

MISURE DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI AZIMUTH  
DELLA PARABOLA VLBI DI MEDICINA TRAMITE LIVEL-  
LE ELETTRONICHE: ELABORAZIONE DEI DATI E  
CORREZIONE DI PUNTAMENTO.

M. Morsiani                      A. Orfei

Istituto di Radioastronomia C.N.R.-Bologna  
IRA 138/90

FILE BOLLRAP.TXT

## INDICE

1- INTRODUZIONE.....	pag. 2
2- LA LIVELLA ELETTRONICA.....	pag. 6
3- MISURE CON LE LIVELLE.....	pag. 8
3.1- Verifiche e considerazioni preliminari	pag. 8
3.2- Campagna di misure di inclinazione	pag. 9
4- ELABORAZIONE DELLE MISURE.....	pag.35
4.1- Un po' di teoria	pag.35
4.2- Dati misurati e programmi di elaborazione	pag.36
4.3- Obiettivi dell'uso dei dati di inclinazione	pag.37
4.4- Correzione con i dati completi	pag.38
4.5- Correzione con le sinusoidi di best fit	pag.40
4.6- Correzione con le sinusoidi di Fourier	pag.45
4.7- Correzione imponendo nulli TP4 e TP5	pag.49
4.8- Stima dell'angolo di tilt	pag.50
5- CONCLUSIONI.....	pag.52
6- RIFERIMENTI.....	pag.54

## 1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro vuole essere un primo approccio allo studio del problema più generale che riguarda *gli errori di puntamento* della nostra parabola di 32 m a Medicina.

Tali errori sono originati da molteplici cause alcune sistematiche altre no. Gli errori sistematici sono modellati con una formula che fornisce gli errori di puntamento in azimuth ed elevazione (vedi Rif. 1). Uno di questi errori è dato dal fatto che l'antenna non è situata su un piano perfettamente orizzontale o, il che è lo stesso, l'asse di azimuth non coincide con l'asse verticale di riferimento delle coordinate ma è inclinato di un certo angolo.

Comandando l'antenna su una sorgente in realtà essa punterà spostata di questo angolo, ovvero, scomponendo tale errore nelle coordinate manipolabili azimuth ed elevazione, si osserveranno degli *offset di puntamento* sia nell'una che nell'altra coordinata.

Questo discorso vale anche per tutte le altre fonti di errori sistematici e modellabili, ciascuno contribuirà con un offset in ciascuna delle coordinate. La somma algebrica di questi offset è l'*errore di puntamento sistematico*. Ciascun contributo è dato semplicemente da una formula matematica che si ricava con considerazioni geometriche su sistemi di coordinate.

È utile anticipare qui le espressioni dell'*errore di puntamento sistematico* nelle coordinate AZ ed EL e poi individuare in esse i termini relativi all'oggetto del nostro studio cioè il cosiddetto *tilt di azimuth*.

$$(1.1) \text{ DAz} = -P1/\cos(El) + P2 + P3 * \text{tg}(El) + [P4 \cos(Az) + P5 \sin(Az)] * \text{tg}(El)$$

$$(1.2) \text{ DEL} = -P4 * \sin(Az) + P5 * \cos(Az) + P7 + P8 * \cos(El)$$

in cui DAz (DEL) ha il significato di *errore* tra la coordinata di azimuth (elevazione) teorica meno la coordinata di azimuth (elevazione) ove in effetti viene trovato il massimo di intensità della radiosorgente di calibrazione. I parametri P caratterizzano le varie cause di errore sistematico, in particolare quelli che caratterizzano l'inclinazione del piano di Azimuth sono P4 e P5.

Essi rappresentano le componenti della proiezione sul piano di Azimuth dell'inclinazione (fig. 1.1).

È intuitivo riconoscere che l'andamento

dell'inclinazione e' funzione della sola coordinata di azimuth ed e' di tipo sinusoidale .In elevazione l'errore di puntamento e' direttamente l'inclinazione mentre in azimuth esso e' "amplificato " dalla tangente dell'elevazione.

La ricerca di tutti i parametri P viene effettuata per via statistica tramite una loro stima: si procede ad una campagna di misura di errori di puntamento tramite osservazioni di radiosorgenti (programma FOLLO) dopodiche' sul campione ottenuto viene effettuata una operazione di best fit sulla base del modello matematico prima descritto il cui risultato e' appunto l'insieme di incognite TP1,TP2,...,TP8 che sono le stime dei corrispondenti parametri P1,P2,...,P8(programma OFFSET).

Contrariamente a questa metodologia l'idea iniziale del lavoro fu di implementare un sistema di misura diretta dell'andamento dell'inclinazione tramite livelle elettroniche.Nel capitolo successivo verra' descritto un po' piu' in dettaglio di cosa si tratta, qui bastera' sapere che tramite un sensore d'inclinazione si puo' valutare punto per punto,facendo ruotare l'antenna di 360 gradi,a quanto ammonta l'inclinazione e , in ultima istanza, quanto e' inclinato il piano di azimuth nel suo complesso.

E' cosi' possibile identificare anche punti di cedimento, quali presenza di disallineamenti sulla rotaia ,eventuali formazioni di avallamenti della fondazione su cui l'antenna e' sostenuta.Nel tempo poi ripetute e regolari misure possono rendere conto se il piano di azimuth va continuamente inclinandosi o se, dopo il naturale assestamento della fondazione,rimane fisso.

Al di la' di tutto questo acquisire direttamente l'andamento dell'inclinazione aveva prioritariamente lo scopo di elaborare convenientemente questi dati al fine di riuscire a sostituire alla porzione di modello matematico che descrive il tilt di azimuth una correzione numerica sui dati di calibrazione in modo da ridurre di due incognite,TP4 e TP5, il best fit.Un best fit a cinque incognite piuttosto che sette fornendo una precisione maggiore, con la possibilita' di ridurre i residui di errore di puntamento.Come gia' detto la misura diretta dell'inclinazione non solo fornisce il tilt punto per punto, ma anche i punti fuori piano e dunque una descrizione piu' precisa dello stato della antenna.Ci si e' chiesti allora se queste ulteriori informazioni potessero contribuire a diminuire i residui di puntamento e in caso affermativo di quanto.

Inoltre la possibilita' di poter rilevare l'andamento puntuale dell'inclinazione della antenna apre un altro importante capitolo inerente al puntamento e cioe' relativo agli errori non sistematici ovvero quelli, in prima istanza, dovuti agli effetti di temperatura.

Essa agisce fondamentalmente sulle gambe della antenna facendola inclinare anche pesantemente determinando un forte offset di puntamento tanto piu' oneroso quanto piu' grande e' la frequenza di lavoro. Ecco allora che, acquisendo anche la temperatura delle gambe, e' possibile tentare di correlare temperatura con *errore di puntamento non sistematico*.

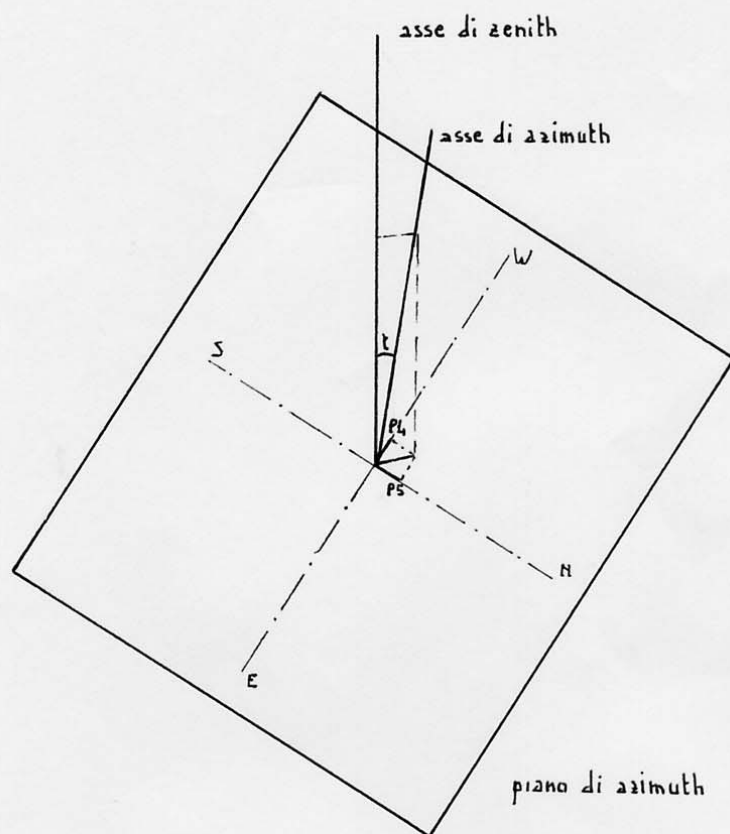


Fig. 1.1

## 2. LA LIVELLA ELETTRONICA

Sostanzialmente il sistema di misura e' costituito da tre parti: un sensore di inclinazione, l'elettronica di eccitazione e rivelazione, un semplice sistema di termostatazione delle due parti precedenti.

Il sensore di inclinazione usato e' il LEVELTRONIC A40 costruito dalla ditta svizzera WYLER. Il suo principio di funzionamento consiste in un pendolo formato da un disco della massa di 1 gr. sospeso, tramite molle esenti da attrito, tra due elettrodi in aria. Il sistema elettrodo-disco-elettrodo costituisce una coppia di condensatori il cui valore di ciascuno dipende dalla posizione del disco stesso.

I due elettrodi sono eccitati da un segnale sinusoidale a bassa frequenza, tipicamente 5 kHz, e l'insieme del doppio condensatore e' inserito in un sistema a ponte che rivela lo sbilanciamento di capacita' allorquando il pendolo non e' perfettamente equidistante dai due elettrodi ovvero quando e' presente l'inclinazione. Il corrispondente segnale elettrico viene raddrizzato ottenendo cosi' una tensione continua proporzionale alla inclinazione. Il fattore di scala (da alcuni chiamato anche guadagno) tra la tensione misurata e l'inclinazione viene determinato tramite opportuna taratura e comunque e' in genere dell'ordine della decina di mV/arcsec.

Infine il termostato ha lo scopo di rendere immune sia il sensore che l'elettronica da variazioni di temperatura considerato che tali livelle vengono collocate sulla antenna all'esterno.

Un sistema di questo genere consente di effettuare misure di inclinazione con sensibilita' di un arcosecondo con precisione comparabile e con un tempo di esecuzione che se riferito al solo sistema teste' descritto e' pari a 3 secondi. In realta' a questo tempo deve sovrapporsi il tempo di risposta dovuto all'antenna e al suo servomeccanismo che ha una costante di tempo confrontabile con questo valore.

Per ottenere queste caratteristiche e la dovuta ripetibilita' di misura pari importanza alle prestazioni elettroniche assume il fissaggio meccanico e la posizione delle livelle. Affinche' la rivelazione sia quanto piu' possibile corrispondente all'errore di puntamento occorre posizionare il sensore quanto piu' in alto possibile sull'antenna per tenere conto di tutte le possibili cause di deformazione, questo compatibilmente con la ricerca di una posizione sufficientemente rigida. A questo proposito i sensori sono stati posizionati nelle nicchie

predisposte appositamente dalla TIW, ditta costruttrice dell'antenna, uno sulla trave sotto l'encoder di elevazione, l'altro sulla trave dei cuscinetti di elevazione, cosicché esse si trovano a 90 gradi tra loro.

In questi vani l'involucro contenente il sensore è stato fissato tramite bulloni ad una pesante piastra a sua volta strettamente connessa alla nicchia. Il vano è poi stato chiuso ermeticamente e coibentato.

Per facilitare e sveltire le misure è stato anche predisposto un sistema di acquisizione di segnali analogici che consiste in una parte elettronica di conversione analogico digitale e un programma software (GDATA) che consente di acquisire e memorizzare in files i valori relativi ai canali prescelti. In questo modo oltre che l'informazione di inclinazione si possono controllare anche tutta una serie di parametri che confermano il buon funzionamento del sistema di misura, quali ad esempio la temperatura del sensore e dell'elettronica, la stabilità degli oscillatori di eccitazione, il vento, ecc.

Per informazioni più dettagliate sia sulla realizzazione della livella elettronica che dell'acquisitore si rimanda ai relativi rapporti interni (Rif. 2 e 3).



### 3. MISURE CON LE LIVELLE

#### 3.1 Verifiche e considerazioni preliminari

Sulla base del sistema di misura installato, e descritto nel capitolo precedente, si sono prima di tutto eseguiti dei test preliminari per assicurarsi della attendibilit  di tutto l'insieme. Essi consistono nel verificare la ripetibilit  della misura, data una qualunque posizione della antenna, sia stazionando sul posto che ritornandovi. Verificare se i siti ove sono situate le livelle sono sufficientemente protetti dal vento e come la temperatura esterna influisce.

Nel seguito le due livelle verranno identificate nel seguente modo: a partire dalla posizione di stow quella situata sulla trave dei cuscinetti di elevazione verr  chiamata *LIVELLA E-W* perch  si trova nella direzione est-ovest. Oppure anche *LIVELLA XEL* (*cross-elevazione*) perch  la misura influisce sull'errore della coordinata ortogonale alla elevazione. L'altra livella, quella situata sotto un cuscinetto di elevazione verr  chiamata *LIVELLA N-S* perch  si trova situata nella direzione nord-sud oppure anche *LIVELLA EL* perch  il dato di misura determina l'errore in elevazione.

Le prove di ripetibilit  nella posizione di stow, uscendovi e rientrandovi pi  volte hanno dato i seguenti risultati (il valore dell'elevazione   dato solo per completezza ma non influenza):

Prova n.ro 1)	AZ=180.412	EL=89.492
	Livella XEL=228.7"	
	Livella EL=-9.4"	
Prova n.ro 2)	AZ=180.417	EL=89.494
	Livella XEL=228.6"	
	Livella EL=-8.4"	
Prova n.ro 3)	AZ=180.418	EL=89.494
	Livella XEL=228.8"	
	Livella EL=-7.7"	

L'evidenza   che la ripetibilit    assicurata al massimo con uno scarto di 1 arcosecondo che peraltro   giustificabile nella livella EL col fatto che la posizione di stow in azimuth della prova 3   di quattro millesimi di grado diversa da quella della prova 1 e quindi il leggerissimo dislivello pu  essere reale.

Per quanto riguarda il vento prove ad antenna ferma e non hanno confermato che influenze dirette sul sensore non ve ne sono mentre quelle indirette, cio  dovute a spostamenti della antenna sono del tutto

inesistenti, almeno fino al valore di 50 km/h entita' del vento nel giorno di prova.

Infine l'influenza della temperatura esterna. Ancora nessun effetto diretto su tutto il sistema di misura stante la termoregolazione. Gli effetti indiretti sono ancora quelli dovuti a eventuali deformazioni delle gambe della antenna che ovviamente sono piu' sostanziosi di giorno con il sole. Inoltre diverso e' il comportamento per ciascuna delle livelle. La livella EL risente piu' pesantemente di deformazioni della struttura in quanto queste spostano l'antenna proprio nella sua direzione di misura. Nelle figure 3.1-1 e 3.1-2 sono mostrate le rilevazioni della inclinazione per ciascuna livella nell'arco di cinque giorni con l'antenna ferma in stow position (la repentina variazione indicata con \* non e' reale, ma e' il frutto di un errore di trasmissione del dato acquisito).

L'inclinometro N-S (EL) mostra una dinamica di variazione di circa 10" nei primi due giorni, di gran lunga maggiore dell'inclinometro E-W (XEL), e con valore pressoché stabile durante le ore notturne (dalle 21 circa locali alle 6 del mattino che corrispondono alle 19 e 4 UT rispettivamente). Occorre dire comunque che questo e' il comportamento nel periodo estivo dove la differenza di temperatura tra notte e giorno e' molto diversa da cio' che accade in inverno con giornate soleggiate: di giorno riscaldamento delle gambe, la notte notevole abbassamento della temperatura fin sotto lo zero. Con questo comportamento la dinamica di variazione si allarga e il periodo a inclinazione costante si contrae. Un "assaggio" di questo lo si vede tra il terzo e quarto giorno di acquisizione con quasi 30" di variazione.

L'altra livella ribascula tale comportamento ma con entita' inferiore. Questi preliminari consentono di imparare a prendere alcune precauzioni prima di effettuare una campagna di acquisizioni: e' conveniente effettuarle di sera e/o di notte in assenza di vento forte e sincerandosi che la struttura della antenna non risenta di sbalzi di temperatura ovvero che il valore della inclinazione rimanga fisso, bastano pochi minuti di acquisizioni per verificarlo.

### 3.2 Campagna di misure di inclinazione

La sessione di misure consiste nell'acquisire i valori di inclinazione forniti dalle livelle XEL ed EL mentre si fa variare l'azimuth ruotando l'antenna di un intero giro. Nei fatti poi si effettua piu' di un giro per ottenere punti di sovrapposizione come verifica di ripetibilita'.

