. Ripetibilità e Riproducibilità

La misura di ripetibilità consiste nel ripetere una misura a breve termine e con lo stesso setup. Questo è stato fatto più volte per le frequenze di maggior interesse osservativo a breve e media distanza di tempo (minuti e ore). La ripetibilità dei valori di T_e ha mostrato una variazione di circa 4% ma in alcuni seppur rari casi ha raggiunto il 25 %. Benché tale “enorme” differenza sia formalmente contenuta nella fascia di incertezza è necessario interrogarsi sul motivo.

La causa più probabile è una variazione della temperatura del cryoload. Ogni K di variazione della temperatura del CryoLoad generano un errore di circa 2 K sulla stima di T_e , e la formazione di acqua o ghiaccio sulla parete del cryoload modifica la T_c di alcune decine di K. Quando si è verificato il fenomeno della condensa o ghiaccio sul cryoload, il dato è stato scartato piuttosto che utilizzato per calcolare un valor medio con altre misure.

La misura di riproducibilità consiste nel confrontare due misure sullo stesso dispositivo ma eseguite con setup diversi da persone diverse. a tal fine si sono messe a confronto i dati misurati nella sessione descritta in questo rapporto ed eseguite nel settembre 2004 con le misure eseguite nel luglio 2004 [5]. Il confronto in regime di riproducibilità ha mostrato che le differenze sono contenute nella fascia d'incertezza.

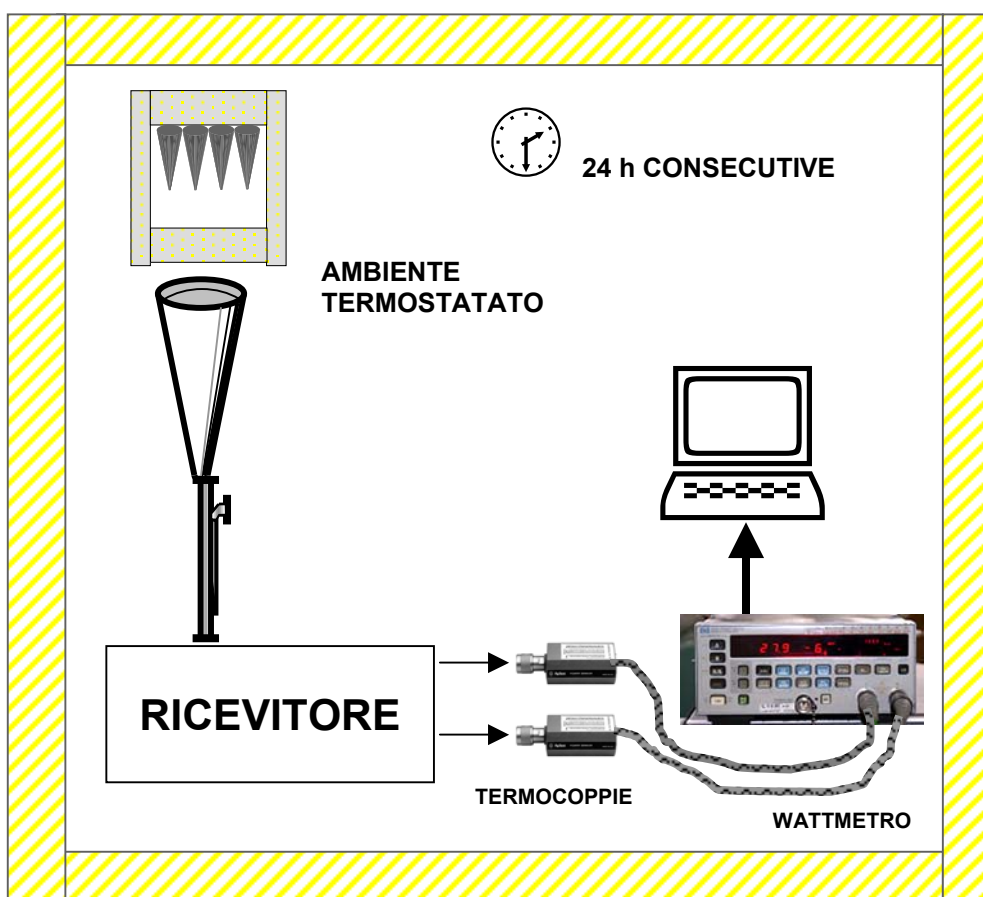
2. Drift

2.1. Setup di misura

Il setup di misura consiste nel campionare ed acquisire per un lungo periodo di tempo la potenza “total power” in uscita dal ricevitore quando quest’ultimo “guarda” un corpo nero a temperatura stabile.

