

Febbraio-Marzo 2014

*GUADAGNO D'ANTENNA E TEMPERATURA DI SISTEMA DEL DUAL FEED 18-26GHz DI MEDICINA*

A. Orfei (INAF-IRA), A. Orlati (INAF-IRA), S. Righini (INAF-IRA), J. Roda (INAF-IRA), M. Bartolini (INAF-IRA)  
R. Nesti (INAF-OAA), D. Panella (INAF-OAA), P. Bolli (INAF-OAA)

RAPPORTO INTERNO IRA 481/2014

## INTRODUZIONE

I giorni 10, 11, 12 dicembre 2013 sono state effettuate misure di guadagno e temperatura di sistema dell'horn 0 del dualfeed banda K di Medicina.

In questo rapporto si vogliono confrontare i valori misurati in cielo e quelli ottenibili da calcoli che coinvolgono simulazioni elettromagnetiche dell'illuminazione d'antenna, perdite di guadagno dovute a tutti i fattori e misure di temperatura di rumore del ricevitore.

## 1. GUADAGNO D'ANTENNA TEORICO

Il guadagno d'antenna teorico si determina dalla conoscenza di:

- illuminazione complessiva d'antenna
- perdite per superficie
- perdite del feed system
- return loss del feed system

Le fonti a cui si fa riferimento sono:

- simulazioni dell'illuminazione dell'horn [1]
- valori di perdita di bloccaggio [2]
- perdite per superficie (misure di deformazione per gravità della struttura di sostegno dello specchio primario, risalenti al 1989)
- misure in laboratorio di insertion e return loss della catena feed system;

Nelle tabelle 1.1 e 1.2 vengono riassunti i parametri anzidetti,

*Dualfeed illumina Medicina, risultati simulazioni da progetto Nesti*

Efficiencies (%)	18GHz		22GHz		26GHz	
	on-axis	off-axis	on-axis	off-axis	on-axis	off-axis
illuminazione	93.3	92.5	85.6	83.8	66.9	64.6
spill-over	79.5	78.8	87.2	86.6	81.1	81.0
<i>spill_secondario</i>	80.9	80.2	88.6	88.0	82.6	82.5
<i>spill_primario</i>	98.3	98.3	98.4	98.5	98.2	98.2
blockage (secondary)	97.5	97.5	97.3	97.2	96.9	96.9
blockage (struts)	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
surface	75.0	75.0	65.8	65.8	56.3	56.3
crosspol*diff*loss	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
overall	50.0	49.1	44.0	42.8	27.3	26.3
feed system ins. loss	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
<b>feed system ret. loss</b>	<b>99.0</b>	<b>99.0</b>	<b>99.0</b>	<b>99.0</b>	<b>99.0</b>	<b>99.0 ?!</b>
TOTAL eff. (%)	45.5	44.7	40.1	39.0	24.8	24.0
TOTAL Gain (K/Jy)	0.132	0.130	0.116	0.113	0.072	0.069

Tab. 1.1 Illuminazione e perdite

Il motivo di marcare in rosso e con ?! la riga 'feed system return loss' verrà chiarito alla fine del capitolo 5, dopo il confronto tra valori teorici e misurati.

Ai fini della discussione che si farà nel capitolo 5 si rimarca qui che la simulazione [1] considera un'ottica che prevede un horn in asse e posizionato sul fuoco secondario col suo centro di fase e l'horn off-axis distante lateralmente 180mm dal fuoco secondario (fig. 1.1).

Lo spillover è stato anche valutato in termini di spillover del subriflettore e dello specchio primario, valori che serviranno per valutare i contributi di temperatura di rumore dell'atmosfera e del terreno. Il valore di perdita di *surface* qui riportato è a  $EI=45^\circ$ , nella tabella 1.2 sono mostrati i valori a tutte le elevazioni necessarie.

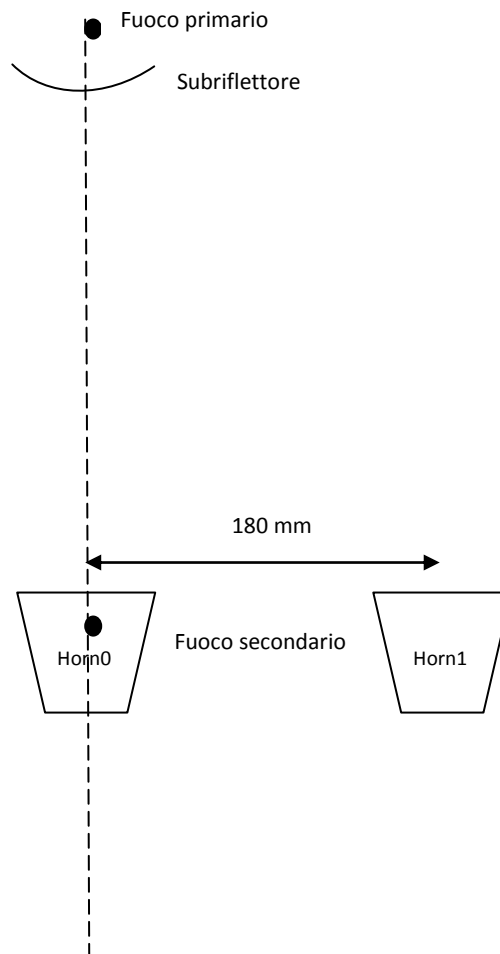


Fig. 1.1 Geometria del dual feed centrata con l'ottica d'antenna

Elevazione (gradi)	ANTENNA	
	rms best fit (mm)	rms totale (mm)
90	0.58	0.91
60	0.19	0.72
45	0.00	0.70
30	0.25	0.74
20	0.40	0.80

Tab. 1.2 Perdite per superficie

Nella seconda colonna di Tab. 1.2 vengono riportati i risultati delle misure del 1989, nella terza sono stati aggiunti i contributi dovuti a rms subriflettore, rms pannelli dello specchio primario, rms allineamento pannelli. I valori rms di superficie adottati per questi tre contributi sono riportati in tabella 1.3,

Componente	rms (mm)
Subriflettore	0.35
Pannelli primario	0.57
Allineamento pannelli	0.2

Tab. 1.3 Parametri di superficie di tre componenti fondamentali

Sempre dal progetto elettromagnetico [1] si conoscono anche i valori di taper ai bordi del subriflettore (@ 9.4°) e di conseguenza anche le dimensioni dei beam principali alle varie frequenze. L'ottica di Medicina definisce poi anche la separazione in cielo dei due beam dati dagli horn affiancati (d').

$\lambda$ cm	f GHz	Taper dB	HPBW arcmin	d' arcmin
1,67	18	-7,1	2,0	6,4
1,36	22	-12,6	1,7	6,4
1,15	26	-18,9	1,6	6,4

Tab. 1.4 Taper e beam dei due horn

Utilizzando i valori della terza colonna della Tab. 1.2 e la classica formula gaussiana per le perdite di efficienza dovute a *surface in funzione dell'elevazione*, si ottiene il grafico di Fig. 1.2, mentre dalla tabella 1.1 il valore *overall* depurato dalle perdite di *surface* fornisce il valore di guadagno di antenna 'al netto delle perdite per surface', supposto costante con l'elevazione (Fig. 1.3). Da questo grafico si rileva come l'horn non è progettato per illuminare bene a 26 GHz, crollando il guadagno rispetto alle frequenze di 18 e 22 GHz (taper = -18.9 dB). Difatti gli horn usati in questo dual-feed sono quelli prodotti nel progetto Radionet-FP5 chiamato Faraday, che appunto aveva come frequenza max di lavoro 25 GHz.

Il prodotto dei due grafici fornisce finalmente l'andamento in elevazione del guadagno d'antenna teorico (Fig. 1.4).

Da ultimo si ricorda che questi andamenti presuppongono il subriflettore fisso a  $EL=45^\circ$ , perciò non considerano l'effetto di recupero della perdita di guadagno quando il subriflettore ottimizza la sua posizione ad ogni elevazione, che è ciò che è stato invece fatto nelle misure.

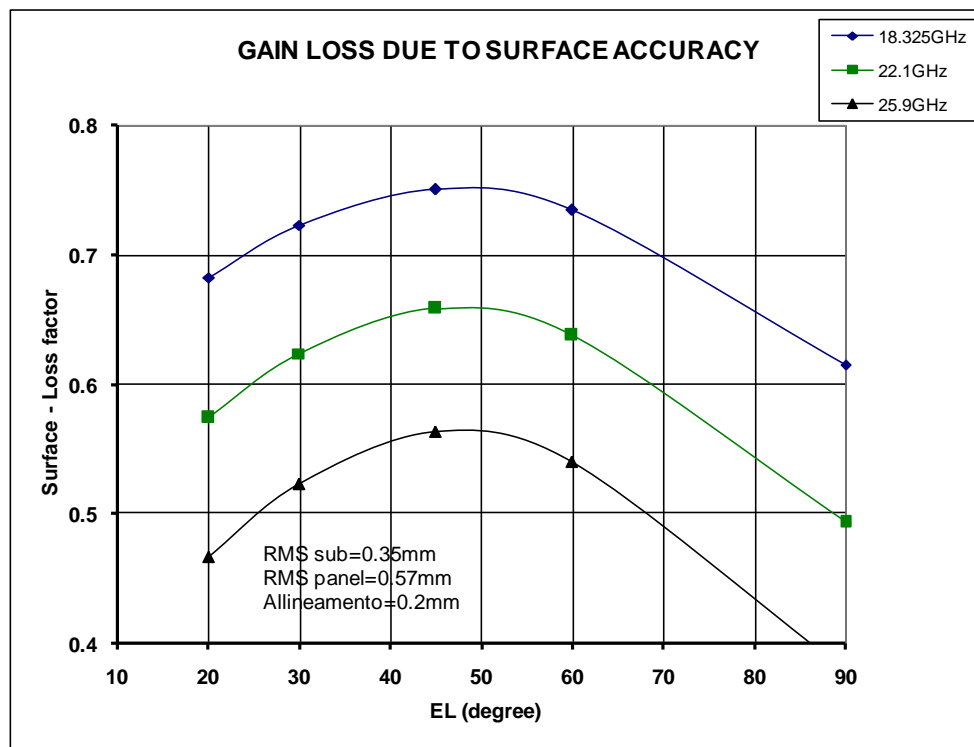


Fig. 1.2 Fattore di perdita di guadagno d'antenna per 'surface'

