

**Fine Tuning dei fuochi Gregoriano e BWG del Sardinia  
Radio Telescope**

**Orlati Andrea<sup>1</sup> Buttu Marco<sup>2</sup> Migoni Carlo<sup>2</sup> Morsiani Marco<sup>1</sup> Orfei Alessandro<sup>1</sup>  
Pellizzoni Alberto<sup>2</sup> Poppi Sergio<sup>2</sup> Righini Simona<sup>1</sup> Roda Juri<sup>1</sup>  
Zacchioli Gianpaolo<sup>1</sup>**

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

2 - I.N.A.F. Osservatorio di Cagliari.

**IRA 500-16**

## Sommario

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
1.1	DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI .....	3
<b>2</b>	<b>CONFIGURAZIONE D'ANTENNA.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CONFIGURAZIONE FRONTEND/BACKEND.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>IL RICEVITORE 7GHZ.....</b>	<b>5</b>
4.1	MODELLO DI PUNTAMENTO.....	5
4.2	CURVA DI FUOCO .....	7
4.3	EFFICIENZA .....	7
4.3.1	<i>La curva di guadagno.....</i>	<i>7</i>
4.3.2	<i>Considerazioni sull'efficienza .....</i>	<i>8</i>
4.4	ALLINEAMENTO DELLE OTTICHE .....	10
4.4.1	<i>Dimensione del beam a mezza potenza e beam pattern .....</i>	<i>10</i>
4.4.2	<i>Considerazioni.....</i>	<i>12</i>
<b>5</b>	<b>IL RICEVITORE 22GHZ.....</b>	<b>13</b>
5.1	MODELLO DI PUNTAMENTO.....	13
5.2	CURVA DI FUOCO .....	15
5.3	EFFICIENZA .....	15
5.3.1	<i>La curva di guadagno.....</i>	<i>15</i>
5.3.2	<i>Considerazioni sull'efficienza .....</i>	<i>16</i>
5.4	ALLINEAMENTO DELLE OTTICHE .....	18
5.4.1	<i>Dimensione del beam a mezza potenza e beam pattern .....</i>	<i>18</i>
5.4.2	<i>Considerazioni.....</i>	<i>20</i>

## 1 Introduzione

Il documento vuole dare conto dei risultati derivanti dalle misure chiamate di “fine tuning” in fuoco Gregoriano e BWG con i ricevitori 22 GHz e 7 GHz rispettivamente. Per “fine tuning” si intende la messa a punto della configurazione del telescopio con superficie attiva e subriflettore in tracking per compensare le deformazioni alla struttura imposte dalla gravità. L'attività in questione era prevista nel commissioning plan e costituisce la finalizzazione del commissioning tecnico del radiotelescopio SRT. Le misure a cui ci si riferisce sono state prese nel mese di Marzo 2014.

### 1.1 Definizioni e abbreviazioni

<b>ABS</b>	Activity Breakdown Structure
<b>ACU</b>	Antenna Control Unit
<b>AER</b>	Alidade Equipment Room
<b>AIV</b>	Acceptance Integration Verification
<b>APER</b>	Apex Equipment Room
<b>BWG</b>	Beam Wave Guide Room
<b>CED</b>	Centro Elaborazione Dati
<b>CO</b>	Cassetto Ottico
<b>CR</b>	Control Room
<b>DBBC</b>	Digital Base Band Converter
<b>DC</b>	Drive Cabinet
<b>EER</b>	Elevation Equipment Room
<b>EVN</b>	European VLBI Network
<b>F1</b>	Fuoco Primario (davanti al subriflettore, ottica Gregoriana)
<b>F2</b>	Fuoco Secondario (a livello del rotatore in fuoco Gregoriano)
<b>F3</b>	Fuoco BWG
<b>FO</b>	Fibra Ottica
<b>GAI</b>	Gruppi di Attività Integrata
<b>GFR</b>	Gregorian Focus Positioner
<b>GFR-CS</b>	Sistema di Controllo (servo) del Rotatore dei Feed in Fuoco Gregoriano
<b>GG</b>	Gruppo Generatori
<b>GRP</b>	Gregorian Receiver Positioner
<b>GRR</b>	Gregorian Receiver Room
<b>IRA</b>	Istituto di Radio Astronomia
<b>IRIG-B</b>	Inter-Range Instrumentation Group time codes di tipo B
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>M1</b>	Specchio riflettore primario
<b>M2</b>	Subriflettore al vertice del quadrupode
<b>M3</b>	Specchio selettore della focale BWG
<b>M3R-CS</b>	Sistema di Controllo del Rotatore dello specchio M3
<b>M4</b>	Specchio con focale per ricevitori intermedi

<b>M5</b>	Specchio con focale eguale a Medicina
<b>MOM</b>	Minute di Meeting
<b>MS</b>	Master Synthetiser
<b>NC</b>	Non Conformità
<b>OAC</b>	Osservatorio Astronomico di Cagliari
<b>PCP</b>	Principal Control Panel
<b>PFP</b>	Primary Focus Positioner
<b>PFP-CS</b>	Sistema di Controllo (servo) del Posizionatore Ricevitori in Fuoco Primario
<b>PI</b>	Principal Investigator
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>PS</b>	Project Scientist
<b>RCP</b>	Remote Control Panel, per il controllo remoto del servo principale
<b>RF</b>	Radio Frequenza
<b>IF</b>	Intermediate Frequency
<b>RFI</b>	Radio Frequency Interference
<b>RJ45</b>	Connettore cavi LAN in rame
<b>RNC</b>	Riunione di Non Conformità
<b>SMCU</b>	Servo Minor Control Unit
<b>S/R</b>	Subriflettore
<b>SRP</b>	Sub Reflector Positioner
<b>SRP-CS</b>	Sistema di Controllo (servo) del Posizionatore del Subriflettore
<b>SRT</b>	Sardinia Radio Telescope
<b>TBC</b>	To Be Checked
<b>TBD</b>	To Be Defined
<b>TBW</b>	To Be Written
<b>TF</b>	Testa Fredda, ovvero refrigeratore criogenico dei dewar dei singoli ricevitori
<b>T&amp;F</b>	Tempo e Frequenza, genera il riferimento di frequenza e tempo per la stazione
<b>TRB</b>	Test Review Board
<b>TRR</b>	Test Readiness Review
<b>UEER</b>	Upper Elevation Equipment Room
<b>UTC</b>	Coordinated Universal Time
<b>VCB</b>	Verification Control Board
<b>VLBI</b>	Very Long Base Interferometry
<b>WBS</b>	Work Breakdown Structure
<b>TPI</b>	Total power integrator
<b>Tsys</b>	Temperatura di sistema
<b>BWHM</b>	Beam Width Half Maximum

## 2 Configurazione d'antenna

Tutte le misure riportate in questo documento sono state effettuate con lo specchio M1 in configurazione shaped e con gli attuatori della superficie attiva in funzione.

Anche lo specchio M2 è stato mosso secondo le curve in funzione dell'elevazione, derivanti dalla fotogrammetria. Il PFP era in posizione di parcheggio. Il GFR è stato collocato a 1323.5 mm e 0 mm (bypass) per posizionare in fuoco i ricevitori in banda K e banda C rispettivamente. Del multifeed in banda K si è utilizzato unicamente il feed centrale; il derotatore era fermo nella posizione di zero meccanico.

### **3 Configurazione frontend/backend**

Si sono scelte configurazioni il più possibile simili a quelle utilizzate per le misure di prima luce per poter confrontare i risultati. In banda K è stata selezionata la banda 22-24 GHz (LO=21900 MHz), con il filtro del backend impostato a 700 MHz; mentre per la banda C si è scelto di osservare nella banda 7.0-7.7 GHz (LO=6900 MHz) per via della presenza di forti interferenze nella banda inferiore.

La costante di campionamento del backend è stata impostata a 40 ms per tutte le misure.

## **4 Il ricevitore 7GHz**

### **4.1 Modello di puntamento**

La movimentazione della superficie attiva e soprattutto del subriflettore ha modificato il puntamento del telescopio, si è quindi reso necessario ricavare un nuovo modello.

Come atteso, gli offset generati dai servo sistemi secondari non si sono rivelati tali da compromettere totalmente il modello di puntamento esistente. Partendo quindi da quest'ultimo, è stato possibile automatizzare il processo di acquisizione dei dati con schedule create in modo da velocizzare la necessaria copertura del piano azimuth/elevazione. La schedula prevede una serie di cross-scan ( $0.7^\circ$  ad una velocità di  $2.6^\circ/\text{min}$ ) sulle sorgenti riportate in Tabella 1. L'intero processo si è svolto su più giorni per completare tre iterazioni successive. L'ultima di queste (iterazione di controllo), in seguito alla riduzione dati, ha evidenziato che il modello ricavato presenta dei residui pari a  $0.003^\circ$  e  $0.002^\circ$  in azimuth ed elevazione rispettivamente. Risultati in linea con le specifiche di questa banda:  $10.8''$  contro un FWHM (teorico) di  $162''$ . I parametri del modello così ottenuto sono riportati in Tabella 2.

