

**Correzione di errori sistematici
di puntamento
sulla parabola VLBI di Medicina**

Tonino Pisanu, Alessandro Orfei, Giuseppe Maccaferri, Marco Morsiani.

Rapporto Interno IRA N° 307/01

Indice

Sommario

1	La correzione di puntamento nel Field System	3
1.1	Introduzione	3
1.2	Il modello di puntamento	5
1.3	Come calcolare il modello di puntamento	7
1.4	I calibratori di puntamento	10
1.5	Trattamento dei dati	15
2	Calibrazione di Guadagno	20
2.1	Introduzione	20
2.2	Calibrazioni da fare prima di un run VLBI	22
3	Correzioni con le livelle e i sensori di temperatura	24
3.1	Introduzione	24
3.2	Il sistema d'acquisizione	26
3.3	Come acquisire i dati delle livelle	29
3.4	Correzione dell'inclinazione del piano di azimuth	31
3.5	Look up Table	34
	Conclusioni	

A differenza dei telescopi, il puntamento e l'inseguimento in un radiotelescopio, avvengono entrambi per così dire alla cieca. Così come nel telescopio, le coordinate Azimuth ed Elevazione in cui si trova la sorgente vengono inviate all'*ACU Antenna Control Unit*, che punta l'antenna alla posizione comandata. Gli encoder utilizzati nei moderni radiotelescopi, hanno risoluzioni dell'ordine di 22 bit, corrispondenti a circa 0.3 arcsec. Una volta che l'antenna è arrivata sulla sorgente, anche il successivo inseguimento avviene tramite coordinate comandate, senza che si abbia nessun riscontro in tempo reale sulla efficacia del puntamento, come avviene invece utilizzando la camera di guida nei telescopi ottici.

Questo significa che errori non-sistematici, quali ad esempio, deformazioni termiche sulla struttura, si ripercuotono direttamente sul puntamento senza che si riesca a correggerli.

Per ovviare a questo problema, nei radiotelescopi che operano a frequenze oltre i 100 GHz in cui i beam sono molto piccoli, (ad esempio il 30 metri di Pico Veleta), ogni qualche ora si riaggiusta il puntamento, verificando su delle sorgenti calibratori.

La differenza sostanziale tra i due strumenti, sta nel fatto che i telescopi ottici attuali hanno una dimensione tale da permettere il loro posizionamento in ambienti a temperatura controllata e con un loro utilizzo solo notturno, quindi in ambiente con sbalzi termici ridotti. Nel caso dei radiotelescopi invece abbiamo delle strutture le cui dimensioni ne impediscono un loro posizionamento in ambiente controllato a meno di costose coperture (radome) ed inoltre potendo essere utilizzati anche di giorno, risentono molto dei gradienti termici.

Per quanto riguarda la correzione degli errori sistematici di cui nel seguente lavoro, in entrambi i tipi di telescopi essi vengono corretti principalmente utilizzando dei modelli di puntamento.

Sommario

Gli errori di puntamento di un radiotelescopio vengono divisi, per comodità, in due categorie, quelli sistematici o ripetibili e quelli non sistematici o casuali. Alla prima categoria appartengono quella classe d'errori il cui effetto può essere previsto e non varia nel tempo, come ad esempio errori dovuti ad irregolarità della rotaia, non esatta perpendicolarità dell'asse di azimuth o non-ortogonalità fra questo e quello di elevazione, etc. Questo tipo di errori possono venire corretti se siamo in grado di prevederne gli effetti sul puntamento dell'antenna, cosa che può essere fatta con l'ausilio di un opportuno modello.

Gli errori non sistematici sono invece quelli causati ad esempio da gradienti termici o dal vento, che non possono venire corretti utilizzando dei modelli, poichè non hanno una dipendenza temporale prevedibile. Nel loro caso quindi, quello che si può fare è di misurare in tempo reale, o le deformazioni, o il gradiente di temperatura oppure il vento e tentare di compensare l'effetto.

In questo lavoro, abbiamo considerato solamente gli errori sistematici e come avviene la loro correzione sull'antenna di Medicina.

Per chiarire meglio il funzionamento del sistema di puntamento di un radiotelescopio, descriviamo prima brevemente come avviene il puntamento in un telescopio ottico.

Le coordinate della sorgente che si vuole puntare, opportunamente processate e convertite da equatoriali in alt-azimutali, vengono inviate al servosistema, che comanda i motori e porta lo strumento nella posizione desiderata.

Una volta raggiunta la posizione con un certo grado di precisione, la radiazione proveniente da una stella opportunamente selezionata dal campo di vista, viene inviata su un CCD, detto camera di guida. Una volta centrata tale sorgente, essa viene utilizzata per la guida del telescopio, facendo in modo che la sua radiazione cada sempre in una regione di pixels ben definito della camera. In questo modo, quindi anche se il puntamento iniziale del telescopio fosse stato per la presenza di eventuali errori sbagliato, con l'utilizzo della camera di guida, si riesce a fare l'inseguimento della sorgente con precisioni di frazioni di arcsec.

Capitolo 1

La correzione di puntamento nel Field System

1.1 Introduzione

Il radiotelescopio da 32 metri di Medicina, partecipa attivamente alle osservazioni del *VLBI Very Long Baseline Interferometry*, un radiointerferometro intercontinentale, costituito da un insieme di radiotelescopi distribuiti in varie regioni della terra.

Il software principale utilizzato per la gestione complessiva della parabola VLBI di Medicina é il Filed System (FS), un insieme di programmi sviluppato anni orsono dagli americani della NASA/GSFC per la gestione automatica dei terminali di acquisizione dati VLBI (MKII, MKIII, MKIV). Costantemente aggiornato fino ai giorni nostri e di recente portato su piattaforma Linux é stato adottato a Medicina come software di gestione generale della stazione, dopo opportune modifiche ed integrazioni. Questo ha comportato ad esempio l'integrazione con i programmi per l'interfacciamento e la guida del telescopio, per la comunicazione con il subriflettore, i ricevitori, ecc. Sono stati anche creati comandi specifici per le nostre esigenze.

In particolare si é dovuto prevedere e realizzare un'estensione che permettesse l'utilizzo pratico e veloce di tutti i ricevitori disponibili, contrariamente alla originale configurazione, dove era previsto l'uso del solo ricevitore per geodinamica (SX).

Il FS si basa su un linguaggio appositamente sviluppato per l'astronomia *SNAP language (Standard Notation for Astronomical Procedures)* composto

di comandi e di macro (insieme di comandi SNAP) detti procedure. Alcune di queste sono utilizzate per configurare inizialmente il sistema e proprio qui si è intervenuto riproducendo queste procedure così da averne una copia opportunamente adattata per ogni ricevitore.

Vengono anche utilizzati file di controllo, con al loro interno parametri significativi per la configurazione. Uno di questi è *mdlpo.ctl*, che contiene il modello di puntamento. Per poter gestire più modelli (uno per ciascun ricevitore) si sono creati più file (*tpnxxx.ctl* dove *xxx* rappresenta il codice del ricevitore [vedi tabella pag. 7]) che, all'atto della configurazione di un nuovo ricevitore vengono ricopiati su *mdlpo.ctl*, il file che il FS si aspetta di trovare. Un altro computer presente alla stazione è adibito all'esecuzione dei singoli programmi che controllano l'hardware sviluppato a Medicina e specifico per la parabola VLBI (livelle elettroniche, ricevitori, orologi, ecc.).

La piattaforma utilizzata è WindowsNT, abbastanza stabile e per la quale sono facilmente reperibili i driver delle schede hardware più comunemente utilizzate.

Il programma principale di controllo del *FS*, denominato *BOSS*, accetta i comandi codificati nel linguaggio, mentre il programma che permette all'operatore di comunicare con il *FS* è *OPRIN*. Il programma con il quale si possono preparare in modo interattivo le schedule per un'osservazione VLBI si chiama *SCHED*, mentre *DRUDG* è il programma che accetta come *input* la schedula di un esperimento e dà come *output* la sequenza dei comandi SNAP che devono essere compiuti presso ogni singola stazione.

La scrittura di nuove procedure o la modifica di quelle già esistenti, viene fatta utilizzando il programma *PFMED*.

Tra i programmi disponibili nel *FS* e che più ci interessano, ce n'è un gruppo denominato *Antenna Calibration Programs (ACP)* che serve a misurare le prestazioni dell'antenna in termini di guadagno e a determinare le calibrazioni di puntamento.

Essi sono: **aquir**, **fivpt**, **onoff**, **error**, **resid**, **xtrac** e **sigma**. Per ogni ulteriore chiarimento sui comandi SNAP e sulle procedure, consultare la documentazione sul VLBI fornita dalla NASA/GSFC.

1.2 Il modello di puntamento

Per correggere gli errori di puntamento sistematici, il *FS* prevede l'uso di un modello, nel quale vengono considerate le principali cause fisiche che contribuiscono all'errore totale dell'antenna. Ci sono vari tipi di errore: quelli dovuti a deformazioni meccaniche della struttura, errato allineamento degli assi etc; ognuno caratterizzato da uno o più parametri. Il valore ottimale di questi parametri viene ricavato facendo delle campagne di calibrazione del puntamento e misurando gli errori compiuti dall'antenna nel puntare delle sorgenti scelte come calibratori.

Proprio per il fatto che ci sono degli errori, la posizione comandata all'antenna, non coincide in generale con quella in cui si trova realmente la sorgente.

La prima fase del lavoro, consiste dunque nel determinare quanto sono questi errori, andandoli a misurare su sorgenti scelte sufficientemente intense e puntiformi. Intense affinché siano facilmente detectabili e puntiformi rispetto alle dimensioni del beam dell'antenna, in modo che la posizione sia ben determinata.

Per misurare quant'è questo errore, si fanno degli scan di vari punti (11 nel nostro caso) sia in azimuth (*lonfit*) che in elevazione (*latfit*) attorno alla posizione comandata, per trovare il massimo d'intensità della sorgente, al quale corrisponde la posizione reale della sorgente.

È chiaro che il numero di posizioni acquisite deve essere sufficientemente grande in modo da avere una sufficiente ridondanza di punti e una buona distribuzione degli stessi in cielo, in modo che il modello sia calcolato nelle vicinanze di tutte le zone raggiungibili dall'antenna.

Ricordiamo infatti, che le correzioni per le zone non campionate, vengono estrapolate da quelle effettivamente calcolate durante la calibrazione.

Sui dati ottenuti, viene fatto un fit ai minimi quadrati con una funzione Gaussiana, più un offset e una pendenza, come quelle mostrata nell'equazione seguente:

$$T_i = T_0 + T_s(t_i - t_0) + T_p e^{-4 \ln 2 \left(\frac{O_i - O_0}{FWHM}\right)^2} \quad (1.1)$$

Il fatto che venga utilizzata una funzione Gaussiana, è dovuto alla forma del power pattern della nostra antenna, che viene approssimato molto bene

proprio da una Gaussiana. Questo naturalmente può non essere vero per altri tipi di antenne.

In questa equazione, T_i rappresenta la potenza misurata nel punto i -esimo, t_i il tempo di misura, t_0 il tempo di misura dello scan centrale, O_i l'offset dello scan i -esimo, mentre i valori che si ottengono dal fit sono: T_0 che rappresenta il livello di potenza della radiazione di fondo, T_s la pendenza, T_p il livello di potenza del picco, FWHM la larghezza a mezza altezza della Gaussiana e il parametro che ci interessa maggiormente, O_0 che rappresenta la posizione del picco.