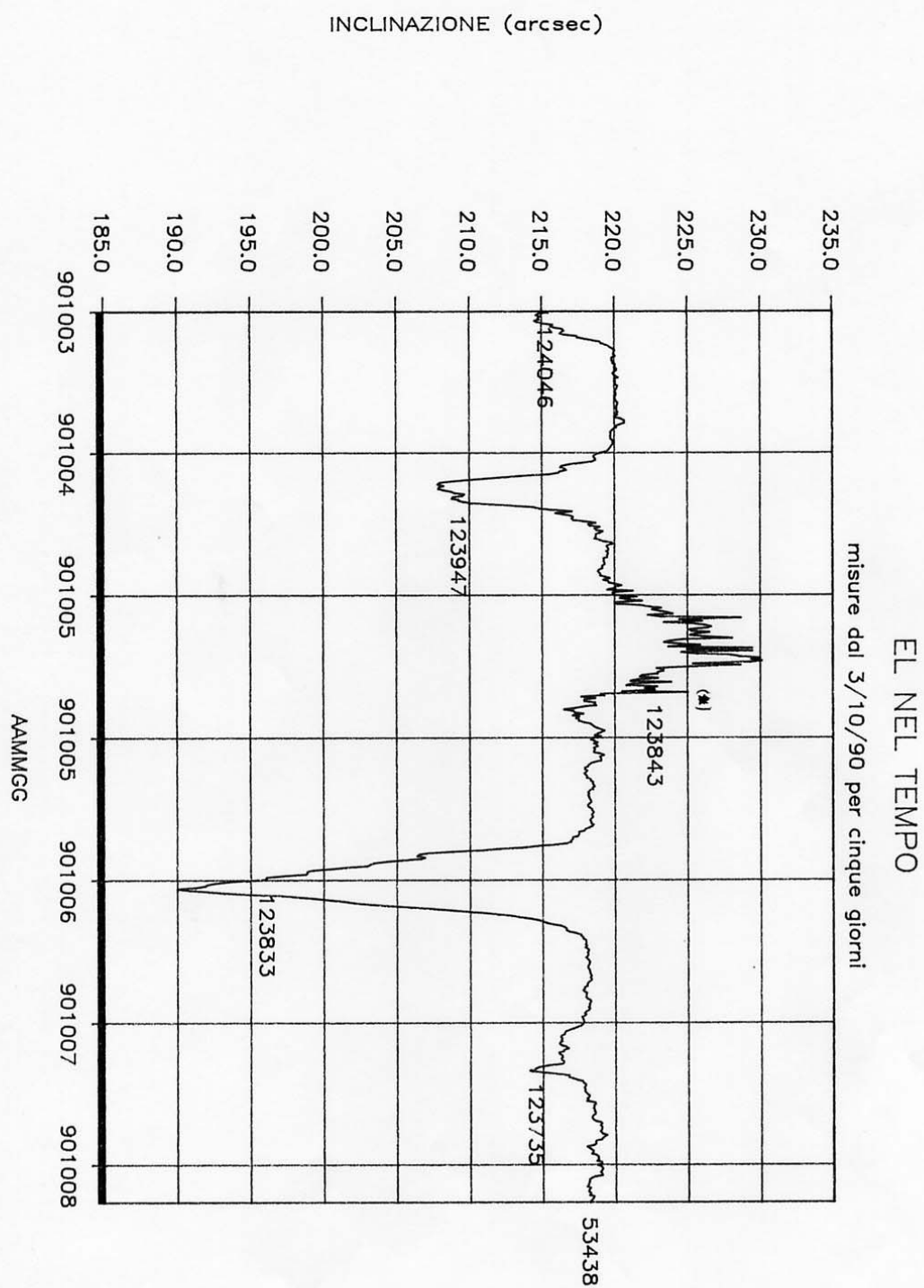


Fig. 3.1-1

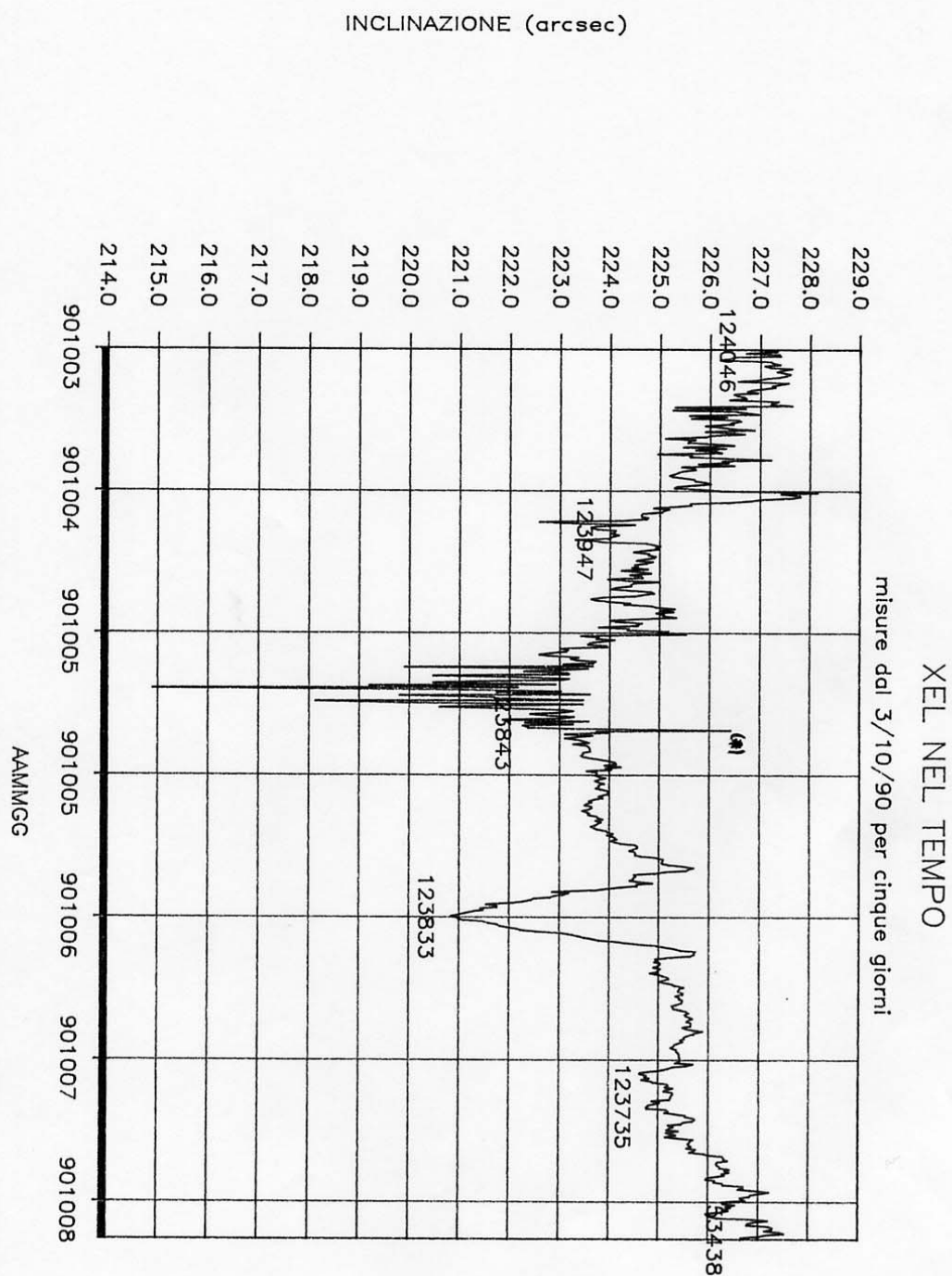


Fig. 3.1-2

Come già accennato in precedenza oltre all'informazione principale che sono le inclinazioni lungo i due assi vengono acquisite informazioni ausiliarie di controllo del sistema di misura quali dati ambientali esterni e interni al sensore, la posizione della antenna, e l'istante di tempo di acquisizione. Una tipica "striscia" di acquisizione e' come la seguente

Canale:	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Factor scale:	100.0000	25.5000	100.0000	30.0000	1.0000	1.0000	1.4300	1.0000	0.0000	0.0000
Gain, AC/DC:	LL, DC	LL, DC	LL, DC	LL, DC	LL, AC	LL, AC	LL, AC	LL, AC	LL, AC	LL, AC
Mnemonic:	TEMP, XEL	INCL, XEL	TEMP, EL	INCL, EL	OSC2, XEL	OSC1, XEL	OSC2, EL	OSC1, EL		
900531 152524	304.7303	149.7065	305.8595	19.8924	2.0219	1.4805	2.1119	2.1972	180.4160	89.4960
900531 152533	304.6998	149.7057	305.8590	19.8924	2.0217	1.4805	2.1119	2.1972	180.4160	89.4960
900531 152742	304.6998	149.8758	305.8595	20.1625	2.0217	1.4805	2.1117	2.1972	180.4160	89.4960
900531 152851	304.6998	149.9520	305.8590	20.3273	2.0217	1.4804	2.1119	2.1972	180.4160	89.4960

Le prime due colonne costituiscono la data(anno,mese,giorno) e l'ora UT(ore,minuti,secondi).Le temperature dei sensori sono in Kelvin, le inclinazioni in arcsec, i valori degli oscillatori in volt. Aggiunte possono essere il vento e la temperatura esterna.

La velocita' di rotazione in linea di principio dovrebbe essere tanto bassa quanto possibile, anzi una misura rigorosa contemplerebbe il posizionamento della antenna in ciascuna posizione e l'attesa che si estingua il transitorio prima di effettuare l'acquisizione. Tuttavia cio' comporterebbe una durata della sessione enorme se si vogliono registrare molti punti, un buon compromesso e' una velocita' relativamente bassa e soprattutto costante in quanto le accelerazioni sono prontamente rivelate dagli inclinometri stante la loro sensibilita' falsando cosi' la misura.

Nell'ultima sessione da noi effettuata, nel giugno 90, la velocita' di rotazione fu di 2°/min, ma confrontando il tracciato con quello dell'anno precedente a 4°/min non si hanno differenze di rilievo se non un tracciato piu' rumoroso in quest'ultimo caso.

Direttamente connessa con la misura e' la costante di tempo di risposta del sistema, intendendo come tale l'insieme antenna, sensore, elettronica di acquisizione. Per avere una idea del comportamento dinamico si sono preliminarmente fatte prove di risposta al gradino di posizione, si sono cioe' imposti spostamenti ripetuti in azimuth e valutata la risposta del sistema nel suo complesso in termini di inclinazione.

I risultati sono mostrati nelle figure 3.2-1 e 3.2-2. Nella prima si vede la risposta della porzione di sistema costituita dalla antenna e del suo servosistema, si possono notare gli overshoot tipici di una risposta

del secondo ordine il cui responsabile e' la struttura della antenna (vedi Rif. 4). Nella seconda figura e' mostrata invece la risposta totale per entrambe le direzioni di misura.

L'andamento e' piuttosto complesso a dimostrare che intervengono piu' costanti di tempo fra loro paragonabili e che sostanzialmente sono dovute alla risposta d'antenna (settling time di 2-3 sec, vedi Rif. 4), alla costante di tempo del sensore (le caratteristiche indicano 3 sec) e a quella dell'acquisitore (impostata a 1 sec nella campagna del giugno '90).

A questo punto si possono finalmente analizzare i risultati della campagna di misure vera e propria. Faremo essenzialmente riferimento a quella del giugno '90 prendendo quella del maggio '89 come confronto. I risultati sono mostrati nella cospicua serie di grafici delle figure da 3.2-3 e seguenti.

Le 3.2-3 e 3.2-4 sono riportate per mostrare il grado di ripetibilita' della misura. Si vede infatti che sono stati acquisiti due volte i punti ad azimuth basso, fino a 30° circa e ad azimuth elevato, da 300° a 360° circa, dopo avere effettuato un intero giro di misura. Si puo' notare come la ripetibilita' e' dell'ordine di un secondo d'arco che e' anche la precisione che si riesce ad ottenere col nostro sistema.

Come nota a margine facciamo notare che il valor medio delle acquisizioni non e' nullo, questo semplicemente significa che la livella in situazione statica non e' perfettamente orizzontale. Nei grafici successivi i dati saranno mostrati a valor medio nullo e, depurati da questo offset, tali saranno i valori che verranno usati per correggere il puntamento. L'eliminazione dell'offset viene effettuata per via numerica assimilandolo al valor medio dei punti acquisiti.

Nelle due figure successive sono appunto riportati gli stessi grafici ma a valor medio nullo e ulteriormente filtrati per via numerica riducendo a soli 360 i punti di correzione. Il filtro viene effettuato facendo la media dei punti con stessa parte intera di azimuth. L'unita' di misura e' ora in gradi perche' in tale unita' sono i dati da correggere ottenuti da FOLLO. Notare come questa operazione di filtraggio elimina eventuali dati falsi come lo spike che si vede in fig. 3.2-3 in corrispondenza di AZ=27° circa che peraltro non esiste piu' nel punto di sovrapposizione. La livella piu' esposta a tale fenomeno e' quella EL proprio per la posizione in cui e' collocata.

Tutte queste operazioni sui dati misurati, ovvero filtraggio, riduzione a v. m. nullo, correzione sui dati di

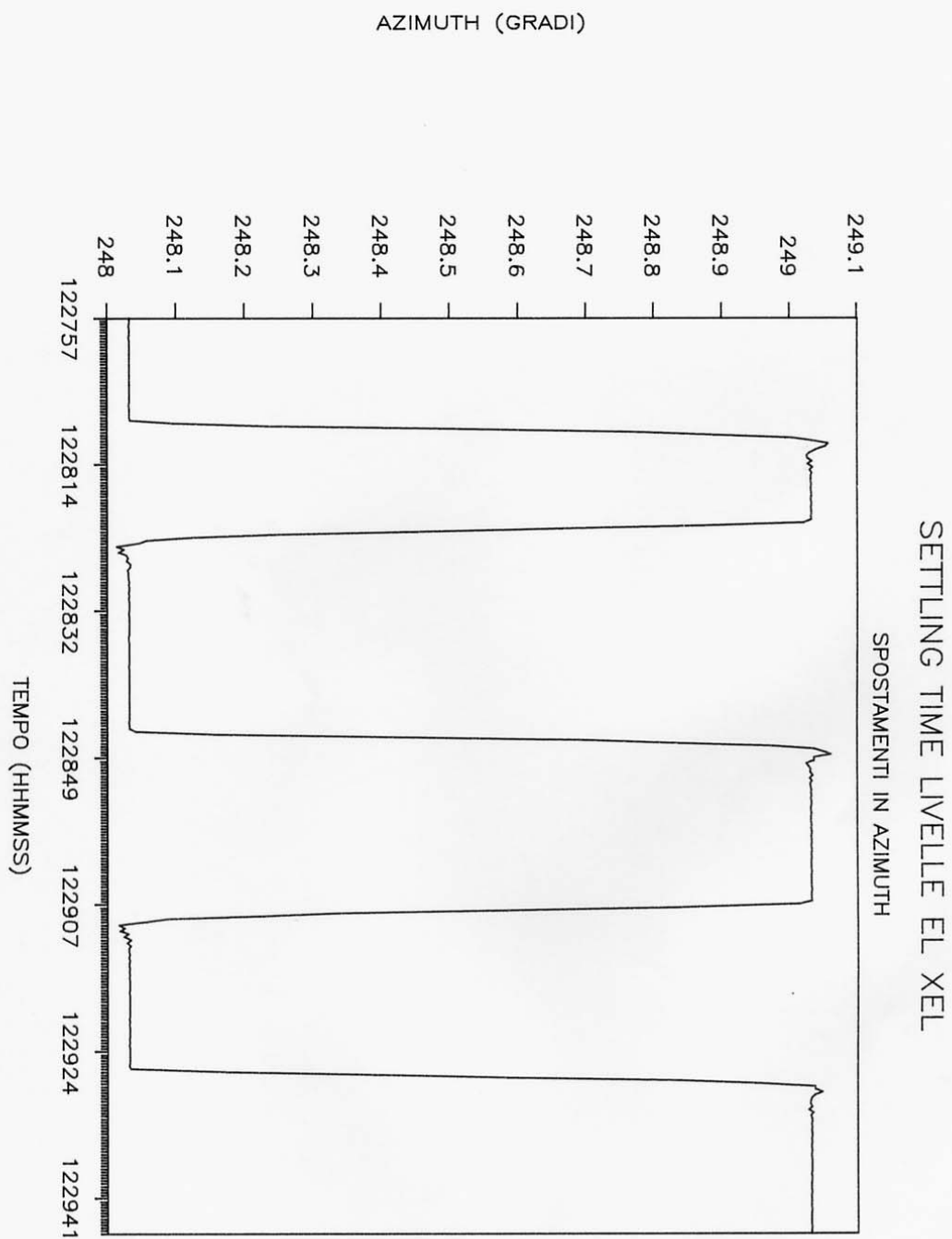


Fig. 3.2-1

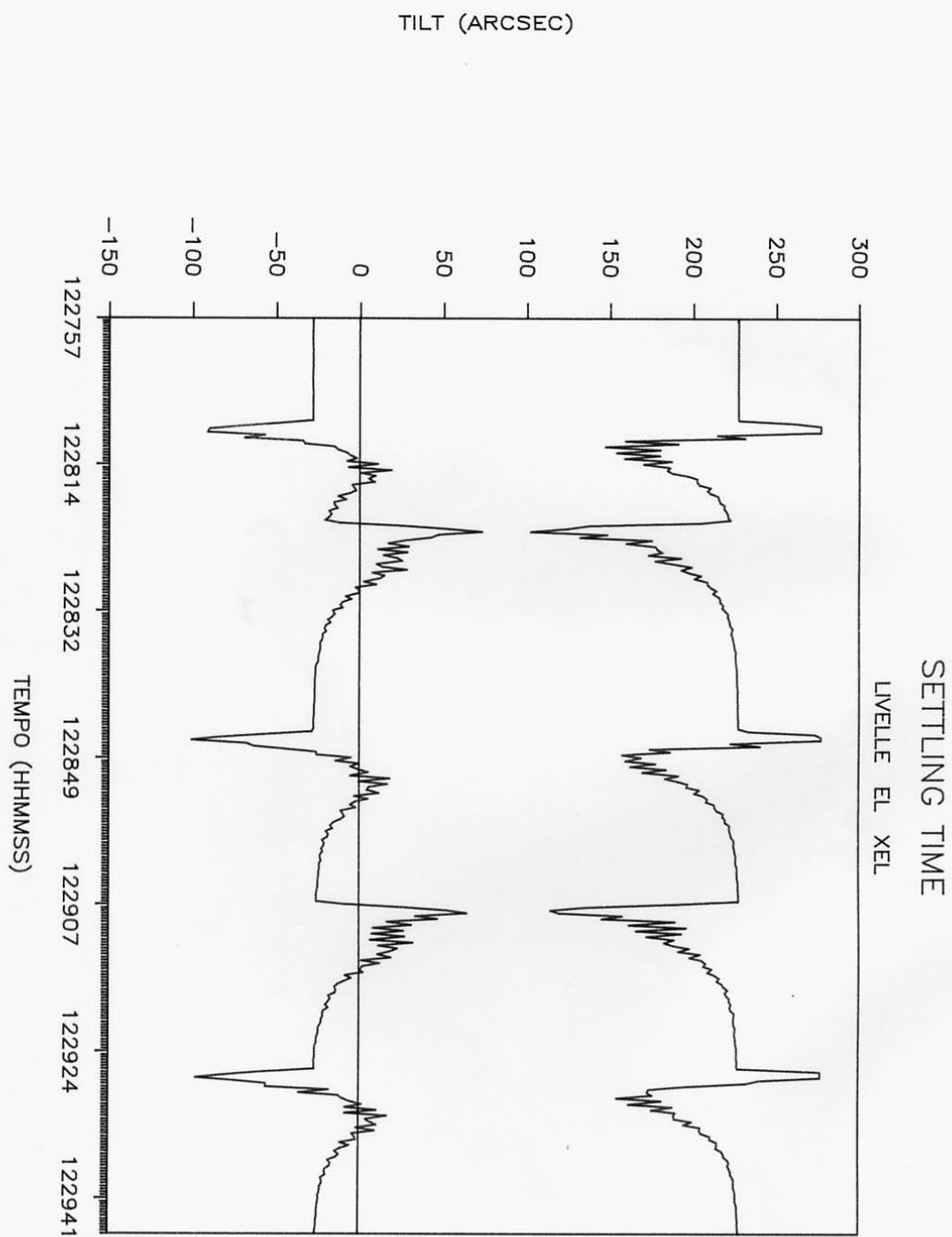


Fig. 3.2-2



Generation date: 3:20 PM WED., 5 SEPT, 1990 — Input file: SOVRNS.DAT  
DATI N—S GIUGNO 90:SOVRAPPOSIZIONI