Se il carico che funge da corpo nero ed il wattmetro fossero privi di drift, l’eventuale drift di potenza osservato sarebbe imputabile al solo ricevitore. Ciononostante non si potrebbe scindere fra drift di guadagno e drift di T_e del ricevitore stesso.

Di fatto i drift del carico assorbente e del wattmetro a termocoppia sono estremamente contenuti e stimabili.



2.2. Post Processing

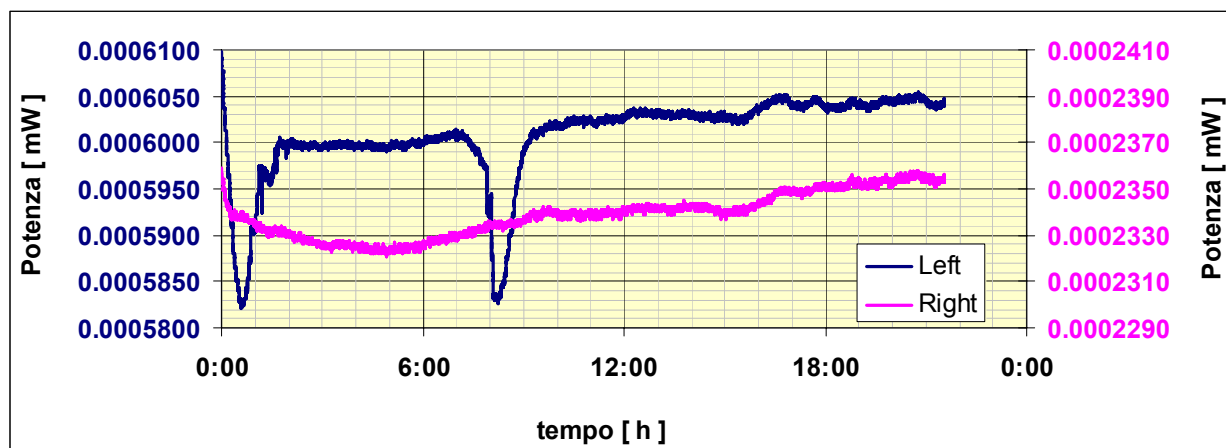
Per fornire un dato utile a determinare quale limite al tempo d’integrazione viene imposto dal drift del livello di potenza, si mostra un grafico della deviazione standard della potenza in funzione del tempo di osservazione. L’algoritmo adottato è il calcolo della deviazioni standard associate a serie di campioni relativi a tempi di osservazione diversi fra loro e compresi fra il tempo minimo di campionamento (alcuni secondi) ed il tempo massimo (24 h).

Nella fattispecie si è calcolata la deviazione standard su tutta la serie di 24 h (86000 sec.), poi la media di 10 deviazioni standard su “blocchi” di 8600 sec, poi la media di 100 deviazioni standard su “blocchi” di 860 sec. ecc. ecc.

2.3. Risultati

Si riportano i dati processati delle acquisizioni di potenza di ciascun canale, L & R, che sono avvenute contemporaneamente sfruttando la possibilità del wattmetro di acquisire due canali.

Di seguito vengono riportati i grafici delle potenze vs. tempo.



