

Calibrazioni di guadagno dei ricevitori VLBI di Medicina.

Andrea Orlati¹, Giuseppe Maccaferri¹

1 - Istituto di Radioastronomia.

Agosto 2003

IRA 341/03

Il software per la calibrazione	1
1 Introduzione	1
2 Funzionamento di ONOFF	1
2.1 Il file fluxctl.	3
2.2 I files rxg.	4
2.3 I parametri di ONOFF	6
2.4 L'output di ONOFF	7
3 Gain Plot	8
4 Acquir.....	10
La calibrazione	13
1 Memorandum	13
1.1 Caratterizzazione della marca.	14
1.2 Caratterizzazione del guadagno	15
2 Risultati	15
2.1 La banda X	15
2.2 La banda L	17
2.3 La banda S.....	20
2.4 La banda C	21
2.5 La banda K.....	24
Riferimenti	29

Il software per la calibrazione

1 Introduzione.

Al fine di migliorare la calibrazione in ampiezza delle singole antenne e, quindi, le prestazioni del network EVN, dalla versione 9.5.15 il Field System è stato distribuito con un nuovo programma di ONOFF e con altro software a corredo.

Lo scopo finale è quello di generare, alla fine di ogni esperimento VLBI, un file di calibrazione in formato ANTAB¹ più preciso e accurato possibile da consegnare all'astronomo per l'analisi dei dati. Questo avviene, oltre all'introduzione del nuovo ONOFF, attraverso le seguenti:

1. Introduzione del *continuous tpi*: consente di avere una lettura più frequente (ogni 5, 15 secondi) dei numeri di calibrazione. Questa va ad integrare il calcolo della T_{sys} svolto, come d'abitudine, all'inizio di ogni nuovo scan (procedura preob).
2. Introduzione durante le sessioni VLBI, ad ogni cambio di ricevitore, di esperimenti di codice CL (es. CL03L2, CL03K1²) durante i quali viene schedulata una serie di sorgenti (calibratori) tramite l'utilizzo del programma ACQUIRE: Questo software prende in ingresso un elenco di sorgenti e si fa carico di lanciare ONOFF iterativamente su quelle che risultano essere sopra l'orizzonte. Ciò permette di verificare continuamente la corretta calibrazione del telescopio.
3. Introduzione di un programma di analisi dei dati raccolti. GNPLT consente di analizzare i dati prodotti da ONOFF con particolare attenzione alla determinazione della marca di rumore in funzione della frequenza e della curva di guadagno in funzione dell'elevazione.
4. Introduzione di un nuovo script perl (antabfs) che, a partire dalle misure di tpi e dalle calibrazioni fatte tramite ONOFF, produce il file ANTAB.

2 Funzionamento di ONOFF.

Durante il TOG, svoltosi a Medicina nel mese di settembre del 2002 è stato presentato il nuovo piano per il miglioramento delle calibrazioni in ampiezza dell'EVN; in particolare per verificarne la bontà è stato introdotto il nuovo ONOFF.

Nella nuova filosofia l'idea principale è quella di immagazzinare tutte le informazioni relative alla calibrazione di ogni banda (guadagno, curva di guadagno, marca di rumore rispetto alla frequenza) in un file di tipo *.rxg*. Il principio è che utilizzando ONOFF su sorgenti dalla densità di flusso nota dovrebbe essere facile verificare questi numeri.

Per funzionare ONOFF necessita delle seguenti informazioni per ogni dispositivo³ usato:

- *Assumed $T_{\text{cal}}(K)$* , marca di rumore in K in funzione della frequenza
- *DPFU⁴*, gradi per unità di flusso in K/Jy

¹ File necessario ad AIPS per fare le calibrazioni di ampiezza dei dati.

² Le nuove sigle degli esperimenti VLBI prevedono una successione di caratteri col seguente significato: CodeYearFrequencySessionPart. Ad esempio F00L3A significa fringe test in banda L nella sessione 3^a dell'anno 2000 parte prima; oppure N01C2 è il monitoring di rete a 6 cm durante la 2^a sessione del 2001.

³ Nel caso del terminale MarkIV si intendono tutti i *video converter* e gli *if distributor*.

⁴ Gradi per unità di flusso (Dedrees Per Flux Unit).

- *GainCurve*, curva di guadagno in funzione dell'elevazione. Dovuta alla deformazione del telescopio.
- F_{Source} , flusso della sorgente in funzione della frequenza

I primi tre valori, come detto in precedenza, si trovano all'interno del file *.rxg* mentre l'ultimo come verrà illustrato di seguito si trova nel file *flux.cfl*. I vari valori sono dati al variare della frequenza e della polarizzazione su cui sono sintonizzati i dispositivi a cui si riferiscono. Per ognuno di essi, invece, le grandezze calcolate sono le seguenti (con *TP* si indica il total power in conteggi):

$$SEFD = T_{sys}(Jy) = F_{source} \frac{TP_{sky} - TP_{zero}}{TP_{source} - TP_{sky}} \quad Jy \quad (1.1)$$

$$T_{sys}(K) = T_{cal}(K) \frac{TP_{sky} - TP_{zero}}{TP_{cal} - TP_{sky}} \quad K \quad (1.2)$$

$$T_{cal}(Jy) = F_{source} \frac{TP_{cal} - TP_{sky}}{TP_{source} - TP_{sky}} \quad Jy \quad (1.3)$$

$$Measured T_{cal}(K) = DPFU \cdot T_{cal}(Jy) \cdot GainCurve \quad K \quad (1.4)$$

$$CalRatio = \frac{Measured T_{cal}(K)}{T_{cal}(K)} \cdot 100 \quad (1.5)$$

$$GainCompression = \frac{OnSource : (TP_{cal} - TP_{sky})}{OffSource : (TP_{cal} - TP_{sky})} \quad (1.6)$$

La (1.1) calcola il flusso equivalente di sistema (Syste Equivalent Flux Density) e rappresenta la temperatura di sistema misurata in Jansky anzichè in gradi Kelvin.

Dalla (1.1) e dalla (1.2) è possibile ricavare anche la temperatura d'antenna definita come:

$$T_{ant}(K) = T_{cal}(K) \frac{TP_{source} - TP_{sky}}{TP_{cal} - TP_{sky}} \quad (1.7)$$

infatti dal rapporto $\frac{T_{sys}(K)}{SEFD} = \frac{T_{cal}(K) TP_{source} - TP_{sky}}{F_{source} TP_{cal} - TP_{sky}}$ si ottiene che:

$$T_{ant}(K) = F_{source} \frac{T_{sys}(K)}{SEFD} \quad (1.8)$$

Di particolare interesse è la formula illustrata nell'(1.5), essa è anche il rapporto tra il valore calcolato della marca di rumore in Jansky e quello calcolato a partire dai parametri di default:

$$CalRatio = \frac{DPFU \cdot T_{cal}(Jy) \cdot GainCurve}{T_{cal}(K)} = \frac{T_{cal}(Jy)}{\frac{T_{cal}(K)}{DPFU \cdot GainCurve}} \quad (1.9)$$

Se il valore di questo rapporto è vicino all'unità per tutti i dispositivi, allora la calibrazione ottenuta è corretta e di conseguenza lo sono i valori di T_{sys} ottenuti.

Da notare inoltre che la curva di guadagno è una funzione che dipende dall'elevazione, che il $DPFU$ può essere ricalcolato (1.10) e che il guadagno non è altro che il rapporto tra il valore della marca assunta in partenza e quello calcolato in Jansky ovvero il SEFD:

1. La $GainCurve$ non ha unità di misura

$$2. \quad DPFU = \frac{T_{sys}(K)}{T_{sys}(Jy) \cdot GainCurve} \quad K/Jy \quad (1.10)$$

$$3. \quad Gain = \frac{Assumed T_{cal}(K)}{T_{cal}(Jy)} \quad K/Jy \quad (1.11)$$

2.1 Il file fluxctl.

Come accennato in precedenza ONOFF richiede di sapere il flusso della sorgente, al variare della frequenza, che si sta usando per la calibrazione. Questa informazione viene cercata dal programma dentro il file *fluxctl* all'interno del direttorio */usr2/control/* della macchina Field System.

Nel file è memorizzata una tabella con i flussi delle sorgenti più usate per scopi di calibrazione. In Figura 1.1, dove sono state evidenziate le intestazioni delle colonne se ne riporta il contenuto. La prima colonna riporta il nome della sorgente, la seconda invece indica il tipo di sorgente: una 'c' marca una sorgente adatta per la calibrazione, mentre una 'p' indica una sorgente da usarsi preferibilmente per il controllo del puntamento. Le successive cinque colonne descrivono la variazione di flusso in funzione della frequenza: le prime due indicano i limiti di validità del polinomio, le successive tre sono i coefficienti del polinomio di secondo grado:

$$\log_{10} S(Jy) = a + b \cdot \log_{10} \nu(MHz) + c \cdot \log_{10}^2 \nu(MHz) \quad (1.12)$$

Le successive colonne riportano rispettivamente la dimensione in secondi d'arco della sorgente e il modello per il fattore di correzione dovuto alla dimensione della sorgente. Questo fattore dipende dalla distribuzione d'intensità della sorgente, sia essa gaussiana o a disco. Nel caso di distribuzione gaussiana, il primo parametro è la percentuale W del flusso che va convoluta con l'ellisse descritta dai due successivi parametri che ne sono le dimensioni angolari. Se la sorgente è sferica viene ovviamente riportata una sola dimensione. Per *cygnusA*, che è una sorgente con un alone, vengono riportate le dimensioni delle due ellissi concentriche con i rispettivi pesi da applicare. La formula usata per il calcolo del fattore di correzione è nel caso gaussiano:

$$C_g = \sum W_i \sqrt{[1 + (\phi_S / \phi_B)^2] [1 + (\vartheta_S / \vartheta_B)^2]}$$

dove S e B denotano rispettivamente la sorgente e il fascio d'antenna, mentre ϕ e ϑ i due assi (azimuth ed elevazione).

Se la sorgente ha una distribuzione a disco il fattore di conversione è dato da:

$$C_d = \left[\frac{(1 - e^{-x})}{x^2} \right]^{-1} \quad x = (4 \ln 2)^{1/2} \cdot R / \theta_B \quad (1.13)$$

dove R è il raggio angolare del disco (media geometrica degli assi) e θ_B il la larghezza del beam del telescopio.

Il fattore di correzione ottenuto va moltiplicato per flusso calcolato dalla (1.12) per ottenere il flusso “convoluto”, cioè quello che viene poi utilizzato nei colcoli del guadagno d’antenna.

* source	type	freq MHz	min	max	log	flux 10**	log(f)	2log(f)	"	FS	model	
3c48	c	500	23780	2.465	-0.004	-0.1251	1.5	gauss	100	1s		
3c123	c	500	23780	2.525	0.246	-0.1638	23	gauss	100	23s	5s	
3c147	c	500	23780	2.806	-0.140	-0.1031	1	gauss	100	1s		
3c161	c	500	10550	1.250	0.726	-0.2286	3	gauss	100	3s		
3c218	c	500	10550	4.729	-1.025	0.0130	47	gauss	100	47s	14s	
3c227	c	500	5000	6.757	-2.801	0.2969	200	gauss	100	200s	50s	
3c249.1	c	500	5000	2.537	-0.565	-0.0404	15	gauss	100	15s		
* virgo structure guessed from FS manuals, WEH 0208xx												
virgoa	c	500	2520	4.484	-0.603	-0.0280	200	gauss	80.8	40s	20s	19.2 10m 10m
virgoa	c	2520	10550	4.484	-0.603	-0.0280	200	gauss	97.3	40s	20s	2.7 10m 10m
3c286	c	500	43200	0.956	0.584	-0.1644	1.5	gauss	100	1s		
3c295	c	500	32000	1.490	0.756	-0.2545	5	gauss	100	5s	1s	
* changed to "p" per Alex Kraus, WEH 020814												
3c309.1	p	500	32000	2.617	-0.437	-0.0373	1.5	gauss	100	1.5s	1.5s	
3c348	c	500	10550	3.852	-0.361	-0.1053	170	gauss	100	170s	25s	
3c353	c	500	10550	3.148	-0.157	-0.0911	210	gauss	100	210s	60s	
cygnusa	c	20	2000	4.695	0.085	-0.178	115	2pts	115s			
cygnusa	c	2000	31000	7.161	-1.244	0.0	115	2pts	115s			
taurusa	c	500	35000	3.915	-0.299	0.0	300	gauss	100	4.2m	2.6m	
ngc7027	c	10550	43200	1.322	-0.134	0	10	gauss	100	7s	10s	
* casa is special name with flux decreasing from 1980.0												
casa	p	300	31000	5.745	-0.770	0	240	disk	4m			
* the following points added from FS Manual WEH 0208xx												
3c380	p	2020	2520	1.041	0	0	1	gauss	100	1s		
3c380	p	8080	8880	0.716	0	0	1	gauss	100	1s		
3c391	p	2020	2520	1.204	0	0	270	gauss	100	4.5m		
3c391	p	8080	8880	0.875	0	0	270	gauss	100	4.5m		
0521m365	p	2020	2520	1.130	0	0	15	gauss	100	15s		
0521m365	p	8080	8880	0.740	0	0	15	gauss	100	15s		
sun	p	2020	2520	5.60206	0	0	190	disk	0.52d			
sun	p	8080	8880	6.39794	0	0	190	disk	0.52d			
moon	p	2020	2520	3.35218	0	0	190	disk	0.52d			
moon	p	8080	8880	4.49136	0	0	190	disk	0.52d			
oriona	p	2020	2520	2.64345	0	0	240	gauss	100	4m		
oriona	p	8080	8820	2.53147	0	0	240	gauss	100	4m		
*3c84 from DBS flux tabe, note source is variable, WEH 020916												
3c84	p	2020	2520	1.60205	0	0	1	gauss	100	1s		
3c84	p	8080	8820	1.69987	0	0	1	gauss	100	1s		
* dr21												
dr21	c	21860	24140	1.2741	0	0	1	gauss	100	1s		
dr21	c	21000	25000	1.231	0.000	0.0	20	gauss	100	20s	20s	

Figura 1.1 Il contenuto del file *flux.ctl*.

