

**PRIME CONSIDERAZIONI  
SUL MODELLO ANALITICO DI  
PUNTAMENTO DEL TELESCOPIO ZEISS  
DA 60cm DI LOIANO**

RAPPORTO TECNICO 07-2013-01

Versione 1.0

**I. Bruni<sup>1</sup>, L. Mancin, D. Simonelli**

<sup>1</sup> INAF – Osservatorio Astronomico di Bologna

## INTRODUZIONE

Il Telescopio Zeiss da 60cm di apertura dell'Osservatorio di Loiano può essere considerato un esempio illustre di ingegneria meccanica e qualità ottica degli anni trenta. A distanza di oltre settant'anni dalla prima luce, il Telescopio svolge in minima parte attività di ricerca ed è utilizzato maggiormente per finalità divulgative e didattiche. Per ciò, senza perturbare eccessivamente le caratteristiche costruttive originali dello strumento, si è cercato nel tempo di attuare delle migliorie che potessero facilitarne l'utilizzo e migliorarne per quanto possibile l'efficienza.

Attualmente il sistema di puntamento numerico (vedi <http://www.bo.astro.it/loiano/loirep/rep08-2009-01-text.pdf> ) decodifica i 24 bit degli encoder ottici montati su entrambi gli assi equatoriali con una precisione teorica di pochi arcosecondi. Tuttavia, ad ogni puntamento, la posizione "vera" del Telescopio in cielo è del tutto differente da quella "apparente" ovvero quella a cui dovrebbe essere. Le ragioni di questa differenza tutt'altro che trascurabile sono diverse ed il fine di questo rapporto è quello di indagarne le origini costruendo un modello analitico che tenga conto delle distorsioni e delle irregolarità che gravano sulla montatura equatoriale del Telescopio. Per ottenere questo è necessario effettuare un numero sufficientemente elevato di puntamenti. Il numero di osservazioni effettuate è per ora esiguo ma sufficiente per avere una stima dei parametri principali di cui è costituito il modello.

## LA MONTATURA EQUATORIALE ZEISS

Per costruire Telescopi di dimensioni relativamente grandi e limitare il più possibile le flessioni meccaniche, intorno agli anni trenta era comune pensare di dotare una montatura equatoriale di robusti e pesanti assi (polare e di declinazione). Tuttavia questa idea presenta degli svantaggi come ad esempio le masse e gli attriti in gioco. Gli ingegneri della Zeiss svilupparono delle soluzioni tecniche che sono di natura opposta rispetto a quelle elencate pocanzi, ovvero anziché prevenire le flessioni essi si concentrarono su come neutralizzarle. Attriti e sollecitazioni vengono minimizzati notevolmente affidando il mantenimento dell'allineamento ed il sostegno del peso, dovuti ai diversi componenti dello strumento, a due ben distinte parti meccaniche.

Così l'asse polare e l'asse di declinazione sono "divisi" entrambi in modo che una parte (un asse esterno) garantisce l'allineamento meccanico ed il movimento fluido mentre un'altra (un asse interno) è solamente portatrice del peso della struttura. Nella figura1 è schematizzata la particolarità costruttiva dell'asse polare e di declinazione.

