

**IL NUOVO SISTEMA DI POSIZIONAMENTO DEL SUBRIFLETTORE
E DEI RICEVITORI IN FUOCO PRIMARIO.
PER L'ANTENNA VLBI DI MEDICINA.**
Volume 1 di 4 “Descrizione generale del sistema.”

Autunno 1998

A. Orfei, G. Zacchiroli, M. Morsiani, G. Maccaferri

CNR - Istituto di Radioastronomia - Bologna

Rapporto interno IRA 260/98

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag. 2
2. STUDIO DI FATTIBILITA'	pag. 4
2.1 Idee generali.	pag. 4
2.2 Simulazioni strutturali ed elettromagnetiche a priori.	pag. 6
2.3 Programmazione per il montaggio sull'antenna del nuovo sistema.	pag. 11
2.4 Il problema del riallineamento ottico.	pag. 11
2.5 Specifiche di progetto.	pag. 13
3. PROGETTO E COSTRUZIONE MECCANICA	pag. 17
3.1 Generalità.	pag. 17
3.2 Il quadrupode e il "quadrone": varianti.	pag. 17
3.3 Realizzazioni meccaniche adottate per la movimentazione.	pag. 22
3.4 Specifiche realizzate.	pag. 27
3.5 Disposizione delle masse.	pag. 28
3.6 Costruzione.	pag. 35
4. PROGETTO E REALIZZAZIONE ELETTRICA	pag. 36
4.1 Generalità	pag. 36
4.2 Descrizione funzionale di insieme.	pag. 37
4.3 Azionamento IBD 606 R.	pag. 39
5. SOFTWARE	pag. 40
5.1 Generalità	pag. 40
5.2 Il programma <i>subr</i>	pag. 40
5.3 Il pannello principale	pag. 41
5.4 Il pannello details	pag. 42
6. MONTAGGIO ED ALLINEAMENTO	pag. 45
6.1 Smontaggio della struttura.	pag. 45
6.2 Montaggio della struttura.	pag. 46
6.3 Procedura di allineamento.	pag. 46
6.4 Considerazioni sulle misure di allineamento.	pag. 48
7. PROVE DI FUNZIONAMENTO	pag. 52
7.1 Prove e misure effettuate sulle movimentazioni.	pag. 52
7.2 Prove e misure effettuate sulla struttura meccanica.	pag. 61
7.3..Prove e misure di compatibilità elettromagnetica.	pag. 68
8. RIFERIMENTI	pag. 77

1. INTRODUZIONE

Seguendo quanto espresso nel progetto di upgrade della antenna parabolica di Medicina [ref. 1] il lavoro che verrà descritto in questo rapporto interno rappresenta il compimento della fase 2, ovvero la soluzione dell'annoso problema riguardante lo smontaggio e montaggio dello specchio secondario. Il cambio ricevitori tra fuoco secondario e primario necessita di questa "scomoda" operazione, che consiste nella rimozione o installazione di un insieme pesante 800 kg, del diametro di oltre 3m, posto alla ragguardevole altezza di oltre 30m. Per realizzare questo occorre una navetta portapersona, quattro operatori, almeno tre ore di lavoro e, in più, una giornata con condizioni meteorologiche non avverse (vento non eccessivo, assenza di pioggia o neve, una temperatura non rigida). Oltre a ciò, e pur con tutte le sicurezze del caso, si pongono problemi di lavoro a grandi altezze.

D'altra parte le richieste osservative, sia VLBI che singola antenna, si sono fatte sempre più intense, con continue necessità di cambio ricevitore e la rete europea VLBI, anche obbligata dagli sviluppi tecnologici della rete VLBA, si avvia verso l'obiettivo di richiedere tempi di cambio frequenza al massimo di qualche minuto.

Per la somma di tutte queste motivazioni era imperativo risolvere, in prima istanza, il problema subriflettore e ciò è stato compiuto con un progetto iniziato nell'Ottobre 1994 e concluso con il montaggio della nuova realizzazione nel Novembre 1996.

La nuova realizzazione meccanica doveva prevedere, oltre naturalmente allo spostamento in loco della coppia subriflettore-ricevitori,

- una velocità di ciascun asse notevolmente superiore alla precedente versione (parecchie decine di volte!)
- corse assi maggiori
- la possibilità di inclinare lo specchio secondario di almeno 6° (prima era non più di 2°) per poter "puntare" i ricevitori in fuoco secondario disposti, nel prossimo futuro [ref. 1], nella vertex room permanentemente montati
- maggiore spazio nella zona di fuoco primario per poter allocare una nuova scatola ricevitori di maggiori dimensioni
- un contenuto aumento di peso complessivo del nuovo sistema rispetto al precedente, al fine di non dover drasticamente aumentare la massa dei contrappesi già presenti e tarati alterando le caratteristiche strutturali originarie.
- la coesistenza e il movimento reciproco, in sicurezza, dell'insieme subriflettore e scatola ricevitori
- la possibilità di effettuare il "beam switching" non più muovendo l'antenna bensì inclinando lo specchio secondario. Impiegando così un tempo circa dieci volte minore

- la predisposizione per l'arretramento dello specchio secondario di alcuni centimetri. Questo per ricollocarlo alla usuale distanza focale quando e se in futuro si sposterà, di alcuni centimetri appunto, tutto lo specchio primario a seguito dell'implementazione degli attuatori per superficie attiva [ref. 1].

L'idea guida della soluzione adottata consiste nello spostamento laterale del subriflettore quando non usato, di una distanza sufficiente a non interferire con i feed dei ricevitori di fuoco primario [ref. 1]. Vengono riconfermati tutti e sette gli assi originari di movimento (due per il movimento del ricevitore e cinque per quello del subriflettore) con la variante di implementare lo spostamento "Y" [ref. 2] asservito sia come usuale asse subriflettore sia come "asse di parcheggio", cioè come movimento atto a porre di lato lo specchio.

La presenza dello specchio fuori centro dalla struttura primaria e la necessità di imporre varianti al quadrupode per soddisfare i vincoli prima elencati hanno suggerito di riverificare comunque il comportamento della antenna, cosicché sono stati preliminarmente portati a compimento due studi, uno di calcolo strutturale [ref. 3] e uno elettromagnetico [ref. 4]. I risultati hanno confermato che anche nella nuova situazione le prestazioni previste e il comportamento della antenna rimanevano inalterati.

Il presente rapporto interno per la complessità della realizzazione che descrive e per la oggettiva quantità e rilevanza degli argomenti trattati, si spazia dalla elettronica alla meccanica ed elettromeccanica fino al progetto di struttura e alla determinazione matematica delle equazioni del moto dello specchio secondario, così come alla progettazione e implementazione del software di controllo automatico e remoto, è stato suddiviso in più volumi. Il primo, il più corposo, descrive il progetto e la realizzazione meccanica, gli azionamenti elettronici scelti, il software di controllo e le prove sul sistema completo effettuate a terra e sulla antenna. La seconda parte è puramente di riferimento per coloro che devono mantenere l'oggetto e consiste nella completa descrizione circuitale, nel "wiring list" e gli schemi delle parti elettriche. La terza parte riguarda il software di gestione dell'apparecchiatura mentre la quarta ed ultima parte è relativa alla matematica dell'oggetto, ovverosia la descrizione dei conti preliminari di dimensionamento elettromeccanico delle movimentazioni assi e le equazioni del moto.

Il risultato di questo lungo e complesso progetto è risultato altamente positivo, tutti gli obiettivi postici all'inizio sono stati conseguiti e, a parte alcuni perfezionamenti necessari che derivano essenzialmente dal fatto che il manufatto di Medicina è contemporaneamente prototipo e prodotto definitivo, ma che comunque sono correggibili e compatibili col progetto eseguito, possiamo affermare che ora l'antenna VLBI bolognese compie un netto passo avanti nelle prestazioni dinamiche e d'utilizzo, consentendo un uso osservativo più intensivo, più affidabile e anche per certi aspetti più preciso nelle prestazioni. Da ultimo vale la pena ricordare che, al momento, Medicina è l'unica antenna, almeno a nostra conoscenza, che ha realizzato un prodotto così innovativo su antenne già preesistenti.

2. STUDIO DI FATTIBILITÀ

2.1 Idee generali.

Definita la nuova configurazione dell'antenna, prima di rivolgerci verso il mondo esterno per la fase di progettazione definitiva si è ritenuto opportuno eseguire uno studio preliminare interno mirato a dettare le linee guida dell'intero progetto e a fornirci una iniziale visione ed eventuale soluzione di tutte le problematiche che questa realizzazione comportava.

Per ottenere questa nuova configurazione occorre assolutamente intervenire con modifiche radicali e ridefinire completamente tutta la parte di antenna che si trova al di sopra dello specchio principale, tanto che già in questa fase ci si era imposti come unico vincolo quello di conservare le quattro gambe di sostegno del quadrupode e lo specchio secondario esistenti. Tutto il resto andava inevitabilmente ridisegnato.

Come detto l'idea guida dell'intero progetto consiste nello spostamento laterale del subriflettore quando non utilizzato. Considerando l'antenna in stow position, con lo specchio secondario centrato, le possibili direzioni lungo cui muovere il subriflettore sono quattro, Nord, Sud, Est e Ovest. L'idea di effettuare lo spostamento e il conseguente parcheggio del subriflettore a Est o a Ovest, venne immediatamente scartata perché il carico eccentrico avrebbe introdotto delle flessioni e delle rotazioni anomale sulla struttura che ne avrebbero pregiudicato il corretto funzionamento.

Le direzioni Nord e Sud erano quelle ideali per mantenere una configurazione simmetrica dal punto di vista gravitazionale. Entrambe percorribili presentavano sia dei pro che dei contro. La scelta, molto dibattuta, infine è ricaduta sulla direzione Sud. Questa offre il miglior compromesso per gli interventi di manutenzione sul ricevitore in fuoco primario e sul subriflettore stesso.

Scelta la direzione, la prima incognita a cui occorreva dare una risposta era definire di quanto spostare lateralmente lo specchio secondario per permettere ai ricevitori collocati nel primo fuoco dell'antenna di illuminare totalmente il riflettore principale. Analizzando la fig. 2.1.1 si capisce come effettuando soltanto una traslazione (asse Y) occorre spostare lo specchio secondario di una quantità almeno uguale al suo diametro, tanto da porlo in una posizione troppo laterale rispetto all'asse ottico, con inevitabile aumento sia delle sollecitazioni meccaniche che della copertura perpetrata verso il riflettore principale. Invece, combinando il movimento lungo l'asse Y con uno di traslazione verso l'alto (asse Z) lo spostamento lineare lungo la prima direzione può essere notevolmente inferiore. Il movimento verticale (asse Z) si poteva ottenere utilizzando i tre attuatori di movimento indispensabili per fornire allo specchio secondario tre dei suoi cinque gradi di libertà, questo però significava costruire degli attuatori aventi una corsa di lavoro maggiore di quella indispensabile e quindi troppo ingombranti, tanto che i problemi di installazione erano maggiori dei vantaggi. Non essendo percorribile questa soluzione si intraprese la strada di posizionare l'asse di traslazione lungo Y non orizzontale ma inclinato di un certo angolo in modo che con un solo movimento si ottenevano i due effetti desiderati. Venne scelto un angolo di inclinazione di 8° , questo valore permetteva con uno spostamento laterale lineare di circa 2200mm di ottenere un arretramento intrinseco dello specchio secondario di 310mm, che sommati alla corsa degli attuatori sopracitati, ora adeguatamente dimensionati, permetteva di portare lo specchio secondario fuori dell'angolo di illuminazione dei ricevitori in fuoco primario. Questa configurazione

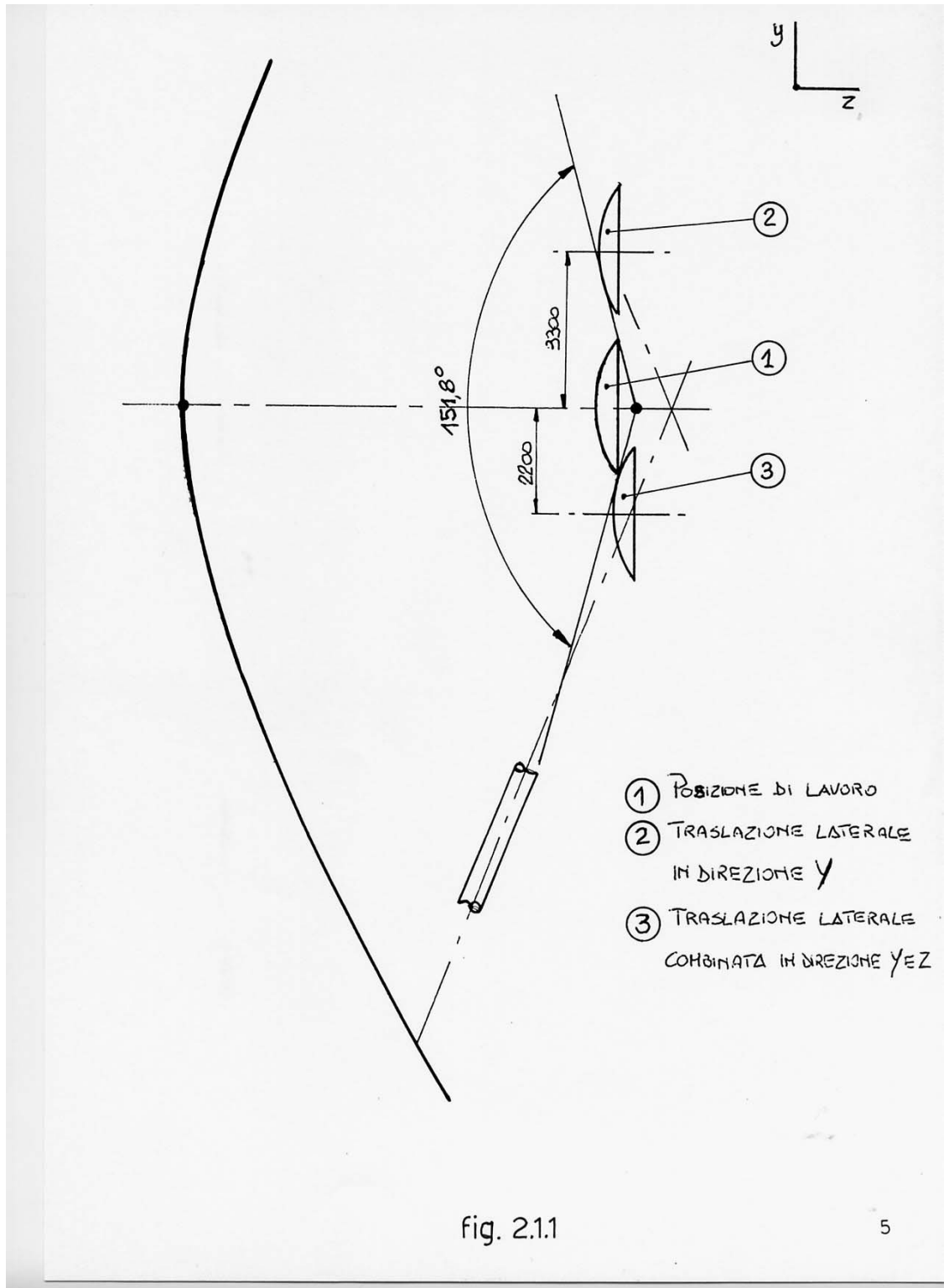


Fig.2.1.1

era sicuramente quella che forniva il miglior compromesso fra le varie esigenze, infatti permetteva, aumentando di solo 3° l'angolo compreso fra le gambe di sostegno del quadrupode e l'orizzontale, il perfetto passaggio della struttura di movimento del subriflettore lasciando adeguato spazio per la locazione dei ricevitori in fuoco primario.

2.2 Simulazioni strutturali ed elettromagnetiche a priori.

Il risultato di questa fase preliminare fu di avere a disposizione alcuni schizzi, evidenziati nelle fig. 2.2.1,2,3,4, che riprendevano le linee guida del progetto e si sono rivelati molto utili nelle successive fasi di contatto con il mondo esterno. A questo punto si imponeva sia una verifica meccanica a livello strutturale sia un controllo delle possibili variazioni elettromagnetiche di ricezione che una siffatta modifica avrebbe comportato.

Per quanto riguarda la verifica meccanica si voleva analizzare tramite programmi di simulazione al computer il comportamento della struttura nelle due nuove possibili configurazioni, subriflettore centrato o spostato lateralmente, valutando sia l'entità degli spostamenti per flessione associata ai pesi propri dei componenti meccanici sia lo stato di sollecitazione indotto alla struttura. Consapevoli della professionalità dimostrata e delle conoscenze precedentemente acquisite nell'eseguire l'analisi strutturale dell'intero radiotelescopio ci siamo rivolti senza indugio allo studio tecnico BCV di Milano. Il rapporto intercorso con l'ing. Parodi si è rivelato estremamente proficuo in quanto oltre ad averci fornito un esplicito documento [ref. 3] che evidenzia come le modifiche che si intende apportare all'antenna non creino alcuna significativa variazione rispetto alla condizione esistente, ci ha fornito interessanti consigli e chiarimenti su quelli che sono i canoni giusti da seguire quando si progettano strutture meccaniche che richiedono una rigidità elevata.

La verifica elettromagnetica fu eseguita dall'ing. Agostino Monorchio, oggi dell'Università di Pisa, che in quel periodo aveva un rapporto di collaborazione con l'osservatorio di Arcetri. Venne richiesta la simulazione della nuova configurazione sia in fuoco primario che Cassegrain per diverse frequenze di utilizzo. La sintesi del lavoro presentato dall'ing. Monorchio è contenuta in un esauriente rapporto tecnico [ref. 4], che merita alcune brevi considerazioni.

Il processo di calcolo è in grado di fornire il valore del guadagno ed il livello dei lobi secondari dell'antenna. Relativamente alla configurazione in fuoco primario si nota come la copertura determinata dalla presenza degli organi di sostegno delle apparecchiature collocate nel fuoco primario e del subriflettore stesso posto lateralmente sia direttamente responsabile delle perdite di guadagno e dell'innalzamento dei lobi secondari. Rispetto alla configurazione esistente la nuova presenta una maggiore area di copertura tale da determinare, indipendentemente dalla frequenza considerata, una perdita di guadagno di circa 0.2dB e un innalzamento dei lobi secondari di circa 2dB.

Per la configurazione Cassegrain l'aumento dell'area di oscuramento è molto meno critica; se si mantengono i ricevitori sull'asse geometrico si valuta una perdita di guadagno di circa 0.03dB ed un innalzamento dei lobi di circa 0.4dB. La situazione cambia quando vengono posti i ricevitori in posizione offset, in questo caso la perdita di guadagno diventa dipendente dalla frequenza. Per mantenere la perdita di guadagno contenuta in 0.1dB occorre sistemare i ricevitori nella vertex room lungo il perimetro

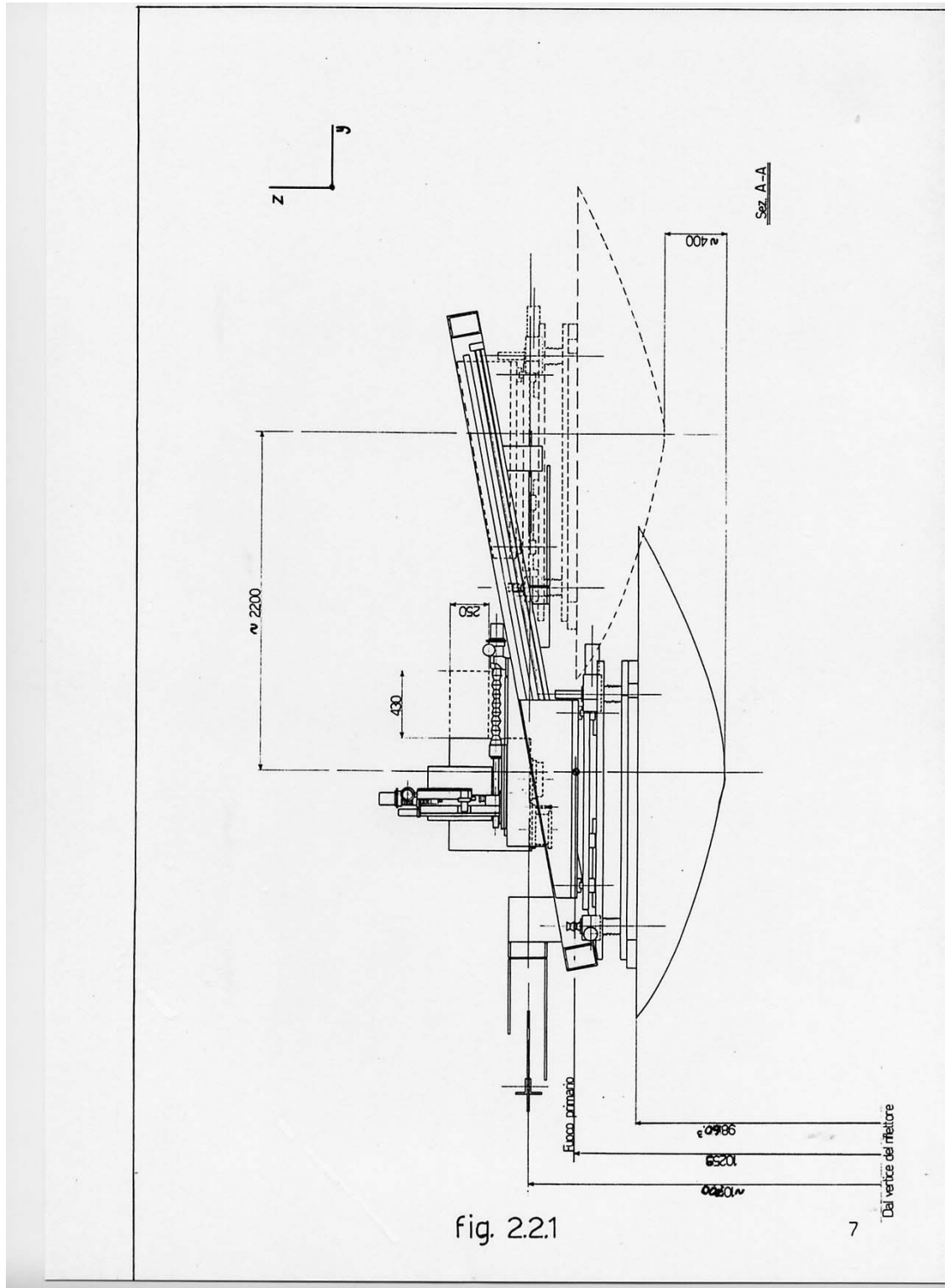


Fig.2.2.1

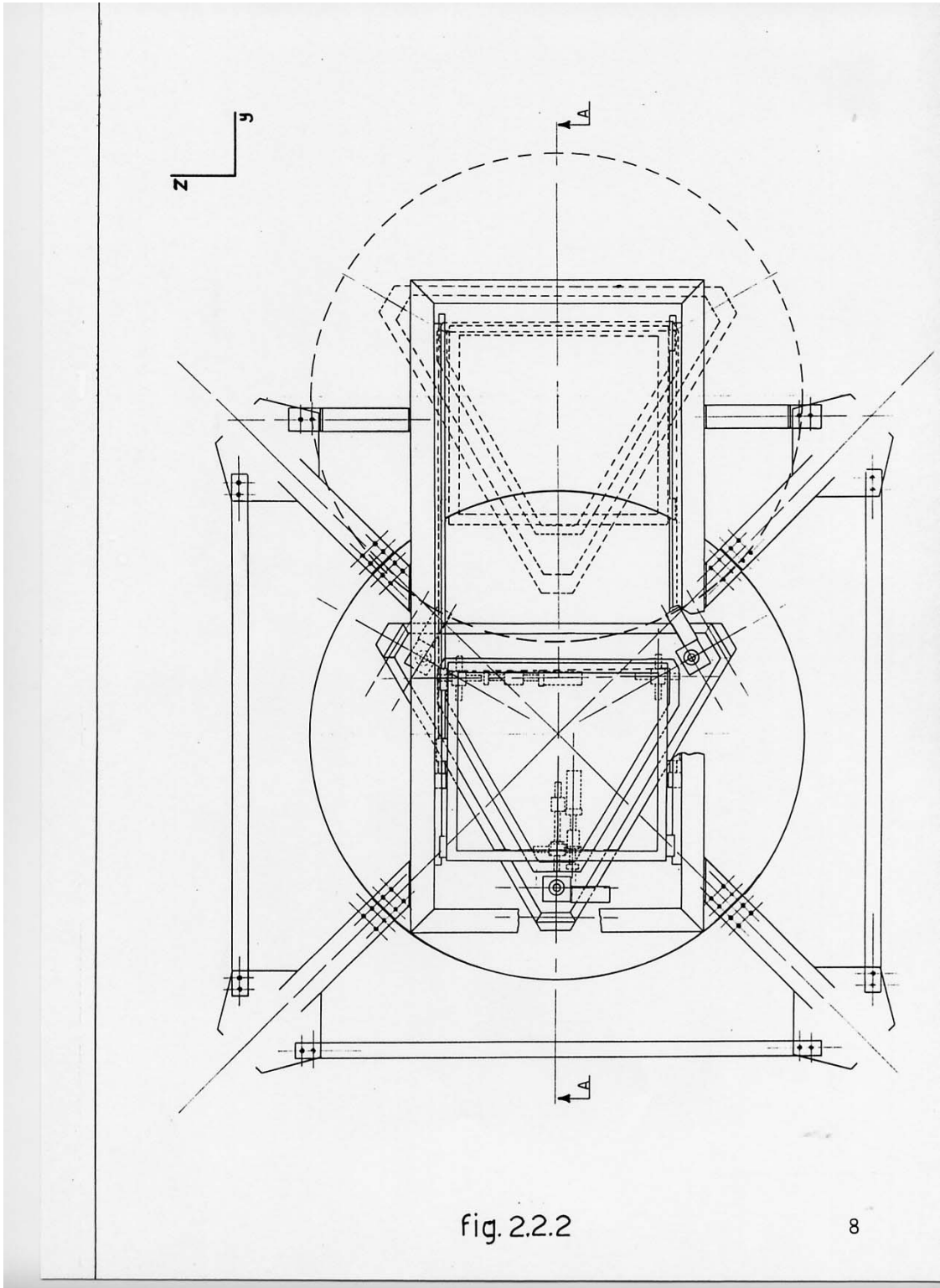


fig.2.2.2

2. Studio di fattibilità

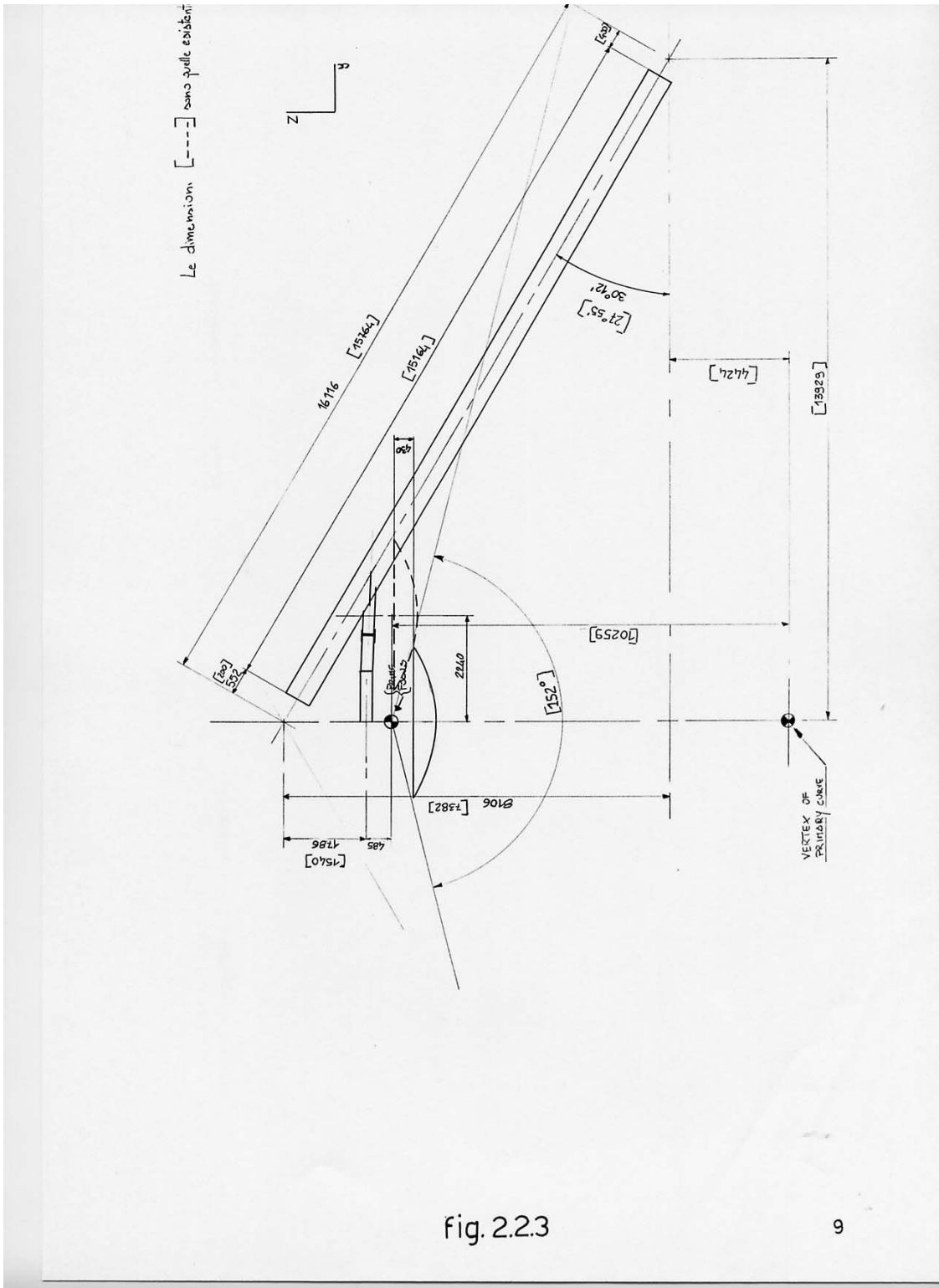


fig.2.2.3

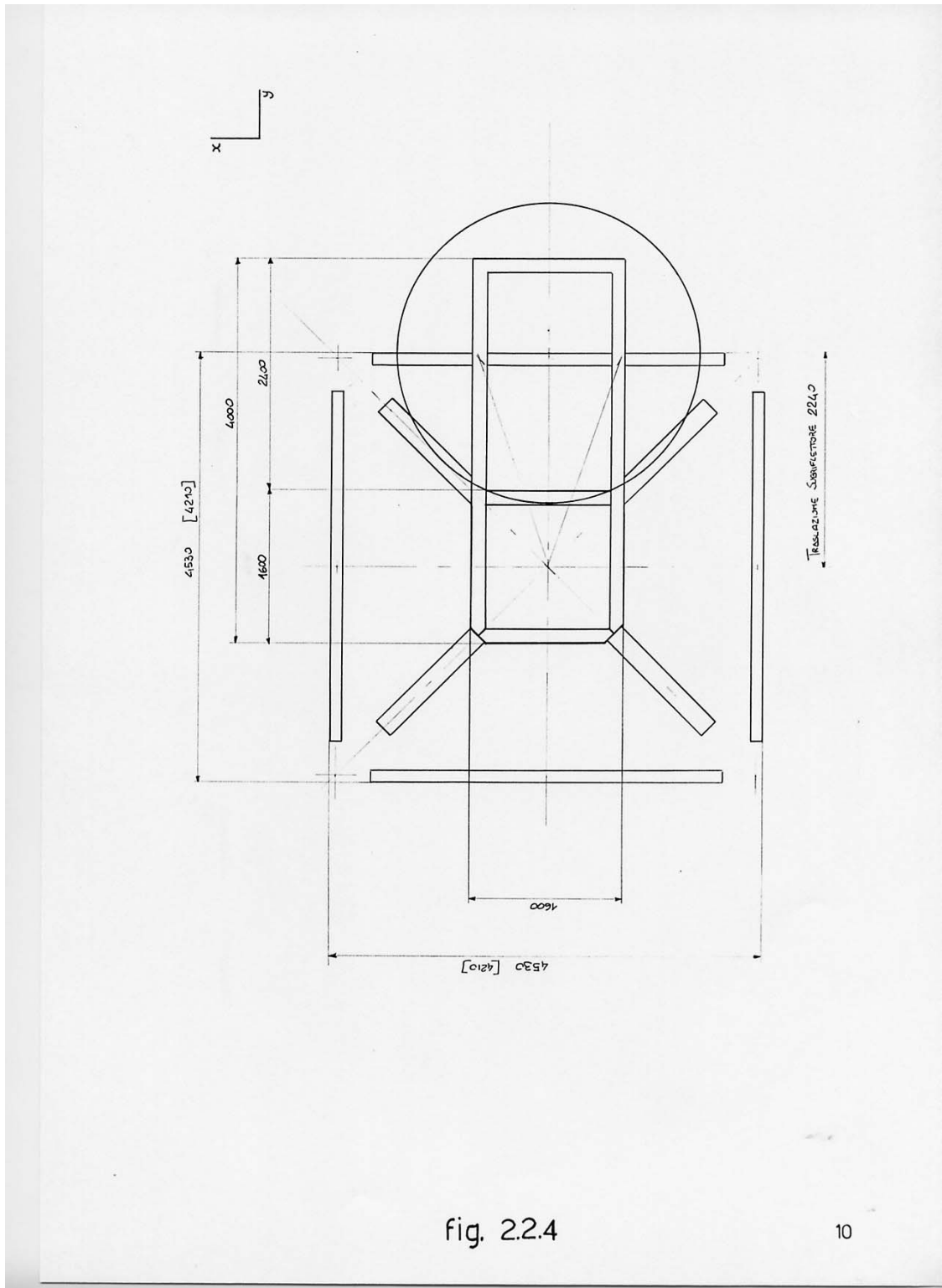


fig.2.2.4

di un'ellisse cosicché quelli a frequenze più elevate abbiano un angolo di offset minore.