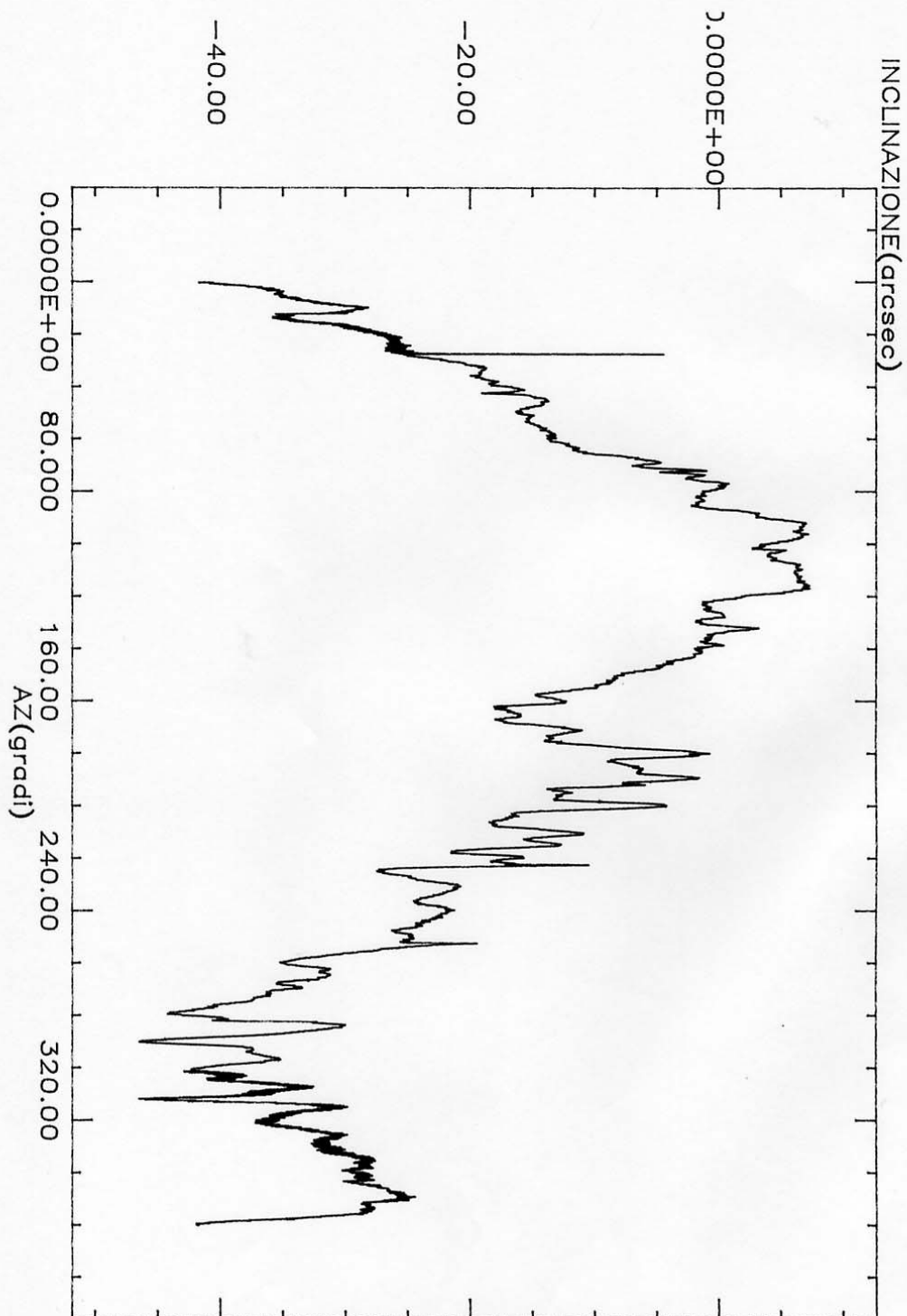


Fig. 3.2-3

Generation date: 4:54 PM WED., 5 SEPT, 1990 -- Input file: SOVREW.DAT  
DATI E-W: GIUGNO 90:SOVRAPPOSIZIONI

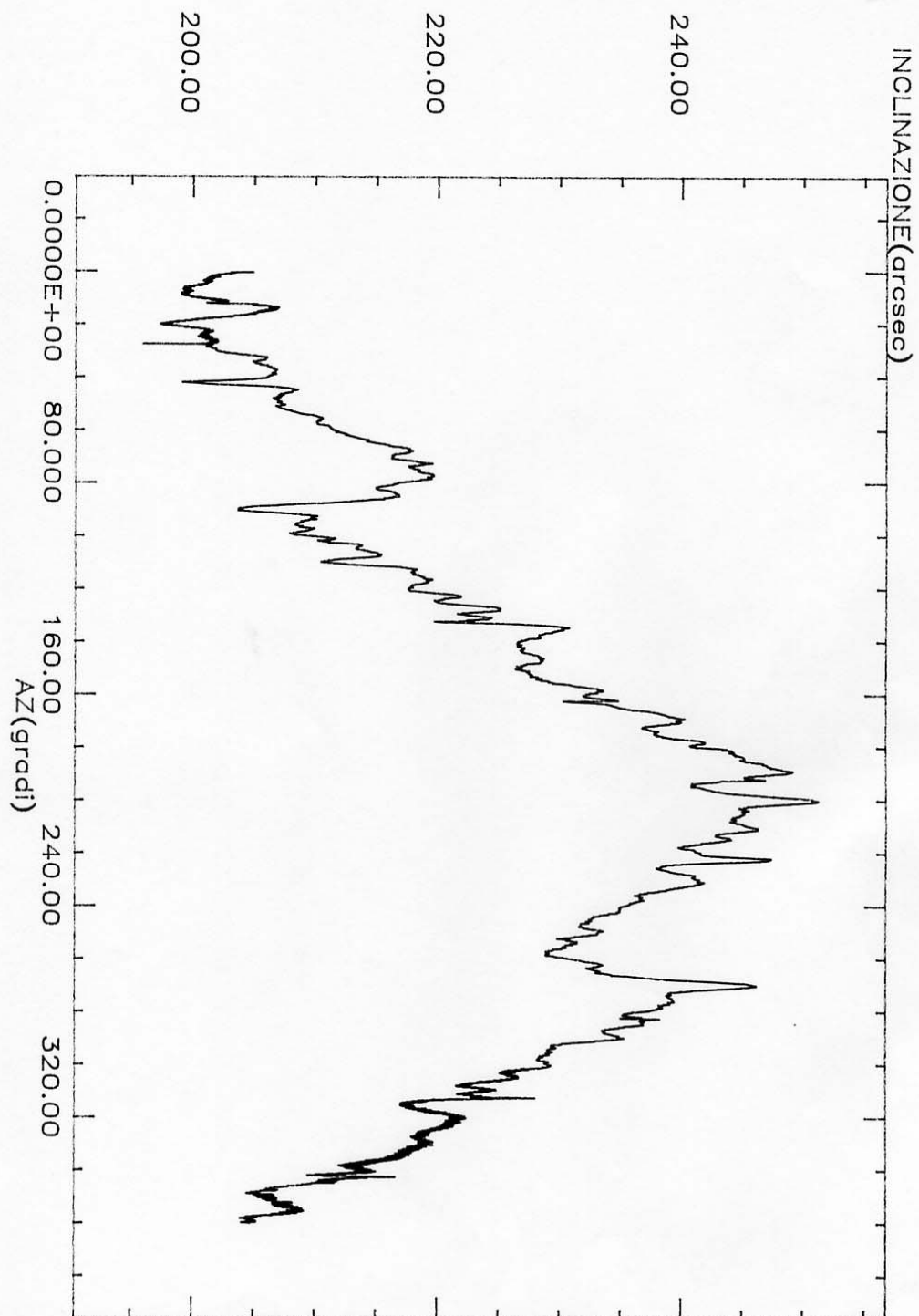


Fig. 3.2-6

Generation date: 9:40 AM WED., 29 AUG., 1990 -- input file: RIDOTTONS.DAT  
DATI GIUGNO 90 RIDOTTI A 360 P.TI

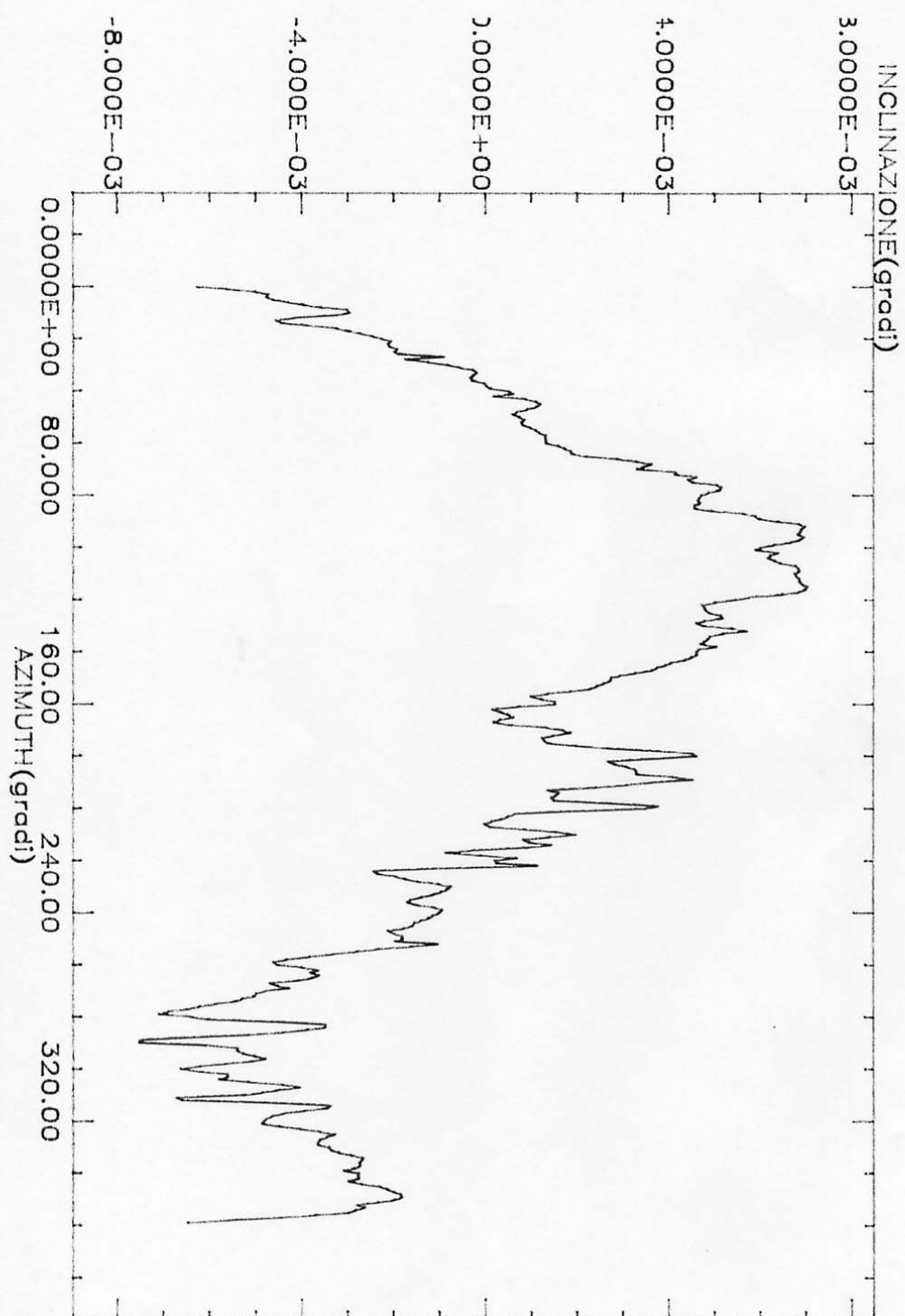


Fig. 3.2-5

Generation date: 9:36 AM WED., 29 AUG., 1990 -- Input file: RIDOTTOEW.DAT  
DATI GIUGNO 90 E-W RIDOTTI A 360 P.TI

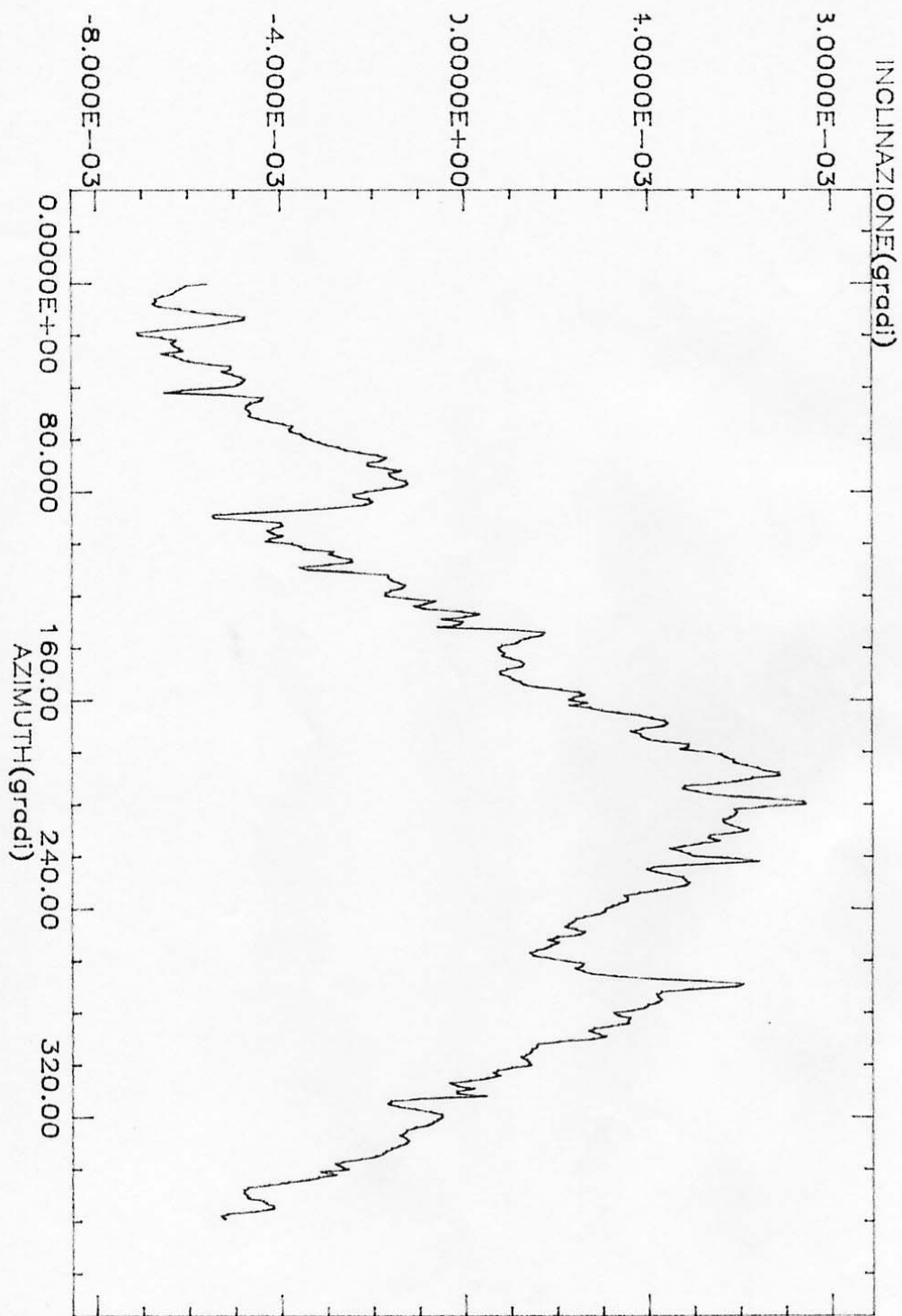


Fig. 3.2-6

FOLLO vengono eseguite da un programma chiamato TABULA.

Esaminando questi tracciati balza subito evidente prima di ogni altra considerazione che il piano su cui ruota l'antenna in realta' e' tale solo in prima approssimazione. Sovrapposta alla sinusoide esistono deformazioni ulteriori la cui responsabile principale e' la rotaia su cui l'antenna ruota. Questa negli anni ha subito punti di cedimento non uniformi della base d'appoggio come confermano misure indipendenti della sua planarita' effettuate tramite una livella ottica (fig.3.2-7).

Da queste si vede che, soprattutto nell'intorno della posizione di stow,  $AZ=180.4^\circ$ , esiste un profondo buco e questo e' confermato anche dalle misure con le livelle elettroniche. Nella fig.3.2-5 si vede come in corrispondenza a  $180^\circ$  ci sia una forte alterazione dell'andamento sinusoidale, la stessa informazione e' contenuta nella fig. 3.2-6 (livella XEL) in corrispondenza di  $90^\circ$  e  $270^\circ$ .

La ridondanza della informazione e' logica in quanto fisicamente le due livelle sono tra loro ortogonali e nel movimento della antenna le due tracce di registrazione sono sfasate di  $90^\circ$ . Inoltre su ciascuna traccia due punti distanti tra loro  $180^\circ$  devono dare la stessa inclinazione a meno del segno visto che la livella si trova posizionata nella medesima direzione solamente invertita in verso.

E' allora anche interessante fare il confronto con la campagna di misure effettuata un anno prima, maggio 89, per vedere se i tracciati sono simili o meno. Le figure da 3.2-8 a 3.2-11 mostrano tutti i punti acquisiti e la riduzione a  $360^\circ$ . Nella traccia completa si nota molto rumore sovrapposto probabilmente dovuto alla velocita' di rotazione doppia, la traccia filtrata invece risulta piu' chiara e consente di verificare che, confrontando con le omologhe tracce del giugno 90, la situazione e' del tutto uguale, compresa la "voragine" anzidetta, a parte una inversione di segno della fig.3.2-8 dovuta ad una inversione di polarita' sul voltmetro di acquisizione e a un valore di picco piu' basso.

Non altrettanto chiaro come sul tracciato della livella ottica e' il riconoscimento del cedimento della rotaia in corrispondenza dei giunti. Nella antenna di Medicina infatti il materiale sottostante ciascun giunto cede ogniquale volta il peso lo sovrasta.