La posizione del massimo O_0 di questa funzione, corrisponde dunque con buona approssimazione alla posizione reale della sorgente. L'errore di puntamento è rappresentato quindi dalla differenza tra la posizione teorica comandata e la posizione del massimo.

I valori degli offset così trovati, vengono utilizzati a loro volta, per fare un fit ai minimi quadrati, sui parametri che descrivono il modello di puntamento.

Il modello presente nel *FS*, prevede la possibilità di usare fino a 20 parametri, a seconda del tipo di antenna utilizzata.

Nel nostro caso il modello utilizzato, che rappresenta gli errori di Azimuth ΔAz e di elevazione ΔEl , risulta così costituito:

$$\Delta Az = P_1 + P_3 \tan El - P_4 \sec El + [P_5 \sin Az - P_6 \cos Az] \tan El \quad (1.2)$$

$$\Delta El = P_5 \cos Az + P_6 \sin Az + P_7 + P_8 \cos El \quad (1.3)$$

In queste equazioni, P_1 e P_7 rappresentano gli errori dovuti alla non perfetta coincidenza degli zeri degli *encoder* di Azimuth e di Elevazione, P_3 rappresenta l'errore dovuto alla non perpendicolarità tra l'asse di azimuth e l'asse di elevazione, P_4 tiene conto dell'errore di collimazione, cioè della non perpendicolarità tra l'asse di elevazione e il *beam* dell'antenna. P_5 e P_6 rappresentano gli angoli che l'asse di azimuth forma rispettivamente con la direzione di azimuth zero e 90 gradi, P_8 l'errore dovuto alle deformazioni gravitazionali.

Rappresentiamo di seguito valori tipici dei parametri in gradi, per l'antenna di Medicina calcolati con il ricevitore a 22 GHz in fuoco primario.

Data	P_1	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
252/95	-0.0246	0.0016	0.0013	-0.0102	0.0066	0.1003	-0.0899
004/96	-0.0352	-0.0083	-0.0109	-0.0119	0.0062	0.0397	0.0036
363/96	-0.0945	0.0138	0.0038	-0.0036	0.0003	0.1087	-0.1209
003/97	-0.1027	0.0093	-0.0026	-0.0028	-0.0005	0.1146	-0.1285
276/97	-0.0982	0.0076	-0.0048	-0.003	0.001	0.1053	-0.1344
282/97	-0.1	0.0054	-0.0074	-0.0025	0.0006	0.1068	-0.141
345/98	-0.0994	0.0073	-0.0057	-0.004	0.0001	0.1084	-0.1358
080/00 ¹	-0.0912	0.0104	0	-0.0047	0.0016	-0.1376	0.0817
264/00 ¹	-0.0908	0.0104	-0.0006	-0.0033	-0.0005	-0.2083	0.1558

Come si può vedere dalla tabella, il contributo maggiore alla correzione, arriva dai parametri P_1 , P_7 e P_8 , il parametro P_2 come mostrato nei documenti relativi al *FS*, non viene utilizzato nelle antenne con montatura Alt/Azimutale come é la nostra.

Nelle ultime due calibrazioni del puntamento, abbiamo introdotto i parametri correttivi P_9 e P_{11} , anch'essi previsti nel modello di puntamento del *FS* e il motivo di ciò verrà chiarito più avanti.

1.3 Come calcolare il modello di puntamento

La procedura di calcolo degli errori e la successiva valutazione del miglior modello di puntamento, può venire effettuata in modo quasi automatico dal *FS*. I programmi d'acquisizione **fvpt**(per la misura degli offset di puntamento) e **onoff**(calcolo dei parametri d'antenna), possono venire usati sia come semplici comandi *SNAP* che associati al programma **aquir**, per automatizzare l'intero processo.

Aquir necessita di due *file* di controllo che si trovano nella directory *control*, uno (*kkppo.ctl* per il ricevitore *kk*) contiene la lista delle sorgenti di calibrazione e delle loro caratteristiche (posizione, flusso, velocità etc..) insieme ad alcune procedure *SNAP* per impostare la configurazione d'acquisizione del MARK IV, mentre l'altro *tpnkkp.ctl* contiene il modello di puntamento utilizzato (quello senza i flag di commento), insieme a quelli calcolati in precedenza.

¹Utilizzo dei parametri P_9 e P_{11}

Ricordiamo che per poter essere operative, le librerie di procedure debbono prima venire caricate nel *FS* utilizzando il comando *proc=nomeprocedura* e che il numero massimo di esse disponibili contemporaneamente é di due. La libreria che viene caricata automaticamente durante l'esecuzione del *FS* é la *station.prc*, per cui a Medicina é stata fatta la scelta di tenere la maggior parte delle procedure utilizzate all'interno di questa libreria, come ad esempio quelle relative al puntamento.

Per aumentare la comprensione, sono state scritte delle procedure che portano il nome del ricevitore da calibrare. Avremo quindi *acquirekkp*, *acquirellp*, *acquiresxp*, *acquireccp* e cosí via. Ricordarsi sempre che prima di lanciare questi comandi, é necessario che sia configurato il giusto ricevitore, cosa che viene fatta ad esempio nel caso del *kk* in fuoco primario, lanciando la procedura *setupkkp*. All'interno di questa procedura, oltre ad altri comandi, si trova *medconf=kkp*, il quale imposta il giusto modello di puntamento, caricandolo dal file *tpnkkp.ctl* nel file *mdlpo.ctl* che é quello che viene caricato dal *FS*.

Nome procedura	frequenza ricevitore(MHz)	lunghezza d'onda (cm)
<i>acquirekkp</i>	22000	1.3
<i>acquirekkc</i>	22000	1.3
<i>acquiresxp</i>	s=2000 x=8000	s=13, x=3.6
<i>acquirellp</i>	1600	18
<i>acquirelhp</i>	1400	21
<i>acquireccc</i>	5000	6
<i>acquirechc</i>	6000	5
<i>acquireqqc</i>	43000	0.7

Nei *control* file ci sono alcune sorgenti che sono presenti piú volte all'interno della lista, esse verranno riosservate piú volte durante uno scan, poiché si vuole avere una copertura del cielo il piú uniforme possibile. Attenzione a non editare le procedure, ad esempio con l'editor di testi *UNIX*, vi all'esterno di *PFMED*, poiché quando il *FS* andrà a rileggerle non sará piú in grado di farlo.

Nel caso in cui la calibrazione riguardi il ricevitore a 22 GHz, per il quale si utilizzano dei maser dell'acqua, prima di lanciare il comando *acquirekkp* bisogna impostare la giusta frequenza IF (Intermediate Frequency) d'osservazione, che cambia a seconda del periodo di tempo in cui si effettua la calibrazione. Per calcolare la giusta IF da impostare, si utilizza un

programma denominato *vlsr*. Questi accetta come input il file contenente la lista dei maser, nel nostro caso denominato *maser.h2o* e da come output le IF che bisogna inserire nelle procedure relative ai maser utilizzati, che si trovano dentro la libreria *station.prc*.

Per modificare le procedure, si lancia il programma *pfmed* con il comando da tastiera (Ctrl+Alt+P) oppure utilizzando il tasto centrale del mouse. Si rende operativa la libreria con il comando *pf station.prc* anche se in genere questa risulta essere sempre attiva dalla partenza del *FS* e si vanno poi a vedere le procedure interne alla libreria con il comando *dl*. Con il comando *pdfd* si può vedere quali sono le librerie di procedure presenti, mentre con il comando *ed, nome del maser*, si editano quelle sulle quali si vogliono fare le correzioni, utilizzando poi i comandi del *vi*.

Un'altra operazione da fare prima di lanciare il comando *acquirekkp* è eliminare il file *point.log*, che contiene tutte le informazioni relative a calibrazioni precedenti e sul quale verranno poi scritte tutte le operazioni fatte dall'antenna, assieme alle informazioni su posizione e temperatura delle sorgenti puntate.

Inizialmente il modello che viene utilizzato è quello relativo all'ultima calibrazione di puntamento, per cui può capitare che la correzione che esso introduce non sia sufficiente a centrare bene i calibratori.

È la stessa cosa che capita quando viene montato un nuovo ricevitore, per il quale non si hanno a disposizione dei modelli. In tal caso in genere si parte utilizzando un modello preso da un altro ricevitore e poi si fanno degli aggiustamenti manuali per cercare di centrare la sorgente. In generale i parametri sui quali più facilmente ci possono essere delle correzioni da fare, sono quelli che hanno valori maggiori, cioè i due parametri di offset degli encoder (P_1 per l'azimuth e P_7 l'elevazione).

Fra i controlli da fare per vedere se il sistema stia lavorando bene c'è la T_{sys} , che viene calcolata utilizzando la formula seguente:

$$T_{sys} = \frac{tpi_{off} - tpi_0}{tpi_{cal} - tpi_{off}} T_{cal} \quad (1.4)$$

dove: tpi_{off} rappresenta il valore di tensione letto sul total power integrator quando l'antenna punta in una zona di cielo priva di sorgenti, tpi_0 il valore di tensione ottenuto impostando gli attenuatori al loro massimo valore (63 dB), T_{cal} la temperatura in Kelvin del generatore di rumore a quella

frequenza e $t_{pi_{cal}}$ il valore di tensione letto con il generatore di rumore acceso.

Bisogna poi controllare se c'è molta differenza fra l'ora del computer che contiene il *FS* e l'*UT*, utilizzando il comando *sy=run setcl &* (o *Crtl + Shift +S*) in cui l'ultima cifra della riga *time*, rappresenta la differenza in centesimi di secondo, valori tipici sono di qualche centesimo. Grosse differenze nel tempo si ripercuotono direttamente sul puntamento. Controllare inoltre se sia giusto il valore di frequenza impostato sull'oscillatore locale con il comando *medlo*.

1.4 I calibratori di puntamento

La lista dei calibratori di puntamento con le coordinate precessate al 2000, utilizzate nella calibrazione del ricevitore *KK* a 22 GHz è la seguente:

Nome	R.A	Dec	Tipo	Epoca
3C273	122906.76	020308.6	Quasar	2000
3C279	125611.1	-054721.5	Quasar	2000
3C345	164258.8	394837.	Quasar	2000
3C84	031948.16	413042.1	Galassia di Seyfert	2000
3C454.3	225357.7	160853.5	Quasar	2000
1733M130	173302.7	-130449.5	Quasar	2000
SGRB2	174719.71	-282302.2	Maser	2000
W3OH	022704.69	615225.2	Maser	2000
ORIH2O	053514.17	-052234.5	Maser	2000
W49N	191013.41	090614.4	Maser	2000

Tra queste sorgenti, le prime sette sono sorgenti che emettono nel continuo, mentre le altre sono nubi molecolari che presentano al loro interno dei maser dell'acqua. Le sorgenti scelte per la calibrazione del guadagno, sono quelle che nel file di controllo, presentano nella colonna degli *ONOFF wait* un numero maggiore di zero, nel nostro caso abbiamo utilizzato cinque minuti.

Nel caso delle sorgenti continue utilizziamo come total integrator i_1 con la massima larghezza di banda, pari a 400 *MHz*, mentre per i maser il detector utilizzato è il *total power integrator* di un *video converter*; noi utilizziamo il v_3 con una larghezza di banda variabile tra 0.5 e 2 *MHz* a seconda della larghezza di emissione del maser.

Nelle sorgenti che emettono sul continuo possiamo utilizzare tutta la banda passante disponibile per avere il migliore SNR, visto che esse emettono in modo uniforme nei range di frequenza osservati.