I valori elencati non sono trascurabili, tuttavia non ci hanno scoraggiato a procedere su questa strada. È doveroso precisare infatti che la configurazione analizzata è quella che teoricamente determina il massimo degrado delle prestazioni, esagerando il caso peggiore cosicché, durante questa fase il pensiero comune era che così come si accetta un ben più cospicuo degrado delle prestazioni rispetto alla ipotetica situazione di assenza di mascheratura per insormontabili problemi fisici, altrettanto si poteva accettare questa condizione limite in cambio di un'antenna enormemente più flessibile. Comunque, prove effettuate dopo il montaggio della struttura hanno evidenziato che le perdite in efficienza temute non si sono in realtà verificate.

2.3 Programmazione per il montaggio sull'antenna del nuovo sistema.

Dalla fase preliminare non erano dunque emerse controindicazioni per la buona riuscita del progetto, restava da valutare una procedura abbastanza attendibile per la fase di montaggio ed allineamento della nuova struttura sull'antenna. Relativamente al montaggio era evidente che occorreva portare a terra tutto il complesso del quadrupode e che questo implicava l'uso di una gru di notevoli dimensioni. Ci siamo rivolti ad alcune ditte locali che effettuano sollevamento per conto terzi, le quali ci hanno fornito i diagrammi portata-altezza di sollevamento dei mezzi a loro disposizione: come si vede dalla fig. 2.3.1 relativa ad una macchina da 160 tonnellate, per sollevare un pezzo del peso di 80 quintali, equivalenti a quelli del quadrupode, posto ad una distanza di 30 metri dal centro ralla e portarlo ad un'altezza di 40 metri dal suolo occorre una gru con portata di almeno 200 tonnellate. Un'autogrù di queste dimensioni era reperibile agevolmente nella nostra zona e dalle discussioni intercorse con il personale delle suddette ditte, enormemente più avvezzo di noi a lavori di questo genere, non erano emerse particolari preoccupazioni per l'esecuzione di questo "tiro".

2.4 Il problema del riallineamento ottico.

Rimuovere il quadrupode significa perdere la posizione di allineamento dello specchio secondario rispetto a quello principale, infatti l'asse del subriflettore viene posto al centro ed ortogonale all'asse dello specchio primario dopo aver allineato quest'ultimo utilizzando il medesimo strumento ottico, un teodolite. Una volta rimosso il teodolite dalla sua posizione diventa praticamente impossibile rimetterlo nel medesimo posto. L'unica strada percorribile per ricollocare lo specchio secondario era di utilizzare la posizione conosciuta prima di procedere allo smontaggio. Occorreva costruire una piccola struttura da fissare saldamente all'interno della "vertex room" dotata di un sistema di movimento con cinque gradi di libertà su cui poter montare uno strumento ottico. In questo modo si poteva procedere allineando lo strumento ottico rispetto al subriflettore prima della rimozione del quadrupode ed inversamente, una volta rimontato il pezzo sull'antenna, ponendo il subriflettore rispetto allo strumento ottico.

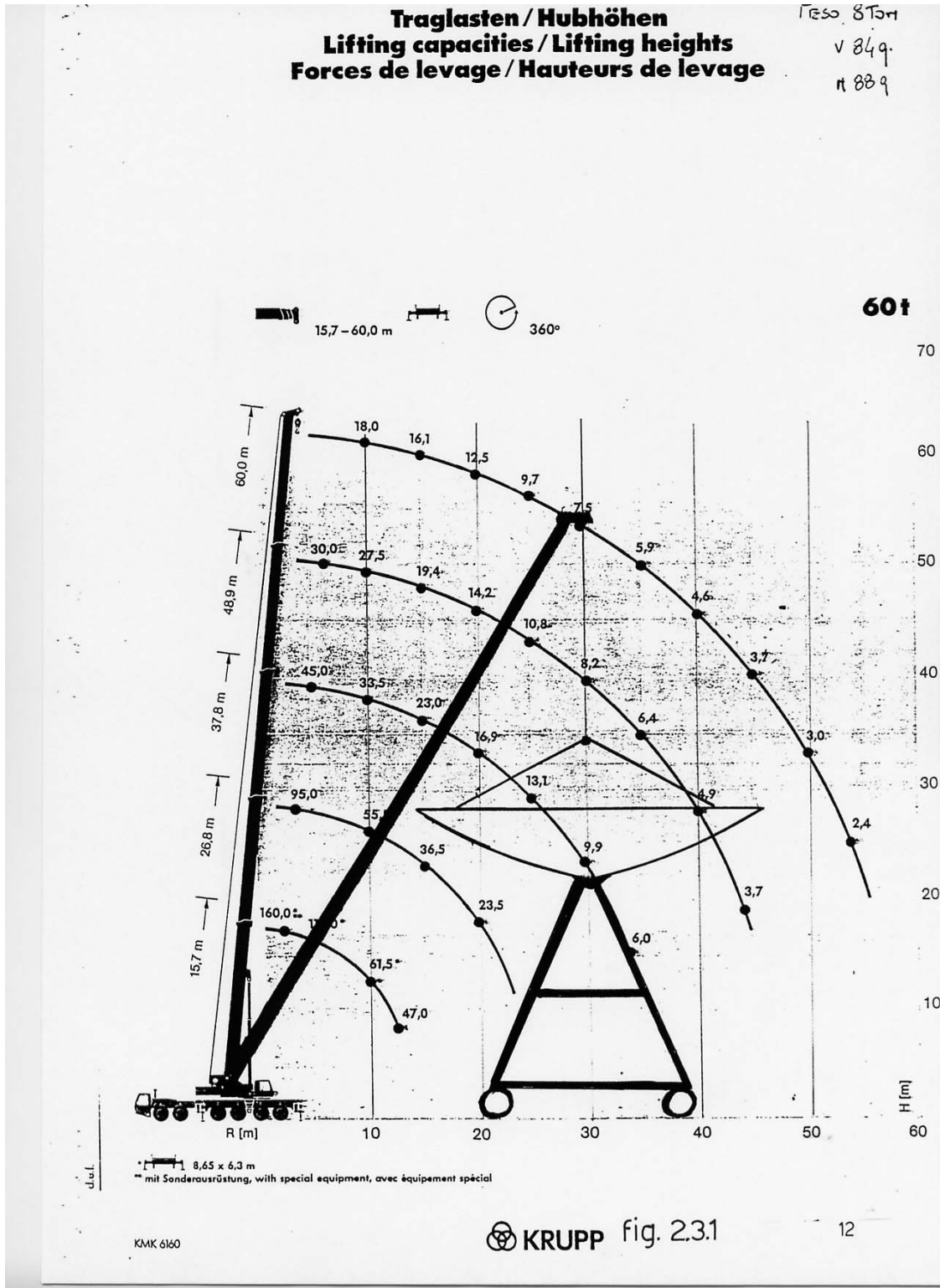


Fig.2.3.1

2.5 Specifiche di progetto.

Per considerare terminata questa prima fase non restava che determinare e scrivere le specifiche tecniche relative agli assi di movimento sia del subriflettore sia dei ricevitori in primo fuoco.

Per quanto concerne la movimentazione del subriflettore, la meccanica attuale fu progettata esclusivamente per compensare le distorsioni rispetto ad una perfetta configurazione geometrica parabola-iperbole prodotte dalla forza di gravità al variare dell'angolo di elevazione dell'antenna. Ora invece si vuole implementare un sistema meccanico che, oltre a svolgere questa funzione, permetta di utilizzare lo specchio secondario per "puntare" una serie di ricevitori a diverse frequenze permanentemente sistemati su di una circonferenza di raggio noto nella vertex room.

Si pensava inoltre di far eseguire allo stesso specchio, mediante una veloce rotazione attorno al suo asse Y, una funzione chiamata "beam switching" di fondamentale importanza in alcune casistiche operative dell'antenna. Questa tecnica osservativa si basa sulla necessità di dovere continuamente eseguire in modo rapido misure sulla sorgente e fuori dalla sorgente così da poter avere una calibrazione delle fluttuazioni dell'atmosfera al livello del secondo. Attualmente non si ottiene di meglio se non una calibrazione a livello di parecchi secondi. Sulle nostre antenne questa funzione è finora stata eseguita utilizzando l'asse di movimento azimutale dell'antenna, ma ci si rende conto di come invece sia il subriflettore lo strumento più consono per eseguirla viste le piccole dimensioni e quindi le minori masse da accelerare. Per ottenere però un reale vantaggio in termini di tempo osservativo occorre aumentare la velocità di movimento degli attuatori lineari utilizzati per eseguire questa rotazione di un fattore trecento rispetto all'esistente. Sommando queste due nuove esigenze e tenendo conto di un valore di oltrecorsa costante, indispensabile su tutti gli assi di movimento per eseguire l'allineamento iniziale di tutto il sistema, risultò immediatamente evidente come la lunghezza delle corse e la velocità nei sistemi di movimento presenti sulla meccanica esistente fossero insufficienti.

Occorre progettare un nuovo sistema di movimento che, fatta salva l'indovinata configurazione geometrica conosciuta, dotata di cinque assi di movimento che permettono altrettanti gradi di libertà, permettesse un significativo aumento delle corse lineari e della velocità di movimento.

Analogamente la meccanica di movimento lungo due assi ortogonali allestita anni addietro per posizionare il contenitore dei ricevitori in fuoco primario nelle bande S/X e K si è ritrovata obsoleta quando è stato implementato dentro lo stesso contenitore un'ulteriore sistema di ricezione per la banda L. La corsa disponibile lungo la direzione di movimento orizzontale non era sufficiente per portare il nuovo feed sul fuoco ma lo lasciava decentrato di ben 95mm, con un'inevitabile perdita di efficienza. Questa, in fase di progettazione di tutto il sistema, era l'occasione giusta per aumentare la lunghezza di corsa, perlomeno lungo questa direzione, anche per evitare spiacevoli sorprese in futuro quando sarà disponibile il nuovo e definitivo sistema di ricevitori per fuoco primario nelle bande S/X ed L. Da un'analisi eseguita per determinare le dimensioni fisiche dell'insieme feed/polarizzatore/ortomodo di ognuna di queste frequenze era emerso che si doveva prevedere un'altezza di almeno 900mm ed il valore minimo di interesse tra i due sistemi, se montati parallelamente, non poteva essere considerato minore di 360-380mm.

Le tavole 2.5.1 e 2.5.2 relative alla situazione attuale la prima, e a quella prevista la seconda sono il risultato di queste valutazioni e evidenziano chiaramente come il

2. Studio di fattibilità

sistema che si vuole realizzare sia concettualmente simile al precedente, onde evitare pericolosi “salti nel vuoto”, ma molto più evoluto e severo sui parametri che identificano la precisione meccanica della realizzazione. Questa severità è assolutamente indispensabile se si vogliono ottenere alte prestazioni dinamiche e parallelamente un miglioramento, in previsione futura, del puntamento dell’antenna.

Medicina 19/10/94

ALCUNE SPECIFICHE RIGUARDO IL SUBRIFLETTORE DEL
PARABOLOIDE 32m DI MEDICINA.

Subriflettore : stato attuale

- 5 assi, corsa totale ± 5 cm (± 4.5 cm effettivi, escludendo fine corsa)
- esiste una regolazione della posizione all'atto del montaggio
(± 1 inch)
- rotazione possibile $\sim 2^\circ$ attorno all'asse X ed Y
- risoluzione di posizione = 0.02 mm
- ripetibilita` " = 0.1 mm
- velocita` assi = 3cm/min.
- tipo azionamento :
 - motore cc con loop di velocita` aperto
(35V, 1A max)
 - potenziometro lineare per loop di posizione
 - nessun problema di RFI
 - protezione all'acqua IP55
 - cavi elettrici necessari al movimento, 2
- pesi: superficie vetroresina, ~ 150 Kg
movimentazione meccanica, ~ 650 Kg
- l'oggetto e' smontabile, il riposizionamento all'atto del montaggio e` di
precisione
- l'oggetto coesiste in loco con una scatola ricevitori di dimensioni pari a
900x750x500mm

tav. 25.1

15

tavola 2.5.1

Subriflettore : richieste

Situazione 1: oggetto in posizione di lavoro

- 5 assi, $\pm 8\text{cm}$ corsa reale, escludendo fine corsa per gli assi X,Y
 $\pm 13\text{cm}$ " " " " " " Z1,Z2,Z3
- rotazione possibile attorno asse X ed Y = $\pm 6^\circ$
- risoluzione di posizione = 0.01 mm
- ripetibilita` " = 0.05 mm
- accuratezza " = 0.1 mm
- velocita` assi : 1cm/sec (tentativo per 10cm/sec)
- predisporre per uno spessore di 6cm, rimuovibile, tra vetroresina e movimentazione
- azionamento : deve soddisfare le specifiche di velocita`, accuratezza posizione, protezione dagli agenti atmosferici¹. RFI e' molto importante.
problemi che possono sorgere, n.ro di cavi elettrici necessari
protezione dai fulmini
necessita` di una sorta di wrap cable
necessita` di porre elettronica in loco
- per ogni asse del subriflettore occorrono, switch di prelimit, di final limit, di zero (se encoder non assoluto)
- pesi: vetroresina, invariata
movimentazione, da diminuire
- la nuova struttura deve rispettare le specifiche di resistenza al vento sia quando in posizione, sia quando posto di lato
 - funzionamento normale, fino a 80Km/h
 - sopravvivenza, 180Km/h
- la nuova struttura deve continuare a supportare la scatola ricevitori
- la corsa della scatola ricevitori va aumentata a 40cm in Y

Situazione 2: oggetto posto di lato

- spostamento laterale di 2.20m + retrocessione di 40cm
- velocita` spostamento : 4cm/sec
- azionamento : motore asincrono 220V o 380V, battuta meccanica di fine corsa di precisione sul lato di lavoro. Nessun loop di controllo.
- il quadripode (= sostegno della struttura meccanica di cui si parla), dovra` essere innalzato, alla sua base, di 30cm. Tenerne conto nei disegni meccanici allegati.

¹ La nostra antenna sperimenta intervalli di temperatura tra -20°C ed $+40^\circ\text{C}$ o oltre, con spesso umidita` del 100%, ed e` esposta a neve, pioggia, vento, forte irradiazione solare.

3. PROGETTO E COSTRUZIONE MECCANICA

3.1 Generalità.

Il progetto meccanico e la relativa stesura dei disegni esecutivi, a seguito di una gara d'appalto dove furono invitati a partecipare cinque studi tecnici, fu affidato allo studio Zocca di Castelmaggiore. Per evitare di rendere vana la notevole mole di lavoro già svolta internamente abbiamo cercato di instaurare con questa ditta un rapporto di lavoro che portasse alla definizione e successiva realizzazione di un progetto fortemente influenzato dalle nostre valutazioni preliminari. La struttura definitiva infatti si presenta come l'insieme di due apparati di movimento totalmente indipendenti. Uno è preposto al controllo dello specchio secondario durante l'uso del radiotelescopio in configurazione cassegrain e opera utilizzando cinque attuatori servoassistiti disposti in una configurazione tale da permettere tre traslazioni lungo gli assi X, Y e Z e due rotazioni attorno agli assi X e Y, fig. 3.1.1. Il secondo, dotato di due attuatori servoassistiti che permettono la traslazione lungo gli assi Y e Z, presta la sua opera durante l'utilizzo del solo specchio parabolico dell'antenna ponendo esattamente sul fuoco primario della parabola il sistema ricevente, fig. 3.1.2.

Questi due sistemi indipendenti devono convivere in uno spazio delimitato da precise dimensioni fisiche e naturalmente l'utilizzo di uno inibisce l'altro, che deve inevitabilmente essere spostato dalla sua posizione di lavoro. È solo durante questa fase di modifica della configurazione operativa che i due apparati si interfacciano fra di loro per evitare interferenze distruttive. Un sistema di switch e relè abilita alternativamente il movimento di uno o più dei sette attuatori soltanto quando quelli non interessati all'esecuzione dello specifico movimento vengono a trovarsi in una condizione nota e predefinita. Se per un qualsivoglia motivo uno di questi segnali di abilitazione viene a mancare, immediatamente tutta la macchina si arresta e deve intervenire un operatore per ripristinare la giusta sequenza di movimento.

3.2 Il quadrupode e il "quadrone": varianti.

Entrambe le apparecchiature sono fissate al "quadrone", uno dei vari particolari che compongono il quadrupode. Il quadrupode è una struttura in acciaio bullonata alla reticolare costituente lo specchio principale e progettata esclusivamente per svolgere la funzione di sostegno degli apparati collocati nel fuoco primario dell'antenna. Per ospitare queste due nuove apparecchiature si doveva inevitabilmente aumentare lo spazio attualmente a disposizione fra lo specchio secondario ed il "quadrone". Anche al quadrupode quindi sono state apportate alcune modifiche che ne hanno lievemente modificato le misure geometriche. Il quadrupode può essere schematizzato come una serie di quattro aste opportunamente fissate fra loro tramite giunti bullonati che formano una piramide a base quadrata, ulteriormente rinforzata ad una altezza intermedia da un'altra serie di aste disposte in maniera da formare due quadrati concentrici paralleli alla base maggiore. Il quadrato interno è appunto il "quadrone", a cui vengono fissate le apparecchiature suddette. La fig. 3.2.1 mostra uno schema quotato del quadrupode prima e dopo le modifiche. Osservando la 3.2.1/a si nota come la struttura sia progettata per ottenere valori di rigidità molto elevati; gli assi di simmetria delle varie aste nei loro punti di unione sono coincidenti, in modo che tutte le aste siano sottoposte a sforzi esclusivamente di trazione o compressione evitando di

introdurre momenti ed elementi sottoposti a flessione. La 3.2.1/b mostra il quarupode dopo le modifiche. Per mantenere una struttura estremamente rigida rispettando i canoni sopracitati ed utilizzati in sede di progetto, si è operato eseguendo una adeguata rotazione delle quattro aste rispetto ai vertici della base maggiore. L'angolo compreso è così aumentato di circa 2.3° e di conseguenza l'altezza della piramide è maggiore di 724mm. In questo modo le quattro gambe sono rimaste invariate e si è dovuto ridisegnare soltanto le piastre di interfaccia alla base ed al vertice, cogliendo così l'occasione per inglobarvi dei rinvii a carrucola opportunamente pensati per svolgere le operazioni di smontaggio dello specchio secondario e del ricevitore in fuoco primario.

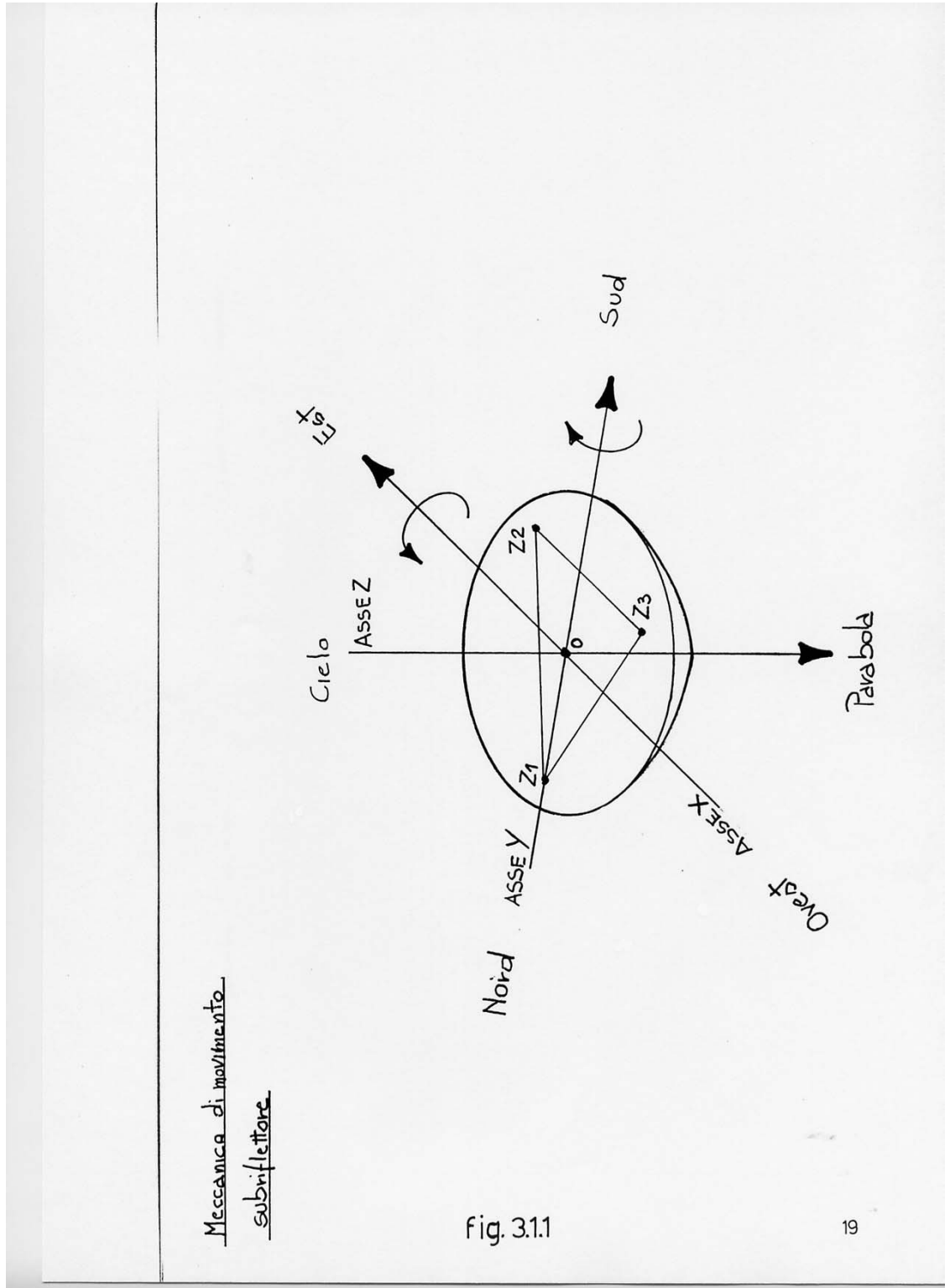


Fig.3.1.1

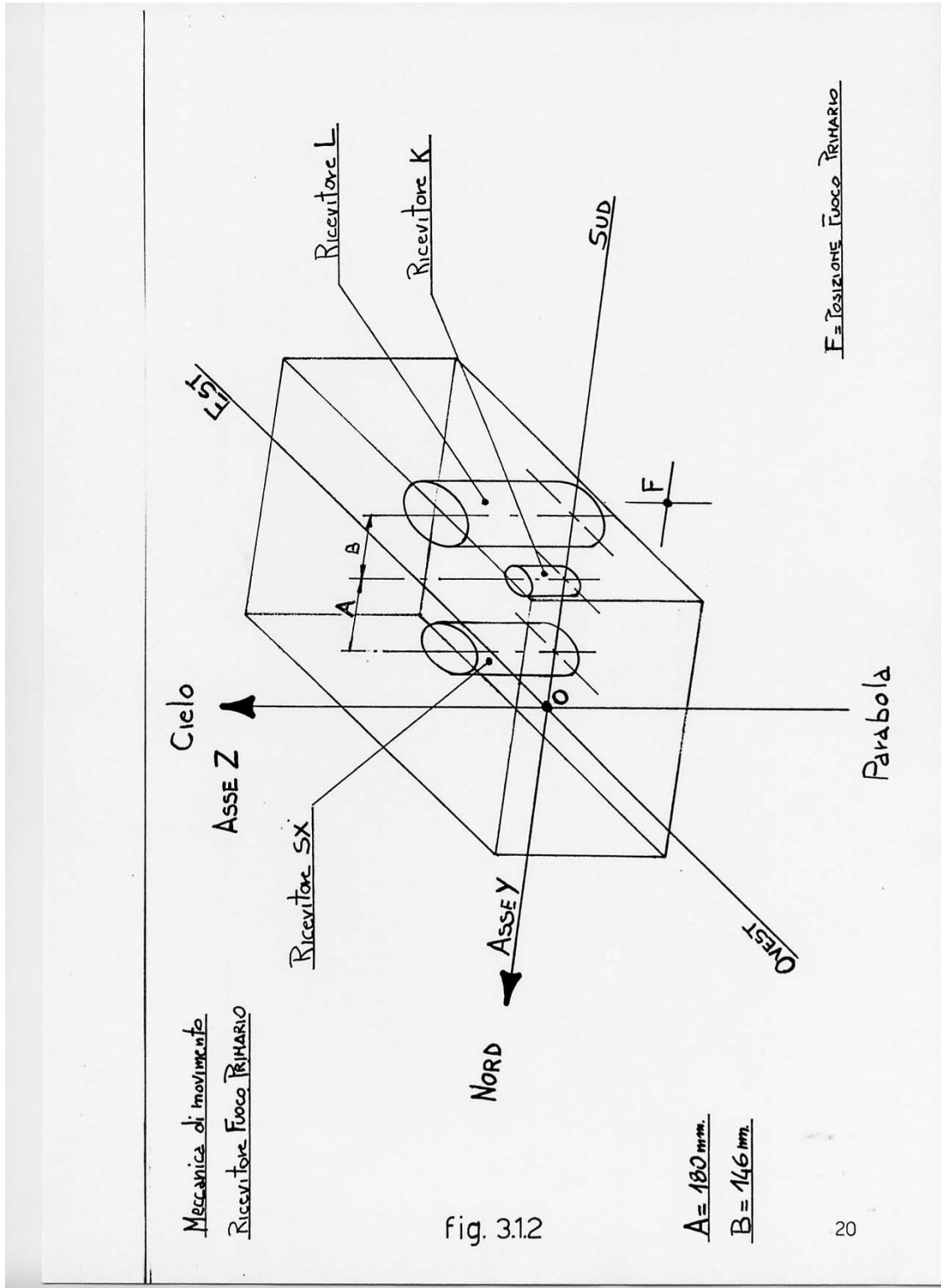


fig.3.1.2

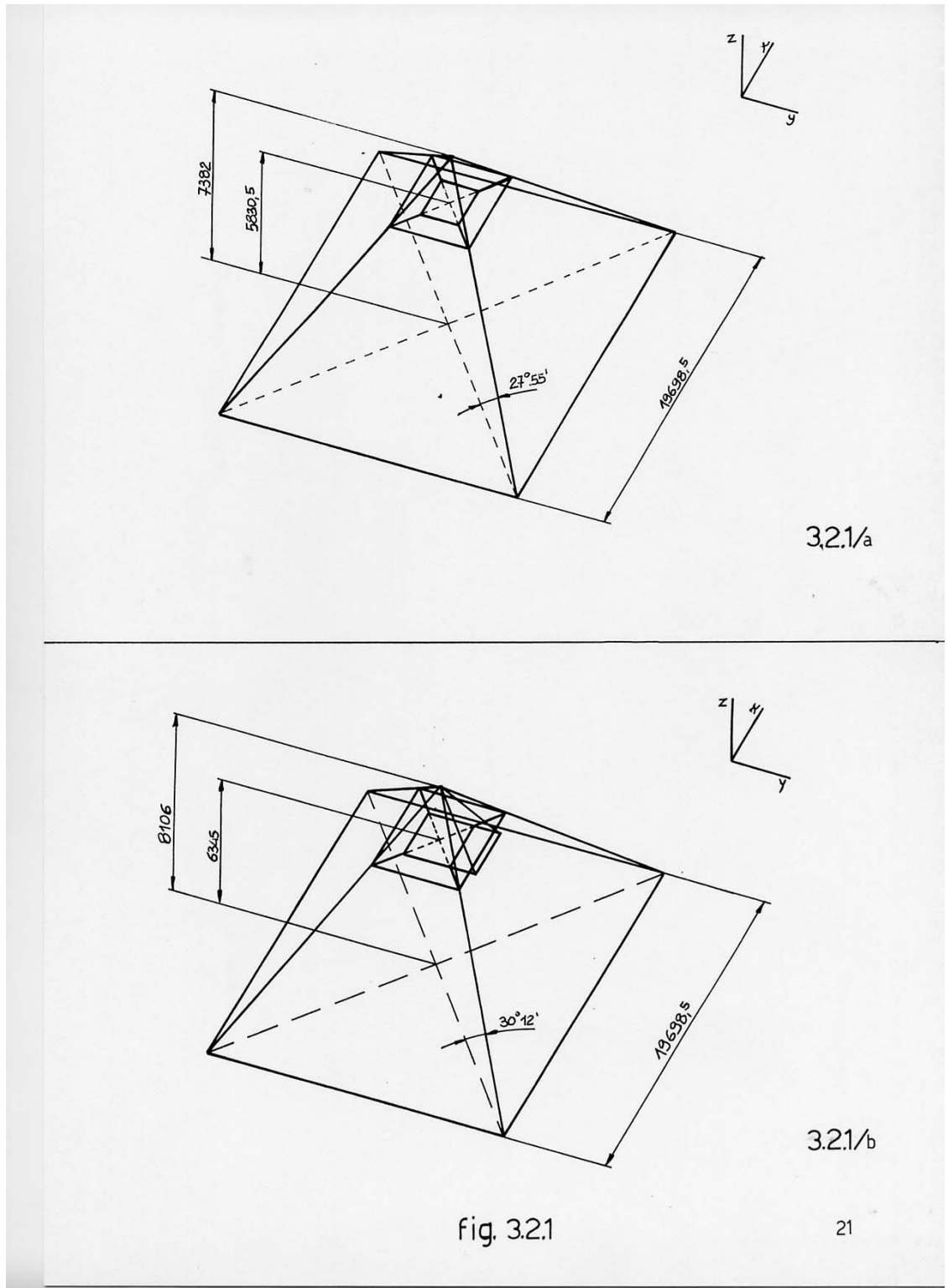


Fig.3.2.1

3.3 Realizzazioni meccaniche adottate per la movimentazione.

Entriamo ora in maniera più dettagliata a spiegare il perché delle scelte operate nella definizione dei due complessi di movimento. Tutti e sette i sistemi di movimento lineari presenti sono concettualmente uguali, ampiamente conosciuti e sperimentati. Sono composti da gruppi motore-riduttore di velocità a gioco ridotto che trasmettono il loro moto circolare ad una vite a ricircolo di sfere precaricata che provvede alla conversione di tale moto da circolare in lineare. Si è posta particolare cura nella scelta della componentistica meccanica perché in sistemi dove il controllo di posizione dell'asse avviene direttamente sul motore, come nei brushless utilizzati, occorre che la catena cinematica a valle del motore presenti una buona rigidità ed un basso gioco meccanico.