Ritorno pianaria rotata - Ka diotestopio Me di a n a -

strumento: Livella ottica PENTAX

Lettura alttezze con asta fissata su maginete, riferimento letture con Target adesivo K &

Tempo nuvoloso -

Letture effettuate dalle 10 alle 12,30 del 3-7-89

Letture rilevate sulle piastre a peggior rotata - ogni  $5^{\circ} = 798 \text{ mm}$

Antenna in posizione di stow 11 ore ABH min. AZ = 180,400

0.2 mm

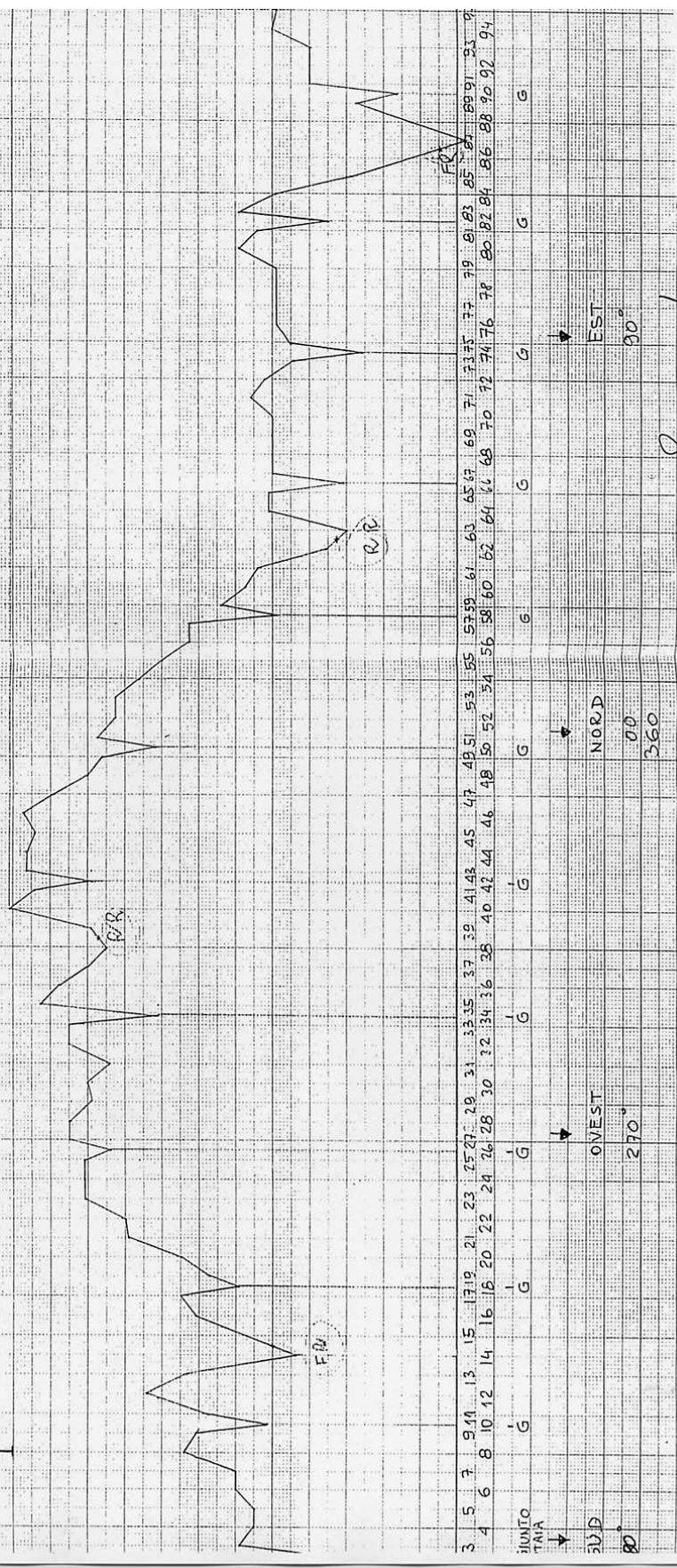


Fig. 3.2-7

Generation date: 7:48 AM THU., 30 AUG., 1990 — Input file: BOLNS.DAT  
DATI MAGGIO 89 N-S

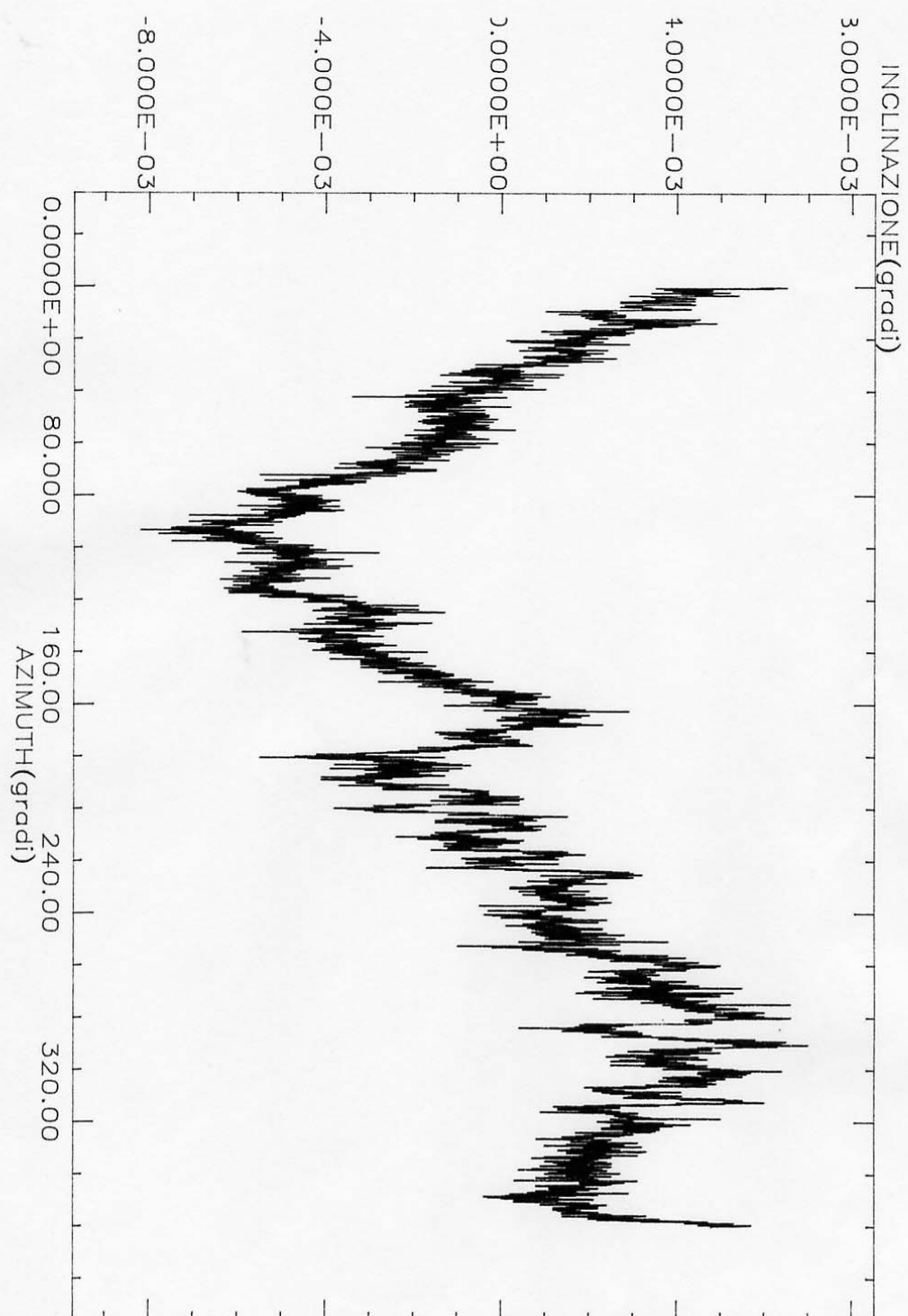


Fig. 3.2-8



Generation date: 7:35 AM THU, 30 AUG, 1990 -- Input file: BOLEW.DAT  
DATI MAGGIO 89 E--W

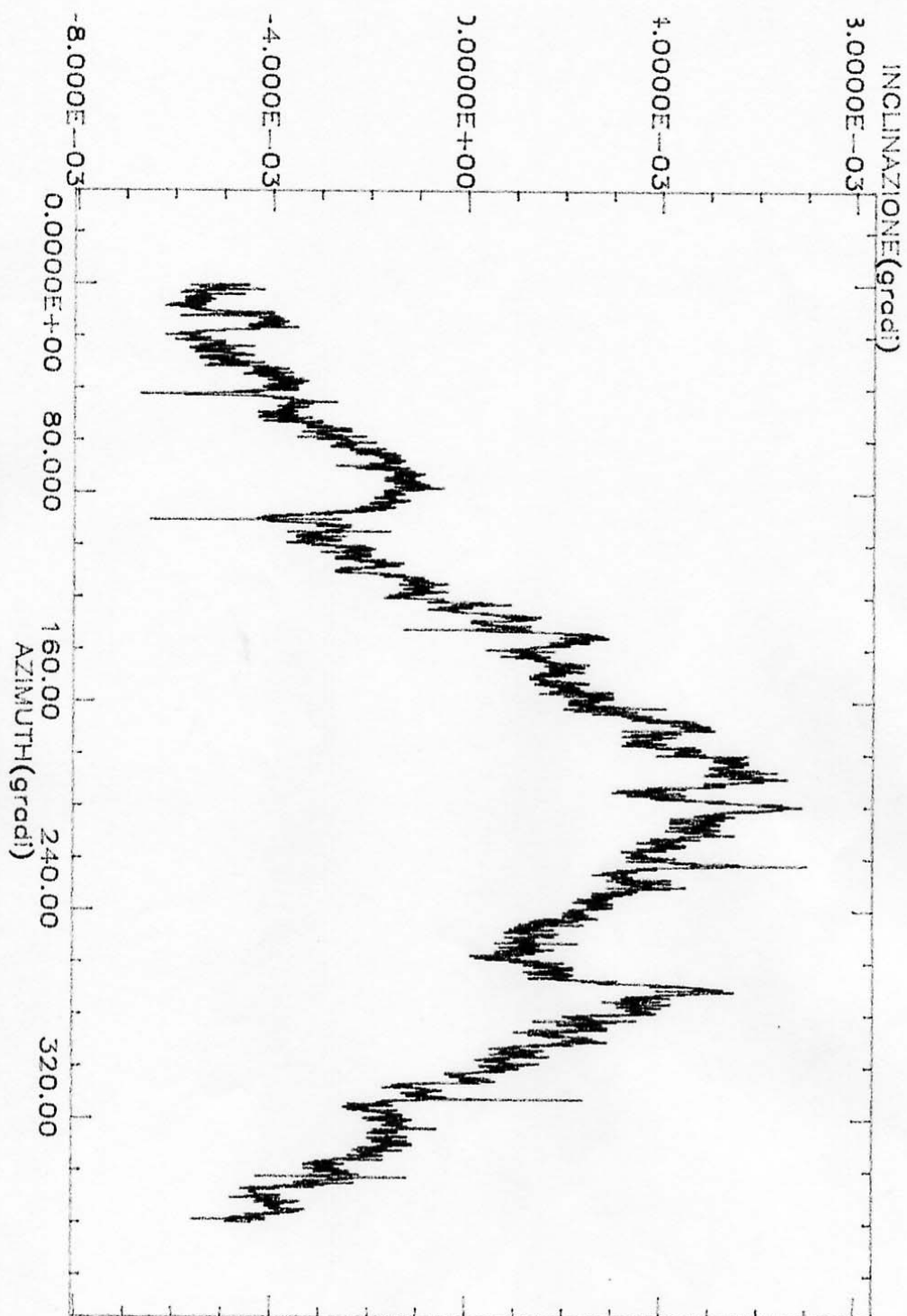


Fig. 3.2-9



Generation date: 10:43 AM WED., 29 AUG., 1990 -- Input file: RIDOTTOEW.DAT  
DATI MAGGIO 89 E-W RIDOTTI A 360 P.TI

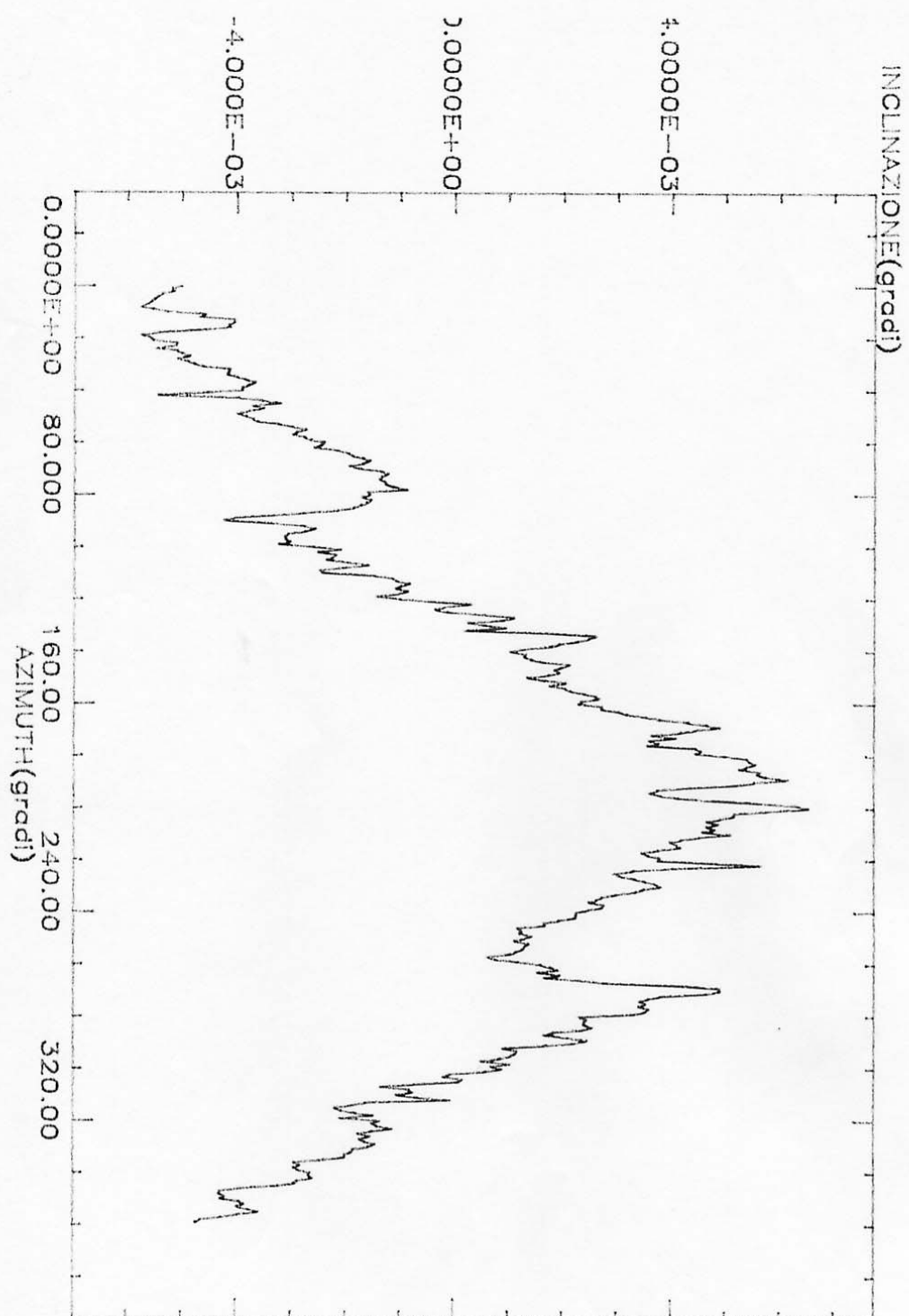


Fig. 32-11

Generation date: 10:40 AM WED., 29 AUG., 1990 -- Input file: RIDOTTONS.DAT  
DATI MAGGIO 89 N-S RIDOTTI A 360 P.TI

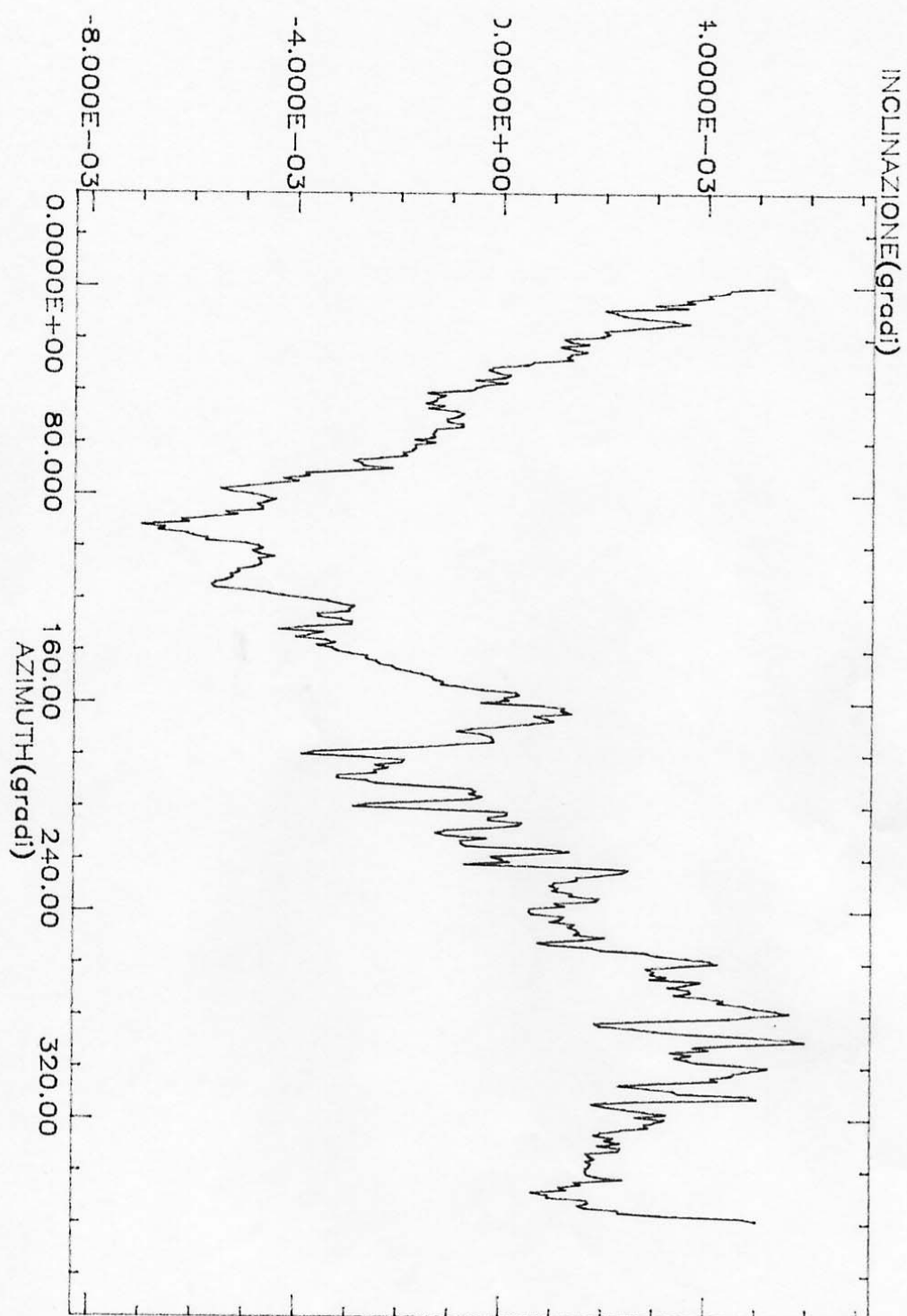


Fig. 3.2-10

Un'altra serie di misure riguarda l'acquisizione dei dati di inclinazione mentre l'antenna e' in inseguimento su varie sorgenti e mentre si muove solo in elevazione. Lo scopo e' duplice, da un lato verificare se la situazione di tracking possa mutare qualcosa nella misura, dall'altro controllare se l'inclinazione non dipenda anche dalla elevazione della antenna per effetto di un possibile sbilanciamento della struttura per gravita'.

Per quanto riguarda la prima questione non sussistono differenze rispetto ai valori ottenuti durante la campagna in quanto la velocita' di rotazione antenna e' paragonabile se non inferiore, a parte ovviamente i brevi transitori di cambio sorgente in cui l'accelerazione della antenna e' rivelata dalle livelle con un picco.

La seconda verifica invece rivela una seppur tenue dipendenza della inclinazione dalla elevazione a dimostrazione del fatto che quando lo specchio si abbassa il suo peso fa leggermente cedere la struttura di sostegno sottostante nonostante la presenza dei contrappesi. Questo significa che questi ultimi non equilibrano perfettamente lo specchio.

Dopo queste anticipazioni diamo i dettagli della misura sotto condizione di tracking.

Essa e' stata effettuata la notte seguente alla campagna di acquisizione e, come in precedenza, in completa assenza di vento, parametro che, assieme alle temperature interne ed esterne, e' stato monitorato.

L'intervallo dei valori di azimuth e' costituito da cinque fasce comprese tra  $250^\circ$  e  $350^\circ$  e quello dell'elevazione tra  $5^\circ$  e  $75^\circ$ .

La copertura e' mostrata nella figure 3.2-12 e 3.2-13 rispettivamente ove si sono riportati andamento di AZ ed EL in funzione del tempo. Nelle successive due coppie di figure 3.2-14, 3.2-15 ed 3.2-16, 3.2-17 sono riportati invece la misura durante il tracking e quella della campagna per i soli valori di azimuth considerati.

Dal confronto si vede come gli andamenti siano del tutto simili come pure praticamente uguali sono le variazioni di inclinazione.

Nelle fig. 3.2-18 e 3.2-19 sono poi riportati le inclinazioni delle livelle mentre l'antenna e' in Azstow e si muove in elevazione alla massima velocita' prima verso il basso e poi di nuovo verso l'alto (ecco il motivo dei due tracciati nei grafici). Mentre la livella XEL rimane costante entro  $1''$  quella EL subisce una variazione di circa  $4''$ .