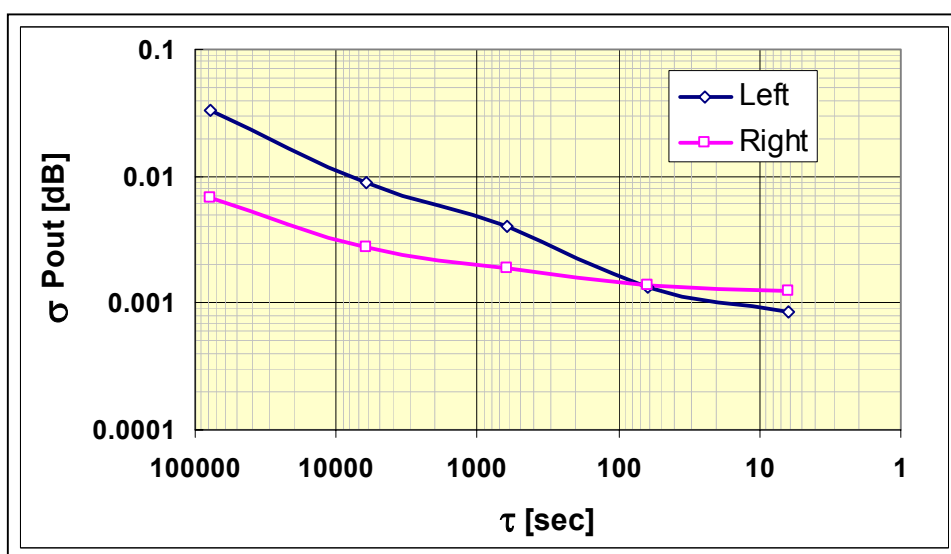
Le due diverse scale in ordinata sono state scelte in maniera tale che vengano “aggiustati” i guadagni delle due catene di amplificazione; in altre parole è stato mantenuto costante l’ampiezza del rumore rivelato.

Si nota come il canale “Left” è dominato da due profondi “buchi” larghi circa 1 h la cui causa è rimasta ignota e non riproducibile.

Un lieve drift crescente è comune ad entrambi i canali.

Il seguente grafico mostra la deviazione standard della potenza in funzione del tempo. Il limite teorico, calcolato, al disotto del quale non è possibile scendere pari a $\frac{1}{\sqrt{BW \cdot \tau}}$ vale 0.0007 dB

La scala dell’ascissa “invertita” facilita l’individuazione del “ginocchio” del rumore 1/F.