Il file viene caricato dal Field System ad ogni riavvio, per cui per applicare le eventuali modifiche occorre terminarlo e ripartire. Nel caso ONOFF sia usato su una sorgente non specificata in questo file, il flusso viene supposto essere pari ad 1 Jy.

2.2 I files rxg.

Ad ogni ripartenza il Field System apre tutti i file con estensione *.rxg* che trova all’interno della cartella */usr2/control*. All’interno di essi il Field System trova le informazioni relative ad ogni banda, necessarie per eseguire ONOFF.

```

* s.rgx - s band receiver parameter definition
*
* first line: LO values and ranges, format:
*
fixed 2020
*
* 2nd line: creation date
*
2002 07 18
*
* 3rd line: FWHM beamwidth format:
*
frequency 1.0
*
* 4th line polarizations available
*
rcp
*
* 5th line: DPFU (degrees/Jansky) for polarizations in previous line in order
*
0.00126
*
* 6th line: gain curve (only one) for ALL polarizations in 4th line
*
ELEV POLY 1.0
*
* 7th and following lines: tcsl versus frequency
*
rcp 2080.0 8.3

```

Figura 1.2 Esempio di struttura dei file .rxg.

La Figura 2.1 riporta, a titolo di esempio, il file *s.rgx* che contiene delle impostazioni di default relative alla banda S. In particolare:

1. Oscillatore locale.

type value1 [value2]

Se *type* è 'fixed' allora l'oscillatore locale può assumere sia il valore specificato in *value1* sia quello specificato in *value2*; se è 'range' allora i possibili valori vanno da *value1* a *value2* (in questo caso *value2* va specificato). Le frequenze specificate sono in MHz.

2. Data di creazione.

Da specificare nella forma *yyyy mm dd*.

3. Larghezza del beam.

type value

$$\text{Vale la seguente: } FWHM = \begin{cases} value & type = 'constant' \\ value \cdot 1.22 \cdot \frac{c}{freq \cdot diameter} & type = 'frequency' \end{cases}$$

4. Polarizzazioni disponibili.

E' possibile indicare uno o entrambe delle seguenti: 'lcp' per la polarizzazione sinistra, 'rcp' per la destra.

5. DPFU.

Per ciascuna delle polarizzazioni indicate al punto sopra è necessario specificare un valore.

6. Polinomio di guadagno.

type form coefficients

Al momento *type* può essere solo ‘poly’. Il dominio di variazione della curva di guadagno è definito con *form* uguale a ‘elev’ oppure ‘altaz’. Seguono i coefficienti del polinomio che descrive la curva di guadagno (massimo 10); i coefficienti sono ordinati in ordine crescente con le potenze del polinomio. La curva di guadagno è assunta unica per le due polarizzazioni, mentre varia il *DPFU*.

7. Tabella delle $T_{cal}(K)$ in funzione della polarizzazione.

polarization frequency tcal

E’ possibile aggiungere (massimo 100) tante terne come queste per caratterizzare la marca lungo tutta la banda. Data una polarizzazione (‘lcp’ o ‘rcp’) e una frequenza espressa in MHz è richiesto il valore della marca di rumore in K. Se per una determinata frequenza non è disponibile un valore di marca, esso viene ricavato interpolando con una retta i due valori in frequenza più vicini.

2.3 I parametri di ONOFF.

La sintassi del comando snap è la seguente, valgono le stesse regole dei comandi Field System in particolare per l’uso dei caratteri speciali quali ‘*’:

Sintassi: *onoff=rep,intp,cutoff,stp,wait,devices*

Risposta: *onoff/rep,intp,cutoff,stp,wait,ssize,mfwhm*

onoff/device,if,pol,fwhm,center,flux,dpfu,gain,product (per tutti i device)

Di seguito una breve descrizione dei parametri:

1) Parametri settabili:

- a. *Rep*: numero di ripetizioni, 2 è il valore di default.
- b. *Intp*: tempo di integrazione, ovvero indica per quanti secondi si effettua la lettura del *tpi* del dispositivo. Il default è 1.
- c. *Cutoff*: elevazione sopra la quale l’off-source non viene fatto in azimuth ma in elevazione. Default 75.
- d. *Stp*: indica l’offset, in multipli della larghezza del beam, da applicare per l’off-source. Il Default è 3.
- e. *Wait*: numero di secondi che vengono attesi perché l’antenna raggiunga il punto comandato. Se ciò non avviene ONOFF termina dopo aver ripristinato gli offset iniziali. Default 120.
- f. *Devices*: dispositivi usati. Può essere uno o più dei codici mnemonici (‘v1’, ‘v2’, ... ‘i1’, ‘i2’, ‘i3’), oppure ‘all’ per indicare tutti i device, ‘allvc’ per indicare tutti i video converter.

2) Parametri non settabili:

- a. *Ssize*: dimensione della sorgente in gradi.
- b. *Mfwhm*: valore massimo del *FWHM*.
- c. *Device*: codice mnemonico del dispositivo.
- d. *If*: catena IF a cui è collegato il dispositivo.
- e. *Pol*: polarizzazione del dispositivo.
- f. *Fwhm*: *FWHM* del dispositivo.
- g. *Center*: frequenza centrale del dispositivo.
- h. *Flux*: flusso della sorgente per il dispositivo.
- i. *Dpfu*: *DPFU* per il dispositivo.

- j. *Gain*: curva di guadagno per il dispositivo.
- k. *Product*: prodotto tra *Dpfu* e *Gain*.

Un misura di ONOFF viene cominciata lanciando semplicemente il comando ‘onoff’, mentre la richiesta dei parametri impostati avviene col comando ‘onoff=?’.

Per funzionare correttamente, ONOFF necessita di alcuni accorgimenti preliminari:

- 1) I dispositivi devono essere propriamente configurati prima di effettuare la misura.
- 2) L’appropriato comando ‘lo=’ deve essere usato, in particolare vanno impostate, per ciascuna catena IF, la frequenza dell’oscillatore locale e la polarizzazione distribuita. Il Field System deve essere in grado di trovare in almeno un file di tipo *.rxg*, per il valore di oscillatore locale impostato, la definizione di almeno una marca di rumore, della curva di guadagno e della larghezza del beam.
- 3) Ciacun dispositivo deve essere associato ad una determinata catena IF attraverso il comando ‘patch=’. In ogni caso, a prescindere dal parametro *devices* sopra descritto, vengono utilizzati solo i dispositivi per cui è stato specificato il *patch panel*.
- 4) La sorgente utilizzata deve essere elencata nel file *flux.ctl* e per la frequenza utilizzata occorre aver specificato un flusso. Se questo non avviene è assunto un flusso di 1 Jy che, nella maggiornaza dei casi, fornisce risultati completamente sbagliati.

2.4 L’output di ONOFF.

ONOFF inserisce nel file di log nove tipi di record. I record *APR* (a priori) e *ORIG* (origine) sono scritti una volta come immediata risposta al comando di lancio ‘onoff’; i record *ONSO*, *ONSC*,

2003.048.14:11:15.36#onoff#	De	Center	Tcal	Flux	DPFU	Gain	Product	LO	T	FWHM		
2003.048.14:11:15.37#onoff#APR	5u	22213.00	27.44	16.4	0.118661	0.88588	0.105119	21964.00	c	0.02948		
2003.048.14:11:15.37#onoff#APR	6u	22213.00	25.49	16.4	0.114000	0.88588	0.100990	21964.00	c	0.02948		
2003.048.14:11:15.37#onoff#APR	i1	22264.00	32.46	16.4	0.118661	0.88588	0.105119	21964.00	c	0.02941		
2003.048.14:11:15.37#onoff#APR	i2	22264.00	30.26	16.4	0.114000	0.88588	0.100990	21964.00	c	0.02941		
2003.048.14:12:27.46#onoff#ORIG	51145.1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000			
2003.048.14:12:34.02#onoff#ONSO	6.7	0.00000	0.00000	5u	8583.8		2.3	6u	10739.2	4.8		
2003.048.14:12:34.02#onoff#ONSO	6.7	0.00000	0.00000	i1	14814.6		0.8	i2	18391.6	1.2		
2003.048.14:12:42.93#onoff#ONSC	15.7	0.00000	0.00000	5u	10025.8		2.9	6u	12343.4	2.6		
2003.048.14:12:42.93#onoff#ONSC	15.7	0.00000	0.00000	i1	17773.8		4.5	i2	21577.2	5.4		
2003.048.14:12:56.58#onoff#OFFC	29.3	0.21649	0.00000	5u	9944.2		4.4	6u	12245.6	3.3		
2003.048.14:12:56.58#onoff#OFFC	29.3	0.21649	0.00000	i1	17623.8		0.7	i2	21414.0	1.8		
2003.048.14:13:05.51#onoff#OFFS	38.2	0.21649	0.00000	5u	8496.6		1.8	6u	10635.8	3.0		
2003.048.14:13:05.51#onoff#OFFS	38.2	0.21649	0.00000	i1	14658.6		1.2	i2	18216.6	1.4		
2003.048.14:13:12.14#onoff#ZERO	44.8	0.21649	0.00000	5u	1020.2		0.2	6u	1767.6	0.3		
2003.048.14:13:12.14#onoff#ZERO	44.8	0.21649	0.00000	i1	878.4		0.3	i2	823.6	0.7		
2003.048.14:15:52.42#onoff#SIG				5u		0.02	1.99	1.1	55.661	5.851	0.21	
2003.048.14:15:52.42#onoff#SIG				6u		0.02	2.05	1.2	54.195	5.473	0.21	
2003.048.14:15:52.42#onoff#SIG				i1		0.02	1.93	0.9	68.295	7.179	0.22	
2003.048.14:15:52.42#onoff#SIG				i2		0.02	2.24	1.2	71.291	7.200	0.24	
2003.048.14:15:52.42#onoff#	source	Az	El	De	I	P	Center	Comp	Tsys	SEFD	Tcal(j)	Tcal(r)
2003.048.14:15:52.42#onoff#VAL	dr21	289.9	46.1	5u	1	l	22213.00	1.0076	142.8	1411.3	271.155	1.0384
2003.048.14:15:52.42#onoff#VAL	dr21	289.9	46.1	6u	2	r	22213.00	1.0074	141.2	1414.2	255.322	1.0113
2003.048.14:15:52.42#onoff#VAL	dr21	289.9	46.1	i1	1	l	22264.00	1.0070	152.1	1450.1	309.342	1.0016
2003.048.14:15:52.42#onoff#VAL	dr21	289.9	46.1	i2	2	r	22264.00	1.0067	166.1	1644.3	299.589	0.9997
2003.048.14:15:52.42#onoff#	source	Az	El	De	I	P	Center	Comp	Tsys	SEFD	Tcal(j)	Tcal(r)

Figura 1.3 Stralcio di un log file in cui appaiono i record prodotti da ONOFF.

OFFC, *OFFS*, *ZERO* sono scritti una volta per ciascuna ripetizione programmata; infine *SIG* e *VAL* sono aggiunti come risultato della misura.

A titolo di esempio la Figura 1.3 riporta parte di un log file, acquisito durante l'esecuzione di ONOFF. Il record *APR* è un riassunto dei dispositivi usati (una linea per ciascuno di essi) e dei dettagli circa la sorgente e l'antenna. Questi dati vengono ricavati dai file di configurazione descritti in precedenza; oltre al mnemonico del dispositivo sono riportati: la frequenza centrale in MHz, il valore in Kelvin della marca di calibrazione, il flusso calcolato della sorgente, il *DPFU*, la *GainCurve* alla elevazione corrente, il prodotto dei due valori precedenti, il settaggio corrente dell'oscillatore locale, il tipo di sorgente e il *FWHM* dell'antenna per il dispositivo.

Il record *ORIG* riporta gli offset di posizione che il programma trova quando parte, primo valore è il numero di secondi trascorsi dalla mezzanotte; gli ultimi sei, presi a coppie, sono gli offset rispettivamente in X-Y, AZ-EL, HA-DC.