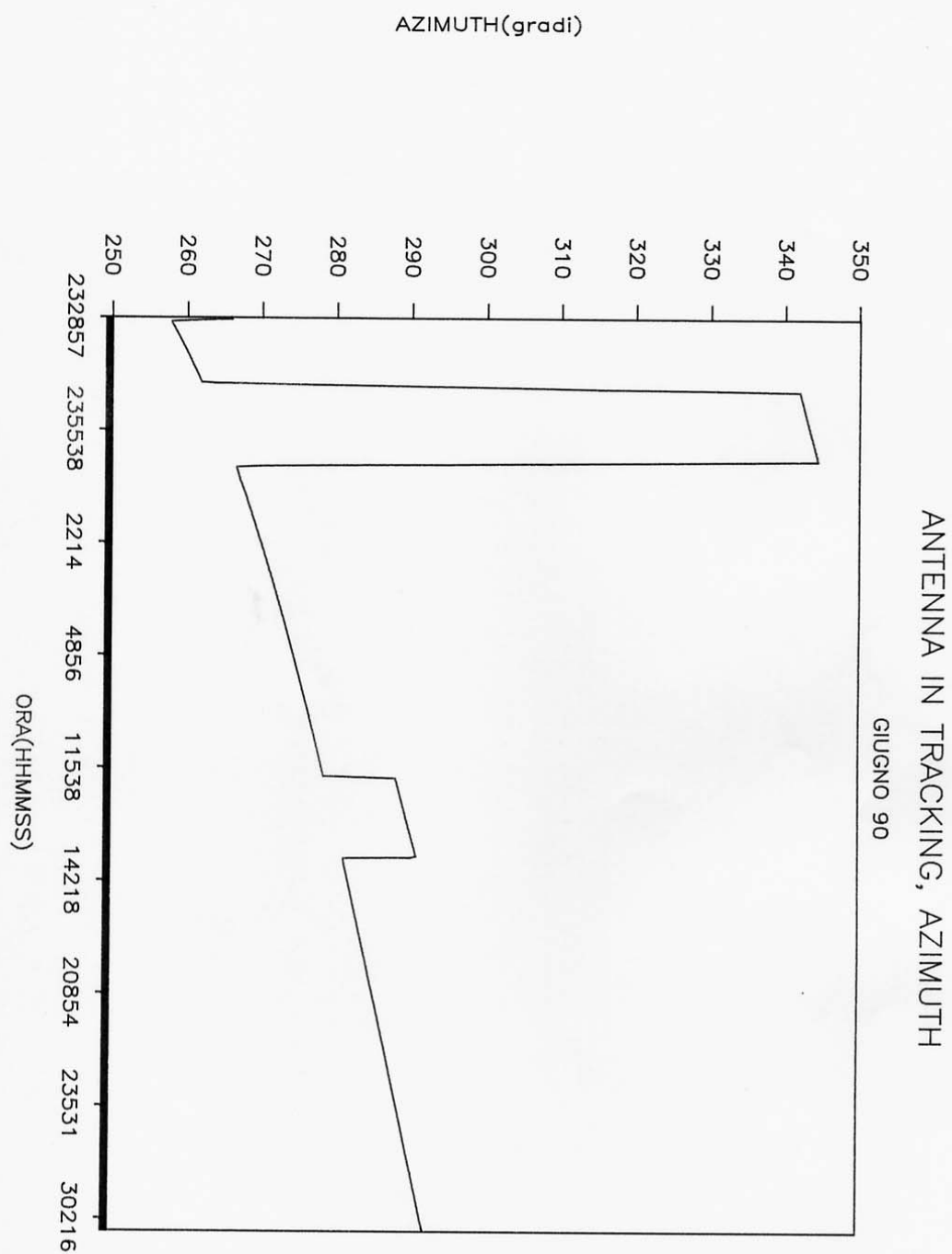


Fig. 3.2-12

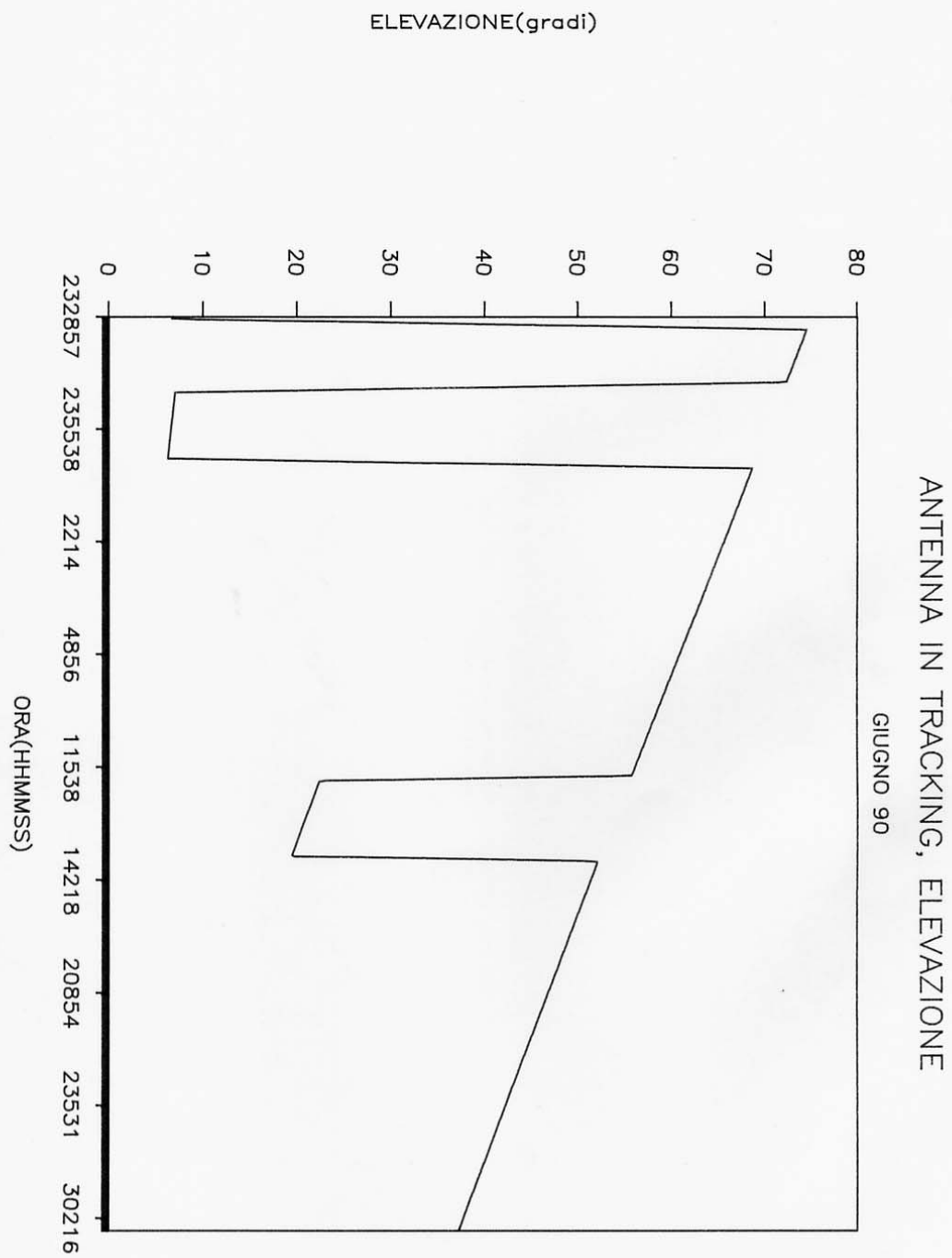


Fig. 3.2-13

## ANTENNA IN TRACKING, BOLLA EL

GIUGNO 90

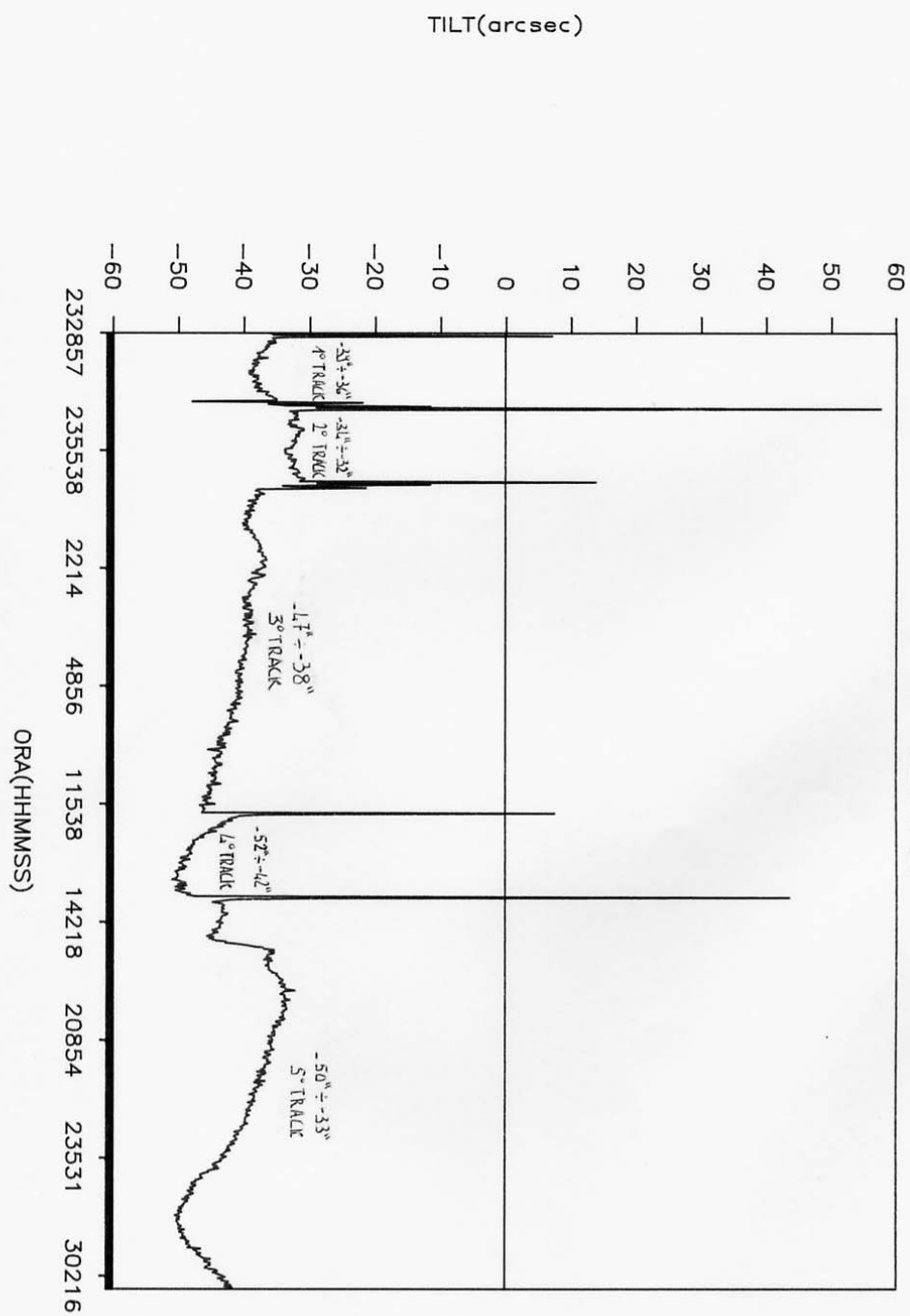


Fig. 3.2-14

Generation date: 6:53 AM FRI., 31 AUG., 1990 -- Input file: COPNS.DAT  
 MISURE BOLLA N-S DEL GIUGNO 90

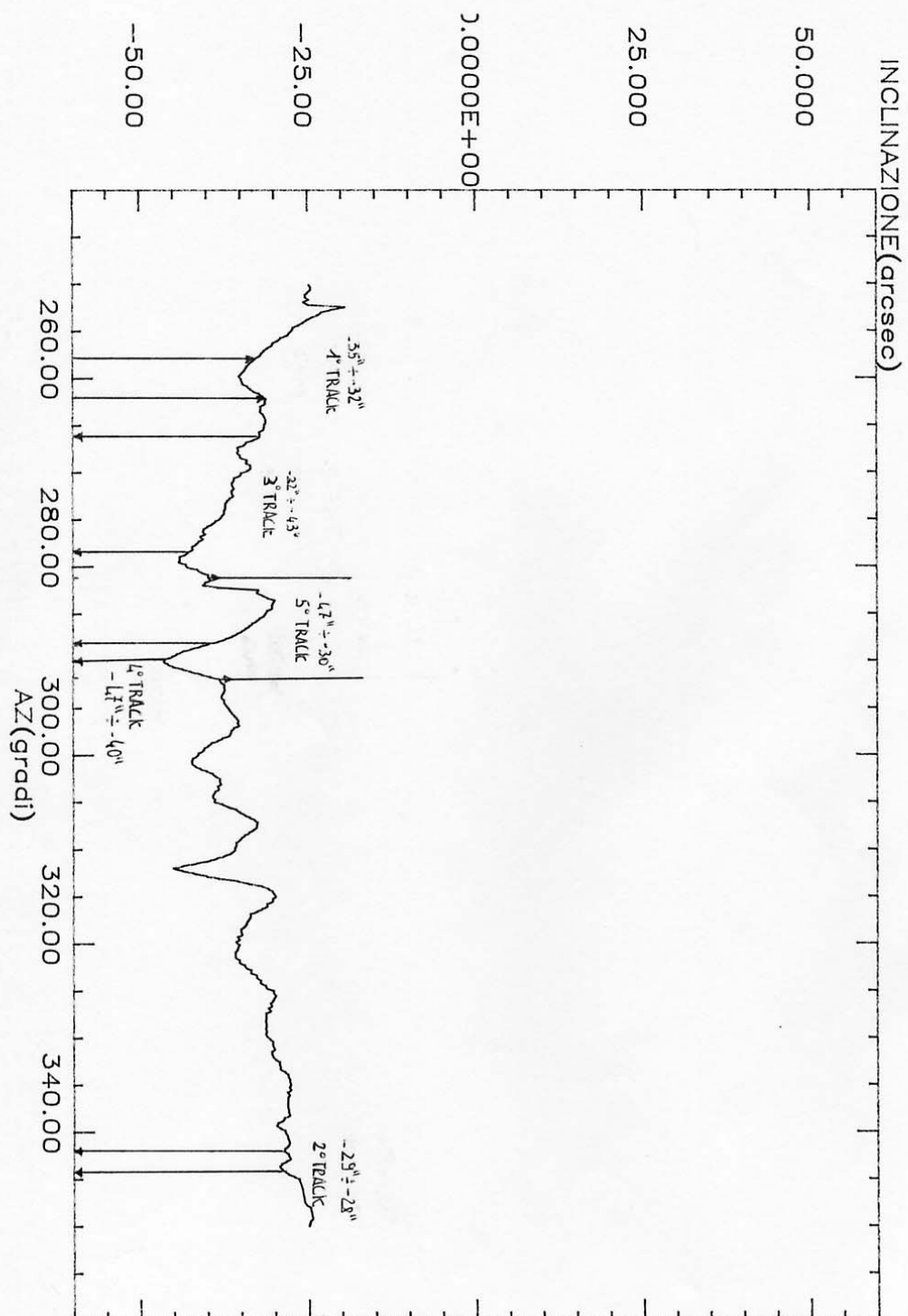


Fig. 3.2-15

## ANTENNA IN TRACKING, BOLLA XEL

GIUGNO 90

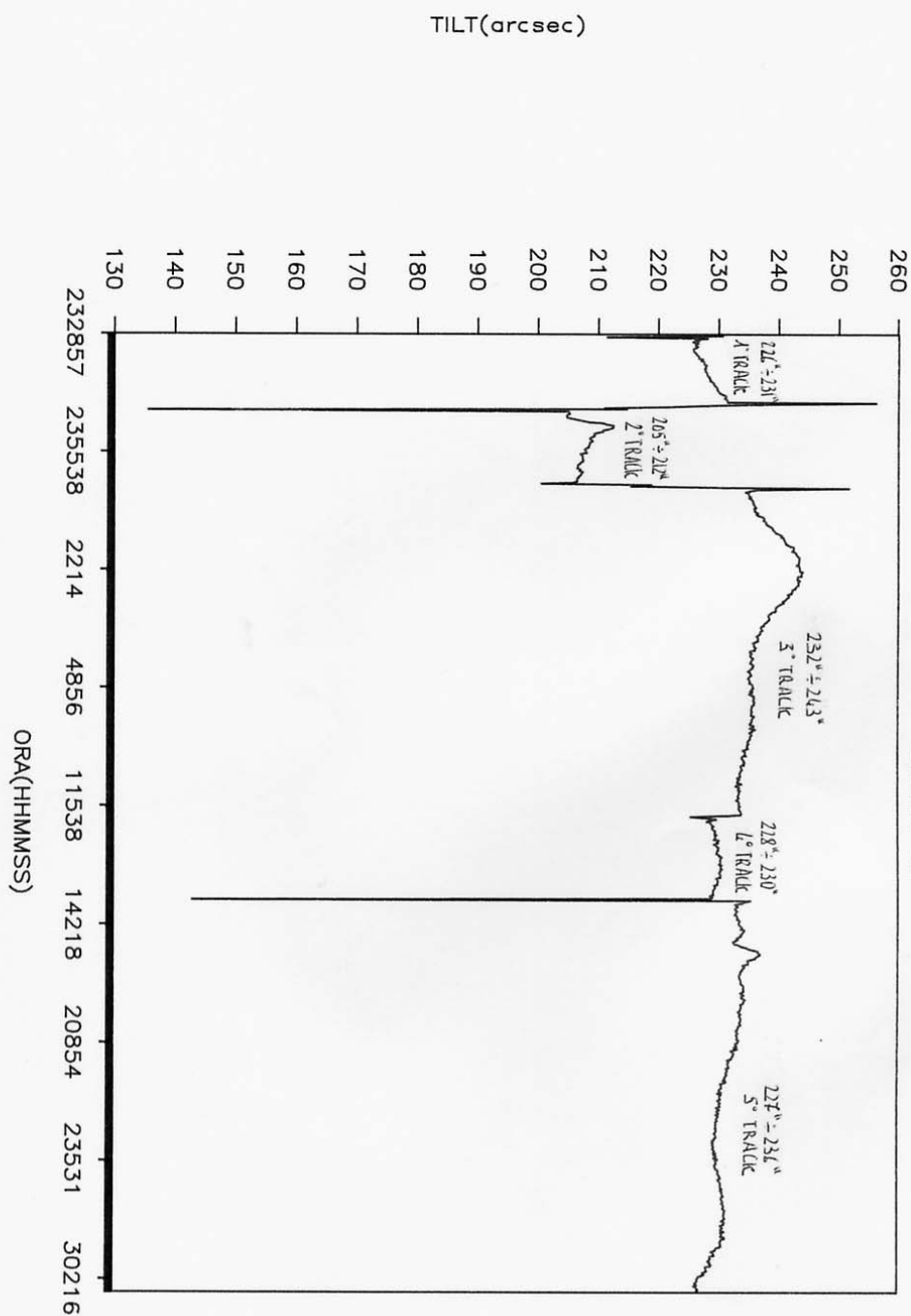


Fig. 3.2-16



Generation date: 6:36 AM FRI., 31 AUG., 1990 — Input file: COPEW.DAT  
 MISURE BOLLIA E-W DEL GIUGNO 90