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

Source	Size(")	RA J2000	DEC J2000
3c48	1.55	01:37:41.2971	+33:09:35.118
3c123		04:37:04.375	+29:40:13.820
3c147	1	05:42:36.1379	+49:51:07.234
3c161	3	06:27:10.096	-05:53:04.770
K19		06:39:21.000	73:24:54.000
3c295		14:11:20.516	+52:12:09.86
3c286	1.5	13:31:08.2881	+30:30:32.960
ngc7027		21:07:01.593	+42:14:10.180
3c309.1	1.5	14:59:07.578	+71:40:19.850
3c380	1	18:29:31.725	+48:44:46.950
3c84	1	03:19:48.160	+41:30:42.10
dr21		20:39:01.100	+42:19:43.00
J0854+2006		08:54:48.87	20:06:30.64
J1256-0547		12:56:11.160	-05:47:21.52
J0730-1141		07:30:19.110	-11:41:12.60
J2202+4216		22:02:43.2913	+42:16:39.979
J2246-1206		22:46:18.2319	-12:06:51.277

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

Parameter	Explanation	Value
P1	<b>Azimuth encoder offset</b>	-2.3029563427
P2	<b>Gravity effect on the RF axis projected on azimuth</b>	Not used
P3	<b>Axis skew</b>	-0.0102762356
P4	<b>Box Offset</b>	-0.0050985431
P5	<b>Tilt out (tilt of El=90° toward az/el=0°,0°)</b>	0.0008867322
P6	<b>Tilt over (tilt of El=90° toward az/el=90°,0°)</b>	-0.0019946923
P7	<b>Elevation encoder offset</b>	0.0873332769
P8	<b>Gravity effect on the RF axis projected on elevation</b>	0.0871561393
P9	<b>Elevation angle slope</b>	Not used
P10	<b>El*cosEl</b>	Not used
P11	<b>El*sinEl</b>	0.0115426397
P12	<b>Azimuth angle slope</b>	Not used
P13	<b>Az*cosAz</b>	0.0020223276
P14	<b>Az*sinAz</b>	0.0008122203
P15	<b>El*cos2Az</b>	Not used

## 4.2 Curva di fuoco

Lo specchio M2 ha sei gradi di movimento:

- a) Traslazione X
- b) Traslazione Y
- c) Traslazione Z
- d) Rotazione X
- e) Rotazione Y
- f) Rotazione Z

Degli assi menzionati sopra, quello più critico per l'efficienza del telescopio, potendo compensare gli spostamenti di a), b), d) ed e) col puntamento d'antenna, è la traslazione in Z (fuoco). Inoltre, nel calcolo dei polinomi di tracking del subriflettore, proprio per l'asse Z non sono state considerate le "piccole variazioni" imposte dalle movimentazioni della superficie attiva a seguito della fotogrammetria di M1.

Stanti queste due ultime considerazioni si è deciso, tramite misure ad hoc, di controllare lo spostamento del fuoco al variare dell'elevazione. Il subriflettore è stato mosso lungo l'asse Z di una quantità pari a 3 volte lambda ad una velocità di 2 mm/s, nel contempo con la tecnica on-the-fly si è acquisita la temperatura d'antenna. Il fitting gaussiano su questi dati ha consentito di determinare la corretta posizione di Z.

Il risultato è riportato in Figura 1, le misure sono state effettuate in assenza di gradienti termici sulla struttura. Il polinomio ricavato è stato utilizzato per le successive misure di guadagno.

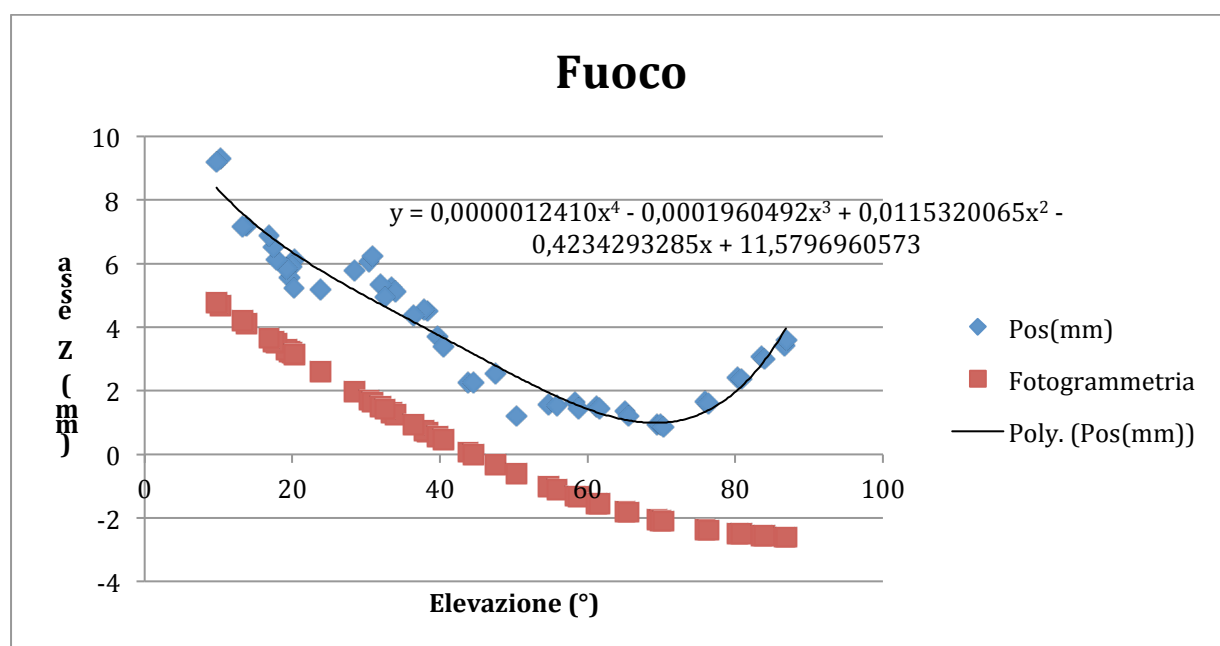


Figura 1 - Posizione del fuoco (Z) in funzione dell'elevazione col ricevitore in BWG. I punti in blu rappresentano le misure, mentre i rossi tracciano il polinomio determinato dalle misure per l'allineamento di M2.

## 4.3 Efficienza

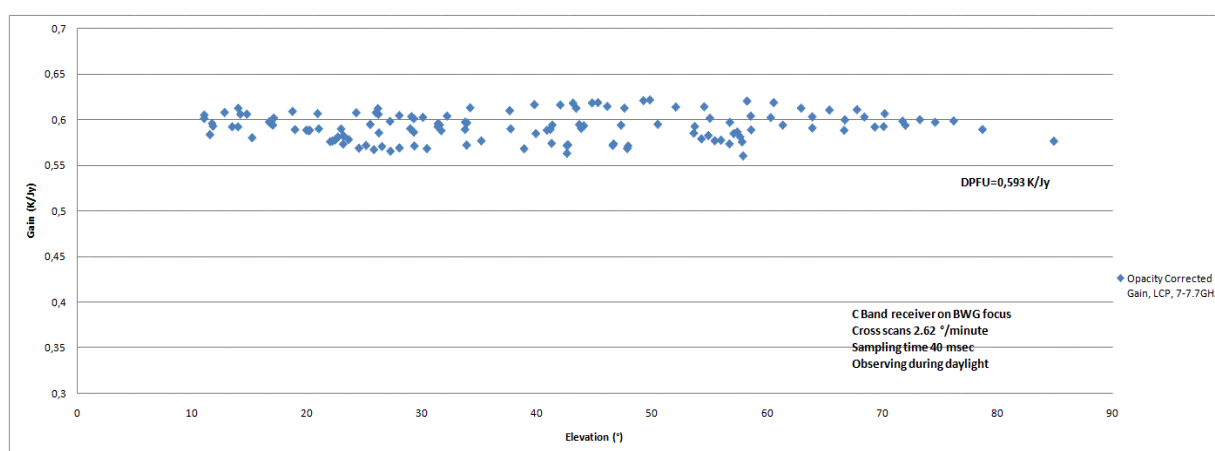
### 4.3.1 La curva di guadagno

Anche in questo caso le misure sono state condotte tra 7.0 e 7.7 GHz, utilizzando dei cross-scan eseguiti lungo gli assi del frame orizzontale. 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 (7.35 GHz a centro banda).

**Tabella 3 – Calibratori di ampiezza utilizzati per la misura di guadagno del ricevitore 7 GHz (ref. Baars et al)**

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



**Figura 2 - Curva di guadagno in LCP nella banda 7.0-7.7 GHz, il DPFU risulta essere 0.593 K/Jy**

In Figura 2 viene riportata la curva di guadagno misurata per la polarizzazione circolare sinistra. L'efficienza risulta essere di 0.593 K/Jy e sostanzialmente piatta su tutto il range di elevazione.

### 4.3.2 Considerazioni sull'efficienza

Esaminando la Figura 3, in cui si confrontano le curve di guadagno prima e dopo il "fine tuning", è facile verificare come l'introduzione della superficie attiva e del tracking del subriflettore abbia migliorato l'efficienza del telescopio a tutte le elevazioni. Affermazione, quest'ultima, che trova riscontro anche in quanto riportato nel paragrafo 4.4 in tema di allineamento delle ottiche.

Si nota anche un leggero miglioramento della performance in termini di DPFU, 0.593 K/Jy contro 0.545 K/Jy, miglioramento che però non riporta il guadagno sui valori attesi. Dalla Tabella 4, infatti, si può verificare che il valore previsto per la lunghezza d'onda in questione è di 0.64 K/Jy.

