

**Misure di prima luce in fuoco BWG del Sardinia Radio Telescope
col ricevitore 7GHz**

**Orlati Andrea¹
Orfei Alessandro¹**

1 - I.N.A.F. Istituto di Radioastronomia.

IRA 497-16

1	INTRODUZIONE	3
1.1	DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI	3
2	CONFIGURAZIONE D'ANTENNA	4
3	CONFIGURAZIONE FRONTEND/BACKEND	4
4	MODELLO DI PUNTAMENTO	5
4.1	PRIMA RADIOSORGENTE	5
4.2	CALCOLO DEL MODELLO DI PUNTAMENTO	5
5	LA CURVA DI GUADAGNO	9
5.1	MISURA DEL BEAMSIZE	10
6	CONFRONTO CON L'INSTALLAZIONE IN GREGORIANO	11
7	TEMPERATURA DI SISTEMA	12
8	CONCLUSIONI	14

1 Introduzione

Il documento vuole dare conto dei risultati derivanti dalle misure di prima luce in fuoco Beam Wave Guide con il ricevitore 7GHz effettuate durante il commissioning tecnico del Sardinia Radio Telescope. L'attività in questione era stata prevista dal commissioning plan e si è svolta nel dicembre 2012. Si darà conto delle misure fatte per la correzione di puntamento, della curva di guadagno e di tsys.

1.1 Definizioni e abbreviazioni

ACU	Antenna Control Unit
AER	Alidade Equipment Room
AIV	Acceptance Integration Verification
APER	Apex Equipment Room
BWG	Beam Wave Guide Room
EER	Elevation Equipment Room
F1	Fuoco Primario (davanti al subriflettore, ottica Gregoriana)
F2	Fuoco Secondario (a livello del rotatore in fuoco Gregoriano)
F3	Fuoco BWG
GAI	Gruppi di Attività Integrata
GFR	Gregorian Focus Positioner
GFR-CS	Sistema di Controllo (servo) del Rotatore dei Feed in Fuoco Gregoriano
GRP	Gregorian Receiver Positioner
GRR	Gregorian Receiver Room
IF	Intermediate Frequency
IRA	Istituto di Radio Astronomia
LCP	Left Circular Polarization
LO	Local Oscillator
M1	Specchio riflettore primario
M2	Subriflettore al vertice del quadrupode
M3	Specchio selettore della focale BWG
M3R-CS	Sistema di Controllo del Rotatore dello specchio M3
M4	Specchio con focale per ricevitori intermedi
M5	Specchio con focale eguale a Medicina
OAC	Osservatorio Astronomico di Cagliari
PFP	Primary Focus Positioner
PFP-CS	Sistema di Controllo (servo) del Posizionatore Ricevitori in Fuoco Primario
RF	Radio Frequenza
RCP	Right Circular Polarization
RFI	Radio Frequency Interference
RMS	Root Mean Squared
SMCU	Servo Minor Control Unit

S/R	Subriflettore
SRP	Sub Reflector Positioner
SRP-CS	Sistema di Controllo (servo) del Posizionatore del Subriflettore
SRT	Sardinia Radio Telescope
UEER	Upper Elevation Equipment Room
TPI	Total power integrator
Tsys	Temperatura di sistema
BWHM	Beam Width Half Maximum

2 Configurazione d'antenna

Lo specchio secondario M2 era allineato secondo le misure meccaniche eseguite a 45° di elevazione da MTM. Il PFP era in posizione di parcheggio. Il GFR è stato collocato a 0.0 per selezionare la posizione di bypass e quindi illuminare M3. M3 è stato comandato alla posizione di 286,67 per rispecchiare l'allineamento effettuato durante l'installazione del ricevitore. La superficie attiva era disabilitata, lasciata secondo l'allineamento meccanico effettuato da MTM.

3 Configurazione frontend/backend

Le misure sono state effettuate in solo un canale, quello relativo alla polarizzazione circolare sinistra(OL). Attualmente il software di calibrazione consente di analizzare un solo canale alla volta, quindi le stesse misure qui descritte, con la polarizzazione RCP, andranno ripetute in seguito.

Si è scelto di osservare nella banda ristretta 7.0-7.7GHz (LO=6900MHz) per via della presenza, nella parte bassa della banda, di interferenze (non si tratta dell'autointerferenza dell'LO2 del banda K, in quanto questo RX è spento e comunque anche se acceso avrebbe la parte di LO2 spenta) e per rispecchiare la configurazione adottata durante le misure fatte con lo stesso ricevitore installato in fuoco gregoriano. La costante di campionamento del backend è stata impostata a 40 ms per tutte le misure fatte con scans, 320ms per quelle di temperatura di sistema.

4 Modello di Puntamento

4.1 Prima radiosorgente

La Figura 1 mostra la prima detezione di una radiosorgente utilizzando il fuoco BWG. Questa misura, ottenuta tramite un cross scan sulla sorgente DR21 non ha richiesto particolari aggiustamenti e correzioni di puntamento. Questo ha dimostrato, che il modello di puntamento ricavato con lo stesso ricevitore installato in fuoco gregoriano era già un'ottima base di partenza, che gli allineamenti meccanici degli specchi