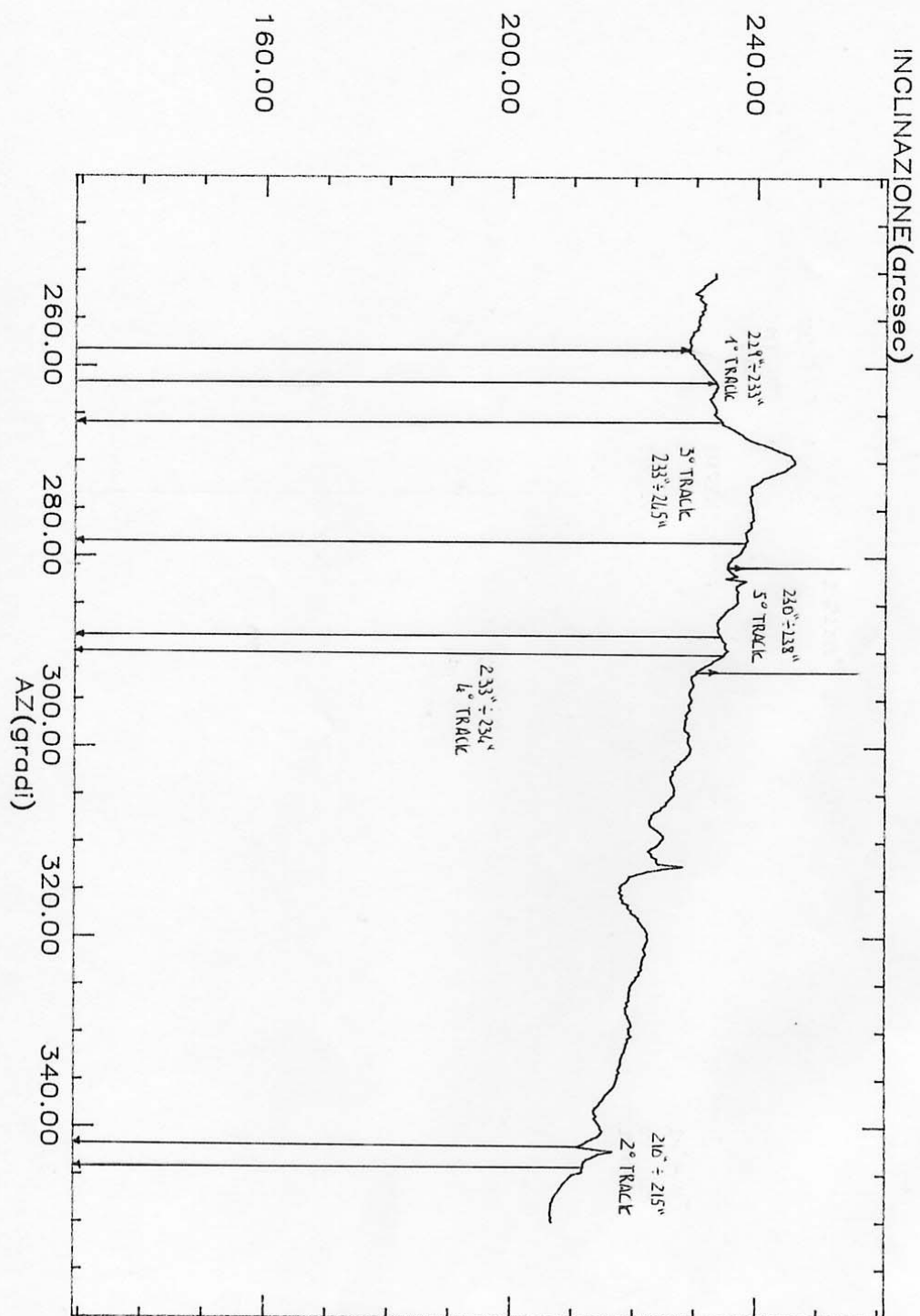


Fig. 3.2-17

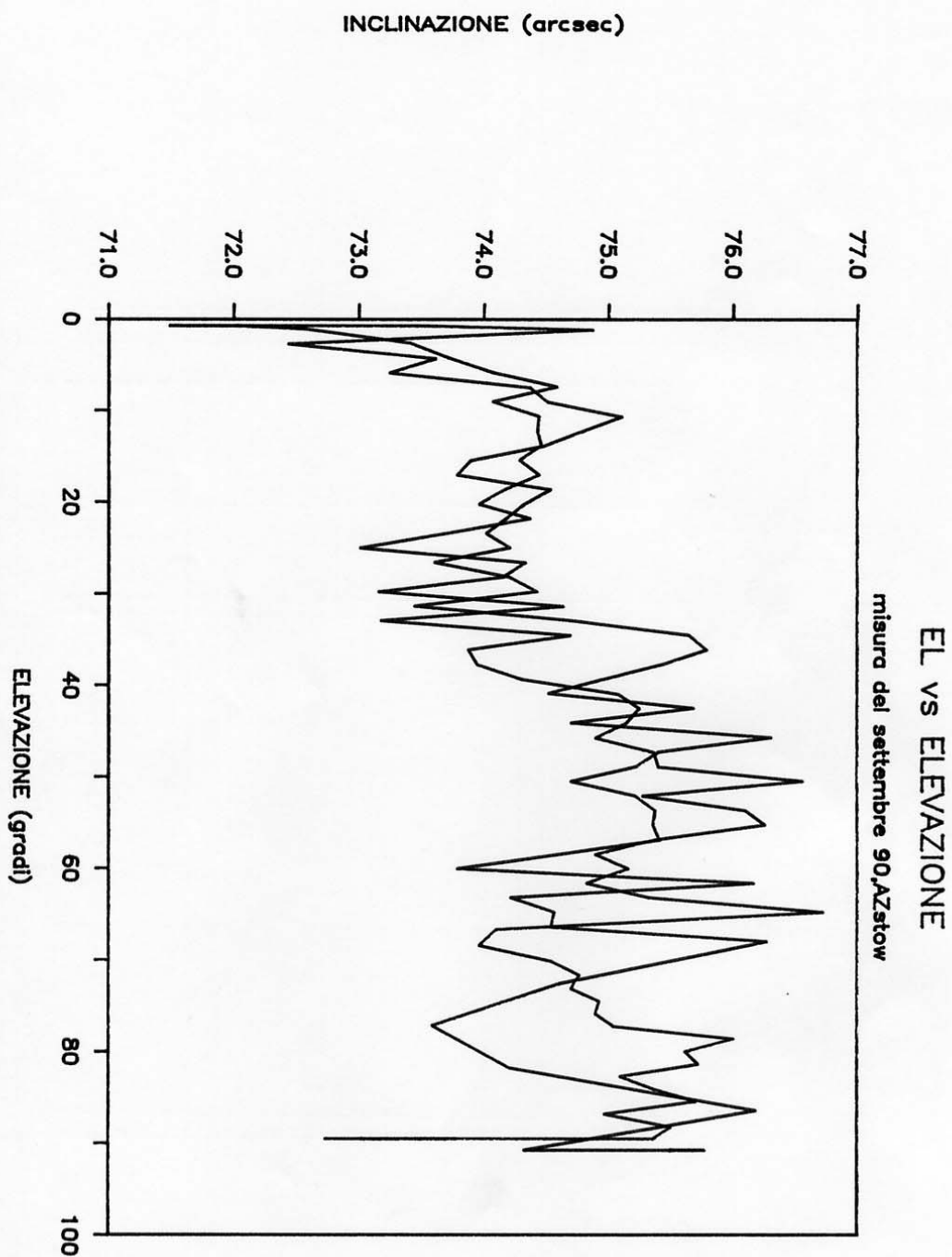


Fig. 3.2-18

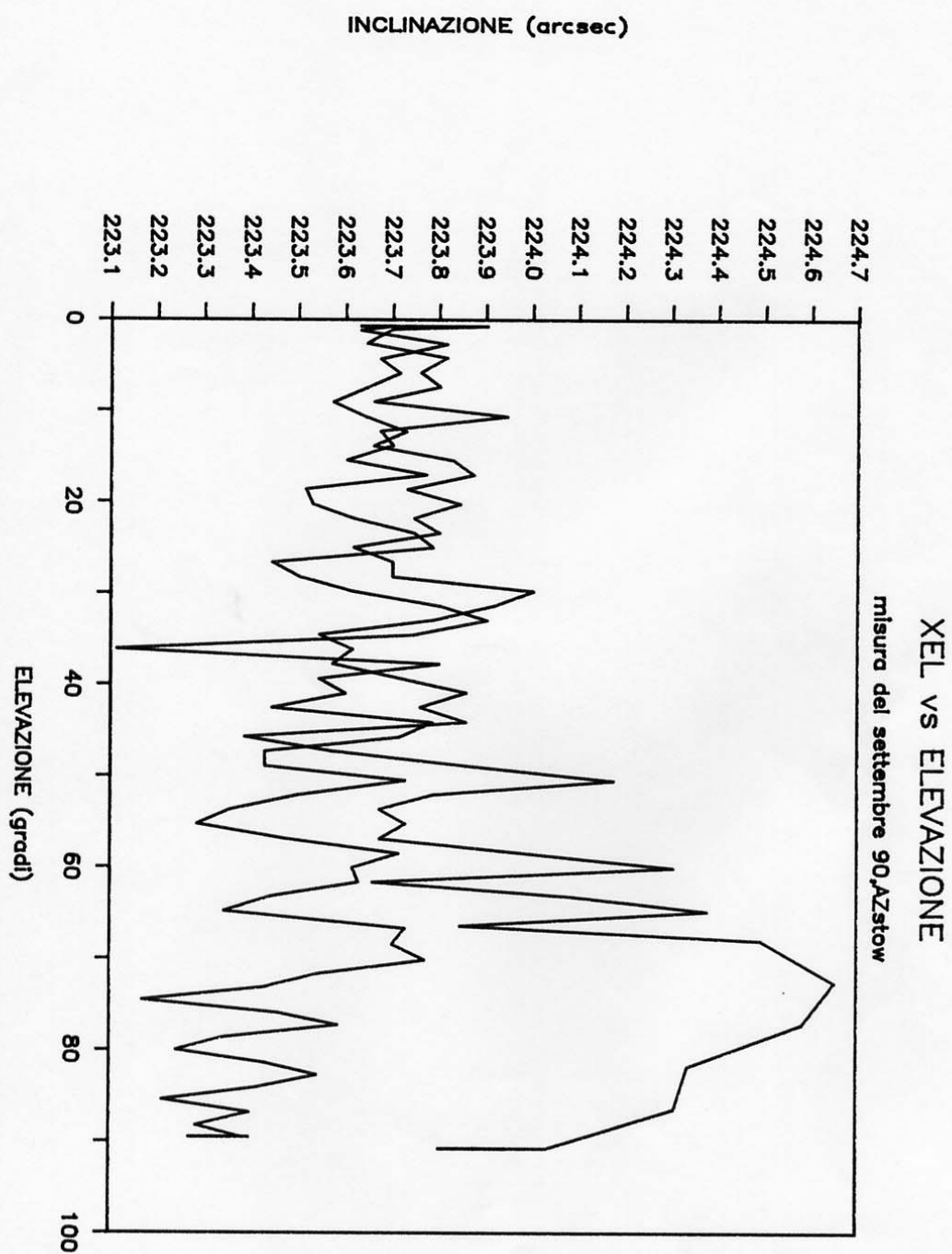


Fig. 3.2-19

## 4. ELABORAZIONE DELLE MISURE

## 4.1 Un po' di teoria

Riprendiamo qui il discorso accennato nella introduzione riguardo gli *errori di puntamento sistematico* per focalizzare l'attenzione solo sul *tilt di azimuth*. Estraiamo quindi dalle (1.1) e (1.2) le espressioni degli errori ad esso relative, ricordando però che abbiamo a disposizione non i valori veri  $P_4$  e  $P_5$  bensì le loro stime  $TP_4, TP_5$ . Risulterà quindi un residuo di errore dovuto alla non uguaglianza tra stima e valore vero. Oltre a questo ci sarà un'altro residuo di errore, non modellato con una formula, dovuto alla non perfetta planarità del piano di azimuth. Chiameremo  $dAz$  e  $dEl$  i residui di errore del primo tipo per ricordare che sono solo una porzione dell'errore totale di puntamento.

$$(4.1-1) \quad dAz = \{[P_4 - TP_4] \cos(Az) + [P_5 - TP_5] \sin(Az)\} \cdot \tan(El)$$

$$(4.1-2) \quad dEl = [-P_4 + TP_4] \sin(Az) + [P_5 - TP_5] \cos(Az)$$

In modo del tutto analogo si possono usare i dati delle misure delle livelle elettroniche per estrarre i valori delle componenti del tilt che stimano  $P_4$  e  $P_5$ . Chiameremo queste  $LP_4$  ed  $LP_5$  per ricordarsi che derivano da misure dirette. L'errore residuo lo si può esprimere come nelle (4.1-1) ed (4.1-2) solo sostituendo ad  $TP_4$  e  $TP_5$  i parametri  $LP_4, LP_5$ .

Ci interessa però in questo momento non tanto l'espressione dell'errore quanto l'espressione matematica dei dati delle livelle nelle due coordinate. Essa sarà in entrambe una sinusoidale, scritta facendo comparire le componenti del tilt. La livella  $EL$  (o nord-sud) è la responsabile dell'errore in elevazione, quella  $XEL$  (o est-ovest) dell'errore in azimuth. Quindi possiamo scrivere:

$$(4.1-3) \quad Lew = LP_4 \cos(Az) + LP_5 \sin(Az)$$

$$(4.1-4) \quad Lns = -LP_4 \sin(Az) + LP_5 \cos(Az)$$

Come abbiamo visto nel capitolo precedente i dati delle livelle non descrivono una perfetta sinusoidale cosicché  $Lew$  ed  $Lns$  sono da considerarsi come o la sinusoidale di best-fit o la fondamentale della FFT estratte dai dati misurati.

Ritornando per un attimo alla fig.(1.1), nell'ipotesi che l'angolo di tilt sia piccolo tanto da

potersi assimilare al suo seno, si puo' stimare tale angolo, t nel seguito, note le sue componenti:

$$(4.1-5) \quad t^2 = LP4^2 + LP5^2$$

La correzione del tilt di azimuth per via statistica o tramite misure dirette sono due metodi diversi per esprimere uno stesso concetto e pertanto devono dare, in linea di principio, lo stesso effetto. E' allora lecito aspettarsi che andando a lavorare su un insieme di dati di calibrazione gia' corretti dal modello di puntamento inserendovi anche le inclinazioni misurate queste ultime sostituiscano, per cosi' dire, la correzione. Ci si aspetta quindi che TP4 e TP5 si annullino e che il residuo complessivo di errore, per la precisione la varianza, rimanga inalterata. Come cio' debba poi in effetti avvenire e in quali termini e' quello che vedremo nei paragrafi successivi di questo capitolo, prima pero' e' utile descrivere il software atto a trattare i numeri a disposizione.

#### 4.2 Dati misurati e programmi di elaborazione.

Sostanzialmente abbiamo due tipi di masse di dati a disposizione, quelli che chiamiamo i dati di calibrazione di puntamento e i dati delle livelle elettroniche.

I primi sono ottenuti da misure su radiosorgenti che forniscono gli errori assoluti di puntamento, cioe' le differenze tra posizione nominale della sorgente e posizione puntata dalla antenna senza considerare alcun modello matematico di correzione, e gli errori relativi di puntamento, cioe' le differenze tra posizione nominale e posizione puntata dalla antenna considerando pero' attivo un modello di correzione precedentemente trovato.

L'insieme di questi ultimi fornisce dunque una idea di quanto preciso e' tale modello.

Il programma che consente di ottenere questo e' FOLLO.

I dati di calibrazione cosi' ottenuti costituiscono la base per determinare un successivo modello di puntamento ovvero per determinare le stime dei parametri P gia' piu' volte richiamati, i parametri TP. Il programma relativo si chiama OFFSET e in piu' permette di calcolare la varianza dei residui di errore tra il puntamento nominale e quello ottenibile con il modello ricavato.

Le misure delle livelle elettroniche sono state gia' descritte nel precedente capitolo, ricordiamo qui solamente il nome del programma di acquisizione GDATA.

Queste ultime sono poi elaborate tramite svariati programmi, a seconda di cio' che necessita fare.

TABULA riduce tutte le misure livelle a 360 punti e corregge con i dati bolla Lew,Lns i dati di calibrazione nelle due coordinate (DAz,DEl) secondo le note espressioni

$$(4.2-1) \text{ DAz} = \text{DAz} + \text{Lew} * \text{tg}(\text{El})$$

$$(4.2-2) \text{ DEl} = \text{DEl} + \text{Lns}$$

al variare dell'azimuth.

SINFIT estrae dai dati completi di ciascuna livella la sinusoide di best fit e quindi fornisce anche LP4,LP5.

FOURIER esegue la fft dai dati completi di ciascuna livella fornendo ampiezza e fase di ciascuna armonica.

Tutti questi programmi sono scritti in FORTRAN77 e vengono fatti girare su HP1000. Inoltre, se necessario, e' possibile trasferire su PC tutti i files creati ed elaborarli tramite SYMPHONY.

#### 4.3 Obiettivi dell'uso dei dati di inclinazione.

Al pari dei dati di calibrazione anche una misura diretta di inclinazione e' piena di informazioni interessanti. In particolare cio' che si valuterà nelle pagine seguenti sarà:

a) correggere i dati di calibrazione di puntamento con i dati bolla completi prima di determinare, tramite il programma OFFSET, la varianza dei residui d'errore di puntamento e le stime dei parametri P4 e P5. L'obiettivo e' vedere se rispetto ai risultati senza correzione la varianza dei residui cambia e se TP4,TP5 si annullano.

b) estrarre le sinusoidi di best-fit, correggere con queste i dati di calibrazione e determinare come cambiano la varianza dei residui e i TP. Inoltre calcolare quanto i dati livella differiscono da queste sinusoidi e come correlare questa differenza con i risultati del passo a), ovvero se le deformazioni di secondo ordine contano nel diminuire i residui oppure no.

c) estrarre le sinusoidi di fourier, e poi come al passo precedente. In definitiva cercare di capire se questi due approcci diversi danno i medesimi risultati o no.

d) correggere i dati di calibrazione con le sinusoidi (di best-fit o di fourier) ma far girare una versione del programma OFFSET che ha TP4 e TP5 azzerati. L'obiettivo e' vedere come cambiano la varianza dei residui e i TP

eliminando dal modello la parte dovuta al tilt e sostituendovi i dati di misura.

Quello che comunque ci si può aspettare è che essendo i dati della livella specifici di una causa d'errore, dopo la correzione i nuovi TP calcolati da OFFSET devono essere diversi solo per quanto riguarda TP4 e TP5. Analogamente visto che le misure di inclinazione sostituiscono le stime di questo errore specifico la varianza dei residui non deve variare prima e dopo la correzione, se non per l'effetto del secondo ordine dovuto alla maggiore quantità d'informazione contenuta nei dati delle livelle.

#### 4.4 Correzione con i dati completi

Sono stati usati diversi files, relativi a ricevitori diversi, ottenuti in epoche diverse. Verranno mostrate le correzioni con i dati delle livelle del giugno '90, quelle con i dati del maggio '89 verranno solo descritte nei risultati per non appesantire la descrizione con troppi grafici e ripetitive tabelle.

La tabella che segue mostra per ogni file i valori dei TP e della varianza dei residui senza correggere con i dati della livella e con la correzione.