Al fine di confermare la curva di Figura 2, si sono ripetute le stesse misure anche se si è variata leggermente la larghezza di banda: da 700 MHz ai 300 MHz, nello specifico osservando tra 7.4 GHz e 7.7 GHz.

Il risultato di quest'ultima campagna è fondamentalmente in linea con la precedente e quindi inferiore al valore teorico. Le Figure 4 e 5 illustrano queste curve per la polarizzazione sinistra e destra, rispettivamente.



Durante questa campagna osservativa si è evitata la parte bassa di questa banda perché affetta da maggiori RFI. Nonostante questo sarebbe utile, nel prossimo futuro, controllare anche in quest'area il guadagno e controllare se esista anche qui lo stesso rapporto tra valore misurato e valore stimato.

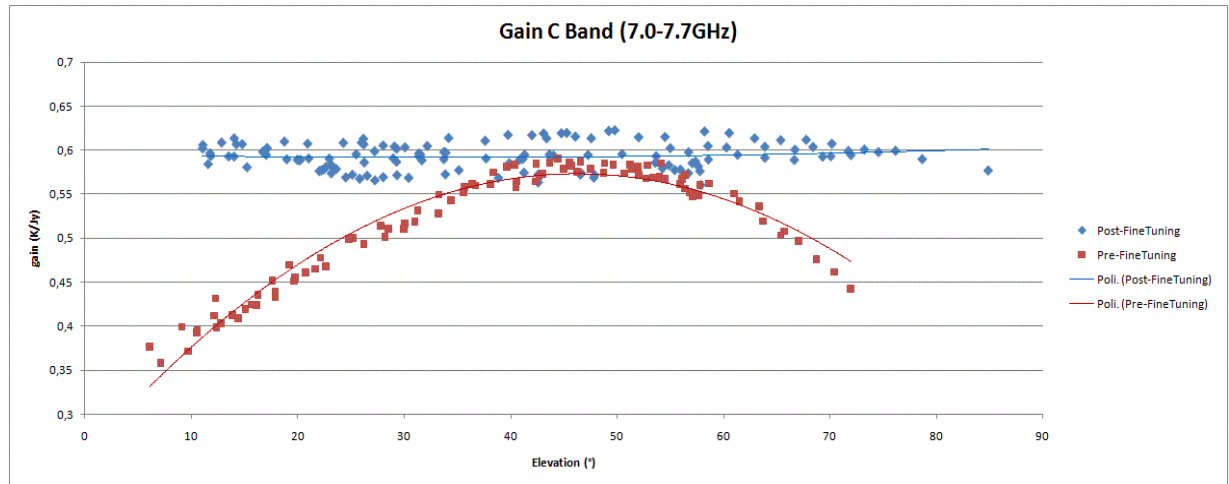


Figura 3 - Raffronto tra il guadagno pre/post fine tuning, la curva di guadagno post fine tuning (in blu) è la stessa riportata in Figura 2.

Tabella 4 - Guadagno d'antenna stimato a 7.7 GHz (0.64K/Jy). L'efficienza di superficie è calcolata con la formula di Ruze a partire dal rms della superficie stessa. Gli altri valori arrivano dai parametri d'antenna e del ricevitore.

K	1.38066e-23	Ag(m)	3216.990877	
D	64	$10^{-26} Ag/2k =$	1.165020909	
Efficienza antenna(%) @7.7GHz	65.2			
feed ret. loss	0.999			
feed ins. loss	0.96			
blockage	0.88			
Elevazione	Surface	Efficienza(%)	Gain(K/Jy)	
	15	0.99	55.0	0.64
	20	0.99	55.0	0.64
	25	0.99	55.0	0.64
	30	0.99	55.0	0.64
	35	0.99	55.0	0.64
	40	0.99	55.0	0.64
	45	0.99	55.0	0.64
	50	0.99	55.0	0.64
	55	0.99	55.0	0.64
	60	0.99	55.0	0.64
	65	0.99	55.0	0.64
	70	0.99	55.0	0.64
	75	0.99	55.0	0.64
	80	0.99	55.0	0.64
	85	0.99	55.0	0.64
	90	0.99	55.0	0.64

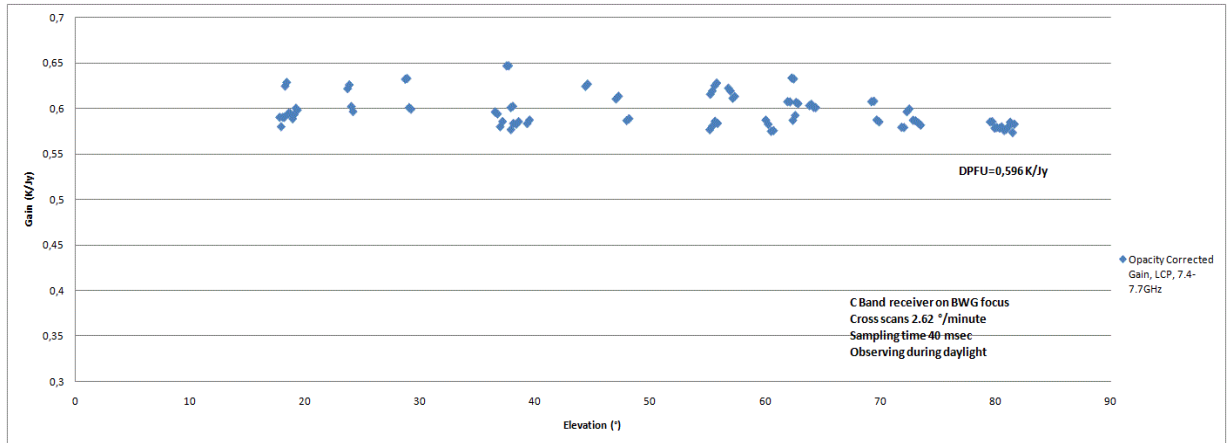


Figura 4 - Curva di guadagno in LCP nella banda 7.4-7.7 GHz, il DPFU risulta essere 0.596K/Jy

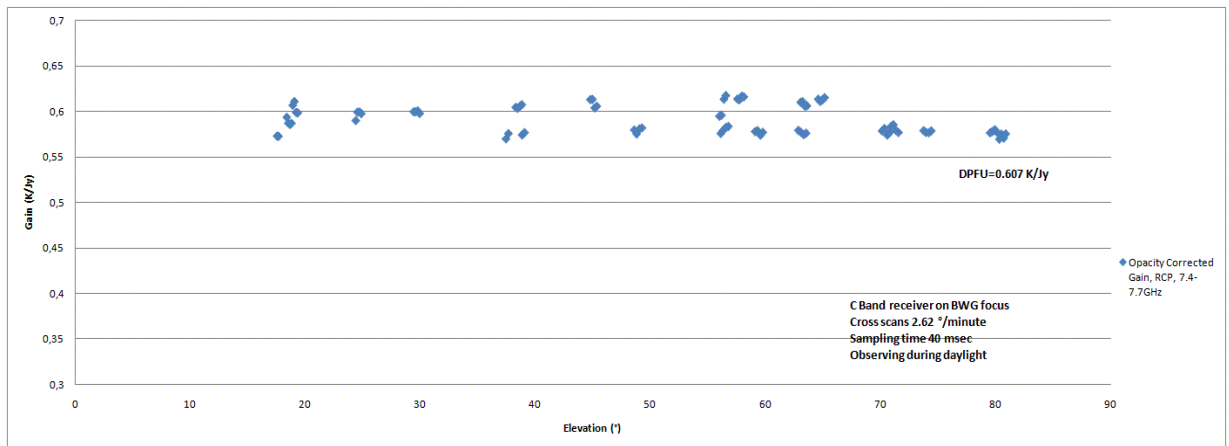


Figura 5 - Curva di guadagno in RCP nella banda 7.4-7.7 GHz, il DPFU risulta essere 0.607K/Jy

## 4.4 Allineamento delle ottiche

### 4.4.1 Dimensione del beam a mezza potenza e beam pattern

In contemporanea alle misure di guadagno, osservando sorgenti puntiformi, è stato possibile valutare il pattern d'antenna. Le Figure 6 e 7 mostrano il FWHM nelle due direzioni di scansione; azimuth ed elevazione rispettivamente. In entrambe i casi non si apprezzano deformazioni lungo tutto il range di elevazione. In azimuth il beam misurato è di  $2.57'(\pm 0.02')$ , in elevazione di  $2.58'(\pm 0.03')$ .

Un ulteriore riscontro dei valori appena esposti si è avuto dalle mappe acquisite su una sorgente puntiforme (3c84) a diversi range di elevazione, che hanno rilevato un valor medio di  $2.6'$  in entrambe gli assi del riferimento orizzontale. Le mappe, riportate nelle Figure 8, 9, 10 e 11, sono il risultato di acquisizioni svolte a bassa, media ed alta elevazione, pertanto hanno consentito un buon campionamento dell'aspetto del beam pattern lungo tutto il range di elevazione. I valori di beamwidth riportati accanto a ciascuna figura sono stati ottenuti interpolando un funzione gaussiana in due dimensioni sul beam principale.