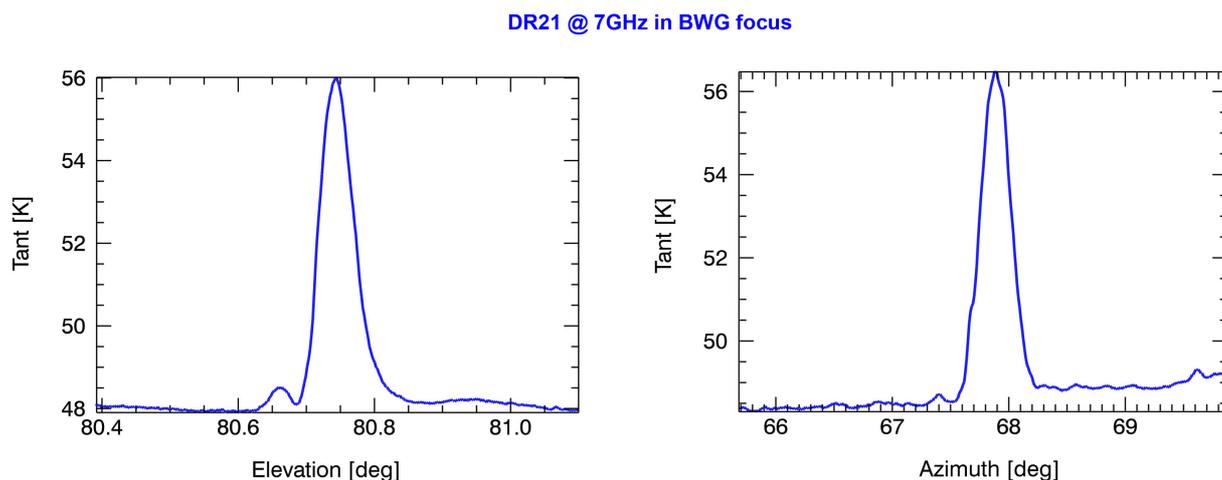


Figura 1 - Scans in azimuth ed elevazione sulla sorgente dr21, in ascissa la coordinata ($^{\circ}$), in ordinata la temperatura d'antenna (K).

erano assolutamente accurati.

4.2 Calcolo del modello di puntamento

Le misure di puntamento sono fatte con la tecnica dell' On-The-Fly scan (0.7° span; $2.6^{\circ}/\text{min.}$). Le cattive condizioni meteo, in particolare la copertura nuvolosa non omogenea, ci ha fatto constatare che una velocità di scansione più lenta rispetto a quanto fatto per le analoghe misure in gregoriano, risultava in una migliore qualità delle misure.

Sulla base della dimostrata affidabilità del modello fatto in gregoriano si è provveduto ad automatizzare il processo di misura attraverso la creazione di una schedula osservativa su una serie di calibratori di puntamento. I calibratori selezionati sono riportati in Tabella 1.

Operativamente si è proceduto con misure durante più giorni; appena ultimata una buona copertura del piano Azimuth/Elevazione si è passati all'analisi dei dati raccolti ed al calcolo di un nuovo modello più preciso. Una volta "caricato" nel software di controllo i nuovi parametri si ripeteva nuovamente una nuova serie di misure. Tutto il processo si è svolto completando tre iterazioni o raffinamenti successivi.

Il modello di puntamento finale così ottenuto, fa uso di dieci parametri come riassunto in Tabella 2. La derivazione dei parametri e il successivo test in antenna risultano in una stima dei residui (rispetto al nuovo modello) pari a 0.002° RMS sia in azimuth che elevazione. Le Figure 2,3,4,5,6 invece mostrano i dati "raw" che sono stati utilizzati per ricavare il modello dopo l'ultima iterazione (l'unità di misura è gradi in tutti i casi).

Tabella 1 – Elenco delle sorgenti utilizzate per ricavare il modello di puntamento

Source	Size(")	RA J2000	DEC J2000	Scan_Subscan
3c48	1.55	01:37:41.2971	+33:09:35.118	1_1
3c147	1	05:42:36.1379	+49:51:07.234	1_10
3c286	1.5	13:31:08.2881	+30:30:32.960	1_19
3c309.1	1.5	14:59:07.578	+71:40:19.850	1_28
3c380	1	18:29:31.725	+48:44:46.950	1_37
3c84	1	03:19:48.160	+41:30:42.10	1_46
J0854+2006		08:54:48.87	20:06:30.64	1_55
J1256-0547		12:56:11.160	-05:47:21.52	1_64
J0730-1141		07:30:19.110	-11:41:12.60	1_73
J0927+3902		09:27:03.0139	+39:02:20.851	1_82
J1337-1257		13:37:39.7827	-12:57:24.693	1_91
J1459+7140		14:59:07.5838	+71:40:19.867	1_100
J1517-2422		15:17:41.8131	-24:22:19.475	1_109
J1642+3948		16:42:58.8099	+39:48:36.993	1_118
J1800+7828		18:00:45.6839	+78:28:04.018	1_127
J1924-2914		19:24:51.0559	-29:14:30.121	1_136
J2202+4216		22:02:43.2913	+42:16:39.979	1_145
J2246-1206		22:46:18.2319	-12:06:51.277	1_154

Tabella 2 – Modello di puntamento per il ricevitore 7GHz in fuoco gregoriano

Parameter	Explanation	Value
P1	Azimuth encoder offset	-2.2987170219
P2	Gravity effect on the RF axis projected on azimuth	Not used
P3	Axis skew	-0.0139975799
P4	Box Offset	-0.0197643619
P5	Tilt out (tilt of El=90° toward az/el=0°,0°)	-0.0007722041
P6	Tilt over (tilt of El=90° toward az/el=90°,0°)	-0.0007928502
P7	Elevation encoder offset	0.2528777719
P8	Gravity effect on the RF axis projected on elevation	-0.1636579931
P9	Elevation angle slope	Not used
P10	El*cosEl	Not used
P11	El*sinEl	0.0120883072
P12	Azimuth angle slope	Not used
P13	Az*cosAz	0.0008708040
P14	Az*sinAz	0.0000695658

$$\Delta X = P_1 - P_2 \cos(\emptyset) \sin(X) \sec(Y) + P_3 \tan(Y) - P_4 \sec(Y) + P_5 \sin(X) \tan(Y) - P_6 \cos(X) \tan(Y) + P_{12} X + P_{13} \cos(X) + P_{14} \sin(X)$$

$$\Delta Y = P_5 \cos(X) + P_6 \sin(X) + P_7 - P_8 (\cos(\emptyset) \cos(X) \sin(Y) - \sin(\emptyset) \cos(Y)) + P_9 Y + P_{10} \cos(Y) + P_{11} \sin(Y) \quad (1)$$