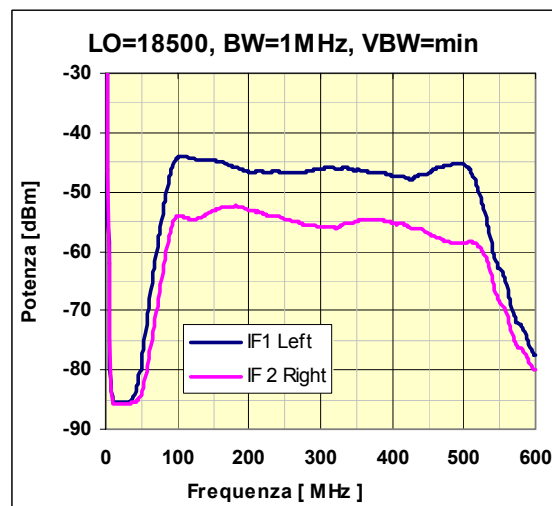
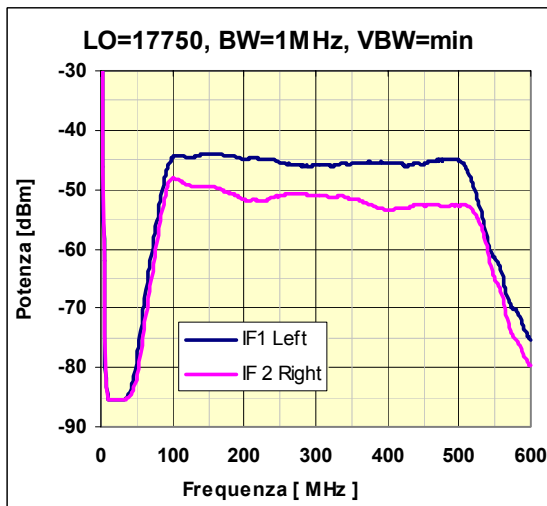
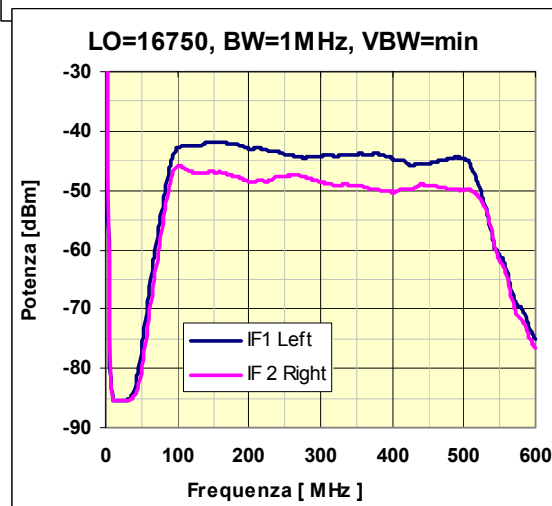
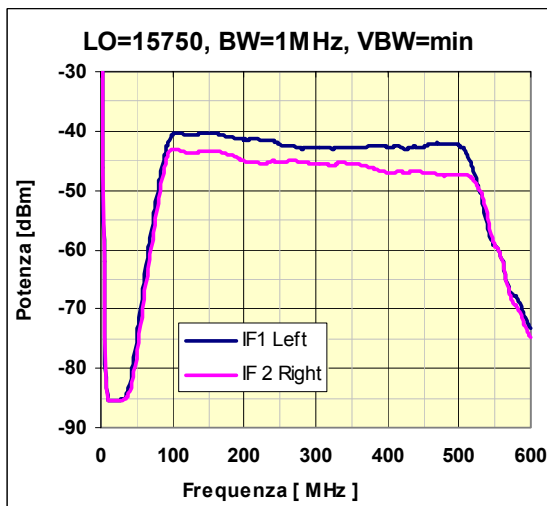
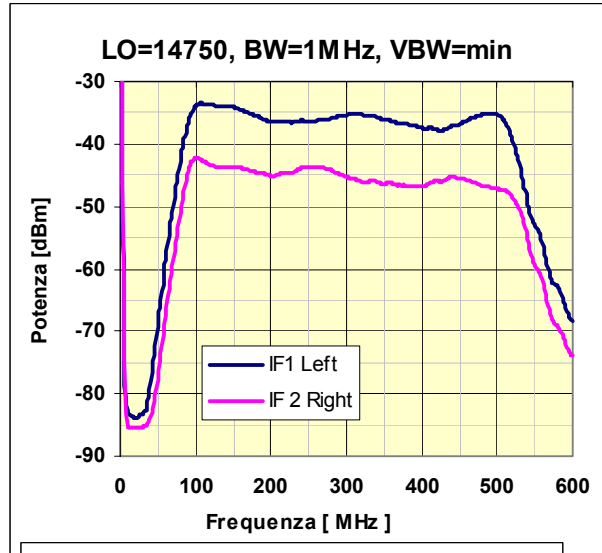
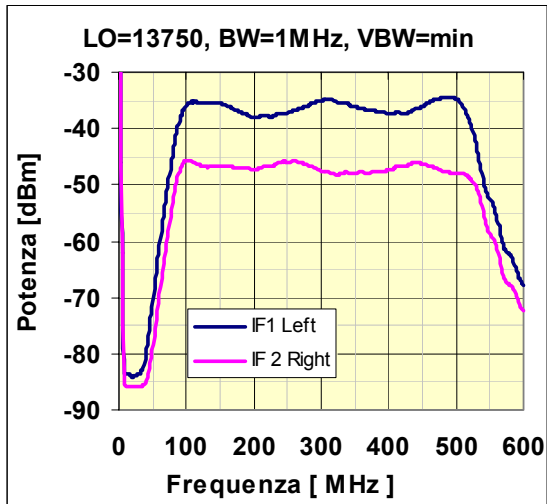


Si può affermare che la stima del “ginocchio” sia fra 30 e 100 sec. nonostante si siano verificati “salti” repentini di livello che pregiudicano la stima del ginocchio stesso .