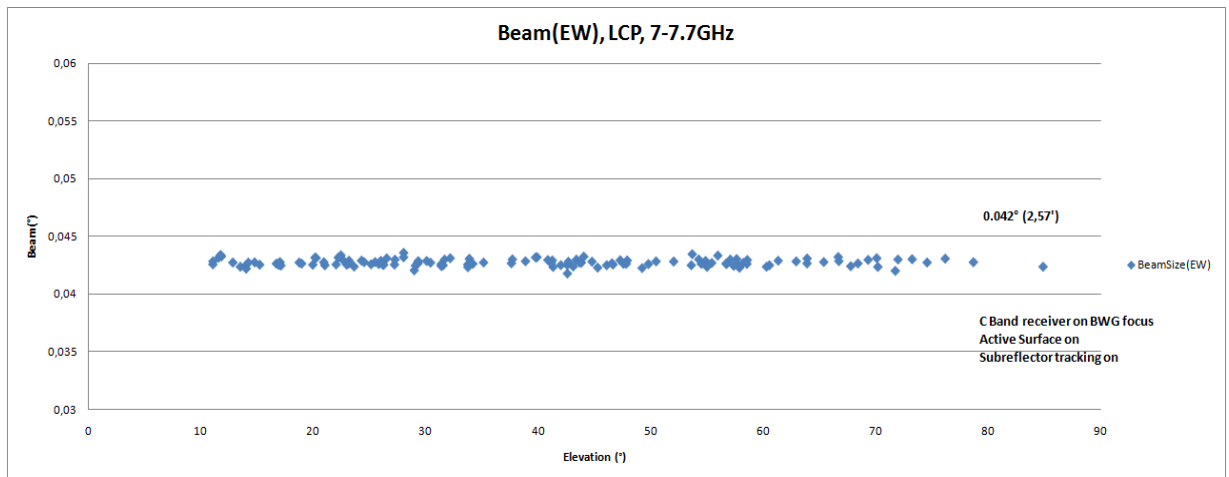


Figura 6 – La dimensione del beam nella direzione est-ovest, in ascissa l'elevazione del telescopio

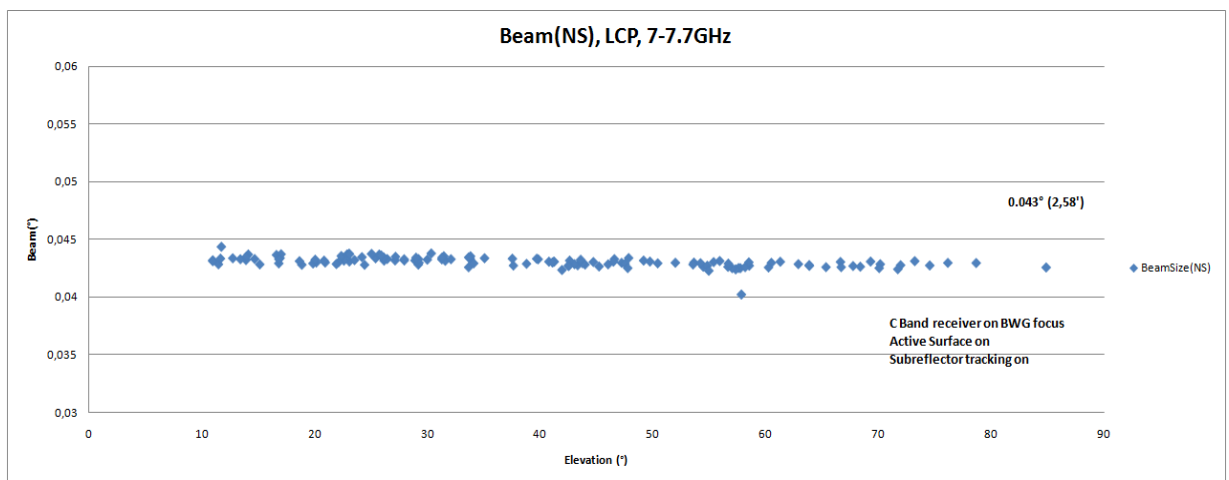


Figura 7 - La dimensione del beam nella direzione nord-sud, in ascissa l'elevazione del telescopio

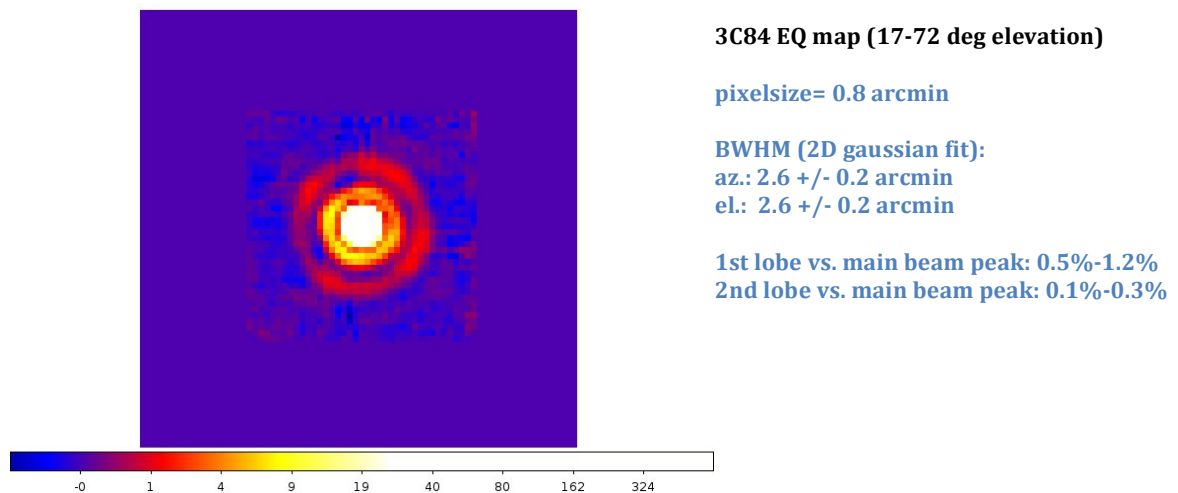
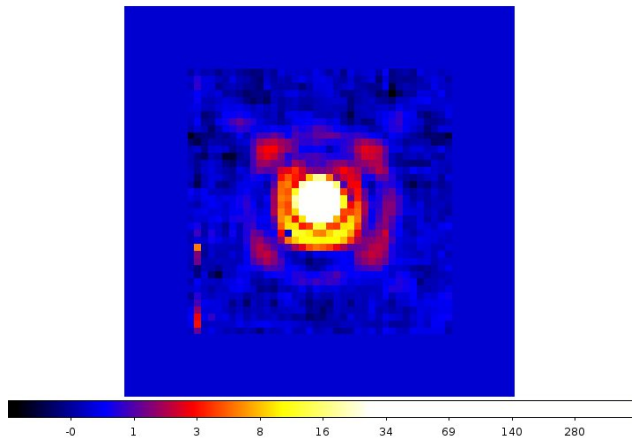


Figura 8 – Mappa di 3c84 a 7 GHz in coordinate equatoriali, acquisizioni tra 17 e 72 gradi di elevazione. Map making con SDI (Single-Dish Imager, realizzato da Pellizzoni et al.).



**3C84 HOR map (23-29 deg elevation)**

pixelsize= 0.8 arcmin

BWHM (2D gaussian fit):

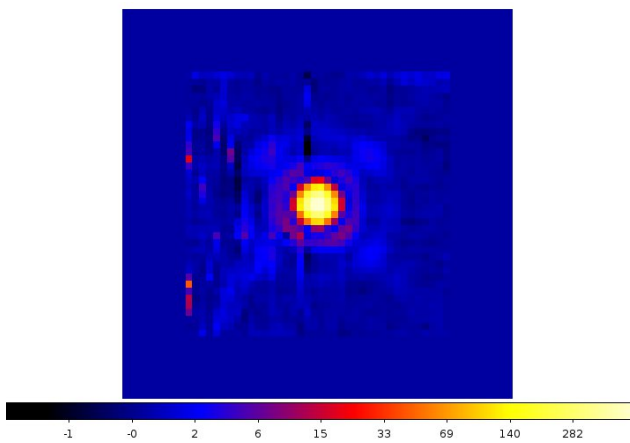
az.: 2.7 +/- 0.2 arcmin

el.: 2.7 +/- 0.2 arcmin

1st lobe vs. main beam peak: 0.2%-1.8%

2nd lobe vs. main beam peak: 0.1%-0.5%

Figura 9 – Mappa di 3c84 a 7 GHz in coordinate altazimutali, acquisizioni tra 23 e 29 gradi di elevazione. Map making con SDI (Pellizzoni et al).



**3C84 HOR map (48-56 deg elevation)**

pixelsize= 0.8 arcmin

BWHM (2D gaussian fit):

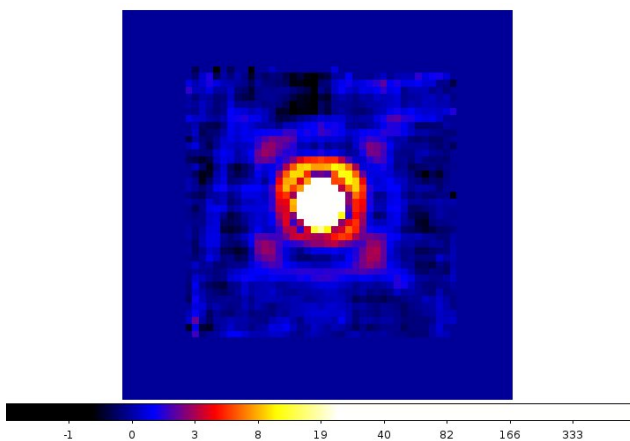
az.: 2.7 +/- 0.2 arcmin

el.: 2.6 +/- 0.2 arcmin

1st lobe vs. main beam peak: 0.5%-1.3%

2nd lobe vs. main beam peak: 0.1%-0.4%

Figura 10 - Mappa di 3c84 a 7 GHz in coordinate altazimutali, acquisizioni tra 48 e 56 gradi di elevazione. Map making con SDI (Pellizzoni et al).