Nel caso dei maser le sorgenti sono costituite da diversi maser spot, che si muovono in direzioni e con velocità diverse. Questo ha come conseguenza la presenza sulla stessa sorgente di vari spot che emettono a frequenze diverse, dovute all'effetto Doppler. Da osservazioni ad alta risoluzione, si osservano spesso notevoli livelli di variabilità nel flusso dei singoli spot, mentre in genere il flusso integrato rimane costante. Per poter detectare il maser, dobbiamo quindi centrare l'osservazione sul valore di frequenza del picco d'emissione e per avere il migliore SNR utilizzare una larghezza di banda che copra solo il range in cui gli spot emettono.

I valori di velocità di spostamento si ricavano dalla letteratura.

Per quanto riguarda la larghezza di banda la si può ricavare a partire dalla relazione Doppler:

$$\mp v = c \frac{\pm \Delta \nu}{\nu_0} \quad (1.5)$$

dove v rappresenta la velocità di spostamento del maser, positiva se il maser si stá allontanando rispetto a noi e negativa se si stá avvicinando, c la velocità della luce, $\Delta \nu$ lo spostamento in frequenza e ν_0 la frequenza di riposo che nel caso dei maser dell'acqua é 22235.079850 MHz.

Dalla relazione precedente si ottiene che per una velocità di $\mp 1 \text{ Km/s}$ si ottiene uno spostamento Doppler di $\pm 73 \text{ KHz}$. Le velocità di spostamento dei maser sono dell'ordine delle decine di Km/s, per cui larghezze di emissione vanno da alcune frazioni a qualche MHz.

I dati sulle velocità dei maser e quindi sulle frequenze di picco da utilizzare utilizzate, provengono dalle osservazioni fatte dall'Osservatorio di Arcetri.

La soluzione ottimale sarebbe quella di utilizzare procedure differenti per ogni maser, con una banda corrispondente alla differenza tra la $V_{min}-V_{max}$, dove V_{min} è la velocità minima tra quelle assunte dalle varie componenti del maser e V_{max} quella massima, centrare l'osservazione alla frequenza $\nu_{max} + \nu_{min}/2$ e usare la larghezza di banda corrispondente alla $\nu_{max}-\nu_{min}$.

Per vedere se erano disponibili altri maser dell'acqua tra quelli catalogati dal gruppo di Arcetri, si é fatta una ricerca nel loro catalogo e poi fra quelli

con flussi superiori ai 10 Jy, sono stati osservati nel mese di ottobre 2000, quelli mostrati nella tabella seguente:

Nome	R.A	Dec	Epoca	Temperatura osservata (Kelvin)
ir13001	130005.7	052722.1	1950	4.8
ir19213	192122.9	172306.0	1950	2.4
ir21391	21391.03	580229.0	1950	1.58
ir22543	225418.9	614544.0	1950	5.58

I calibratori utilizzati nei ricevitori L^1 , C^2 e SX^3 sono i seguenti:

Nome	R.A	Dec	Epoca	Dim. angolare (")
$3C84^{1,2,3}$	031948.2	413042.1	2000	< 1
$3C123^{1,2,3}$	043704.34	294015.2	2000	20
$0521M365^{1,2,3}$	052258.2	-362733.9	2000	15
$3C147^{1,2,3}$	054236.2	495106.6	2000	< 1
$3C161^{1,2,3}$	062710.1	-055305.2	2000	< 3
$3C218^1$	091805.67	-120544	2000	nucleo 25 halo 200
$3C273B^{1,2,3}$	122906.7	020308.7	2000	< 20
$3C279^{1,2,3}$	125611.2	-054721.5	2000	< 1
$3C286^{1,2,3}$	133108.3	303032.9	2000	< 5
$3C295^{1,2,3}$	141120.7	521209	2000	4
$3C345^{1,2,3}$	164258.8	394837	2000	< 1
$3C348^1$	165108.2	045933.2	2000	115 (2 componenti)
$3C353^1$	172028.2	-005847.5	2000	150
$3C380^{1,2,3}$	182931.7	484447	2000	< 1
$1921M293^{1,2,3}$	192451	-291428.6	2000	< 1
$CYGNUSA^1$	195928.3	404401.8	2000	115
$2134P004^{1,2,3}$	213638.6	004154.2	2000	< 1
$3C454D3^{1,2,3}$	225357.8	160853.6	2000	< 1
$CASSIOPEIA^1$	232324.8	584858.5	2000	180

Bisogna fare attenzione quando si effettua la calibrazione di puntamento per i ricevitori in banda L, SX e C. In queste bande infatti si trovano numerose interferenze, che falsano il valore della temperatura misurata, rendendo impossibile la determinazione del picco della sorgente e quindi la valutazione degli errori di puntamento.

In particolare per evitare la presenza di forti interferenze, sulla IF dei ricevitori a 18 e 21 cm, é stato introdotto un filtro che riduce la IF ad un range compreso tra 330 e 410 MHz, invece della normale IF 100 ÷ 500 MHz presente sugli altri ricevitori.

Come si può vedere dalla fig.1.1, la copertura in cielo con le sorgenti utilizzate non é completa. Per vedere quanto il modello risulti valido anche nelle zone dove non si hanno misure dirette, abbiamo fatto una simulazione. Considerando solo le misure relative a un sottoinsieme di sei sorgenti

delle tredici campionate in una campagna di calibrazione del ricevitore SX. I residui trovati utilizzando questo modello a 100 punti sul quale é stato calcolato, sono stati: $\Delta Az = 6arcsec$ e $\Delta El = 8.1arcsec$. Abbiamo poi applicato il modello cosí ottenuto, ai rimanenti 100 punti ottenuti sulle rimanenti sette sorgenti. Gli offset trovati sono stati: $\Delta Az = 8.1arcsec$ e $\Delta El = 8.2arcsec$ che risultano quindi dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti sui dati delle prime sei sorgenti. Questo significa che il modello corregge bene anche sulle zone del cielo in cui non sono state fatte delle misure dirette.

Chiaramente tanto piú é grande il numero di punti e migliore la loro distribuzione in cielo, tanto migliore e piú accurata ne risulta la correzione. In genere si lavora su campionamenti dell'ordine dei 200 punti.

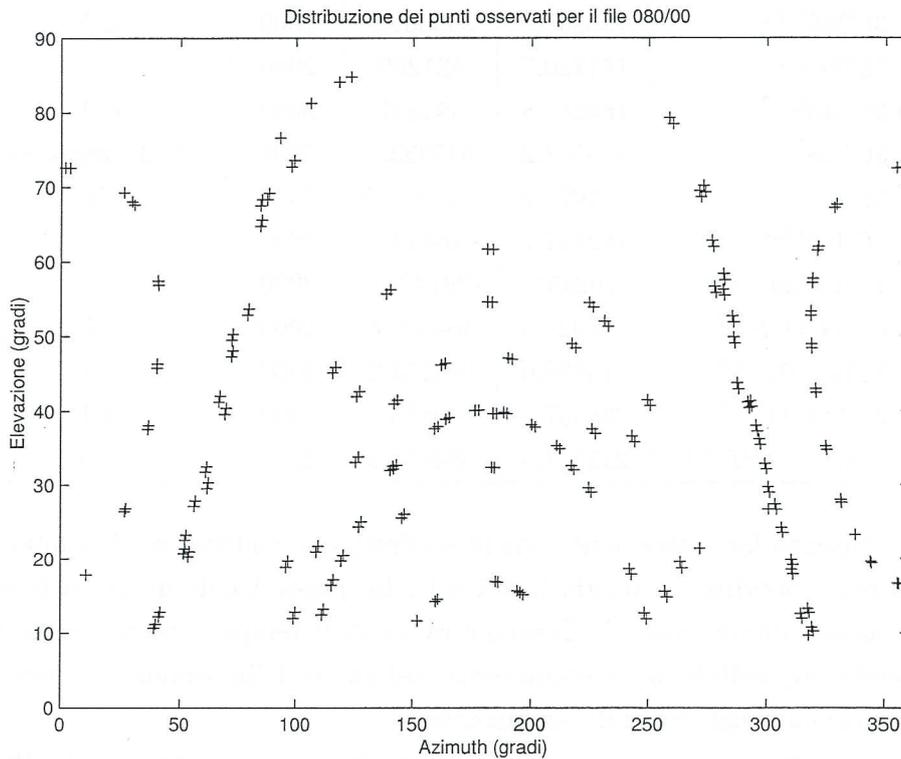


Figura 1.1: Distribuzione dei punti osservati durante l'osservazione 080/00

Molte di queste sorgenti hanno dei flussi piuttosto deboli, per cui l'antenna non sempre é in grado di trovare la posizione del picco. In tali casi, alla fine della riga che riporta gli offset, ci sono degli zeri, ad indicare il fallimento dell'operazione come mostra l'esempio seguente:

xoffset	317.9703	9.6956	0.00318	-0.00876	0.00058	0.00168	1	1
xoffset	337.9786	22.9316	0.00616	-0.00274	0.00230	0.00305	0	1
xoffset	121.7165	11.5869	0.00033	0.00000	0.00353	0.00031	0	0

La riga *xoffset* differisce dalla *offset* per il fatto che gli errori in azimuth sono già corretti per il $\cos(El)$. La seconda e terza riga rappresentano rispettivamente l'azimuth e l'elevazione a cui sono stati misurati i punti, la quarta e quinta, gli offset di azimuth e quello di elevazione e la sesta e settima le deviazioni standard degli offset. Le ultime righe come accennato indicano i flag di successo (1) o di fallimento di *fivept*.

Come si può facilmente intuire più le sorgenti risultano intense, migliore risulta l'SNR e quindi più semplice la determinazione della posizione del picco di emissione.

1.5 Trattamento dei dati

Il programma *acquirekkp* viene fatto girare per circa 24 ore, in modo da avere un numero consistente di punti. I dati acquisiti vengono registrati nel file *point.log* che contiene tutte le informazioni relative alle operazioni svolte dall'antenna. I valori degli offset assieme alle coordinate in cui sono stati calcolati, vengono estratti dal *log file* dal programma *xtrac*, con il quale si possono anche impostare delle opzioni per scartare eventuali dati corrotti.

È importante fare la riduzione dei dati e quindi il calcolo del modello quando risulti ancora attiva la configurazione del ricevitore utilizzato. Questo perché i programmi *xtrac* ed *error* utilizzano il modello caricato in quel momento, che dipende appunto dal ricevitore configurato.

Le operazioni compiute da *xtrac* e da *error*, possono venir fatte utilizzando il programma grafico *pdplt* che risulta molto semplice ed intuitivo da usare.

Con *pdplt*, una volta caricati i dati dal log file con il comando *new file*, viene prodotto il plot dei punti campionati sul piano di azimuth vs. elevazione. Si possono quindi scegliere i plot degli offset di Az o di El in funzione di una di queste coordinate. Se ci sono dei punti che si trovano molto al di fuori dallo zero o con una barra di errore molto grande, possono venire eliminati dal calcolo del modello selezionandoli.

Una volta selezionati i punti da eliminare, si lancia il comando *reprocess*,

dal menú che fa girare *error* sui nuovi dati. Si possono vedere i miglioramenti degli RMS guardando sulla riga *statistics*, dove appaiono appunto i valori degli RMS per le due coordinate.

I file vengono salvati con i nomi specificati nell'input output file options.