I valori dei TP sono in gradi e di fianco viene anche annotata la loro deviazione standard. La varianza dei residui invece è in gradi al quadrato e lo scarto quadratico medio ovviamente in gradi.

FILE		non corretto	corretto
EROCTSX.CLN	TP1	-.0359+/- .0014	-.0375+/- .0013
	TP2	.2369+/- .0010	.2358+/- .0010
	TP3	-.0111+/- .0011	-.0130+/- .0011
	TP4	-.0030+/- .0001	+.0013+/- .0001
	TP5	-.0061+/- .0002	-.0034+/- .0001
	TP7	-.5965+/- .0003	-.5965+/- .0003
	TP8	-.0831+/- .0004	-.0829+/- .0004
	var	.107089E-04	.986216E-05
	sqm	.0033°	.0031°
ERMAR89.CLN	TP1	.0043+/- .0029	.0023+/- .0029
	TP2	.2415+/- .0021	.2398+/- .0021
	TP3	-.0164+/- .0023	-.0177+/- .0023
	TP4	-.0025+/- .0002	+.0017+/- .0002
	TP5	-.0050+/- .0003	-.0021+/- .0002
	TP7	-.5684+/- .0006	-.5683+/- .0006
	TP8	-.0884+/- .0008	-.0889+/- .0008
	var	.286130E-04	.273871E-04

	sqm	.0053°	.0052°
ERGEN90.CLN	TP1	.0434+/- .0029	.0380+/- .0027
	TP2	.2747+/- .0023	.2710+/- .0021
	TP3	.0257+/- .0021	.0218+/- .0019
ric. 22GHz	TP4	-.0041+/- .0002	-.0004+/- .0002
	TP5	-.0073+/- .0002	-.0042+/- .0001
gennaio 90	TP7	-.5822+/- .0006	-.5829+/- .0005
	TP8	-.0718+/- .0007	-.0710+/- .0007
	var	.109528E-04	.953025E-05
	sqm	.0033°	.0031°
ERLUG90.CLN	TP1	.0195+/- .0029	.0173+/- .0030
	TP2	.2562+/- .0024	.2549+/- .0024
	TP3	.0094+/- .0019	.0066+/- .0020
ric. 22GHz	TP4	-.0042+/- .0002	+.0001+/- .0002
	TP5	-.0059+/- .0002	-.0034+/- .0002
luglio 90	TP7	-.5832+/- .0006	-.5824+/- .0006
	TP8	-.0597+/- .0008	-.0612+/- .0008
	var	.176066E-04	.187309E-04
	sqm	.0042°	.0043°
ER2SE90.CLN	TP1	.0197+/- .0029	.0199+/- .0030
	TP2	.2566+/- .0021	.2571+/- .0022
	TP3	.0104+/- .0022	.0097+/- .0023
ric. 10.7GHz	TP4	-.0051+/- .0002	-.0005+/- .0002
	TP5	-.0061+/- .0002	-.0035+/- .0002
settembre 90	TP7	-.5874+/- .0006	-.5870+/- .0006
	TP8	-.0516+/- .0008	-.0521+/- .0008
	var	.148840E-04	.161819E-04
	sqm	.0038°	.0040°

Tabella 4.4-1

L'incognita TP6 e' posta a zero a priori nel best fit perche' la correzione per rifrazione viene tenuta in conto in altro modo, per questo motivo non compare nella tabella.

Osservando comparativamente si vede che i residui rimangono inalterati (si confronti come grandezza piu' "leggibile" lo scarto quadratico medio), ovvero l'informazione aggiuntiva delle livelle sulla non perfetta planarita' del piano di azimuth non e' di entita' tale da migliorare gli errori di puntamento nella loro globalita'. Inoltre, come aspettato TP4 e TP5 calano in ogni file corretto mentre gli altri TP rimangono



sostanzialmente inalterati a parte in alcuni casi i primi tre.

La correzione degli ultimi tre di questi files con i dati di inclinazione misurati nella campagna del maggio 89 danno conclusioni simili anche se il riassorbimento di TP4 e TP5 e' peggiore. Come esempio diamo solamente i risultati della correzione su ER2SE90.CLN:

	corretto con i dati maggio 89
TP1	.0183+/- .0030
TP2	.2557+/- .0022
TP3	.0087+/- .0023
TP4	-.0013+/- .0002
TP5	-.0045+/- .0002
TP7	-.5872+/- .0006
TP8	-.0521+/- .0008
var	.159045E-04
sqm	.0040°

Tabella 4.4-2

#### 4.5 Correzione con le sinusoidi di best fit

Come piu' volte si e' detto il modello che descrive il tilt di azimuth e' sinusoidale mentre la realta' delle misure rivela esistere anche deformazioni di secondo ordine. Tuttavia nel perseguire l'obiettivo di annullare TP4 e TP5 e' coerente estrarre dai dati misurati una sinusoide e solo con questa correggere i dati di calibrazione. Si parte dunque dalle espressioni (4.1-3) e (4.1-4) e si ricavano le incognite LP4, LP5; i risultati sono:

per la livella nord-sud,

$$(4.5-1) \quad LP4 = (NS1*a - NS2*b)/D$$

$$(4.5-2) \quad LP5 = (-c*NS2 + NS1*b)/D$$

per la livella est-ovest,

$$(4.5-3) \quad LP4 = (EW1*b - EW2*c)/D$$

$$(4.5-4) \quad LP5 = (EW2*b - EW1*a)/D$$

il significato dei simboli formali a secondo membro e'

$$NS1 = \sum_i Lns(i) * \sin Az(i)$$

$$NS2 = \sum_i Lns(i) * \cos Az(i)$$

$EW1 = \sum_i Lew(i) * senAz(i)$   
 $EW2 = \sum_i Lew(i) * cosAz(i)$   
 indicando con i la misura di inclinazione generica alla corrispondente coordinata di azimuth.

$a = \sum_i cos^2 Az(i)$   
 $b = \sum_i senAz(i) * cosAz(i)$   
 $c = \sum_i sen^2 Az(i)$   
 $D = b^2 - a * c$

Noti LP4, LP5 si possono calcolare dei punti livella di best fit tramite le espressioni (4.1-3) e (4.1-4) e con questi correggere i dati di calibrazione. Dalle misure del giugno 90 risultano gli andamenti sinusoidali riportati nelle figure (4.5-1) (4.5-2) che comprendono un numero di punti pari al numero delle misure effettuate, la riduzione a 360 valori non altera l'andamento riportato a parte ovviamente il valor medio che e' nullo. La soluzione di best fit ha dato i seguenti valori per la livella EW

LP4ew = -.0054°                      LP5ew = -.0028°

mentre per la livella NS

LP4ns = -.0043°                      LP5ns = -.0028°

Teoricamente la soluzione LP4, LP5 dovrebbe essere coincidente per entrambe le livelle, in pratica i leggermente differenti dati numerici di inclinazione tra le due livelle comportano la lieve differenza. L'effetto e' che osservando attentamente i grafici delle sinusoidi si vede che esse si sovrappongono molto bene (19" di picco la ns, 21" la ew), tuttavia non sono ortogonali bensì sfasati di 84°. L'entità della correzione sul corrispondente valore di TP sarà pari a un valore intermedio tra le due soluzioni.

Analogamente a quanto fatto riportiamo ora la tabella di correzione di vari dati di calibrazione con queste sinusoidi:

FILE		non corretto	corretto
ERGEN90.CLN	TP1	.0434+/- .0029	.0405+/- .0028
	TP2	.2747+/- .0023	.2724+/- .0022
	TP3	.0257+/- .0021	.0239+/- .0020
ric. 22GHz	TP4	-.0041+/- .0002	.0004+/- .0002
	TP5	-.0073+/- .0002	-.0045+/- .0002
gennaio 90	TP7	-.5822+/- .0005	-.5820+/- .0005

	TP8	-.0718+/- .0007	-.0720+/- .0007
	var	.109526E-04	.101745E-04
	sqm	.0033°	.0032°
ERLUG90.CLN	TP1	.0195+/- .0029	.0193+/- .0028
	TP2	.2562+/- .0024	.2560+/- .0023
	TP3	.0094+/- .0019	.0094+/- .0019
ric. 22GHz	TP4	-.0042+/- .0002	+.0002+/- .0002
	TP5	-.0059+/- .0002	-.0032+/- .0002
luglio 90	TP7	-.5832+/- .0006	-.5833+/- .0006
	TP8	-.0597+/- .0008	-.0596+/- .0008
	var	.176066E-04	.170692E-04
	sqm	.0042°	.0041°
ER2SE90.CLN	TP1	.0197+/- .0029	.0181+/- .0029
	TP2	.2566+/- .0021	.2554+/- .0021
	TP3	.0104+/- .0022	.0095+/- .0022
ric. 10.7GHz	TP4	-.0051+/- .0002	-.0007+/- .0002
	TP5	-.0061+/- .0002	-.0035+/- .0002
settembre 90	TP7	-.5874+/- .0006	-.5873+/- .0006
	TP8	-.0516+/- .0007	-.0517+/- .0007
	var	.148840E-04	.146852E-04
	sqm	.0038°	.0038°

Tabella 4.5-1

Come si può vedere la correzione sui parametri TP4, TP5 segue la regola addittiva insita nelle espressioni (4.1-1) e (4.1-2) in cui i parametri P sono ora i TP e i parametri TP sono gli LP. La correzione è ora più realistica nel senso che non si verifica la notevole variazione di TP1, TP2, TP3 e i valori nuovi di TP4, TP5 concordano con quanto prevedibile dalla conoscenza congiunta di LP4, LP5 e dei valori relativi al file non corretto, secondo l'espressione  $TP = TP - LP$ .

Inoltre i residui, pur rimanendo praticamente invariati, mostrano una correlazione molto più stretta che non nel caso di correzione con i dati completi. Sembrerebbe cioè che l'informazione di ordine superiore che questi ultimi contengono possa confondere la ricerca delle soluzioni di best fit operata da OFFSET.

L'entità di tale informazione si può ricavare facendo la differenza, al variare dell'azimuth, tra il dato livella e il corrispondente valore appartenente alla sinusoide di best fit e poi generarne una statistica.

Sul file complessivo di misura si rileva uno sqm pari a 14 arcsec per entrambe le livelle, su quello

Generation date: 12:15 PM THU., 27 SEPT, 1990 -- Input file: EWBEST.DAT  
E-W BEST FIT DEI DATI GIUGNO 90

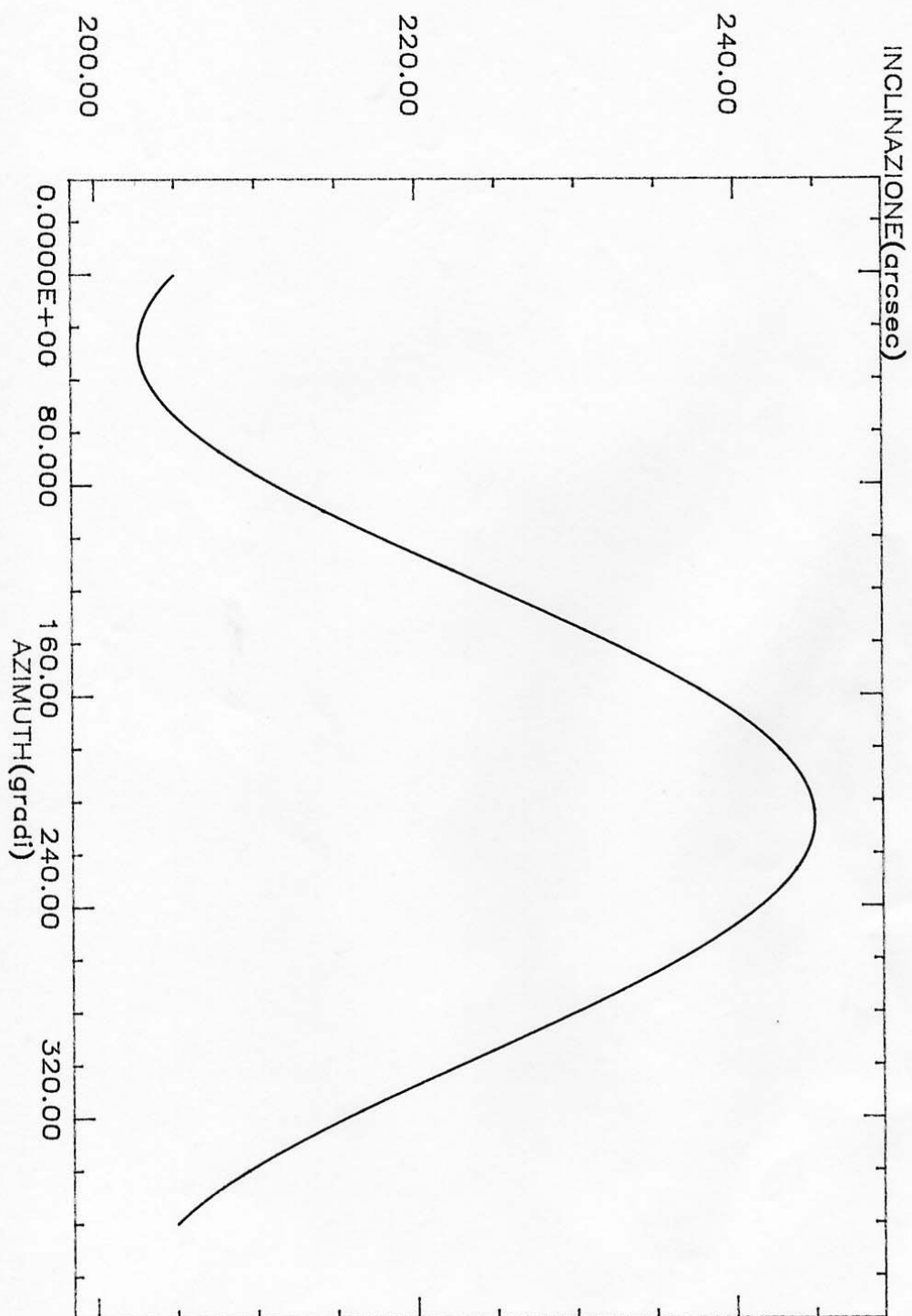


Fig. 4.5-2

Generation date: 12:32 PM THU., 27 SEPT, 1990 -- Input file: NSBEST.DAT  
N-S BEST FIT DEI DATI GIUGNO 90

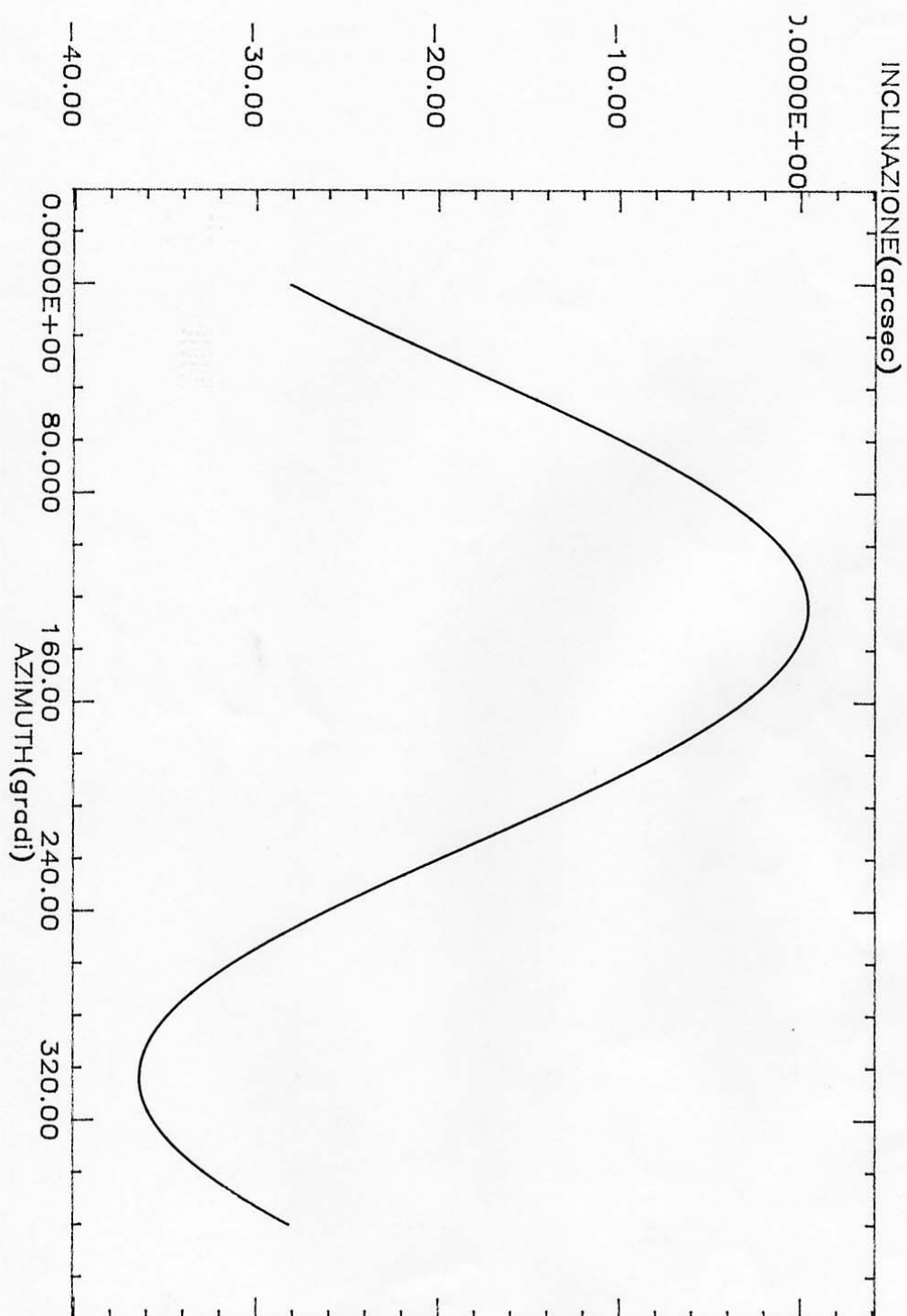


Fig. 4.5-1

differenza uno sqm di 5 arcsec.

#### 4.6 Correzione con le sinusoidi di Fourier

Il risultato del programma di FFT sui dati completi della campagna di Giugno 90 e' mostrato nelle figure 4.6-1 e 4.6-2. Le due sinusoidi risultano essere della stessa ampiezza (19") e copiano molto bene le corrispondenti sinusoidi di best fit, soprattutto quella EL, mentre quella XEL e' solo lievemente sfasata di un paio di gradi.