**3C84 HOR map (72-80 deg elevation)**

pixelsize= 0.8 arcmin

BWHM (2D gaussian fit):

az.: 2.7 +/- 0.2 arcmin

el.: 2.7 +/- 0.2 arcmin

1st lobe vs. main beam peak: 0.6%-1.5%

2nd lobe vs. main beam peak: 0.1%-0.4%

Figura 11 - Mappa di 3c84 a 7 GHz in coordinate altazimutali, acquisizioni tra 72 e 80 gradi di elevazione. Map making con SDI (Pellizzoni et al).

**4.4.2 Considerazioni**

Le mappe del beam pattern riportate sopra dimostrano che il fascio non è affetto da particolari asimmetrie e astigmatismi che possano pregiudicare l'efficienza del telescopio. Ne deriva che, per la banda C, gli allineamenti ottenuti per gli specchi M1

e M2 hanno portato i miglioramenti attesi rispetto alla configurazione del telescopio all'epoca della prima luce.

Come ulteriore verifica, riportiamo anche la deformazione del beam lungo l'elevazione, prima e dopo il "fine tuning". Il calcolo è svolto secondo la (1) rispetto al beam teorico ed è illustrato in Figura 12. Anche in quest'ultimo grafico è facile verificare il netto miglioramento dovuto all'introduzione delle ottiche attive.

$$y_i = \sqrt{(x_{n/s-u})^2 + (x_{e/w} - u)^2} \quad (1)$$

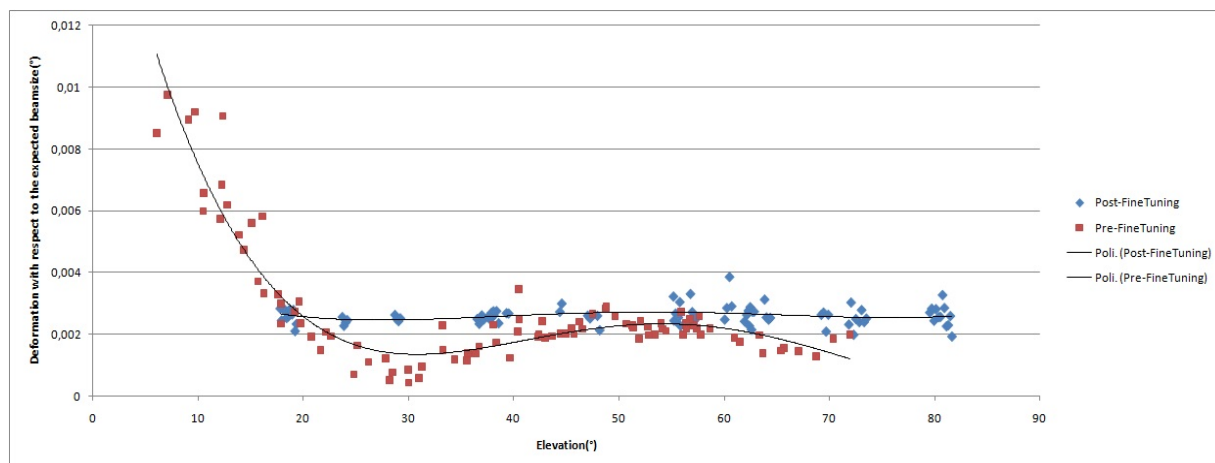


Figura 12 – Deformazione del beam, confronto tra la configurazione all'epoca della prima luce (rosso) e le misure effettuate durante il "fine tuning" (blu).

## 5 Il ricevitore 22GHz

### 5.1 Modello di puntamento

Utilizzando come base di partenza il modello ricavato in fuoco BWG con il subriflettore in tracking, si è riscontrato che gli offset misurati sui calibratori erano sufficientemente bassi da consentire di automatizzare sin da subito la raccolta dati. Anche in questo caso ci si è basati su cross-scan sulle sorgenti riportate in Tabella 1. Rispetto a quanto descritto in precedenza, essendo il beam sensibilmente più stretto, lo span e la velocità di scansione sono stati ridotti (0.3° e 0.8 °/minuto rispettivamente) per ottenere un numero sufficiente di campioni per beam e per evitare di perdere precisione nel tracking.

Alla conclusione della seconda iterazione, con la copertura del piano azimuth/elevazione (rappresentata in Figura 13) si è ricavato il modello di Tabella 5. I residui misurati sono pari a 0.0011° e 0.0009° in azimuth ed elevazione rispettivamente, in linea con quanto richiesto per la banda. Da notare che con la superficie attiva ed il subriflettore in tracking, per ottenere una buon fitting dei dati, è stato sufficiente inserire solo 10 parametri, mentre all'epoca delle misure di prima luce se ne erano impiegati 18, molti dei quali modellavano effetti inattesi sul puntamento d'antenna.

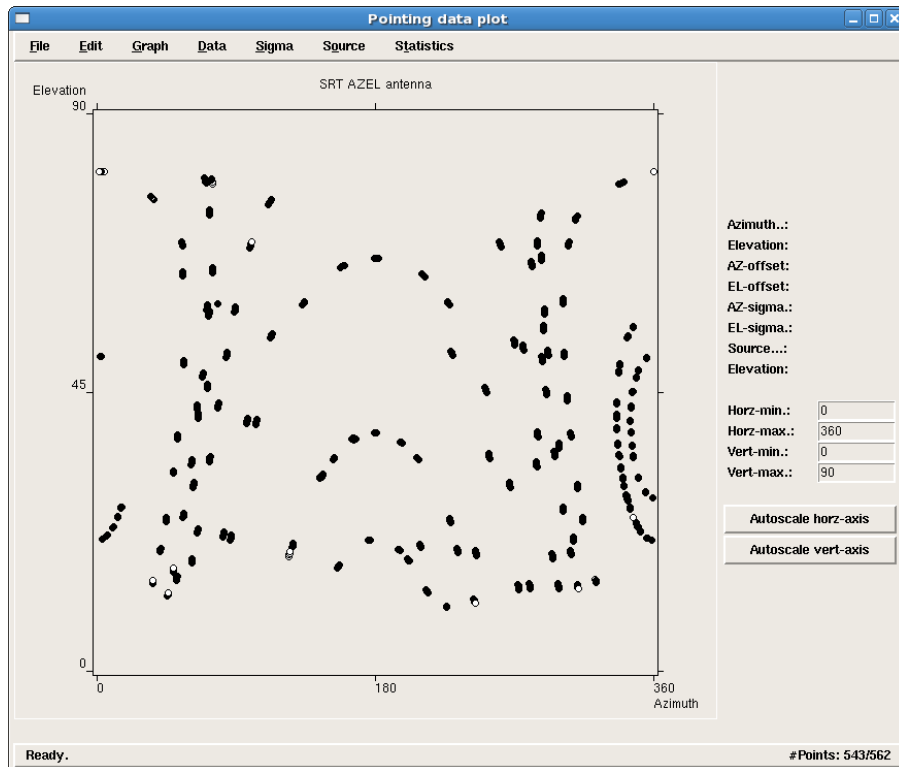


Figura 13 – Copertura del piano Az/El dei dati per ricavare il modello di puntamento per il ricevitore in banda K

Tabella 5 - Modello di puntamento per il ricevitore in banda K in fuoco gregoriano

Parameter	Explanation	Value
P1	Azimuth encoder offset	-2.2964186668
P2	Gravity effect on the RF axis projected on azimuth	Not used
P3	Axis skew	-0.0061030770
P4	Box Offset	-0.0035287447
P5	Tilt out (tilt of El=90° toward az/el=0°,0°)	0.0014408963
P6	Tilt over (tilt of El=90° toward az/el=90°,0°)	-0.0017973853
P7	Elevation encoder offset	0.0719125122
P8	Gravity effect on the RF axis projected on elevation	0.0925239921
P9	Elevation angle slope	Not used
P10	El*cosEl	Not used
P11	El*sinEl	0.0128885703
P12	Azimuth angle slope	Not used
P13	Az*cosAz	0.0006690503
P14	Az*sinAz	0.0000107827
P15	El*cos2Az	Not used

## 5.2 Curva di Fuoco

In base alle valutazioni riportate al paragrafo 4.2 si è controllato il fuoco anche per il ricevitore in gregoriano. La Figura 14 mostra il risultato, mettendolo a confronto con le misure di allineamento. Appare chiaro come, sotto l'elevazione di 35°, la curva descriva un flesso e la direzione di spostamento lungo l'asse Z cambi verso. Questo dato verrà ripreso nei paragrafi successivi dedicati all'allineamento delle ottiche e alle misure di efficienza: relativamente a tali verifiche, a partire dall'elevazione di 35/40°, si notano effetti non del tutto attesi.