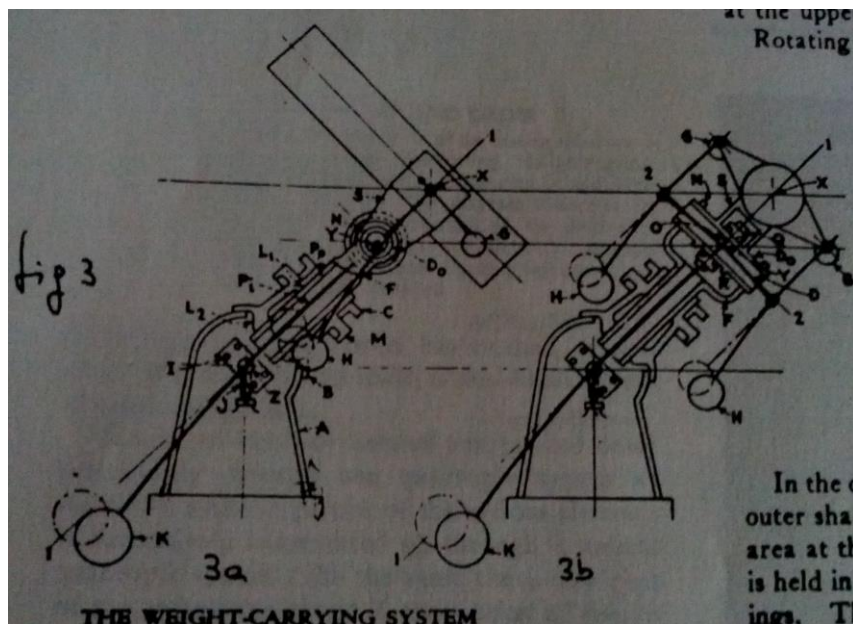


Fig.1

Per quanto riguarda l'asse polare, i due elementi coassiali che lo costituiscono non sono tra loro a contatto mentre per quello di declinazione essi hanno una zona di contatto in una piccola parte centrale (figura 2).

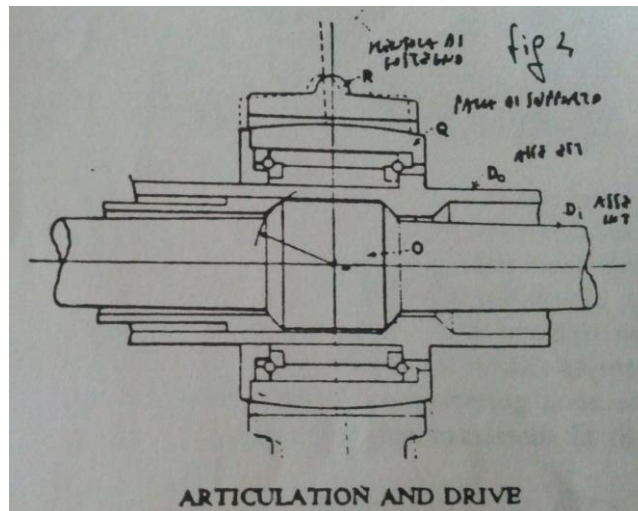


Fig. 2

Il peso del tubo ottico è sostenuto da una struttura rigida e saldamente connessa con l'asse di declinazione esterno. Le masse che gravano su questa struttura vengono assorbite da un sistema di leveraggio a cui sono collegati i contrappesi vicino al tubo stesso. Uno schema generico su come intervengono le leve ed i contrappesi è mostrato in figura 3.

