

**CALIBRAZIONE IN ANTENNA DEL NUOVO RICEVITORE 4.3-5.8GHz**

**PER L'ANTENNA PARABOLICA DI MEDICINA**

**G. Maccaferri, A. Orfei, A. Orlati**

**con un'Appendice curata da A. Orfei, P. Bolli**

**Rapporto Interno IRA 392/06**

Agosto-Settembre 2006

d:/ProgettiInCorso/NuovaVertex/Nuovo5GHz/Misure in campo/IRA392-06Calib.doc

## INDICE

### INTRODUZIONE

*1. Ottimizzazione della posizione di fuoco del subriflettore*

*2. Oscillatore Locale*

*3. Puntamento*

*4. Interferenze*

*5. Lobi*

*6. Calibrazione marche e guadagno d'antenna*

*7. Telone di copertura*

*8. Microfonicita'*

*9. Anomalie*

*10. Spillover*

*11. PCAL – tono di calibrazione di fase*

*12. VLBI*

*13. Riferimenti*

*Appendice, Considerazioni sull'efficienza d'antenna misurata con il nuovo ricevitore 4.3-5.8GHz di Medicina.*

## INTRODUZIONE

Nel giugno 2006 e' stato montato a Medicina un nuovo ricevitore 5GHz a larga banda. E' il primo della serie dei ricevitori "offsettati" cioe' con il feed posizionato a circa 4 gradi dal centro della vertex [1] , dislocato verso la direzione nord-ovest.

Le sue principali caratteristiche e peculiarita' sono:

- banda: 4300-5800 MHz
- front end criogenico con Tric: 13-14K
- $LO=sint.-2300$

Il presente rapporto descrive le misure fatte su antenna il cui scopo e':

- verificare la corretta funzionalita' del ricevitore
- affinare i valori di  $Tcal$  su tutto il campo di frequenza di lavoro per un guadagno stimato del telescopio di 0.16K/Jy, assunto per questo ricevitore quale valore standard di prestazione a questa frequenza
- ottimizzazione e controllo della posizione di fuoco del subriflettore
- controllo puntamento
- curve  $Tsys$  vs elevazione
- curva guadagno vs elevazione e frequenza
- verifica intensita' dei toni pcal

### 1. Ottimizzazione della posizione di fuoco del subriflettore

Le posizioni del subriflettore per il corretto puntamento del feed offsettato erano gia' state determinate con il ricevitore CHC [1] ed in questo caso e' stato sufficiente trovare la migliore posizione di fuoco che e' risultata essere:

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>
-7.62	-18.41	-88.35	60.21	0.84

E' stata fatta una verifica a diverse elevazioni e non si sono viste sensibili variazioni. C'è da aggiungere che la posizione del centro di fase dell'horn varia notevolmente con la frequenza [3, pag. 19]. Tuttavia data la collocazione Cassegrain, e la conseguente contenuta criticità a spostamenti del centro di fase del feed rispetto al fuoco del riflettore, l'efficienza d'antenna alle diverse frequenze è costante. L'horn è stato montato in modo che la bocca disti 600mm dal fuoco secondario, circa a metà delle posizioni estreme dei centri di fase.

### 2. Oscillatore Locale

Il ricevitore usa una tecnica di doppia conversione cha fa uso di due oscillatori locali, uno fisso a 2300 MHz ed uno variabile (*sint*) sintonizzabile a piacere.

La frequenza finale è data dalla formula:

$$LO= sint -2300$$

Il comando FS da dare per il settaggio e' il solito:

*vertex=set lofreq <sint>*  
 mentre per la lettura:  
*medlo=freq*

Ogni volta che si e' usato un LO diverso dal default di 4600MHz e' stato aggiornato anche il valore contenuto nella memoria del FS, attraverso il comando *lo*. Questa operazione e' fondamentale se si vuole che vengano correttamente applicati i valori delle marche, i flussi sorgente ed il beam-size alle diverse frequenze.

Per agevolare l'operazione e' stata creata la procedura *setlo=<LO>* .

### 3. Puntamento

Come inizio si e' adottato il modello di puntamento per feed centrale in fuoco secondario, quello ricavato dalla campagna di puntamento del vecchio 5GHz. Le misure via via effettuate hanno mostrato errori pressoché nulli in azimuth e di max 5-8 millesimi in elevazione, che paragonati al beam-size di 126 millesimi, risultano essere ampiamente entro il 10% del beam. Pertanto e' stato utilizzato il modello di puntamento standard per ricevitori in secondario.

### 4. Interferenze

Da una panoramica su tutta la banda risulta che la zona fra 4400-5000MHz e' quella maggiormente interferita.