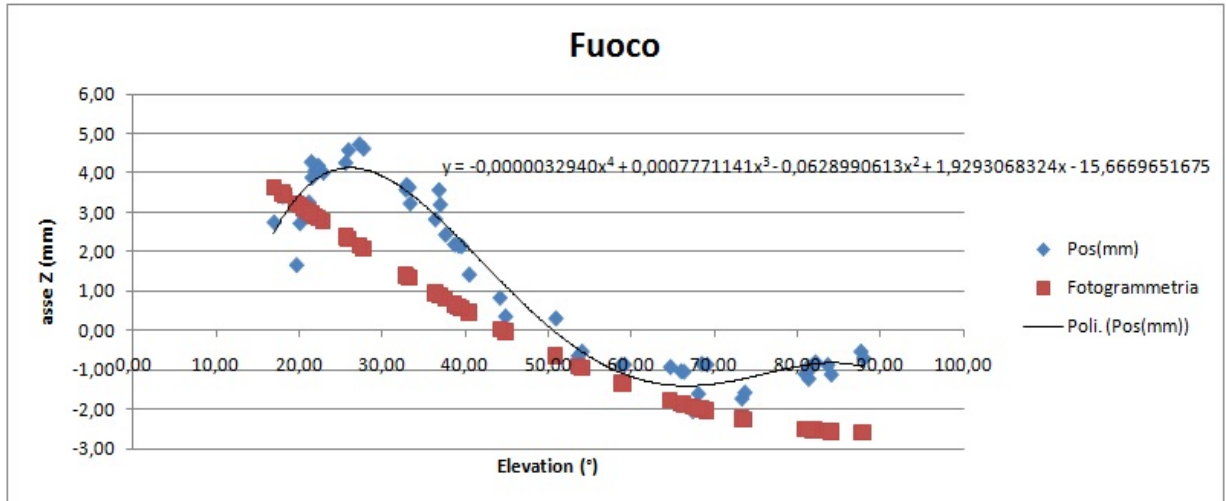


Figura 14 - Posizione del fuoco (Z) in funzione dell'elevazione, col ricevitore in gregoriano. I punti in blu rappresentano le misure, mentre i rossi tracciano il polinomio determinato dalle misure di fotogrammetria.

## 5.3 Efficienza

### 5.3.1 La curva di guadagno.

Con la stessa configurazione di scan utilizzata per il modello di puntamento si è calcolata la curva di guadagno nella banda 22-22.7 GHz, considerata di maggior interesse dal punto di vista radioastronomico. I target utilizzati sono riassunti in Tabella 6; la loro osservazione è stata intervallata con degli skydip per effettuare la correzione per l'opacità atmosferica. Poiché al momento non è possibile puntare il radiometro sulla stessa posizione osservata dall'antenna, solo gli skydip consentono, quando il cielo non è uniforme, di stimare il tau nella direzione desiderata.

Tabella 6 - Calibratori di ampiezza utilizzati per la misura di guadagno del ricevitore 7 GHz (ref. Baars et al)

Source	RA J2000	DEC J2000	Flux(Jy)
3c48	01:37:41.2971	+33:09:35.118	1.20565
3c147	05:42:36.1379	+49:51:07.234	1.76548
3c286	13:31:08.2881	+30:30:32.960	2.43299
ngc7027	21:07:01.593	+42:14:10.18	4.98812

Il calcolo dell'opacità atmosferica è stato svolto con la formula empirica (2), dove Dtsys è la differenza tra le Tsys misurate a 30° e 90° di elevazione e T<sub>atm</sub> è la

temperatura atmosferica di riferimento (calcolata come  $T_{ground} - 32$  K, tipicamente  $T_{atm}=250$ K).

$$\tau_0 = \ln \left( \frac{2}{1 + \sqrt{1 - 4(D_{tsys}/T_{atm})}} \right) \quad (2)$$

Ogni punto misurato sul calibratore è sempre stato preceduto da un controllo sul puntamento e sul fuoco.

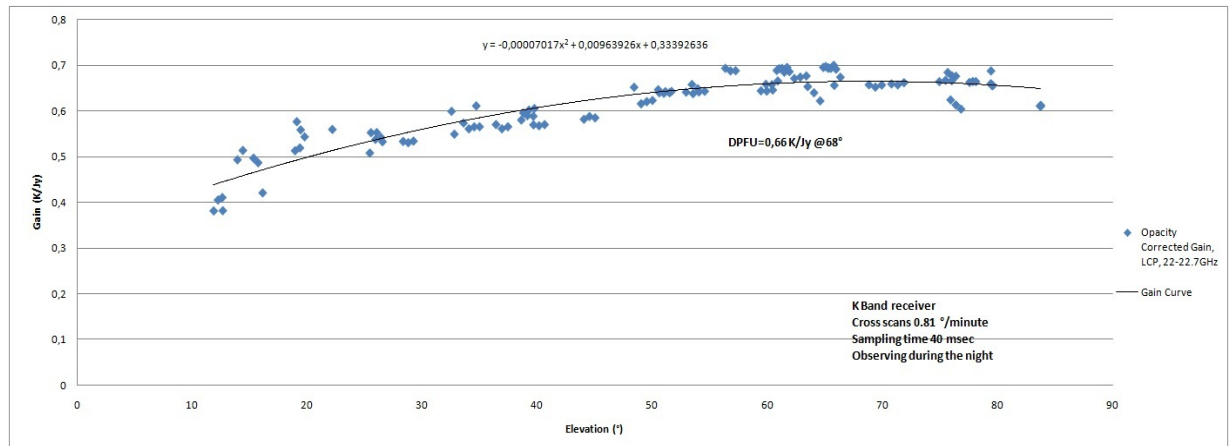


Figura 15 - Curva di guadagno in LCP nella banda 22.0-22.7 GHz, il DPFU risulta essere 0.66 K/Jy. Curva compensata per opacità atmosferica.

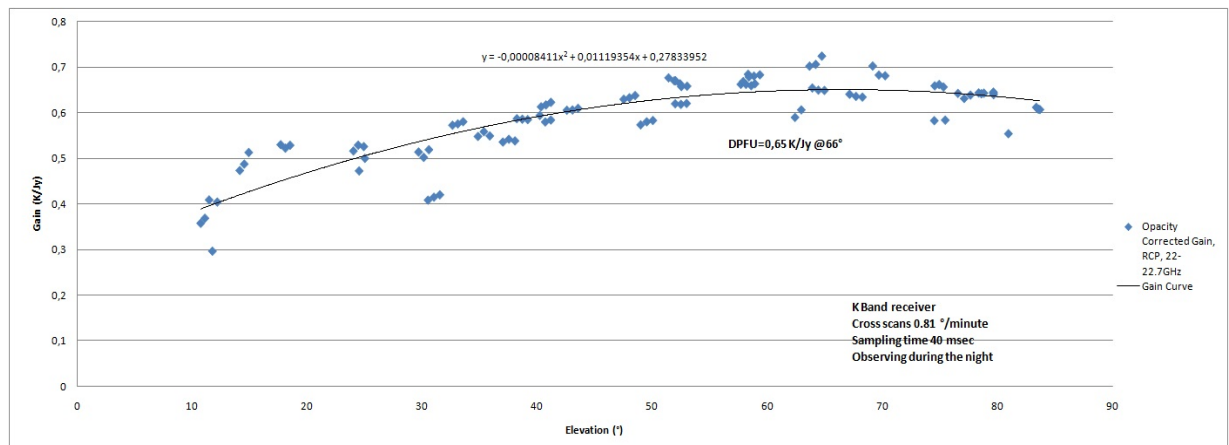


Figura 16 - Curva di guadagno in RCP nella banda 22.0-22.7 GHz, il DPFU risulta essere 0.65 K/Jy. Curva compensata per opacità atmosferica.

### 5.3.2 Considerazioni sull'efficienza

Alla frequenza in esame l'efficienza d'antenna è circa 72.6%. La fotogrammetria ha realizzato una superficie con un RMS, per tutte le elevazioni, di 250  $\mu$ m per M1 e 60  $\mu$ m per M2. Con la formula di Ruze si ricava un'efficienza di superficie di 0.98 che porta ad una stima del guadagno di 0.66 K/Jy, costante su tutto il range di elevazione (vedi Tabella 7). In termini assoluti, quest'ultimo valore si può considerare perfettamente in linea con i DPFU misurati in entrambe le polarizzazioni. In contrasto con quanto atteso, tuttavia, si evidenzia una perdita di efficienza del telescopio via via più marcata per elevazioni inferiori ai 45°. Ulteriore elemento da evidenziare è che il massimo di efficienza si è trovato in prossimità dei 65° di elevazione, ben distante dalla quota alla quale le ottiche erano state allineate meccanicamente.



Tabella 7 - Guadagno d'antenna stimato a 22 GHz (0.66K/Jy). L'efficienza di superficie è calcolata con la formula di Ruze a partire dal rms della superficie stessa. Gli altri valori arrivano dai parametri d'antenna e del ricevitore.