I dati in uscita da **error**, sono divisi in tre parti:

1. *observed data*: contengono gli offset misurati utilizzando il modello di puntamento in uso, cioè calcolato durante la precedente campagna di calibrazione;
2. *uncorrected*: contengono i valori degli offset misurati senza l'applicazione di nessun modello;
3. *corrected*: contengono gli offset che rimangono dopo aver fittato i dati con il nuovo modello.

Nella tabella rappresentiamo valori tipici degli offset in arcosecondi, per queste tre serie di dati per il file 263/00 :

Tipo dati	Offset Az	RMS Az	Offset El	RMS El
Uncorrected (arcsec)	-297	23.6	103.8	59.4
Observed (arcsec)	0.7	11.7	3.4	8.2
Corrected (arcsec)	0	9.8	0	10

Dai dati si può vedere quanto sia importante la presenza di un modello di puntamento, infatti senza alcuna correzione gli errori assoluti che il radiotelescopio compie sono dell'ordine dei cento arcsec, che si riducono a zero e con un RMS di circa dieci arcsec dopo una sua applicazione.

La presenza di un trend di tipo sistematico, la si vede molto bene dal grafico 1.2, dove viene plottato l'errore in elevazione senza che sia applicato nessun modello, in funzione dell'elevazione stessa.

Per analizzare i dati e quindi vedere se il modello calcolato ha funzionato bene si possono usare sia il programma **sigma** che **resid** con il quale si possono fare i plot dei residui d'errore.

La presenza nei residui di un qualche ulteriore andamento sistematico, indica che il modello non è stato in grado di correggere bene gli errori, per cui potrebbe essere necessaria l'attivazione di qualche ulteriore parametro per annullarne l'effetto.

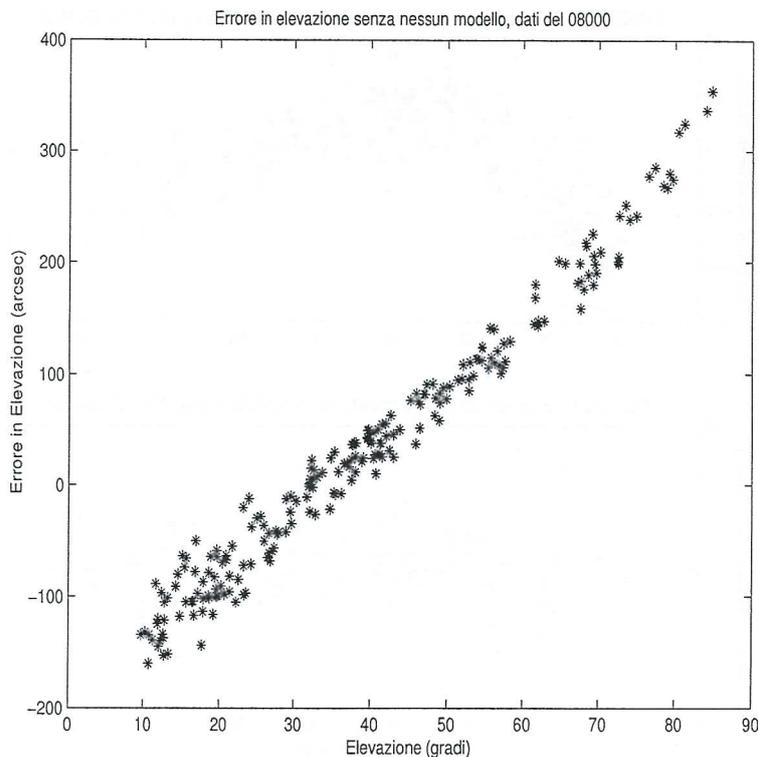


Figura 1.2: Grafico che mostra la dipendenza dell'errore in elevazione dall'elevazione stessa

Nel nostro caso, si notava un certo andamento sistematico a 22 GHz, nei residui dell'elevazione al variare dell'elevazione stessa, come mostrato nel grafico superiore della figura 1.3:

La presenza di questo andamento, ci ha indotto a tentare l'introduzione di nuovi parametri nel modello, cosa che può essere fatta abilitando gli opportuni *flag* nel file *tpnkkp.cvl*.

I parametri aggiunti sono stati il P_9 e il P_{11} , visto che entrambi tengono conto di una dipendenza nell'errore in elevazione in funzione dell'elevazione stessa.

Fisicamente P_9 , rappresenta un errore nel fattore di scala dell'encoder di elevazione che misura un angolo che risulta più grande al crescere dell'elevazione, di quello a cui sta realmente puntando l'antenna.

L'aggiunta al modello anche del parametro P_{11} , ha migliorato ulteriormente la correzione. Ricordiamo che i due parametri appaiono nella formula

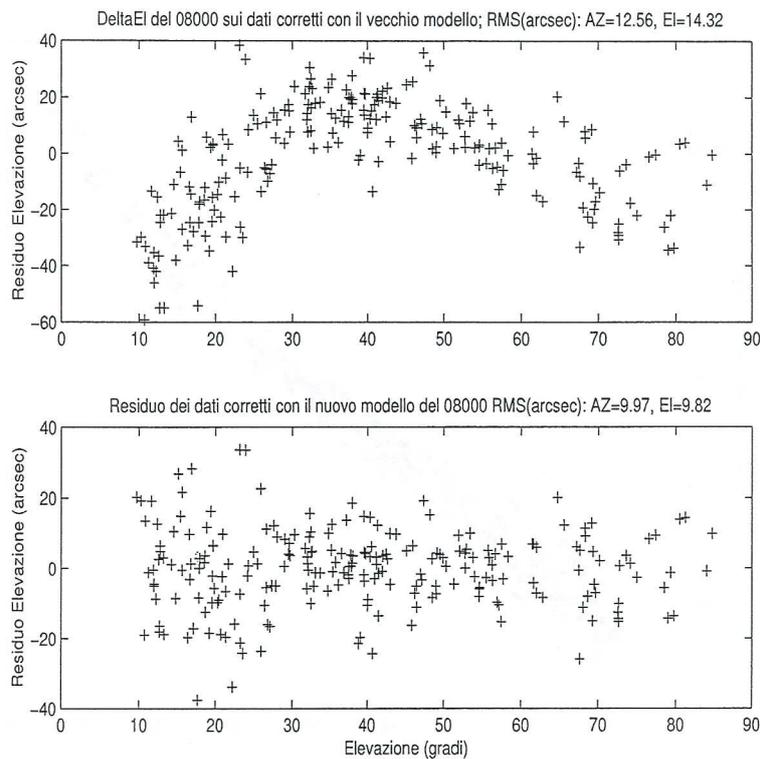


Figura 1.3: Grafici che mostrano gli effetti dell'introduzione dei due nuovi parametri P_9 e P_{11}

di correzione con la seguente espressione:

$$\Delta El = P_9 El + P_{11} \sin(El) \quad (1.6)$$

dove P_9 ha la dimensione di [gradi/radiani] e l'elevazione risulta espressa in radianti.

Data modello	P_9	P_{11}
08000	0.2319	-0.1219
26400	0.3337	-0.2076

Come si può quindi vedere, il peso di questi due parametri é elevato, a significare che essi prendono parte alla minimizzazione degli errori in modo notevole.

Il modello in uso, può essere visto nel file *mdlpo.ctl*, ed è quello senza l'asterisco all'inizio della riga, dove è presente anche la data in cui è stato

ottenuto. La figura inferiore della 1.3 ci fa vedere come i residui siano diminuiti distribuendosi in modo più uniforme attorno allo zero e riducendo l'RMS ad un valore quasi uguale per entrambi gli *offset*, cosa che prima non era vera.

Per vedere se ci sono ancora degli errori sistematici, abbiamo ripetuto la calibrazione di puntamento il giorno successivo, utilizzando come modello di partenza quello ricavato il giorno prima, i risultati sono mostrati nei grafici della figura 1.4:

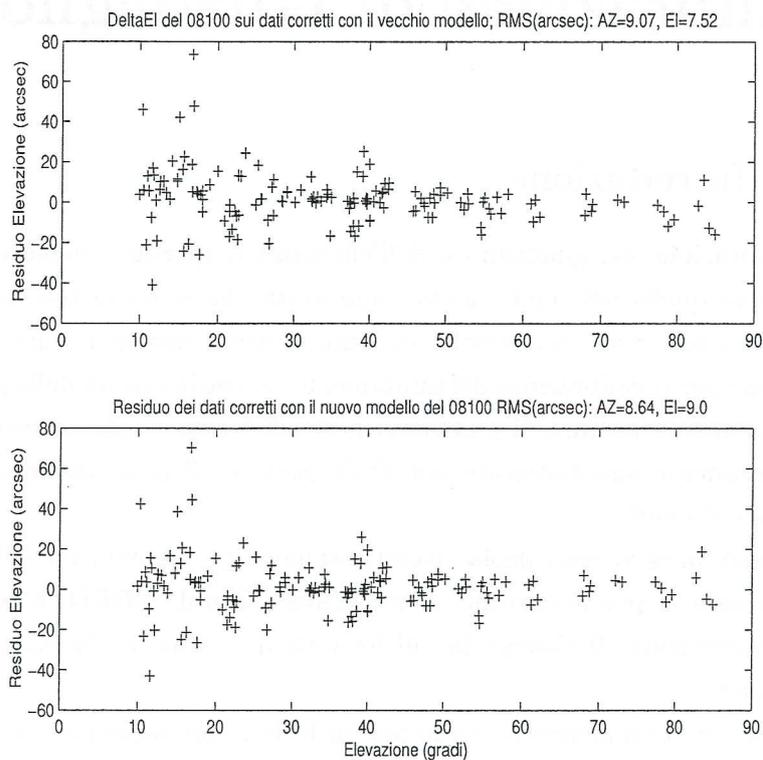


Figura 1.4: Grafici che mostrano l'assenza di ulteriori residui d'errore di tipo sistematico

Come si può vedere, non si nota nessuna diminuzione nei residui sia utilizzando il modello calcolato con la calibrazione del giorno precedente (figura superiore) che quello nuovo (figura inferiore). Ciò significa che non è possibile ridurre ulteriormente gli errori sistematici ma che quelli che rimangono sono solo errori casuali.

Capitolo 2

Calibrazione di Guadagno

2.1 Introduzione

La calibrazione del guadagno e dell'efficienza d'apertura, viene effettuata così come quella del puntamento, ogni volta che si parte con un cambio ricevitore, per avere un controllo sul buon funzionamento dell'antenna.

Come per la calibrazione del puntamento, anche la misura delle prestazioni dell'antenna in termini di guadagno e di efficienza, risultano essere quasi completamente automatizzate nel *Field System*. Il programma principale utilizzato è *onoff*.

Questo programma calcola diversi parametri rappresentativi delle prestazioni dell'antenna, i più importanti sono: **Tsys**, **signal**, **SEFD**, e **eta**. T_{sys} è la temperatura di sistema la cui formula di calcolo è già stata vista in precedenza.

Signal è la temperatura d'antenna in Kelvin, proporzionale al flusso del calibratore osservato dall'antenna. Essa viene calcolata con una formula simile a quella utilizzata per il calcolo della T_{sys} :

$$Signal = \frac{tpi_{on} - tpi_{off}}{tpi_{cal} - tpi_{off}} T_{cal} \quad (2.1)$$

In questa equazione, tpi_{on} rappresenta il valore di tensione letto sul *total power integrator* quando l'antenna punta il calibratore, tpi_{off} il valore di tensione letto quando l'antenna punta in una regione di cielo priva di sorgenti e con la sorgente di rumore spenta, tpi_{cal} il valore di tensione con l'antenna

che punta in una zona di cielo senza sorgenti ma con la sorgente di rumore alimentata e T_{cal} la temperatura in Kelvin della sorgente di rumore.