Gli *ONSO*, *ONSC*, *OFFC*, *OFFS*, *ZERO* hanno un formato comune. Visualizzano il tempo in secondi trascorso da quello indicato nell'*ORIG*, gli offset in azimuth ed elevazione e poi, per ciascun dispositivo, la lettura media del *t_{pi}* durante il periodo di integrazione e il sigma di tale misura. Essi descrivono uno stato diverso, rispettivamente:

	On-Source	Calibration diode
<i>ONSO</i>	Yes	No
<i>ONSC</i>	Yes	Yes
<i>OFFC</i>	No	Yes
<i>OFFS</i>	No	No
<i>ZERO</i>	No	No(max attenuation)

Le linee relative al record *SIG* riportano l'incertezza sulle misure riportate nel record *Val*. Questo record ritorna il risultato finale dell'ONOFF e rappresenta la media sul numero di ripetizioni effettuate. Le colonne del record sono opportunamente etichettate e per ogni dispositivo utilizzato riportano in ordine: l'azimuth e l'elevazione media con cui si sono effettuate le misure, lo mnemonico del dispositivo, a quale IF è collegato e la polarizzazione, la frequenza centrale in MHz, il fattore di compressione (vedi 1.6), la temperatura di sistema (1.2), il *SEFD* (1.1), la $T_{sys}(Jy)$ (1.3) ed infine la *CalRatio* (1.5).

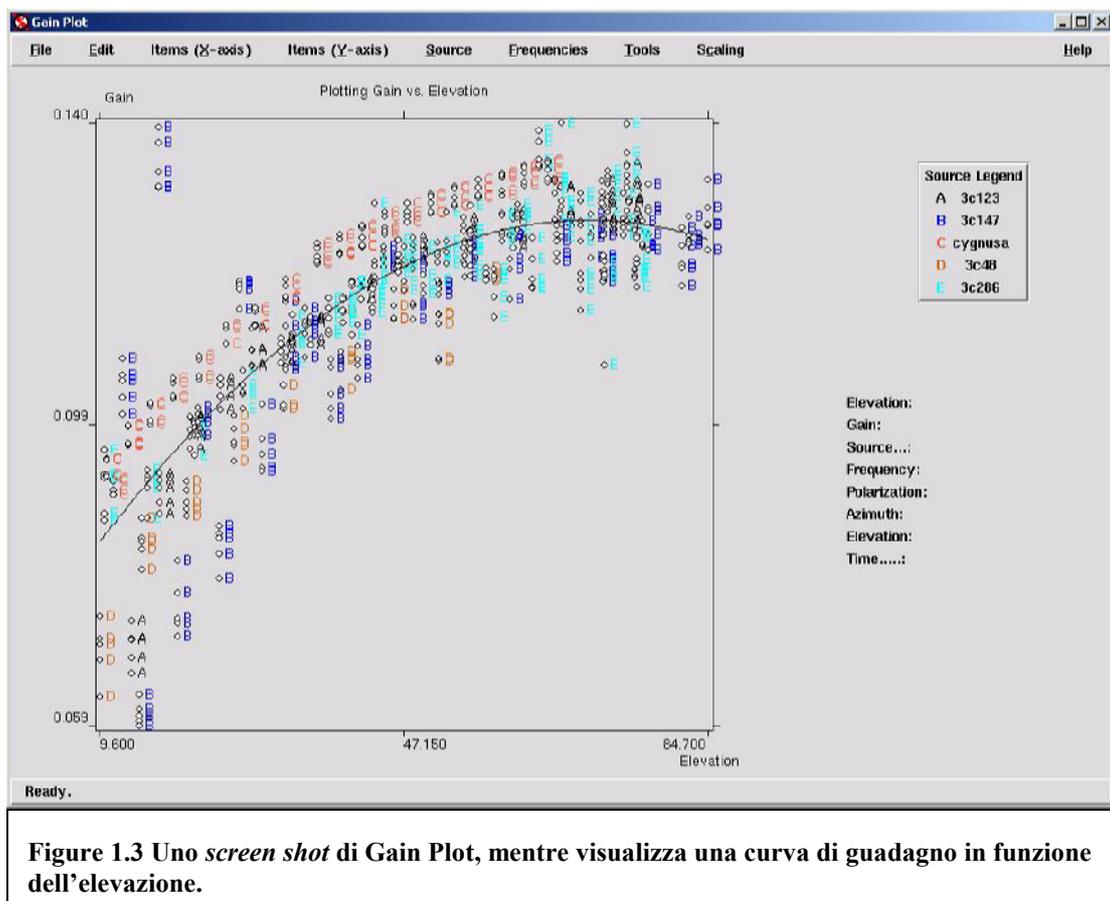
3 Gain Plot.

In questo paragrafo viene data una brevissima descrizione del software che viene utilizzato per l'analisi dei dati; è fuori dai nostri scopi fornirne un manuale d'uso.

Gain Plot (vedi Figura 1.4) è un programma scritto in Tcl/Tk che effettua l'analisi dei log file e ne estrae le informazioni, raccolte tramite ONOFF, per controllare ed eventualmente correggere la calibrazione d'ampiezza.

Questo programma, eseguibile col comando *gnplt* da semplice finestra xterm, mette a disposizione dell'utilizzatore tante funzionalità. In primo luogo consente di plottare tutti i valori (quelli calcolati, quelli misurati e quelli assunti) in funzione di tempo, frequenza ed elevazione; non solo: i singoli dispositivi utilizzati da ONOFF possono essere selezionati per polarizzazione, frequenza e scan (sorgente e tempo). Quando ad essere plottati sono guadagno in funzione dell'elevazione e temperatura della marca in funzione della frequenza (di una determinata polarizzazione) è possibile ricavare dai dati i coefficienti del polinomio della curva di guadagno nel primo caso, l'andamento della marca nel secondo. Se i risultati così ottenuti sono ritenuti

soddisfacenti è possibile aggiornare il file *.rxg* relativo alla banda che si sta trattando con i nuovi valori. Per sfruttare quest'ultima funzionalità è necessario che nel log file si trovi una chiamata al comando 'calrx/' che istruisce Gain Plot su come effettuare l'aggiornamento.



Come detto questo comando è usato per fornire un collegamento tra il log file che contiene i dati di ONOFF, che verranno analizzati con Gain Plot, e il corrispondente file *.rxg* che definisce i parametri del ricevitore per quella banda. La sintassi del comando è la seguente:

Sintassi: *calrx=name,type,lo1,lo2*

Risposta: *calrx/name,type,lo1,lo2*

- 1) *Name*: nome del file *.rxg* a cui si fa riferimento, è preferibile specificare semplicemente il nome e non l'estensione.
- 2) *Type*: definizione del LO, 'fixed' oppure 'range'
- 3) *Lo1*: primo valore fisso in MHz per l'oscillatore locale (in caso di 'fixed') oppure valore minore dell'insieme di frequenze (in caso di 'range').
- 4) *Lo2*: secondo valore fisso in MHz per l'oscillatore locale (in caso di 'fixed') oppure valore maggiore dell'insieme di frequenze (in caso di 'range').

I valori dell'oscillatore locale specificati dal comando devono essere concordi con quelli che si trovano dentro il file indicato dal parametro *name*.

4 Acquir.

La fase di acquisizione dati con ONOFF si svolge tramite l'uso di *aquir*. La programmazione di *aquir* avviene tramite un file di configurazione in cui è riportata, oltre a tutte le inizializzazioni da fare prima e dopo l'acquisizione, una serie di sorgenti da utilizzare; il programma lancia alternativamente ONOFF, FIVPT (calibrazione del puntamento) e PEAKF (ottimizzazione del fuoco) su quelle che risultano essere sopra l'orizzonte.

```
* CTLPO.CTL control file for AQUIR for Medicina LL primary focus rec.
*   last edition: GMM 11 April 1995
*   First data record:
*
*   Setup procedure, Setup wait, Terminate Procedure, Terminate wait,
*
*   Upper elevation Limit, ONSOURCE Wait,
*
*   Amount to lead source when calculating what's up
*
*   Sources outside elevation limits are considered 'down'
*
INITPLLP -1 INITPLLP -2 85 500 600
*
* Elevation mask for lower elevation limit: AZ EL AZ EL ... AZ
* may contain multiple lines, an incomplete line ends with an EL
*
0 10 360
*
* Source records:
*
*   Name, R.A., Dec., Epoch, Preob procedure, Preob wait,
*
*   FIVPT wait, ONOFF wait, PEAKF wait,
*
*   Postob procedure, Postob Wait
*
* The nominal maximum number of sources is 200, but it may vary.
* If there are too many in the file, the program will print a
* message with the current number.
*
3C84      031629.54  411951.7 1950 PREP   -1  0 15  0 POSTP  -2
3C161     062443.2  -055112. 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
2134P004  213405.23  002825.0 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
3C123     043355.2  293414. 1950 PREP   -1  0 15  0 POSTP  -2
1921M293  192142.18  -292024.9 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
0521M365  052113.2   -363019. 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
*TAURUSA  053131    215900   1950 PREP   -1 20  5  0 POSTP  -2
*ORIONA   053249.   -052515   1950 PREP   -1 20  5  0 POSTP  -2
3C147     053843.52  +494942.2 1950 PREP   -1  0 15  0 POSTP  -2
*0552P398 055201.4    394822   1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
0521M365  052113.2   -363019. 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
1921M293  192142.18  -292024.9 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
2134P004  213405.23  002825.0 1950 PREP   -1 20  0  0 POSTP  -2
```

Figura 1.5 Esempio di file di configurazione per *aquir*. Sono evidenziate le parti che descrivono i record che lo costituiscono.

Un esempio di file di configurazione di *aquir*, che tipicamente ha un'estensione *.ctl* ed è localizzato dentro il direttorio */usr2/control*, è riportato in Figura 1.5. Dentro il file sono utilizzati diversi tipi di dati, di seguito ne diamo un elenco e una breve descrizione:

1. Nomi procedure. Una qualsiasi procedura o comando Field System di al più 12 caratteri.
2. Attesa. Se riferita ad una procedura indica il numero di minuti da attendere per il suo completamento. -2 indica di non eseguire la procedura, mentre -1 indica di attendere indefinitamente il completamento della procedura. Se riferita ad un programma

(ONOFF, FIVPT, PEAKF) indica il tempo concesso per la sua esecuzione, se questo non termina entro tale tempo, viene interrotto.

3. Elevazione. In gradi.
4. Nomi sorgenti. Nome della sorgente, al massimo 10 caratteri. Il nome deve corrispondere a quello di una procedura Field System che esegue effettivamente il puntamento.
5. Ascensione retta. Espressa nel formato hhhmss.s.
6. Declinazione. Espressa nella forma \pm ddmmss.
7. Epoca. Espressa nella forma yyyy.y.

Come mostrato in figura il file è, essenzialmente, costituito da 2 tipi di record:

1. Il primo contiene, tra le altre cose, la procedura di inizializzazione generale col tempo di esecuzione assegnatole e il limite massimo di elevazione.
2. Il *source record*: per ogni sorgente che si vuole osservare contiene rispettivamente il nome della sorgente, l'ascensione retta, la declinazione, l'epoca, la procedura di inizializzazione per quella sorgente e il suo tempo di attesa, il tempo di esecuzione assegnato a FIVPT, il tempo di esecuzione per ONOFF, il tempo di esecuzione per PEAKF ed infine la procedura di chiusura con relativa attesa. Da notare che le coordinate riportate in questo record vengono esclusivamente usate per il calcolo della visibilità della sorgente; per il puntamento occorre una omonima procedura dentro il file della procedure in uso che contiene il comando 'source'.

La calibrazione

1 Memorandum.

Al fine di non creare confusione durante la calibrazione è stato adottato un modo di procedere standard che verrà ora descritto, per tutti i ricevitori presenti a Medicina.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato ONOFF, schedulato tramite l'uso di *aquir*, utilizzato di volta in volta con un file di configurazione creato ad hoc per le esigenze di quella banda.

La prima scelta fatta è stata quella di concentrarsi sulla banda e non sul ricevitore; ad esempio la banda S è stata trattata separatamente dalla banda X, nonostante il ricevitore usato sia l'SX; in questo modo è stato possibile caratterizzare le due polarizzazioni con una sola acquisizione dati.

Le calibrazioni sono state effettuate passando sempre attraverso tre fasi distinte:

1. Compilazione del *.rxg* per quella banda con i parametri già dichiarati all'EVN. Per la marca di calibrazione si è partiti con quella misurata in laboratorio; per quanto riguarda il polinomio della curva di guadagno si è scelto di partire con una retta orizzontale su tutto il range in elevazione.
2. Acquisizione dati al fine di caratterizzazione della marca di rumore lungo tutta la banda.
3. Acquisizione dati per controllare la misura precedente e determinare la curva di guadagno.

Le ultime due fasi richiedono modalità di acquisizione differenti, così come lo richiedono ottimizzazione del puntamento o del fuoco; per di più queste modalità cambiano con la banda. Per queste ragioni si è deciso di creare diversi file di configurazione per *aquir*, differenziandoli per banda astronomica e per finalità. Al fine di identificare facilmente ciascuno di essi si è scelto di comporre il nome del file col codice mnemonico del ricevitore seguito da una sigla composta da due caratteri. Questa sigla è *ca* se il file è usato per la calibrazione della marca, *gn* per la curva di guadagno, *po* per il puntamento, *pf* per l'ottimizzazione del fuoco. In questo modo dentro il direttorio */usr2/control* è possibile trovare il file *kkpgn.ctl* che è usato per l'acquisizione della curva di guadagno in banda K oppure il file *xpca.ctl* usato per la calibrazione a 8 GHz.