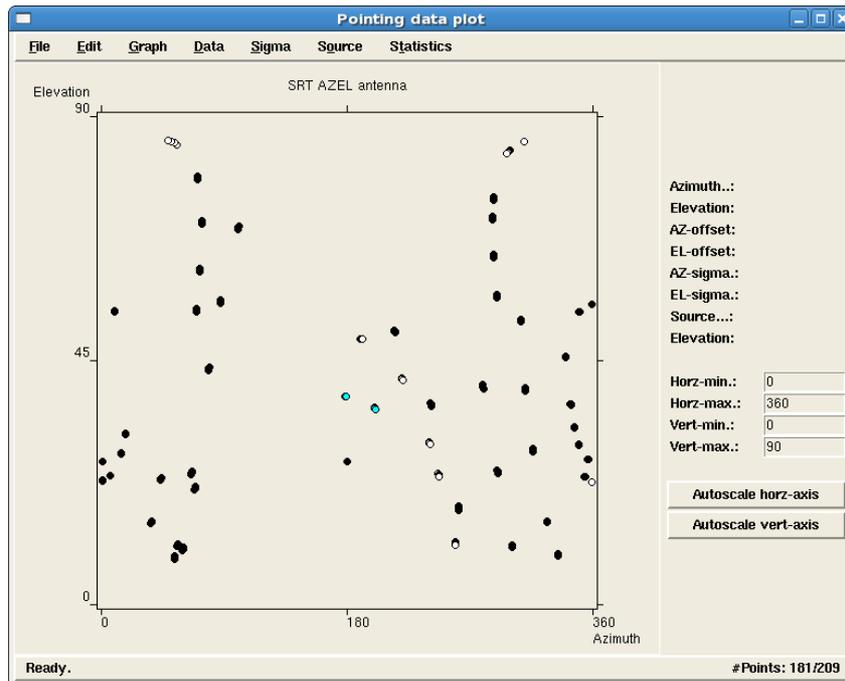


Figura 2 - Copertura del piano azimuth/elevazione dei dati di puntamento

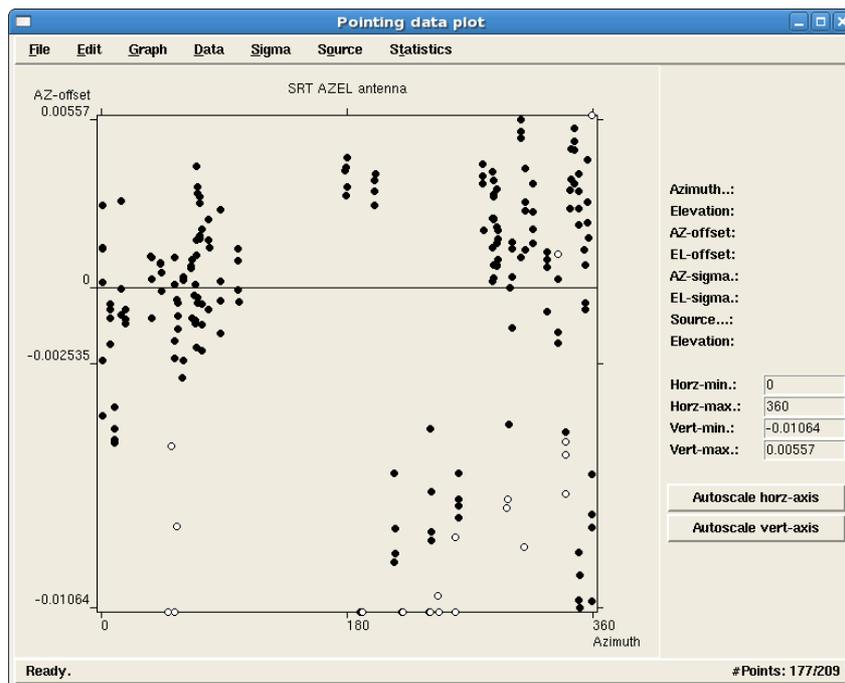


Figura 3 - Offset misurati in azimuth rispetto all'asse di azimuth

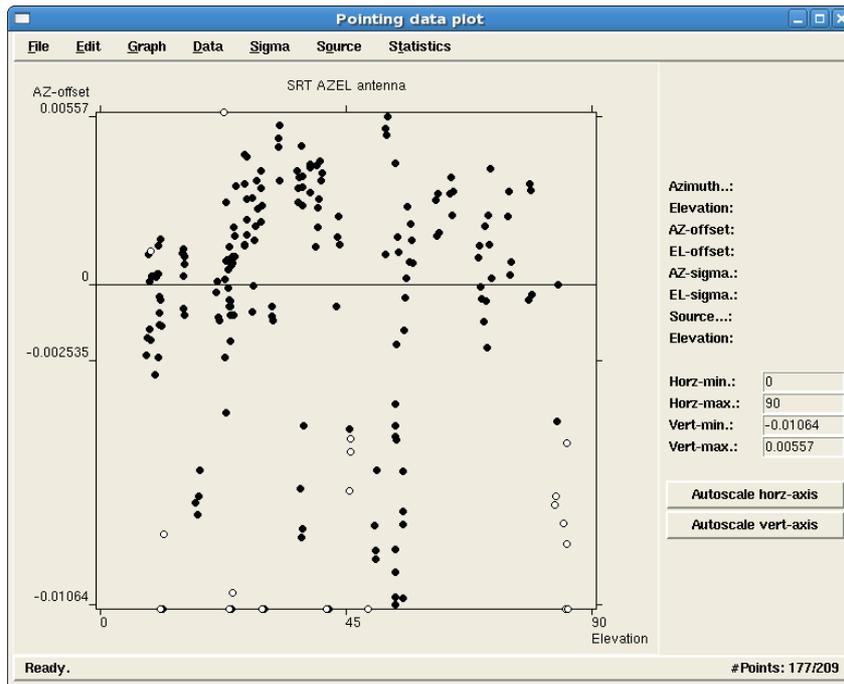


Figura 4 - Offset misurati in azimuth rispetto all'asse di elevazione

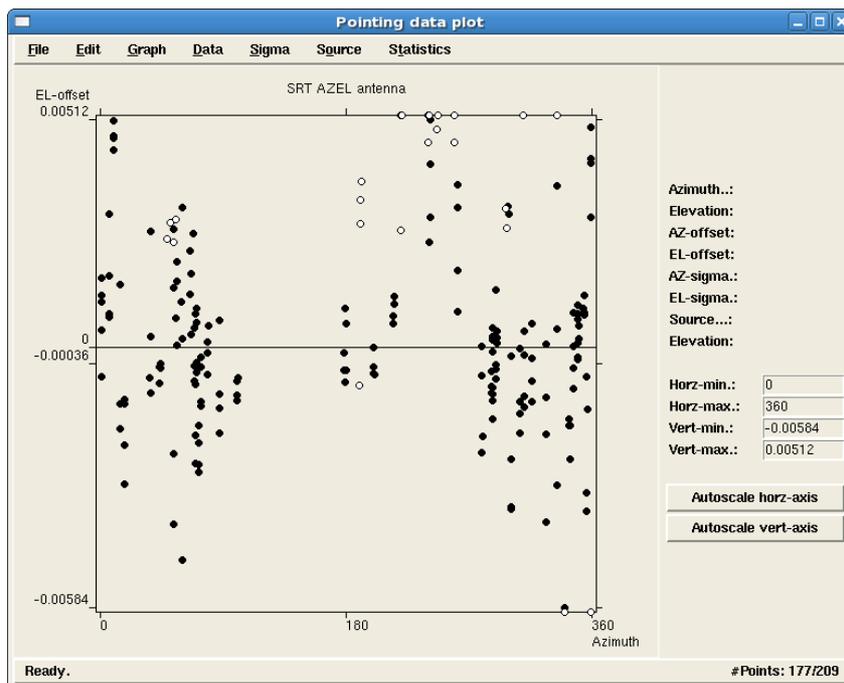


Figura 5 - Offset misurati in elevazione rispetto all'asse di azimuth

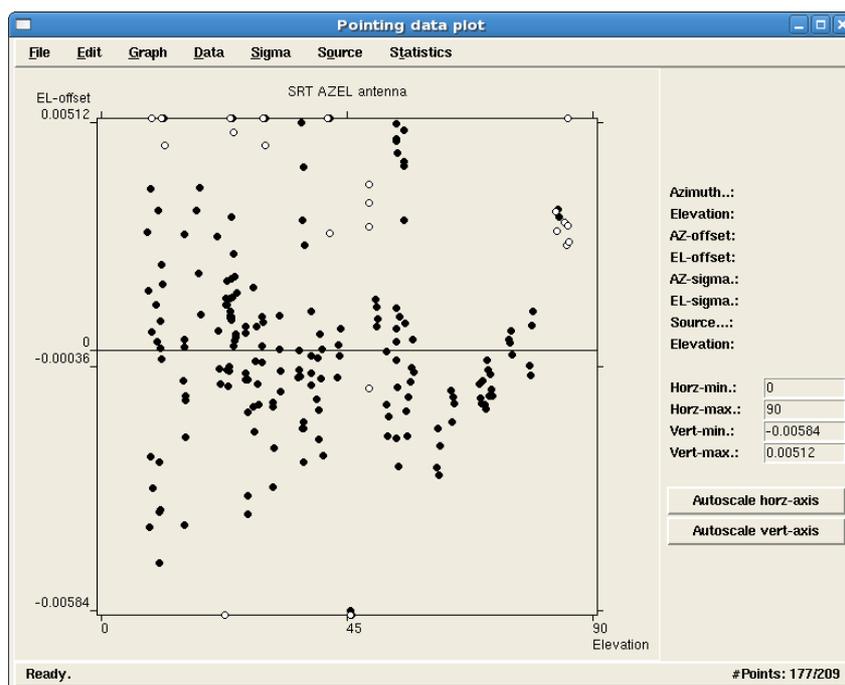


Figura 6 - Offset misurati in elevazione rispetto all'asse di elevazione

5 La curva di guadagno

Anche in questo caso le misure sono state condotte tra 7.0 e 7.7GHz, utilizzando dei cross-scan eseguiti lungo gli assi del frame orizzontale (0.7° span, 2.62°/min). Le osservazioni hanno avuto luogo nelle ore diurne, cielo variabile con nuvolosità sparsa ma uniforme ed una temperatura media a terra di 5°C. Per velocizzare l'acquisizione dei dati sono state impiegate varie sorgenti, come sintetizzato dalla Tabella 3 che riporta anche il flusso atteso alla frequenza di osservazione (7.35GHz a centro banda).