I flussi spettrali dei calibratori, sono estratti sia dall'articolo di Baars [1] che, per quelli disponibili, dal più recente articolo di Ott [2] come mostrati nella tabella 2.1. Nel lavoro di Baars, i valori di flusso sono stati ottenuti con antenne di guadagno noto per via teorica e sperimentale.

Dalla conoscenza di questi valori di flusso e dal valore di signal, possiamo ricavare il guadagno dell'antenna, utilizzando la formula seguente:

$$Gain(K/Jy) = \frac{Signal(K)}{Flusso(Jy)} \quad (2.2)$$

La *SEFD* "self equivalent flux density", rappresenta il valore della temperatura di sistema in Jansky, ottenuto moltiplicando la T_{sys} per l'inverso del guadagno (Kelvin/Jy).

Il valore di *eta*, rappresenta una stima dell'efficienza d'apertura, definita come:

$$\eta = \frac{A_e}{A_g} \quad (2.3)$$

dove A_e rappresenta l'apertura efficace e A_g l'area geometrica dell'antenna, nel nostro caso pari a $804 m^2$. L'apertura efficace A_e viene definita come il rapporto tra la potenza P estratta dall'antenna che punta ad esempio su una sorgente di flusso F noto ed il flusso incidente F , stesso.

$$A_e[m^2] = \frac{P_{estr}[W]}{F_{inc}[Jy]} \quad (2.4)$$

essa tiene conto quindi dell'efficienza di tutto il sistema di ricezione dell'antenna.

Nel nostro caso, A_e viene calcolato quindi con la formula:

$$A_e = 2 \frac{k \cdot Signal(K)}{Flusso(Jy)} \quad (2.5)$$

dove k é la costante di Boltzmann ($= k = 1.38 \cdot 10^{-23} JouleK^{-1}$).

Le sorgenti utilizzate come calibratori del guadagno nei vari ricevitori sono quelle mostrate nella tabella seguente, assieme ai loro valori di flusso in Jansky:

Nome Sorgente	LH	LL	S	CC	CH	X	KK
3C123	47.6	42.8	29.48	15.62	12.06	8.95	3.19
3C147	22.1	19.9	14.8	7.5	6.3	4.7	1.8
3C161	18.6	16.9	12.8	6.4	5.3	3.8	1.2
3C48	16.37	14.7	10.9	5.47	4.61	3.37	1.2
3C227	7.64	6.7	4.9	2.9	2.6	2.2	1.5
3C286	14.65	13.78	11.02	7.36	6.54	5.07	2.46
3C295	22.35	19.93	14.29	6.37	5.16	3.49	0.94
3C218	42.65	37.8	24.9	13.04	10.22	7.81	NO
3C348	47.2	41.13	25.67	11.91	9.66	6.24	NO
3C353	56.53	51.24	36.53	20.93	17.96	13.05	NO
VirA	204	183.8	138.2	74.2	63.9	49	21.7
CYGNUSA	NO	NO	NO	372.48	280.02	156.54	NO
DR21	NO	NO	NO	NO	NO	NO	18.8
NGC7027	NO	NO	NO	NO	NO	NO	5.49

Questi valori di flusso, sono stati ottenuti utilizzando le formule del fit fornite da Ott [2].

2.2 Calibrazioni da fare prima di un run VLBI

I controlli da fare prima d'iniziare un run osservativo VLBI, consistono in un check up generale del sistema antenna piú sistema d'acquisizione MARK IV. Oltre alla verifica della bontá del modello di puntamento e del controllo dei parametri visti in precedenza, bisogna fare alcuni altri controlli generali del sistema.

Per semplificare il lavoro, é stato preparato un apposito modulo che viene compilato e archiviato ogni volta che si effettua il check up.

MISURE DI CONTROLLO SISTEMA DAT VLBI PRE-OSSERVAZIONI

Data.....
 Nome EXP..... ASTRONOMICO GEODINAMICO RIGA
 dalle.....UT alle.....UT Ricevitore usato.....
 Descrizione EXP.....

MISURE DI CONTROLLO

METEO: Text.....°C Press.....mbar RH.....%
 Cielo.....

TSYS:°K,banda.....°K,banda..... a El.....

GAIN:banda.....°K/Jy sorgente..... a El.....
 banda.....°K/Jy sorgente..... a El.....

SEFD:banda.....Jy sorgente..... a El.....
 banda.....Jy sorgente..... a El.....

PUNTAMENTO: dAz..... sorgente/Az/El..... dEl.....
 dAz..... sorgente/Az/El..... dEl.....
 dAz..... sorgente/Az/El..... dEl.....

giudizio.....

ANTENNA UNIT: segnale presente segnale non presente Nota.....

REGISTRATORE: parity errors.....
 sync errors.....
 diagramma a occhio OK NOK
 banda in riproduzione.....
 Note.....

COMPUTER CLOCK: OK NOK RISINCRONIZZATO

MODELLO PUNTAMENTO: OK Nota.....

Figura 2.1: Modulo usato per controllare il funzionamento del sistema

Capitolo 3

Correzioni con le livelle e i sensori di temperatura

3.1 Introduzione

La presenza di livelle elettroniche montate sulla struttura dell'antenna era già stata prevista in fase progettuale dalla TIW, ditta Americana che ha progettato e realizzato il radiotelescopio di Medicina. Sull'antenna, sono presenti due livelle, che utilizzano un sensore d'inclinazione tipo LEVELTRONIC, della ditta Svizzera WYLER. Esse sono denominate livella di Elevazione(El) e di Cross-elevazione(XEL), poiché la prima risulta posizionata sotto l'encoder di elevazione e risente maggiormente delle deformazioni subite dall'alidada al variare dell'elevazione, mentre la seconda è posta sulla trave che collega i cuscinetti di elevazione e misura le deformazioni che agiscono sul piano perpendicolare a quello di elevazione.

Entrambe hanno una precisione di lettura del decimo di arcsecondo, sufficiente per i nostri scopi. Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione delle livelle, si rimanda al rapporto interno IRA 135/90 [3].

In questo rapporto, verrà descritto il sistema d'acquisizione dati, con il quale è possibile acquisire non solo i valori di inclinazione delle livelle, ma anche i valori di temperatura misurati da sensori tipo PT100, dislocati sulla struttura dell'antenna. I dati prodotti dalle livelle possono essere utilizzati per la correzione di errori sistematici ed è plausibile un loro utilizzo anche per quelli non-sistematici.

Per quanto riguarda gli errori sistematici, esse possono venire usate sia

per mappare l'inclinazione del piano di azimuth che le deformazioni locali della rotaia.

Il tentativo di utilizzare i dati delle livelle per correggere l'inclinazione del piano di azimuth era già stato affrontato in precedenza all'IRA vedi R.I 138/90 [4]. Dalle misure effettuate emergeva che non si otteneva nessun miglioramento nel modello di puntamento, nell'utilizzare dei dati corretti a priori per l'inclinazione del piano di azimuth ottenuta dalle livelle o quelli senza tale correzione. Sembra cioè che i valori dei parametri P_5 e P_6 che come abbiamo visto rappresentano le componenti dell'asse di azimuth sul piano ad esso perpendicolare, non vengano modificati dall'utilizzo di dati già corretti.

Ricordiamo che i valori d'inclinazione del piano di azimuth di cui si parla nel rapporto 138/90 [4], misurati prima del rifacimento del piano rotaia avvenuto ad agosto del 2000, sono di circa 20 arcsec.

3.2 Il sistema d'acquisizione

Il programma che acquisisce i dati d'inclinazione delle livelle é denominato RAILNET e risiede sul computer situato alla parabola denominato MED-VLBI sul quale gira il sistema operativo NT. Questo comunica con le livelle tramite un modem connesso nell'ultimo tratto ad una RS232 e con il computer del *FS* tramite la rete. I dati delle livelle, vengono inviati tramite un data logger realizzato all'IRA.

La finestra principale del programma RAILNET é quella mostrata in Fig. 3.1.

RAILNET visualizza sul grafico l'andamento nel tempo delle inclinazioni delle due livelle. Dalla finestra *Variable set* si possono impostare i canali che si vogliono leggere, mentre sulla *Variable display* si possono leggere i valori misurati. I valori letti in questa finestra sono: il valore istantaneo, il minimo e il massimo, il valor medio e la deviazione standard, che servono a dare un'idea del tipo di misure prodotte. É anche possibile scegliere un offset elettronico da dare ai vari canali. Ricordarsi che per la comunicazione la porta seriale usata é la 5, mentre l'indirizzo della MAT é il 22.

L'altro programma utilizzato per acquisire non solo i valori delle inclinazioni delle livelle, ma anche le temperature misurate dai PT100, si chiama GDATANET.

Esso ha una finestra come quella mostrata in Fig. 3.2.

Come si può vedere sulla finestra del programma, appaiono di default i canali che si vogliono acquisire, cioè oltre ai valori di inclinazione delle livelle, anche i valori delle temperature dei sensori PT100 dislocati sull'antenna. La nomenclatura di tali sensori, serve a ricordare la loro posizione sulla struttura dell'antenna. Ad esempio considerando l'antenna in *stow*, SE_b sta per *SudEst_basso*, il sensore posto nella parte bassa della trave grande della A di supporto dell'antenna. Le altre grandezze da impostare sulla finestra del programma sono: ST (*settling time*) cioè il tempo d'attesa tra la lettura dei diversi canali del data logger (serve a permettere la stabilizzazione del segnale), $S\#$ il numero di misure su ogni canale, *Loop Delay* cioè il tempo d'attesa tra una acquisizione e la successiva. Se si vogliono poi salvare i dati su file, basta impostare il nome del file e attivare il pulsante a bottone. Il fattore di scala é stato ottenuto durante la calibrazione dei sensori, il PTC va selezionato solo quando si vogliono acquisire i sensori di temperatura perché questo impone l'uso di una formula interna al programma per con-