C'e' da presumere quindi che la correzione del file di calibrazione con le sinusoidi di Fourier non rechi risultati molto diversi da quanto ottenuto nel paragrafo precedente. Così e' infatti, come mostra la Tabella 4.6-1

FILE		non corretto	corretto
ERGEN90.CLN	TP1	.0434+/- .0029	.0440+/- .0029
	TP2	.2747+/- .0023	.2752+/- .0023
	TP3	.0257+/- .0021	.0260+/- .0021
	ric. 22GHz	TP4 -.0041+/- .0002	.0002+/- .0002
		TP5 -.0073+/- .0002	-.0046+/- .0002
	gennaio 90	TP7 -.5822+/- .0005	-.5822+/- .0006
		TP8 -.0718+/- .0007	-.0718+/- .0007
	var	.109526E-04	.110944E-04
	sqm	.0033°	.0033°
ERLUG90.CLN	TP1	.0195+/- .0029	.0193+/- .0029
	TP2	.2562+/- .0024	.2560+/- .0024
	TP3	.0094+/- .0019	.0093+/- .0019
	ric. 22GHz	TP4 -.0042+/- .0002	+.0002+/- .0002
		TP5 -.0059+/- .0002	-.0032+/- .0002
	luglio 90	TP7 -.5832+/- .0006	-.5832+/- .0006
		TP8 -.0597+/- .0008	-.0597+/- .0008
	var	.176066E-04	.174560E-04
	sqm	.0042°	.0042°
ER2SE90.CLN	TP1	.0197+/- .0029	.0204+/- .0029
	TP2	.2566+/- .0021	.2572+/- .0021
	TP3	.0104+/- .0022	.0108+/- .0023
	ric. 10.7GHz	TP4 -.0051+/- .0002	-.0007+/- .0002
		TP5 -.0061+/- .0002	-.0034+/- .0002
	settembre 90	TP7 -.5874+/- .0006	-.5874+/- .0006
		TP8 -.0516+/- .0008	-.0516+/- .0007
	var	.148840E-04	.148083E-04
	sqm	.0038°	.0039°

Tabella 4.6-1

Generation date: 2:56 PM TUE., 2 OCT., 1990 -- Input file: TILNS.DAT  
NS FFT TILT

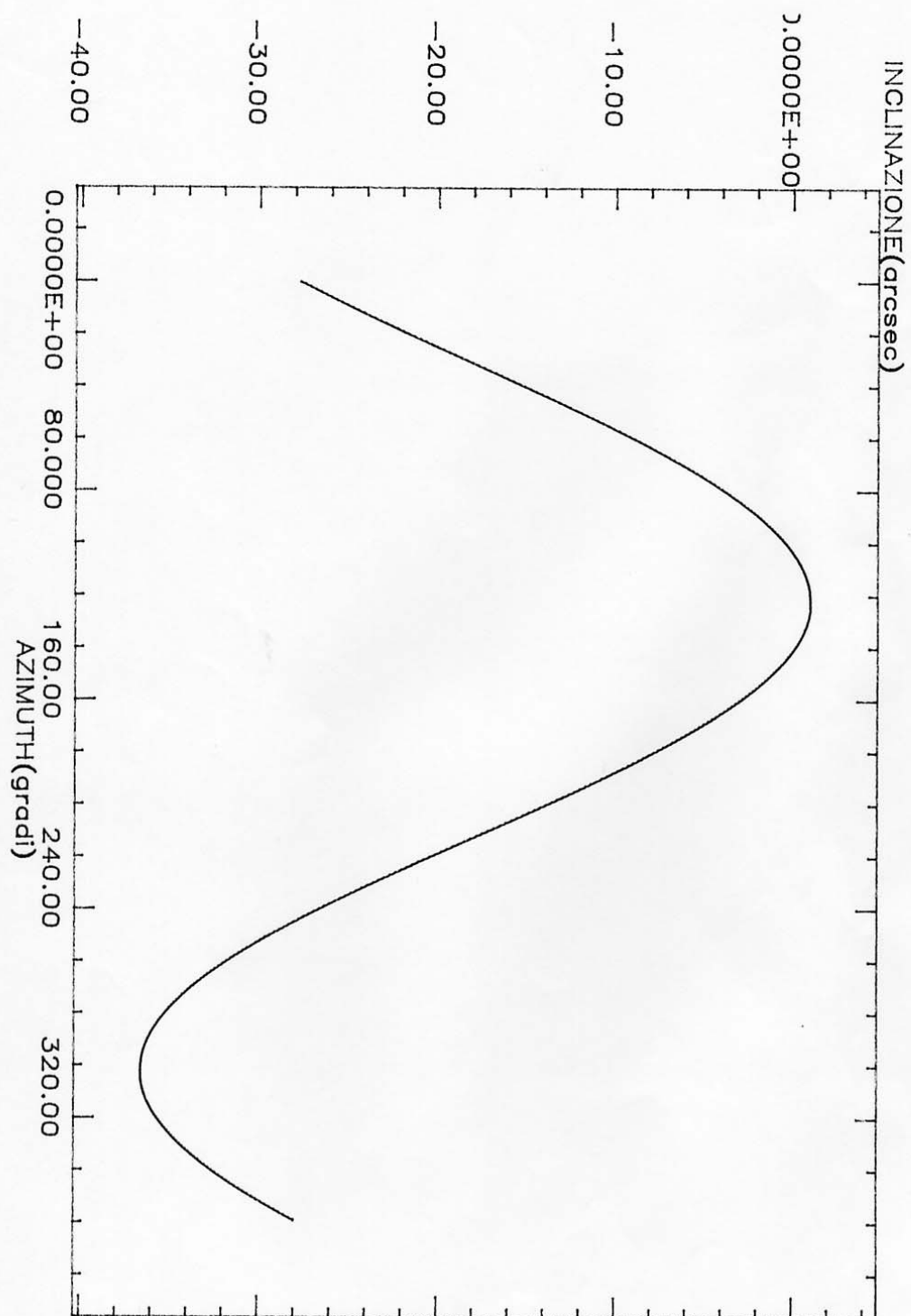


Fig. 4.6-1

Generation date: 2:54 PM TUE., 2 OCT., 1990 -- Input file: TILEW.DAT  
EW FFT TILT

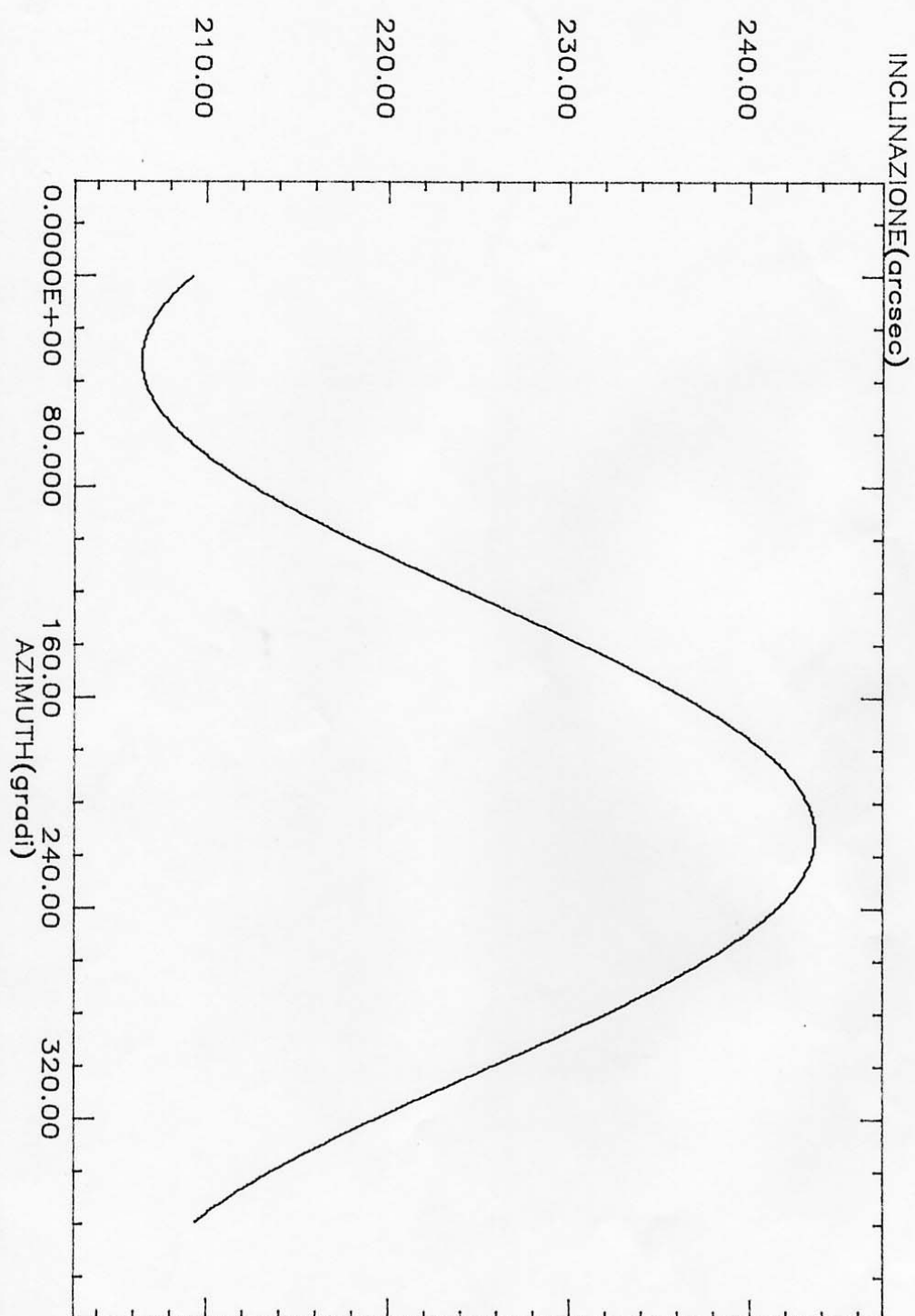


Fig. 4.6-2



Ci si potrebbe chiedere se questa interessante corrispondenza tra due entità di significato fisico diverso, la fondamentale della FFT e il best fit, ha lo stesso riscontro anche utilizzando i dati di inclinazione della campagna Maggio 89.

La ripetizione del lavoro di ricerca del best fit e delle FFT ha mostrato che le due sinusoidi di fit hanno ampiezza leggermente diversa (14" la N-S, 16" la E-W), sono ortogonali tra loro e correggono peggio TP4 e TP5, come mostra la tabella che segue nella quale non sono riportati gli altri parametri e i residui perché assumono sostanzialmente gli stessi valori dei dati 90.

FILE		corretto
ERGEN90.CLN	TP4	-.0008+/- .0002
	TP5	-.0055+/- .0002
ERLUG90.CLN	TP4	-.0008+/- .0002
	TP5	-.0041+/- .0002
ER2SE90.CLN	TP4	-.0017+/- .0002
	TP5	-.0043+/- .0002

Tabella 4.6-2

Le sinusoidi di FFT hanno anch'esse ampiezza diversa (14" la N-S, 18" la E-W), sono sfasate di 83° anziché ortogonali e ciascuna di esse non si sovrappone con la corrispondente di fit soprattutto perché sussiste una pronunciata differenza di fase (circa 20°). Dal punto di vista della correzione dei dati di calibrazione questo si risolve in una peggior valutazione di TP4.

FILE		corretto
ERGEN90.CLN	TP4	-.0015+/- .0002
	TP5	-.0044+/- .0002
ERLUG90.CLN	TP4	-.0017+/- .0002
	TP5	-.0030+/- .0002
ER2SE90.CLN	TP4	-.0026+/- .0002

TP5	-.0033+/- .0002
-----	-----------------

Tabella 4.6-3

Se ne deduce che la minore ampiezza delle sinusoidi relative alla campagna maggio 89 rispetto a quella 90 comporta una correzione inferiore dei parametri del tilt, questo era anche prevedibile calcolando LP4,LP5. Infatti

best fit dati maggio 89

LP4ew=-.0038°	LP5ew=-.0021°
LP4ns=-.0034°	LP5ns=-.0018°

fft dei dati maggio 89

LP4ew=-.0032°	LP5ew=-.0030°
LP4ns=-.0025°	LP5ns=-.0029°

#### 4.7 Correzione imponendo nulli TP4 e TP5

In questo paragrafo si correggeranno i file di calibrazione nel medesimo modo che nei precedenti tuttavia si fara' girare una versione del programma OFFSET che non considera nel modello la presenza di TP4 e TP5 volendo vedere che effetto ha cio' sui residui e sui parametri rimanenti. I risultati sono nella tabella che segue.

FILE		non corretto	corretto
ERGEN90.CLN	TP1	.0434+/- .0029	.0348+/- .0035
	TP2	.2747+/- .0023	.2683+/- .0027
	TP3	.0257+/- .0021	.0195+/- .0025
	TP4	-.0041+/- .0002	.0000+/- .0000
	TP5	-.0073+/- .0002	-.0000+/- .0000
ric. 22GHz gennaio 90	TP7	-.5822+/- .0005	-.5856+/- .0007
	TP8	-.0718+/- .0007	-.0679+/- .0009
	var	.109526E-04	.177474E-04
	sqm	.0033°	.0042°
ERLUG90.CLN	TP1	.0195+/- .0029	.0192+/- .0030
	TP2	.2562+/- .0024	.2555+/- .0025
	TP3	.0094+/- .0019	.0111+/- .0020
	TP4	-.0042+/- .0002	+.0000+/- .0000
	TP5	-.0059+/- .0002	-.0000+/- .0000
ric. 22GHz luglio 90	TP7	-.5832+/- .0006	-.5835+/- .0006
	TP8	-.0597+/- .0008	-.0596+/- .0008

	var sqm	.176066E-04 .0042°	.194089E-04 .0044°
ER2SE90.CLN	TP1	.0197+/- .0029	.0183+/- .0032
	TP2	.2566+/- .0021	.2546+/- .0023
	TP3	.0104+/- .0022	.0069+/- .0025
ric. 10.7GHz	TP4	-.0051+/- .0002	-.0000+/- .0000
	TP5	-.0061+/- .0002	-.0000+/- .0000
settembre 90	TP7	-.5874+/- .0006	-.5885+/- .0006
	TP8	-.0516+/- .0007	-.0507+/- .0008
	var	.148840E-04	.186297E-04
	sqm	.0038°	.0043°

Tabella 4.7-1

Come si vede gli effetti non consentono una conclusione univoca. Mentre nel file ERLUG90.CLN azzerrare TP4 e TP5 non comporta variazioni apprezzabili non così si verifica per gli altri due, sia in termini di residui che di parametri.

#### 4.8 Stima dell'angolo di tilt

A conclusione della elaborazione dei dati può essere indicativo stimare a quanto ammonta l'entità dell'angolo di tilt di azimuth. Questo lo si può ottenere in diversi modi ed è interessante confrontarne i risultati al fine di esaminarne la congruenza.

Si può valutare il tilt,

a) dalle misure con la livella ottica prendendo il valore massimo della sinusoide di best fit, dividendolo per il braccio di misura e facendone l'arcotangente.

b) dalla stima dei parametri P4 e P5 con la relazione

$$4.8-1) \quad t = (TP4^2 + TP5^2)^{1/2}$$

c) dal valore massimo della sinusoide di best fit

d) dal valore massimo della sinusoide di fourier

in questi ultimi due casi se i valori massimi non coincidono per le due livelle se ne considererà una media aritmetica. Lo stesso dicasi per il caso b) quando file di calibrazione diversi forniscono valori diversi di

tilt,

	a)	b)	c)	d)
TILT t	20"	28"	20"	19"

Il valore indicato dal metodo b) non deve essere considerato completamente attendibile se non in grossolana approssimazione. Infatti esso e' dedotto da due parametri che vengono ottenuti da una operazione che ha come unico fine minimizzare i residui e pertanto e' plausibile pensare che i TP trovati non corrispondano completamente alla causa fisica che pretendono di rappresentare, prova ne sia che a file di calibrazione diversi corrispondono stime dei parametri diversi pur descrivendo sempre la stessa fonte di errore.

Il valore indicato dal metodo a) puo' essere influenzato da una certa indeterminazione nel braccio di misura.

In definitiva i metodi che paiono piu' affidabili e diretti sono quelli dedotti dalla campagna di misure di inclinazione.

## 5. CONCLUSIONI

Riassumiamo qui le considerazioni piu' importanti espresse durante il rapporto e concludiamo elencando il possibile sviluppo del lavoro.

L'algoritmo di correzione dei file di calibrazione di puntamento funziona secondo le previsioni, ovvero le misure di inclinazione opportunamente elaborate correggono l'errore dovuto al tilt del piano azimutale andando a sostituire la corrispondente parte del modello matematico. Questo tuttavia non fino ad annullare completamente i parametri TP4 e TP5, ma il motivo risiede nel fatto che questi non descrivono con precisione la causa fisica che rappresentano bensì si adattano, assieme agli altri, ad una operazione di best fit. Prova ne sia che a calibrazioni diverse corrispondono insieme di parametri diversi (cfr. nella tabella 4.4-1 a pag 37 e 38 la colonna "non corretto").

L'informazione ausiliaria contenuta nei dati completi delle misure delle livelle non consente di migliorare drasticamente la varianza dei residui di puntamento fondamentalmente perché lo scarto rispetto ai valori contenuti in una sinusoide da essi dedotta è minimo e soprattutto perché la porzione di errore che compete al tilt è oltre un ordine di grandezza più piccolo rispetto ad altre cause. D'altra parte se questo è vero in senso globale, cioè nell'insieme della massa dei residui d'errore, può non esserlo localmente in qualche punto del cielo ove una inclinazione particolarmente elevata può ben correggere il puntamento.

Di fatto pare indifferente usare una sinusoide di best fit o la fondamentale di Fourier per correggere i file di calibrazione tuttavia questo dipende anche dai risultati della campagna di misura di inclinazione come dimostra il confronto tra quella 89 con quella 90.

L'insieme delle misure acquisite e le successive elaborazioni consentono di determinare l'inclinazione del piano di azimuth con metodi diversi. Da questi risulta un valore di 20 arcosecondi per la nostra antenna.

A seguito di questi risultati e del provato affidabile funzionamento del sistema di misura alcune linee di sviluppo possono essere immaginate. Oltre a periodiche campagne di misura effettuate come controllo e conferma dei risultati qui ottenuti si può pensare di correggere il puntamento non dopo l'acquisizione del file di calibrazione ma durante il lavoro di FOLLO correggendo a priori il puntamento ove possibile.

Cio', tra l'altro, consentirebbe di verificare se una minore varianza degli errori a priori consente di ottenere dei parametri del modello di puntamento piu' precisi e una diminuzione dei residui complessivi anche rispetto ad una correzione a posteriori come qui effettuata.

Infine, come gia' detto nella introduzione, si puo' prendere spunto dal lavoro effettuato per cercare di correlare gli effetti indotti sul puntamento dalla differenza di temperatura sulle gambe della antenna e provvedere, se possibile, ad una correzione.

La positiva riuscita di questo tentativo sarebbe massimamente importante ed opportuna; importante perche' allo stato attuale delle conoscenze non esiste modo di intervenire sulla correzione del puntamento per errori non sistematici, opportuna perche' cio' renderebbe usabile l'antenna a frequenze via via piu' alte e senza vincoli osservativi.

A questo proposito sono gia' stati resi attivi dei sensori di temperatura (PT100) dislocati sulle gambe della antenna ed e' stata effettuata una campagna di acquisizione contemporanea di temperatura e inclinazione. I risultati della campagna sono ora oggetto di studio.

## 6. RIFERIMENTI

1. Gujar, Lansing  
"Antenna pointing systematic error model derivations."  
TDA Progress Report 42-88, October-December 1988.
2. Morsiani, Orfei, Zacchioli  
"Livelle elettroniche per rilevamento delle  
deformazioni sulla parabola VLBI di Medicina."  
Rapporto interno IRA 135/90.
3. Maccaferri A., Maccaferri G., Morsiani  
"Acquisitore di segnali analogico-digitali."  
Rapporto interno IRA in preparazione.
4. Morsiani, Orfei, Speroni  
"Caratterizzazione del servocontrollo dell'antenna di  
Noto."  
Rapporto interno IRA 117/89.
5. NRAO, VLA TEST MEMORANDUM NO.148  
"Investigating the use of tiltmeters to correct VLA  
antenna pointing. Part I. Initial measurement and  
analysis."  
P. DEWDNEY, NRAO, PENTICTON. February, 1987.