Il lancio delle acquisizioni da Field System avviene attraverso il comando

$$acquire = \begin{cases} [RXName]ca.ctl \\ [RXName]gn.ctl \\ [RXName]po.ctl \\ [RXName]pf.ctl \end{cases}$$
 che non è altro che una procedura che lancia *aquir* sul file specificato

come parametro ed apre un nuovo log file col nome *acquire.log*. E' cura di chi ha lanciato la procedura rinominare o spostare il log file prima di effettuarne una nuova. La procedura *acquire* è riportata nel riquadro sottostante:

```
sy=run aquir /usr2/control/$ &
log=acquire
```

Dentro ciascun file di configurazione va specificata una procedura che *acquir* deve eseguire per configurare il sistema prima di partire. Anche in questo caso si è provveduto a definire queste

procedure con nomi significativi, in particolare $\left\{ \begin{array}{l} INITP[RXName] \\ INITP[RXName]ca \\ INITP[RXName]gn \\ INITP[RXName]po \end{array} \right\}$.

La *INITP[RXName]* è la procedura standard. Nel caso esistano motivi per una diversa configurazione (ad esempio per specificare una *patch panel* diverso da quello solito, come avviene per le calibrazioni in banda K quando si utilizzano dei maser come sorgenti) si utilizzano le nomenclature successive (ad esempio numerandole) con la sigla finale dipendente dal tipo di calibrazione. All'interno di queste procedure va in ogni caso specificato il comando *calrx=* se si intende analizzare i dati con l'ausilio di Gain Plot e alla fine il comando *sy=go acquir&* se come tempo di attesa per questa procedura si è specificato il valore -1 (attendi la fine dell'esecuzione).

Per ogni singola sorgente indicata nel file di configurazione è possibile specificare un'ulteriore procedura di configurazione; quella standard è la *PREP=[Device]* dove *device* indica il dispositivo che FIVPT deve utilizzare. Se occorrono configurazioni specifiche, come cambiare gli attenuatori o il valore dell'oscillatore locale (ad esempio, per caratterizzare la marca di rumore in maniera più fine su tutta la banda, una possibile tecnica è quella di cambiare l'oscillatore locale di step prefissati), si definiscono procedure assegnando loro i nomi: *[RXName]1*, *[RXName]2*,.....oppure utilizzando il nome della sorgente *[RxName][SourceName]*.

1.1 Caratterizzazione della marca.

L'obiettivo di questa fase è quello di caratterizzare come varia il valore della marca di rumore al variare della frequenza. A tale scopo si è scelto di utilizzare una sola sorgente, quella più intensa e stabile a disposizione.

In questa fase risulta cruciale disporre i video converter su tutta la banda disponibile (su tutte e due le polarizzazioni) ad intervalli regolari e non troppo distanziati, e sintonizzarli in modo da evitare le eventuali interferenze presenti. Nella quasi totalità dei casi i soli 14 VC a disposizione non consentono una buona mappatura, specialmente in banda X in cui l'oscillatore locale può variare su un range di valori ampio. La soluzione adottata è quella di aggiungere nel file di configurazione di *acquir* più volte la sorgente scelta, ma utilizzandola ogni volta con una procedura di configurazione diversa. All'interno di queste procedure è eventualmente possibile cambiare l'impostazione dell'oscillatore locale e quella dei videoconverter in modo da coprire tutta la banda. Con questo sistema è tuttavia possibile che durante scan diversi alcuni video converter si sovrappongano misurando la stessa porzione di banda; ciò è comunque un vantaggio perchè consente di controllare la stabilità del sistema confrontando, ad esempio, le T_{sys} misurate sui dispositivi che risultano avere lo stesso settaggio in frequenza.

L'utilizzo di Gain Plot ha consentito l'analisi dei dati prodotti per ciascuna banda astronomica. E' stata considerata una sola polarizzazione alla volta, utilizzando solo gli scan effettuati quando la sorgente era ad un'elevazione di circa 50-60 gradi. Per il calcolo vero e proprio della marca non sono stati considerati quei dati che fornivano una T_{sys} plottata in funzione dell'elevazione troppo distante dal trend generale.

1.2 Caratterizzazione del guadagno.

Una volta caratterizzata la marca si è passati alla determinazione della curva di guadagno. Per fare in modo che il Field System utilizzi i valori dentro il nuovo file *.rxg* è necessario terminarlo e riavviarlo. Questa fase è stata inoltre utilizzata per controllare la correttezza della fase precedente.

Una nuova sessione di acquisizione è lanciata per acquisire nuovi dati da ridurre grazie a GAIN PLOT. Stavolta possono essere scelte anche più sorgenti (in modo da coprire più velocemente tutte le elevazioni) tenendo però conto della loro intensità (più forte ma soprattutto meno variabile possibile) e della loro dimensione: sorgenti più grandi del beam d'antenna e quindi risolte possono essere usate per determinare la curva di guadagno ma non per fissare il *DPFU*. In questo caso la disposizione dei video converter sulla banda non ha grossa importanza, se non quella di cercare di evitare le possibili RFI. La schedula così preparata è la stessa che viene poi usata durante le sessioni VLBI per verificare la corretta calibrazione dello strumento (esperimenti marcati CL).

Ultimata l'acquisizione si passa alla riduzione dei dati. Al fine di verificare il lavoro svolto in precedenza si osserva il *CalRatio* (1.5) per quegli scan acquisiti sulle sorgenti più forti (meglio se la stessa su cui si è svolta la fase precedente). Se i valori ottenuti sono costantemente vicini all'unità significa che la caratterizzazione della marca è ben riuscita; altrimenti fattori come l'opacità atmosferica o le interferenze hanno compromesso il risultato ed occorre ripetere questa fase. Se il *CalRatio* è soddisfacente si plotta la T_{sys} in funzione dell'elevazione, se esistono scan troppo rumorosi vengono cancellati. Il calcolo della curva di guadagno viene fatto su una sola polarizzazione (si è scelta la sinistra per comodità) utilizzando tutti i video converter (scartata la IF). Una volta determinati la curva di guadagno e il *DPFU* della polarizzazione sinistra si ricava il flusso equivalente di sistema anche per quella destra (la curva di guadagno è assunta identica a quella determinata per la sinistra). I dati così ottenuti sono poi aggiornati per produrre il nuovo e definitivo *.rxg* file.

2 Risultati

Di seguito per ogni banda verrà data una breve sintesi dei risultati ottenuti col nuovo metodo di calibrazione introdotto dal consorzio VLBI.

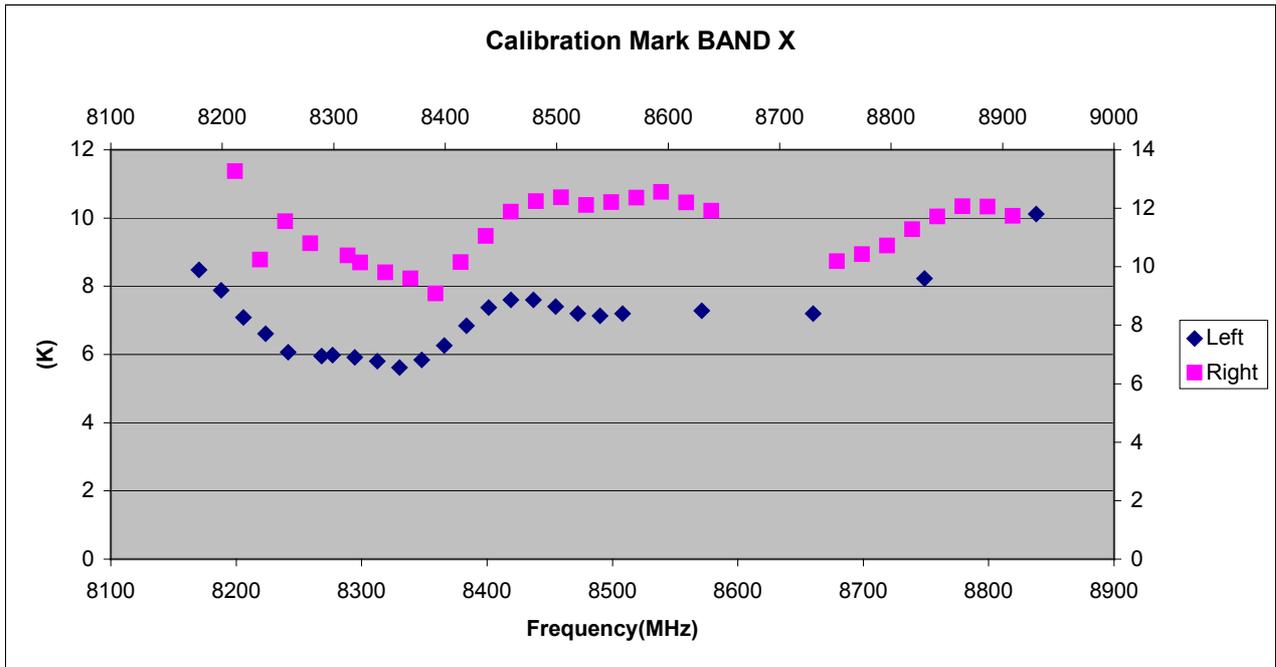
2.1 La banda X.

Il ricevitore in X consente una banda utile che va da 8180 a 8980 MHz. Questa caratteristica ha ovviamente complicato la determinazione della marca di calibrazione su tutta la banda. Per riuscire ad avere una buona mappatura si sono effettuati diversi scan sulla sorgente di calibrazione, cambiando di volta in volta il settaggio in frequenza dei video converter. Utilizzando il *patch panel* classico (*lo1,1l,3h,9h,11h,13h - lo2,2l,4h,10h,12h,14h - lo3,5h,6h,7h,8h*) e disponendo i video converter a distanza di 20 MHz ciascuno sono stati necessari cinque scan. Con questa impostazione i video converter 13 e 14 sono rimasti inutilizzati. Grazie all'utilizzo della IF3 si è riusciti a caratterizzare la marca per la polarizzazione destra anche a frequenze superiori agli 8500 MHz; per ottenere lo stesso risultato per la polarizzazione sinistra è stata eseguita la stessa procedura invertendo i cavi dell'IF. Nel riquadro è riportato il file di configurazione di *acquir* utilizzato:

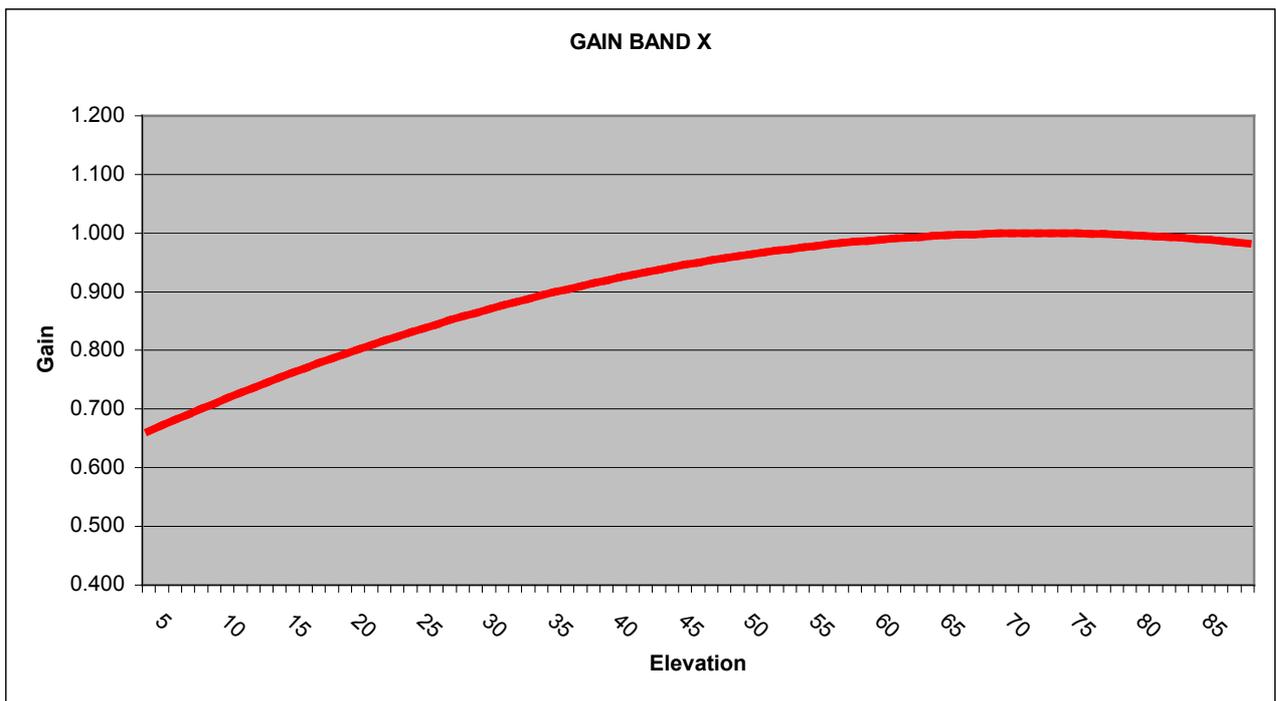
```

INITPXXP -1 INITPXXP -2 85 500 600
0 36 360
3C123 043704.37 294015.2 2000 xxp1 -1 0 10 0 POSTP -2
3C123 043704.37 294015.2 2000 xxp2 -1 0 10 0 POSTP -2
3C123 043704.37 294015.2 2000 xxp3 -1 0 10 0 POSTP -2
3C123 043704.37 294015.2 2000 xxp4 -1 0 10 0 POSTP -2
3C123 043704.37 294015.2 2000 xxp5 -1 0 10 0 POSTP -2
    
```

I risultati ottenuti sono riportati nella figura sottostante.