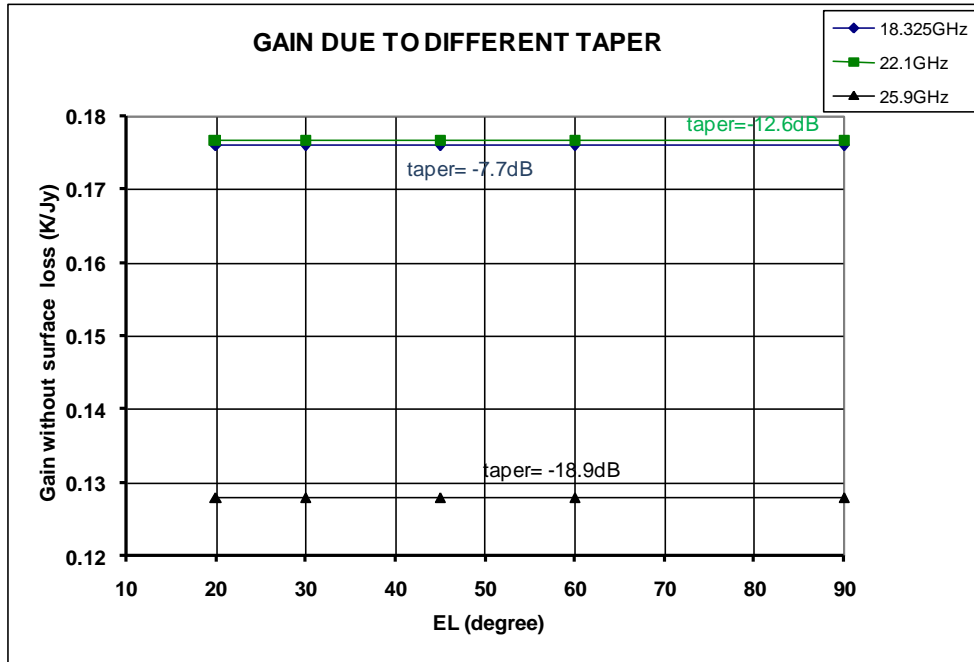


Fig. 1.3 Guadagno d'antenna teorico senza l'effetto di 'surface'

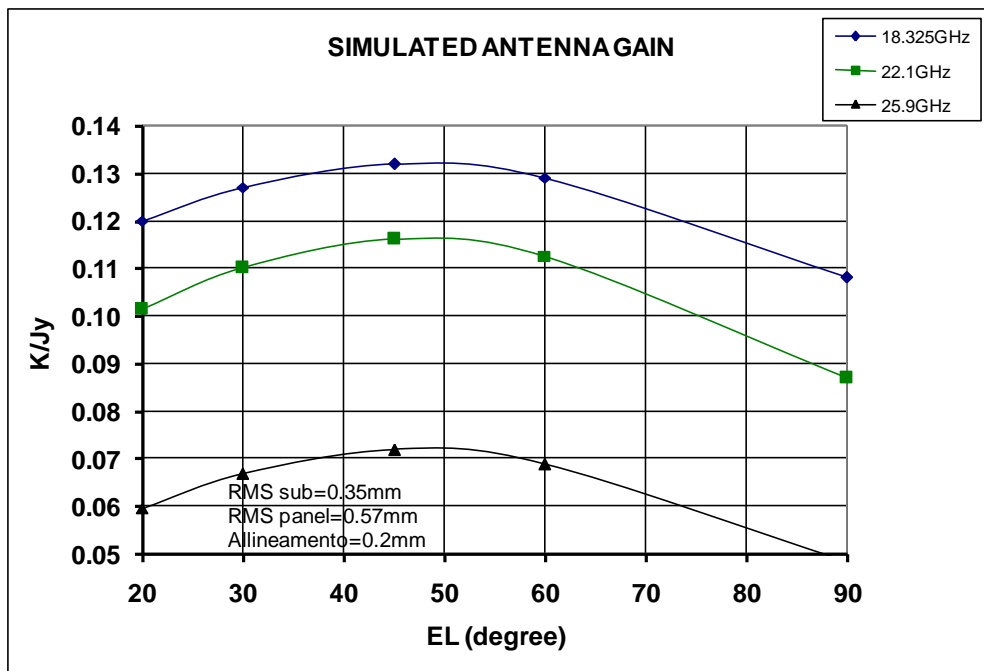


Fig. 1.4 Guadagno d'antenna teorico

## 2. TEMPERATURA DI SISTEMA TEORICA

La temperatura di sistema teorica si determina dalla conoscenza di:

- a. temperatura di rumore del ricevitore
- b. spillover sulla brillantezza dell'atmosfera
- c. spillover del terreno
- d. altre cause

Le fonti a cui si fa riferimento sono:

- misure di rumore e marca del ricevitore [3]
- calcoli sulla brillantezza del cielo [4]
- simulazioni dell'illuminazione [1]

Nelle tabelle che seguono vengono riportate le misure delle temperature di rumore del ricevitore dualfeed  $T_{rx}$  (con l'indicazione di quale LNA NRAO e di nostra produzione viene associato al relativo canale ricevente), le temperature di brillantezza  $T_b$  a varie elevazioni e i valori rilevanti dello spillover da subriflettore  $\eta_{sub}$  e specchio primario  $\eta_{prim}$ .

Da tutti questi valori verrà ricavata la temperatura di sistema teorica come,

$$T_{sys} = T_{rx} + T_b * (1 - \eta_{sub} + \eta_{spill}) + T_{ground} * \eta_{sub} * (1 - \eta_{prim}) \quad (1)$$

con  $T_{ground} = 290K$  e  $\eta_{spill} = \eta_{sub} * \eta_{prim}$

In realtà esiste una ulteriore, non voluta, causa di incremento di rumore, dovuta al contributo del telone di copertura della vertex room. Il valore va sommato alla formula precedente e vale **5K**, come determinato da misure in antenna fatte tempo addietro.

f	0L KM027	OR Home guida	1L KM022	1R KM026
GHz	K	K	K	K
18	31.4	36.3	26.2	31.1
19	23.2	24.4	22	21.4
20	20.2	26.2	21.6	18.6
21	20.3	25.9	20.1	17.4
22	20.7	21.4	19.1	17
23	21.4	20.8	20.5	16.5
24	22.9	20.8	20.7	18.6
25	24	21.5	22.3	17.9
26	28.7	36.2	28.1	20.7

Tab. 2.1 Trx, Temperature di rumore delle quattro catene riceventi

El	Tbrillanza (K)		
	18GHz	22GHz	26GHz
20	32	91	42
30	20	58	31
40	16	46	25
50	15	43	24
60	14	41	23
70	13	39	20
80	12	37	18
90	11	34	17

Tab. 2.2 Tb, Temperature di brillanza

	18GHz	22GHz	26GHz
$\eta_{sub} =$	0.809	0.886	0.826
$\eta_{spill} =$	0.795	0.872	0.811
$\eta_{prim} =$	0.983	0.984	0.982

Tab. 2.3 Parametri di spillover

La temperatura di spillover da terreno (il termine  $T_{ground} * \eta_{sub} * (1 - \eta_{prim})$  in (1)), supposta approssimativamente costante con l'elevazione, può dunque essere valutata intorno ai **4K**, praticamente costante con la frequenza. Infine, le tabelle 2.4 e 2.5 forniscono i calcoli della  $T_{sys}$  teorica per i canali 0L ed 0R; le tabelle 2.6 e 2.7 i valori per i canali 1L e 1R.

El	Tsys 0L (K)		
	18GHz	22GHz	26GHz
20	72	119	79
30	60	87	69
40	56	75	63
50	55	72	62
60	54	70	61
70	53	68	58
80	52	66	56
90	51	63	55

Tab. 2.4 Tsys teorica canale 0L

El	Tsys 0R (K)		
	18GHz	22GHz	26GHz
20	77	120	87
30	65	88	76
40	61	76	70
50	60	73	69
60	59	71	68
70	58	69	65
80	57	67	63
90	56	64	62

Tab. 2.5 Tsys teorica canale 0R



EI	Tsys 1L (K)		
	18GHz	22GHz	26GHz
20	67	118	79
30	55	85	68
40	51	74	62
50	50	71	61
60	49	69	60
70	48	67	57
80	47	65	55
90	46	62	54

Tab. 2.6 Tsys teorica canale 1L

EI	Tsys 1R (K)		
	18GHz	22GHz	26GHz
20	72	116	71
30	60	83	61
40	56	71	55
50	55	68	54
60	54	66	53
70	53	65	50
80	52	63	48
90	51	60	47

Tab. 2.7 Tsys teorica canale 1R

Riassumendo in un'unica tabella cosa ci si dovrebbe aspettare dalle misure con ottica centrata (fig. 1.1), la Tab. 2.8 riporta guadagno d'antenna e Tsys aspettate e da confrontare.