La meccanica di movimento del subriflettore, fig. 3.3.1, è costituita da tre telai indipendenti. Il primo, fisso, permette il collegamento all'antenna ed è il "quadro" a cui, tramite l'interposizione di guide lineari, è fissato un telaio a cuneo in alluminio che permette il movimento lungo la direttrice Y. Questo asse svolge una doppia funzione: controlla il subriflettore nella condizione di lavoro e ne permette la traslazione nella posizione di riposo. Come precedentemente spiegato il movimento lungo questa direttrice avviene su di un piano inclinato di 8° rispetto all'orizzontale e proprio per questo il telaio suddetto presenta questa forma caratteristica a cuneo. Il piano superiore del telaio è parallelo alla direzione di movimento mentre quello inferiore è orizzontale ed è su questo piano che viene attaccato, sempre tramite guide lineari, un secondo telaio in alluminio di forma triangolare equilatero che esegue il movimento lungo la direttrice X. Ai tre vertici di quest'ultimo telaio triangolare sono fissati gli attuatori lineari che sostengono ancora, mediante delle guide a scorrimento lineare, lo specchio secondario e permettono sia il movimento lungo la direzione Z che le rotazioni attorno agli assi X ed Y.

Sposando la soluzione di porre l'asse Y inclinato di otto gradi rispetto all'orizzontale e di misurare la sua posizione lungo la medesima direzione occorre ricordare che il vero movimento non avviene più lungo la reale direttrice Y ortogonale agli assi X e Z. Quindi, se durante l'utilizzo dell'antenna in configurazione Cassegrain si presenta la necessità di eseguire un movimento in questa direzione (ad esempio per recuperare l'indesiderato spostamento dovuto a gravità) occorre:

- a) Tradurre il moto inclinato in moto diritto, moltiplicando l'entità dello spostamento inclinato per il coseno di 8° .
- b) Recuperare il conseguente spostamento nella direzione Z, moltiplicando l'entità dello spostamento inclinato per il seno di 8° .

Anche il complesso sistema di movimento del subriflettore generato mediante l'uso dei tre attuatori Z merita qualche ulteriore chiarimento.

Bisogna pensare che ci occorreva un sistema rigido dove, soltanto nel caso si volesse allungare o accorciare uno o più dei tre attuatori lineari che sorreggono lo specchio secondario si generasse un movimento esclusivo o di traslazione lineare in direzione Z o di rotazione attorno agli altri due assi ortogonali X ed Y: solo rispettando questa condizione il sistema che sostiene lo specchio secondario è insensibile a tutte quelle forze che non siano generate direttamente dagli attuatori e quindi la posizione del subriflettore non può essere modificata né dalla spinta generata su di esso dal vento né tantomeno dal variare di direzione della forza di gravità per il modificarsi della posizione in elevazione dell'antenna. Questi tre attuatori hanno il corpo collegato, in parte fissa, ad una **cerniera** che viene avvitata ai vertici del telaio triangolare

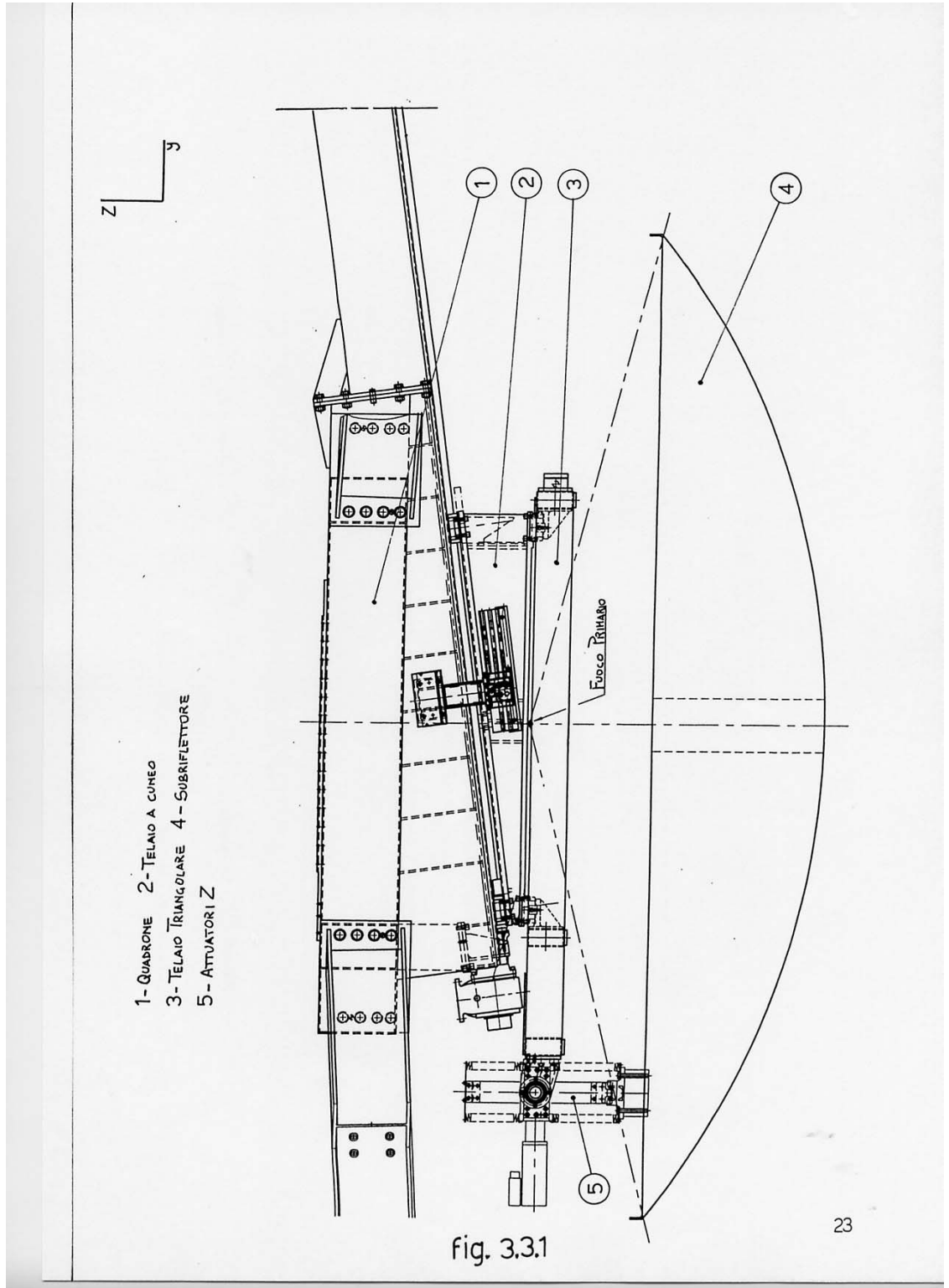


Fig.3.3.1

equilatero, con il proprio asse ortogonale alla mediana a ciascun lato. La parte mobile dei tre attuatori invece viene fissata tramite l'interposizione di una **sfera** al rigido telaio superiore dello specchio secondario. Il sistema pertanto può essere sintetizzato, fig. 3.3.2, come un prisma triangolare dove il piano o faccia superiore, fisso, schematizza il telaio in alluminio e passa attraverso le cerniere, il piano inferiore, mobile, schematizza il subriflettore e passa attraverso le sfere. Le aste che uniscono i vertici dei due piani schematizzano gli attuatori.

Le cerniere inibiscono tutti i movimenti esclusa la rotazione attorno al proprio asse mentre le sfere permettono tutte le rotazioni ma inibiscono qualsiasi traslazione. In un siffatto sistema se vengono allungati od accorciati simultaneamente della stessa quantità tutti e tre gli attuatori si ottiene esclusivamente una traslazione lungo Z del piano mobile rispetto a quello fisso. Se si vuole invece ottenere una rotazione del piano mobile attorno all'asse X bisogna allungare (accorciare) Z1 ed accorciare (allungare) la coppia Z2 e Z3 di quantità diverse ma rapportate alla loro distanza rispetto all'asse di riferimento. Per ottenere infine la rotazione del piano mobile attorno all'asse Y del sistema occorre, mantenendo fermo Z1, allungare (accorciare) Z2 ed accorciare (allungare) Z3 della medesima quantità visto che la loro distanza rispetto all'asse di riferimento è uguale.

Si parla sempre di rotazioni semplici attorno ai due assi per facilità di comprensione ma sovrapponendo i due effetti provocati dalla somma di queste due rotazioni del piano mobile il subriflettore può in realtà disporsi puntando tutte le direzioni contemplate in un angolo giro.

Per completezza di esposizione cerchiamo anche di spiegare come si comporta il cinematico durante le fasi di movimento necessarie per ottenere una rotazione. La fig. 3.3.3 mostra la sezione A-A passante per una delle mediane del prisma precedentemente analizzato. Z1 rappresenta l'asta di corsa dell'attuatore, C1 la cerniera e S1 la sfera del medesimo attuatore. Analogamente Z2-3 rappresentano la coppia delle due aste di corsa degli opposti attuatori, C2-3 l'asse passante per le cerniere 2-3 e S2-3 l'asse passante per le sfere 2-3. La retta C1,C2-3 è il piano indeformabile fisso e la retta S1,S2-3 il piano indeformabile mobile. Il punto O che è il centro del triangolo equilatero, rappresenta l'origine degli assi attorno a cui si vuole avvengano le rotazioni. Allungando l'asta Z1 ed accorciando la coppia Z2-3 avviene che l'asta Z1, essendo l'unica libera, viene trascinata in rotazione attorno a C1, mentre sia la sfera S1 che l'asse passante attraverso S2-3 ruotano su se stessi ponendo il piano mobile S1, S2-3 inclinato. Durante la rotazione avviene anche una piccola traslazione del punto O, ma rimandiamo al volume relativo alle equazioni del moto [ref. 8] la quantificazione e la valutazione del miglior sistema di compensazione di questo fenomeno, peraltro, si vedrà, di facile implementazione in quanto, per l'utilizzo del subriflettore agli effetti pratici, il punto attorno al quale ruota l'iperboloide non è quello riportato in figura, ma deve inevitabilmente coincidere con il fuoco primario del paraboloide.

La meccanica progettata per sostenere e muovere il sistema dei ricevitori sul fuoco primario dell'antenna è una struttura dotata di due gradi di libertà, uno di questi permette di traslare in direzione Y portando sul punto di lavoro uno a scelta dei tre sistemi riceventi indipendenti montati parallelamente sul medesimo asse. Il secondo muove l'insieme dei tre ricevitori lungo l'asse della parabola identificato come Z così da permetterne la messa a fuoco. Il telaio che sostiene ed interfaccia il sistema all'antenna è sempre il "quadro". A questo, mediante citate guide a scorrimento lineare, è fissato un carrello su ciascuno dei due lati paralleli all'asse Y. Sopra ai

- Z1 ATTUATORE Z1
- C1 CERNIERA ATTUATORE Z1
- S1 SFERA ATTUATORE Z1
- Z2 ATTUATORE Z2
- C2 CERNIERA ATTUATORE Z2
- S2 SFERA ATTUATORE Z2
- Z3 ATTUATORE Z3
- C3 CERNIERA ATTUATORE Z3
- S3 SFERA ATTUATORE Z3

O = ORIGINE DEGLI ASSI DI RIFERIMENTO

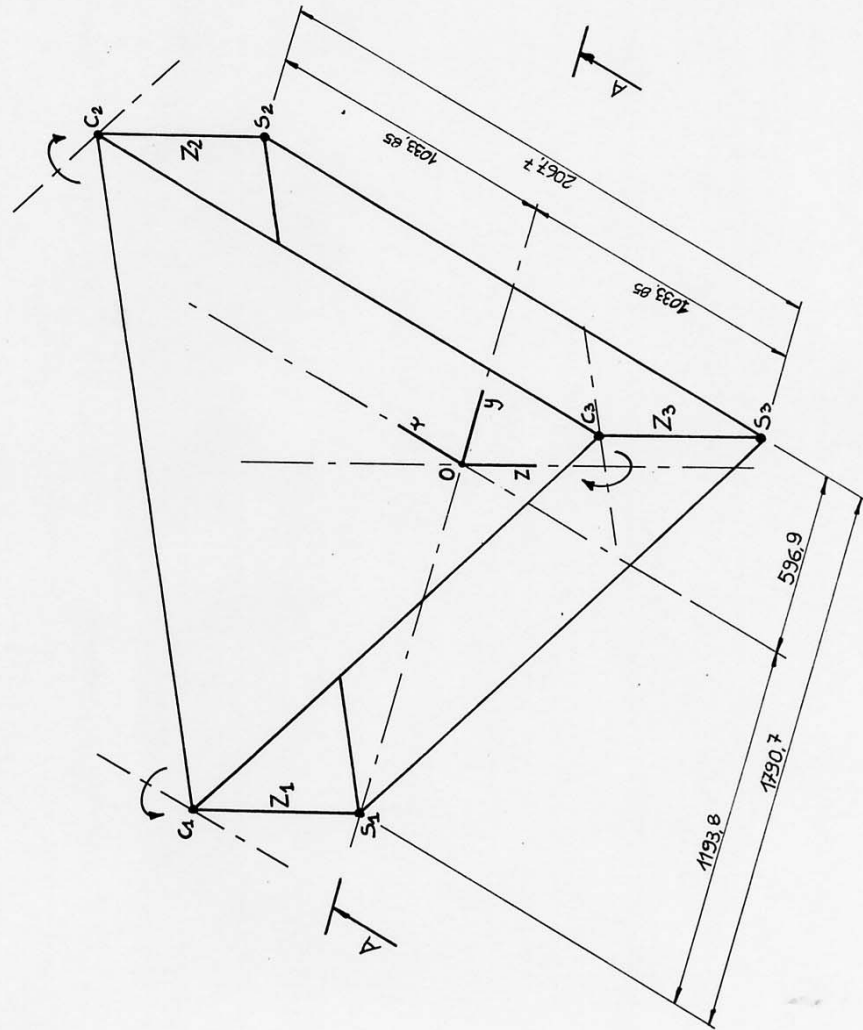
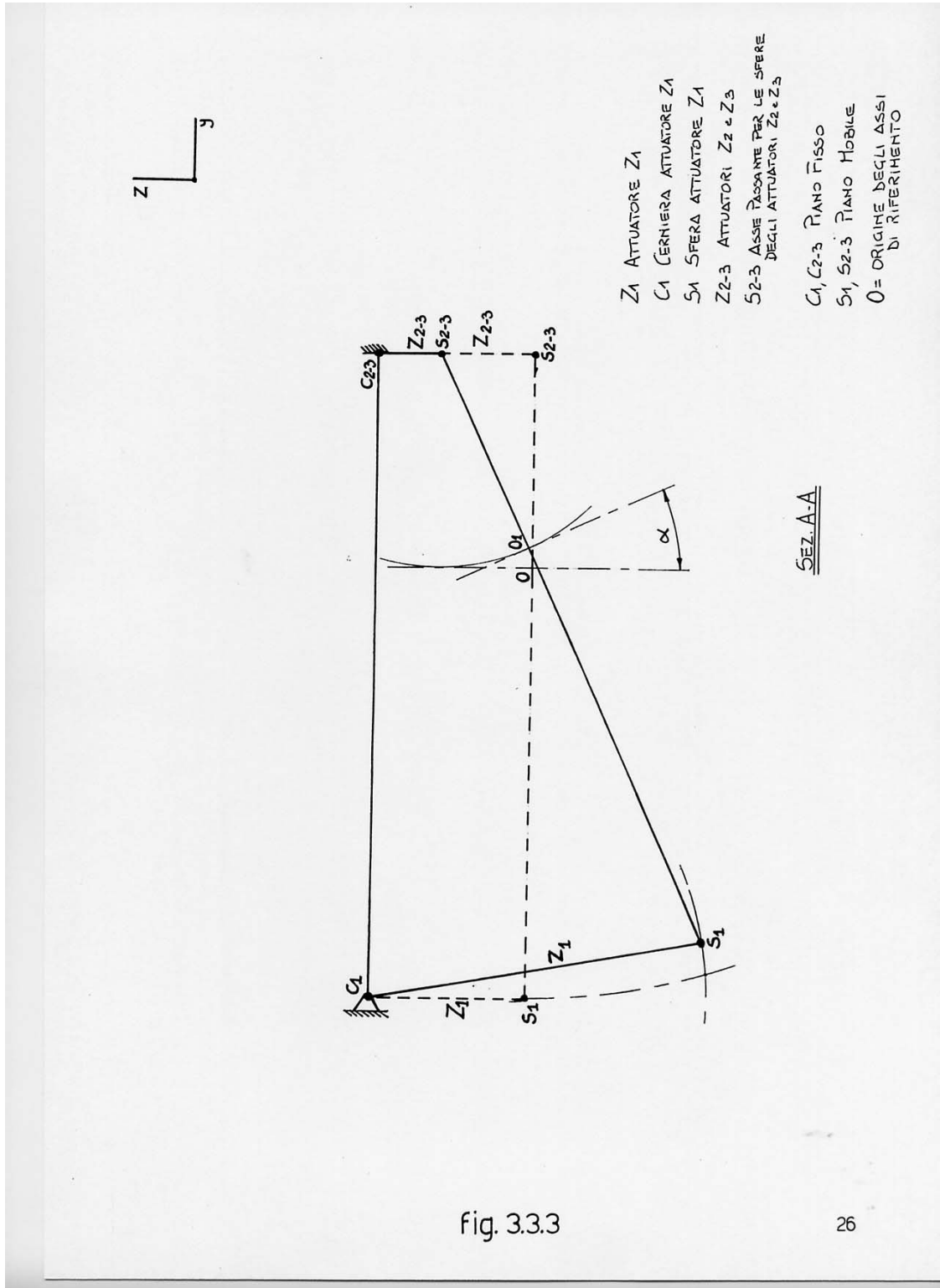


fig. 3.3.2

Fig.3.3.2



- Z1 ATTUATORE Z1
- C1 CERNIERA ATTUATORE Z1
- S1 SFERA ATTUATORE Z1
- Z2-3 ATTUATORI Z2 e Z3
- S2-3 ASSE PASSANTE PER LE SFERE DEGLI ATTUATORI Z2 e Z3
- C1, C2-3 PIANO FISSO
- S1, S2-3 PIANO MOBILE
- O= ORIGINE DEGLI ASSI DI RIFERIMENTO

fig. 3.3.3

fig.3.3.3

carrelli vengono bullonati due montanti, che una volta collegati fra di loro mediante una traversa danno forma ad una tipica struttura a portale. Sui due montanti viene fissata la parte fissa delle guide lineari mentre ai carrelli mobili è fissata la scatola contenente i ricevitori. Contrariamente a quanto avviene sulla meccanica del subriflettore dove gli assi di movimento X ed Y sono del tipo a guida pilota, cioè dotati di un solo sistema di movimento con la vite a ricircolo di sfere collocata in prossimità della guida lineare su di un solo lato del carrello, qui il moto generato da un unico motore viene trasmesso a due viti a ricircolo di sfere poste da ambo i lati del carrello in prossimità delle guide lineari. Questa scelta è stata inevitabile perché, vista l'obbligata conformazione a portale assunta dalla struttura, il rapporto fra l'interasse delle due aste di corsa fisse rispetto all'interasse fra i due carrelli mobili è molto svantaggioso. La casa costruttrice delle guide consiglia di portare sempre il moto in prossimità di ciascuna guida nel caso questo rapporto sia maggiore di due e nei nostri casi vale cinque e sei, rispettivamente per i due casi di movimento Z e Y.

3.4 Specifiche realizzate.

Ecco i numeri di progetto caratteristici di tutti i sistemi di movimento dell'intera struttura.

SUBRIFLETTORE.

ASSE Y

Rapporto di riduzione totale	39 (moto irreversibile.)
Passo vite a ricircolo di sfere	20mm
Corsa utile in condizione operativa	160mm
Corsa utile di svincolo	2240mm
Spostamento verticale al termine della corsa di svincolo	311.7mm
Velocità massima con motore a 3000 rpm	25.65mm/sec
Ripetibilità di posizione *	0.02mm
Risoluzione di posizione	0.000125mm/step

ASSE X

Rapporto di riduzione totale	6 (moto reversibile.)
Passo vite a ricircolo di sfere	10mm
Corsa utile in condizione operativa	160mm
Velocità massima con motore a 3000 rpm	83.3mm/sec
Ripetibilità di posizione *	0.01mm
Risoluzione di posizione	0.00040mm/step

ASSE Z

Rapporto di riduzione totale	5.17 (moto reversibile.)
Passo vite a ricircolo di sfere	10mm
Corsa utile in condizione operativa	250mm
Velocità massima con motore a 3000 rpm	96.7mm/sec
Ripetibilità di posizione *	0.01mm
Risoluzione di posizione	0.00047mm/step

RICEVITORI IN FUOCO PRIMARIO.

ASSE Y

Rapporto di riduzione totale	35 (moto irreversibile.)
------------------------------	---------------------------

Passo vite a ricircolo di sfere	10mm
Corsa utile in condizione operativa	420mm
Velocità massima con motore a 3000 rpm	14.3mm/sec
Ripetibilità di posizione *	0.02mm
Risoluzione di posizione	0.000069mm/step
<i>ASSE Z</i>	
Rapporto di riduzione totale	35 (moto irreversibile.)
Passo vite a ricircolo di sfere	10mm
Corsa utile in condizione operativa	350mm
Velocità massima con motore a 3000 rpm	14.3mm/sec
Ripetibilità di posizione *	0.02mm
Risoluzione di posizione	0.000069mm/step

* In questi valori è già considerato il gioco di inversione, principale fonte di errore.

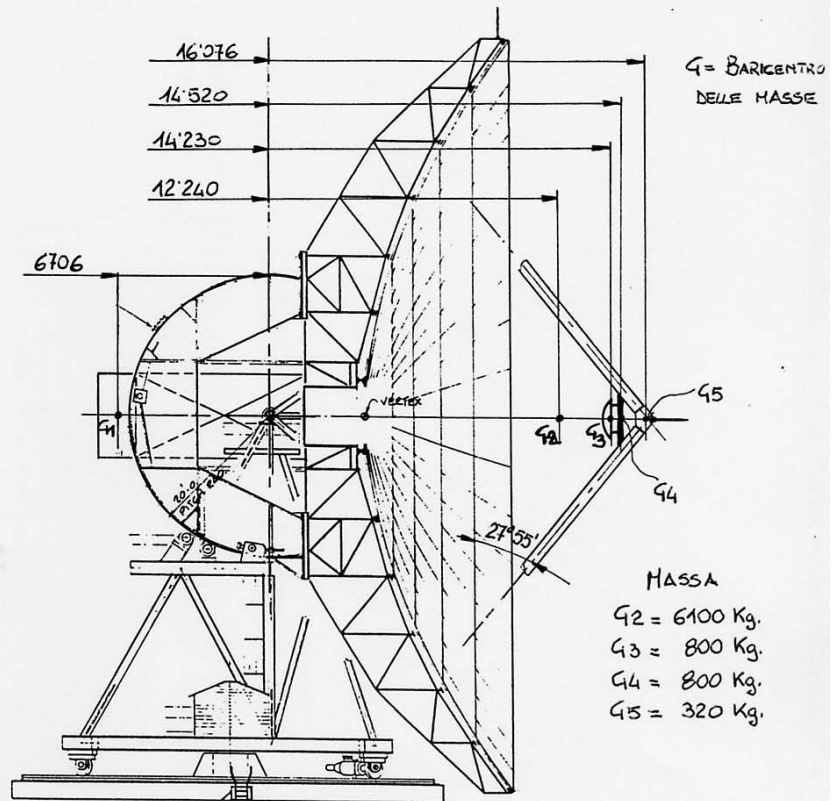
3.5 Disposizione delle masse.

Prima di iniziare la stesura di questo paragrafo è bene fornire alcuni chiarimenti sullo scopo, e su alcune parole chiave che emergeranno più volte nel prosieguo del testo. Lo scopo di questo paragrafo è quello di valutare sia la massa da aggiungere nei contrappesi dell'asse di elevazione dell'antenna che l'influenza perpetrata dalla diversa locazione di queste sui motori di movimento. Pertanto, quando più avanti si parla di configurazione iniziale, si intende l'antenna com'era al termine della fase di costruzione avvenuta nel 1983 e non si tiene minimamente in conto dell'aumento di peso di 400 Kg determinato dal montaggio, avvenuto anni dopo, del ricevitore SX/K/L in quanto durante quella fase non si era provveduto a ripristinare il corretto valore dei contrappesi. Mentre quando si parla di configurazione attuale si intende quella ora operativa con la nuova meccanica di movimento dello specchio secondario e dei ricevitori in fuoco primario.

La struttura di elevazione dell'antenna è bilanciata rispetto all'asse di elevazione, quindi un aumento ed una diversa sistemazione delle masse solo sul quadrupode determina la necessità di rieseguire la taratura degli opposti contrappesi. Rispetto all'asse passante per i cuscinetti di elevazione le masse che si trovano da un lato sono infatti opportunamente controbilanciate da questi due contrappesi che vengono adeguatamente tarati in fase di erezione dell'antenna stessa. Nonostante l'attenzione posta al contenimento dei pesi durante la fase di progetto, la nuova struttura ha un peso maggiore di circa 700Kg rispetto alla configurazione iniziale. La fig. 3.5.1 mostra le masse dell'insieme quadrupode e la loro locazione così come erano dopo il montaggio dell'antenna. Il momento di queste masse rispetto all'asse di elevazione vale 102809kgm. La fig. 3.5.2, analogamente, mette in evidenza le masse del quadrupode e la loro disposizione nella nuova configurazione assunta dall'antenna. Il momento delle masse rispetto all'asse di elevazione vale ora 117938kgm. La differenza fra i momenti rapportata alla distanza dei contrappesi dall'asse di elevazione identifica la massa da aumentare in questi ultimi per ricreare la condizione di equilibrio. Essa vale 2256kg.

Una diversa collocazione delle masse potrebbe inoltre influire negativamente sul comportamento del servozionamento che controlla l'asse di elevazione dell'antenna nelle delicate fasi di accelerazione e decelerazione. Il momento d'inerzia di massa riferito all'asse dei motori è inevitabilmente cambiato rispetto al progetto originale. La fig. 3.5.3 mostra le masse di tutta la struttura di elevazione e la loro collocazione

riferita all'asse di elevazione. Il momento d'inerzia vale 5185557kgm^2 . La fig. 3.5.4 mostra invece la disposizione dopo le modifiche, il momento d'inerzia vale ora 5543994kgm^2 , con una variazione percentuale di circa il 7%. Aiutandosi ora con la fig. 3.5.5, che mostra lo schema di tutto l'asse di movimento, si può cercare di valutare gli effetti riportati sul motore da questa variazione. Si può notare immediatamente come il valore totale della massa inerziale riferita al motore valga 0.0162kgm^2 nel caso della configurazione iniziale e si attesta ad un valore di 0.0165kgm^2 con la nuova configurazione. La variazione percentuale è notevolmente più bassa e vale circa 1.8%. Tenendo conto che il momento d'inerzia di motori di queste dimensioni vale mediamente 0.03kgm^2 è evidente come il motore continui ad essere l'elemento dominante del servosistema.