Aspetto della curva di guadagno, coefficienti del polinomio e *DPFU* sono riportati di seguito.



Gain Curve	Const	El	El ²	El ³
	0.61059261	0.010623634	-0.000072457279	0
DPFU	Left		Right	
	0.123572		0.1224	

2.2 La banda L.

Dato il numero di interferenze presenti in banda l'attività cruciale per la calibrazione è quella di sintonizzare i video converter in modo da evitarne il maggior numero possibile. Per di più l'oscillatore può variare in un range di frequenze che vanno da 1020 a 1040 MHz per la parte LH e da 1265 a 1295 MHz per la parte LL. Anche in questo caso sono state usate diverse procedure di configurazione per riuscire a mappare tutta la banda. Per la parte LH ad esempio sono state utilizzate due procedure, *lhp1* e *lhp2*, che sintonizzano l'oscillatore locale e i video converter:

```

ifd=*,*,nor,nor
lo=lo1,1040,usb,lcp,1
lo=lo2,1040,usb,rcp,1
medlo=1040,15,on
patch=lo1,1h,3h,5h,7h,9h,11h,13h
patch=lo2,2h,4h,6h,8h,10h,12h,14h
vc01=337,2
vc02=337,2
vc03=342,2
vc04=342,2
vc05=350,2
vc06=350,2
vc07=370,2
vc08=370,2
vc09=385,2
vc10=385,2
vc11=395,2
vc12=395,2
vc13=407,2
vc14=407,2
!+3s
valarm
pcaloff
caloff
check=
sy=go aquir &

```

```

ifd=*,*,nor,nor
lo=lo1,1020,usb,lcp,1
lo=lo2,1020,usb,rcp,1
medlo=1020,15,on
patch=lo1,1h,3h,5h,7h,9h,11h,13h
patch=lo2,2h,4h,6h,8h,10h,12h,14h
vc01=357,2
vc02=357,2
vc03=363,2
vc04=363,2
vc05=370,2
vc06=370,2
vc07=373,2
vc08=373,2
vc09=382,2
vc10=382,2
vc11=388,2
vc12=388,2
vc13=410,2
vc14=410,2
!+3s
valarm
pcaloff
caloff
check=
sy=go aquir &

```

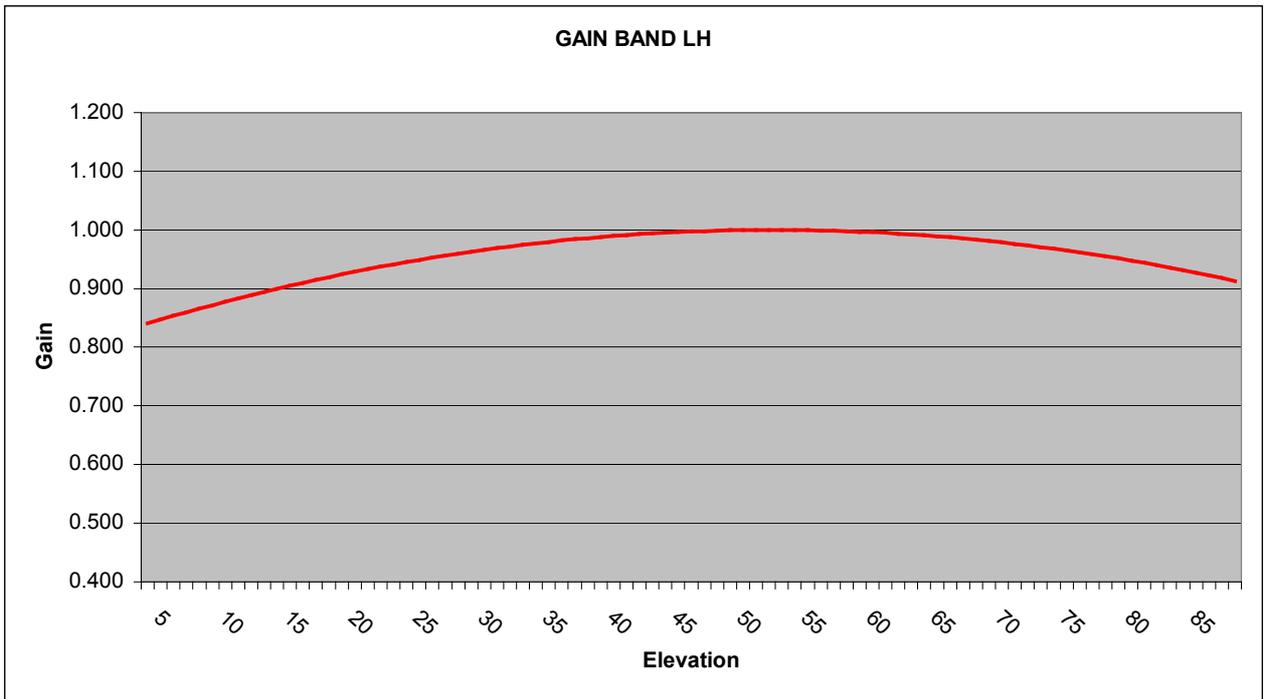
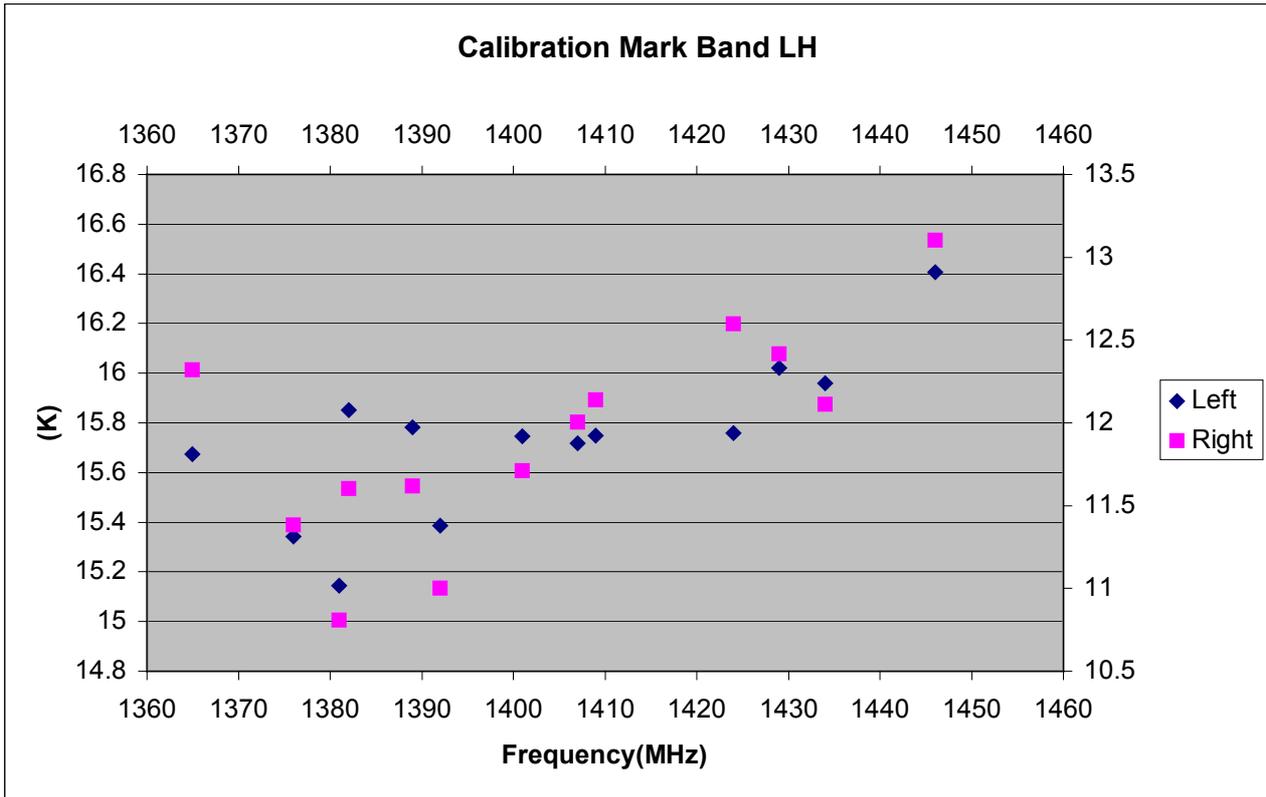
Il file di configurazione utilizzato è il seguente:

```

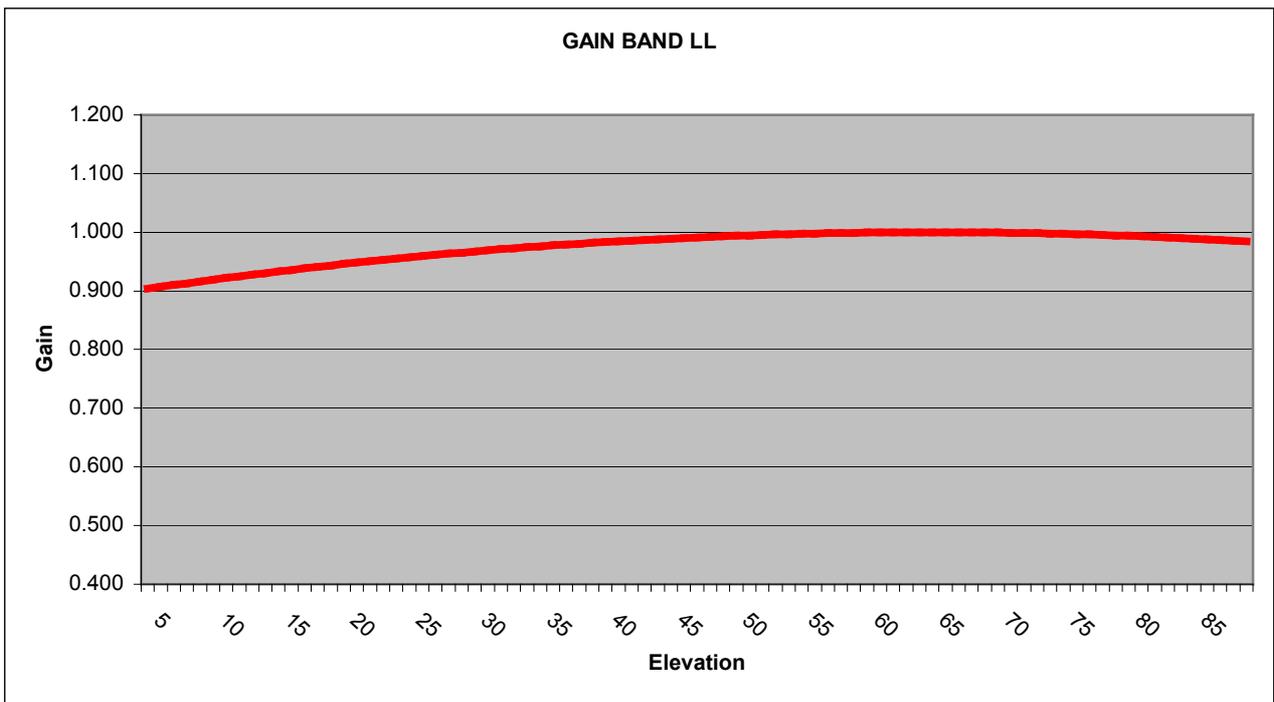
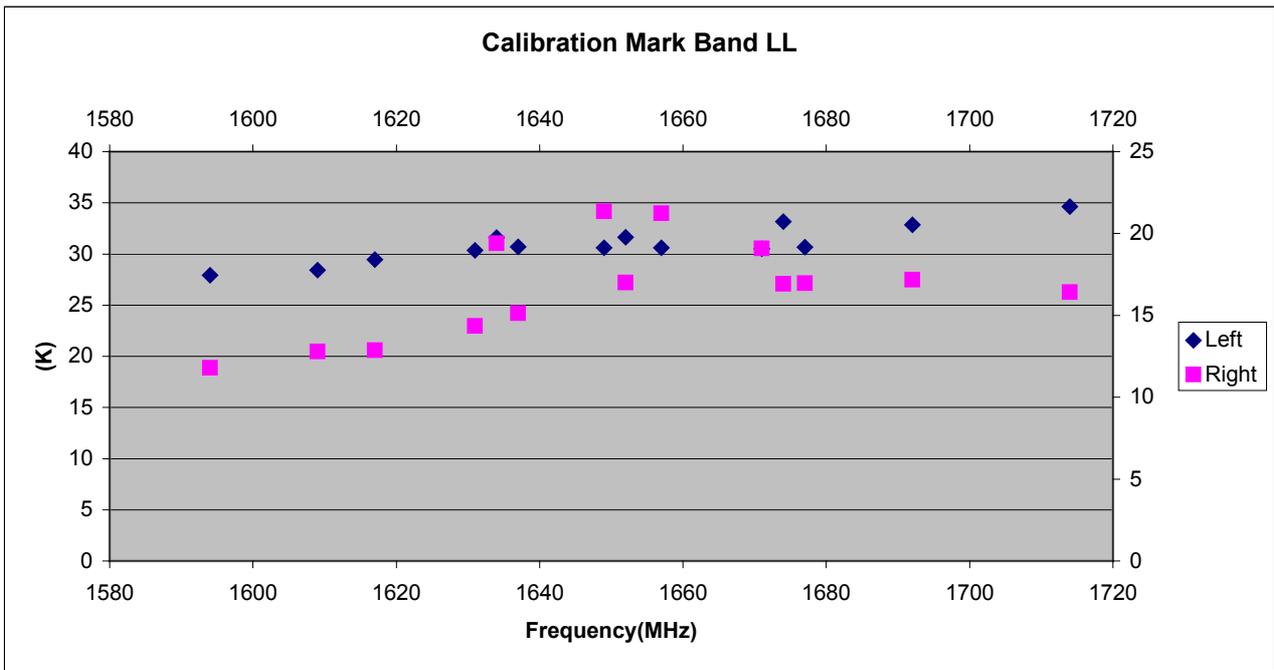
* lhpca.ct1 control file for AQUIR for Medicina LH primary focus rec.
* last edition: GMM 11 November 2002
*
INITPLHP -1 INITPLHP -2 90 500 600
*
0 6 360
*
*3C123 043355.2 293414. 1950 lhp1 -1 20 5 0 POSTP -2
*TAURUSA 053131 215900 1950 lhp1 -1 20 5 0 POSTP -2
VIRGOA 122817.57 124002.0 1950 lhp1 -1 0 5 0 POSTP -2
VIRGOA 122817.57 124002.0 1950 lhp2 -1 0 5 0 POSTP -2
CYGNUSA 195744.4 403546 1950 lhp1 -1 20 5 0 POSTP -2
CYGNUSA 195744.4 403546 1950 lhp2 -1 0 5 0 POSTP -2