		OL	OR	1L	1R
18GHz	Gain max (K/Jy)	0.132	0.132	0.130	0.130
	Tsys (K) a 90°	51	56	46	51
22GHz	Gain max (K/Jy)	0.116	0.116	0.112	0.112
	Tsys (K) a 90°	63	64	62	60

Tab. 2.8 Sunto della stima delle prestazioni aspettate nel caso di ottica centrata

Naturalmente il CH1 ha leggermente minor guadagno d'antenna perché fuori asse (circa  $13\lambda$ ),  $-0.12\text{dB}$  a 22GHz e  $-0.08\text{dB}$  a 18GHz (circa  $11\lambda$  fuori asse): nella Tab. 1.1 si calcoli l'efficienza considerando i primi due termini.

### 3. MISURE DI GUADAGNO del 10-11-12 DICEMBRE 2013

Nei giorni indicati sono state effettuate misure di guadagno d'antenna puntando vari calibratori in modo da coprire tutte le elevazioni. I calibratori usati sono NGC7027, 3C123, 3C286, 3C48, 3C295. Le misure sono state prese solo col feed 0.

E' importante precisare che il montaggio del dual feed in vertex e la posizione del subriflettore non sono precisamente quelli ideali ipotizzati nei calcoli del capitolo 1 (ottica centrata). In realtà ci sono alcuni vincoli che cambiano la situazione, e precisamente:

- i. il centro di fase dell'horn dipende dalla frequenza.

I valori della posizione del centro di fase misurata a partire dalla bocca dell'horn, sono [5]

f[GHz]	D[mm]
18.000	-8.844
22.000	-28.706
26.000	-60.089

- ii. il dual feed, per ragioni meccaniche, non è montato in vertex con Horn0 sul fuoco, bensì distante 90mm lateralmente dall'asse (in direzione elevazione) e con la bocca a 295mm in direzione assiale dal fuoco secondario. La situazione è riassunta in Fig. 3.1,

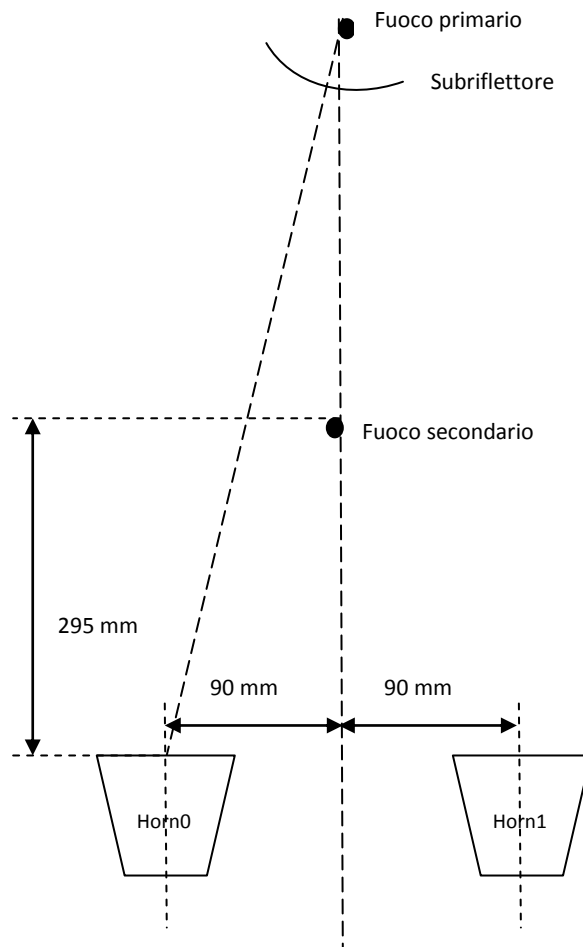


Fig. 3.1 Geometria del dual feed con l'ottica d'antenna

Simulazioni con GRASP di questa ottica pongono che il feed spostato e non tiltato verso il subriflettore determina una perdita di guadagno d'antenna rispetto alla situazione di fig. 1.1:

- a 18GHz perdita = -0.16dB (fattore 0.964)
- a 22GHz perdita = -0.07dB (fattore 0.984)
- a 26GHz perdita = -0.07dB (fattore 0.984)

Questi valori valgono purchè il subriflettore venga spostato in z a compensare i 295 mm di spostamento assiale [6,7]. Questo valore di spostamento, trovato sperimentalmente a 22GHz, è 4mm, a partire da una posizione del subriflettore che ottimizzava l'horn del multifeed banda K, in anni precedenti usato a Medicina, che venne montato col suo centro di fase coincidente col fuoco secondario. Dalla teoria lo spostamento del subriflettore rispetto alla sua posizione per feed posti sul di fuoco secondario dovrebbe essere 5.7mm. Nel caso in cui tale compensazione non venga fatta la perdita di guadagno sarebbe oltre 1dB!

Di ciò si tiene già conto nei polinomi di correzione del posizionamento del subriflettore in funzione dell'elevazione come riportati in tab. 3.2. Inoltre, lo spostamento assiale impostato del subriflettore va bene anche alle altre due frequenze 18 e 26GHz, in quanto il ricalcolo a queste frequenze porgerebbe spostamenti di 5.3mm (0.024 $\lambda$ ) e 6.2mm (0.037 $\lambda$ ) rispettivamente.

Per quanto riguarda l'Horn1 la simulazione diretta otterrebbe le seguenti riduzioni di guadagno (naturalmente l'Horn1 punta fuori sorgente, della quantità d' riportata in Tab. 1.4):

- a 18GHz perdita = -0.23dB (fattore 0.948)
- a 22GHz perdita = -0.15dB (fattore 0.966)
- a 26GHz perdita = -0.10dB (fattore 0.977)

Con queste aggiunte la tabella 2.8 va aggiornata come segue:

		<i>OL</i>	<i>OR</i>	<i>1L</i>	<i>1R</i>
18GHz	<i>Gain max (K/Jy)</i>	0.127	0.127	0.123	0.123
	<i>Tsys (K) a 90°</i>	51	56	46	51
22GHz	<i>Gain max (K/Jy)</i>	0.114	0.114	0.108	0.108
	<i>Tsys (K) a 90°</i>	63	64	62	60

Tab. 3.1 Sunto della stima delle prestazioni aspettate nel caso della nostra ottica

Il modello di puntamento è ottimizzato con dei residui rms in entrambi gli assi di 0.002° e il subriflettore insegue la curva di compensazione secondo le curve polinomiali di secondo grado di Tab. 3.2, in cui sono riportati i coefficienti, a cui corrispondono gli spostamenti di fig. 3.2.

mm	COEFFICIENTI DEI POLINOMI		
	$a_2$	$a_1$	$a_0$
X	0	0	15
Y	-0.0031	0.7393	-38.365
Z1	-0.0026	0.2194	-8.809
Z2	0.0097	-0.976	-32.203
Z3	-0.0035	0.0563	68.439

Tab. 3.2 Polinomi per il tracking del subriflettore

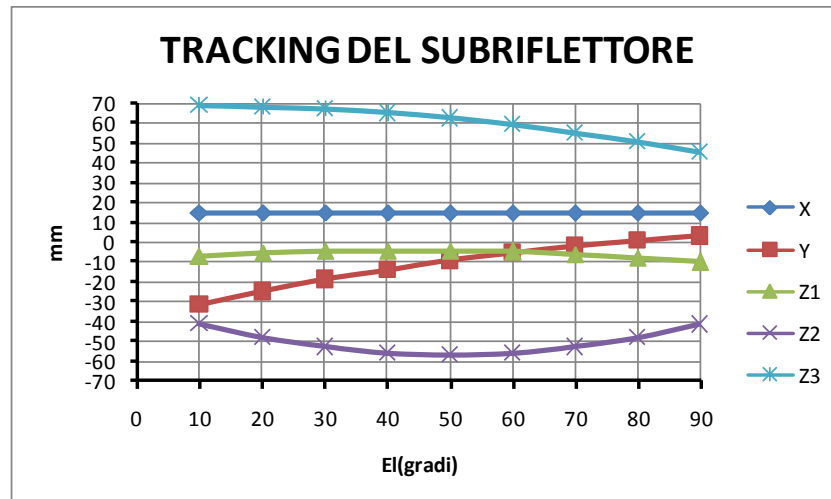


Fig. 3.2 Spostamenti degli assi del subriflettore

L'effetto complessivo che se ne deve ottenere è un consistente recupero dei valori di guadagno d'antenna alle basse e alte elevazioni. Queste curve comprendono già lo spostamento di 4mm prima citato.

Mentre le traslazioni X ed Y si spiegano da sé, è bene riportare, più che i movimenti dei tre assi Z, le rotazioni principali da essi indotte. Il grafico 3.3 che segue mostra appunto la rotazione attorno all'asse X (Rot X) e all'asse Y (Rot Y). Da segnalare il corposo, e anomalo, valore di Rot Y che è costretto a fare il subriflettore per poter recuperare il valore di guadagno; per quanto riguarda Rot X l'angolo di fig. 3.1 vale 0.5°.