Tabella 3 – Calibratori di ampiezza utilizzati per la misura di efficienza del ricevitore 7GHz

Source	RA J2000	DEC J2000	Flux(Jy)
3c48	01:37:41.2971	+33:09:35.118	3,79754
3c147	05:42:36.1379	+49:51:07.234	5,29111
3c286	13:31:08.2881	+30:30:32.960	5,7071
3c309.1	14:59:07.578	+71:40:19.850	2,34331
3c295	14:11:20.6477	+52:12:09.141	4,05877
3c161	06:27:10.096	-05:53:04.72	4,36141

Al fine di diminuire l'incertezza sulla misura del guadagno, accentuata anche dalle non omogenee condizioni del cielo si è deciso di prevedere a schedula una stima dell'opacità atmosferica circa ogni ora di osservazione. La stima dell'opacità atmosferica (τ) è stata eseguita tramite degli skydip nella direzione (azimuth) di osservazione e con l'utilizzo della formula empirica (2), dove D_{tsys} è la differenza di temperatura di sistema tra 30° e 90° di elevazione e T_{atm} è la temperatura atmosferica di riferimento:

$$\tau = \ln \left(\frac{2}{1 + \sqrt{1 - 4(D_{tsys}/T_{atm})}} \right) \quad (2)$$

Durante tutta l'osservazione si è avuto un tau medio di circa 0.014 che ha consentito di recuperare un 2-3% sulla misura di efficienza totale.