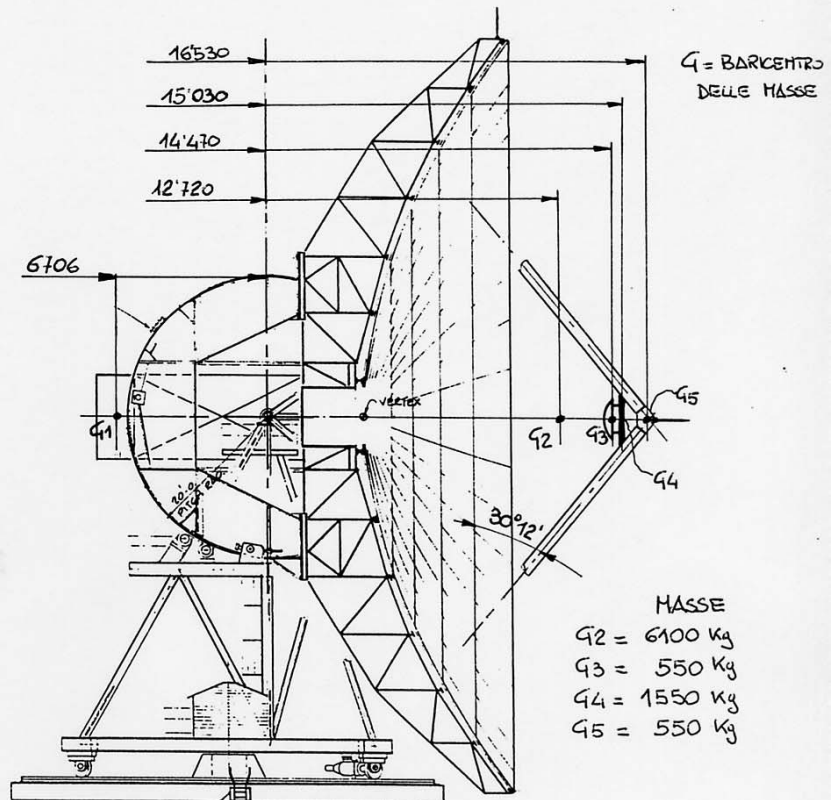


MOIMENTO DELLE MASSE SUL FUOCO PRIMARIO RIFERITE ALL'ASSE DI ELEVAZIONE

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 6100 \times 12,24 = 74'664 \text{ Kg. m} \\
 M_3 &= 800 \times 14,23 = 11'384 \text{ Kg. m} \\
 M_4 &= 800 \times 14,52 = 11'616 \text{ Kg. m} \\
 M_5 &= 320 \times 16,076 = 5'145 \text{ Kg. m} \\
 \Sigma M &= 102'809 \text{ Kg. m}
 \end{aligned}$$

fig. 35.1

Fig.3.5.1

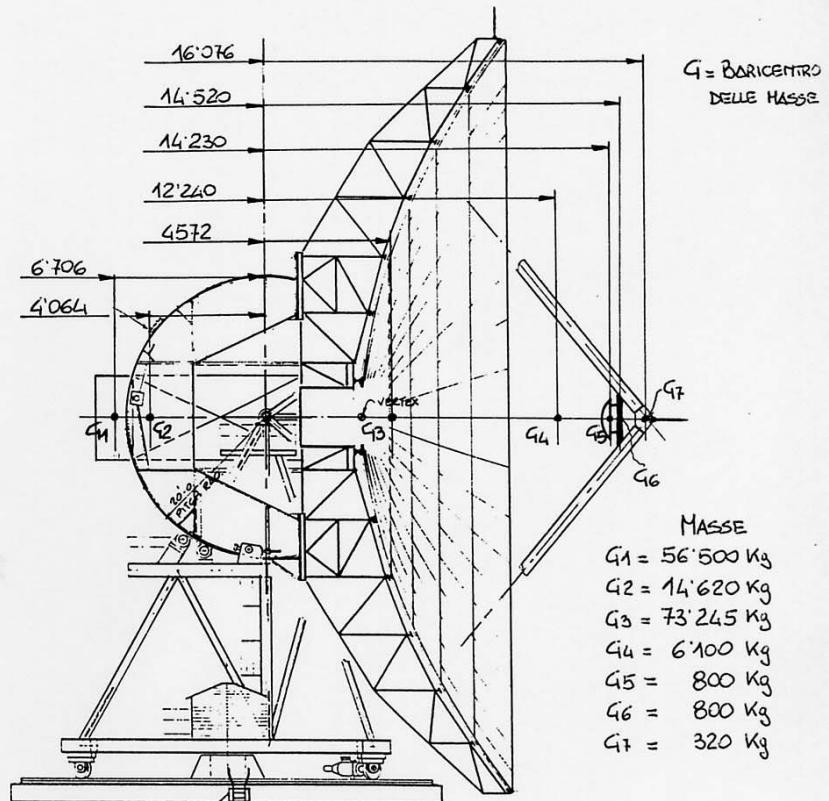


MOIMENTO DELLE MASSE SUL FUOCO PRIMARIO RIFERITE ALL'ASSE DI ELEVAZIONE

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 6100 \times 12,72 = 77'592 \text{ Kg.m} \\
 M_3 &= 550 \times 14,47 = 7'958 \text{ Kg.m} \\
 M_4 &= 1550 \times 15,03 = 23'286 \text{ Kg.m} \\
 M_5 &= 550 \times 16,53 = 9'092 \text{ Kg.m} \\
 \Sigma M &= 117'938 \text{ Kg.m}
 \end{aligned}$$

fig. 35.2

fig.3.5.2



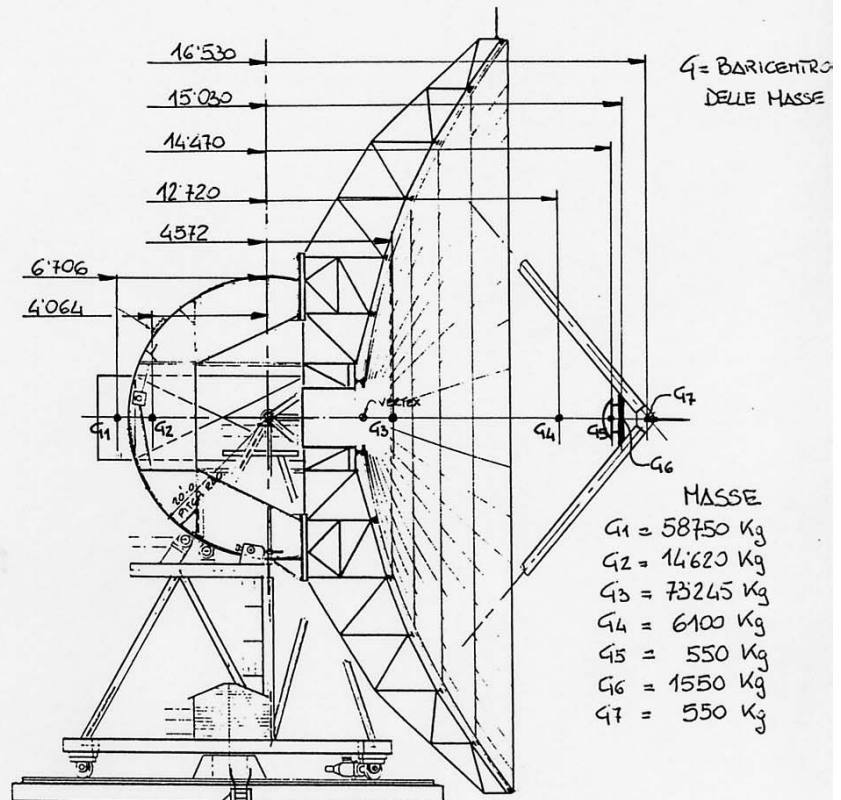
MOMENTO D'INERZIA DI MASSA RIFERITO ALL'ASSE DI ELEVAZIONE

$$\begin{aligned}
 M_{I1} &= 56'500 \times 6,706^2 = 2'085'854 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I2} &= 14'620 \times 4,064^2 = 241'465 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I3} &= 73'245 \times 4,572^2 = 1'531'053 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I4} &= 6'100 \times 12,24^2 = 913'887 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I5} &= 800 \times 14,23^2 = 161'934 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I6} &= 800 \times 14,52^2 = 168'664 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I7} &= 320 \times 16,076^2 = 82'700 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{Ii} = 5'185'557 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$$

fig. 35.3

fig.3.5.3



MOHENTO D'INERZIA DI MASSA RIFERITO ALL'ASSE DI ELEVAZIONE

$$\begin{aligned}
 M_{I1} &= 58750 \times 6,706^2 = 2'168'919 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I2} &= 14'620 \times 4,064^2 = 241'465 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I3} &= 73'245 \times 4,572^2 = 1'531'053 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I4} &= 6'100 \times 12,72^2 = 986'970 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I5} &= 550 \times 14,47^2 = 115'153 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I6} &= 1550 \times 15,03^2 = 350'146 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \\
 M_{I7} &= 550 \times 16,53^2 = 150'282 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\sum M_I = 5'543'994 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$$

fig. 35.4

fig.3.5.4

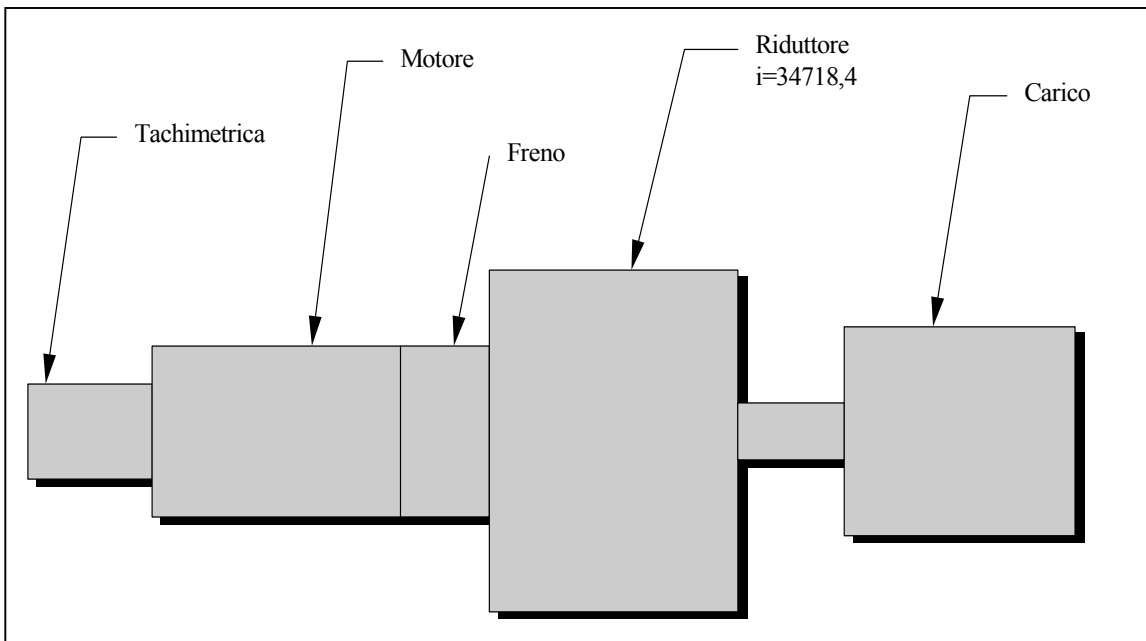


Fig. 3.5.5

Valore dei momenti d'inerzia riferiti al motore

$J_{\text{tach. + giunto}}$	0,0003kgm ²	(dati a catalogo)
J_{freno}	0,0051kgm ²	(calcolato)
$J_{\text{riduttore}}$	0,0065kgm ²	(specifica della ditta costruttrice)
J_{carico}	0,0043kgm ²	(configurazione iniziale)
J_{carico}	0,0046kgm ²	(configurazione attuale)

La somma delle masse inerziali riferite al motore vale:

Configurazione iniziale	$\Sigma J =$	0,0162kgm ²
Configurazione attuale	$\Sigma J =$	0,0165kgm ²

3.6 Costruzione.

Per la successiva fase di costruzione ed assemblaggio, dalla relativa gara di appalto rivolta a tre officine specializzate nella costruzione di apparecchiature meccaniche uscì il nome della ditta L.C. di Lazzarini e Cló, Casalecchio di Reno (BO), che avvalendosi della collaborazione di altre ditte dell'hinterland industriale bolognese per la costruzione delle parti di carpenteria ha realizzato e montato l'intero manufatto.

La costruzione è avvenuta nel pieno rispetto dei disegni esecutivi di progetto. Il complessivo generale (Dis. N°2100.000) illustra tutta l'apparecchiatura, ed evidenzia come la macchina complessiva sia costituita da una serie di gruppi distinti poi assemblati. Il progetto complessivo è quindi suddiviso in undici sottogruppi, evidenziati per comodità di consultazione in altrettanti blocchi di disegni con numerazione propria ed indipendente.

Queste due fasi, molto importanti, che hanno portato alla realizzazione del prodotto finito, si sono rivelate estremamente utili e possono essere anche interpretate come un valido test per capire più approfonditamente quali sono le possibilità d'eseguire progetti relativamente ambiziosi legati ad apparati radioastronomici sfruttando un ambiente industriale molto vicino a noi come posizione geografica ma completamente digiuno di queste problematiche.

4. PROGETTO E REALIZZAZIONE ELETTRICA

4.1 Generalità

Nei capitoli precedenti è stato descritto dettagliatamente il sistema meccanico di movimentazione, in questi capitoli si provvederà ora a dare una descrizione di come è stata scelta ed implementata la parte elettrica. Si ricorda che il sistema necessita complessivamente di sette movimentazioni, cinque per il subriflettore denominate X Y Z1 Z2 Z3 e due per il ricevitore in fuoco primario denominati Z e Y.

Caratteristiche comuni a tutti i posizionatori dovevano essere:

- Elevate velocità, fino a 10 cm/sec.
- Elevate precisioni di posizionamento 0.01 mm.
- Elevato grado di protezione dei motori.
- Ridotta manutenzione.
- Facilità di installazione e manutenzione.
- Compatibilità elettromagnetica
- Elevato grado di robustezza alle sovratensioni indotte da scariche atmosferiche.

Effettuare tali movimentazioni utilizzando il sistema esistente, S.C.U. con relativa cabina di potenza, era assolutamente impensabile. Questa infatti è obsoleta sia come sistema di controllo della posizione, basata su trasduttori potenziometrici, sia come azionamenti di potenza e controllo dei motori. Abbiamo quindi pensato fin dall'inizio di realizzare qualcosa di completamente nuovo. Confrontando le prestazioni da noi richieste con quelle delle moderne macchine utensili ci si è resi conto immediatamente che il settore della automazione industriale avrebbe potuto offrire una notevole quantità di soluzioni.

Dopo una analisi delle innumerevoli possibili soluzioni abbiamo scelto degli azionamenti intelligenti del tipo «Stand alone» per motori brushless dotati di posizionatore «punto-punto». Questa soluzione di semplice implementazione ha prestazioni più che adeguate alle nostre richieste. Il motore di tipo brushless, pur mantenendo le prestazioni di un servomotore in corrente continua, offre il vantaggio di avere una minore inerzia, di non necessitare di manutenzione e di avere un alto livello di protezione dagli agenti atmosferici. La scelta di un azionamento dotato di posizionatore «punto-punto» è pienamente giustificabile dalla non necessità di moti interpolati, per cui soluzioni basate su schede assi indipendenti o inserite in P.L.C. avrebbero esclusivamente complicato il progetto ed aumentato il costo.

Questo tipo di azionamento ha la proprietà di gestire in completa autonomia un asse di posizionamento. In particolare tramite collegamento seriale ad un host computer provvede a portare l'asse nella posizione comandata, a gestire funzioni quali i limiti di posizione, il freno di stazionamento e il circuito di zero. Inoltre, grazie all'innumerevole quantità di informazioni relative ai parametri di funzionamento, consente di effettuare un'accurata diagnostica remota.

4.2 Descrizione funzionale di insieme.

Una volta scelta la tipologia di controllo da utilizzare, restava da valutare quale era il sistema migliore per implementarla sull'antenna. Una soluzione tradizionale avrebbe portato ad installare gli azionamenti in cabina elettrica (circa 150m di distanza dal fuoco primario), collegando, tramite lunghi cavi, i motori, gli switch ed i resolver. Questa soluzione però avrebbe complicato il cablaggio, e soprattutto reso più vulnerabile il sistema alle sovratensioni indotte dai fulmini che si scaricano sull'antenna. Viste le ridotte dimensioni degli azionamenti, l'alta efficienza e la bassa dissipazione si è presa in considerazione la possibilità di installare tutto il sistema di movimentazione in prossimità del subriflettore, limitando così i cavi al minimo indispensabile, uno per il collegamento seriale ed uno per l'alimentazione.

Prima di proseguire su tale strada, vista la tipologia di questi azionamenti basata su tecniche di modulazione P.W.M. bisognava essere assolutamente certi che le inevitabili emissioni a radiofrequenza non avessero pregiudicato il perfetto funzionamento dei ricevitori. Abbiamo quindi preso in visione un azionamento, di quelli che avevamo intenzione di utilizzare, ed abbiamo effettuato una serie di prove atte a valutarne il livello di emissione, e ad individuare le soluzioni tecniche per contenerle entro limiti accettabili. Il risultato di tali prove è stato positivo, confortandoci nella previsione che, con appositi accorgimenti, quali cavi ad alta schermatura, contenitori schermati e filtri di rete si potessero ottenere ottimi risultati.

Il sistema complessivo può essere schematizzato, come mostrato nella fig. 4.2.1, da un personal computer nella stanza di controllo e da due scatole "driver box" contenenti gli azionamenti e l'elettromeccanica di controllo. I collegamenti sono limitati ad un cavo di alimentazione a 220Vac e ad una fibra ottica per il collegamento seriale. La driver box1 oltre ad alloggiare il convertitore di interfaccia fibra ottica-RS485 e gli alimentatori contiene gli azionamenti per gli assi Y e Z del ricevitore in fuoco primario e quello dell'asse Y del subriflettore. Nella driver box2 sono invece dislocati gli azionamenti per gli assi X Z1 Z2 Z3 del subriflettore.

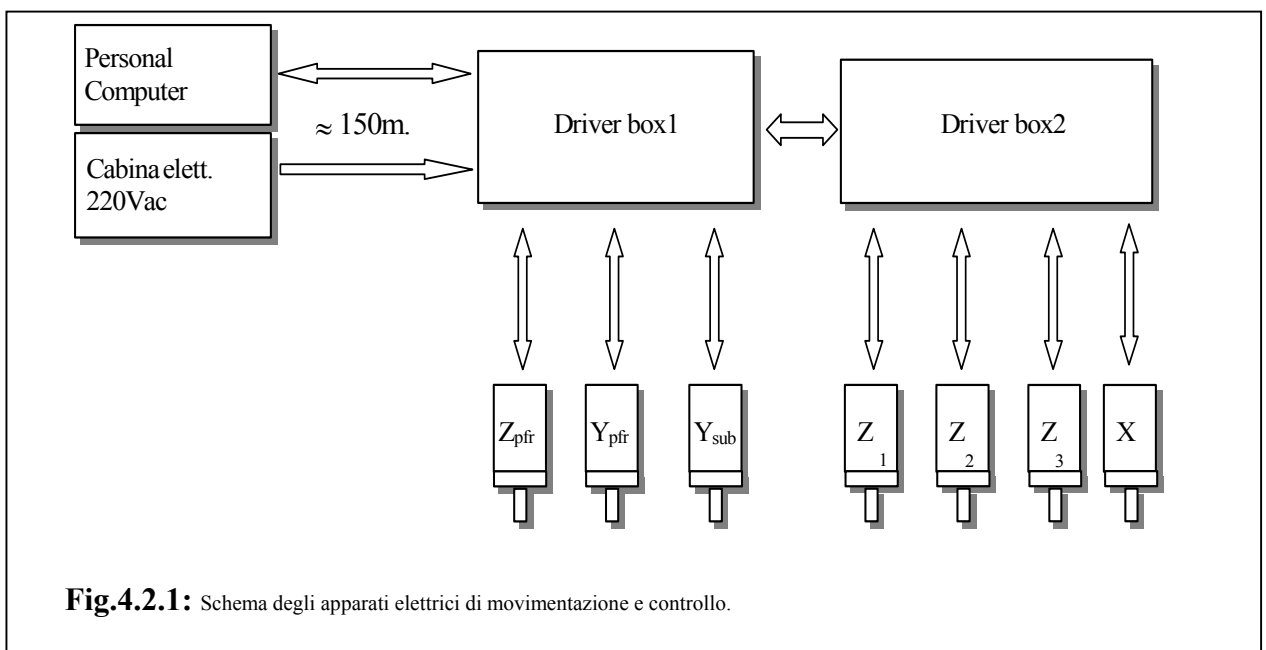


Fig.4.2.1: Schema degli apparati elettrici di movimentazione e controllo.

Un apposito programma installato su personal computer provvede ad impostare per ogni asse la posizione finale da raggiungere, e a fornire una dettagliata supervisione di tutto il sistema. Oltre al monitoraggio di una notevole quantità di informazioni sullo stato operativo di ogni singolo asse, vengono visualizzati diversi parametri di controllo, quali corrente utilizzata, errore di posizione e le temperature del dissipatore e dell'ambiente.

La commutazione tra la configurazione fuoco primario e Cassegrain avviene spostando lateralmente il subriflettore. Per evitare collisioni questa traslazione può essere effettuata solamente se il ricevitore in fuoco primario e il subriflettore si trovano in posizioni ben definite, chiamate di "park" e con i freni di stazionamento inseriti. In particolare il subriflettore dovrà avere i tre assi Z spostati verso lo specchio principale, l'asse X spostato verso ovest e contemporaneamente il ricevitore in fuoco primario dovrà essere spostato tutto a Nord e verso il cielo.

Tutte le operazioni necessarie per effettuare tale manovra vengono gestite automaticamente tramite apposito programma dal personal computer ma, per aumentare il livello di sicurezza, un sistema di abilitazioni e consensi hardware permette esclusivamente i movimenti possibili.

L'azionamento da noi utilizzato è il modello IBD606R fornito dalla società Elettronica Industriale di Villanova di Castenaso (Bologna) appositamente modificato su nostre specifiche, sia come meccanica che come software. Le modifiche meccaniche sono state rese necessarie dal fatto che dovevamo installare gli azionamenti dentro a contenitori stagni. Era quindi necessario, per evitare surriscaldamenti, che i circuiti di potenza dissipassero direttamente sull'esterno. Questo è stato ottenuto grazie al montaggio di ciascun azionamento su una piastra radiante che viene fissata direttamente sulle pareti del contenitore. Le modifiche software sono state rese necessarie per adattare il prodotto, nato per uso generale, a nostre specifiche esigenze, quali il controllo dei prelimit di posizione, il controllo del freno di stazionamento e la partenza simultanea degli assi. Questa ultima specifica è estremamente importante per il movimento degli assi Z del subriflettore, infatti per correggere il fuoco i tre assi Z1, Z2, Z3 devono effettuare il movimento contemporaneamente. Se questo non si verificasse il subriflettore si inclinerebbe provocando degli errori di puntamento.

Il fatto di esserci affidati ad una ditta di piccole dimensioni e soprattutto dislocata nel Bolognese ci ha permesso di richiedere tali varianti e ci ha fornito un utile supporto tecnico durante le varie fasi di implementazione. Servizi che società di grandi dimensioni, sicuramente dotate di ottimi prodotti, non avrebbero potuto fornirci.

Tutte le informazioni sulla implementazione, procedure di controllo e manutenzione sono descritte in [ref. 6].

4.3 Azionamento IBD606R

L'IBD606R è un convertitore per motore brushless di dimensioni compatte 120x160mm e di facile implementazione. Per il funzionamento oltre al collegamento col motore e il collegamento seriale è sufficiente fornire due tensioni di alimentazione a 310Vdc (ricavate dalla 220Vac), una per il circuito di potenza l'altra per il circuito di controllo. L'azionamento è dotato di posizionatore punto-punto completamente digitale con filtro tipo PID con feed forward in velocità. La richiusura del loop avviene attraverso un resolver solidale con l'albero motore. I segnali provenienti dal resolver vengono convertiti in digitale tramite apposito convertitore i cui bit meno significativi vengono utilizzati per simulare un segnale tipico di un encoder incrementale a 4096 imp./giro e vengono letti dal microprocessore.

La tecnica utilizzata porta obbligatoriamente ad avere un conteggio di tipo incrementale soggetto ad azzeramento in caso di spegnimento totale (circuito di controllo e di potenza). Per poter avere un riferimento assoluto è necessario utilizzare una posizione meccanica di riferimento. Uno switch posto ad una estremità della corsa ed una procedura automatica definita "ricerca di zero" permette di azzerare il contatore sempre nella medesima posizione meccanica.

Tutte le volte che si devono effettuare movimenti il convertitore effettua un profilo. Per profilo si intende una posizione finale, un tempo di accelerazione e di decelerazione ed una velocità a regime. Il microprocessore, dato il punto di partenza, il punto di arrivo e i parametri sopra menzionati provvederà a calcolare una traiettoria che visualizzata nel tempo avrà forma trapezoidale, se lo spazio da percorrere è sufficiente per far raggiungere al motore la velocità a regime, oppure sarà di forma triangolare. Il controllo della posizione avviene ogni millisecondo e la posizione viene controllata ed aggiustata durante tutta la traiettoria. Un errore di posizione costante o istantaneo al di fuori di limiti configurabili (parametri asse) provoca una condizione di allarme con conseguente inibizione del movimento e inserimento del freno di stazionamento.

Il microprocessore nel contempo controlla anche i prelimiti sia software che hardware, le temperature interne e del motore, le correnti di assorbimento ed altri parametri. Una qualsiasi anomalia provocherà una condizione di allarme con conseguente inserimento del freno di stazionamento ed inibizione al movimento.

La presenza di due tensioni separate di alimentazione a 310Vdc permette di poter alimentare i circuiti di controllo tramite il gruppo statico di continuità. Questo garantisce il mantenimento dell'informazione di posizione anche in caso di black out. Logicamente mancando la tensione ai circuiti di potenza non è possibile effettuare i movimenti.

Per facilitare l'installazione degli azionamenti sono stati realizzati degli appositi backpanel configurabili. Tali backpanel oltre ad essere una interfaccia tra i connettori dell'azionamento ed i morsetti di collegamento ai motori e agli altri dispositivi, quali switch e resolver contengono anche i relè di comando freno, i relè di "park" e diversi dispositivi di protezione e controllo.

Dettagliate informazioni sull'installazione e manutenzione dell'azionamento sono reperibili in [ref. 6].

5. SOFTWARE

5.1 Generalità

Gli azionamenti elettronici del sistema subriflettore sono molto versatili e completamente interfacciabili via seriale RS485, funzione molto interessante nel nostro caso perchè ci ha permesso di installare tutta l'elettronica in prossimità dei motori, riducendo ai minimi termini il cablaggio occorrente. Essi svolgono autonomamente la funzione di controllo dei loop di velocità e di posizionamento del motore senza bisogno di alcun ulteriore supporto. Questo però a noi non basta. Innanzi tutto è difficile dialogare direttamente con essi attraverso il loro linguaggio seriale e quindi è impensabile comandarli direttamente da un semplice terminale inviando le stringhe di comando opportunamente formattate. Inoltre le risposte ai comandi di interrogazione sullo stato dell'azionamento, del motore o dell'elettromeccanica devono essere interpretate e questo non è affatto semplice. A ciò va aggiunto che ciascun asse non può muoversi indipendentemente dagli altri, ma deve seguire delle precise sequenze e muoversi solo in determinati contesti così da evitare collisioni con gli altri assi o con la struttura stessa del quadripode. E non meno importante è la necessità di poter effettuare le operazioni di test e di diagnostica a distanza, considerato che l'intero sistema è montato in cima al quadripode della parabola, una zona non facilmente accessibile. Tutti questi fattori hanno quindi determinato la creazione di un programma generale di supervisione e di interfacciamento fra operatore (o gli altri programmi di gestione della parabola) e il nuovo sistema di posizionamento del subriflettore. Tale programma si chiama SUBR ed è normalmente sempre attivo sul computer adibito al controllo dell'hardware del telescopio (*medvlbi*). Si dà di seguito una concisa descrizione del software di controllo, rimandando per i dettagli allo specifico volume 3 di questo rapporto tecnico.

5.2 Il programma *subr*

Il programma è congegnato nello stile grafico di Windows in modo da rendere il suo utilizzo semplice ed intuitivo anche per coloro che raramente lavorano al telescopio. Normalmente è sempre attivo sul computer NT adibito ai servizi di antenna (*medvlbi*) anche se, una volta posizionato correttamente il subriflettore o il ricevitore SXXL, non è indispensabile che lo sia. Infatti ogni azionamento del subriflettore svolge in modo autonomo il controllo dell'asse mantenendo immutata l'ultima posizione comandata fino ad un nuovo ordine e ciò a prescindere dalla presenza o meno del programma a terra. Nonostante questo è bene però che *subr* sia sempre attivo. La sua presenza infatti costituisce l'unico sistema di controllo sul corretto stato di funzionamento del subriflettore, l'unico sistema di visualizzazione delle sue coordinate e l'unico sistema con cui è possibile comandarlo a nuove posizioni.

Comunque dal programma si può entrare ed uscire liberamente senza rischiare di compromettere la configurazione corrente del sistema. L'unico piccolo inconveniente è che si perde l'informazione di quale è il ricevitore corrente, ma ciò è facilmente ricostruibile dal comando Field system *medconf*. Per uscire basta premere sul pulsante Exit o battere Esc, mentre per rilanciarlo basta eseguire il programma *c:\subr\subr.exe* o cliccare sull'icona di collegamento *subreflector* posta sul desktop di *medvlbi*.

Il programma è suddiviso in due pannelli grafici. Il principale, quello col quale interagiscono tipicamente gli operatori, permette di svolgere tutte le normali operazioni di servizio, come la traslazione del subriflettore, il posizionamento di quest'ultimo o del ricevitore SXKL a posizioni prestabilite o il posizionamento manuale di ciascun singolo asse. Esso fornisce inoltre una indicazione generale sullo stato di ciascun asse (fig. 5.1).

Un secondo pannello chiamato *details*, indirizzato a chi si occupa della manutenzione, fornisce informazioni dettagliate sui singoli assi e si presta particolarmente per le operazioni di configurazione e taratura degli stessi, per le operazioni di diagnostica in caso di guasto e per la visualizzazione dello stato di tutta l'elettromeccanica (fig. 5.2).

5.3 Il pannello principale

E' il pannello dal quale si svolgono le principali operazioni di servizio che sono:

- scelta del modo operativo (primario, subriflettore traslato, subriflettore in posizione di fuoco)
- scelta delle posizioni per il tipo di ricevitore utilizzato
- posizionamento manuale di ciascun asse o, in modo sincrono, dei tre assi Z del subriflettore

La traslazione del subriflettore, che comporta una serie complessa di movimenti di tutti e sette gli assi, è sintetizzata nella semplice commutazione dell'interruttore *focus selection*, con grosso beneficio per gli operatori che non sono così tenuti a conoscere il complesso meccanismo di commutazione da fuoco primario a secondario. L'operazione che richiede poco più di quattro minuti e può essere **svolta da qualsiasi operatore, con l'antenna a qualsiasi elevazione ed in qualsiasi condizione meteorologica.**

A seconda del modo operativo prescelto viene abilitato uno dei due menù per la scelta rapida delle posizioni per il ricevitore desiderato. Alla partenza del programma l'opzione di default è *manual*, il modo che permette il movimento manuale dei singoli assi, una funzione utile per tutte le operazioni di ricerca e ottimizzazione delle posizioni. Se si sceglie invece un ricevitore specifico si provoca il caricamento da una tabella preimpostata delle posizioni ottimali degli assi per il modo osservativo designato. Ciò evita all'operatore di introdurre manualmente le posizioni semplificando l'operazione e riducendo una possibile fonte di errori. La selezione automatica di un ricevitore provoca anche il congelamento delle caselle dei singoli assi così da evitare involontarie alterazioni della configurazione.

La parte bassa del pannello è occupata da caselle tutte simili rappresentanti lo stato e la posizione di ciascun asse. A seconda che si sia in secondario o in primario le caselle mostrate possono essere rispettivamente cinque (X, Y, Z1, Z2 e Z3 del subriflettore¹) oppure due (assi Y e Z del ricevitore SXKL). Ogni casella ha al suo interno un bottone denominato *on* per l'attivazione del loop di posizionamento dell'asse medesimo. Vi sono poi due caselle per la visualizzazione in mm della posizione comandata e di quella attuale. La prima consente anche l'inserzione di posizioni quando si opera in modo manuale. A fianco c'è un led che rappresenta in

¹ Volume 1, figura 3.1.1

generale lo stato dell'asse e che di norma deve essere verde. Il pulsante denominato *details* serve ad attivare il pannello per le funzioni avanzate (paragrafo seguente).

Nel caso si operi in *secondario* compare una ulteriore funzione che interessa i soli tre assi Z del subriflettore ed è il loro posizionamento sincrono. Normalmente

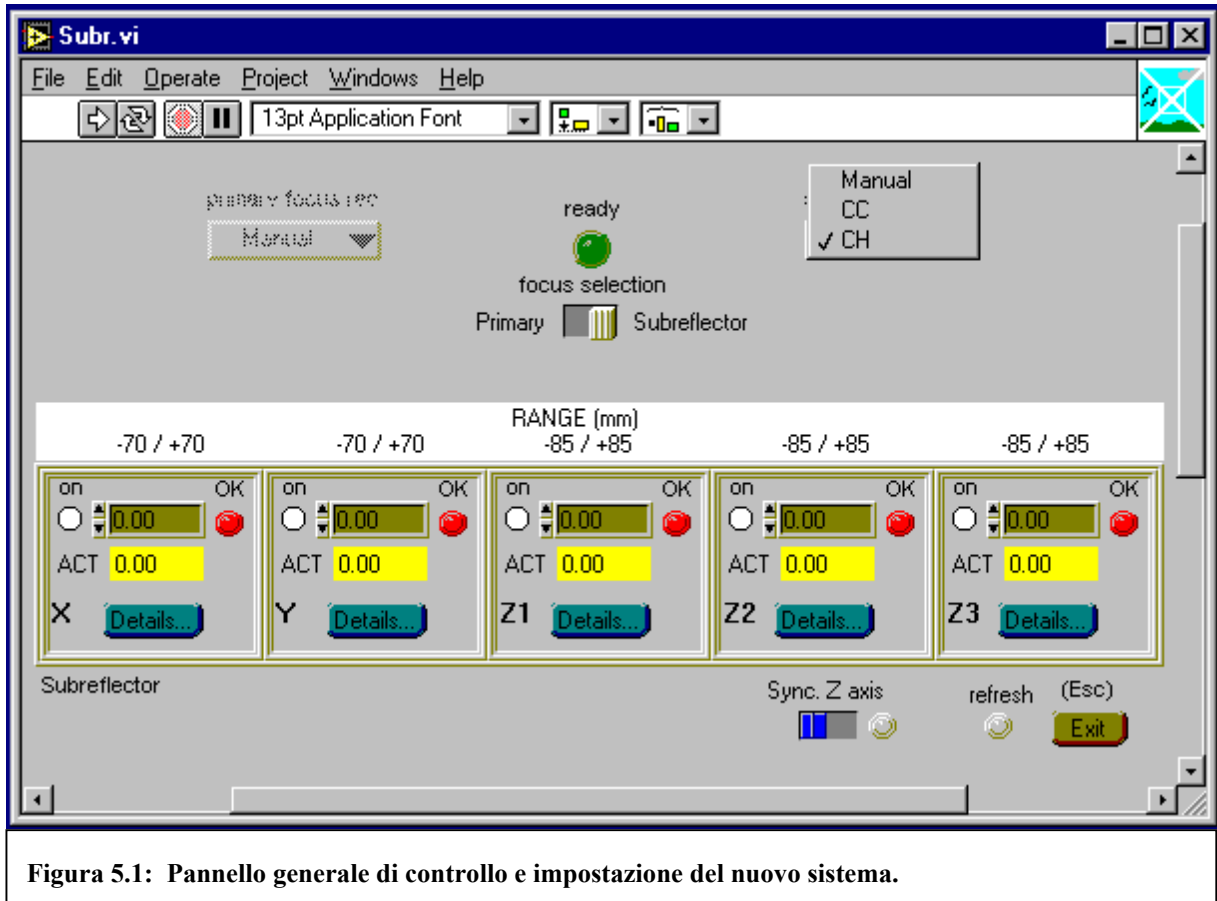


Figura 5.1: Pannello generale di controllo e impostazione del nuovo sistema.

quando un asse viene comandato a nuova posizione parte e procede con una velocità preimpostata, in modo indipendente dagli altri. Nel caso dei tre assi Z, che di fatto costituiscono l'asse di foccheggiamento del subriflettore, è a volte fondamentale che questo movimento venga effettuato in modo sincrono, cioè con la medesima velocità e nello stesso istante. Allo scopo è stato quindi creato un interruttore che, se abilitato, permette di muovere in modo sincrono questi tre assi. La posizione va impostata nella casella di Z2, mentre le altre due caselle sono disabilitate e svolgono solo la funzione di visualizzazione.