K	1.38066e-23	Ag(m)	3216.990877
D	64	$10^{26} \text{Ag}/2k =$	1.165020909
Efficienza antenna(%) @22 GHz	72.6		
feed ret. loss	0.999		
feed ins. loss	0.92		
blockage	0.88		

Elevazione	Surface	Efficienza(%)	Gain(K/Jy)
15	0.98	57.50	0.66
20	0.98	57.50	0.66
25	0.98	57.50	0.66
30	0.98	57.50	0.66
35	0.98	57.50	0.66
40	0.98	57.50	0.66
45	0.98	57.50	0.66
50	0.98	57.50	0.66
55	0.98	57.50	0.66
60	0.98	57.50	0.66
65	0.98	57.50	0.66
70	0.98	57.50	0.66
75	0.98	57.50	0.66
80	0.98	57.50	0.66
85	0.98	57.50	0.66
90	0.98	57.50	0.66

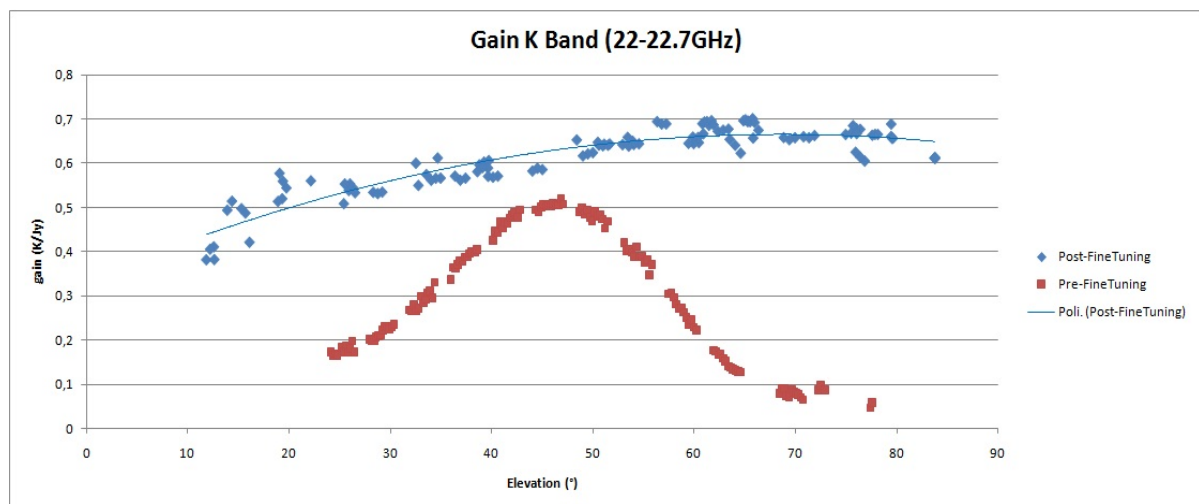


Figura 17 - Raffronto tra il guadagno pre (rosso) e post (blu) fine tuning nella banda 22 GHz.

Questa mancanza di efficienza alle basse elevazioni può avere diverse origini. Un fattore che certamente contribuisce e che si evidenzia in banda K ma non in banda C, è l'allineamento ottico, probabilmente non ancora ottimale per tutte le elevazioni (vedi paragrafo 5.4).

Sebbene vi siano problemi aperti è bene evidenziare come l'attività di "fine tuning" abbia portato enorme beneficio alle prestazioni di SRT in banda K. La Figura 17 chiarisce questo aspetto, mettendo direttamente a confronto la curva di guadagno ottenuta in epoca "prima luce" con quella attuale.

## 5.4 Allineamento delle Ottiche

### 5.4.1 Dimensione del beam a mezza potenza e beam pattern

Anche in questo caso, contestualmente alle acquisizioni per ricavare le curve di guadagno, è stata misurata la larghezza del fascio d'antenna nelle due direzioni di scansione (azimuth ed elevazione) e controllata la presenza di eventuali deformazioni al variare dell'elevazione. Le Figure 18 e 19 mostrano il FWHM misurato nei due casi. Lungo la direzione est/ovest non si sono notate particolari deformazioni lungo tutto il range di elevazione, il valore è di circa 0.805' (48"). Nel caso nord/sud, invece, al di sotto dei 30/35° di elevazione si apprezza una piccola deformazione del beam, il quale tuttavia rimane costante attorno ai 0.805' (48") a tutte le altre elevazioni.

Risultati analoghi si sono ottenuti acquisendo mappe su una sorgente puntiforme (3c345) in tre range di elevazione (basso, intermedio ed alto) al fine di monitorare come il beam pattern cambia al variare dell'elevazione. Le tre mappe sono riportate nelle Figure 20, 21 e 22. Per ciascuna viene anche fornita la dimensione del beam, risultato di un'interpolazione gaussiana in due dimensioni del lobo principale, nonché l'ampiezza del lobo secondario, come percentuale rispetto a quello primario. Dall'analisi delle tre mappe si ricava che:

- in direzione E/W il beamsize rimane pressochè costante, come in Figura 18;
- in direzione N/S, a partire dalle elevazioni intermedie, esso inizia a deformarsi come in Figura 19. La deformazione risulta molto evidente alle basse elevazioni;
- alle alte elevazioni il lobo risulta simmetrico e non si notano aberrazioni significative nemmeno a livello di lobo secondario. Al diminuire dell'elevazione le aberrazioni ottiche risultano evidenti.

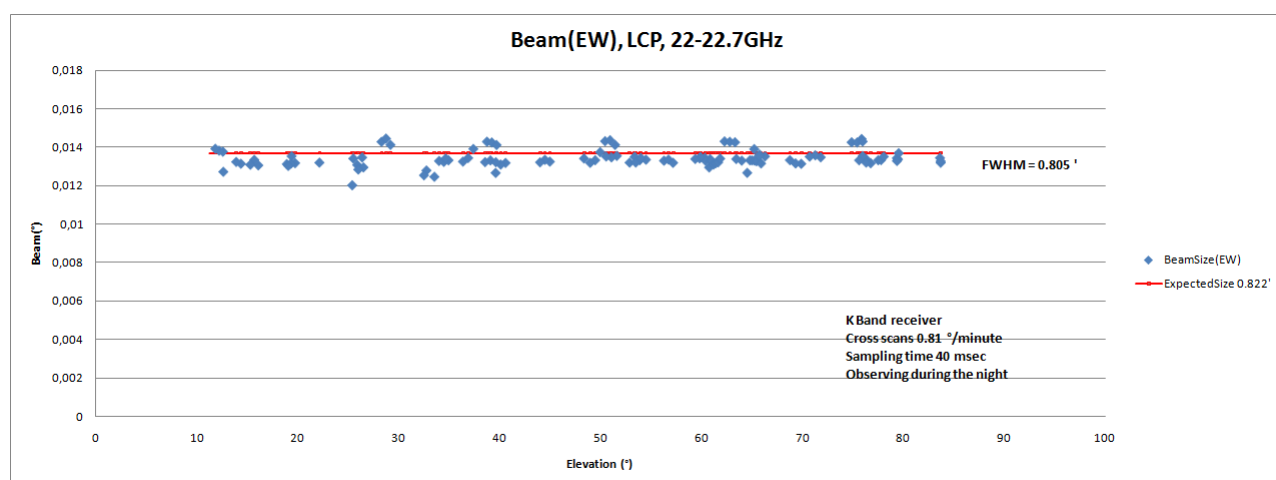


Figura 18 – La dimensione del beam nella direzione est-ovest, in ascissa l'elevazione del telescopio.

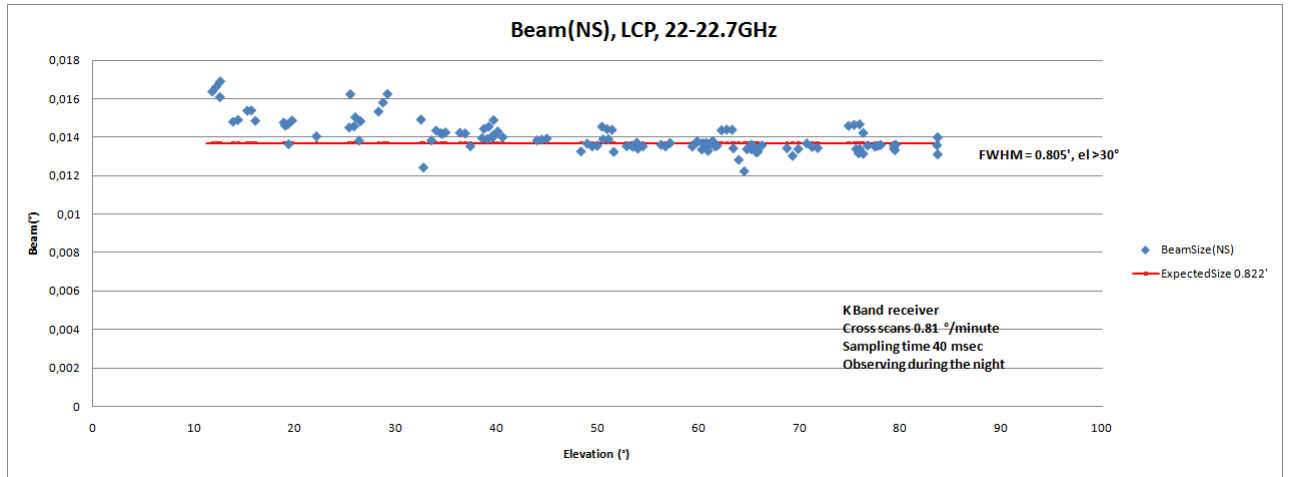


Figura 19 – La dimensione del beam nella direzione nord-sud, in ascissa l'elevazione del telescopio.