La curva di guadagno prodotta, compensata per l'attenuazione atmosferica, è riportata in (2) e raffigurata in Figura 7. Il DPFU (degrees per flux unit) risulta essere 0.573 K/Jy all'elevazione di 46°, inferiore ai valori teorici. Utilizzando il fattore di conversione di 1.165 (numero calcolato per un'antenna di 64m di diametro) l'efficienza risulta essere 49.1%.

$$y = -0.00015x^2 + 0.013881x + 0.252501 \quad (2)$$

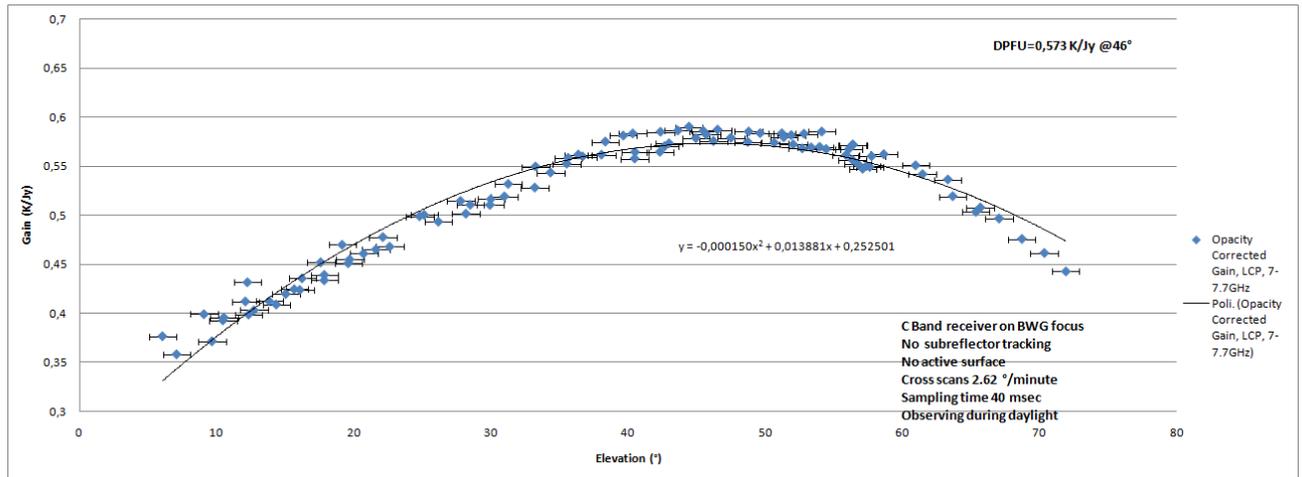


Figura 7 – Curva di guadagno del ricevitore in banda C in fuoco BWG. Superficie attiva e subriflettore non era in tracking per l'elevazione.

5.1 Misura del beamsize

In contemporanea alle misure di guadagno, osservando sorgenti puntiformi, è stato possibile misurare anche il fascio d'antenna nelle due direzioni di scansione (azimuth ed elevazione) ed in particolare controllare quanto questo venisse modificato dalle deformazioni strutturali lungo lo span di elevazione. La Figura 8 mostra l'andamento: la retta rossa indica il valore di HPBW stimato per la frequenza di osservazione (0.045°).

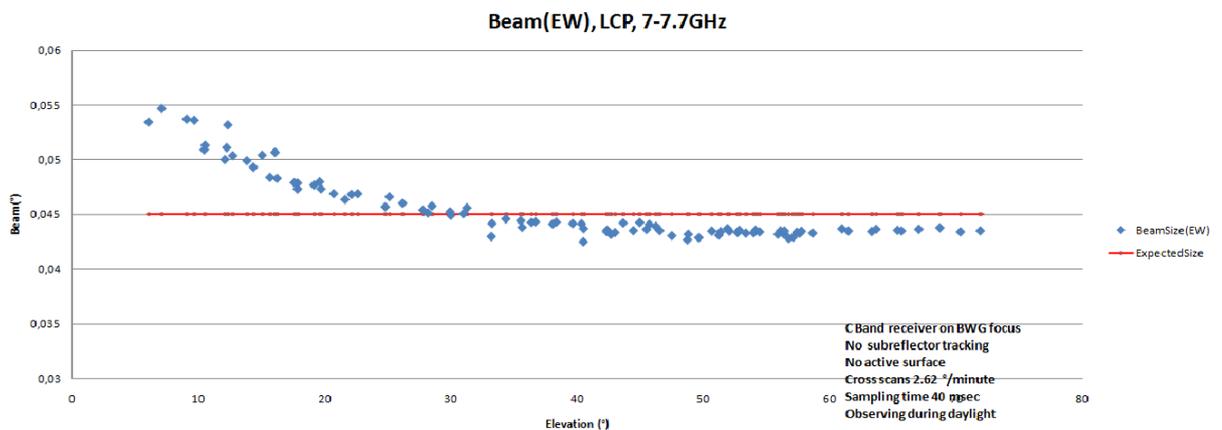
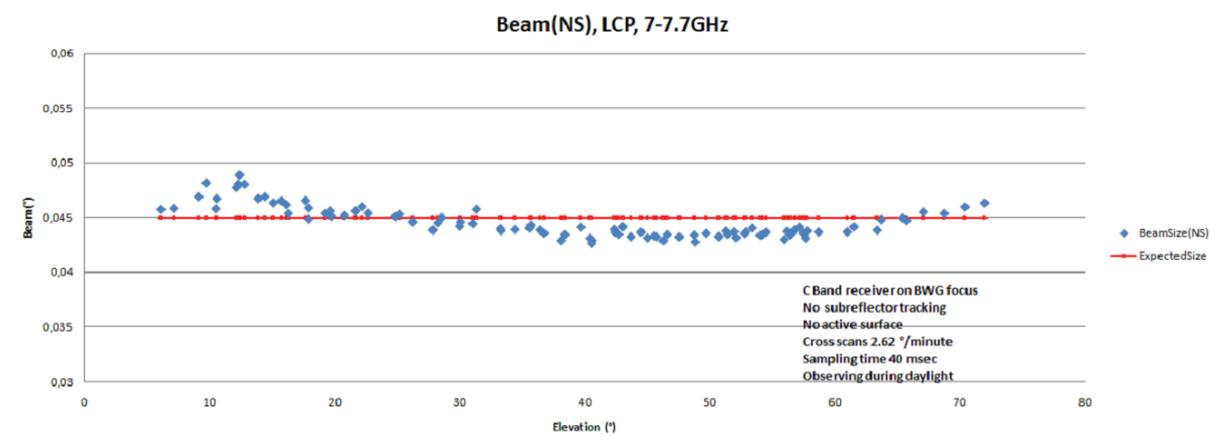