Per ragguagli sui vari controlli è possibile utilizzare l'help on line attivabile con la sequenza CTRL+H. La posizione del mouse determina di quale controllo verrà fornita la descrizione.

5.4 Il pannello *details*

Serve per la visualizzazione dettagliata dello stato di un singolo azionamento e per l'esecuzione di tutte le operazioni delicate di configurazione e diagnostica, che di norma sono effettuate da personale esperto.

Il pannello è attivabile da ciascuno dei pulsanti *details* che compaiono sul pannello principale e sebbene il programma sia sempre il medesimo le indicazioni fornite sono relative all'asse dal quale *details* è stato lanciato. Una volta attivato è comunque possibile cambiare l'indirizzo dell'asse desiderato agendo sull'apposito controllo *address*.

La sua esecuzione comporta un uso intensivo della linea seriale di comunicazione fra il computer a terra di supervisione e gli azionamenti e di fatto provoca la sospensione delle normali attività effettuate dal pannello principale. Ciò, sebbene non alteri la posizione degli assi o la loro configurazione precedentemente stabilita, fa sì

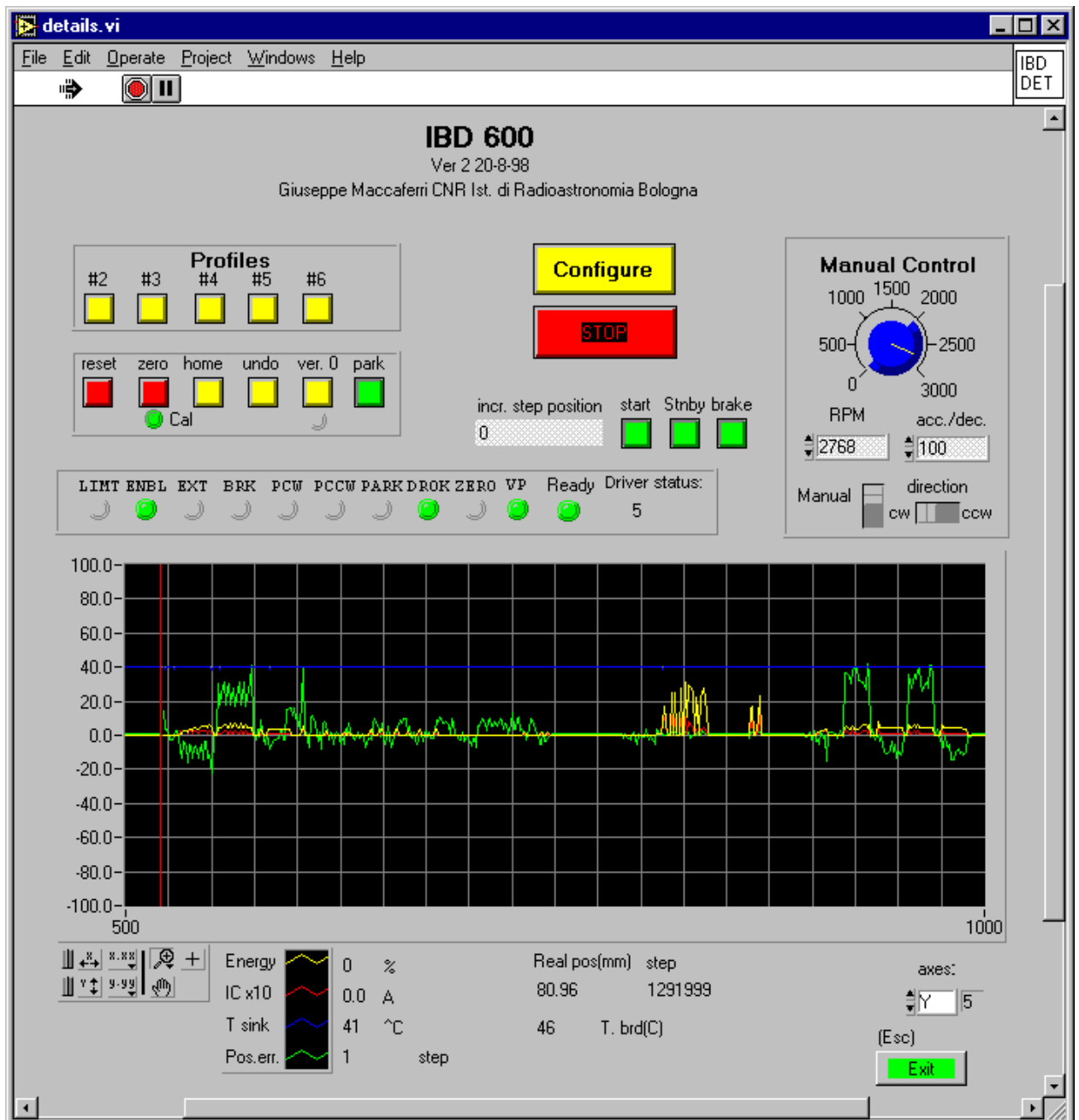


Figura 5.2: Il pannello *details*.

che durante le osservazioni il suo utilizzo sia limitato allo stretto necessario in modo da lasciare il controllo al pannello di supervisione generale, l'unico in grado di fornire una indicazione sul corretto funzionamento dell'intero sistema.

Il pannello *details* è particolarmente indicato per vedere lo stato di tutti gli switch elettromeccanici (prelimiti, limiti, zero e parcheggio), la posizione meccanica dell'asse e, in grafico, l'andamento nel tempo di quattro grandezze fondamentali, l'errore di posizione, la corrente fornita al motore, la temperatura del radiatore dei circuiti di pilotaggio del motore, l'energia fornita e da quest'ultimo dissipata termicamente. Da qui è anche possibile il controllo manuale dei loop di posizione e di velocità ed inoltre, attraverso un terzo pannello di configurazione, è possibile visualizzare e modificare le variabili interne all'azionamento stesso.

Anche con questo pannello è disponibile un help on line attivabile con CTRL+H che mostra una descrizione del controllo su cui è posizionato il mouse.

6 MONTAGGIO ED ALLINEAMENTO.

Verso la fine del mese di ottobre 1996, terminati i lavori di sostituzione della rotaia azimutale, si era pronti per il montaggio sull'antenna della nuova apparecchiatura di movimento. Il lavoro complessivo si è protratto per circa un mese e può essere suddiviso in tre fasi distinte qui di seguito descritte.

6.1 Smontaggio della struttura.

Come precedentemente accennato, per porre in loco la nuova struttura occorre rimuovere l'intero quadrupode dalla sua posizione, quindi, come prima cosa, bisogna togliere tutti quegli impedimenti che, per esigenze operative, sono stati fissati a questa struttura durante gli anni precedenti. Si è pertanto provveduto a smontare il subriflettore, la scatola dei ricevitori allocati nel fuoco primario e le linee ad alta pressione per l'elio gassoso che ne permettono il raffreddamento, oltre a tutti i cavi che partendo dalla vertex room vanno a servire le suddette apparecchiature.

Per far uscire le quattro piastre di fissaggio del quadrupode dal cesto occorre anche rimuovere, in corrispondenza di ognuna delle quattro gambe, almeno due pannelli dello specchio primario. Questo comporta la perdita di allineamento dei pannelli stessi. Per limitare i danni derivanti da questa inevitabile procedura si è provveduto a rimuovere i pannelli lasciando però in loco i supporti che li collegano alla reticolare sottostante. L'altezza e la posizione di questi supporti è misurata e corretta durante la fase di allineamento dello specchio principale, pertanto, se questa non viene modificata, è ragionevole pensare che il pannello una volta risistemato si venga a trovare in una posizione molto simile a quella precedentemente occupata.

Prima di allentare i bulloni delle piastre suddette si è inoltre provveduto a misurare, con la cordella metrica, le diagonali ed i quattro lati alla base del quadrupode. Queste misure sono state ripetute una volta che il pezzo è stato appoggiato a terra e liberato dalla gru, e si riveleranno molto utili durante la fase di rimontaggio. Infatti dopo aver riassembleato a terra i vari pezzi, si procede al completo serraggio dei bulloni solo quando queste quote sono uguali a quelle precedentemente rilevate. In questo modo si è certi che, una volta riportato il pezzo sull'antenna, questo si verrà a trovare ancora in una posizione, rispetto all'antenna, molto simile a quella che aveva precedentemente.

Dopo aver adeguatamente piazzato la gru da 200 tonnellate necessaria per eseguire il "tiro" si era pronti per rimuovere il quadrupode. È stato imbragato con quattro funi poste in modo che ognuna abbracciasse una delle facce della croce centrale che unisce le quattro gambe. Così facendo, si era sicuri del bilanciamento delle masse della struttura rispetto al punto di sollevamento.

Giunto a terra il quadrupode è stato completamente smontato, a questa operazione si è provveduto utilizzando due gru. Una gru di piccole dimensioni manteneva il quadrupode bilanciato tramite un'imbragatura uguale a quella utilizzata per lo smontaggio da sopra all'antenna, mentre con la seconda venivano rimossi e posizionati al suolo i vari particolari.

Prima di iniziare le fasi di rimontaggio si è colta questa unica occasione di avere il quadrupode disponibile a terra per eseguire, dopo tredici anni, la riverniciatura completa delle quattro gambe. In questa occasione, memori dei problemi

precedentemente riscontrati, ci si è preoccupati di non interporre la vernice, ma soltanto il primer, in tutte quelle zone che saranno fra di loro collegate tramite bulloni.

6.2 Montaggio della struttura.

Per la fase di montaggio necessitano ancora due gru e come prima operazione a terra vengono collegate con un solo bullone per ciascuna le quattro gambe alla nuova croce centrale. Questa viene poi imbragata, come precedentemente spiegato, e sollevata tramite la gru di piccole dimensioni fino a che tutti i bulloni di serraggio fra le gambe e la croce possono essere agevolmente sistemati nei propri fori. A questo punto il quadrupode ha assunto la sua tipica forma piramidale e vengono montate le travi di rinforzo perimetrali esterne al quadrone prima di procedere alla definitiva locazione della nuova struttura di movimento comprensiva dello specchio secondario e della scatola dei ricevitori.

Per poter essere agevolmente sollevata e portata in posizione la nuova struttura di movimento viene sistemata con il muletto al centro della piramide e qui imbragata con quattro funi lunghe almeno 20 metri che scendono verso terra dal gancio della seconda gru sistemato in alto ed in corrispondenza del centro del quadrupode.

La struttura del quadrupode, a questo punto completa, viene liberata dalla gru di piccole dimensioni per essere imbragata a quella da 200 tonnellate e messa in “tiro” fino a quando le dimensioni delle diagonali e dei lati alla base non sono uguali a quelle precedentemente misurati durante le operazioni di smontaggio così da poter procedere al serraggio a specifica di tutti i bulloni.

Dopo aver collegato al vertice inferiore di ciascuna gamba le quattro nuove piastre che permettono il collegamento all'antenna, la struttura completa, del peso di 87 quintali, è stata sollevata sopra l'antenna. La manovra è avvenuta senza particolari complicazioni e una volta giunto in posizione il pezzo, le piastre sono state definitivamente bullonate e serrate a specifica alla reticolare. Si è a questo punto provveduto a rimontare e serrare gli otto pannelli dello specchio primario precedentemente rimossi e a rimettere in funzione le linee ad alta pressione per il raffreddamento dei ricevitori in fuoco primario.

Dopo aver provveduto a verniciare tutte le parti in prossimità dei giunti bullonati, dove in precedenza era stato applicato il solo primer antiruggine, una volta tesati i cavi entro una apposita canale, fissata ad una delle gambe del quadrupode, sono stati ripristinati tutti i collegamenti elettrici e si era pronti per eseguire l'allineamento finale sia del subriflettore che del ricevitore in fuoco primario.

6.3 Procedura di allineamento.

Come precedentemente spiegato nel paragrafo 2.4, le procedure da seguire per riallineare l'asse del subriflettore rispetto all'asse dello specchio principale non potevano seguire pedissequamente quelle dettate dalla ditta TIW [ref. 5], quindi è stata pensata e applicata una logica sequenza di operazioni completamente inedita ma atta a risolvere il medesimo problema percorrendo una nuova strada.

Tutto è partito dalla necessità di non volere assolutamente smembrare la vertex room per piazzare il supporto di un teodolite e dalla consapevolezza di conoscere l'esatta posizione nello spazio del subriflettore grazie ad una tabella contenente quattro serie di misure. Queste misure furono rilevate, per altrettanti valori di elevazione dell'antenna, dal tecnico TIW che nel 1989 aveva effettuato l'allineamento del sistema

cassegain dell'antenna. La tabella evidenzia l'esatta lunghezza che deve avere ciascuno dei cinque attuatori presenti sulla movimentazione del subriflettore affinché questo sia centrato ed ortogonale allo specchio primario con l'antenna a 30 45 60 e 90 gradi di elevazione.

Si è acquistato un telescopio a linea di mira K&E modello 71 2062 dotato di target e di un proprio sistema di illuminazione indispensabile per eseguire la procedura di autocollimazione. Attorno a questo è stata disegnata e costruita una apposita struttura meccanica di sostegno estremamente rigida che permette al telescopio di orientarsi nello spazio seguendo cinque possibili gradi di libertà.

Il sistema di movimento del telescopio a questo punto è stato imbullonato alla struttura di sostegno dei feed dentro alla vertex room e durante le ore notturne di giorni antecedenti lo smontaggio del quadrupode si è provveduto ad allineare e a verificare il corretto centraggio dello strumento ottico in riferimento alla posizione del subriflettore.

La sequenza delle operazioni svolte durante questa fase può essere sintetizzata come segue:

1. Installare il "subreflector mirror assembly" dotato di cordella metrica sul subriflettore.
2. Mantenendo ferma l'antenna a 45 gradi di elevazione, portare i cinque attuatori del subriflettore alla giusta estensione, seguendo i dati della tabella sudetta.
3. Aggiustare la posizione X ed Y del telescopio agendo sulle viti di regolazione fino a quando la croce presente sul mirror coincide con la linea di mira del telescopio.
4. Aggiustare lo scostamento angolare del telescopio con il sistema dell'autocollimazione agendo sulle apposite viti di regolazione, presenti sulla struttura di sostegno.
5. Riverificare la posizione X ed Y ed apportare le eventuali correzioni.
6. Misurare utilizzando la cordella metrica la distanza fra il subriflettore ed un riferimento fisso presente sulla struttura di sostegno del telescopio ed annotarla. Diverrà utile durante la successiva fase di allineamento del subriflettore.
7. Portare l'antenna in tre momenti successivi a 30, 60 e 90 gradi di elevazione e dopo avere corretto la lunghezza delle aste di corsa degli attuatori verificare che il telescopio sia rimasto perfettamente allineato con l'asse del subriflettore. Verificare inoltre che la misura effettuata con la cordella metrica sia rimasta invariata.
8. Serrare tutte le viti di regolazioni e ricontrollare l'allineamento dello strumento ottico.

Rimontato il nuovo sistema di movimento, cioè il nuovo subriflettore, sempre durante le ore notturne, si è proceduto ad allineare il subriflettore. La sequenza delle operazioni da svolgere è uguale a quella precedentemente descritta, con la differenza che ora è il telescopio a costituire il riferimento. Pertanto il telescopio viene mantenuto rigorosamente fisso, e si agisce allungando o accorciando le aste di corsa della movimentazione dello specchio secondario fino a portare quest'ultimo alla giusta distanza misurata al punto 6 e con il proprio asse coincidente ed ortogonale alla linea di mira.

La prima sequenza di operazioni è stata eseguita con l'antenna a 45 gradi di elevazione, poi la medesima sequenza è stata ripetuta ponendo successivamente l'antenna a 90, 75, 60, 30 e 15 gradi di elevazione.

Per i ricevitori in fuoco primario, essendo disponibili solo i due gradi di libertà Y e Z, le possibilità di regolazione sono molto limitate. Diventa in questo caso impossibile compensare lo scostamento angolare dell'asse del feed rispetto all'asse dello specchio primario, pertanto il telescopio può essere ora utilizzato solo per quantificare ed annullare gli effetti della forza di gravità lungo la direzione Y.

Per procedere all'allineamento dei ricevitori in fuoco primario è stato fissato un target al centro del feed in banda K e si è agito allungando o accorciando l'attuatore, fino a far coincidere la croce del target con la linea di mira. Anche in questo caso, ed in maniera del tutto analoga a quella utilizzata per il subriflettore, l'operazione è stata ripetuta per sei diversi valori dell'angolo di elevazione dell'antenna.

Relativamente alla direzione X, asse non posizionabile, mediante l'utilizzo del telescopio di allineamento si è valutato un errore di posizione di circa 4mm in direzione Ovest. Tale spostamento laterale non influenza l'efficienza dei ricevitori, se non in minima parte in banda K. Essendo possibile spostare il ricevitore solo agendo meccanicamente sui fori di fissaggio si è ritenuto non necessario effettuare tale operazione.

La tabella 6.3.1 mostra i dati rilevati, i valori, per evitare equivoci sono forniti in step, cioè come numeri di impulsi contati dal trasduttore di posizione rispetto allo zero. Per valutare in modo più intuitivo la variazione di posizione del subriflettore in funzione dell'angolo di elevazione dell'antenna è anche specificato quanto vale per ogni asse la conversione step/mm.

ALLINEAMENTO SUBRIFLETTORE misure del 20 e 25/11/96										
Asse	Riduzione	Passo vite (mm)	Conversione (step/mm)	Pos. iniziale (step)	EI=90 (step)	EI=75 (step)	EI=60 (step)	EI=45 (step)	EI=30 (step)	EI=15 (step)
Xsub	6	10	2457,6	165830	177880	176930	177880	176930	176930	176930
Ysub	39	20	7987,2	684578	728177	695378	663378	638979	619377	604777
Z1sub	5,17	10	2117,632	-243000	-279979	-283881	-286779	-289281	-291131	-291980
Z2sub	5,17	10	2117,632	-243000	-267632	-267430	-267331	-267081	-266982	-266732
Z3sub	5,17	10	2117,632	-243000	-276880	-276881	-276881	-276881	-276881	-276881
				el=90 f=9623mm	el=90 f=9639mm					el=15 f=9644mm
MISURE CON TARGET SU FEED K										
					EI=90	EI=75	EI=60	EI=45	EI=30	EI=15
Ysxkl	35	10	14336		-2281000	-2239001	-2201002	-2166002	-2136003	-2117003
Zsxkl	35	10	14336							
Il feed K e' spostato in direzione "x" di 4 mm verso ovest (spostare verso est)										

Tab. 6.3.1: Posizione di allineamento del subriflettore e dei ricevitori in fuoco primario.

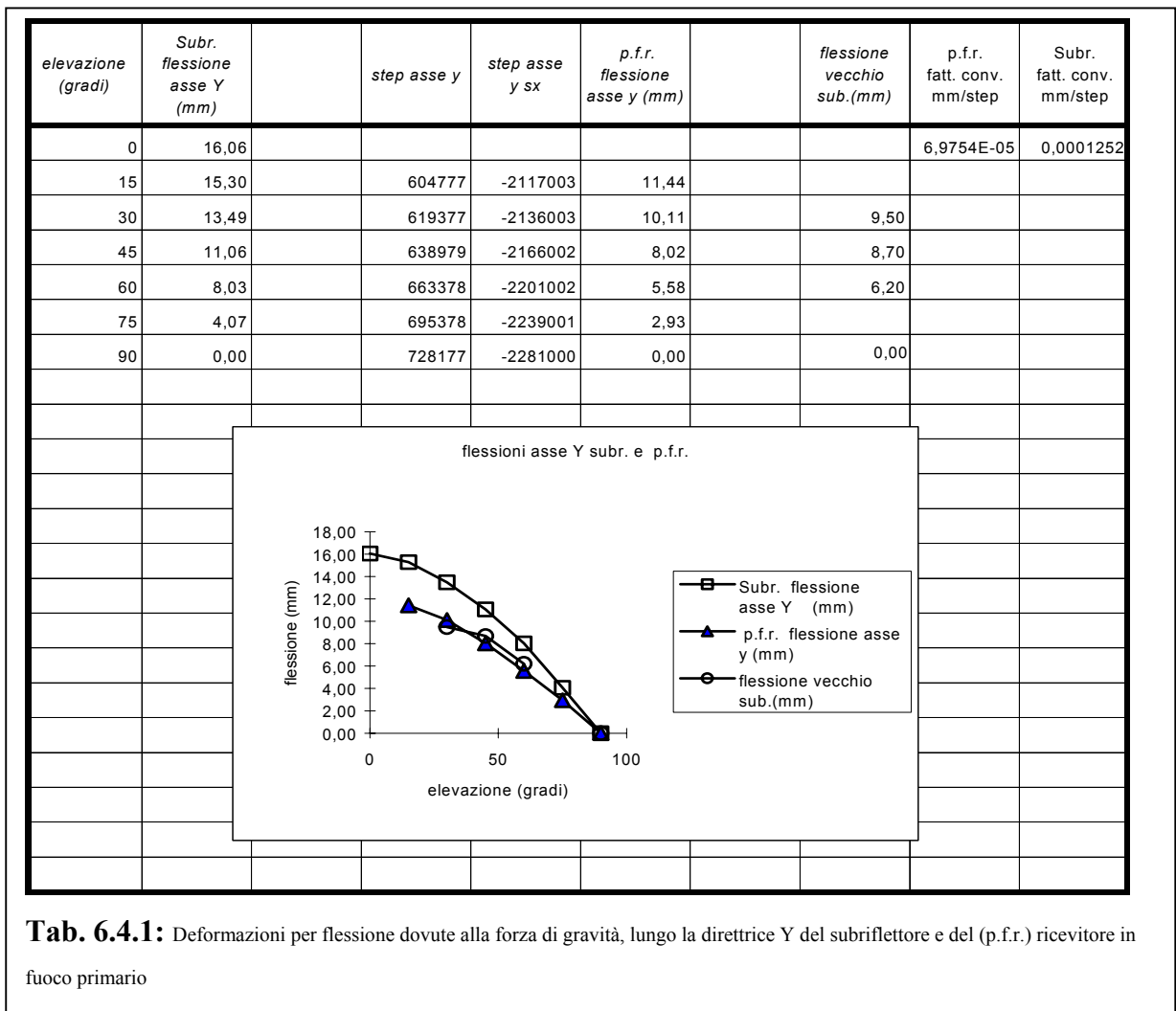
6.4 Considerazioni sulle misure di allineamento.

Per avere una visione più realistica di quello che succede alla struttura di sostegno delle apparecchiature collocate nel fuoco primario, al variare dell'angolo di

elevazione dell'antenna, occorre comunque analizzare i dati usciti dalla procedura di allineamento per renderli disponibili in una forma più chiara e comprensibile.

Quello che ci si aspetta di rilevare, considerando le possibili configurazioni che può assumere l'antenna, evidenziate nei propri estremi dalla fig. 6.4.1, è una flessione delle gambe del quadrupode rispetto ai loro punti di ancoraggio, che determina di conseguenza anche una rotazione del vertice di quest'ultimo. Pertanto quello che ragionevolmente ci si attende di aver riscontrato durante la fase di allineamento è soltanto una traslazione lungo le direzioni Y e Z e, ove possibile valutarla, una rotazione attorno all'asse X, atte a mantenere lo specchio secondario e i ricevitori in fuoco primario concentrici e ortogonali a quello primario.

Aiutandoci con le tabelle 6.4.1 e 6.4.2 cerchiamo di spiegare che tipo di lavoro è stato svolto. La prima tabella mostra la forma e l'ampiezza delle curve di compensazione delle flessioni relative al subriflettore (colonna 2) e ai ricevitori in



Tab. 6.4.1: Deformazioni per flessione dovute alla forza di gravità, lungo la direttrice Y del subriflettore e del (p.f.r.) ricevitore in fuoco primario

fuoco primario (colonna 6) lungo la direzione Y. Le due curve, relative ai due apparati, non hanno la medesima ampiezza anche se la massa del quadrupode non cambia.

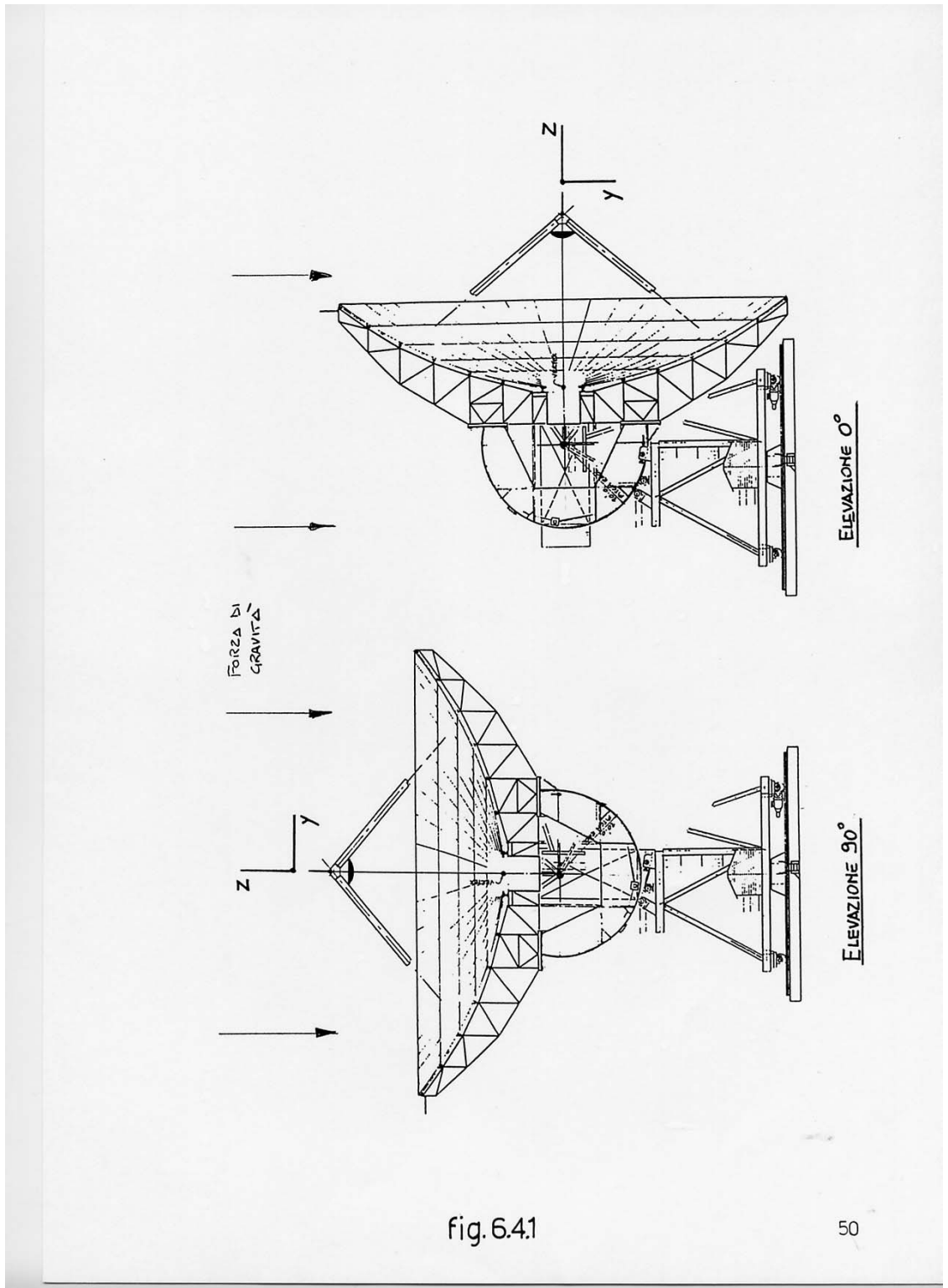
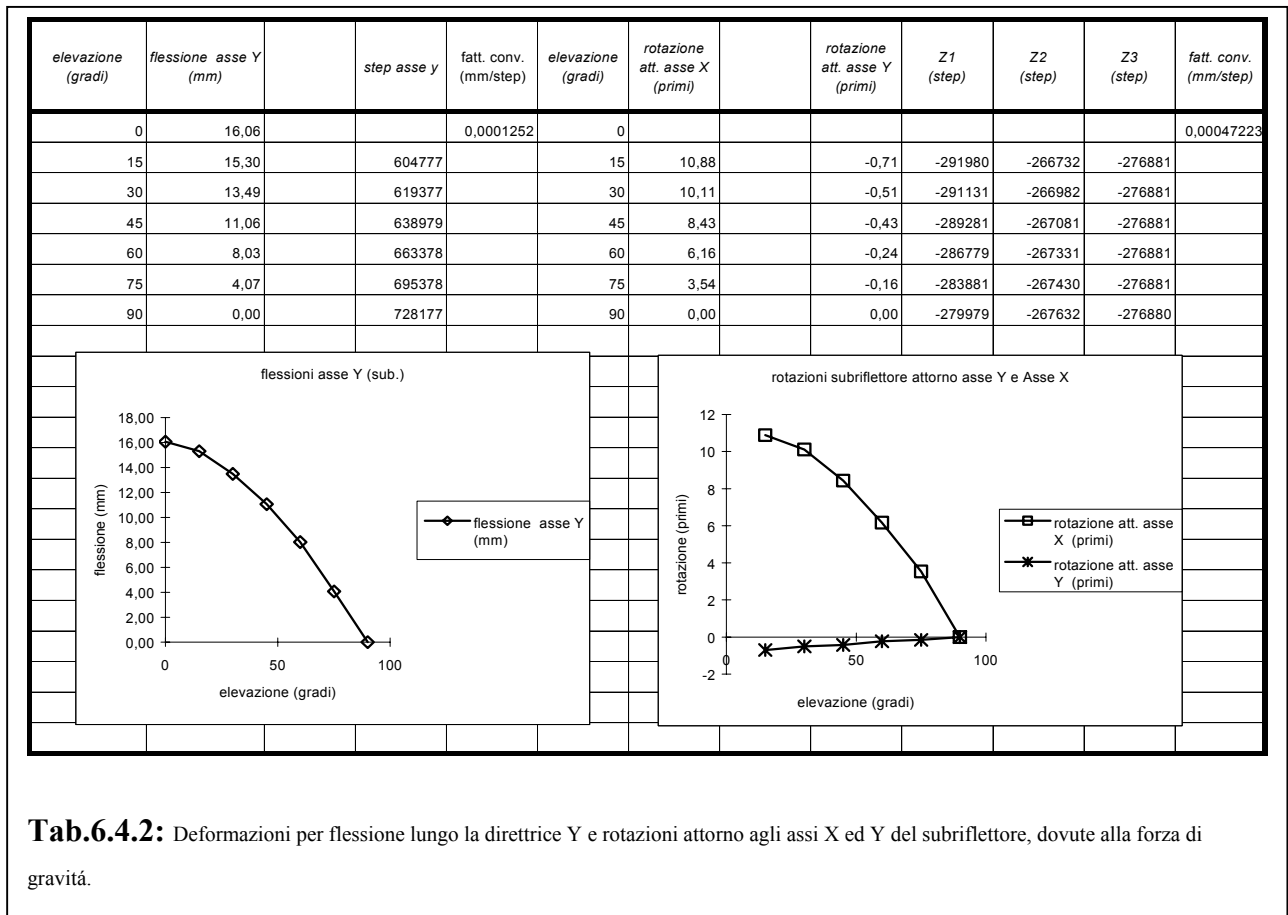


fig.6.4.1

Fig.6.4.1

6. Montaggio ed allineamento

Una attendibile spiegazione del fenomeno è questa: se analizziamo il rapporto tecnico dell'Ing. Parodi [ref. 3] ci si accorge che quella che noi misuriamo come traslazione Y, non è esclusivamente una vera e propria traslazione ma è dovuta anche ad una rotazione rigida del “quadrone” indotta dalla flessione delle quattro gambe di supporto. Essendo la distanza fra il punto di misura sul ricevitore in fuoco primario ed il centro di rotazione minore di quella punto di misura sul subriflettore centro di rotazione è logico aspettarsi questo fenomeno. Ad ulteriore dimostrazione di questo si può osservare la curva relativa al vecchio subriflettore (colonna 8). In quella configurazione la distanza fra il “quadrone”, centro delle rotazioni, ed il punto di misura sul subriflettore era simile con quella attuale fra il “quadrone” e il ricevitore in



Tab.6.4.2: Deformazioni per flessione lungo la direttrice Y e rotazioni attorno agli assi X ed Y del subriflettore, dovute alla forza di gravità.

fuoco primario ed infatti le due curve sono quasi coincidenti.