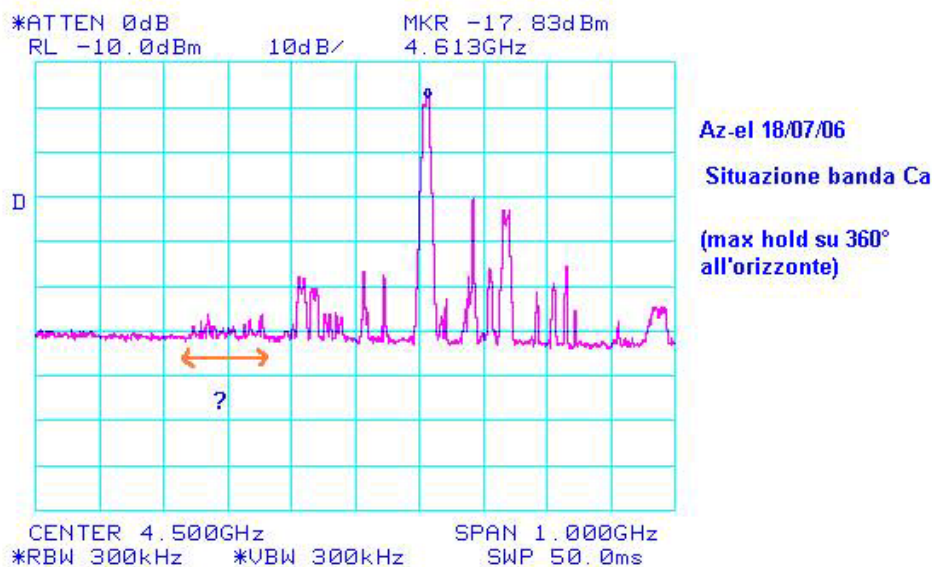


Figura 4.1: diagramma spettrale delle interferenze fra 4 e 5 GHz

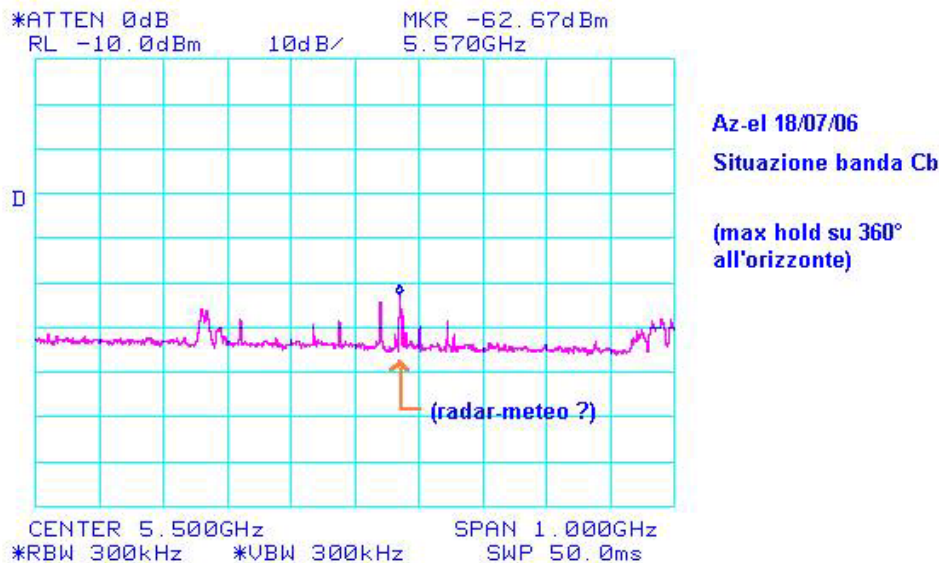


Figura 4.2:diagramma spettrale delle interferenze fra 5 e 6 GHz

In particolare, la presenza di un forte disturbo attorno a 4600MHz rende impossibile ogni ragionevole calibrazione. L'intensità del disturbo è tale che fa saturare il ricevitore già all'elevazione di 82 gradi, provocando la variazione di qualche Kelvin nel *total-power* dei Videoconverter, anche se impostati a tutt'altra frequenza.

## 5. Lobi

Dalle misure di fivept il diametro del beam viene in entrambe le coordinate di  $0.125^\circ$ , pari a  $7.5'$ , come aspettato.

## 6. Calibrazione marche e guadagno d'antenna

Con il solito metodo offerto dal FS (*onoff*) si è, per prima cosa, cercato di caratterizzare le marche lungo tutta la banda, assumendo un guadagno di  $0.16K/Jy$  per entrambe le polarizzazioni.

I risultati sono stati fortemente influenzati dalle interferenze, particolarmente forti fra 4600-5000MHz, regione in cui i valori di marca trovati si discostano sensibilmente da quelli di laboratorio e mostrano un improbabile andamento altalenante, mentre per il resto della banda i valori coincidono abbastanza.

La conferma della qualità delle misurazioni fatte in laboratorio, e l'impossibilità di effettuare misure più precise in cielo a causa delle interferenze ci ha indotti ad adottare i valori di laboratorio come base di partenza.

Si ottengono quindi delle  $T_{sys}$  di circa 25K fra 5000 e 5100MHz, su entrambi i canali con i seguenti guadagni:

sorgente	AZ	EL	G(R)
3c286	105	59	0.141
VirgoA`	156	55	0.134
VirgoA	124	45	0.135
CygnusA	41	10	0.151
CygnusA	84	62	0.160

3c123	75	28	0.145
3c123	232	38	0.149
3c123		70	0.149(0.158)
3c123		68	0.149(0.154)
3c123	241	66	0.142(0.151)
3c123		65.5	0.145

I valori di guadagno non sono molto distanti dall'aspettato, ma per arrivare a 0.16K/Jy su entrambi i canali left e right i valori assegnati alle marche sono stati aumentati rispettivamente del 6% e 3%.

Successive verifiche hanno poi portato ad affinare i valori, con un aumento complessivo delle marche di laboratorio del 4% per la left e 2% per la right.

Per una calibrazione piu' accurata si e' deciso di usare la sola 3c123, puntiforme, stabile nel tempo e sufficientemente forte (15.6Jy).

Successivamente e' stato poi montato un accoppiatore direzionale per l'iniezione del phase cal, e le marche sono cambiate ulteriormente, come è logico dato l'inserimento di una attenuazione, variazione che e' stata misurata in laboratorio e precompensata con un riaggiustamento dei valori di partenza.

In pratica i valori riscontrati sul campo e da utilizzare in futuro sono quelli di sotto riportati nelle colonne *Tcal*:

**Tabella 6.1: valori marca left di laboratorio successivamente incrementati per avere G=0.16**

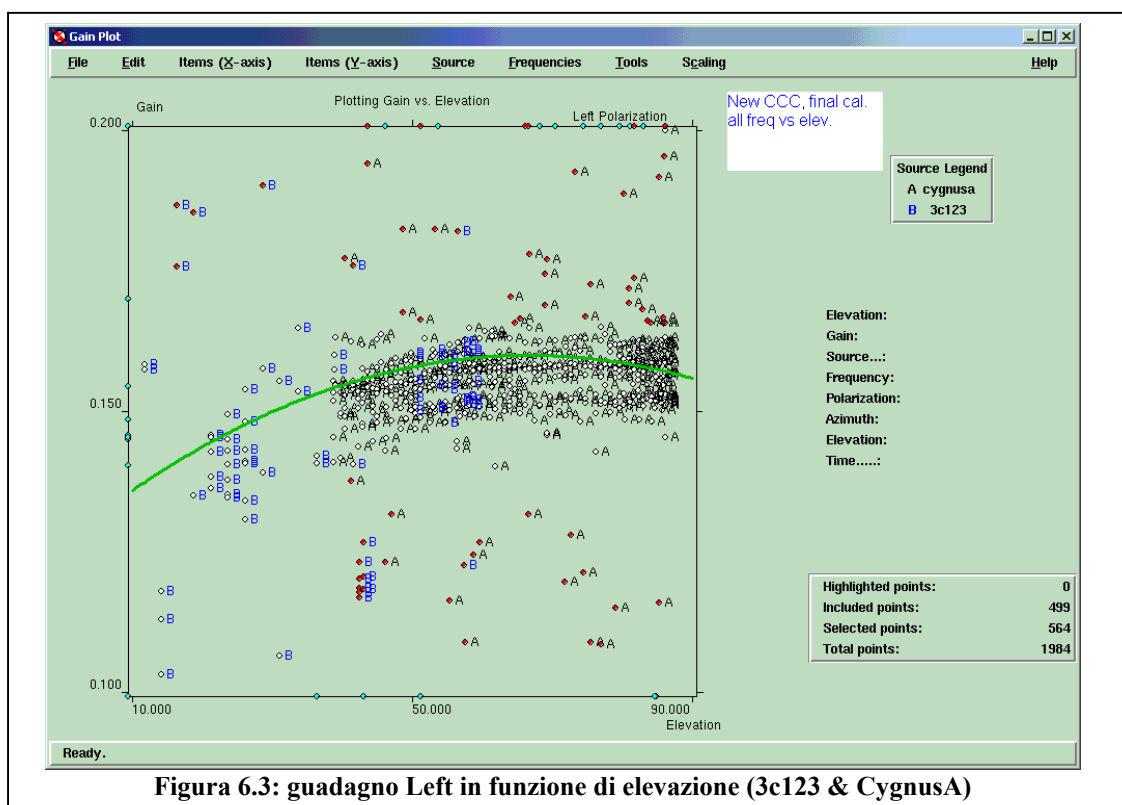
<b>Freq Cielo</b>	<b>Marca lab</b>	<b>Tcal(G=0.16)</b>
MHz	[K]	Incr. 4%
4350	5.86	6.10
4450	5.78	6.01
4550	5.68	5.91
4650	5.56	5.78
4750	5.66	5.89
4850	5.65	5.87
4950	5.62	5.84
5050	5.75	5.98
5150	5.85	6.09
5250	5.89	6.13
5350	6.01	6.25
5450	6.17	6.42
5550	6.30	6.55
5650	6.52	6.78
5750	6.80	7.08