```

Di seguito sono riportati andamento della marca, e parametri del guadagno per , rispettivamente, parte LH e LL.



Gain Curve	Const	El	El ²	El ³
	0.80577027	0.007285044	-0.000068310687	0
DPFU	Left		Right	
	0.127551		0.128141	



Gain Curve	Const	El	El ²	El ³
	0.8869153	0.0034836402	-0.000026828893	0
DPFU	Left		Right	
	0.108033		0.1114	

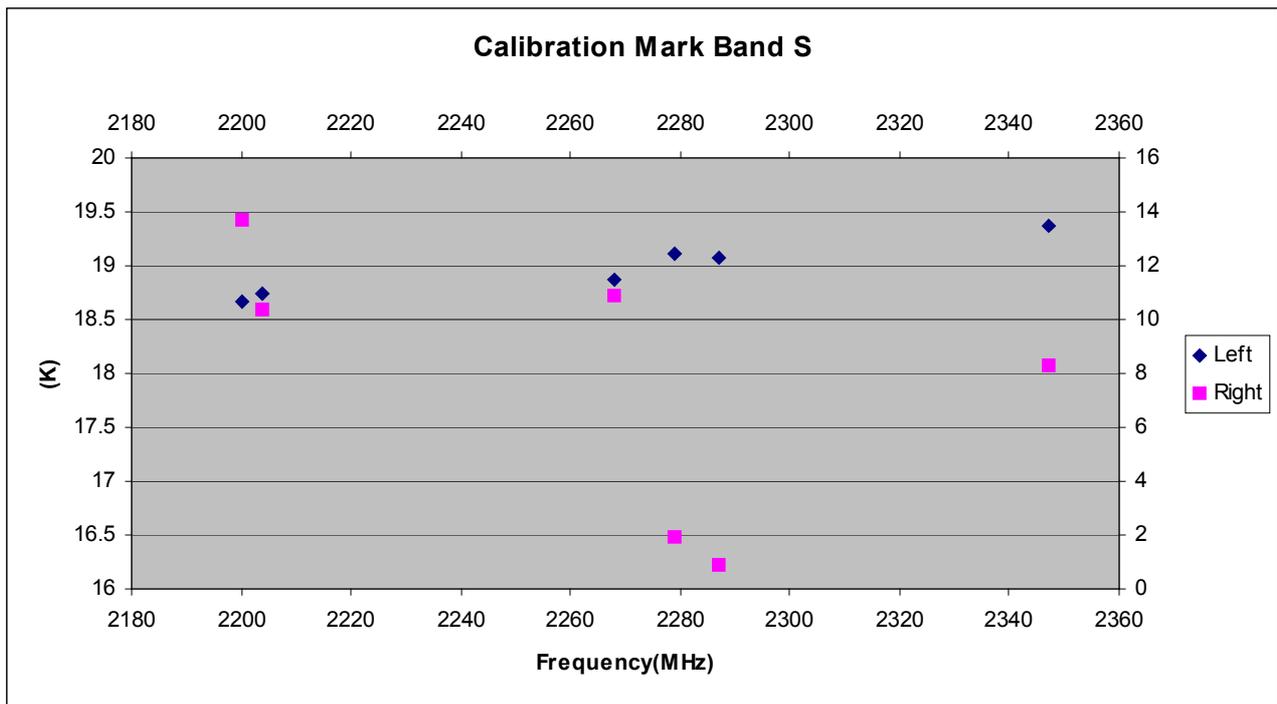
2.3 La banda S.

La massiccia presenza di segnali RFI costringe a prestare particolare attenzione al settaggio in frequenza dei video converter ed esclude l'uso degli *IF*. In particolare costringe a configurazioni ad hoc per ogni porzione di cielo osservata e quindi per ogni sorgente:

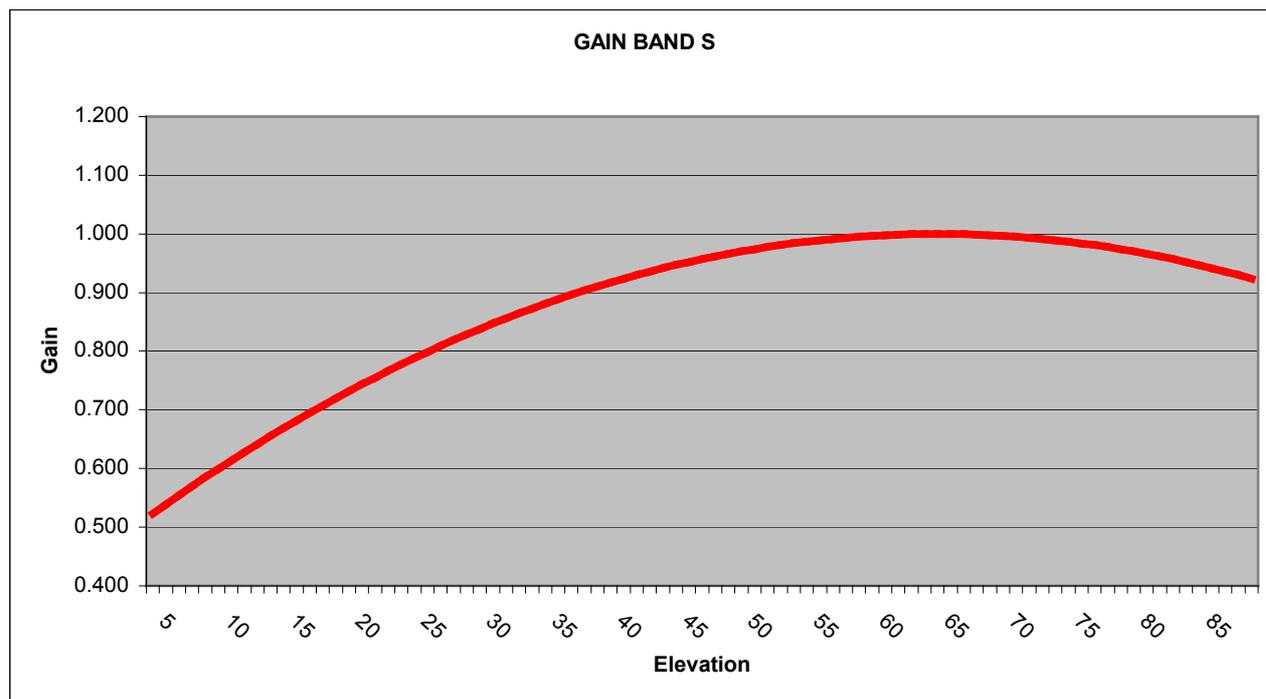
```

* sspca.ct1 control file for AQUIR for Medicina SS calibration measures
*   last edition: AO 10 Apr 2003
*
*
*   INITPSSP  -1 INITPSSP -2 85 500 600
*
*   0 10 360
*
3C48      013449.8  325420.0 1950 SSP3C48  -1 20 10 0 POSTP  -2
3C123     043704.37 294015.2 2000 SSP3C123 -1 0 10 0 POSTP  -2
3C147     054236.15 495106.6 2000 PREP=v7  -2 0 10 0 POSTP  -2
*3C286    133108.28 303032.9 2000 PREP=v7  -2 0 10 0 POSTP  -2
    
```

La figura sottostante mostra l'andamento della marca, si può notare come nonostante le precauzioni, le interferenze hanno impedito di mappare gran parte della banda e di raccogliere dati affidabili.



Gain Curve	Const	El	El ²	El ³
	0.44017117	0.017229174	-0.00013256035	0
DPFU	Left		Right	
	0.12066		0.119641	