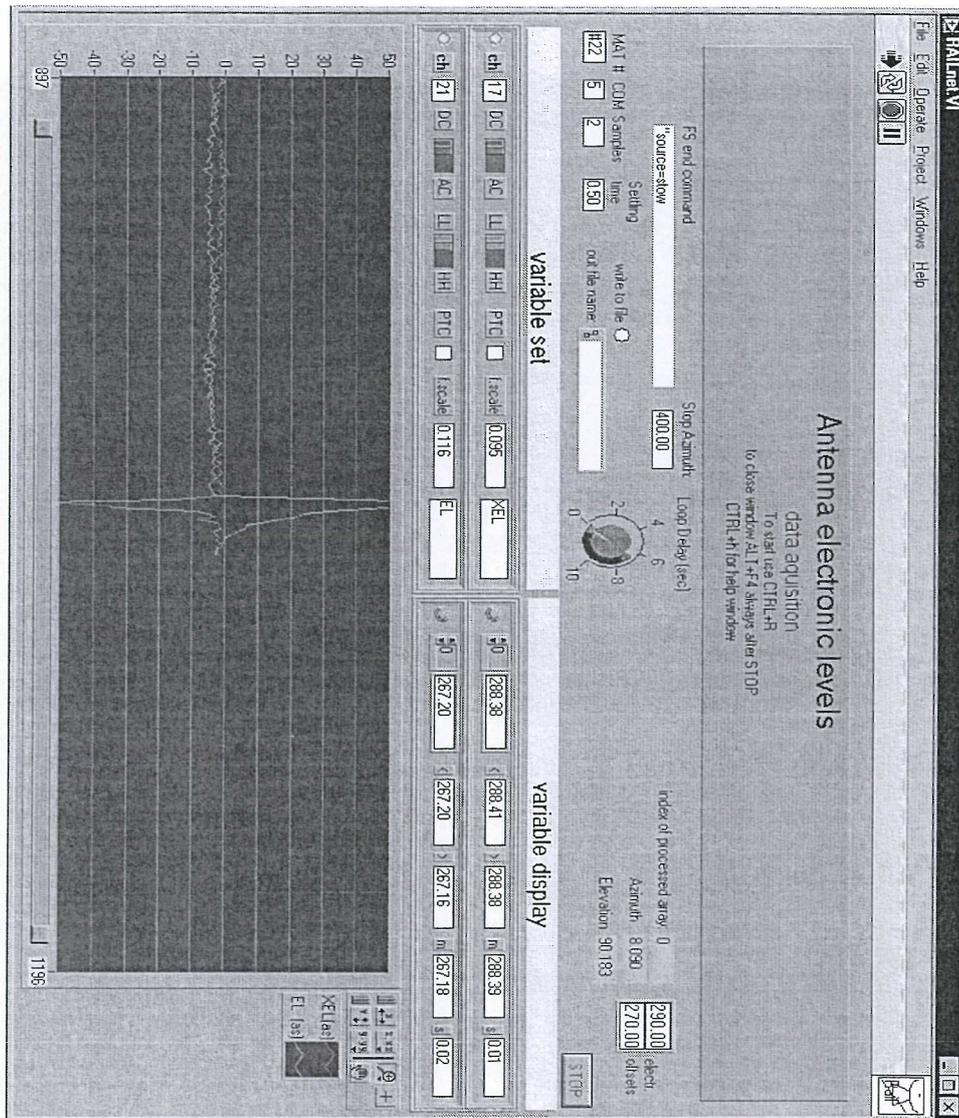


Figura 3.1: Finestra di controllo del programma RAILNET

vertire il valore di tensione in temperatura. Il tasto AC/DC rimane sempre in posizione DC tranne che per gli oscillatori mentre LL/HH (indicano il guadagno $\times 1$ o $\times 10$) va in HH solo per i PTC e in LL negli altri canali.

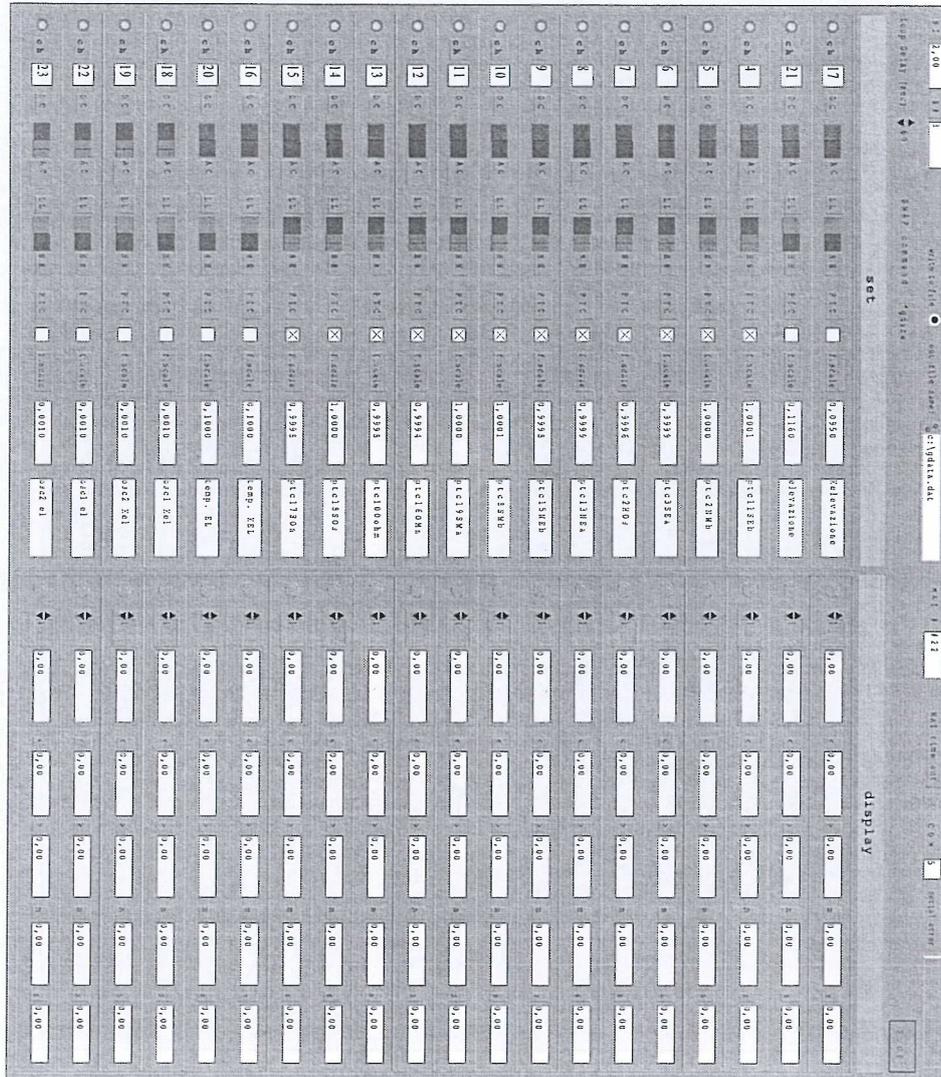


Figura 3.2: Finestra di controllo di GDATANET

La dislocazione dei sensori, può essere vista meglio dalla Fig. 3.3:

Il sensore HO_s , nome che sta per orizzontale al sole, si trova sulla trave orizzontale alta della A dell'alidada, mentre i sensori SO_s e il SO_n e OM_n sono quelli disposti sulle travi interne inclinate, rispettivamente al Sole Sud, Sole Nord e all'Ombra a Nord. Questi ultimi sensori sono messi nella parte opposta della stessa trave, al sole e all'ombra, per misurare i gradienti termici tra le due parti della stessa trave.

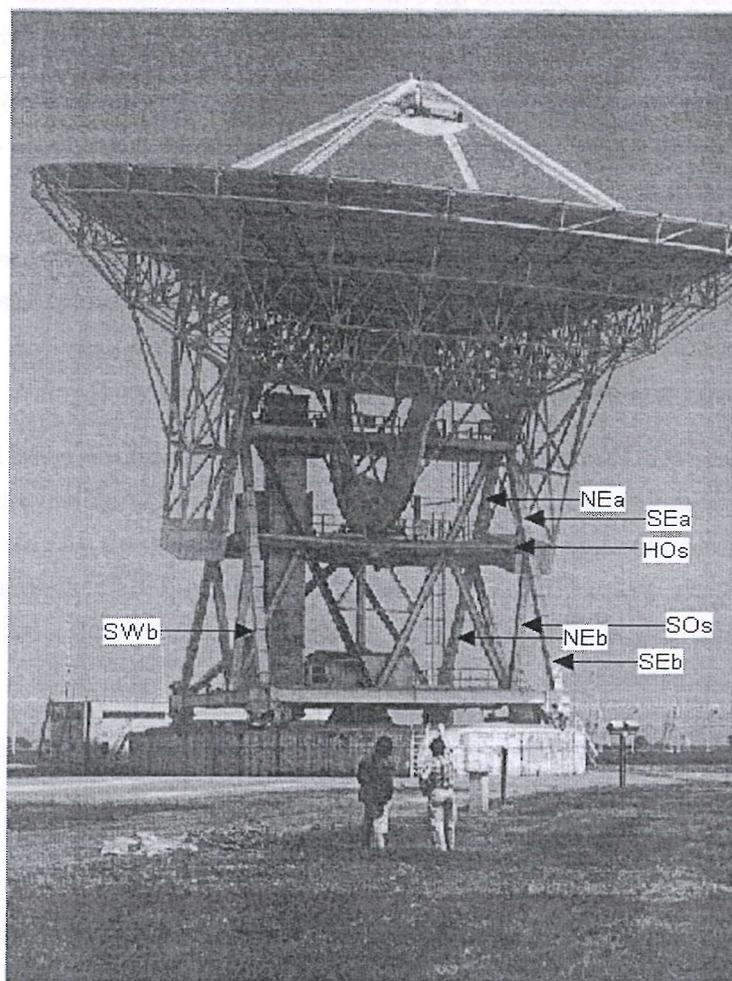


Figura 3.3: Dislocazione dei sensori di temperatura

3.3 Come acquisire i dati delle livelle

Per iniziare una campagna di misura delle inclinazioni delle livelle, dobbiamo effettuare le seguenti operazioni:

1. dare potenza ai motori dell'antenna (*Drive Power on*) e attivare il tasto *Computer Enable*
2. battere sul computer del *FS* prima il comando *source=setup*, per mettere in comunicazione l'antenna con il *FS* e poi *source=idle*.

Quest'ultimo comando dice al *FS* di non preoccuparsi delle coordinate dell'antenna, cosa che ci permette di lavorare in *Manual Rate*.

3. utilizzando le manopole dell'*ACU*, portiamo l'antenna a 355 gradi in direzione *CCW* (Counter-Clock-Wise), in modo che quando essa passa per lo 0 si sia già stabilizzata in velocità.
4. far partire Railnet e contemporaneamente far girare l'antenna in azimuth ad una velocità di circa 3 gradi al minuto (sulla manopola di regolazione della velocità di azimuth è stato apposto un segno che indica approssimativamente questa velocità).
5. Dopo che l'acquisizione è partita, bisogna impostare sulla finestra di Railnet l'azimuth a cui si vuole far terminare l'acquisizione: normalmente un valore di 359.99 gradi in modo da mappare un giro completo. Bisogna poi togliere il commento al comando del *FS*, *source=stow*, in modo che l'antenna vada in posizione di stow quando ha terminato l'acquisizione.

I dati dimostrano una buona ripetibilità anche a lungo termine, come si può vedere dalla Fig. 3.4), dove abbiamo graficato l'inclinazione della livella di Elevazione a due epoche differenti (251/00 e 348/00), entrambe dopo il rifacimento del basamento della rotaia. Questo ci induce quindi a tentare di utilizzarli per correggere sia deformazioni dovute ad effetti termici sull'alidada sia ad effetti del vento, purché risultino sufficientemente lenti e stabili nel tempo.

Dalla figura 3.5, si può notare come la livella di elevazione abbia oscillazioni leggermente maggiori (vedi RMS), poiché essa "media" sulle deformazioni viste da due ruote, mentre la XEL "media" su tutte e quattro. Inoltre la livella di El è posizionata su di un lato dell'antenna (a differenza di quella di XEL che risulta posizionata al centro della struttura) e risente quindi maggiormente degli effetti dovuti all'accelerazione. Le due curve del grafico sono sfasate di 90 gradi, poiché anche le due livelle sono montate sfasate di un tale angolo.

Attenzione agli offset elettrici delle livelle, che possono far apparire i valori d'inclinazione molto al di fuori della finestra grafica.