**Tabella 6.2: valori marca right di laboratorio successivamente incrementati per avere G=0.16**

<b>Freq Cielo</b>	<b>Marca lab</b>	<b>Tcal(G=0.16)</b>
MHz	[K]	Incr. 2%
4350	5.77	5.88
4450	5.68	5.79
4550	5.59	5.70
4650	5.47	5.58

4750	5.60	5.71
4850	5.60	5.71
4950	5.59	5.71
5050	5.67	5.78
5150	5.77	5.89
5250	5.85	5.97
5350	5.99	6.11
5450	6.10	6.22
5550	6.34	6.47
5650	6.49	6.62
5750	6.66	6.79

Dopo aver adattato il profilo di marca per i guadagni desiderati e' stata condotta una campagna di misura su 3c123 e CygnusA per ricavare la curva di guadagno a diverse elevazioni.



Il guadagno massimo (DPFU) ricade sul valore desiderato di 0.16K/Jy, mentre il profilo e' sovrapposto alla curva del vecchio ricevitore (linea verde).

Le curve di guadagno in funzione della frequenza (fig. 6.4 e 6.5) mostrano in prima istanza che il guadagno e' pressoché costante alle varie frequenze a parte un calo apprezzabile verso i 5800MHz, dovuto ad un minor illuminamento da parte del feed, fisiologico per bande così larghe (vedi Appendice).

Da queste curve e' possibile inoltre percepire quanto sia interferita la parte bassa della banda e quanto pessime diventino le misure in quella zona.