Figura 8 –Beam size al variare dell'elevazione, misurato nelle direzioni est/ovest e nord/sud

6 Confronto con l'installazione in gregoriano

A titolo di completezza confrontiamo i risultati riportati nel paragrafo 5 con quelli analoghi che si erano ottenuti quando il ricevitore era installato in fuoco gregoriano.

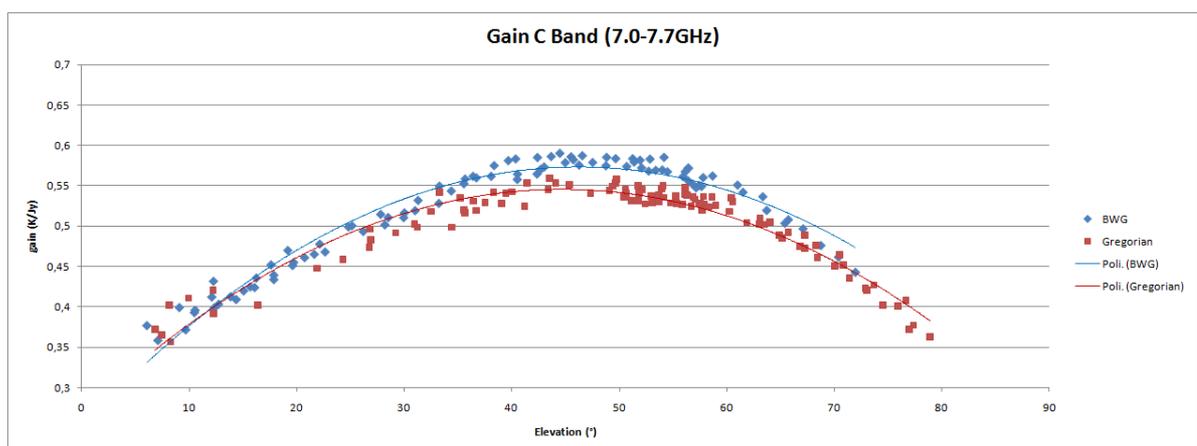


Figura 9 – Curva di guadagno in BWG e gregoriano, misure tra 7.0-7.7 GHz

La Figura 9 confronta le curve di guadagno, come aspettato le due curve si ricalcano abbastanza fedelmente. In termini assoluti, in BWG si registra un guadagno maggiore (0.578K/Jy contro 0.54 3K/Jy) che si giustifica però dal fatto che il ricevitore è ottimizzato per il fuoco BWG (taper ed efficienza di illuminazione) e non

per quello gregoriano. I valori teorici per i due fuochi sono 0.66 K/Jy in BWG e 0.61 K/Jy a 7.7 GHz.

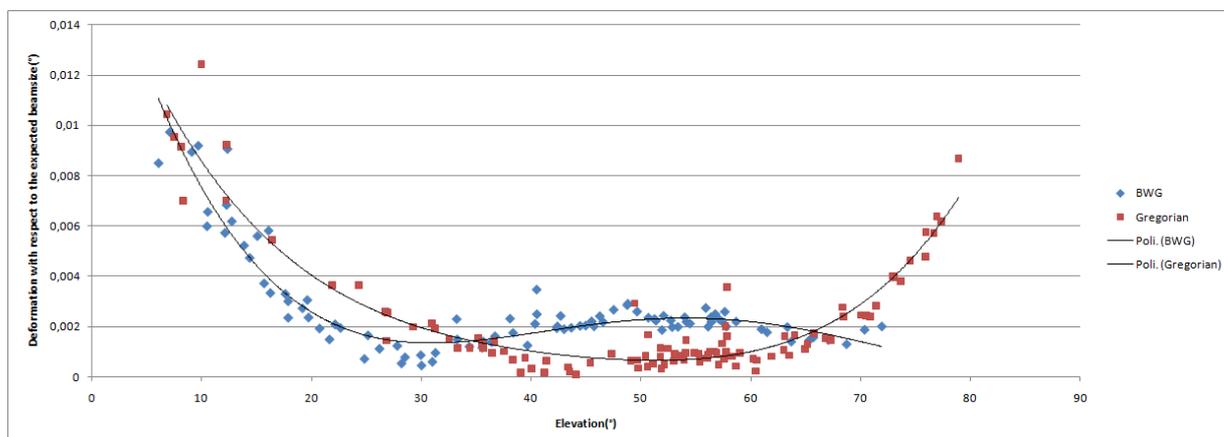


Figura 10 –Deformazione del beam per gravità lungo l’asse di elevazione

In Figura 10 si riporta la stima della deformazione totale del beam al variare dell’elevazione e quindi della gravità, misurata nei due fuochi. A partire dal beam size misurati nelle due direzioni di scansione (Figura 8), le curve di Figura 10 sono state ottenuta tramite la semplice relazione:

$$y_i = \sqrt{(x_{n/s} - u)^2 + (x_{e/w} - u)^2} \quad (3)$$

Dove u rappresenta il valore teorico della dimensione del beam ovvero, per la frequenza con cui si è osservato, 0.0458° e 0.0450° per la curva in gregoriano e BWG rispettivamente.