La seconda tabella invece è relativa al solo subriflettore ed evidenzia oltre alle flessioni lungo la direzione Y anche la forma e l'ampiezza delle rotazioni attorno ai due assi X ed Y. La presenza di una piccola rotazione attorno all'asse Y sebbene evidente, è inaspettata, tanto che determinarne la causa ha richiesto un discreto lasso di tempo necessario ad effettuare una serie di prove e misure specifiche, successivamente descritte in 7.2b

7 PROVE DI FUNZIONAMENTO.

La progettazione e successiva costruzione di un prototipo avente le caratteristiche precedentemente evidenziate, comporta, come naturale conseguenza, una intensa fase di prova e verifica funzionale atta a determinare quanto i propositi ed i numeri progettuali abbiano trovato riscontro nella definitiva realizzazione esecutiva.

La nutrita serie di prove e verifiche sulle movimentazioni, iniziata nel periodo giugno-luglio 96, quando ci furono consegnati i tre attuatori di movimento degli assi Z, è proseguita, ampliata con inevitabili prove di compatibilità elettromagnetica, nel mese di settembre dello stesso anno, quando venne consegnato l'insieme dell'intera struttura di movimento, per poi protrarsi, a causa dei problemi evidenziatisi, anche dopo il montaggio in antenna della struttura.

Dopo il montaggio sull'antenna del nuovo sistema di movimento, la procedura di allineamento e le prime prove funzionali avevano portato in evidenza alcune anomalie imputabili alla struttura meccanica. Anche in questo caso, per capire e cercare di risolvere questi inconvenienti, sono state eseguite ulteriori opportune misure.

I criteri utilizzati ed i risultati ottenuti durante questa fase di collaudo sono qui di seguito esposti. Infine, per completezza di esposizione, riportiamo che sono state eseguite anche delle vere e proprie prove di puntamento sia dell'antenna in cielo, che del subriflettore verso la futura sistemazione radiale dei ricevitori nella vertex room. I risultati di queste prove sono raccolti a parte in uno specifico rapporto interno [ref. 7].

7.1 Prove sulle movimentazioni.

a) Le prime prove effettuate nei mesi di giugno e luglio 1996, sono state eseguite utilizzando gli attuatori degli assi Z del subriflettore, che erano le uniche movimentazioni disponibili in quel periodo. Oltre alle varie problematiche inerenti ad un primo collaudo del programma di gestione dell'azionamento ci siamo subito imbattuti nella impossibilità di effettuare i movimenti alla velocità massima. Mentre il funzionamento a basse velocità avveniva regolarmente, appena si tentava di effettuare un movimento ad alta velocità l'azionamento andava in condizione di errore di inseguimento e bloccava il motore. Tale condizione si verifica quando la velocità reale dell'asse si discosta dalla velocità teorica, il che può avvenire esclusivamente se la tensione di alimentazione è bassa o è presente un assorbimento eccessivo di corrente. Essendo la tensione di alimentazione quella nominale abbiamo provveduto ad effettuare delle misure atte a determinare l'assorbimento di corrente in funzione della velocità di rotazione del motore. I risultati di tali misure sono riportati nella tabella 7.1.1 colonna 6-7. Ci si è resi conto immediatamente, che gli assorbimenti erano notevolmente più alti di quelli aspettati, e soprattutto era evidente una notevole dipendenza dal numero di giri. I valori di corrente a bassa velocità corrispondono praticamente ai valori di coppia calcolati, ma appena si aumenta la velocità la corrente assorbita aumenta in maniera considerevole.

In tali condizioni non si riuscivano a superare i 2400 giri al minuto del motore, e soprattutto il valore di coppia era molto maggiore di quello permesso dal motore. Sono state fatte diverse prove atte a valutare l'elemento che poteva generare tale dipendenza dalla velocità. Come previsto i paraoli, un eccessivo precarico e il rodaggio iniziale provocavano esclusivamente una diminuzione costante e trascurabile della coppia.

7. Prove di funzionamento

VELOCITA' MOTORE r.p.m.	Corrente attuatore Z discesa 28°C lamora 68	Corrente attuatore Z salita 28°C lamora 68	Corrente attuatore Z discesa 60°C lamora 68	Corrente attuatore Z salita 60°C lamora 68	Corrente attuatore Z discesa 28°C Syntheso 460	Corrente attuatore Z salita 28°C Syntheso 460	Corrente attuatore Z discesa 60°C Syntheso 460	Corrente attuatore Z salita 60°C Syntheso 460
	Lamora 68 amb.		Lamora 68 caldo		Syntheso 460 amb.			
30	0,1	0,4			0,1	0,5	0,2	0,5
100	0,2	0,5			0,4	0,6	0,3	0,6
300	0,4	0,6	0,1	0,4	0,7	0,9	0,5	0,7
600	0,6	0,8	0,2	0,5	1,1	1,3	0,7	0,9
900	0,7	0,9	0,3	0,6	1,4	1,6	0,9	1,1
1200	0,7	1,1	0,4	0,7	1,6	1,8	1,1	1,3
1500	0,8	1,2	0,4	0,7	1,8	2	1,2	1,4
1800	0,9	1,2	0,5	0,7	2	2,1	1,3	1,5
2100	1,1	1,3	0,6	0,8	2,2	2,3	1,4	1,6
2400	1,1	1,4	0,6	0,9	2,3	2,5	1,6	1,8
2700	1,2	1,5	0,6	0,9			1,7	1,9
3000	1,2	1,5	0,6	0,9				

assorbimenti attuatore asse Z

Velocità motore (rpm)	Lamora 68 amb. (amp)	Syntheso 460 amb. (amp)	Lamora 68 caldo (amp)
0	0.1	0.4	0.1
300	0.4	0.6	0.2
600	0.6	0.8	0.3
900	0.7	0.9	0.4
1200	0.7	1.1	0.4
1500	0.8	1.2	0.4
1800	0.9	1.2	0.5
2100	1.1	1.3	0.6
2400	1.1	1.4	0.6
2700	1.2	1.5	0.6
3000	1.2	1.5	0.6

Tab. 7.1.1: Assorbimento di corrente att. Z con diversi tipi di olio lubrificante, in funzione del numero di giri del motore.

Essendo l'attrito di tipo viscoso l'unico elemento che poteva generare una variazione dell'assorbimento di corrente in funzione della velocità e della temperatura abbiamo realizzato che tale comportamento era da imputare alla **lubrificazione dell'accoppiamento ruota elicoidale vite senza fine**. Abbiamo quindi, previa consultazione con la ditta costruttrice del riduttore, provveduto a sostituire il lubrificante originale (Syntheso 460), con uno che fosse nettamente meno viscoso (Lamora 68) e abbiamo rifatto le prove.

Come mostrato in tabella 7.1.1 colonna 2-3 e relativo grafico, è ancora evidente una dipendenza dalla velocità, ma i valori misurati sono molto inferiori e prossimi a quelli massimi tollerati dal motore. Inoltre, dopo un certo tempo di utilizzo, a causa del riscaldamento del riduttore i valori di assorbimento Z diminuiscono ulteriormente come mostrato in tabella 7.1.1 colonne 4-5.

Visto i risultati ottenuti abbiamo deciso di continuare ad utilizzare i motori originali, di bassa potenza, e sostituire l'olio di lubrificazione originale Syntheso 460 con il Syntheso 100 che offre le medesime caratteristiche del Lamora 68 ma ha il vantaggio di essere sintetico e non minerale. Tenendo comunque presente che sarà necessario, visto l'elevata dipendenza dalla temperatura, verificare il comportamento

in pieno inverno e determinare il necessario declassamento per non superare i limiti imposti dal motore.

b) Successivamente sono state fatte delle prove per verificare la **ripetibilità e la precisione di posizionamento**. Si è provveduto a sistemare un comparatore centesimale sull'asse e dopo aver effettuato diversi movimenti si andava a riposizionare l'asse sul punto di origine e si controllava l'errore.

L'errore di posizionamento era molto piccolo e addirittura non misurabile se si raggiungeva la posizione di riferimento sempre nello stesso verso. Il motore infatti si posiziona all'interno di qualche step, che corrisponde ad uno spostamento lineare di qualche micron. Se la posizione di riferimento veniva invece raggiunta in direzione opposta, l'errore di posizione era misurabile e quantificabile in circa 0.01mm. Questo effetto è dovuto all'inevitabile gioco di inversione dei riduttori interposti tra il motore, dove viene richiuso il loop di posizione, e la vite a ricircolo di sfere che trasforma il moto rotativo in lineare. Visto il valore di errore rilevato, l'entità di tale gioco è perfettamente corrispondente a quella prevista.

c) Nel settembre 1996 è stata terminata la realizzazione meccanica e dopo aver completato l'assemblaggio elettrico di motori ed azionamenti, si è provveduto all'implementazione e **controllo funzionale di tutti gli switch** di prelimit, final limit, zero e parcheggio.

d) Si è poi provveduto ad effettuare, asse per asse, un controllo della **ripetibilità di posizionamento** in maniera del tutto analoga a quella precedentemente descritta. Si è avuta conferma che l'unico errore rilevabile era dovuto al gioco di inversione, che è risultato essere, per tutti gli assi, sempre inferiore ai 0.01mm. L'unica eccezione è costituita dall'asse Y del subriflettore, che essendo dotato di una vite a ricircolazione di sfere di passo doppio delle altre risulta essere di 0.02mm.

Queste prove avevano esclusivamente lo scopo di misurare la precisione e la ripetibilità intrinseca ad ogni asse, infatti possono essere eseguite solo con la struttura posta orizzontalmente. Le inevitabili deformazioni, dovute alla gravità, che si avranno quando la struttura verrà montata in antenna sono state descritte nel paragrafo 6.4.

e) Memori dell'esperienza di giugno si è a questo punto provveduto a controllare, asse per asse, le **massime velocità di funzionamento**. Relativamente alle movimentazioni del subriflettore, il comportamento dei tre assi Z è stato confermato, l'asse Y, avendo un riduttore perfettamente analogo a quelli degli attuatori Z, ha un comportamento molto simile ed anche per questo asse bisognerà effettuare misure a basse temperature per determinarne con precisione i limiti di funzionamento. Il comportamento dell'asse X si è dimostrato perfetto.

Particolarmente critiche si sono invece rivelate le due movimentazioni del ricevitore in fuoco primario. In ciascuno di questi assi il problema derivante dagli attriti di origine viscosa è amplificata dalla presenza di ben due riduttori vite senza fine ruota elicoidale. Inoltre, l'albero di sincronizzazione che collega i due citati riduttori tendeva a diventare instabile alle alte velocità. Per evitare questo effetto, abbiamo dovuto aumentarne le dimensioni fisiche, aumentando conseguentemente la sua inerzia.

A causa quindi sia dell'attrito viscoso che del non ottimale rapporto fra l'inerzia del carico e quella del motore, sarà inevitabile un declassamento funzionale. L'entità di tale declassamento, verrà determinato con precisione tramite le misure effettuate in pieno inverno a struttura montata sull'antenna e che vengono di seguito descritte.

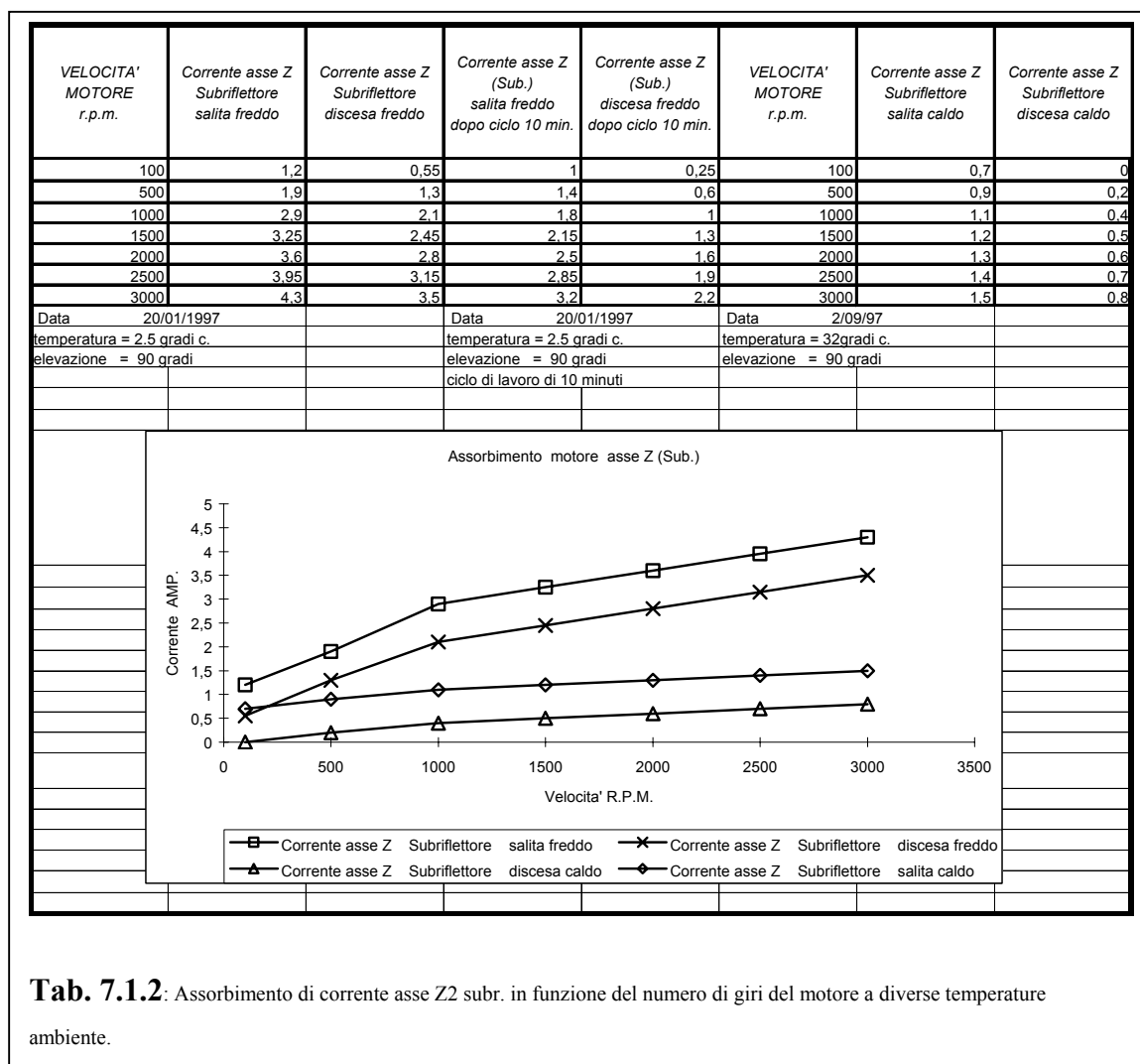
f) Durante il 1997 a montaggio avvenuto, si è provveduto ad effettuare delle prove in diverse condizioni operative. Volevamo identificare, in modo definitivo, quali erano le

7. Prove di funzionamento

condizioni di lavoro più critiche di ogni asse, in maniera tale da poter imporre dei limiti operativi tali da garantirne il funzionamento in qualsiasi condizione.

Iniziamo con l'analizzare gli assi Z del subriflettore. Nella tabella 7.1.2 sono riportati gli **assorbimenti di corrente** del motore dell'asse Z2 in diverse condizioni climatiche: nelle colonne 2-3 ad una temperatura ambiente di 2.5°C, nelle colonne 4-5 sempre ad una temperatura ambiente di 2.5°C ma dopo un ciclo di lavoro di 10 minuti, nelle colonne 7-8 con temperatura ambiente di 32°C.

Come si può notare, soprattutto dalle misure effettuate a bassa temperatura, gli assorbimenti di corrente del motore sono molto elevati e ben superiori a quelli permessi dalla corrente nominale che è pari a 1.1Amp. Questa differenza di corrente



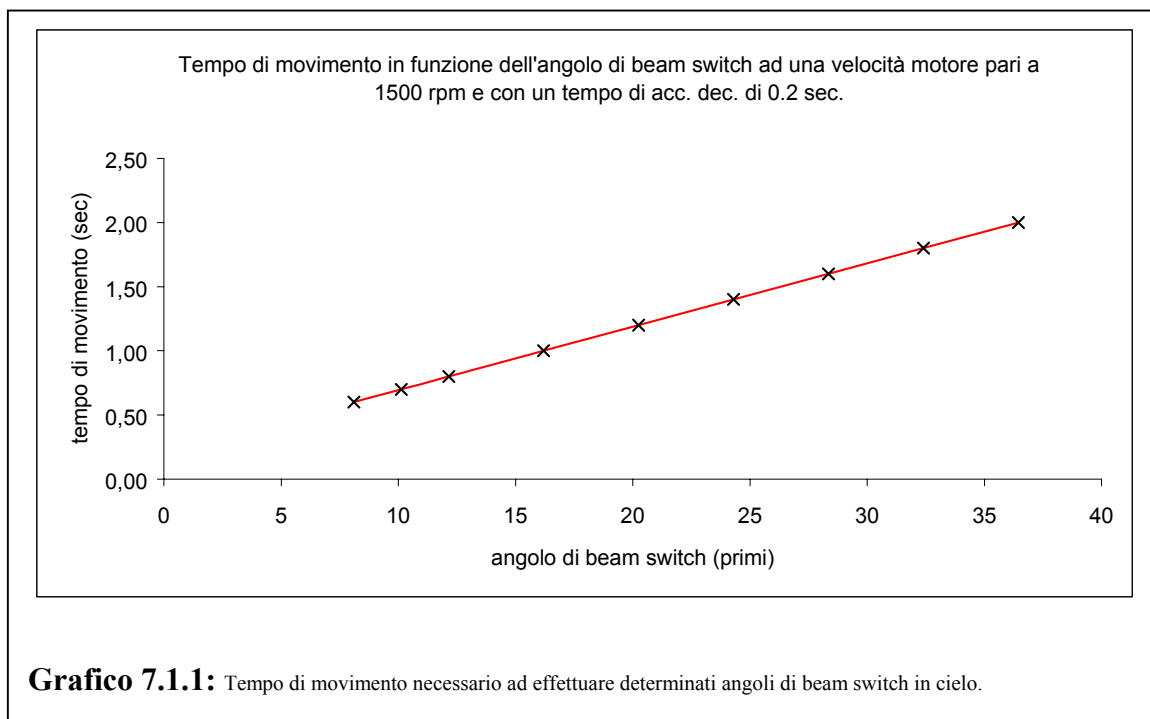
però non impedisce l'utilizzo dei motori. Infatti essendo il tempo necessario per effettuare la corsa dell'ordine di alcuni secondi, si possono sfruttare appieno le prestazioni dinamiche offerte dai motore brushless. I motori da noi utilizzati forniscono un picco di coppia cinque volte superiori a quelle nominale. L'unico prezzo da pagare per sfruttare appieno questa caratteristica consiste in una diminuzione della massima velocità di funzionamento. Resta comunque ben inteso che, il valore della coppia durante il ciclo di lavoro (tempo di movimento più tempo di attesa) non deve mai eccedere quella nominale per non surriscaldare il motore.

Come calcolato in [ref.8], con una tensione minima di alimentazione degli azionamenti di 220Vac -10% ed un assorbimento di 3.5Amp. la velocità massima teorica del motore vale 1500 giri al minuto. Analizzando la tabella 7.1.2 colonna 2 essendo l'assorbimento a 1500 giri prossima ai 3.5Amp. la massima velocità permessa è appunto 1500 giri al minuto.

Per mantenere i valori di coppia entro i limiti imposti dal motore è necessario alternare i periodi di movimento con dei tempi di fermo. Sicuramente durante il normale utilizzo del subriflettore, per la correzione del fuoco in funzione dell'elevazione dell'antenna o per puntare i diversi feed in fuoco secondario, questa condizione viene ampiamente rispettata.

Discorso completamente diverso è invece il cosiddetto "beamswitching" cioè effettuare continuamente dei movimenti on-source off-source ad alta velocità. In queste condizioni per garantire il perfetto funzionamento, bisogna calcolare attentamente la frequenza di ciclo on/off. Per identificare in base all'entità dello spostamento il necessario tempo di attesa prima di poter effettuare il movimento successivo bisogna fare riferimento al grafico 7.1.1 e alla tabella 7.1.3.

Dal grafico si ricava il tempo in secondi necessario per effettuare una determinata variazione di puntamento direttamente in cielo "beam switch", [ref.7]. Dopo di che utilizzando il tempo complessivo di movimento mediante la tabella 7.1.3 si ricava il tempo minimo di attesa. Il tempo minimo di attesa deve essere tale da garantire un livello di coppia uguale o inferiore a 1 Nm ed è identificata nella tabella 7.1.3. come zona bianca.



COPPIE EFFICACI NECESSARIE PER EFFETTUARE IL BEAM SWITCHING ATT. Z2 e Z3 TEMP. 2.5 °C.									
tempo movimento		0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	2,5	
tempo di attesa	1	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	
	2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	
	3	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	
	4	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	
	6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
	8	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,2	1,3	
	10	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	
	12	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	
	15	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	

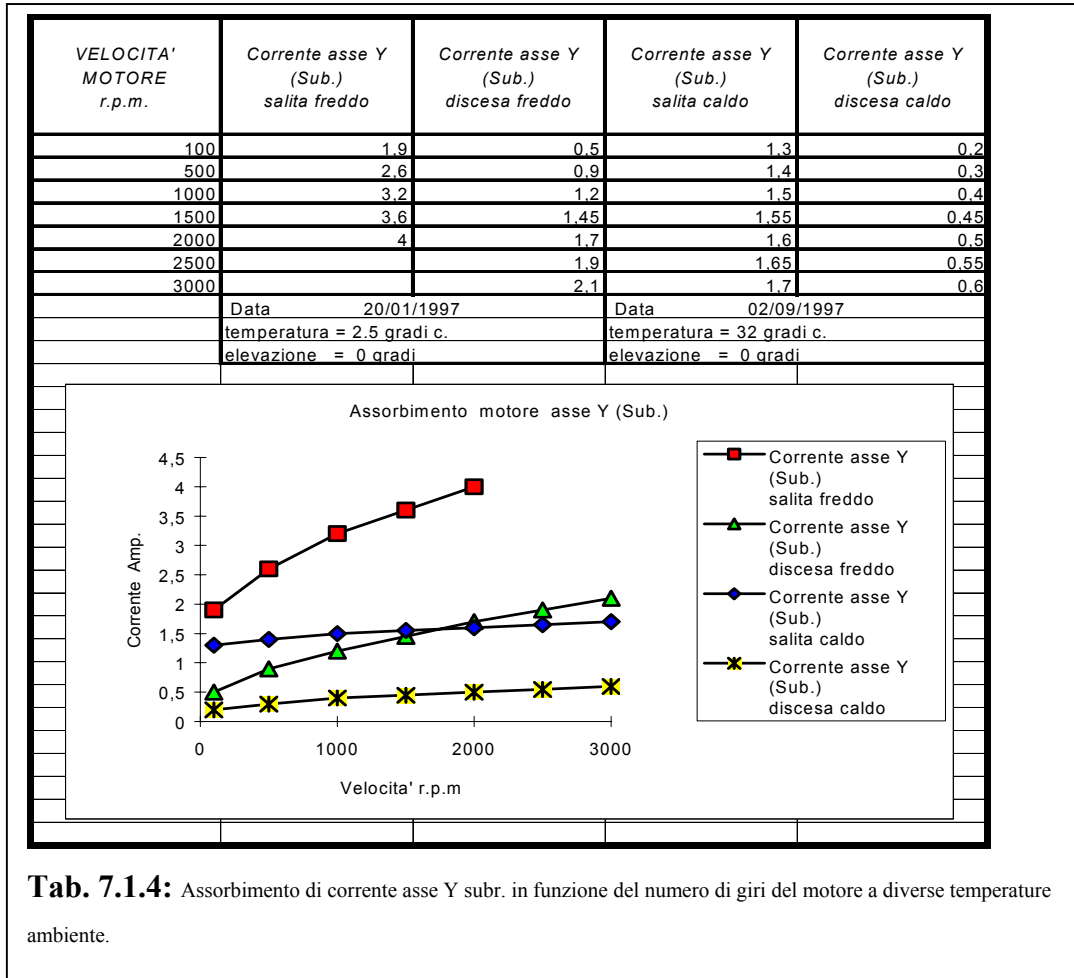
Tab. 7.1.3: Tempo minimo di attesa fra due spostamenti successivi in funzione del tempo effettivo di movimento.

Esempio: per effettuare uno spostamento in cielo di 10 primi, pari a 5 beam a 22GHz, sono necessari, come mostrato nel grafico 7.1.1, 0.75 secondi. Dalla tabella 7.1.3 si evince che, per garantire un valore di coppia efficace inferiore ad 1Nm, è necessario avere un tempo di fermo di almeno 4 secondi.

Nella tabella 7.1.4 e relativo grafico sono riportati gli assorbimenti di corrente relativi all'asse Y del subriflettore. Tutte le misure sono state effettuate con l'antenna all'orizzonte, condizione di maggior carico. Nelle colonne 2-3 sono riportati gli assorbimenti ad una temperatura ambiente di 2.5°C mentre nelle colonne 4-5 quelle relative ad una temperatura ambiente di 32°C.

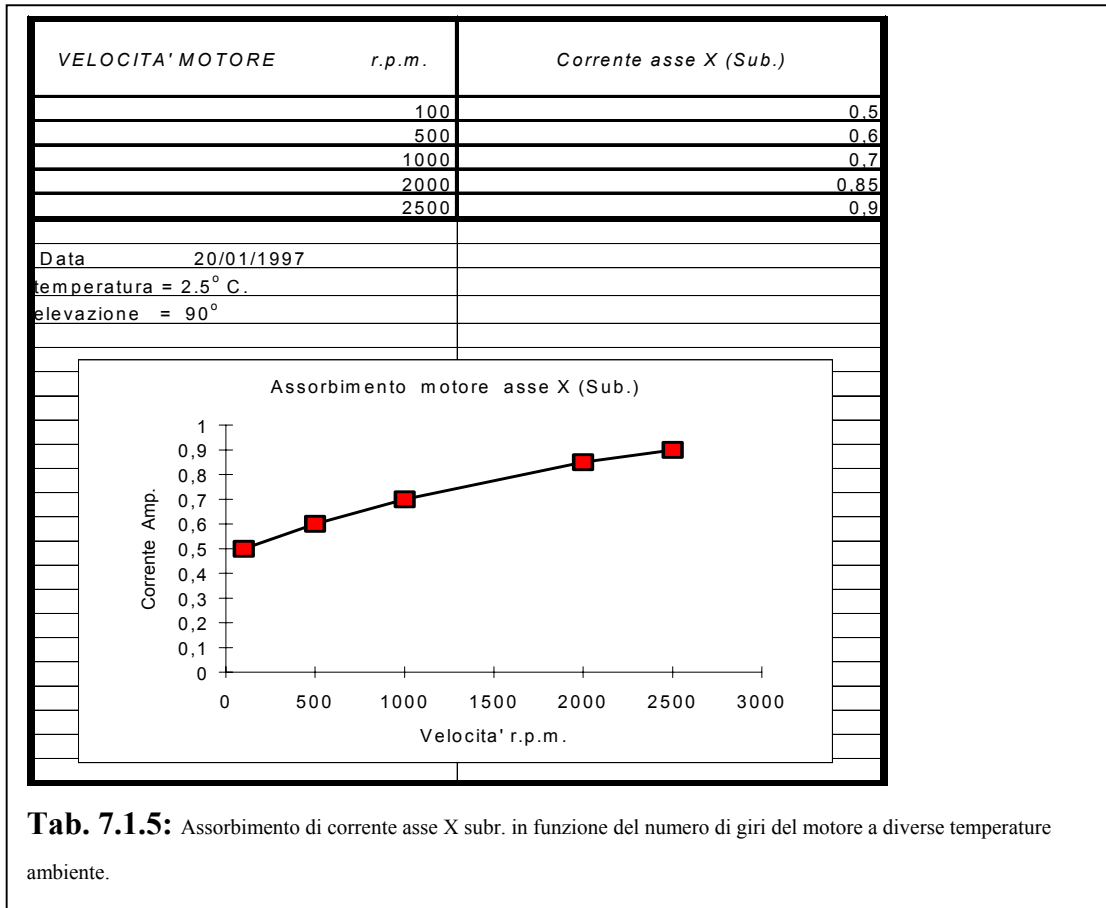
Anche in questo caso l'assorbimento di corrente presenta una notevole dipendenza dal numero di giri del motore e dalla temperatura ambiente. Le considerazioni per questo asse sono leggermente diverse da quelle fatte per gli assi Z. Infatti se per gli assi Z, viste le corse ridotte, si possono sfruttare le alte prestazioni dinamiche del motore. In questo caso la corsa per effettuare la traslazione del subriflettore è di 2.2 metri e non possiamo più sfruttare la corrente di picco ma dobbiamo confrontarci con la corrente nominale del motore. Essendo questa di 2.1Amp sarebbero possibili, in pieno inverno, solamente movimenti a bassissimi numeri di giri (150 giri al minuto). Comunque, la corrente nominale è quella per un uso continuativo, quindi è ragionevole pensare che per svolgere un movimento della durata di un paio di minuti si possa sfruttare un valore di corrente nettamente più elevato. Tale considerazione è ulteriormente avvalorata, se si considera che gli assorbimenti diminuiscono man mano che il movimento viene effettuato. Prove sperimentali hanno dimostrato che si possono utilizzare velocità fino a 2000 giri al minuto.