Abbiamo rifatto una mappatura della rotaia in data 251/00, dopo il rifacimento del basamento della rotaia, avvenuto ad agosto del 2000. Dal

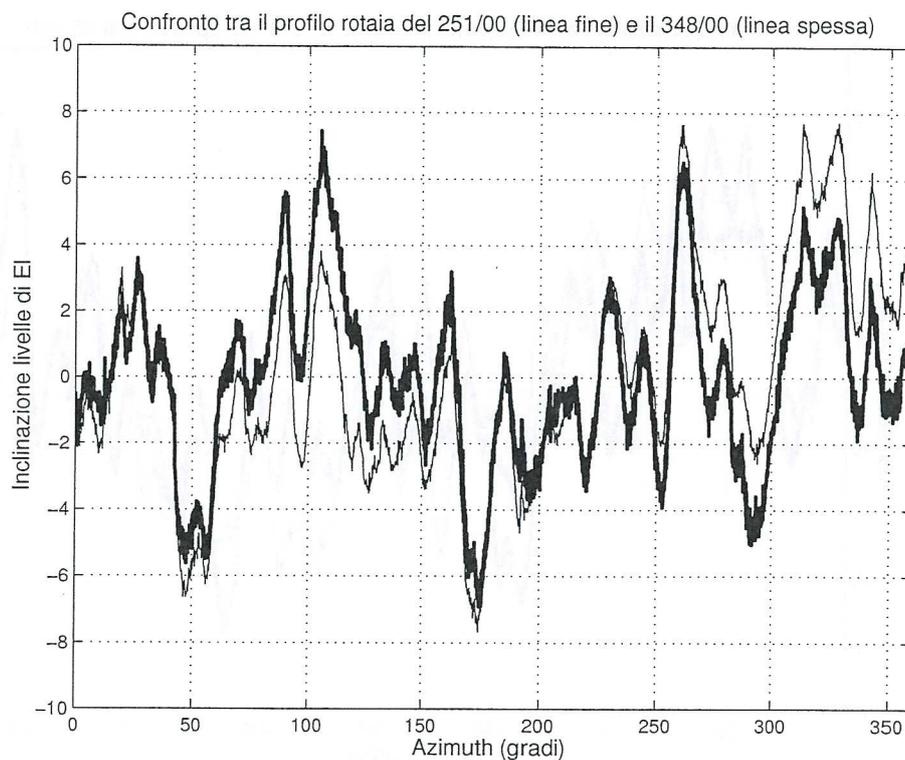


Figura 3.4: Inclinazione livelle, RMS XEL=3.01, El=3.2 arcsec

confronto con la mappatura del 063/99, si vede (vedi Fig. 3.6) il notevole miglioramento di tale piano.

3.4 Correzione dell'inclinazione del piano di azimuth

L'analisi dei dati provenienti dalle livelle, ci ha permesso di identificare la presenza di una inclinazione del piano di azimuth dell'antenna, come mostrano le sinusoidi visibili nei grafici delle Fig 3.8 e 3.9, alle quali si sommano gli effetti delle deformazioni locali della rotaia. Sul grafico sono riportati anche i valori della deviazione standard dei dati d'inclinazione e di essi con la sottrazione dell'inclinazione del piano ottenuta dalla fondamentale di Fourier. Come si può vedere i residui che rimangono sottraendo l'inclinazione del piano sono quelli dovuti alle deformazioni locali della rotaia.

La correzione per l'inclinazione del piano di azimuth, risulta già compre-

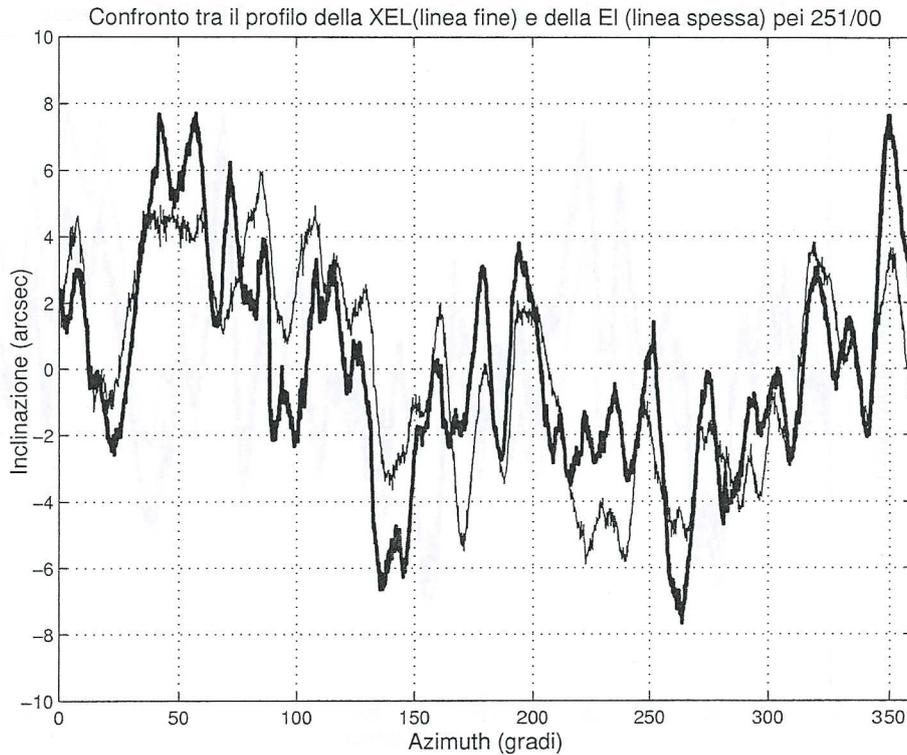


Figura 3.5: Inclination livelle, RMS XEL=3.01, El=3.2 arcsec

sa nel modello del telescopio, espressa dai parametri P_5 e P_6 . L'idea iniziale dell'utilizzo dei dati delle livelle, era quello di ricavare questi parametri direttamente dalle misure, in modo da avere un modello con meno parametri e quindi di più semplice e accurata soluzione. Questo non si è dimostrato vero ([4]). Da notare che quando furono fatte le misure di cui si parla nel [4], l'inclinazione del piano di azimuth aveva valori dell'ordine dei 20 arcsec, a differenza dei valori attuali, che sono dell'ordine dei 3 arcsec.

Possiamo ricavare i parametri LP_5 e LP_6 che approssimano P_5 e P_6 , non solo con l'analisi di Fourier ma anche facendo un fit ai minimi quadrati sui dati ottenuti dalle livelle.

La relazione utilizzata è la seguente:

$$L_{xel} = LP_5 * \cos(Az) + LP_6 * \sin(Az) \quad (3.1)$$

$$L_{el} = -LP_5 * \sin(Az) + LP_6 * \cos(Az) \quad (3.2)$$

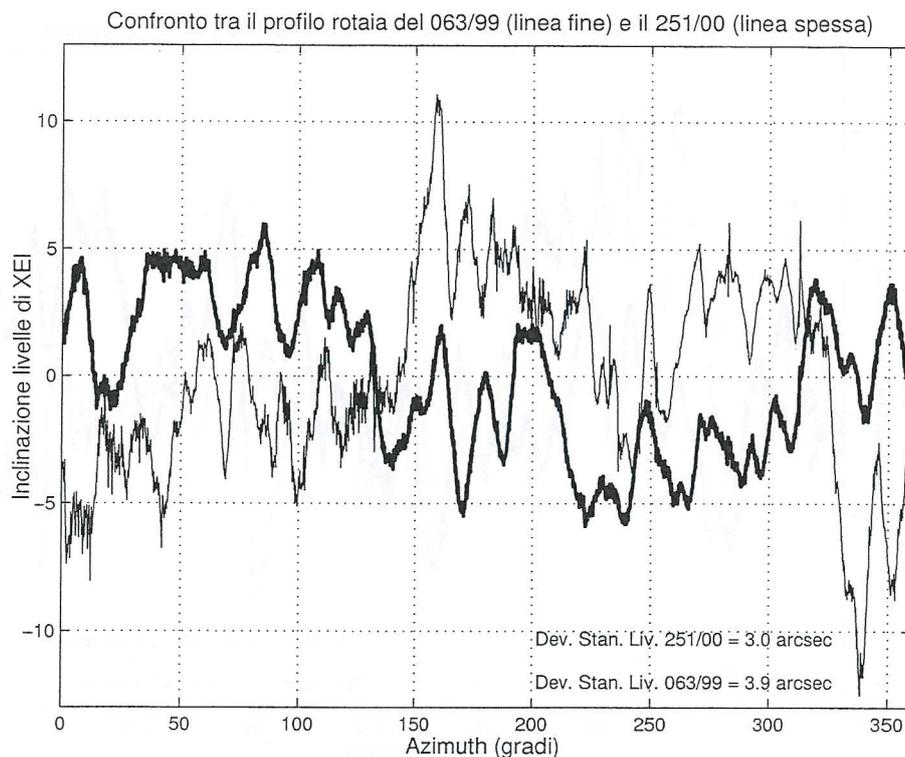


Figura 3.6: Confronto delle livelle di cross elevazione su piani rotaia diversi.

Dove L_{xel} rappresenta i valori d'inclinazione letti dalla livella di cross-elevazione, mentre L_{el} quella di Elevazione. Dai valori misurati, risulta che la livella di XEL risulta meno rumorosa e da un valore di $P_5=1.76$ arcsec e $P_6=2.84$ arcsec, mentre per quella di El, $P_5=1.9$ e $P_6=1.84$. Il valor medio dei due é $P_5=1.83$ e $P_6=2.34$ arcsec, per cui utilizzando la relazione:

$$Inc = \sqrt{P_5^2 + P_6^2} \quad (3.3)$$

troviamo un valore dell'inclinazione Inc del piano di 2.97 arcsec. Utilizzando la fondamentale dei due profili, troviamo 3.35 arcsec per la livella di XEL e 2.65 arcsec per quella di elevazione, plausibilmente dovuta ad una maggiore "pulizia" del segnale della livella di XEL. I due metodi di calcolo convergono quindi verso un valore intorno ai 3 arcsecondi.

Il valore d'inclinazione che si ricava dal modello di puntamento, ci da invece un P_5 di 12 arcsec circa e un P_6 di 1.8 arcsec. Questa discrepanza nei valori d'inclinazione forniti dalle livelle e dalla calibrazione di puntamento,

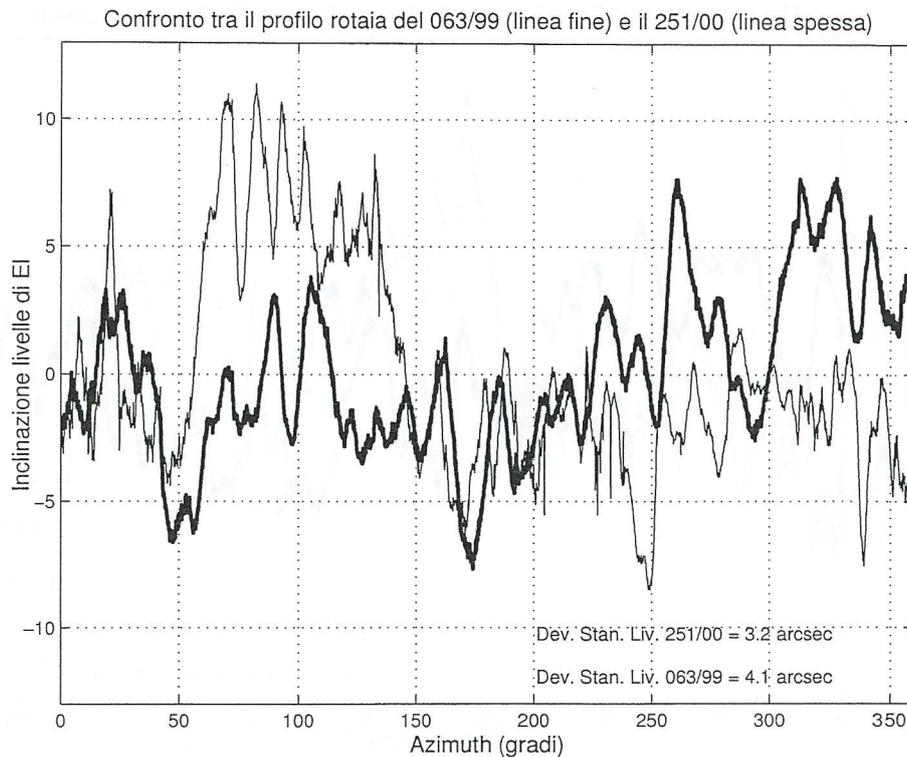


Figura 3.7: Confronto delle livelle di elevazione su piani rotaia diversi.