2.4 La banda C.

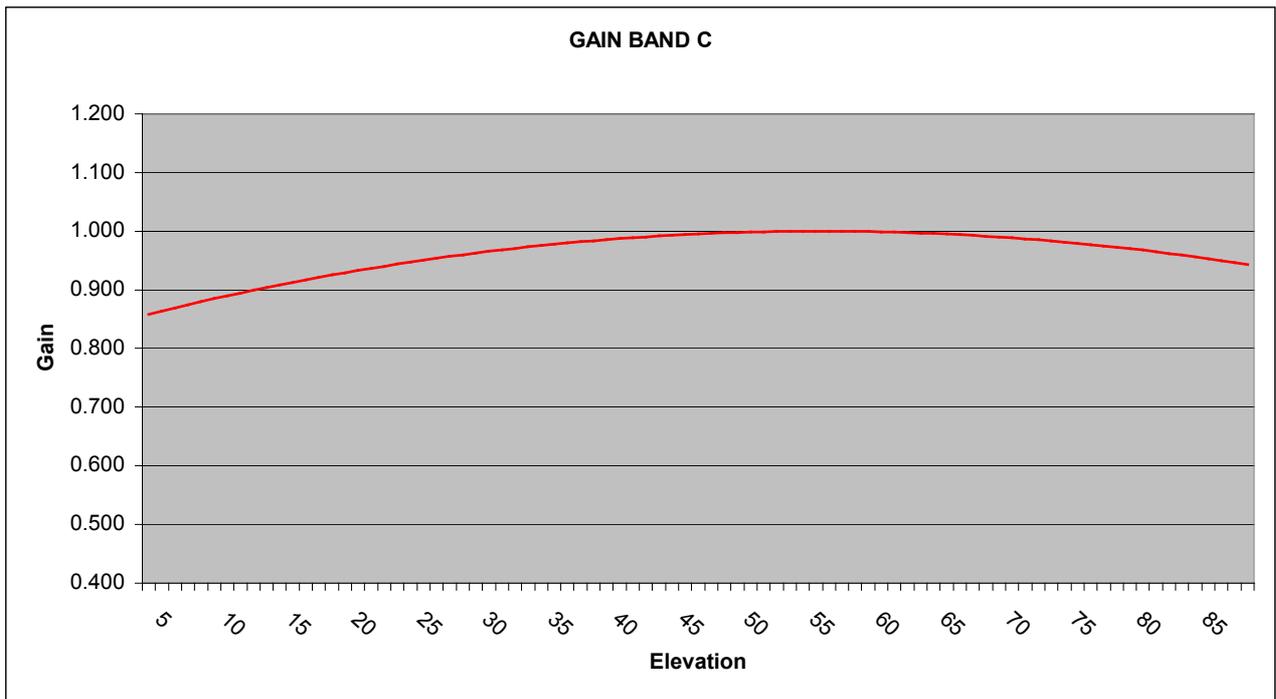
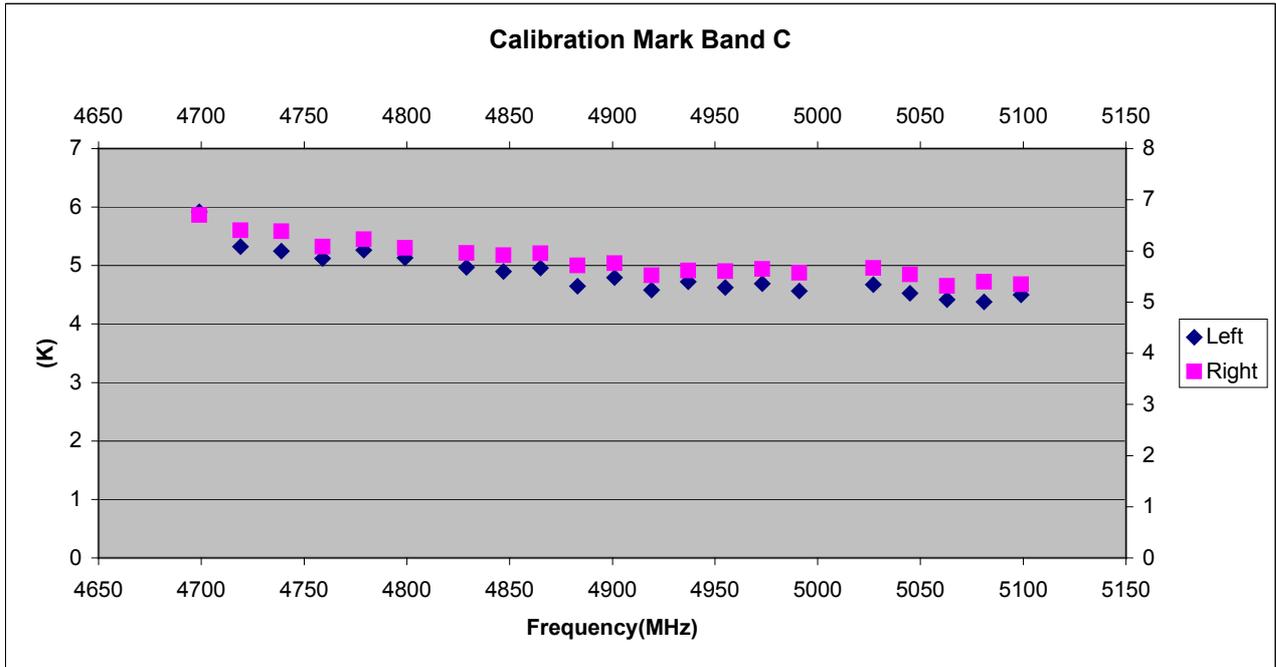
Anche la caratterizzazione della marca del ricevitore a 5 GHz è stata fatta spezzando il range di frequenze ed eseguendo più scan sulla stessa sorgente. Si è utilizzato il *patch panel* standard con i video converter dispari sulla polarizzazione sinistra e quelli pari sulla destra; i primi due per ciascuna polarizzazione sono collegati nella parte bassa della IF (100-224 MHz). Si è mappata tutta la banda a passi di 18/20 MHz; nei riquadri sono riportate le tre procedure che ne sono scaturite:

```
vc01=100,2
vc03=120,2
vc05=230,2
vc07=248,2
vc09=266,2
vc11=284,2
vc13=302,2
vc02=100,2
vc04=120,2
vc06=230,2
vc08=248,2
vc10=266,2
vc12=284,2
vc14=302,2
!+3s
valarm
sy=go aquir &
```

```
vc01=140,2
vc03=160,2
vc05=320,2
vc07=338,2
vc09=356,2
vc11=374,2
vc13=392,2
vc02=140,2
vc04=160,2
vc06=320,2
vc08=338,2
vc10=356,2
vc12=374,2
vc14=392,2
!+3s
valarm
sy=go aquir &
```

```
vc01=180,2
vc03=200,2
vc05=428,2
vc07=446,2
vc09=464,2
vc11=482,2
vc13=500,2
vc02=180,2
vc04=200,2
vc06=428,2
vc08=446,2
vc10=464,2
vc12=482,2
vc14=500,2
!+3s
valarm
sy=go aquir &
```

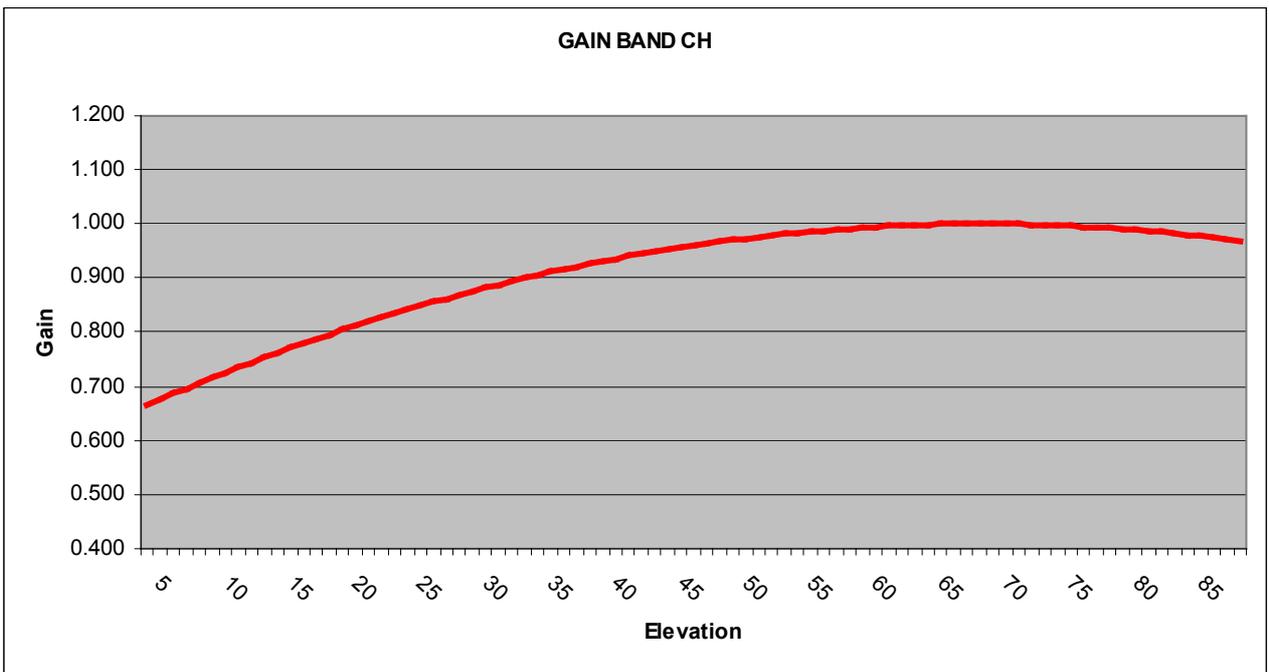
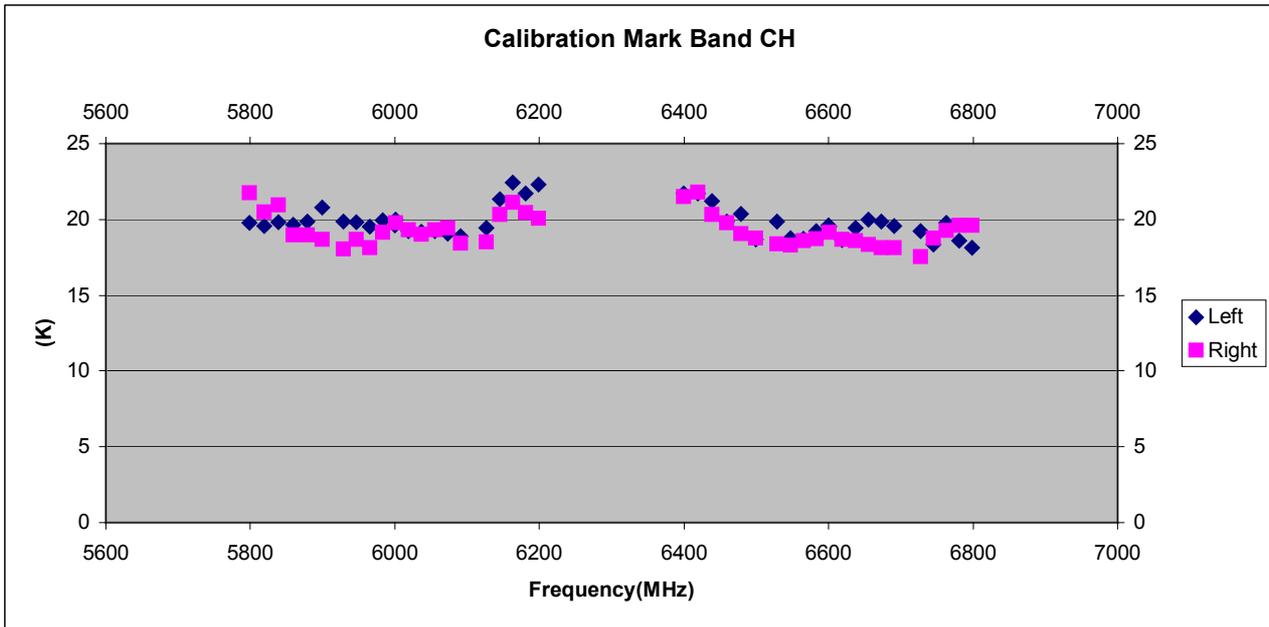
La determinazione della curva di guadagno è stata fatta come passo successivo utilizzando in questo caso come sola sorgente *CygnusA* (la stessa usata per calibrare la marca), seguita dal sorgere fino al culminare. I risultati ottenuti sono riassunti nei grafici che seguono.



Gain Curve	Const	El	El ²	El ³
	0.82993592	0.0060312044	-0.000053473118	0
DPFU	Left		Right	
	0.16		0.161	

E' stato inoltre caratterizzato il ricevitore CH. Per determinare la marca in funzione della frequenza è stato necessario procedere in due passi, uno per la parte a 6.0 GHz, l'altro per la parte a 6.7 GHz.

Anche in questo caso si è reso necessario spezzare la banda resa disponibile dal ricevitore in più parti. Di seguito i risultati ottenuti.



Gain Curve	Const	El	El ²	El ³
	0.612184352	0.011211617	-0.000081031	0
DPFU	Left		Right	
	0.143		0.143	

2.5 La banda K.

Per una buona calibrazione in questa banda è indispensabile tenere conto degli effetti che l'opacità dell'atmosfera esercita sui dati. Compensare il contributo atmosferico in banda K non è certamente facile ed è una questione tuttora aperta. Lo stesso Gain Plot non dispone ancora di uno strumento per questo tipo di compensazione, anche se è stato previsto.

La temperatura d'antenna varia in funzione degli angoli zenitali con la seguente legge:

$$T(\vartheta) = T_0 + T_a(1 - e^{-\tau \sec(\vartheta)}) \quad (2.1)$$

dove T_0 è la somma della temperatura di rumore del ricevitore e di altri contributi, T_a è la temperatura di riferimento e τ è lo spessore ottico dell'atmosfera allo zenit. Il valore

$$\sec(\vartheta) = \frac{1}{\sin(\vartheta)} = \frac{1}{\cos(90^\circ - \vartheta)}$$

viene detto massa d'aria (*AirMass*).

Il primo problema è quello di caratterizzare la marca lungo la banda eliminando gli effetti dell'atmosfera. Sotto condizioni atmosferiche particolarmente favorevoli (basse temperature e scarsa umidità) la (2.1) può essere espressa come:

$$T(\vartheta) = T_0 + T_a \cdot \tau \cdot AirMass \quad (2.2)$$

Se ragioniamo in TPI anzichè in Kelvin:

$$TPI = Q(T_0 + T_a \cdot \tau \cdot AirMass) \quad (2.3)$$

dove Q è il fattore di conversione Conteggi/Kelvin ed è la quantità che ci si propone di misurare. Si effettuano delle misure di TPI a diverse elevazioni, ad esempio per $AirMass=2$ (30 gradi di elevazione), per $AirMass=1.5$ (41.8 gradi di elevazione), $AirMass=1$ (90 gradi di elevazione). Plottando le misure effettuate (depurate dal valore di TPI_{zero}) in funzione della massa d'aria è possibile estrapolare il valore per $AirMass=0$: $TPI_{AirMass0} = Q \cdot T_0$. La stessa operazione può essere fatta con un carico caldo davanti al feed: $TPI_{HotLoad} = Q(T_0 + T_{HotLoad})$. Dalle due relazioni seguenti si ottiene:

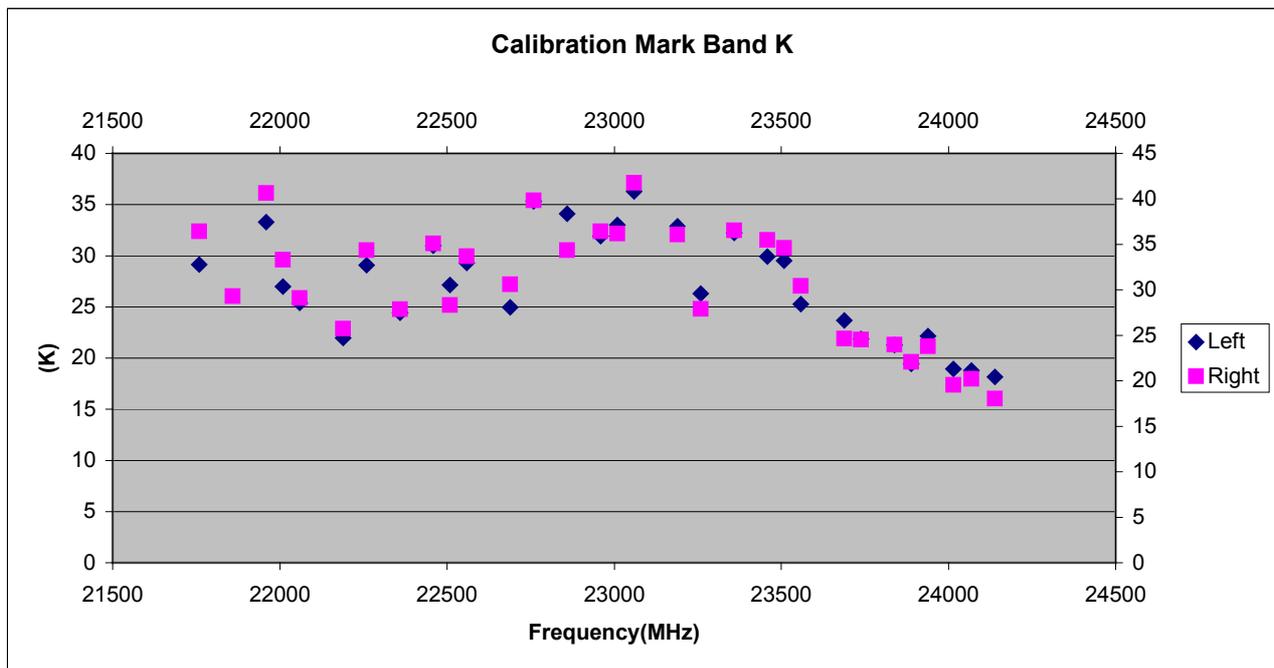
$$\frac{T_{HotLoad}}{T_0} = \frac{TPI_{HotLoad}}{TPI_{AirMass0}} - 1 \quad (2.4)$$

La (2.4) consente di trovare Q e, conoscendo la differenza di TPI accendendo e spegnendo la marca di rumore si risale a $T_{cal}(K)$.