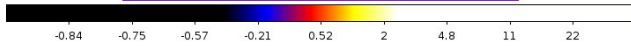
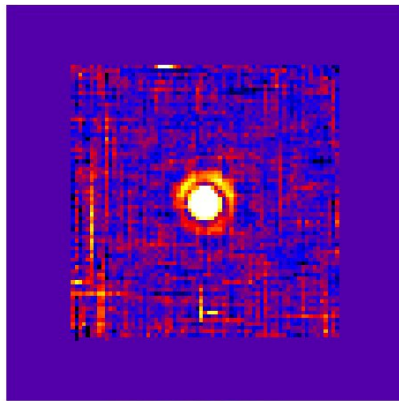


Figura 20 - Mappa di 3c345 a 22GHz in coordinate altazimutali, acquisizioni tra 63 e 79 gradi di elevazione. Map making con SDI (Pellizzoni et al).

**3C345 HOR map (63-79 deg elevation)**

pixelsize= 0.2 arcmin

BWHM (2D gaussian fit):

az.: 48 +/- 3 arcmin

el.: 50 +/- 3 arcmin

1st lobe vs. main beam peak: 1%-4%

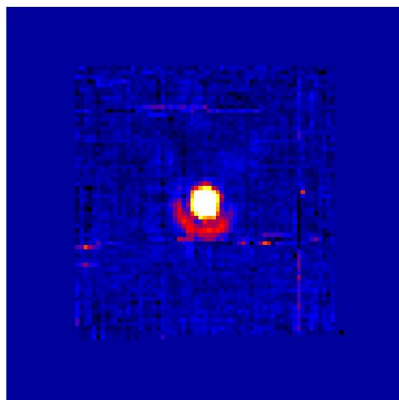


Figura 21 - Mappa di 3c345 a 22GHz in coordinate altazimutali, acquisizioni tra 33 e 46 gradi di elevazione. Map making con SDI (Pellizzoni et al).

**3C345 HOR map (33-46 deg elevation)**

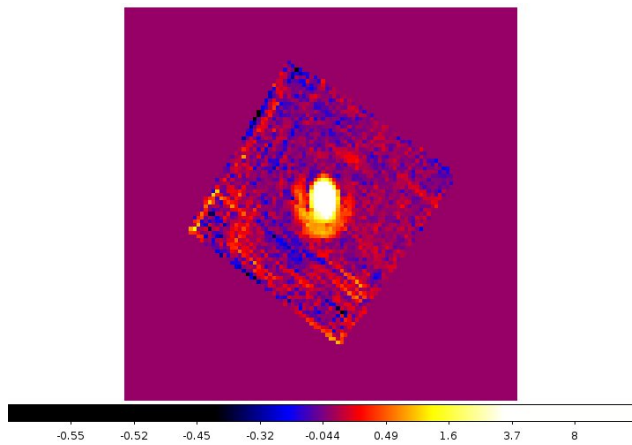
pixelsize= 0.2 arcmin

BWHM (2D gaussian fit):

az.: 43 +/- 3 arcmin

el.: 51 +/- 3 arcmin

1st lobe vs. main beam peak: 1.5%-6%



3C345 HOR map (17-26 deg elevation)

pixelsize= 0.2 arcmin

BWHM (2D gaussian fit):

az.: 46 +/- 3 arcmin

el.: 70 +/- 3 arcmin

1st lobe vs. main beam peak: <2%-5%

Figura 22 - Mappa di 3c345 a 22GHz in coordinate altazimutali, acquisizioni tra 17 e 26 gradi di elevazione. Map making con SDI (Pellizzoni et al).

### 5.4.2 Considerazioni

L'introduzione delle ottiche attive e della compensazione del subriflettore per gli effetti di gravità ha migliorato in modo evidente il comportamento ottico del radiotelescopio anche per il ricevitore in fuoco gregoriano. La Figura 23, dove viene confrontata la deformazione del beam al variare dell'elevazione nei due casi, post e pre "fine tuning", indica come le deformazioni subite dal beam lontano dall'elevazione di allineamento meccanico siano quasi del tutto sparite. La stessa indicazione si ottiene facilmente confrontando la mappa ad alta elevazione di Figura 20 con quella di Figura 24, ottenuta con la stessa configurazione usata prima del "fine tuning".

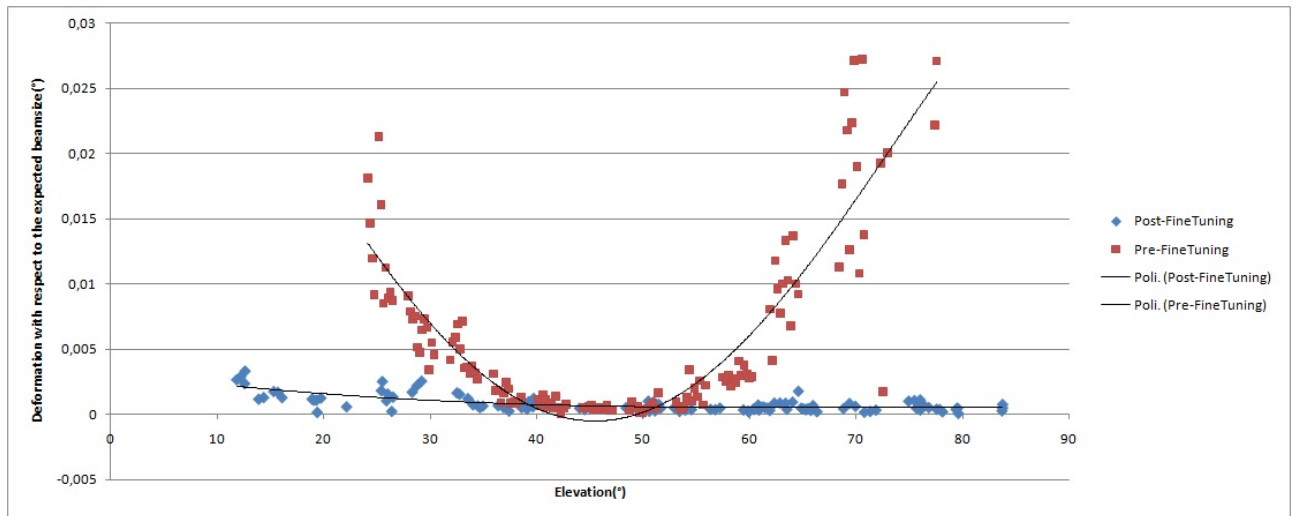


Figura 23 - Deformazione del beam a 22 GHz, confronto tra la configurazione all'epoca della prima luce (rosso) e le misure realizzate post "fine tuning" (blu). La deformazione è calcolata secondo la (1) rispetto al beam size "teorico".

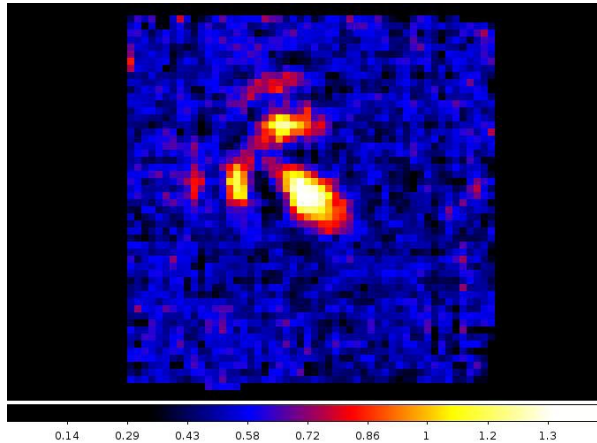


Figura 24 – Mapa di 3c295 a 22 GHz, acquisita ad alte elevazioni con superficie attiva e subriflettore allineati meccanicamente a 45°. Map making con SDI (Pellizzoni et al).

Nel caso del ricevitore in banda K rimangono, tuttavia, dei problemi “aperti”; gli elementi finora evidenziati si possono riassumere in tre punti:

- Sotto l’elevazione di 35°, la curva di fuoco (vedi Figura 14) descrive un flesso e lo spostamento cambia verso lungo l’asse Z. Indicando forse che con il movimento di focusing si cerchi di compensare qualche altro problema nelle ottiche.
- Il picco di guadagno (DPFU) è allineato con i valori attesi, tuttavia il picco stesso si trova attorno ai 65° di elevazione, mentre sotto i 45° si riscontra una perdita di efficienza sempre più marcata man mano che si scende in elevazione;
- Il beam si deforma scendendo verso l’orizzonte (quasi esclusivamente in direzione dell’asse di elevazione) evidenziando astigmatismo e coma. Alle alte elevazioni non si notano aberrazioni significative.

Tutti questi elementi sembrano concordi e probabilmente descrivono lo stesso comportamento del telescopio: si può concludere che il processo di “fine tuning” ha prodotto un buon allineamento delle ottiche ad alte elevazioni, mentre scendendo ci sono una o più componenti (apprezzabili in banda K, ma non in banda C) che impediscono la perfetta efficienza di SRT.

Al momento è impossibile dare spiegazioni in proposito, tuttavia è possibile indicare qualche ipotesi sulle quali lavorare in futuro:

- Sugli allineamenti di M1 e di M1 con M2, fatti da MTM, alle elevazioni di 15° e 30°.
- Sulla caratterizzazione di M2 e delle deformazioni a cui è soggetto su tutto il range di elevazione onde accertarsi se sono tali da poter giustificare gli effetti appena descritti. Ad oggi, infatti, l’unica misura si riferisce ai 45° (rms 60 um).