3. Potenze

3.1. Spettri di potenze

Di seguito vengono riportati i grafici della potenza disponibile al connettore di uscita, del ricevitore 43 GHz, raffreddato, chiuso su carico 296K. Tali spettri possono servire per futuri test di funzionamento del ricevitore.



4. Polarizzazione

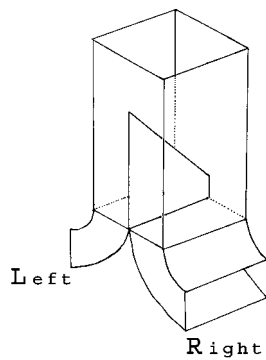
È stata determinata con sicurezza assoluta la corrispondenza fra verso di polarizzazione e connettori di uscita.

La polarizzazione **LHCP** corrisponde al **Ch. 1**

La polarizzazione **RHCP** corrisponde al **Ch. 2**

Il senso della polarizzazione è riferito al ricevitore. Poiché il ricevitore per banda Q funziona in fuoco Cassegrain, la polarizzazione del ricevitore coincide con quella osservata dall'antenna in cielo.

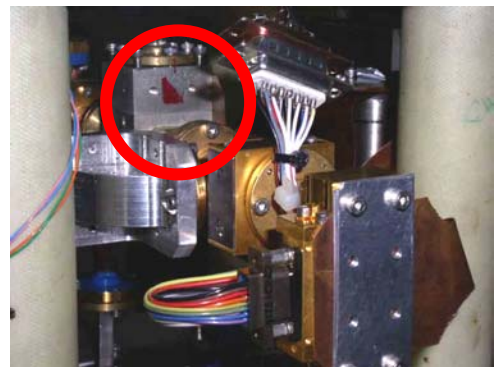
Septum Polarizer



Disposizione Lamina



Interno del dewar



Polarizzatore e disegno posizione lamina

5. Saturazione: P_{o1}

È stata misurata la potenza al punto di compressione 1 dB (P_{o1}). Non si aveva a disposizione un generatore di segnali in grado di generare segnali in banda Q, tale da poter contemplare tutta la catena RF. Assumendo ragionevolmente che l'elemento responsabile della compressione della dinamica sia lo stadio finale IF, si prescinde dal mettere sotto test la sezione RF semplificando la misura.

La misura ha mostrato i seguenti risultati:

Frequenza [MHz]	Canale 1 LEFT		Canale 2 RIGHT	
	Guadagno [dB]	P_{o1} [dBm]	Guadagno [dB]	P_{o1} [dBm]
100	23.8	+10 dBm	26.9	+ 10 dBm
200	24.0		26.8	
300	22.9		25.9	
400	22.3		25.3	
500	23.8		25.6	

Si potrebbero migliorare le prestazioni aumentando di circa 10 dB sia il Guadagno sia il valore P_{o1} utilizzando un Amplificatore di media potenza ($IP_3 = +37$) e con Guadagno = 10dB.

6. Bibliografia e Riferimenti

- [1] *Bevington, Robinson*, - **Data Reduction And Error Analysis For The Physical Sciences**, chapter 3 - Mc Grow Hill
- [2] *Mariotti, Pisanu, Scalambra*, - **Accuratezza Delle Misure Di Temperatura Di Rumore**, - R.I. IRA 302/00.
- [3] **“hp 438A User Manual”**, Hewlett Packard Company
- [4] **“Handbook of Chemistry and Physics, 56th edition”**, 1975-1976, Ed. CRC, pp. D156, D213
- [5] *Contavalle – Trigilio* **File di misure di Tsys e marca ricevitore banda Q** – lug. 2004
- [6] *Hewlett-Packard* **Fundamentals of RF and Microwave Noise Figure Measurement, AN 57-1** – july 1983
- [7] *Neils Skou* **Microwave Radiometers Systems: Design & Analysis** – 1989 Artech House pag 10, 11
- [8] *M. De Dominicis - S. Mariotti* **Comunicazioni Private: Temperature Riflesse, che modello utilizzare?** - 2003