Non disponendo di un metodo automatico per realizzare questa procedura si è scelto di usare lo stesso sistema usato con le altre bande avendo cura però di scegliere giornate invernali con valori di τ favorevoli. La banda utile possibile a 22 GHz va da 21860 a 24140 MHz; per riuscire a mappare tutte le frequenze in entrambe le polarizzazioni si sono utilizzate cinque diverse procedure in cui ad essere settato è l'oscillatore locale:

lo=lo1,21760,usb,lcp,1 lo=lo2,21760,usb,rcp,1 medlo=1710,15,on !+3s valarm pcaloff caloff azeloff=0d,0d track sy=go aquir &	ifd=*,*,nor,nor lo=lo1,22260,usb,lcp,1 lo=lo2,22260,usb,rcp,1 medlo=1772.5,15,on !+3s valarm pcaloff caloff azeloff=0d,0d track sy=go aquir &	ifd=*,*,nor,nor lo=lo1,22760,usb,lcp,1 lo=lo2,22760,usb,rcp,1 medlo=1835,15,on !+3s valarm pcaloff caloff azeloff=0d,0d track sy=go aquir &	ifd=*,*,nor,nor lo=lo1,23260,usb,lcp,1 lo=lo2,23260,usb,rcp,1 medlo=1897.5,15,on !+3s valarm pcaloff caloff azeloff=0d,0d track sy=go aquir &	ifd=*,*,nor,nor lo=lo1,23640,usb,lcp,1 lo=lo2,23640,usb,rcp,1 medlo=1945,15,on !+3s valarm pcaloff caloff azeloff=0d,0d track sy=go aquir &
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

L'andamento della marca è così graficato:



Anche per la curva di guadagno le condizioni atmosferiche sono state tenute in considerazione. Analizzando infatti il file di configurazione di *acquir* utilizzato si può notare che esiste uno scan che non fa altro che lanciare la procedura *Tau*:

```

kkpgn.CTL acquir control file for Medicina KK gain calibration.
*      last edition: GMM 09 feb 03
*
*
  INITPKKP  -1 INITPKKP  -2 90 500 600
  0 5 360
DR21      203714.2  420907.  1950 tau      -1 0 0 0 kpostp  -2
DR21      203714.2  420907.  1950 prep=i1  -1 20 5 0 kpostp  -2

```

Questa procedura effettua due misure di T_{sys} a 90 e 30 gradi di elevazione; da queste due misure è possibile ottenere il τ col quale correggere la curva di guadagno ottenuta:

```

xdisp=on
source=azel,*d,90d
!+3m
medconf
"@ 90
wx
caltsys
!+30s
source=azel,*d,30d
!+3m
"@ 30
wx
caltsys
!+30s
xdisp=off
source=setup

```

La formula usata per il calcolo di τ partendo dalle due misure di temperatura di sistema è:

$$\tau = \ln \left(\frac{2}{1 + \sqrt{1 - 4 \frac{\Delta T_{sys}}{T_a}}} \right) \quad (2.5)$$

dove ΔT_{sys} è la differenza tra la temperatura di sistema misurata a 30 gradi e quella a 90.

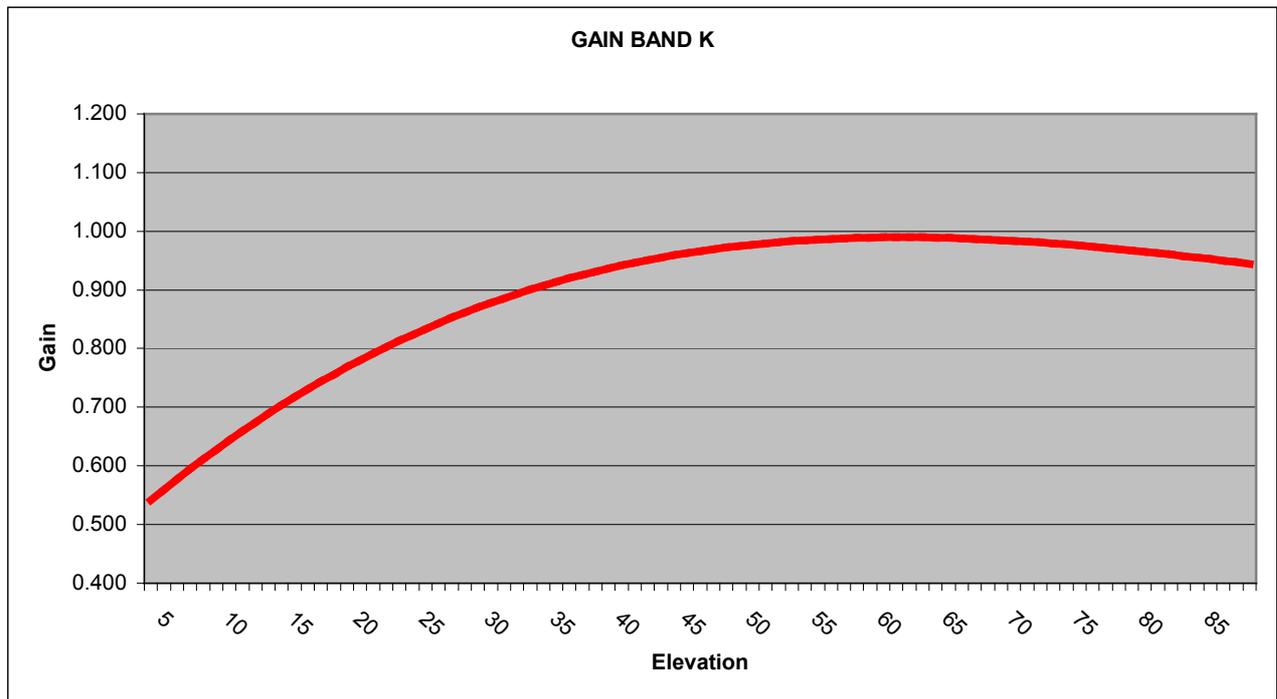
Partendo dalla (2.1) si ottiene $\begin{cases} T_{sys}(30^\circ) = T_0 + T_a(1 - e^{-\tau \sec(30^\circ)}) \\ T_{sys}(90^\circ) = T_0 + T_a(1 - e^{-\tau \sec(90^\circ)}) \end{cases}$ ovvero

$\Delta T_{sys} = T_{sys}(90^\circ) - T_{sys}(30^\circ) = T_a(e^{-\tau} - e^{-2\tau}) = T_a e^{-\tau} - T_a (e^{-\tau})^2$ che è una equazione di secondo

grado in $e^{-\tau}$. La soluzione è $e^{-\tau} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4 \frac{\Delta T_{sys}}{T_a}}}{-2}$ dalla quale si ricava la condizione che

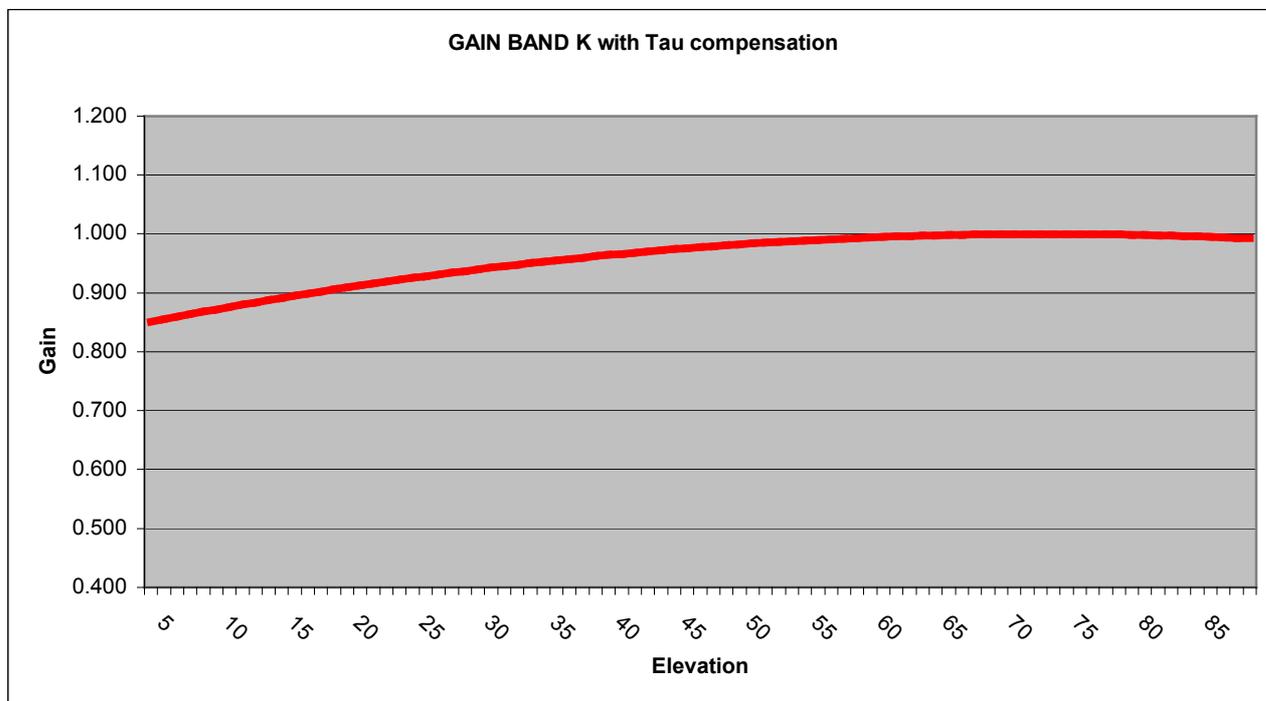
$$4 \frac{\Delta T_{sys}}{T_a} \leq 1 \text{ ovvero } \Delta T_{sys} \leq \frac{T_a}{4}.$$

La curva di guadagno ottenuta senza compensazione per attenuazione atmosferica, tramite l'utilizzo di Gain Plot è raffigurata di seguito.



Gain Curve	Const	E1	E1 ²	E1 ³
	0.44252013	0.020935913	-0.00024658337	0.00000086815483
DPFU	Left		Right	
	0.130654		0.1255	

Sotto è inoltre riportata la curva di guadagno che è stata ricavata compensando per l'opacità atmosferica. Nel leggere tale grafico va tenuto conto che i dati sono stati ottenuti con il fuoco primario in inseguimento, in altre parole compensando parzialmente per le deformazioni imposte dalla gravità.



Gain Curve	Const	EI	EI ²	EI ³
	0.828703855	0.004653022	-3.15982E-05	0
DPFU	Left		Right	
	0.136084		0.1296075	

Riferimenti

An updated list of radio flux density calibrators. M. Ott, A. Witzel, A. Quirrenbach, T.P. Krichbaum, K.J. Standke, C.J. Schalinski, C.A. Hummel.
Astronomy and Astrophysics. 284, 331-339 (1994)

A flux-density scale for microwave frequencies. W. A. Dent
The Astrophysical Journal, 177, 93-99, 1972

Misure dell'efficienza dell'antenna di Noto a 43 GHz. P. Bolli, S. Mariotti, V. Natale, A. Orfei.
Rapporto Interno IRA N 332/03

The Field System Manual, Vol 1 & 2

[Http://www.evlbi.org/evn.html](http://www.evlbi.org/evn.html)

<http://www.aoc.nrao.edu/vlba/html/MEMOS/SCI/sci01memo.pdf>