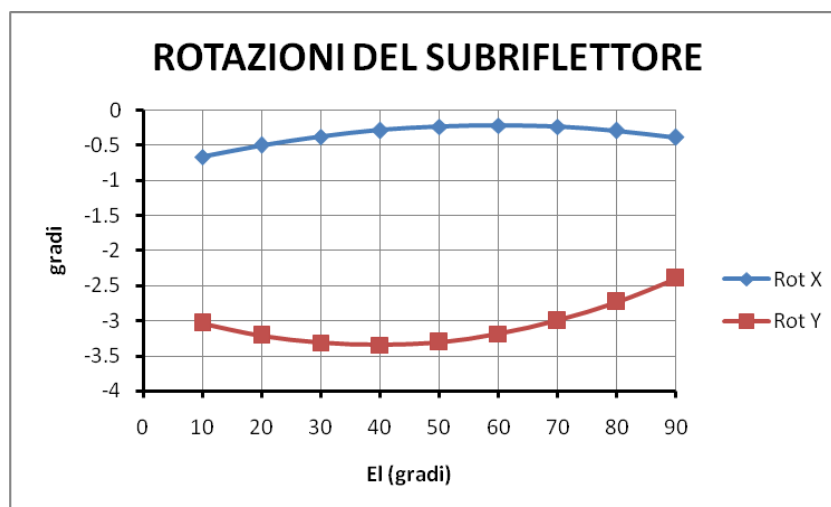


Fig. 3.3 Rotazioni del subriflettore

Durante le misure di guadagno sono state anche acquisite misure di  $\tau_0$ , per correggere il guadagno dall'attenuazione atmosferica, e di  $T_{sys}$ , in modo da valutare, considerando questa e guadagno d'antenna insieme, se i valori di marca scelti siano plausibili.

Le misure sono state fatte scegliendo due bande strette, 18.20-18.45 GHz ed 21.95-22.20 GHz. La prima banda è stata una seconda scelta dopo che la banda inizialmente preferita, perché più vicina all'estremo inferiore della banda K del ricevitore, 18-18.25 GHz, ha mostrato la presenza di alcune interferenze. La banda a 22 GHz, frequenza centrale del banda K, è invece la scelta tipica in questo genere di valutazioni.

Una questione delicata riveste la scelta delle marche da usare, infatti:

- 1) le misure di marca in laboratorio sono acquisizioni su una banda larga 400MHz
- 2) a queste acquisizioni discrete che campionano l'intera banda del ricevitore si associano dei punti e si costruisce una curva interpolante e poi la si applica di volta in volta alla banda dell'osservazione per calcolare la marca del caso, MA.....
- 3) .....ciò va bene e produce la necessaria stima della marca per bande d'osservazione maggiori di 400MHz, per la precisione MULTIPLE di 400 MHz
- 4) fare l'operazione di integrale della curva interpolante per bande inferiori a 400MHz (il discorso diventa ancor più farraginoso per bande che sono intermedie di multipli successivi di 400MHz) non ha senso perchè nulla sappiamo della forma della curva di  $T_{cal}$ . Per nostra decisione abbiamo definito che in quella banda la marca è COSTANTE e pari al valore misurato in lab. Pertanto,
- 5) l'operazione meno peggio che possiamo fare è usare tale valore, confidando che la misura in lab non sia troppo o così sbagliata da rendere insulsa la  $T_{sys}$  in quella banda cielo. Naturalmente l'entità dell'errore che così introduciamo è maggiore quanto più piccola è la sottobanda rispetto a 400 MHz e quanto più è pendente la curva di marca in funzione della frequenza. Notare inoltre che,
- 6) una marca molto o sufficientemente sbagliata influenza anche il calcolo di  $\tau_0$ , perchè la differenza  $T_{sys}(30)-T_{sys}(90)$  è proporzionale al valore di marca usato.

Nelle acquisizioni effettuate le marche usate sono le seguenti:

	Marca 18.20-18.45 GHz	Marca 21.95-22.20 GHz
OL	9.6 K	36.3 K
OR	9.5 K	33.0 K

Tab. 3.3 Valori nominali di marca usati nelle acquisizioni

Marche dei 4 ricevitori - powmet HP - atten 4dB misure del 17dic2012

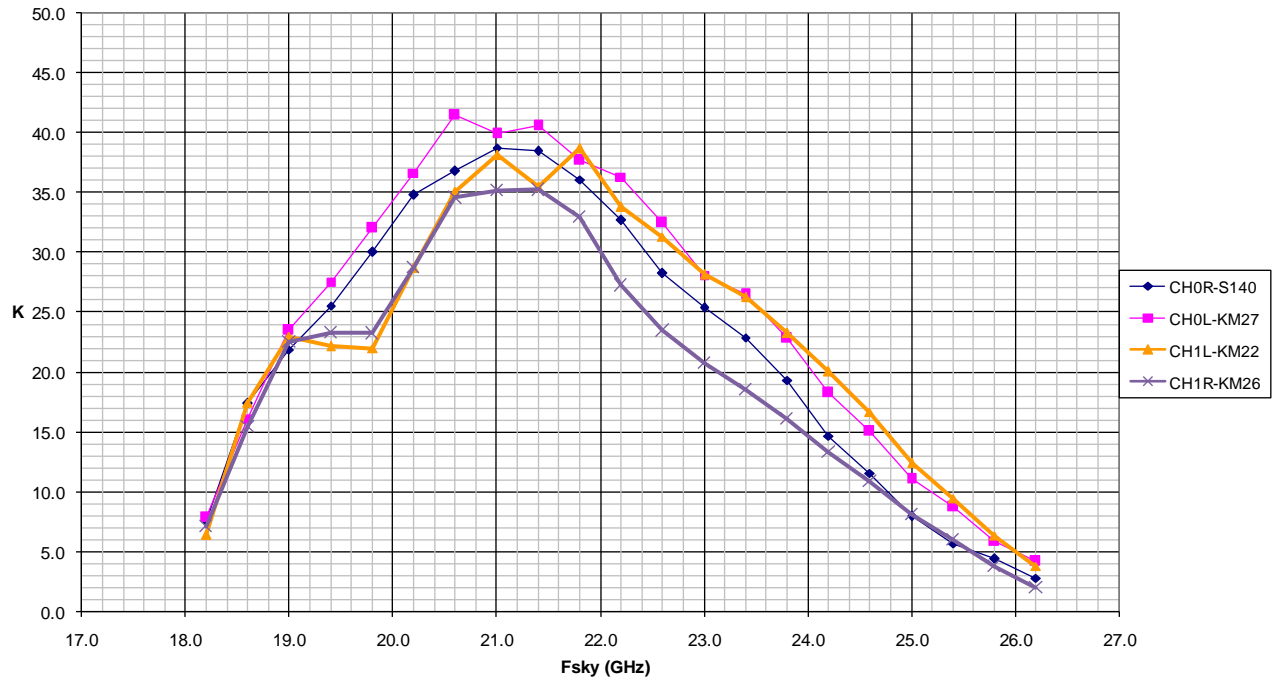


Fig. 3.4 andamenti delle marche su 0L, 0R, 1L, 1R

### 3.1 MISURE DI GUADAGNO A 18325 MHz

Nelle figure 3.1.1 e seguenti sono riportati gli andamenti dei guadagni d'antenna per OL ed OR, sia senza correzione per l'opacità atmosferica che con correzione. I grafici riportano insieme tutti i calibratori osservati. In ognuno di essi è inoltre mostrata la curva interpolante con relativo coefficiente di correlazione al quadrato:

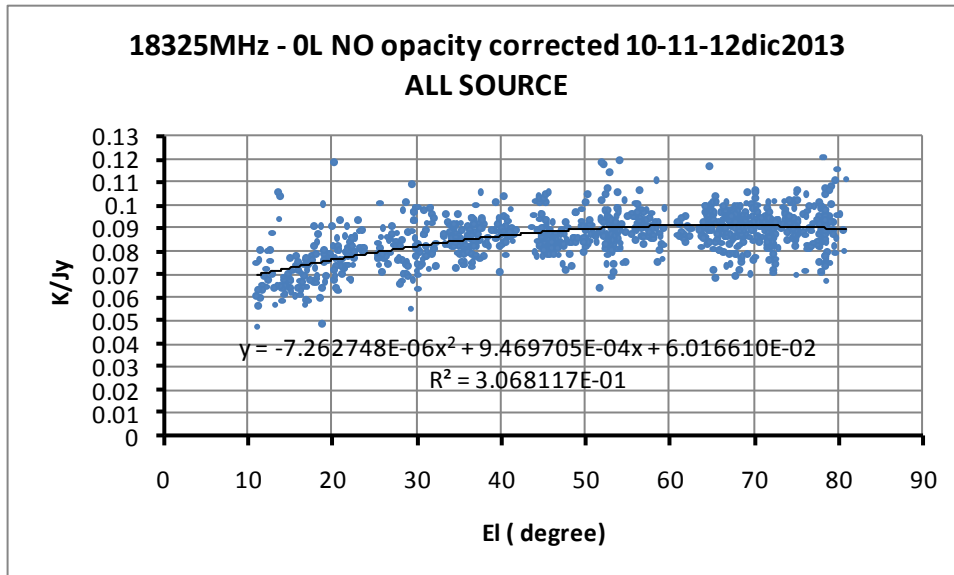


Fig. 3.1.1 OL – Non corretta per opacità

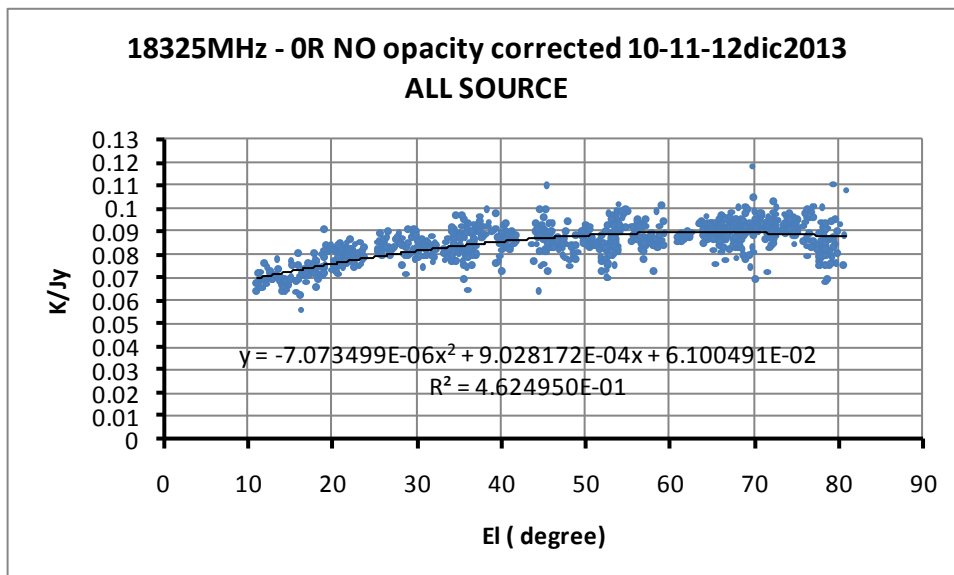


Fig. 3.1.2 OR – Non corretta per opacità

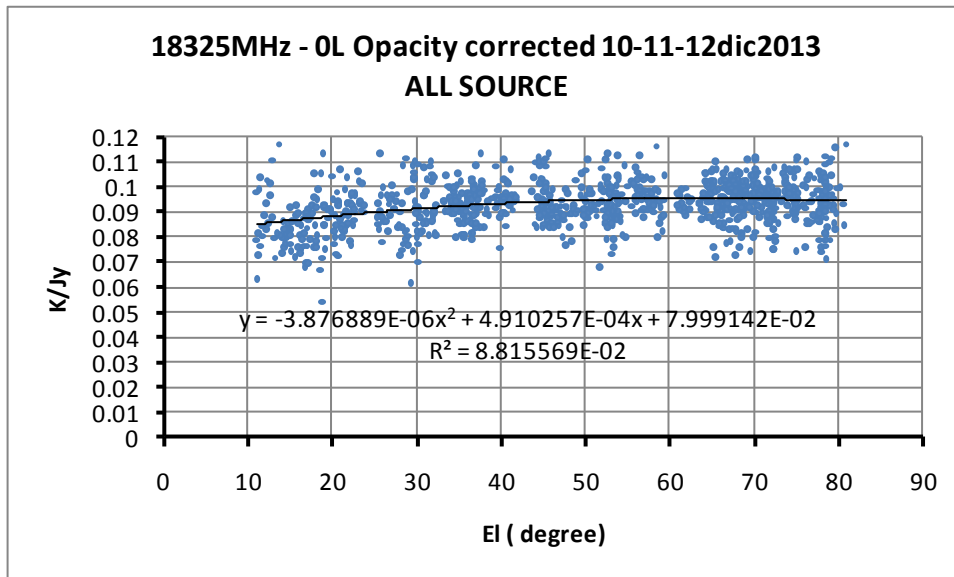


Fig. 3.1.3 OL – Corretta per opacità

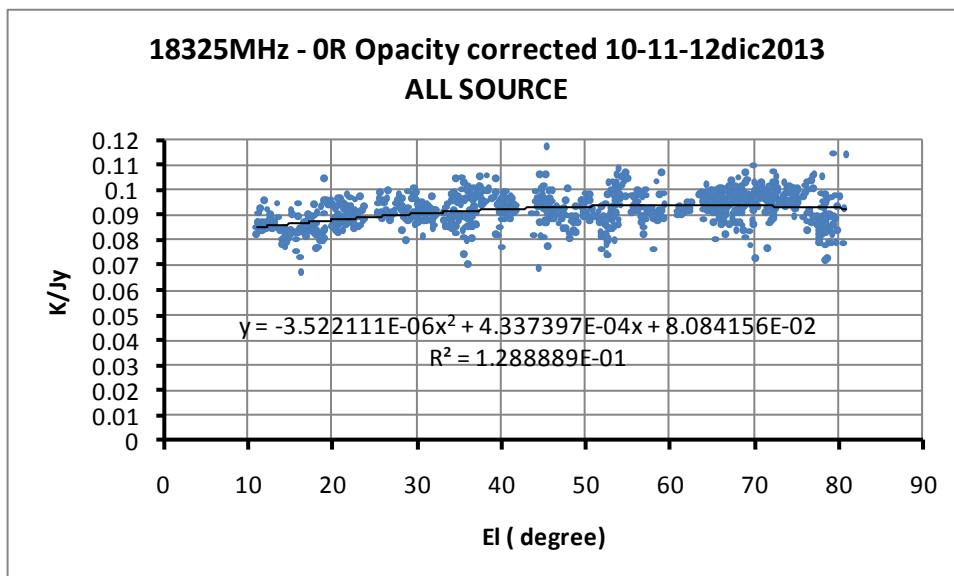


Fig. 3.1.4 OR – Corretta per opacità

Da notare come i dati sul canale OL siano più dispersi di quelli OR.  
L'opacità misurata nei tre giorni d'osservazione è risultata essere

$$\begin{aligned} \tau_0 &= 0.049 \pm 0.003, \text{ valutata con OL} \\ &= 0.047 \pm 0.003, \text{ valutata con OR} \end{aligned}$$

Col che la brillantezza del cielo vale circa 11K (si è assunto una  $T_{\text{atm}}=250\text{K}$ ), esattamente quanto previsto dai calcoli di Cortès [4] (vedi Tab. 2.2 a 18GHz,  $El=90$ ).

Sono stati graficati anche i guadagni nei quattro casi distinguendo i calibratori. I valori di picco nei quattro casi sono riportati nelle tabelle 3.1.1 e 3.1.2 seguenti,



Peak Gain	ALL	NGC7027	3C123	3C286	3C48	3C295
OL	0.09	0.087	0.09	0.092	0.09	0.09
OR	0.09	0.087	0.091	0.091	0.088	0.089

Tab. 3.1.1 Guadagni d'antenna NON corretti per opacità su tutte le sorgenti e separatamente per sorgente

Peak Gain	ALL	NGC7027	3C123	3C286	3C48	3C295
OL	0.095	0.091	0.095	0.098	0.095	0.095
OR	0.093	0.091	0.096	0.097	0.093	0.093

Tab. 3.1.2 Guadagni d'antenna corretti per opacità su tutte le sorgenti e separatamente per sorgente

Gli errori su ogni singola misura di guadagno rimangono sempre molto piccoli e uguali in tutti e quattro i casi a 0.003 K/Jy.

Per le considerazioni che si faranno in seguito ci interessano solo i guadagni corretti per l'opacità, che dunque possiamo così riassumere, prendendo una media dei valori di Tab. 3.1.2

**18.2-18.45GHz Peak Gain OL = 0.095 K/Jy**

**18.2-18.45GHz Peak Gain OR = 0.094 K/Jy**

### 3.2 MISURE DI GUADAGNO A 22075 MHz

Nelle figure 3.2.1 e seguenti sono riportati gli andamenti dei guadagni d'antenna per OL ed OR, sia senza correzione per l'opacità atmosferica che con correzione. I grafici riportano insieme tutti i calibratori osservati. In ognuno di essi è inoltre mostrata la curva interpolante con relativo coefficiente di correlazione al quadrato:

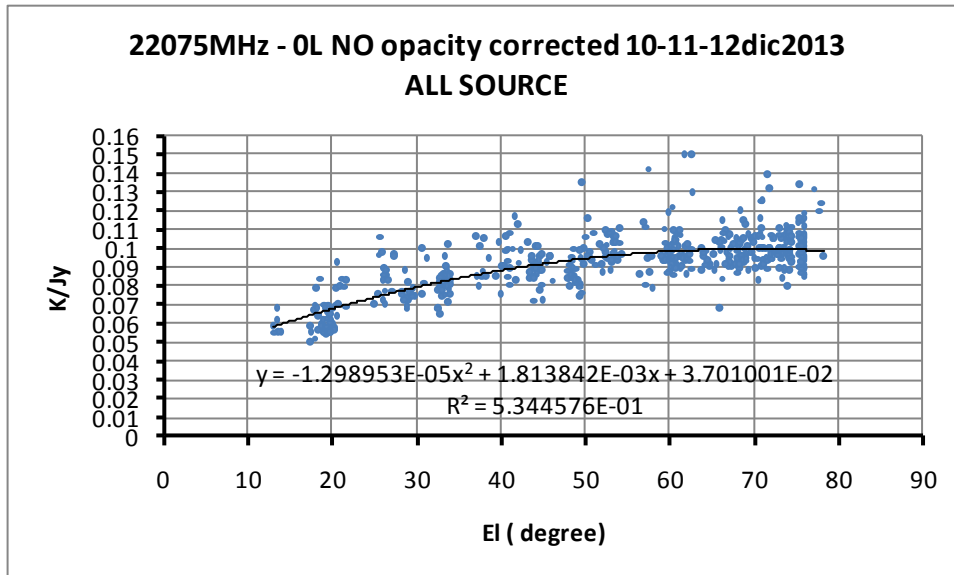


Fig. 3.2.1 OL – Non corretta per opacità

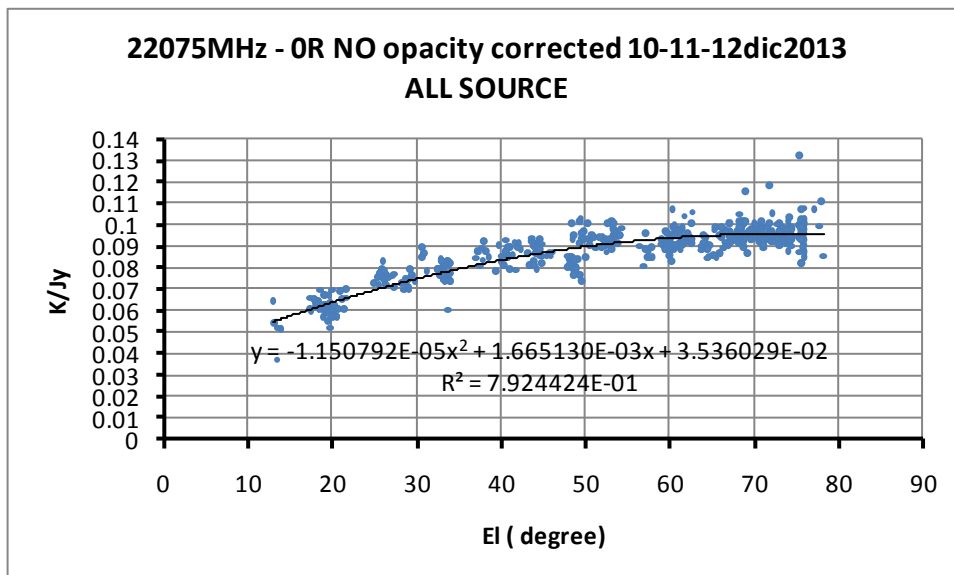


Fig. 3.2.2 OR – Non corretta per opacità

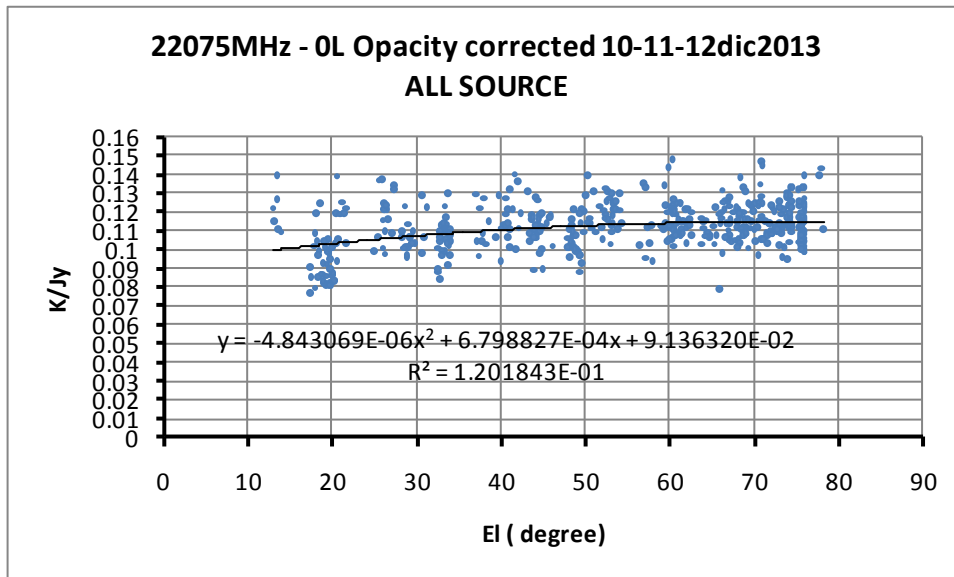


Fig. 3.2.3 0L – Corretta per opacità

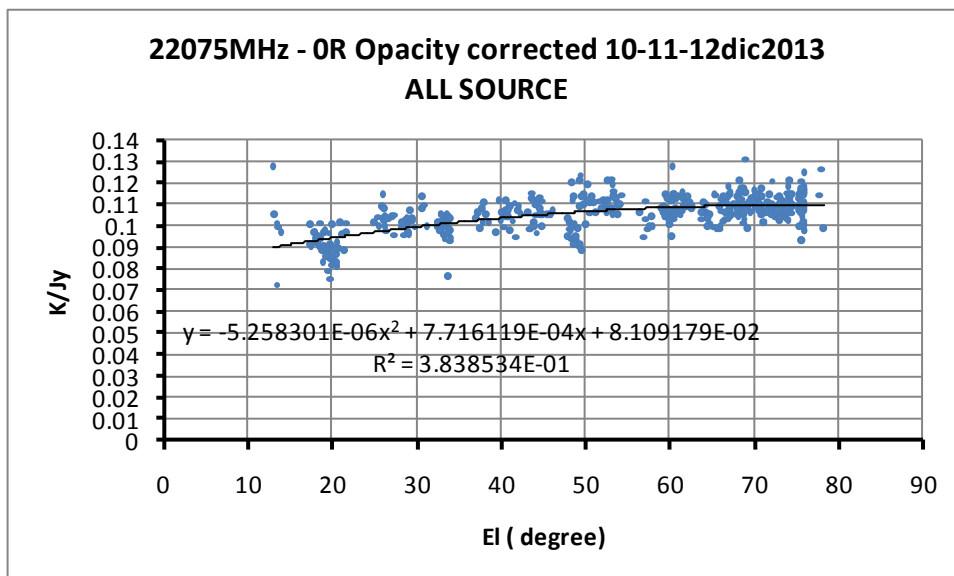


Fig. 3.2.4 0R – Corretta per opacità

Da notare come le curve sul canale 0L siano più disperse di quelle 0R.

L'opacità misurata nei tre giorni d'osservazione è risultata essere

$$\tau_0 = 0.142 \pm 0.012, \text{ valutata con 0L}$$

$$= 0.133 \pm 0.011, \text{ valutata con 0R}$$

Col che la brillantezza del cielo vale circa 32K (si è assunto una  $T_{\text{atm}}=250\text{K}$ ), praticamente uguale a quanto previsto dai calcoli di Cortès [4] (vedi Tab. 2.2 a 22GHz El=90).

Sono stati graficati anche i guadagni nei quattro casi distinguendo i calibratori. I valori di picco nei quattro casi sono riportati nelle tabelle 3.2.1 ed 3.2.2. I valori ombreggiati non vengono considerati perché derivano da pochissimi punti di misura, per giunta molto variabili in valore.

Peak Gain	ALL	NGC7027	3C123	3C286	3C48	3C295
OL	0.1	0.092	0.1	0.1	0.12	0.13
OR	0.095	0.089	0.095	0.096	0.1	0.105

Tab. 3.2.1 Guadagni d'antenna NON corretti per opacità su tutte le sorgenti e separatamente per sorgente

Peak Gain	ALL	NGC7027	3C123	3C286	3C48
OL	0.115	0.11	0.115	0.115	0.13
OR	0.11	0.105	0.11	0.11	0.115

Tab. 3.2.2 Guadagni d'antenna corretti per opacità su tutte le sorgenti e separatamente per sorgente

Gli errori su ogni singola misura di guadagno rimangono sempre molto piccoli e uguali in tutti e quattro i casi a 0.003-0.004 K/Jy.

Per le considerazioni che si faranno in seguito ci interessano solo i guadagni corretti per l'opacità, che dunque possiamo così riassumere, prendendo una media dei valori di Tab. 3.2.2

**21.95-22.22GHz Peak Gain OL = 0.114 K/Jy**

**21.95-22.22GHz Peak Gain OR = 0.109 K/Jy**

#### 4. MISURE DI Tsys del 10-11-12 DICEMBRE 2013

Insieme ad ogni misura di guadagno sono state effettuate misure di temperatura di sistema. Nei grafici che seguono sono riportate le misure sia nella banda 18.2-18.45 GHz che 21.95-22.2 GHz:

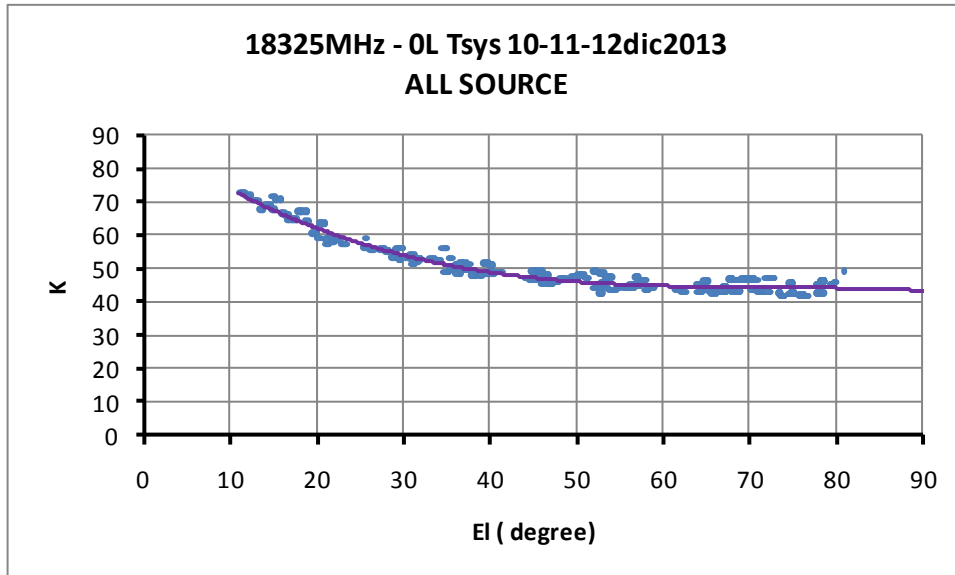


Fig. 4.1 Tsys 18.2-18.45 GHz – OL

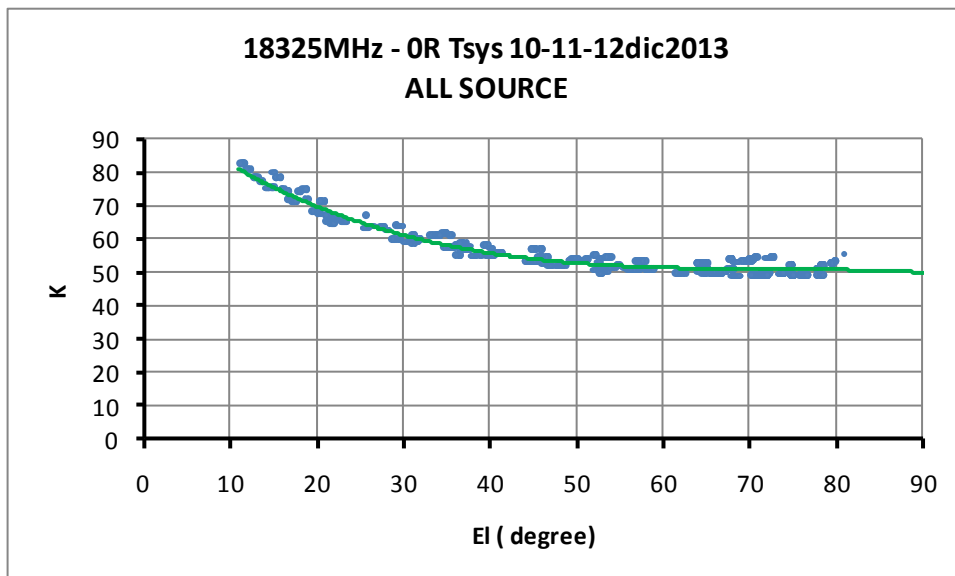


Fig. 4.2 Tsys 18.2-18.45 GHz – OR

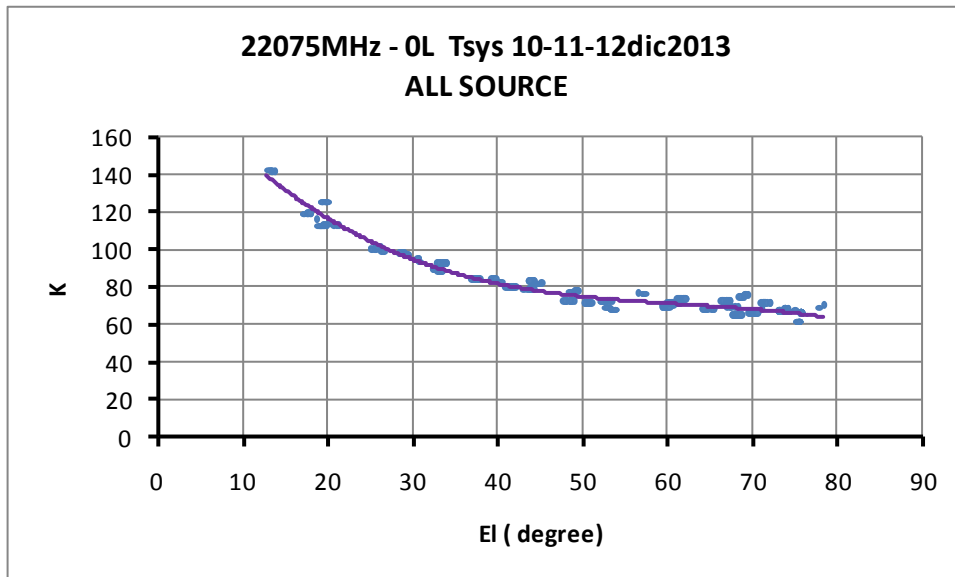


Fig. 4.3 Tsys 21.95-22.2 GHz – OL

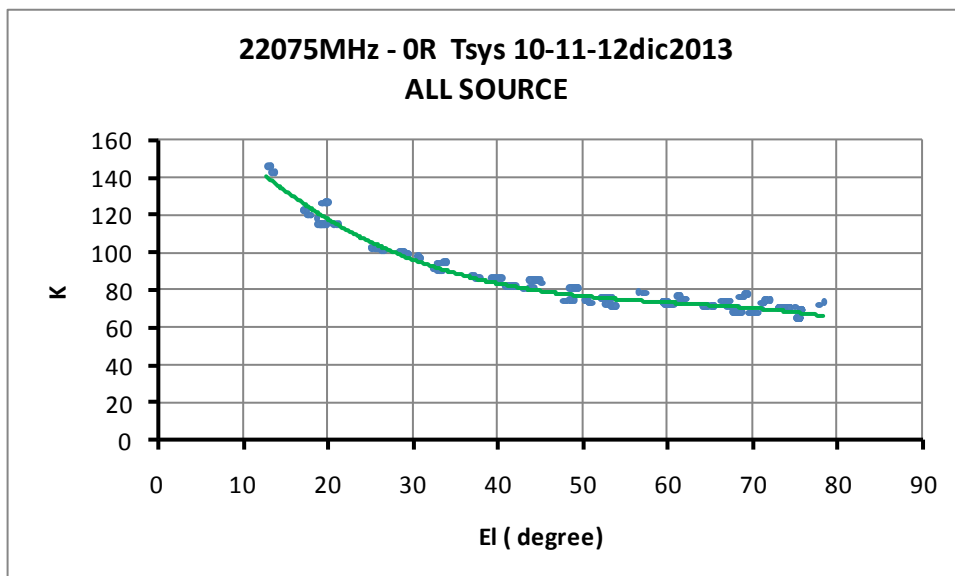


Fig. 4.4 Tsys 21.95-22.2 GHz – OR

I valori di Tsys a  $El=90^\circ$  sono dunque riassunti nella seguente tabella,

	Tsys @ $El = 90^\circ$	
	18325MHz	22075MHz
OL	43	62
OR	50	65

Tab. 4.1 Tsys misurate a  $El=90^\circ$

## 5. CONFRONTO TEORICO CON MISURATO

Con quanto determinato nei capitoli precedenti possiamo stilare una tabella di confronti tra valori teorici di  $T_{sys}$  e Guadagno d'antenna,

18200-18450 MHz		
	<i>OL</i>	<i>OR</i>
G teorico (K/Jy)	0.127	0.127
G misurato (K/Jy)	0.095	0.094
G teorico/G misurato	1.337	1.351
$T_{sys}$ teorica $EI=90^\circ$	51	56
$T_{sys}$ misurata $EI=90^\circ$	43	50
$T_{sys}$ teorica/ $T_{sys}$ misurata	1.186	1.12
Valori di marca usati (K)	9.6	9.5
$\tau_0$ misurato	0.049	0.047

Tab. 5.1 Confronto a 18GHz

21950-22200 MHz		
	<i>OL</i>	<i>OR</i>
G teorico (K/Jy)	0.114	0.114
G misurato (K/Jy)	0.114	0.109
G teorico/G misurato	1	1.046
$T_{sys}$ teorica $EI=90^\circ$	63	64
$T_{sys}$ misurata $EI=90^\circ$	62	65
$T_{sys}$ teorica/ $T_{sys}$ misurata	1.016	0.985
Valori di marca usati (K)	36.3	33.0
$\tau_0$ misurato	0.142	0.133

Tab. 5.2 Confronto a 22GHz

Si osservano i seguenti fatti,

1. Nella banda 18GHz i guadagni misurati in entrambe le polarizzazioni sono sensibilmente più bassi del teorico di circa un fattore 1.3; le  $T_{sys}$  misurate sono moderatamente più basse del teorico di circa un fattore 1.1-1.2.

Non è plausibile dare tutta la responsabilità a valori di marca sbagliati; è molto plausibile invece che i valori di marca scelti non rispecchino la realtà (si riveda quanto detto a pag. 12 sull'argomento), ma non nella misura di oltre il 30%. Infatti, correggere di questa entità porterebbe, da un lato, la  $T_{sys}$  misurata troppo oltre il giustificabile teoricamente, dall'altro non rispecchierebbe il fatto che la curva di marca nella banda 18.2-18.45GHz assume valori  $< 11.5K$  (Fig. 3.4).

Pertanto, è plausibile incrementare il valore di marca, ma solo nell'intervallo tra la marca usata nella misura e 11.5K, realisticamente a 10.5K, cioè un fattore circa 10% in più. Ciò porterebbe il guadagno misurato a 0.104 per *OL* e *OR*.

Questo incremento di marca aumenterebbe anche la  $T_{sys}(30^\circ)$ - $T_{sys}(90^\circ)$  (da 11 a 12K) e dunque la stima di  $\tau_0$  da 0.047 a 0.052, un incremento altamente trascurabile.

E' evidente che esiste un'altra causa che determina il guadagno così più basso rispetto all'atteso.