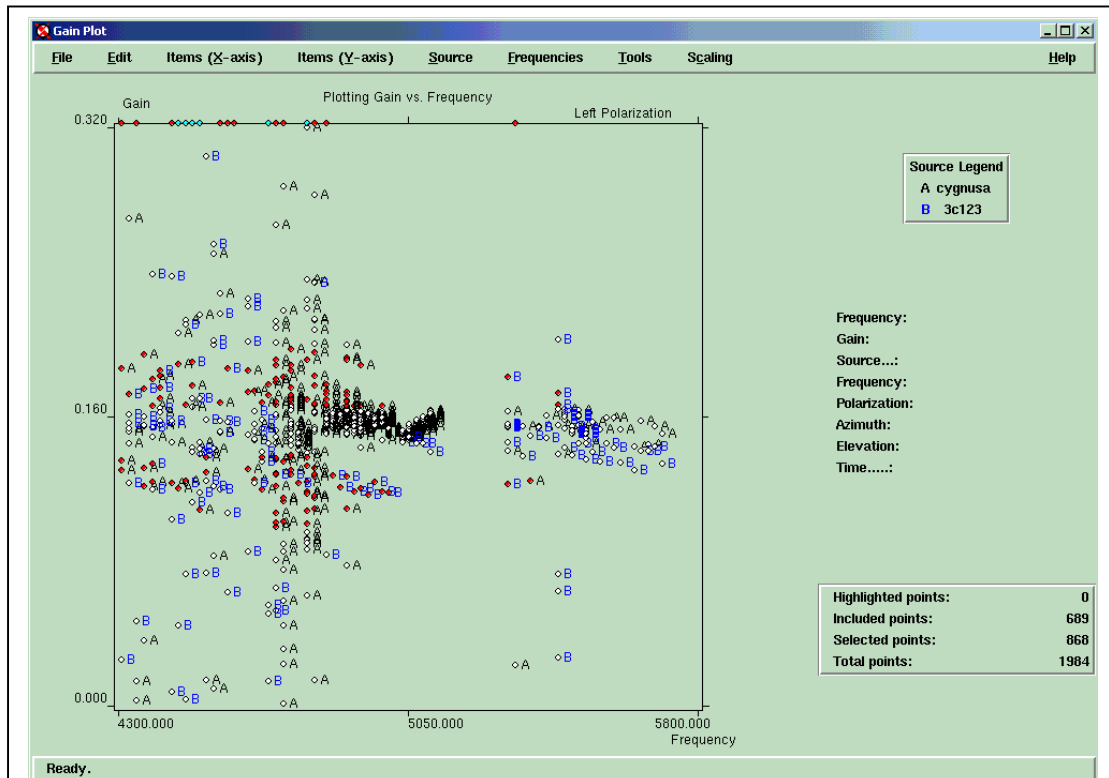


Figura 6.4: G Left vs frequenza

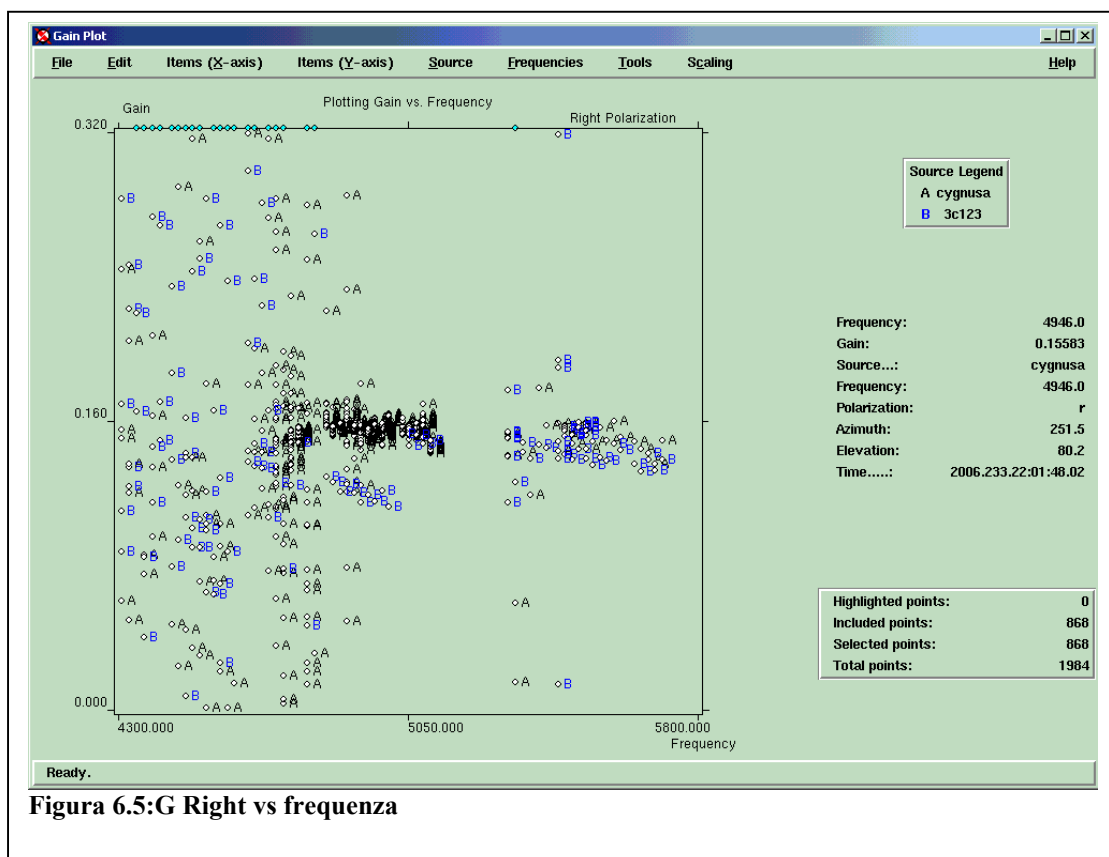


Figura 6.5: G Right vs frequenza



Le tsys ricavate con le marche calibrate sono abbastanza costanti su tutta la banda, come mostrato nei grafici che seguono:

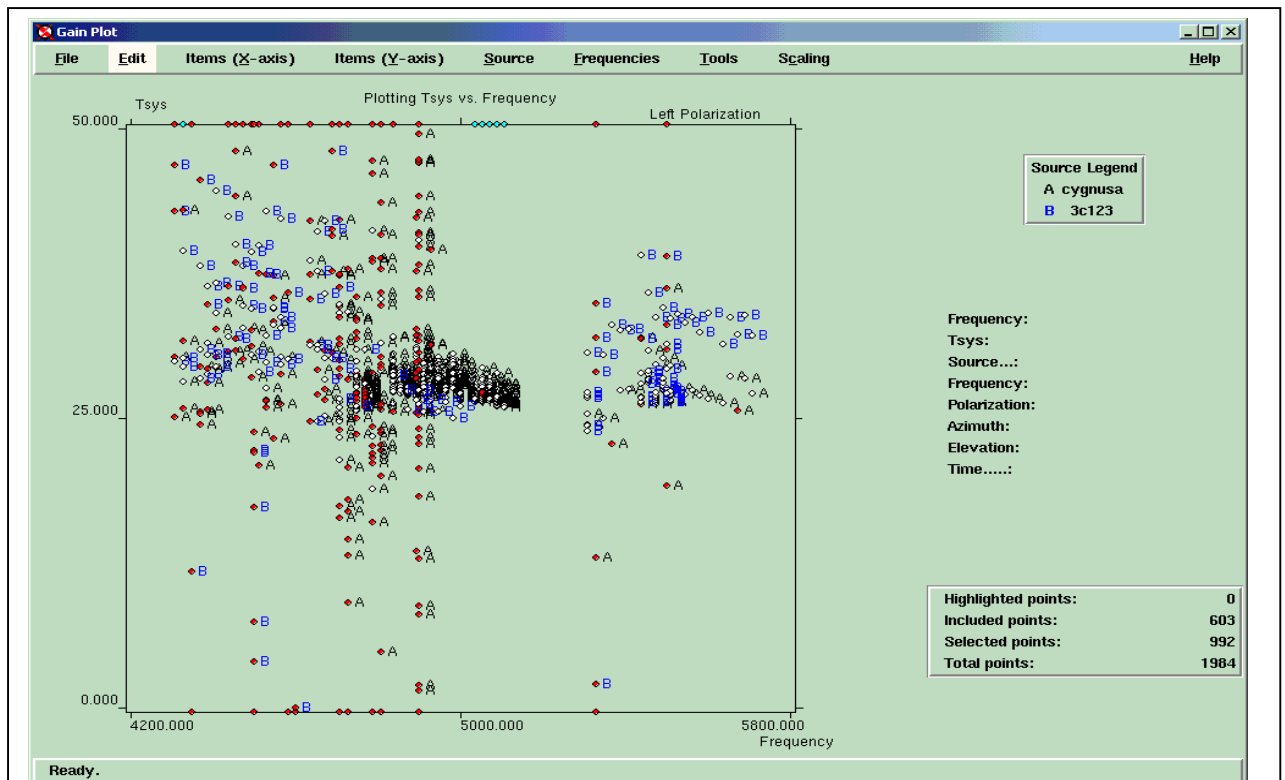


Figura 6.4: TsysL vs frequenza

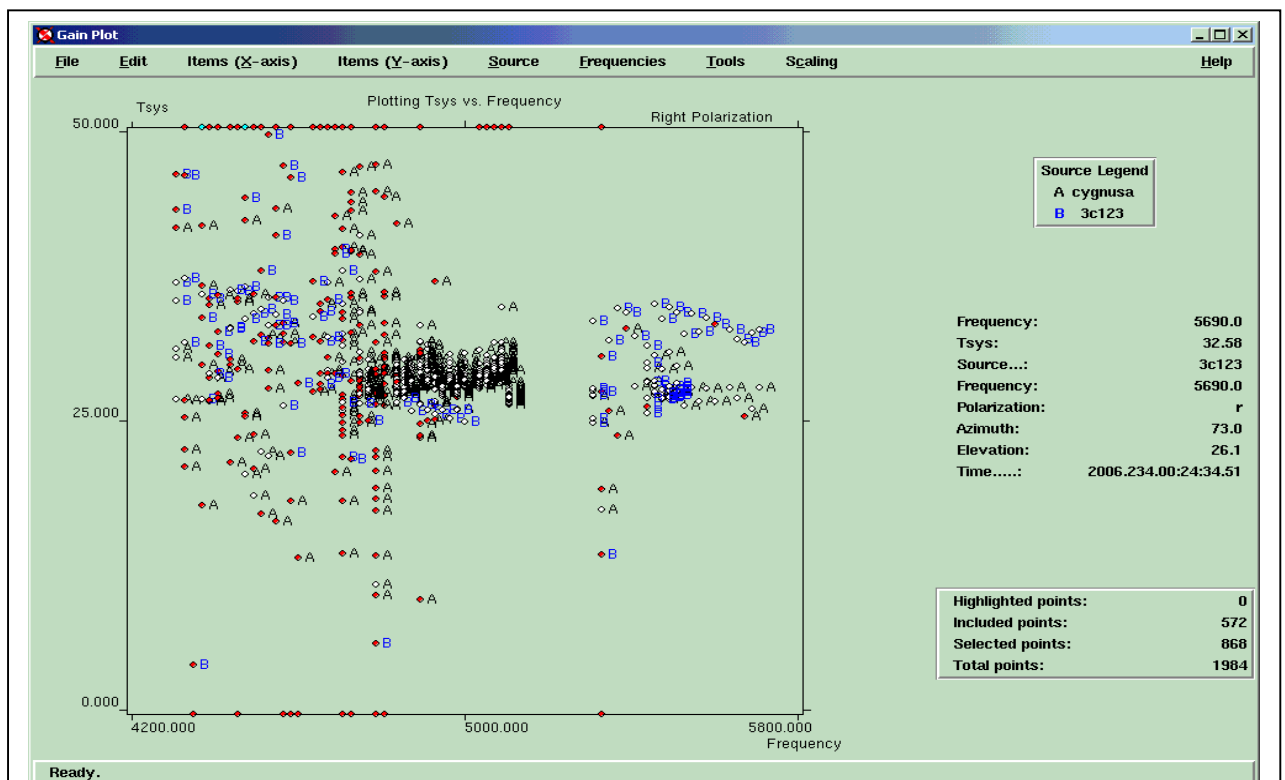


Figura 6.5: TsysR vs frequenza

Sempre considerando che la parte bassa della banda e' affetta da forti disturbi e escludendo una zona nella parte alta della banda dove 3C123(B) ha dato valori di tsys di ~33K, si puo' vedere che le tsys si aggirano su valor medi di 27-28K su entrambe le polarizzazioni con un  $\tau$  di 0.014.

Il profilo delle marche in funzione della frequenza ricavato dalle misure in cielo e' quasi inutilizzabile per via delle forti interferenze, come gia' visto. Dai grafici si puo' constatare che il profilo di  $T_{cal}$ , quando non interferito, ricalca abbastanza bene i valori determinati in laboratorio (linea verde) a parte una zona verso il limite superiore della banda dove i valori di laboratorio sembrano essere sottostimati.

Si e' poi compreso che questo fenomeno non e' da attribuire ad una errata stima della marca ma ad un sensibile calo dell'efficienza alle alte frequenze.

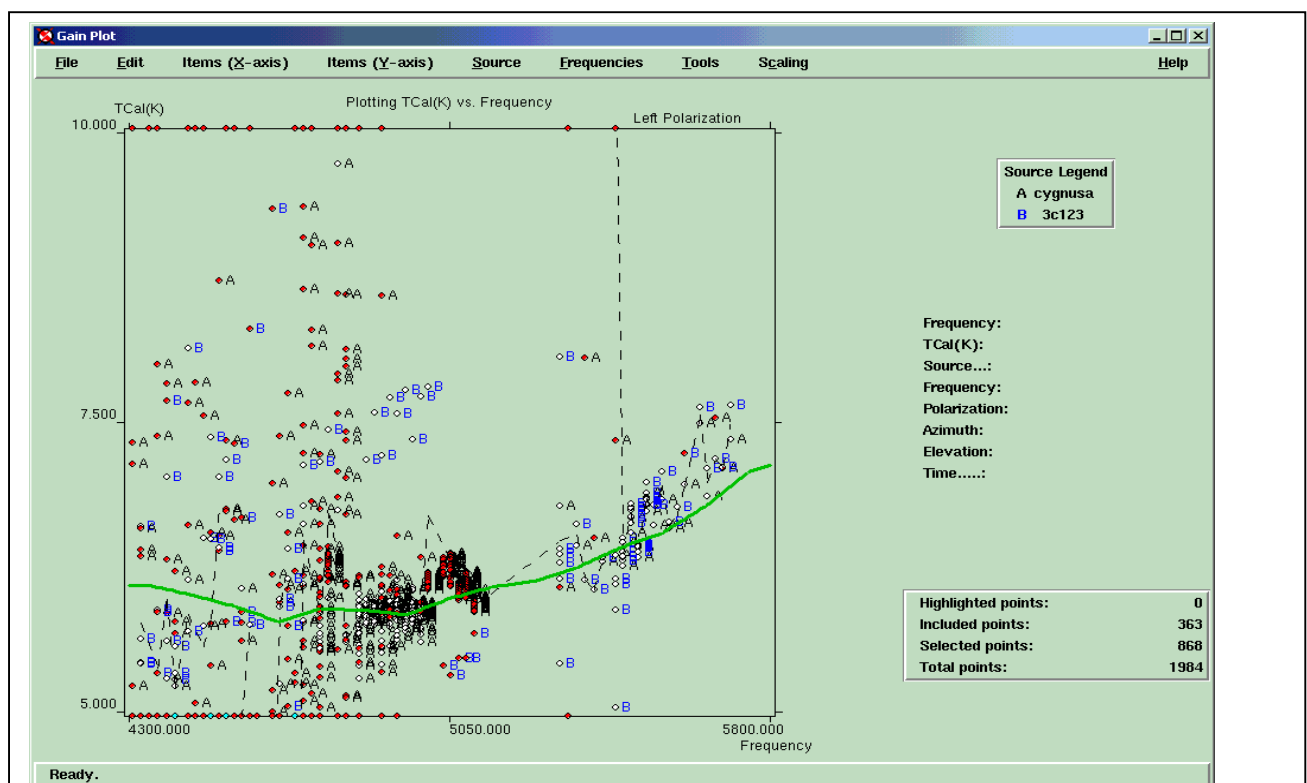
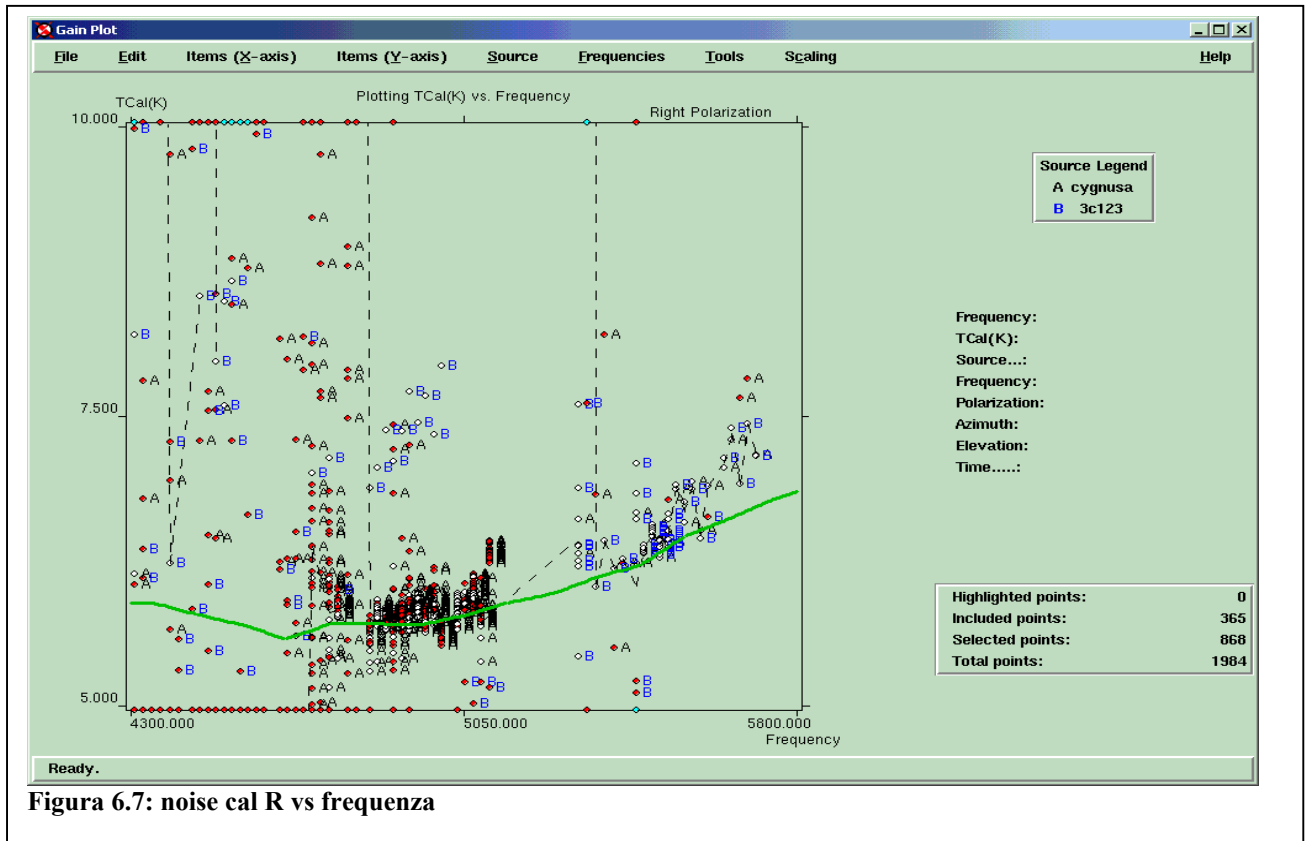