7 Temperatura di sistema

Le misure di temperatura di sistema sono state effettuate tra i giorni 11 e 13 dicembre, nei momenti in cui le condizioni meteo consentivano di ridurre le incertezze da esse indotte. Si è anche variata la banda con cui si effettuavano le misure (agendo sul OL del ricevitore e sui filtri del backend) per vedere se ci fossero anomalie imputabili per lo più a RFI.

Prima di effettuare la misura si è provveduto a pulire la copertura del gregoriano per asciugare l’acqua accumulata per condensa, fenomeno molto evidente specialmente al mattino (Figura 11). Si è infatti constatato che questo deposito d’acqua causa un aumento delle temperatura di sistema nell’ordine dei 16-17K.

Riportiamo i risultati per la banda 6.5-7.7GHz perché è quella che risulta maggiormente libera da interferenze; la Tabella 4 riassume le misure effettuate ad azimuth=180°, Temperatura 5.5°C, Umidità relativa 80.9%, Pressione 944.2 mBar. Le Figure 12 e 13, infine mostrano gli stessi risultati plottando la temperatura di sistema in funzione dell’elevazione e della massa d’aria rispettivamente.

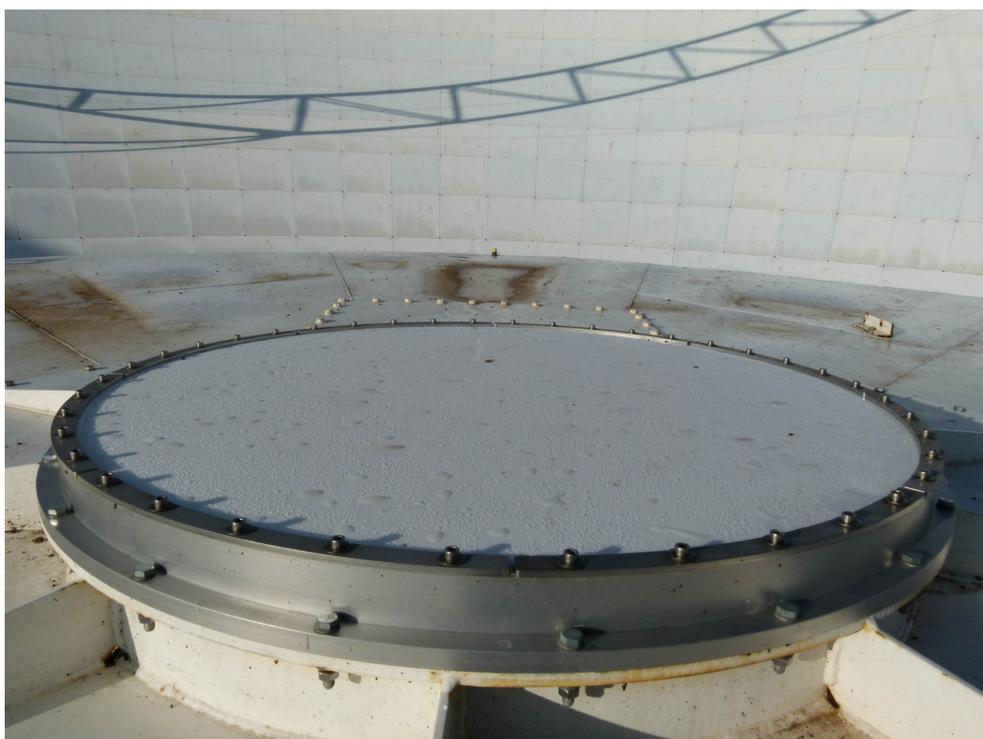


Figura 11 - Stato della copertura del gregoriano prima di essere asciugata

Tabella 4 – Misure di temperatura di sistema nella banda 6.5-7.7GHz

		TAU0= 0,015										4,4 (K) di contributo atmosferico allo zenith	EL
6.5-7.7GHz				90	80	70	60	50	40	30	20	10	
		Caltemp	Atten.	Tsys									
LCP	3,564	9		29,2	29,6	31,5	31,7	32,3	33,6	33,5	35,9	43,3	
RCP	3,572	8		27,9	28,4	30,1	30,3	31	32,1	32,1	34,7	42,5	
Tsys LCP-RCP (K)=				1,3	1,2	1,4	1,4	1,3	1,5	1,4	1,2	0,8	
Airmass				1,00	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2,00	2,92	5,76	
Tsky (K)				4,4	4,4	4,6	5,0	5,7	6,8	8,7	12,6	24,3	
LCP copertura				1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
RCP copertura				1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
Tspill		BWG		6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
		ground		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
LCP Extraspill				7,7	8,0	9,7	9,5	9,5	9,7	7,7			
RCP Extraspill				8,1	8,6	10,0	9,9	9,9	9,9	8,0			

La tabella 4 riporta, oltre le Tsys anche i valori noti che la compongono, ovvero il contributo del cielo alle varie elevazioni, il contributo del materiale che copre la stanza gregoriano (fig. 11), il contributo di spillover dovuto alla collocazione nella stanza BWG, il contributo di spillover dovuto al terreno. Questi ultimi due valori sono presi direttamente dalle simulazioni elettromagnetiche effettuate durante il progetto dell'illuminatore, i rimanenti invece derivano da misure. E' stata inoltre scorporata la temperatura di rumore del ricevitore (8.5K per la LCP e 6.8K per RCP). Si nota che anche in questo caso, come per la sua collocazione in gregoriano e per il multifeed in banda K, è presente un extracontributo di rumore di 8-9K. Anche questo, come nei due casi precedenti, andrà indagato. La fig. 13 porge valori di T0 di 28 e 26.5K per LCP e RCP rispettivamente.