é stata oggetto di discussione. Le misure fatte con le livelle risultano attendibili visto che sono riproducibili anche se potrebbe esserci un fattore di scala non corretto. D'altronde anche le misure trovate dalla calibrazione dovrebbero essere attendibili, anche se il fit sui dati, viene fatto prendendo in considerazione parametri che non risultano del tutto scorrelati tra loro. Questo significa che non sempre il valore del parametro si accorda con la reale causa fisica che vuole rappresentare.

3.5 Look up Table

Le correzioni alle deformazioni del piano della rotaia, possono venir prese in considerazione, utilizzando una tabella contenente per ogni valore di azimuth, il valore di inclinazione misurato. In tal modo per ogni valore di azimuth in cui si trova l'antenna, viene applicato il corrispondente valore di inclinazione trovato.

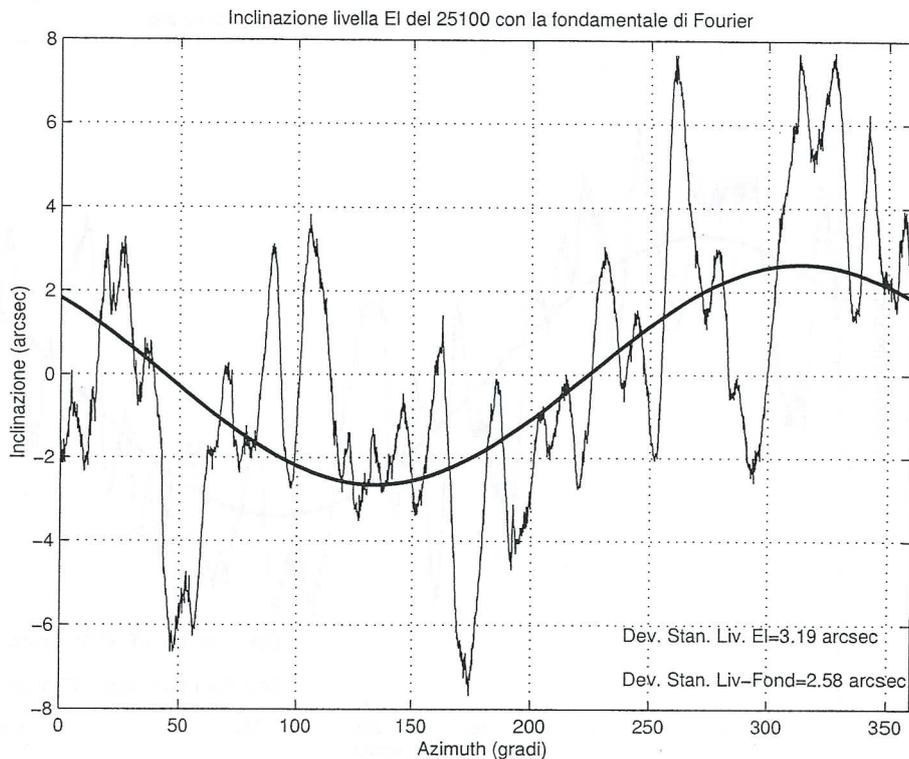


Figura 3.8: Inclinazione livella EL con la fondamentale di Fourier

Nel caso dei dati della livella di elevazione, essi andranno a correggere l'elevazione in modo diretto, cioè:

$$\Delta_{el} = -DEl \quad (3.4)$$

mentre nel caso della livella di cross elevazione, la correzione dipende dall'elevazione dell'antenna [5], per cui dovremo applicare la formula:

$$\Delta_{az} = -DXEl/\cos(\theta_{el}) \quad (3.5)$$

dove Δ_{az} rappresenta l'errore in azimuth da correggere, $DXEl$ il valore di inclinazione letto dalla livella di XEl e θ_{el} l'angolo di elevazione.

Per il momento il sistema non é ancora in uso, poiché avendo sostituito il basamento della rotaia, le correzioni introdotte dalla mappatura risultano molto piccole. Questo lo si può vedere anche dal grafico della Fig. 3.9, in cui sono stati plottati i residui in elevazione (punti a croce), con l'inclinazione della livella di El (barre). Da esso si può notare come la dimensione dei

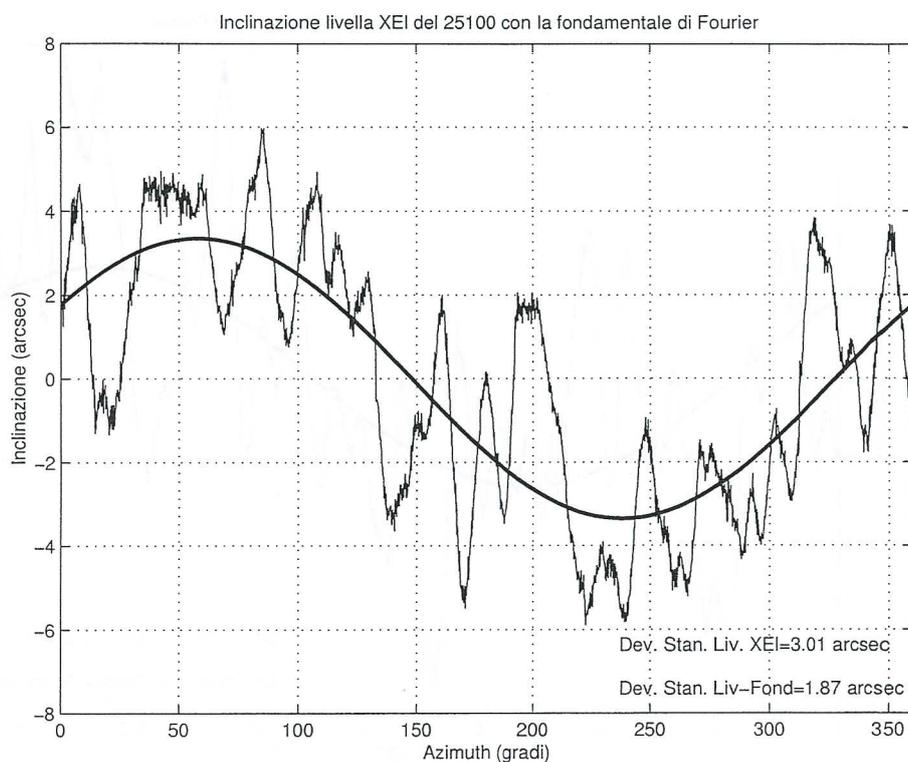


Figura 3.9: Inclinazione livella XEL con la fondamentale di Fourier

residui sia molto maggiore degli errori introdotti dalla rotaia (barre). Quindi questi ultimi non danno un grosso contributo ai residui stessi. Chiaramente le correzioni puntuali sarebbero importanti, visto che si tratta di alcuni arcsec ma non ci si può aspettare una grossa diminuzione dell'RMS totale, visto che considerando la somma degli RMS il peso maggiore verrebbe da quello relativo ai residui e non dall'RMS dei dati delle livelle.

$$RMS_{tot} = \sqrt{RMS_{resid}^2 + RMS_{liv}^2} \quad (3.6)$$

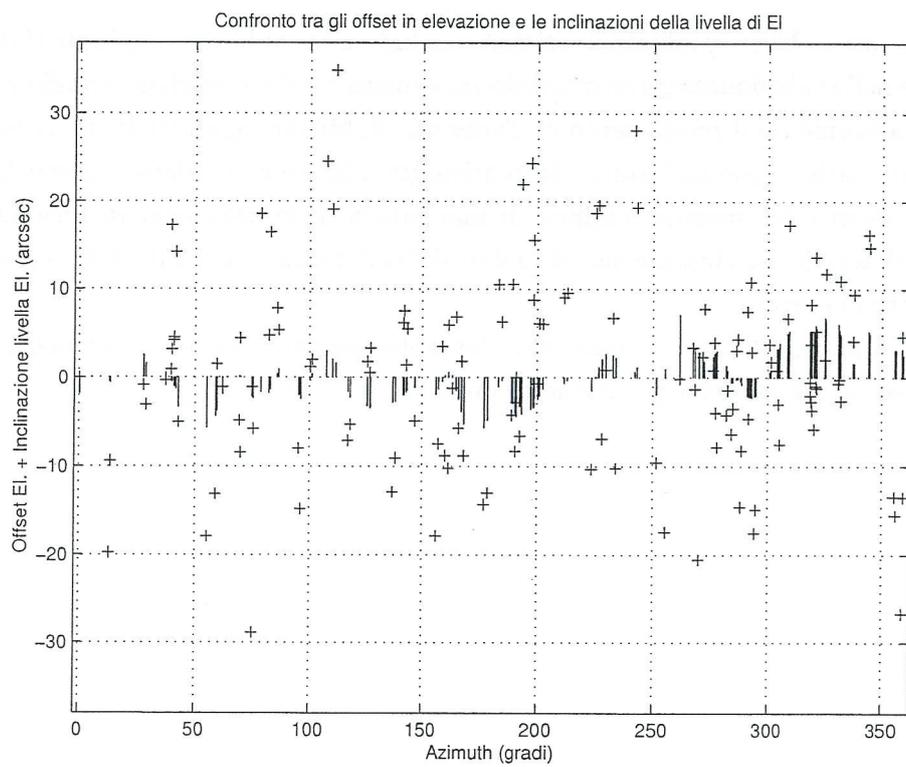


Figura 3.10: Confronto tra residui in elevazione e inclinazione livella E1.

Conclusioni

Da questo lavoro preliminare, si può concludere che abbiamo raggiunto il limite nella riduzione degli errori di tipo sistematico e che se vogliamo migliorare ulteriormente il puntamento dell'antenna, dobbiamo agire sugli errori non-sistematici. Questo lavoro è in pratica già iniziato e ora siamo in una fase di ricerca del sistema migliore di mappatura delle deformazioni termiche, utilizzando congiuntamente sia i dati di inclinazione che i valori dei sensori di temperatura.

Questa ulteriore correzione, dovrebbe portarci verso un consistente miglioramento della precisione di puntamento.

Bibliografia

- [1] Baars W. M., Genzel R., Pauliny-Toth I.I.K., Witzel A. : 1977, *Astron. Astrophys.* 61, 99.
- [2] Ott M., Witzel A., Quirrenbach A., Krichbaum T.P., Standke K.J., Schalinski C.J., and Hummel C.A. : 1994, *Astron. Astrophys.* 284, 331-339.
- [3] Morsiani M., Orfei A., Zacchiroli P. : 1990 *Rapporto Interno IRA.* 135/90.
- [4] Morsiani M., Orfei A. : 1990 *Rapporto Interno IRA.* 138/90.
- [5] Gawronski W., Farrokh B., Quintero O. : 2000, *IEEE Antennas and Propagation Magazine.* 42, April 2000.