Figura 6.6: noise cal L vs frequenza



Si e' preferito pertanto conservare i valori di laboratorio, opportunamente scalati delle percentuali sopra citate (4% left, 2% right) per avere i valori di guadagno attorno a 0.16K/Jy.

## 7. Telone di copertura

Al fine di poter attribuire i giusti contributi di rumore a tutte le componenti presenti, sono state fatte misure di tsys con e senza il telone di copertura della vertex room. Inoltre e' stato smontato e quindi misurato, il contributo della copertura di protezione posta sulla bocca dell'horn, in PTFE espanso.

E' risultato che la protezione del feed non mostra attenuazioni apprezzabili, mentre la copertura in plastica introduce ~1.5K di rumore.

## 8. Microfonicita'

Assenti.

## 9. Anomalie

In certi momenti la IF di entrambi i canali ha mostrato un profilo particolarmente irregolare, senza nessuna apparente spiegazione. Da prove specifiche non sono state riscontrate microfonicita' o cavi difettosi. La banda ha riassunto il suo normale profilo solo dopo lo spegnimento del *front-end*.

## 10. Spillover

Per determinare la temperatura di spillover si sono effettuate misure di tsys con elevazione variabile fra 90 e 30 gradi.

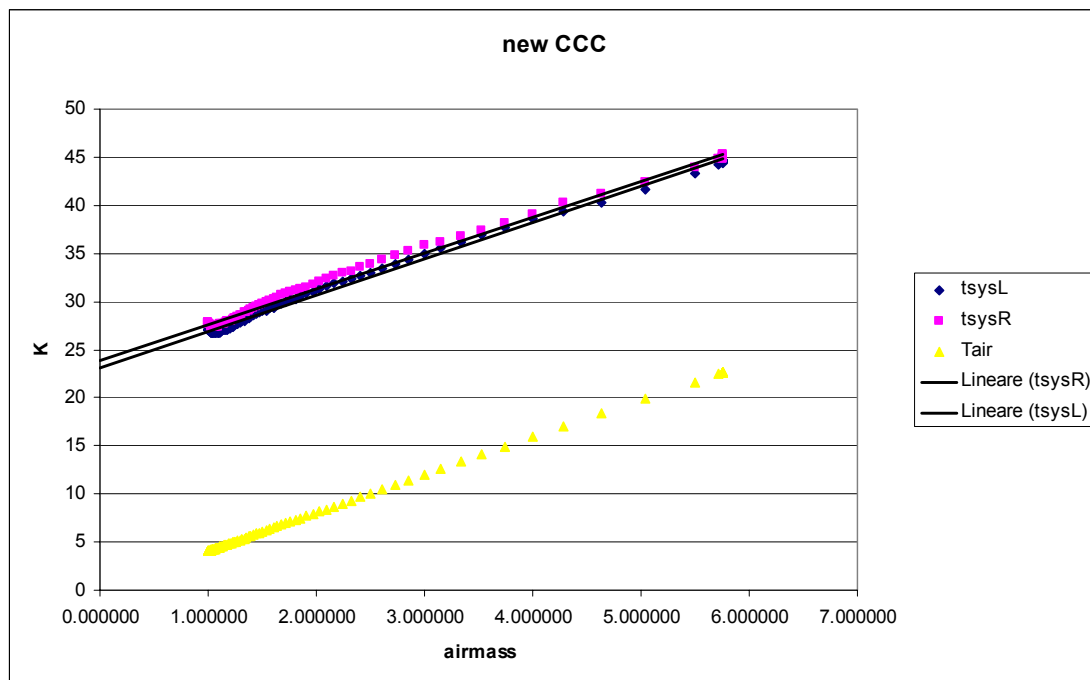


Figura 10.1: tsys vs airmass e determinazione T<sub>0</sub>

Il prolungamento della funzione tsys rispetto all'airmass incontra l'asse delle ordinate in un punto denominato T<sub>0</sub>, l'equivalente di una ipotetica tsys allo zenith senza atmosfera. Questo valore e' composto in prima approssimazione da:

$$T_0 = T_{ric} + T_f + T_t + T_s$$

Dove:

$T_{ric}$  rumore del solo ricevitore

$T_f$  temperatura del fondo cosmico (2.73 K)

$T_t$  rumore introdotto dal telone di copertura (~1.5K)

$T_s$  rumore di spill-over

Conoscendo da misure di laboratorio il valore delle temperature di ricevitore e' stato possibile ricavare i contributi di spill-over alle varie elevazioni, come mostrato dal grafico10.2:

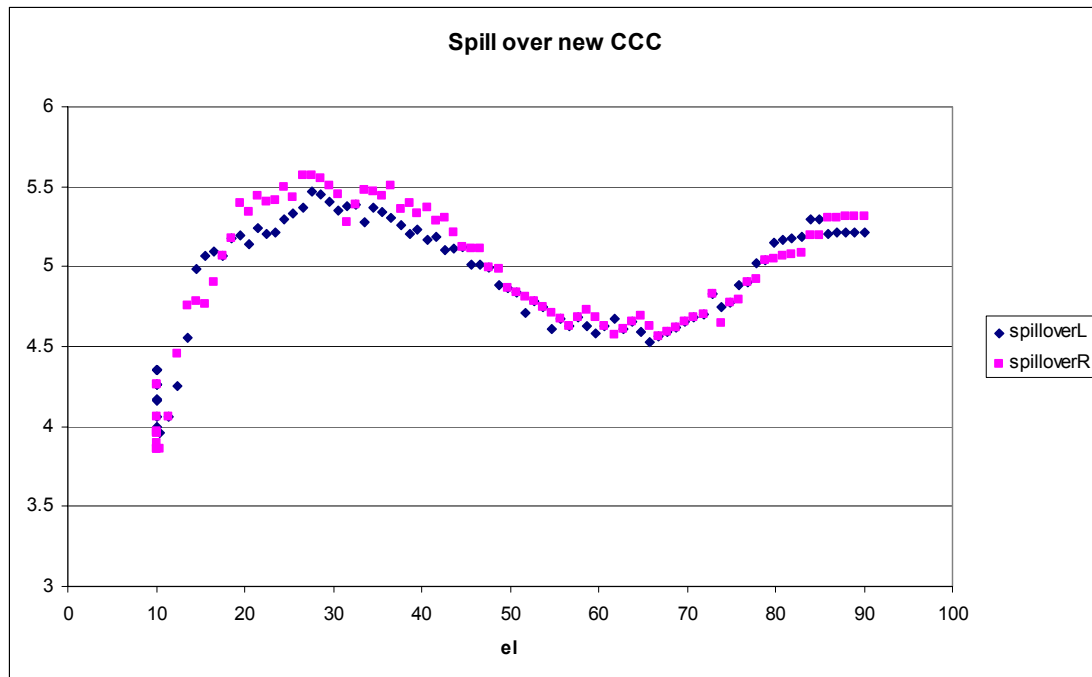


Figura 10.2: spill-over vs elevazione

La parte a bassa elevazione di questo ultimo grafico non sembra attendibile perché ha un andamento in forte contrasto con l'aspettativa che lo spill-over aumenti al diminuire dell'elevazione. Si pensa che la causa sia la imprecisione della funzione di calcolo del contributo dell'airmass, che alle basse elevazioni arriva a stravolgere l'andamento del grafico.

## 11. PCAL – tono di calibrazione di fase

E' stata misurata l'intensita' del tono di calibrazione (pcal) iniettato all'ingresso del ricevitore per le misure di ritardo di fase, necessarie in VLBI. Il suo valore non deve essere superiore ad alcuni percento del valore della Tsys, mediato su tutta la banda.

Da misure effettuate il pcal e risultato essere di circa il 4% del valore della tsys.

Da un successivo test e\_VLBI con il correlatore JIVE abbiamo avuto conferma che il valore iniettato e' adeguato.

## 12. VLBI

Come detto al paragrafo precedente con questo nuovo ricevitore è stato effettuato un test, in occasione del già previsto test a 5GHz e-VLBI. Con l'occasione sono state trovate le frange dal correlatore JIVE, cosicché la corretta esecuzione del sistema ricevente è completa, anche dal punto di vista interferometrico.

### 13. Riferimenti

- [1] A. Orfei, G. Maccaferri, A. Orlati “Ricevitore 6-7GHz per l’antenna parabolica di Medicina nella nuova configurazione di agilità in frequenza” IRA 388/06
- [2] M. Poloni, P. Bolli, A. Orfei, "Considerazioni aggiuntive sullo studio delle prestazioni EM dell'antenna parabolica di Medicina ed analisi dei fenomeni di bloccaggio," IRA 364/04.
- [3] MEDREP\_002Bfinale.pdf, relazione finale TILAB
- [4] P. Bolli, A. Orfei, "Prestazioni EM in funzione della posizione di montaggio dei feed in fuoco Cassegrain per l'antenna parabolica di Medicina," IRA 347/03.
- [5] A.Orlati, G.Maccaferri “Calibrazioni di guadagno dei ricevitori VLBI di Medicina”, IRA 341/03
- [6]File”5G\_MISURE\_TSYS.xls”, comunicazione interna
- [7] C. Bortolotti, M.Roma “Misure interferenze fra 4-6GHz “, comunicazione interna

## **Appendice**

**Considerazioni sull'efficienza d'antenna misurata con il nuovo ricevitore  
4.3-5.8GHz di Medicina.**

A. Orfei, P. Bolli

## PREMESSA

I grafici di Fig. 6.4, 6.5 sono le curve di guadagno del nuovo 5GHz larga banda, misurate su antenna dopo una campagna. A parte la diffusione dei dati a bassa frequenza, vicino a 4.3GHz dovuto agli effetti delle forti interferenze ivi presenti, c'è un abbastanza chiaro andamento che porta a dire che a 4.3GHz il guadagno in K/Jy (o meglio l'efficienza d'antenna  $\eta$ ) è leggermente maggiore che a 5.05GHz, che a sua volta è chiaramente maggiore che a 5.8GHz. La cosa è un po' più evidente a 4.3GHz nella curva Left, dalla quale si può tentare di estrarre i seguenti valori:

4.3GHz  $G=0.17\text{K/Jy}$  (59% di  $\eta$ )

5.05GHz  $G=0.16\text{K/Jy}$  (55%)

5.8GHz  $G=0.15\text{K/Jy}$  (52%)

La causa che giustifica i diversi valori di efficienza risiede nel fatto che l'horn mostra un taper diverso alle tre diverse frequenze (cfr. MEDREP\_002Bfinale.doc, pag. 61-66), -9.5dB, -12dB, -14.5dB rispettivamente a 4.3, 5.05, 5.8GHz.

Rispetto a 5.05GHz, posto=1, si ottiene  $\eta(4.3)=1.07$ ;  $\eta(5.8)=0.95$ .

## SIMULAZIONI GRASP8

I rapporti relativi che si ottengono dalla simulazione di GRASP8 sono, posto  $\eta(5.05)=1$ :

$\eta(4.3)=1.06$

$\eta(5.8)=0.95$

non troppo diversi col misurato su antenna!

Tuttavia la sola simulazione grasp non è però attualmente sufficiente per determinare tutti i contributi di efficienza in quanto non è ancora modellato nella sua interezza il contributo di bloccaggio, l'effetto del return e insertion loss del sistema feed. Questi ultimi verranno stimati con formule. Dalla simulazione si ottengono solo  $\eta_{\text{Spill}}$ ,  $\eta_{\text{Taper}}$ ,  $\eta_{\text{Phase}}$ .

## VERIFICA: CALCOLO DELL'EFFICIENZA.

La simulazione GRASP8, senza modellare il bloccaggio nella sua interezza, porge i seguenti contributi di efficienza a 5.05GHz:

**$\eta_{\text{Spill}}=0.88$**

**$\eta_{\text{Taper}}=0.82$**

**$\eta_{\text{Phase}}=0.97$**

che, da soli, porgerebbero una efficienza pari a 0.70.