Per il momento, la correzione in questa banda porterebbe a,

<b>18200-18450 MHz CORRETTO</b>		
	<i>OL</i>	<i>OR</i>
G teorico (K/Jy)	0.127	0.127
G misurato (K/Jy)	0.104	0.104
G teorico/G misurato	1.221	1.221
Tsys teorica El=90°	51	56
Tsys misurata El=90°	47	55
Tsys teorica/Tsys misurata	1.085	1.018
Valori di marca usati (K)	10.5	10.5
$\tau_0$ misurato	0.052	0.052

Tab. 5.3 Prima correzione dei valori misurati a 18GHz

2. Nella banda 22GHz i guadagni misurati in entrambe le polarizzazioni sono sostanzialmente uguali al teorico. Anche le Tsys si accordano col previsto.

Ciò rispecchia il fatto che, dato l'andamento meno ripido della marca in funzione della frequenza nell'intorno di 22GHz, è più facile fare un calcolo realistico della marca in una larghezza di banda < 400MHz (Fig. 3.4). La fig. 3.4 suggerirebbe un valore di marca OR di 34K invece che 33, ciò avvicinerebbe i guadagni ma allontanerebbe le Tsys. Tutto considerato può essere conveniente mantenere così come sono tutti i valori di tabella 5.2, che viene ripetuta in tab. 5.4 per uniformità di esposizione. Il panorama corretto in questa banda porterebbe a,

<b>21950-22200 MHz CORRETTO</b>		
	<i>OL</i>	<i>OR</i>
G teorico (K/Jy)	0.114	0.114
G misurato (K/Jy)	0.114	0.109
G teorico/G misurato	1	1.046
Tsys teorica El=90°	63	64
Tsys misurata El=90°	62	65
Tsys teorica/Tsys misurata	1.016	0.985
Valori di marca usati (K)	36.3	33.0
$\tau_0$ misurato	0.142	0.133

Tab. 5.4 Non necessaria alcuna correzione a 22GHz



Occorre ritornare ora alla banda 18GHz per affrontare la possibile causa del guadagno d'antenna sensibilmente più basso del teorico del 22%, cioè un fattore correttivo del guadagno pari a 0.82.

La causa potrebbe risiedere nei valori di S11 mostrati dall'ingresso degli LNA. I valori di guadagno teorico prima calcolati presuppongono un S11 complessivo di -20dB (fattore 0.99), si veda la Tab. 1.1; in realtà nel dual feed stiamo usando LNA del NRAO, che notoriamente hanno valori di S11 molto alti. Il return loss complessivo feed system + input LNA è dominato da quest'ultimo. Da qui il motivo per cui in Tab 1.1. la riga del feed system return loss è marcata in rosso e con ?!

Secondo i data sheet dei componenti utilizzati (3 LNA NRAO più 1 LNA in guida fatto in casa) i valori di S11 sono come in tabella 5.5, nella quale è anche riportato il coefficiente di perdita di guadagno d'antenna corrispondente,

	NRAO KM027 – 0L			HMADE GUIDA – 0R			NRAO KM022 – 1L			NRAO KM026 – 1R		
f(GHz)	18	22	26	18	22	26	18	22	26	18	22	26
S11	-2	-8	-2	-4	-12	-5	-3	-9	-2	-2	-9	-2
$\eta$	0.37	0.84	0.37	0.60	0.94	0.68	0.50	0.87	0.37	0.37	0.87	0.37

Tab. 5.5 Valori di S11 degli LNA utilizzati nel dualfeed

La cascata del sistema feed system/LNA fornisce un S11 complessivo, il cui valore dipende dal valore di fase della cascata, in genere un po' migliore di quello dell'amplificatore preso a sé stante, 2-3 dB meglio.

A 22GHz i valori di S11 complessivo dunque sono, diciamo, -15dB per 0R (fattore 1) e -11dB per 0L (fattore 0.92). Per 0L dunque il guadagno teorico sarebbe,

- guadagno teorico=  $0.114/0.99 = 0.115$  (così si depura il valore di return loss 0.99 di tab. 1 .1)
- S11 di 0L = -11dB (3 dB meglio del -8dB a 22GHz), ovvero un fattore di perdita di 0.92
- guadagno dalla misura=  $0.115 * 0.92 = 0.106K/Jy$ , da confrontare con 0.114

è anche vero, però, che i valori di gain per 0L sono più dispersi del 0R, per cui la valutazione di  $G=0.114$  è più incerta del corrispondente in 0R.

A 18GHz i valori di S11 complessivo sono così bassi che se veri il coefficiente di peggioramento sarebbe ben più alto di 0.82. A questa frequenza occorrerebbe un S11 complessivo di -7.5dB per giustificare il coefficiente che stiamo cercando. Ancora una volta ciò potrebbe essere plausibile per 0R (S11 da -4dB a -7 o -7.5dB). Invece per 0L il coefficiente rimarrebbe troppo basso e il valore di guadagno andrebbe molto sotto il valore misurato, alcuni conti:

- guadagno teorico=  $0.127/0.99 = 0.128$  (così si depura il valore di return loss 0.99 di tab. 1 .1)
- S11 di 0L = -5dB (3 dB meglio del -2dB a 18GHz), ovvero un fattore di perdita di 0.68
- guadagno dalla misura=  $0.128 * 0.68 = 0.087K/Jy$ , che è troppo lontano da 0.104

Da notare, di passata, che l'interposizione di un isolatore risolverebbe il problema del return loss complessivo, da cui ne gioverebbe la riduzione notevole della presenza di onda stazionaria, ma non risolverebbe l'effetto di perdita di potenza, cioè una riduzione del guadagno d'antenna, perché la potenza riflessa all'ingresso del LNA verrebbe comunque persa, questa volta però dissipata sul carico dell'isolatore.

## CONCLUSIONI

Affrontiamo quattro argomenti,

### *1. Basso guadagno a 18GHz: problema di alto S11?*

A entrambe le frequenze la differenza di guadagno tra teorico e misurato in OR potrebbe essere giustificabile con l'S11 LNA; in entrambi i canali a 22GHz, solo in OR a 18GHz.

Necessario allargare il panorama anche all'Horn1, per vedere,

- se, avendo gli LNA NRAO, si conferma la dispersione dei dati di guadagno, ma ora in entrambe le polarizzazioni
- se risulta ancora difficile dare una correzione del guadagno in conseguenza dell'alto S11, ma ora in entrambe le polarizzazioni

### *2. Più ampia dispersione delle misure su OL rispetto a OR*

Un ulteriore oggetto di indagine riguarda il perché, sia a 18 che 22GHz, le curve di guadagno sono molto più disperse sul canale OL che in quello OR. L'entità della dispersione può essere valutata da una statistica su tutti i valori di guadagno acquisiti (All source, curve corrette per opacità)

@ 22GHz, OL: Dev standard Gain = 0.012 K/Jy

@ 22GHz, OR: Dev standard Gain = 0.008 K/Jy

@ 18GHz, OL: Dev standard Gain = 0.009 K/Jy

@ 18GHz, OR: Dev standard Gain = 0.006 K/Jy

Naturalmente non si può invocare, per la maggior dispersione a 22GHz, la maggiore fluttuazione dell'atmosfera a quella frequenza, perché altrimenti comparirebbe anche sul canale OR. L'atmosfera a 22GHz può giustificare il leggero incremento di rms a questa frequenza rispetto a 18GHz, ma non la differenza tra rms in ciascuna delle due frequenze.

### *3. Andamento del guadagno alle elevazioni molto basse: coma e/o astigmatismo residuo?*

Una questione riguarda il decremento di guadagno a basse elevazioni. Si rivedano le interpolazioni riportate nelle fig. 3.1.3, 3.1.4, 3.2.3, 3.2.4: in tutti i casi alle elevazioni basse, 10-20°, il guadagno cala di circa il 10% rispetto al picco. Considerando che tutte le correzioni sono state apportate, atmosfera e posizione subriflettore, varrebbe la pena di verificare se quest'ultima non è possibile migliorarla. Per fare ciò occorre fare una mappa del beam d'antenna nelle due coordinate e verificare se vi sia coma e/o astigmatismo, quest'ultimo dovuto a deformazione residua dello specchio primario, che comunque il subriflettore non riesce a recuperare.

#### *4. Anomala rotazione del subriflettore*

Il subriflettore, la cui posizione è stata ricercata in modo da massimizzare il guadagno d'antenna a ogni elevazione, si dispone in una posizione molto anomala, nell'intorno di  $3^\circ$  per quanto riguarda la rotazione attorno all'asse Y (che è il cosiddetto asse nord-sud). Si sospetta una deformazione della superficie dell'iperbole, la quale andrebbe dunque controllata con una misura fotogrammetrica.

## RIFERIMENTI

- 1) R. Nesti,  
*Beam Bifeed On and Off Axis.pdf*  
comunicazione privata
- 2) G. Maccaferri, A. Orfei, A. Orlati,  
*Calibrazione in antenna del nuovo ricevitore 4.3-5.8 GHz per l'antenna parabolica di Medicina-  
Appendice a cura di Orfei/Bolli .pdf*  
IRA 392-06
- 3) D. Panella,  
*Dual-feed grafici Te Tm bis HP 17dic12.xls*  
comunicazione privata
- 4) G. Cortès,  
*Antenna Noise Temperature Calculation.pdf*  
SKA memo 95
- 5) R. Nesti,  
*Dualfeed Centro di fase horn.doc*  
comunicazione privata
- 6) P. Bolli,  
*Defocusing.doc*  
comunicazione privata
- 7) Rudge et. al.,  
*The Handbook of Antenna Design, vol.1*