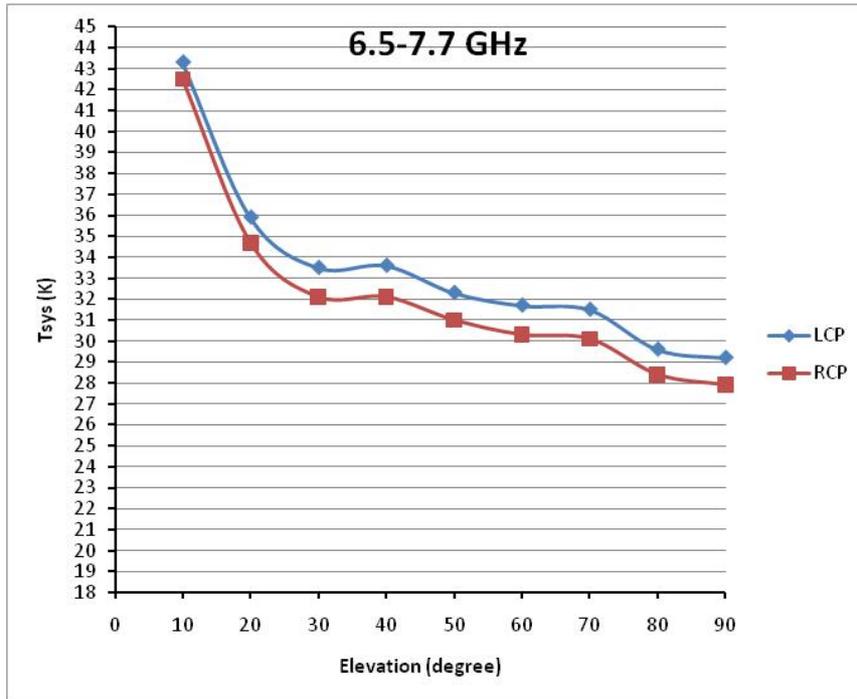


Figura 12 - Temperatura di sistema in funzione dell'elevazione

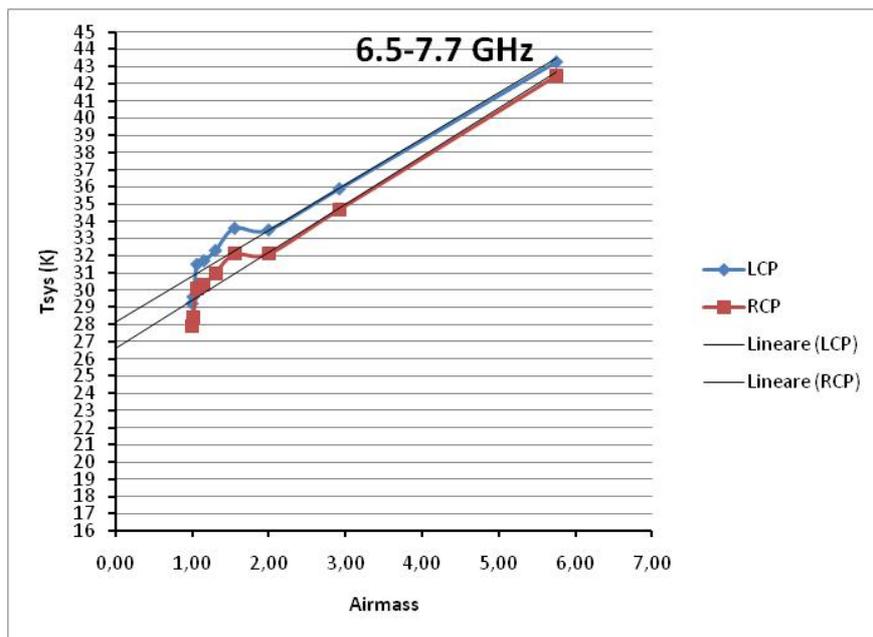


Figura 13 - Temperatura di sistema in funzione della massa d'aria

8 Conclusioni

Le misure di guadagno sono state fatte nella parte 7.0-7.7 GHz per avere a disposizione una banda libera da RFI e per avere un termine di paragone rispetto le misure fatte in gregoriano. I valori teorici di efficienza nel fuoco in esame sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5 – Efficienza del ricevitore 7Ghz in fuoco BWG

λ cm	f GHz	Gain dB	Eff. antenna %	Eff. Totale %	Gain (K/Jy)
5,26	5,7	70,2	71,7	62,7	0,73
4,47	6,7	71,8	75,0	65,6	0,76
3,89	7,7	72,4	65,2	57,0	0,66

Prendendo come riferimento il valore per i 7.7 GHz si nota come, a 45° di elevazione, risulta esserci una mancanza di guadagno pari ad almeno un 10-15% (0.573 contro 0.66 K/Jy). Questa discrepanza era stata misurata e verificata anche con l'installazione in gregoriano ed addebitata alla necessità di operare una ottimizzazione in cielo del subriflettore, anche nella posizione a 45° di elevazione.

Saranno necessarie, perciò, altre verifiche e misure specialmente nella fase denominata di "fine tuning", considerando che: la temperatura di sistema più alta del previsto consente probabilmente di escludere che la marca di rumore sia stata sottostimata nella fase di caratterizzazione e, che gli stessi allineamenti meccanici degli specchi sono stati forniti da MTM precisi nell'ordine di qualche millimetro per l'elevazione di 45°.

Di sicuro interesse sarebbero anche le misure di efficienza nell'altra polarizzazione (RCP) cambiando, se possibile, anche la banda di riferimento (5.7-6.7 GHz ad esempio). Come già menzionato i valori di temperatura di sistema più alti dell'aspettato andranno ulteriormente investigati.

Ulteriore spunto di indagine potrebbe essere l'andamento del beamsize come riportato in Figura 10 per controllare se si conferma anche dopo l'ottimizzazione del fuoco.