Si può senz'altro porre:

**$\eta_{\text{FeedReturnLoss}}=1$**  (cfr. MEDREP\_002Bfinale.doc, pag. 71)

mentre

**$\eta_{\text{Surface}}=0.98$**  (circa 0.6mm di rms surface confrontati con 60mm di lunghezza d'onda)

e si consideri, sicuri di non sbagliare,

**$\eta_{\text{Cross}}*\eta_{\text{Diffrac}}*\eta_{\text{Loss}}=0.98$**

la funzione di  $\eta_{\text{Totale}}$  è molto, molto blanda rispetto a considerare tale valore 0.97 o 0.98 o 0.99.

Il bloccaggio Rudge "THE HANDBOOK OF ANTENNA DESIGN VOL.1 E 2" lo calcola così:

da subriflettore,  $\eta_{\text{Sub}}=(1-(A_{\text{Sub}}/A_{\text{dish}})/\eta_{\text{Taper}})^2$

da quadrupode,  $\eta_{\text{Quad}}=(1-A_{\text{quad}}/A_{\text{dish}})^2$



Per Medicina , Fig. A.1, si ottiene,

$\eta_{\text{Sub}}=0.98$

si vuole far notare come anche non dividere per  $\eta_{\text{Taper}}$  non sposta sostanzialmente il valore.

$\eta_{\text{Quad}}=0.94$

quindi

**$\eta_{\text{Block}}=0.92$**

I valori di bloccaggio sopra riportati sono ottenuti da considerazioni di natura geometrica; si è quindi cercato di stimare l'efficienza di bloccaggio anche basandosi su simulazioni elettromagnetiche. E' stata pertanto effettuata una simulazione GRASP8 la quale ha fornito alla frequenza di 5.05GHz un'efficienza di bloccaggio del quadropode pari al 91.2% (contro il 94% stimato da considerazioni di sola natura geometrica). La differenza tra questi ultimi due valori (91.2% e 94%) può essere spiegata ricorrendo al contributo di diffrazione che attraverso la mascheratura geometrica non viene tenuto in considerazione. Considerando quindi la nuova efficienza degli struts di 91.2%, l'efficienza di bloccaggio viene pari a 89.4%.

Il feed insertion loss $\approx$ 0.12dB (cfr. MEDREP\_002Bfinale.doc, pag. 71) quindi

**$\eta_{\text{FeedLoss}}=0.97$**

Quindi in totale si ha (tra parentesi i valori che derivano dal bloccaggio 89.4% invece di 92%):

**$\eta_{\text{Totale}}=0.88*0.82*1*0.97*0.98*0.98*0.92*0.97=0.60$  (0.58) a 5.05GHz**

Per le altre frequenze la simulazione porge:

a 4.3GHz:

**$\eta_{\text{Spill}}=0.84$**

**$\eta_{\text{Taper}}=0.88$**

**$\eta_{\text{Phase}}=0.96$**

**$\eta_{\text{Surface}}=0.99$**

**$\eta_{\text{Totale}}=0.84*0.88*0.96*1*0.98*0.99*0.92*0.97=0.62$  (0.60) a 4.3GHz**

a 5.8GHz :

**$\eta_{\text{Spill}}=0.90$**

**$\eta_{\text{Taper}}=0.78$**

**$\eta_{\text{Phase}}=0.96$**

**$\eta_{\text{Surface}}=0.98$**

**$\eta_{\text{Totale}}=0.90*0.78*0.96*1*0.98*0.98*0.92*0.97=0.58$  (0.56) a 5.8GHz**

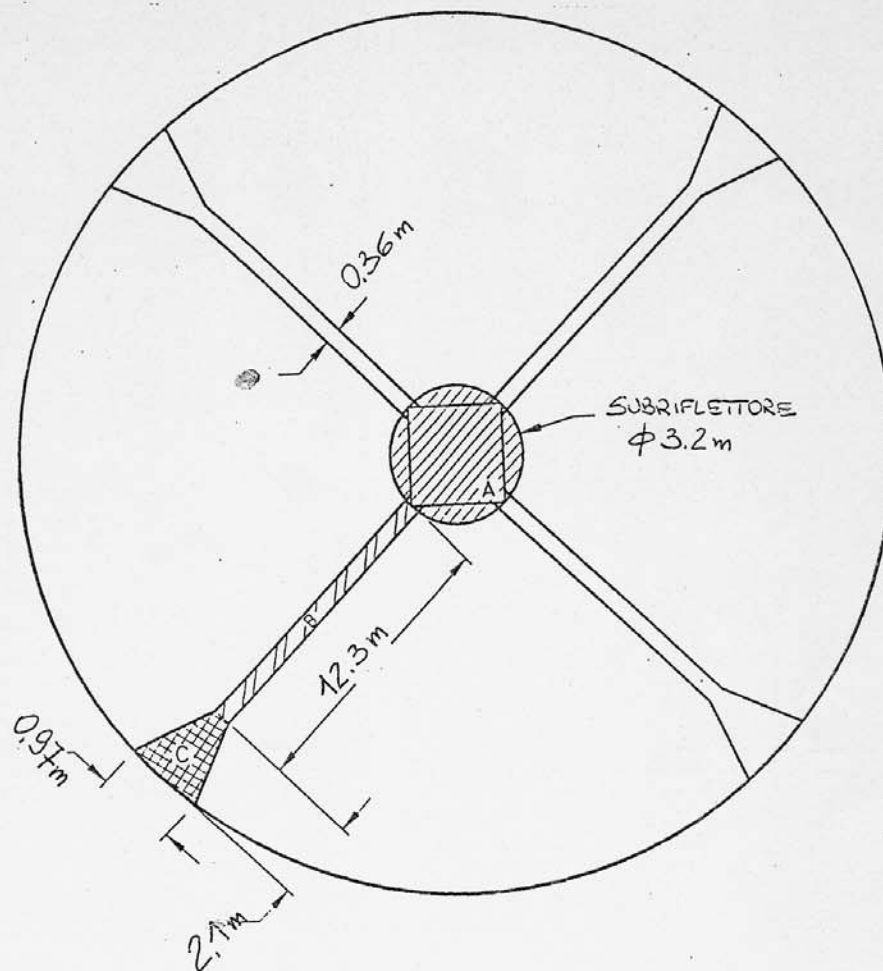
I rapporti di efficienza a questo punto divengono:

$\eta(4.3)=1.03$

$\eta(5.8)=0.97$

C'è da dire che i dati estratti dalla fig. 6.4 non sono così accurati, a 4.3GHz potrebbe starci anche  $G=0.165\text{K/Jy}$  ( $\eta=56.9\%$ ), col che il rapporto d'efficienza diverrebbe  $\eta(4.3)=1.03$ .

# BLOCKAGE DIAGRAM (Configurazione NUOVA)



- 1 - AREA A =  $8.04 \text{ m}^2$   
 4 - AREA B =  $17.71 \text{ m}^2$   
 4 - AREA C =  $5.58 \text{ m}^2$   
 TOTALE =  $31.33 \text{ m}^2$

$$\% \text{ SHADED} = \frac{31.33 \times 100}{16^2 \times \pi} = 3.835\%$$

Fig. A.1 Dati geometrici per il bloccaggio antenna Medicina