7. Prove di funzionamento



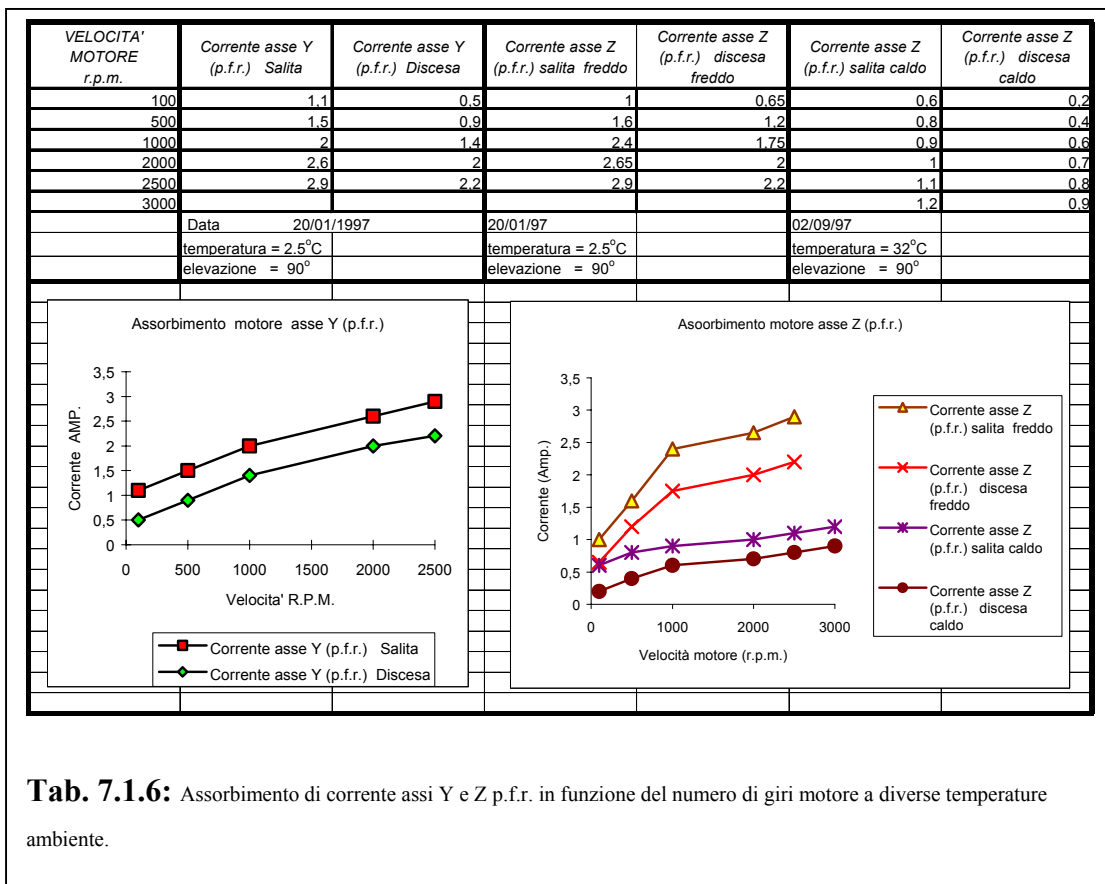
Nelle tabella 7.1.5 sono riportati gli assorbimenti relativi all'asse X del subriflettore ad una temperatura ambiente di 2,5°C. Il comportamento di tale asse è ottimo, si possono eseguire movimenti a qualsiasi velocità.

7. Prove di funzionamento



Nella tabella 7.1.6 sono riportati gli assorbimenti dei motori relativi agli assi Z e Y del ricevitore in fuoco primario. Il comportamento di tali assi è simile a quelli descritti precedentemente. Le lunghezze delle corse, pur se non eccessive, (350mm e 400mm) sono comunque tali da non permettere l'utilizzo della corrente di picco del motore come avviene per gli assi Z del subriflettore. Analogamente alle considerazioni fatte per l'asse Y del subriflettore il movimento può però essere effettuato con un valore di corrente doppio rispetto a quella nominale e prove pratiche hanno dimostrato che con una velocità di 1500 giri al minuto la funzionalità è perfettamente garantita.

7. Prove di funzionamento



Un riassunto delle attuali condizioni operative è qui di seguito riportato:

Asse Subriflettore	Giri del motore al minuto	Velocità lineare mm/sec
Z1	1500	48.3
Z2	1500	48.3
Z3	1500	48.3
X	2000	55.5
Y	2000	17.1

Asse p.f.r.	Giri del motore al minuto	Velocità lineare mm/sec
Z	1500	7.2
Y	1500	7.2

Le prove atte a rilevare i tempi di commutazione fra le varie frequenze osservative disponibili hanno dato i seguenti risultati:

	SX (p.f.r.)	LL (p.f.r.)	KK (p.f.r.)	CC (Cass.f.)
SX (p.f.r.)		46''	26''	3'25''
LL (p.f.r.)	46''		22''	3'20''
KK (p.f.r.)	26''	22''		3'21''
CC (Cass.f.)	3'25''	3'20''	3'21''	

Il puro tempo di traslazione del subriflettore, dalla condizione operativa alla posizione definita di parcheggio, è pari a 2'34"

7.2 Prove e misure effettuate sulla struttura meccanica.

a) Il primo problema che richiede di essere analizzato, collegabile agli apparati della struttura meccanica, consiste nella provata impossibilità di eseguire correttamente la ricerca di zero, su tre dei sette assi presenti sulla nuova movimentazione, quando l'antenna si viene a trovare ad un angolo in elevazione inferiore ai 45 gradi. Per meglio comprendere il senso delle prove effettuate e di seguito spiegate è necessario analizzare brevemente a cosa serve e come viene eseguita la procedura di ricerca di zero [ref. 6].

La ricerca di zero serve per determinare la posizione zero, cioè un riferimento meccanico assoluto, indispensabile su sistemi di posizionamento incrementali, da cui ripartire ogni volta che si verifica una condizione di errore nel servosistema. Questa viene svolta interamente ed in modo automatico dall'azionamento di ciascun asse utilizzando le informazioni fornite da due sensori. Il primo, definito "tacca di zero", è derivato dal trasduttore di posizione (resolver) che è calettato direttamente sull'albero del motore, e fornisce quindi il proprio segnale ad ogni giro di quest'ultimo. Il secondo è invece uno switch esterno, posto in prossimità di uno dei margini dell'asta di corsa lineare. Combinando, nell'ambito del medesimo giro del motore, il segnale proveniente dal sensore esterno con quello proveniente dal resolver, se tutto il sistema funziona adeguatamente, l'azionamento viene messo nella condizione di poter ripetere ogni volta l'azzeramento del proprio contatore nella medesima posizione meccanica. Un valido sistema per verificare se la procedura suddetta è stata eseguita correttamente consiste nel valutare che il numero di impulsi che intercorre fra la tacca di zero e lo switch di zero sia sempre minore di 4096 impulsi (vedi ref. 6 par.2.5 e 3.2).

Le misure effettuate, atte a determinare le cause di questo inconveniente, sono state eseguite ponendo l'antenna ad un valore di elevazione prossimo a 90°, poi, dopo aver comandato l'esecuzione della procedura di zero di tutti gli assi, riportando l'antenna in tempi successivi a valori di elevazione di 60°, 5°, e 120° si provvedeva a misurare la distanza meccanica, valutandola in numero di step o impulsi del trasduttore, fra la tacca di zero e lo switch di zero. Dopo aver ripetuto più volte la misura era evidente che, per fenomeni di flessione locali, questa distanza variava in funzione dell'angolo di elevazione dell'antenna.

Le prove eseguite hanno evidenziato come il fenomeno sia presente e misurabile in tutti i sistemi di movimento lineare costituenti il nuovo gruppo, ma crea un reale problema di incertezza sulla corretta esecuzione dell'azzeramento del contatore solo sui due assi della movimentazione dei ricevitori in fuoco primario e nell'asse Y del subriflettore. Questi tre assi sono più critici degli altri in quanto avendo un rapporto di riduzione elevato, compiono una corsa lineare piccola per ogni giro del motore. Variando l'angolo in elevazione dell'antenna, la presenza delle flessioni citate fa cambiare di conseguenza anche la posizione di intervento dello switch esterno, di una quantità piccola ma sufficiente a far sì che l'azzeramento del contatore non avvenga più nell'ambito del medesimo giro del motore ma in uno adiacente.

La conclusione che si deve inevitabilmente trarre da questa serie di prove è che la presenza di fenomeni di flessione locale fra le varie parti costituenti la meccanica di movimento determina, con il variare della posizione in elevazione dell'antenna, un'alterazione della posizione relativa fra lo switch di zero fisso e la sua camma

mobile, pertanto modificandosi di conseguenza anche la posizione di intervento di uno dei due sensori necessari alla proficua esecuzione della procedura di zero, **questa quindi deve essere eseguita sempre con l'antenna ad una elevazione prossima a 90°.**

b) Il secondo problema che si è cercato di analizzare è quello emerso dall'analisi dei dati usciti dalle operazioni di allineamento dello specchio secondario, cioè capire cosa provocava la presenza di una piccola rotazione del subriflettore attorno al proprio asse Y e come mai questa, seguendo l'orientamento della forza di gravità, aumentava in valore assoluto con il variare della posizione in elevazione dell'antenna dallo zenith verso l'orizzonte.

Aver scoperto l'esistenza di fenomeni di flessione locale fra le varie parti costituenti la meccanica di movimento ha immediatamente fatto sorgere il sospetto che anche l'anomala rotazione sopracitata dipenda da una esagerata flessione di uno dei telai in alluminio di sostegno dello specchio secondario. La nostra attenzione si è rivolta subito verso il telaio a cuneo che permette la traslazione del subriflettore lungo l'asse Y e deve sostenere il carico, valutato in 500Kg, di tutti gli altri organi del subriflettore. La fig. 7.2.1 mostra questo telaio, si può notare come il sistema di movimento è del tipo a guida pilota, con la vite a ricircolo di sfere posta in prossimità di una delle aste di corsa. In un siffatto sistema si crea una condizione per cui un lato del carrello è vincolato ed estremamente rigido, mentre il lato opposto, se non adeguatamente sostenuto, è libero di flettere di una quantità direttamente legata alla rigidità del telaio stesso.

Per ottenere conferma ai nostri sospetti abbiamo eseguito delle specifiche misure sul comportamento a flessione di questo telaio, più precisamente si è provveduto a misurare le deformazioni dello stesso, lungo la direzione Y, sia sul lato A dove vi è la vite a ricircolo di sfere che sul lato B libero, portando l'angolo di elevazione dell'antenna, a step di 15 gradi, dallo zenith all'orizzonte.

La Tab.7.2.1 raccoglie i dati rilevati ed evidenzia a fronte di una flessione di 0.2mm sul lato A, uno spostamento di 1.9mm sul lato B. Lo spostamento sul lato A è sicuramente dovuto ad una rotazione rigida del supporto della chiocciola determinato da una insufficiente robustezza locale nella zona di fissaggio del supporto al telaio, lo spostamento sul lato B invece è determinato dalla flessione del telaio che si comporta, anche per la presenza dei pattini di compensazione della dilatazione termica, similmente ad una trave a sbalzo incastrata ad una estremità.

I carrelli sul lato B quindi scorrono di più di quelli posti sul lato A. Siccome il loro movimento Y avviene lungo un piano inclinato di otto gradi oltre a traslare sono costretti a salire in direzione Z, ed è proprio questa traslazione in Z, quantificabile moltiplicando l'entità della flessione differenziale per il seno di 8°, a determinare la rotazione attorno all'asse Y.

Aiutandoci con la fig.7.2.2, che mostra uno schema del nuovo apparato di movimento dello specchio secondario, cerchiamo di spiegare e quantificare quello che succede al subriflettore in presenza di questa traslazione indotta lungo la direzione Z. Il punto A rappresenta la guida e i pattini lato vite a ricircolo di sfere, il punto B rappresenta la guida ed i pattini sul lato libero. L'asse A-B è il telaio a cuneo quando l'antenna si trova allo zenith, portando l'antenna all'orizzonte il telaio a cuneo flette delle quantità misurate ruotando attorno al punto A e traslando sui pattini di compensazione fino a trovarsi nella posizione A-B₁. La differenza di altezza C è quella che determina la rotazione β calcolata in 0.6 primi. Si può notare inoltre che, come

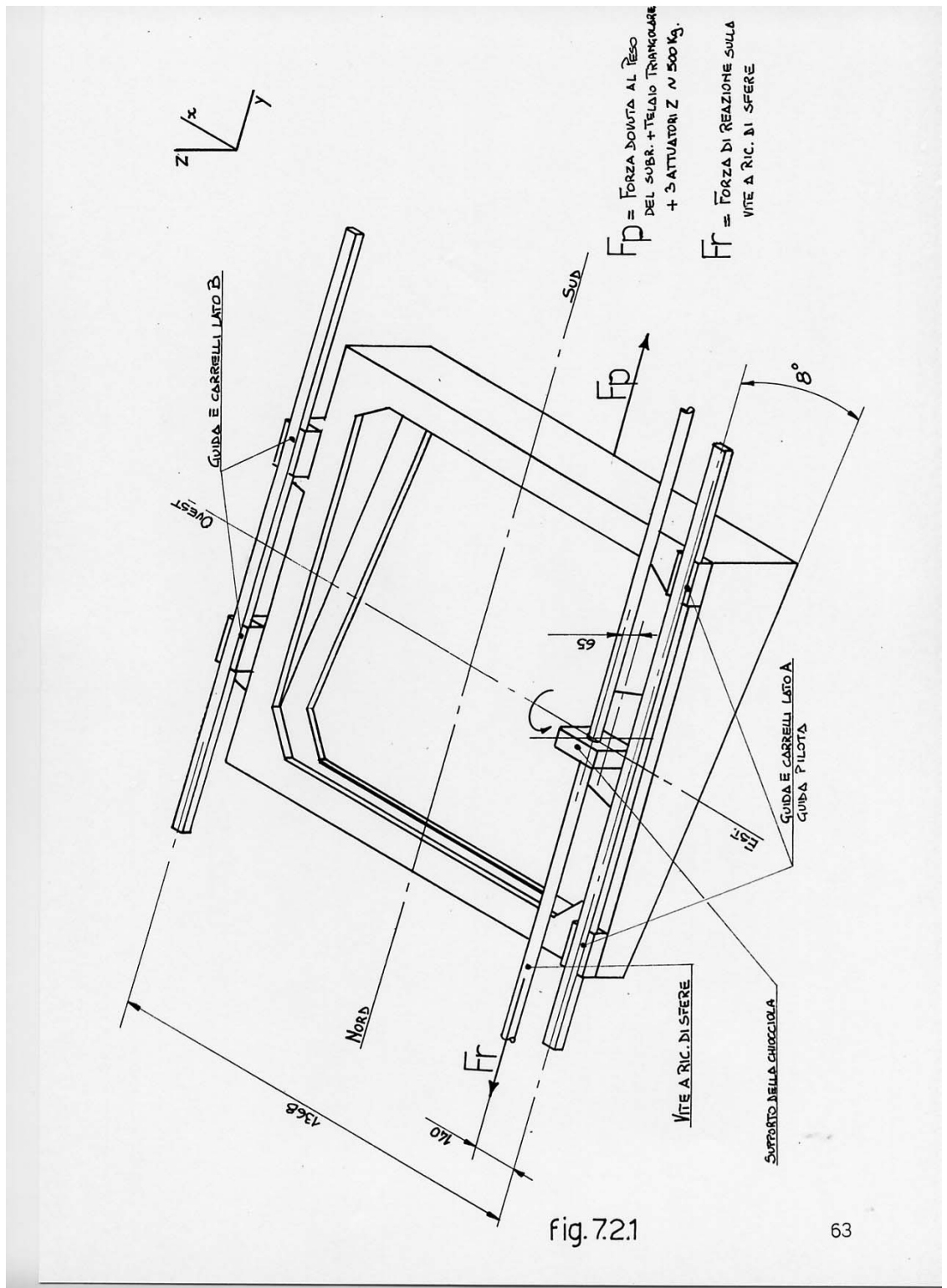


Fig.7.2.1

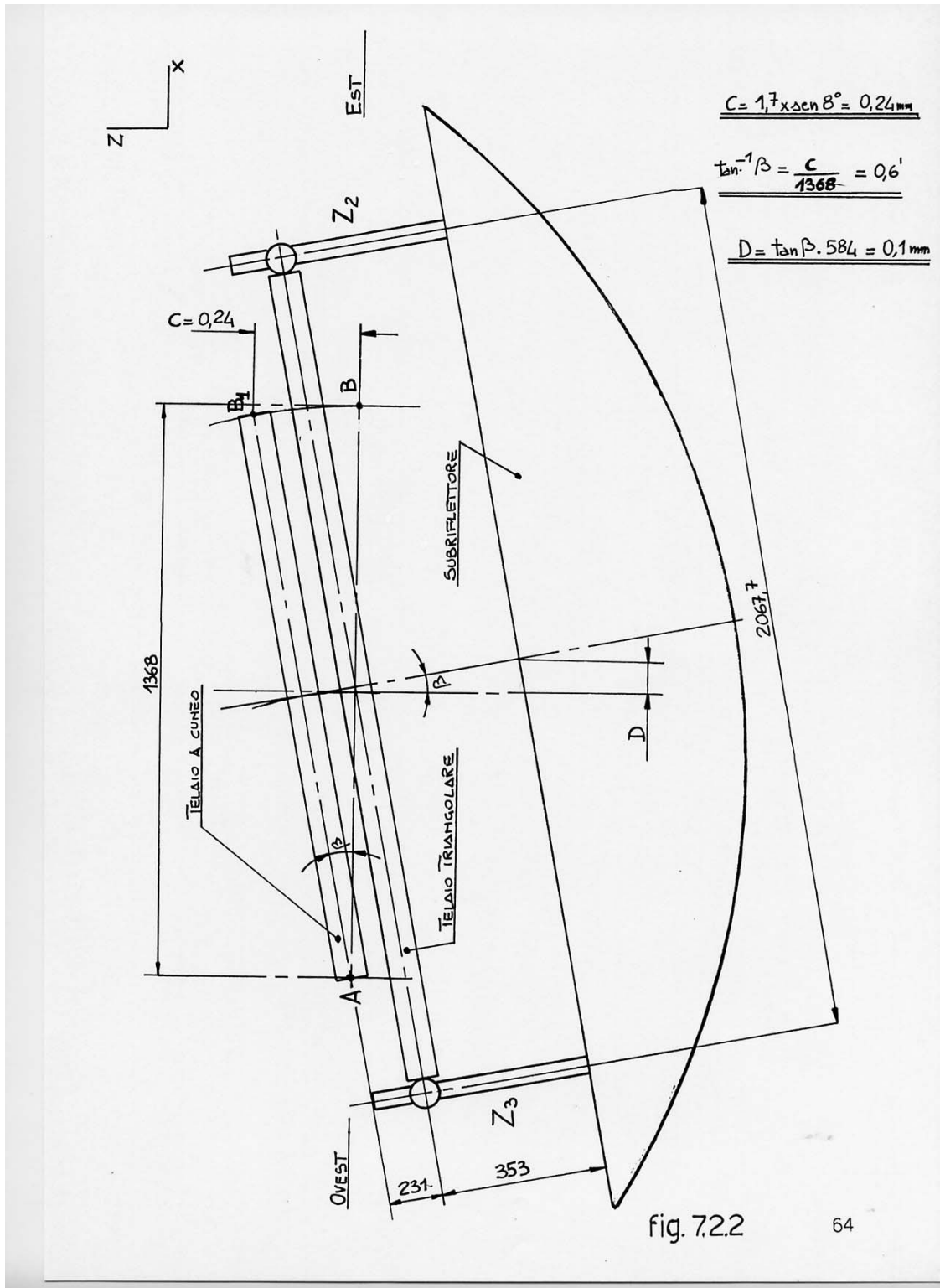
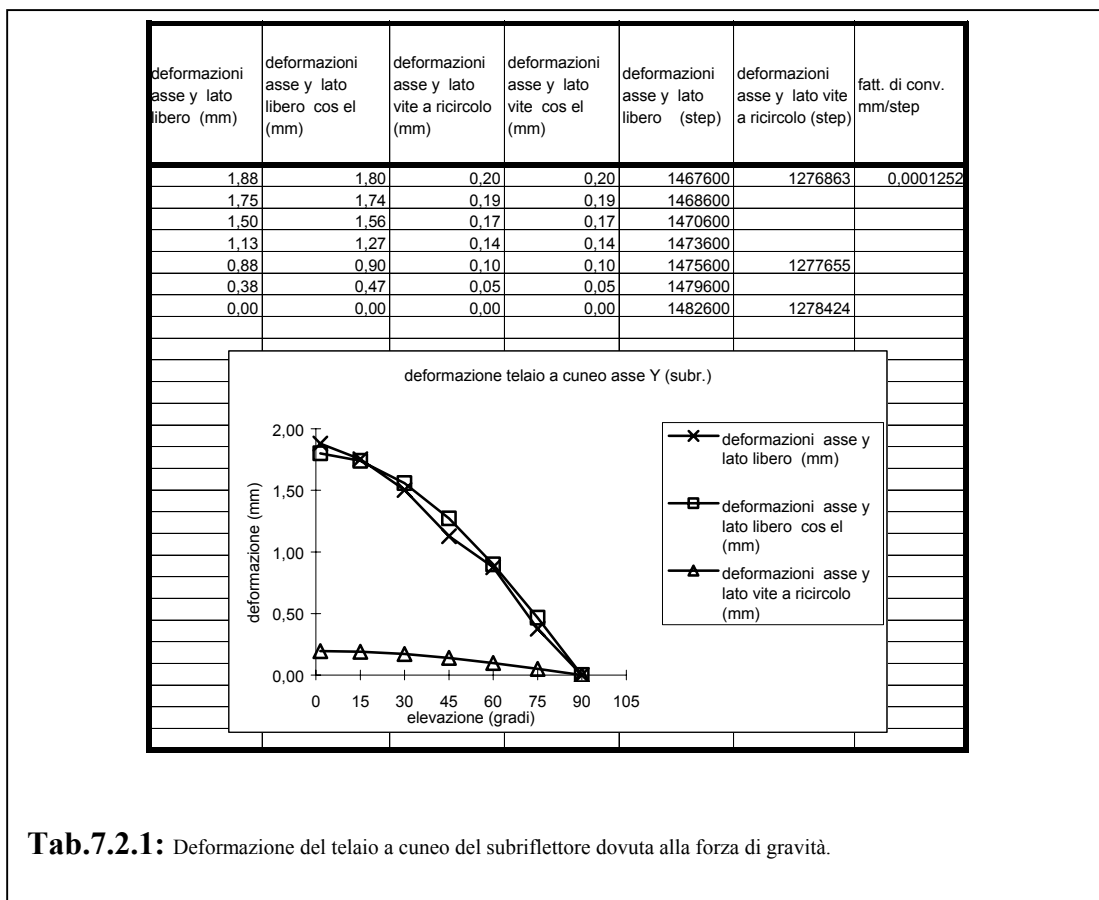


fig. 7.2.2

conseguenza della rotazione, vi è una traslazione D in direzione X valutabile in 0.1mm.

Osservando la fig. 7.2.3, che stabilisce le convenzioni sui versi di movimento della meccanica del subriflettore, e riprendendo la Tab. 6.4.2, è possibile confrontare i valori evidenziati da questa serie di prove con quelli usciti dalla pratica di allineamento. Nel caso di allineamento, si osserva una rotazione negativa, in direzione est dello specchio secondario, confermata dal fatto che occorre allungare l'attuatore Z₂ per compensarla, con valore massimo di 0.7 primi. Dall'elaborazione delle misure effettuate sul telaio a cuneo, analogamente emerge una rotazione con il medesimo verso negativo di entità molto simile, pari a 0.6 primi.

Il confronto fra le due misure conferma che è il telaio suddetto il responsabile di questa rotazione. Per eliminare questo inconveniente, attualmente stiamo valutando la possibilità di modificare la conformazione del telaio a cuneo, inserendo due tiranti

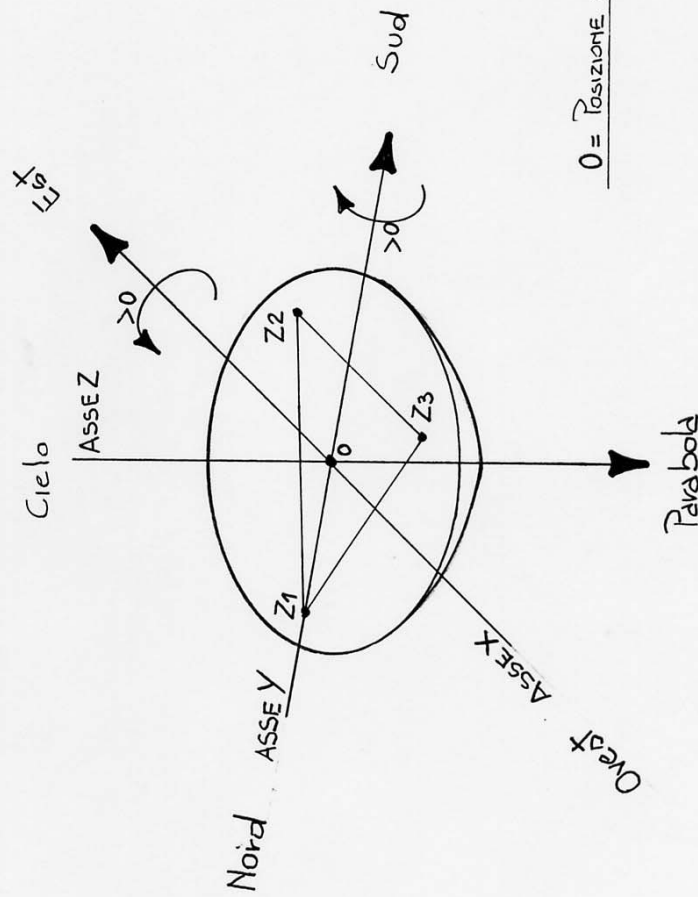


incrociati, che vengono avvitati a ciascuno dei quattro vertici. Questa nuova conformazione permette al telaio di assumere le caratteristiche tipiche di una mensola incastrata. In questa nuova configurazione, il telaio è in grado di trasmettere le sollecitazioni esterne ai proprio vincoli analogamente ad una trave sollecitata con sforzi di trazione o compressione divenendo estremamente più rigido rispetto alla configurazione iniziale.

c) terminate le prove pratiche, si è cercato di svolgere anche un esercizio puramente teorico atto a valutare sia la qualità delle misure eseguite che l'accuratezza della realizzazione meccanica. Il ragionamento è stato il seguente: abbiamo a

4/ settembre / 27

Mecanica di movimento
subriflettore



0 = POSIZIONE DI ALLINEAMENTO

Convenzione versi di movimento

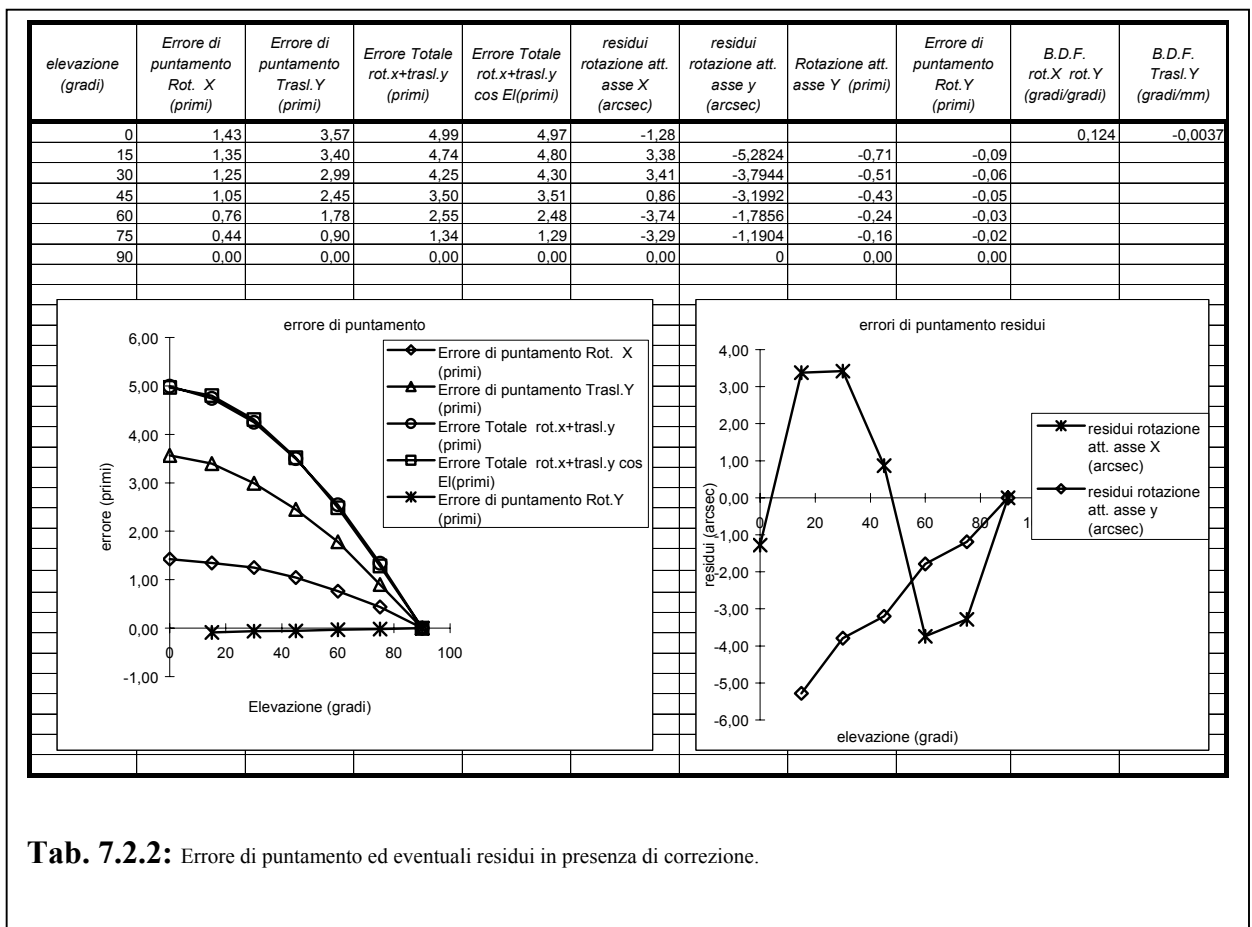
fig.7.2.3

Fig.7.2.3

7. Prove di funzionamento

disposizione tutta una serie di dati relativi alle misure di allineamento del subriflettore rilevati per diversi angoli in elevazione dell'antenna, se sommiamo i valori dell'errore di puntamento dovuto alla rotazione attorno all'asse X con quello dovuto alla traslazione lungo l'asse Y, otteniamo una curva caratteristica. Ora, questi valori possono essere confrontati con quelli di un'altra ipotetica curva calcolata in funzione del coseno dell'angolo di elevazione dell'antenna, analoga a quella calcolata dal programma di puntamento per compensare gli errori in elevazione dovuti alla gravità.

La Tab. 7.2.2 evidenzia queste due curve, se calcoliamo l'errore residuo ci possiamo accorgere di alcune cose interessanti. I residui sono molto piccoli, quindi, le misure sono state eseguite con cura, e gli assi di movimento presenti sulla meccanica sono privi di indesiderati giochi. La curva misurata può pertanto essere utilizzata, costruendola negli spazi fra i punti misurati con una funzione dipendente dal coseno dell'elevazione, per compensare la posizione del subriflettore, al fine di mantenere inalterata la configurazione cassegain dell'antenna e di conseguenza l'efficienza di antenna il più alta possibile con il variare dell'angolo in elevazione dell'antenna. Inoltre compensando la posizione del subriflettore utilizzando le misure si può recuperare anche la rotazione attorno all'asse Y. Questa rotazione provoca un errore di azimuth in funzione del coseno dell'elevazione e non esiste nessun parametro del programma di puntamento che prenda in considerazione errori di questo tipo.



Tab. 7.2.2: Errore di puntamento ed eventuali residui in presenza di correzione.

7.3 Prove e misure di compatibilità elettromagnetica.

Appena terminato l'assemblaggio del nuovo sistema di movimentazione del subriflettore, prima di installarlo definitivamente sull'antenna abbiamo provveduto ad effettuare delle misure di compatibilità elettromagnetica.

Scopo di tali misure era valutare il livello di emissione complessivo e la loro distribuzione nello spettro. Diversi provvedimenti erano stati presi per poter limitare al massimo la quantità di emissione radio indesiderata, quali l'utilizzo di cavi a schermatura totale, filtri ad alta efficienza, e contenitori schermati.

Le misure sono state effettuate presso la stazione di Medicina ed il sistema di misura era composto da un analizzatore di spettro HP8562A e da una antenna del tipo Log Periodic da 80 a 500 MHz.

Si è provveduto a sistemare l'antenna su di un cavalletto ad una distanza di circa dieci metri dal nuovo sistema di movimento del subriflettore, sono poi state effettuate le misure in diverse situazioni operative, tutte caratterizzate dall'aver l'analizzatore di spettro in "max hold" così da ottenere una visualizzazione che rappresenta comunque la condizione peggiore.

Qui di seguito è riportato l'elenco delle figure relative alle varie misure effettuate:

- Fig. 7.3.1 Computer di controllo e movimentazione subriflettore spenti, banda 0-300MHz
- Fig. 7.3.1a Computer di controllo e movimentazione subriflettore spenti, banda 0-500MHz
- Fig. 7.3.2 Computer di controllo acceso e movimentazione subriflettore spento, banda 0-300MHz
- Fig. 7.3.2a Computer di controllo acceso e movimentazione subriflettore spento, banda 0-500MHz
- Fig. 7.3.3 Computer di controllo acceso e mov. subriflettore in stnby, banda 0-300MHz
- Fig. 7.3.4 Computer di controllo acceso e mov. subriflettore in movimento, banda 0-300MHz
- Fig. 7.3.4a Computer di controllo acceso e mov. subriflettore in movimento, banda 0-500MHz

Le figure 7.3.1 e 7.3.1a, sono state eseguite con la movimentazione e il personal computer di controllo spenti, e rappresentano gli spettri di riferimento per tutte le misure successive. Come si può notare, sono ben visibili diverse emissioni imputabili a trasmissioni radiofoniche, televisive, ecc. Il fatto di non poter effettuare le misure dentro a camere schermate porta obbligatoriamente ad avere un livello di fondo non privo di questi segnali

Nelle figure 7.3.2 e 7.3.2a sono rappresentati gli spettri di emissione dopo l'accensione del solo personal computer di controllo. Livelli di emissione di questo tipo erano assolutamente inaspettati ed inimmaginabili. Il fatto non ci ha eccessivamente preoccupati in quanto non sono mai stati riscontrati, in precedenza, problemi di interferenze generate dagli innumerevoli calcolatori presenti alla stazione.

Nella figura 7.3.3 è mostrato lo spettro con anche gli azionamenti accesi in stnby e con i freni di stazionamento inseriti. Si può notare immediatamente che non vi sono differenze rispetto alla condizione precedente. Le due immagini sono praticamente sovrapponibili se non per una piccolissima differenza a basse frequenze, sotto ai 50MHz.

7. Prove di funzionamento

Nelle figure 7.3.4 e 7.3.4a sono mostrati gli spettri di emissioni di quella che è sicuramente la condizione di funzionamento peggiore. Tutte le apparecchiature del subriflettore sono accese, e vengono mosse contemporaneamente ad alta velocità diversi assi. In queste condizioni è particolarmente evidente un innalzamento delle emissioni fino a circa 150MHz. Queste tendono poi a diminuire con l'aumentare della frequenza, fino a scomparire totalmente verso i 300MHz.

Da queste prove si deduce che il sistema non introduce apprezzabili livelli di emissioni a frequenze superiori ai 300MHz e anche a frequenze più basse il livello di emissione è comunque inferiore a quelle generate da un qualsiasi personal computer commerciale.

Per sicurezza, nel caso di funzionamento dell'antenna a bassa frequenza e con ricevitore in fuoco primario, è preferibile, dopo aver posizionato il ricevitore, inserire il freno di stazionamento e porre gli azionamenti in stnby. Questa condizione garantisce un livello di emissione praticamente inesistente.

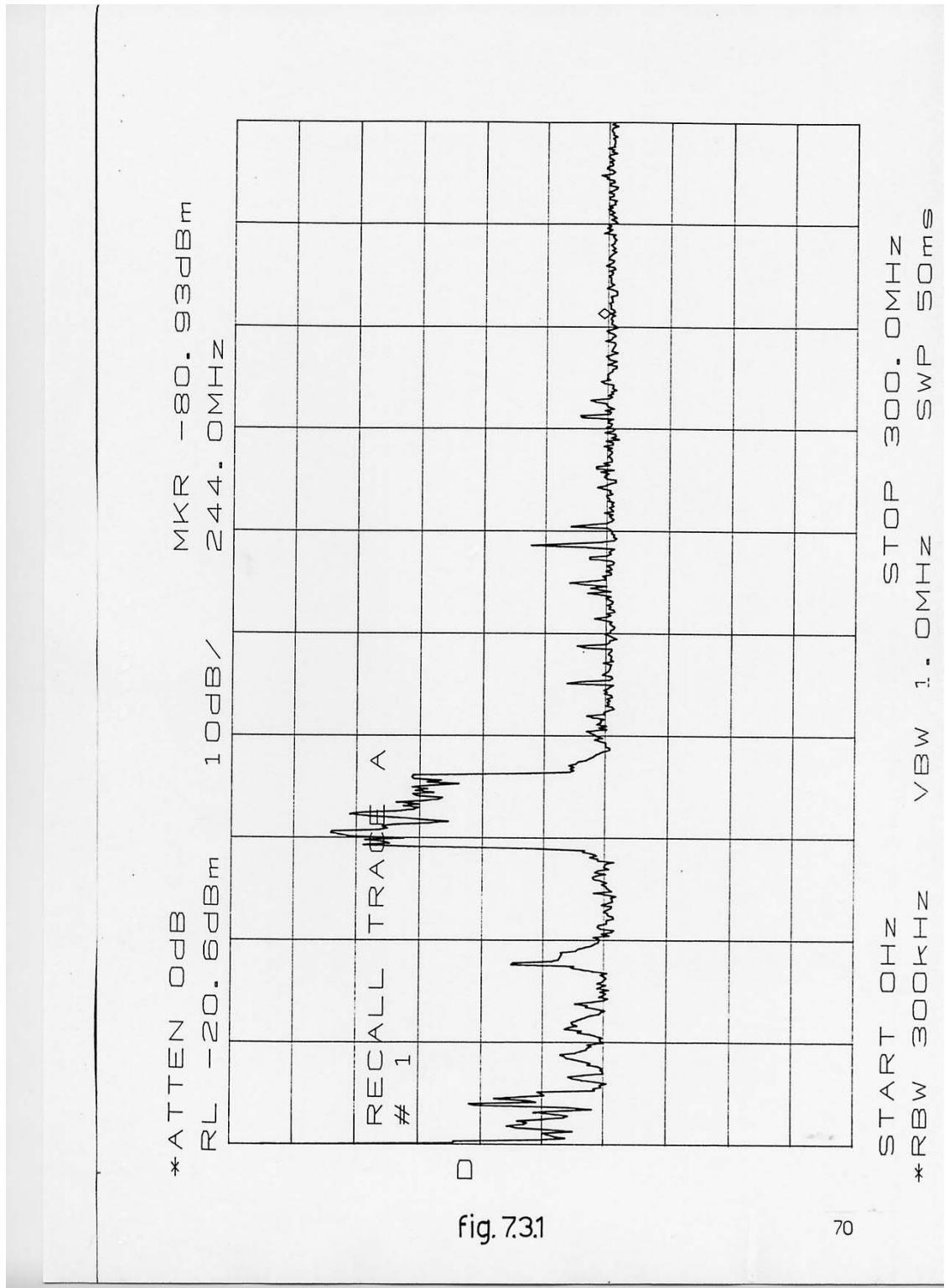


Fig.7.3.1

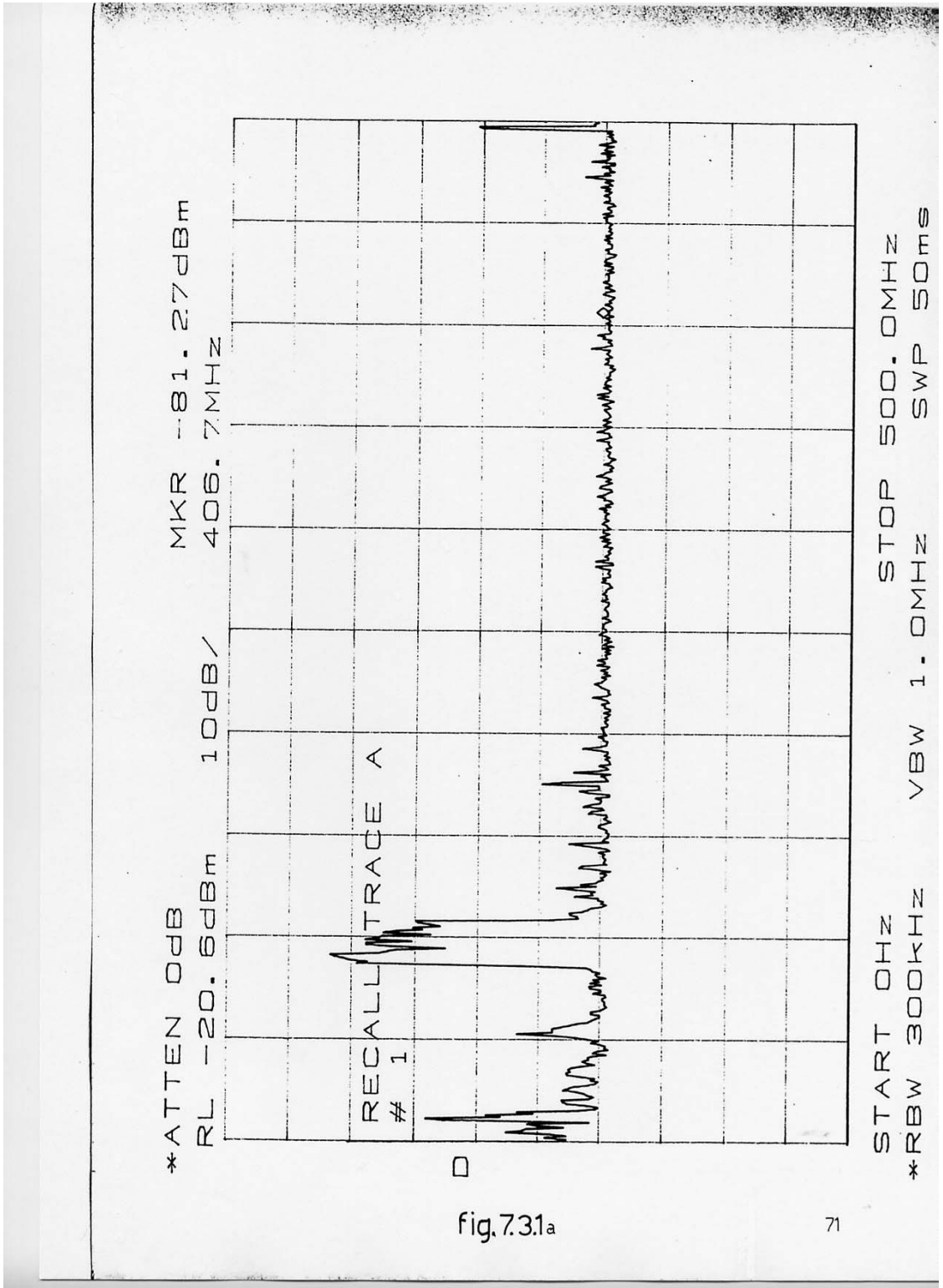


fig.7.3.1a

fig.7.3.1a

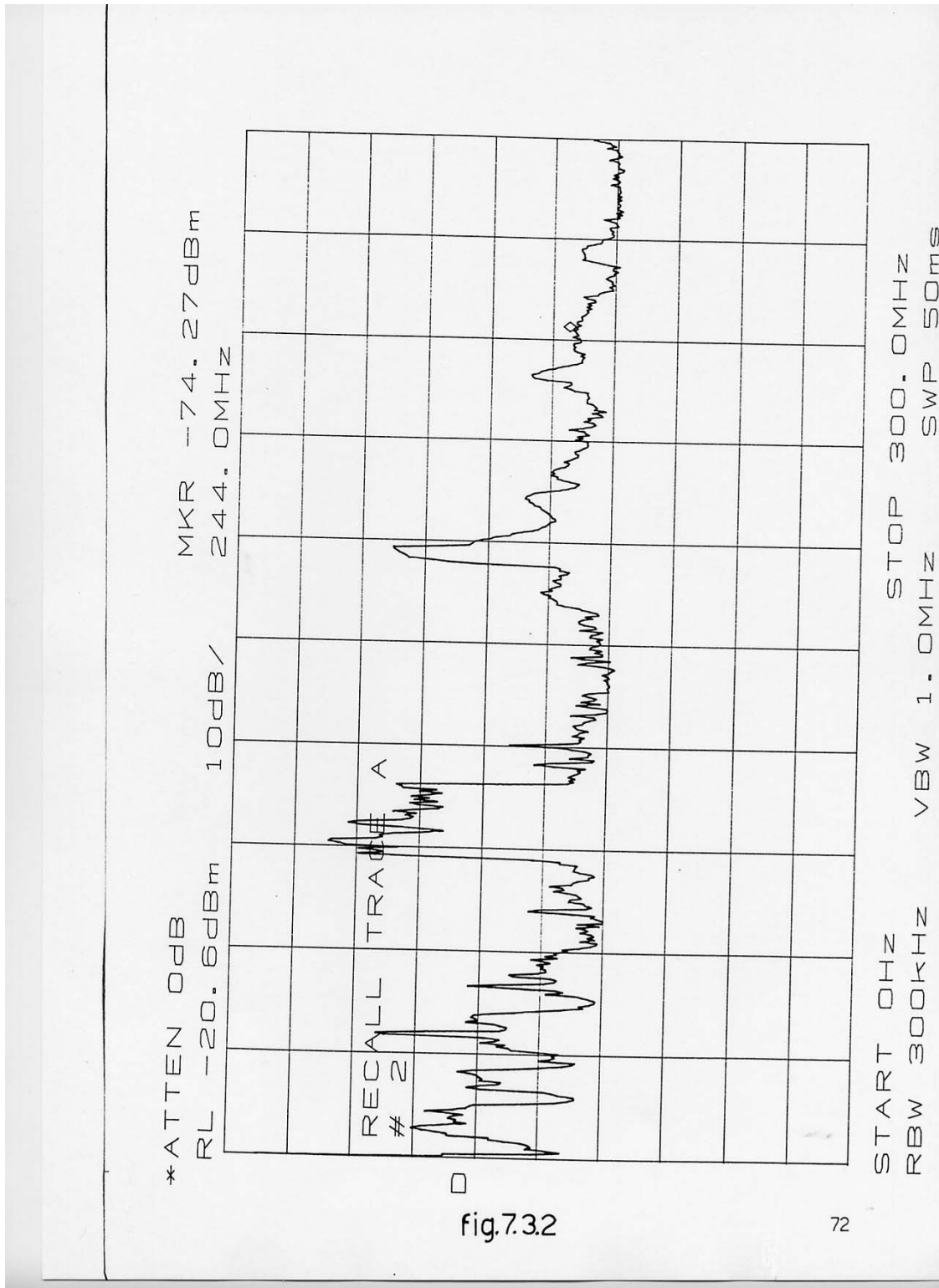


fig.7.3.2

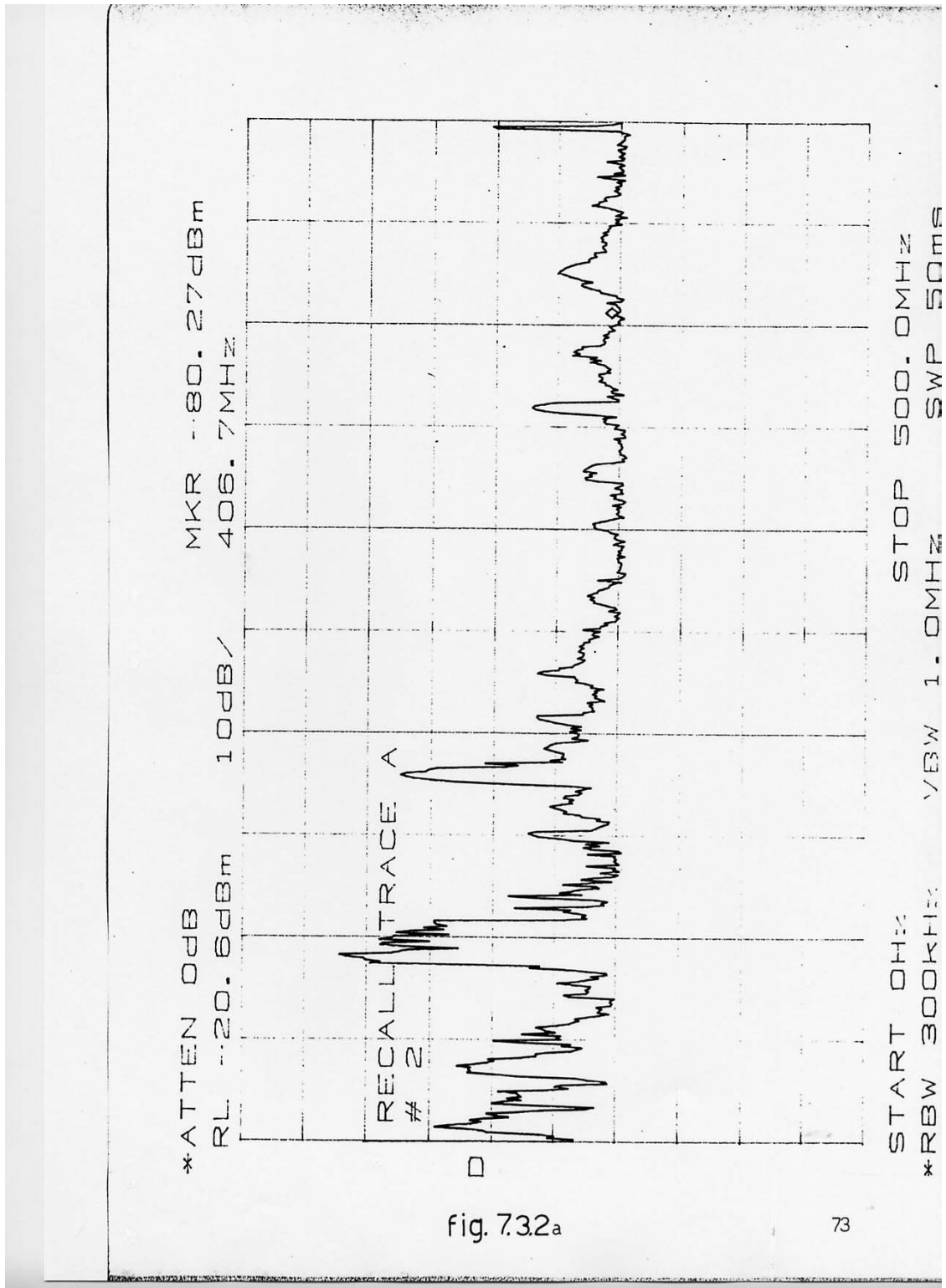


fig. 7.3.2a

fig.7.3.2a

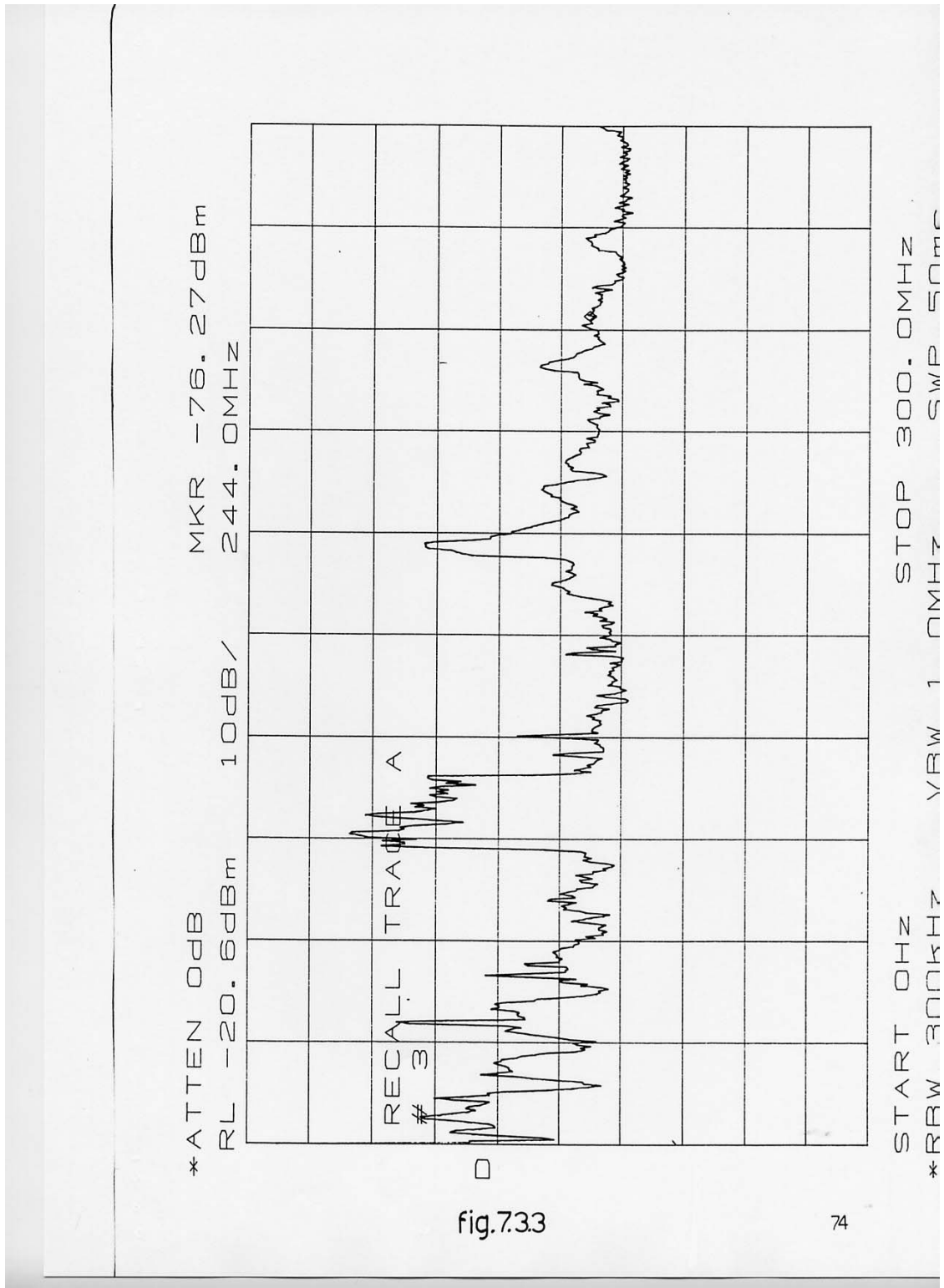


fig.7.3.3

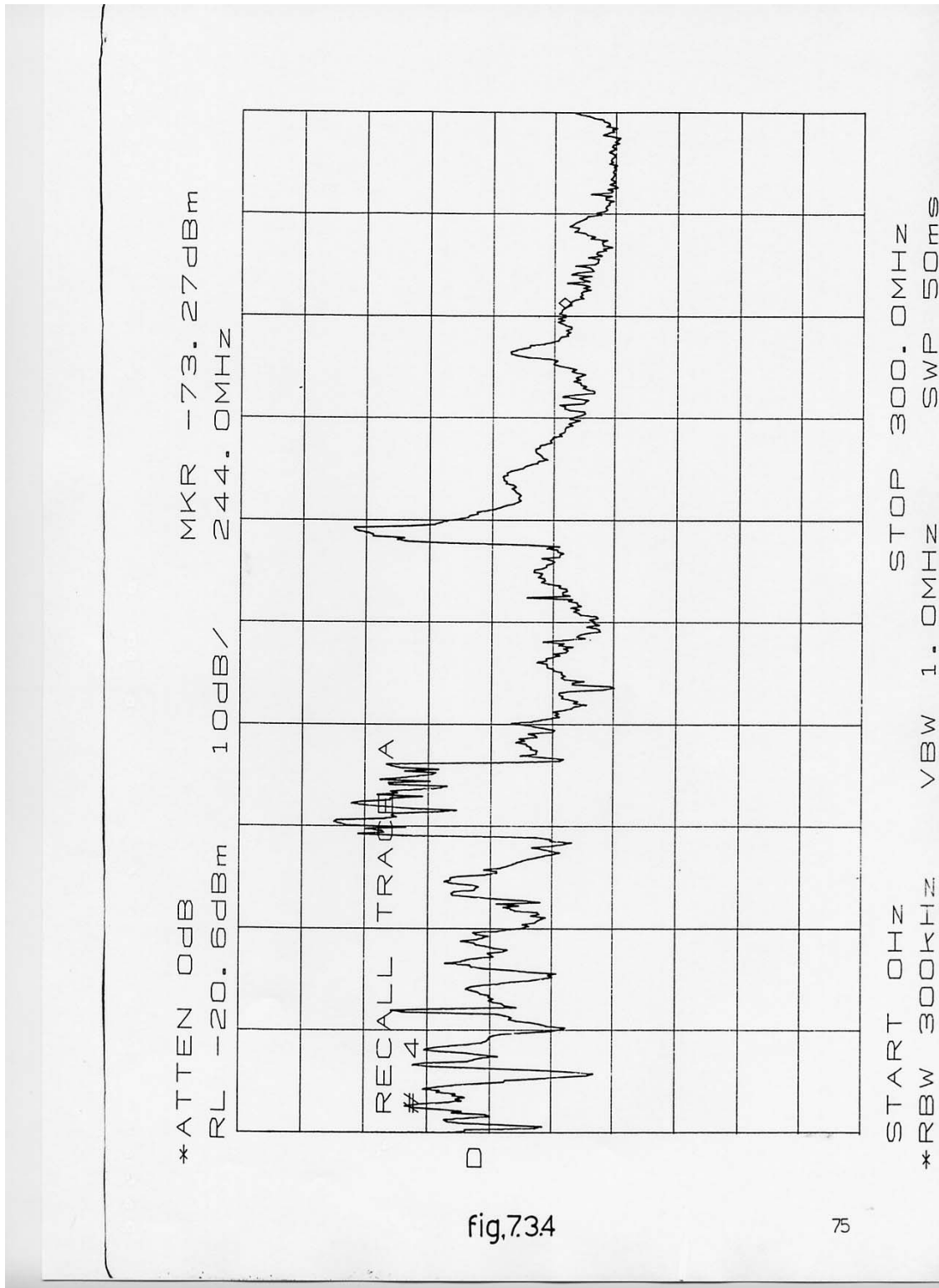


fig.7.3.4

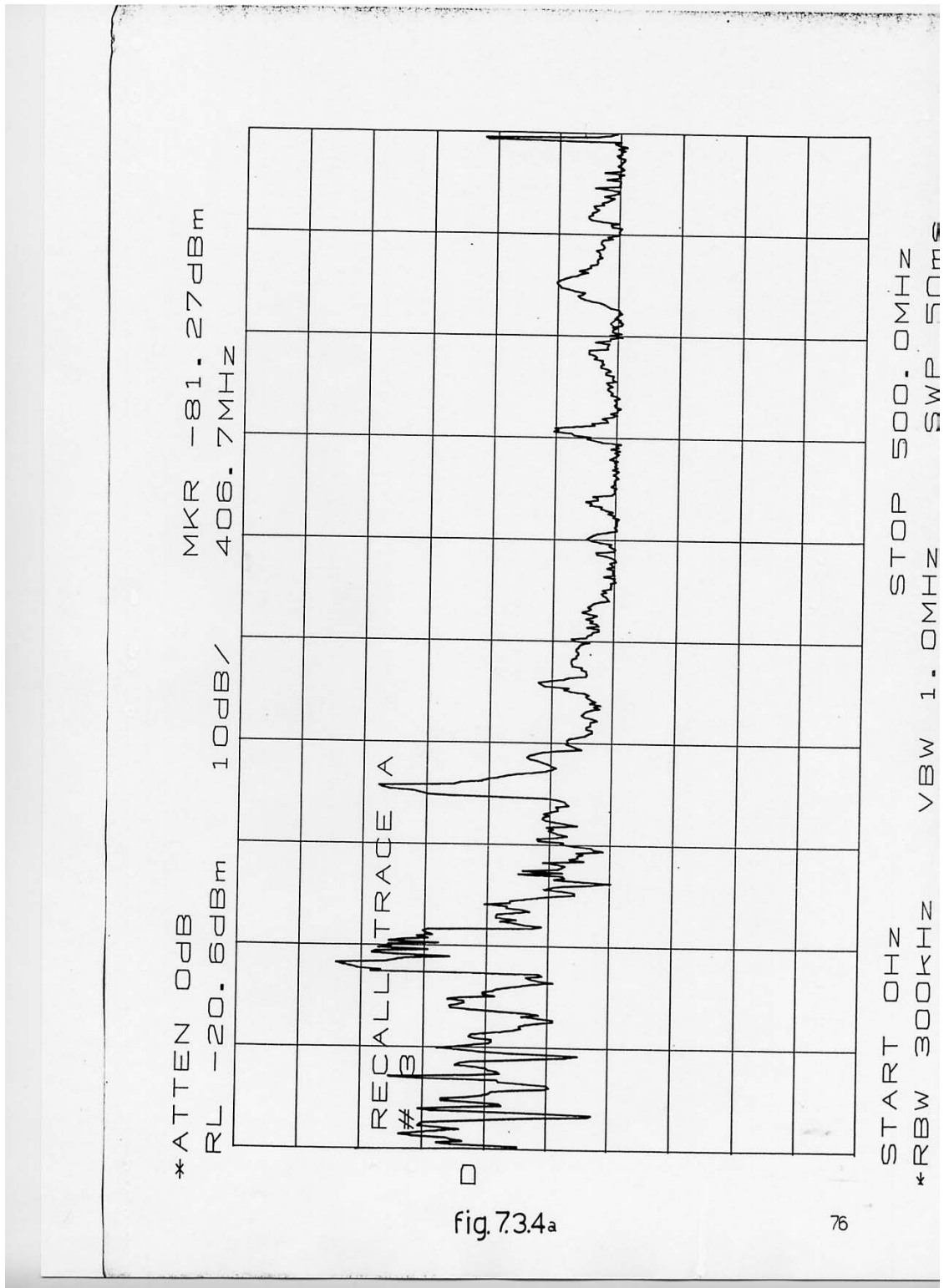


fig.7.3.4a

8. RIFERIMENTI

1. Orfei A., Maccaferri G., Mariotti S., Morsiani M., Zacchioli G.
“Proposta operativa per un aggiornamento delle prestazioni della parabola VLBI di Medicina”
Rapporto Interno IRA 206/95
2. TIW Manual
“Subreflector Positioner 38-00-04- Equation of motion”
3. BCV Progetti
“CNR-Istituto di Radioastronomia. Modifiche alle strutture di sostegno del subriflettore”
Gennaio 1995
4. Monorchio A., Tofani G.
“Calcolo delle prestazioni delle antenne di Medicina e Noto in presenza di rotazione angolare del subriflettore”
Arcetri technical report 8/95
5. TIW SYSTEMS, Inc.
Procedure di allineamento TIW SB-038-AP.
6. A. Orfei, M. Morsiani, G. Zacchioli, G. Maccaferri.
“Il nuovo sistema di posizionamento del subriflettore e dei ricevitori in fuoco primario per l’antenna V.L.B.I. di Medicina.”
Volume 2 di 4 “Implementazione dei servozionamenti e parte elettrica.”
7. A. Orfei, M. Morsiani, G. Zacchioli, G. Maccaferri.
“Prestazioni della nuova meccanica subriflettore: sensibilità, ripetibilità e stabilità di puntamento.”
Rapporto Interno IRA 236/97
8. A. Orfei, M. Morsiani, G. Zacchioli, G. Maccaferri.
“Il nuovo sistema di posizionamento del subriflettore e dei ricevitori in fuoco primario per l’antenna V.L.B.I. di Medicina.”
Volume 4 di 4 “Dimensionamento elettromeccanico ed equazioni del moto.”
9. A. Orfei, G. Maccaferri, M. Morsiani, G. Zacchioli.
“Il nuovo sistema di posizionamento del subriflettore e dei ricevitori in fuoco primario per l’antenna V.L.B.I. di Medicina.”
Volume 3 di 4 “Software”
10. Elettronica Industriale
“Manuale di riferimento software IBD600”