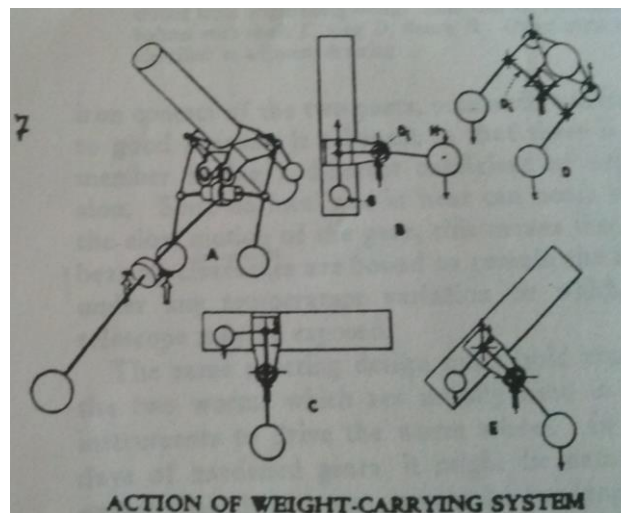


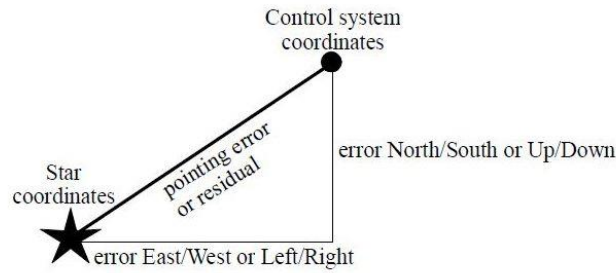
Fig. 3

In questo modo, la montatura è in grado di isolare e scaricare le sollecitazioni dovute al peso delle masse e liberare quelle parti meccaniche che sono dedicate al moto siderale attorno all'asse polare e all'asse di declinazione.

## IL MODELLO DI PUNTAMENTO

Nonostante gli ingegnosi accorgimenti meccanici sopra accennati, la precisione con cui il Telescopio è in grado di puntare un oggetto in cielo è attualmente insufficiente a tal punto che è necessario un secondo Telescopio a grande campo da usare come cercatore. Ora, sul piano focale è montata una camera CCD che inquadra in cielo un campo di circa 12'x12' che è estremamente piccolo rispetto alle basilari capacità dello strumento.

Costruire un modello di puntamento significa trovare una serie di parametri numerici che vanno aggiunti (col proprio segno) alle coordinate vere del telescopio (quelle direttamente lette dagli encoder). Per ottenere ciò è necessario effettuare una mappatura (puntamenti) di numerose stelle equamente distribuite in cielo. Una volta acquisite le misure si analizzano gli errori di puntamento, ovvero le differenze tra le coordinate vere dell'oggetto (quelle da catalogo) e le coordinate apparenti a cui effettivamente il telescopio sta puntando.



In generale, le principali sorgenti di errore sistematico nel puntamento di un Telescopio (in questo caso con montatura equatoriale a forcella) sono dovute sia a delle inaccurately meccaniche (giochi, flessioni del tubo ottico..) ed ottiche (disallineamenti e “mirror flop”). Ovviamente le fonti di errore non intrinseche alla montatura del Telescopio, come ad esempio la precessione (il cui valore massimo è circa 40’) e la rifrazione (circa 30’), sono presi in considerazione a priori all’interno del codice di puntamento numerico. L’analisi dei problemi esposti pocanzi, dopo aver acquisito una mappatura sufficientemente ampia (almeno 15, 20 stelle), è stata eseguita con il software TPOINT (<http://www.tpssoft.demon.co.uk/>) in grado di modellare analiticamente il problema. A priori possiamo aspettarci che il 60cm di Loiano non possa raggiungere precisioni dell’ordine dell’arcosecondo. Infatti la meccanica seppur fine risale comunque agli anni trenta quando il livello tecnologico era del tutto incomparabile con quello attuale. Per questa ragione abbiamo fissato come limite dell’analisi il solo studio dei termini geometrici disponibili nel software. D’altronde, il campo inquadrato dalla camera CCD in dotazione al Telescopio copre in cielo 12’x12’ e quindi l’obiettivo principale consiste nel cercare di avere un accuratezza che stia dentro questa quantità. Seguendo la notazione impostata da TPOINT, i termini geometrici (espressi in arcosecondi) che abbiamo studiato sono i seguenti:

ID	Offset encoder DEC
IH	Offset encoder HA
NP	Non perpendicol. tra HA e DEC
CH	Non perpendicol. Tra DEC e OTA
ME	Errore asse polare in elevazione
MA	Errore asse polare in azimuth
TF	Flessione del tubo ottico
FO	Flessione della forcella

ID, IH non sono in effetti termini geometrici ma sono gli “zeri” hardware degli encoder di declinazione (DEC) ed angolo orario (HA). Infatti può accadere che la calibrazione iniziale degli encoder possa essere imprecisa o cambiare nel tempo, per esempio a causa delle dilatazioni termiche. NP indica l’entità della non perpendicolarità tra gli assi di declinazione ed angolo orario (figura 4).

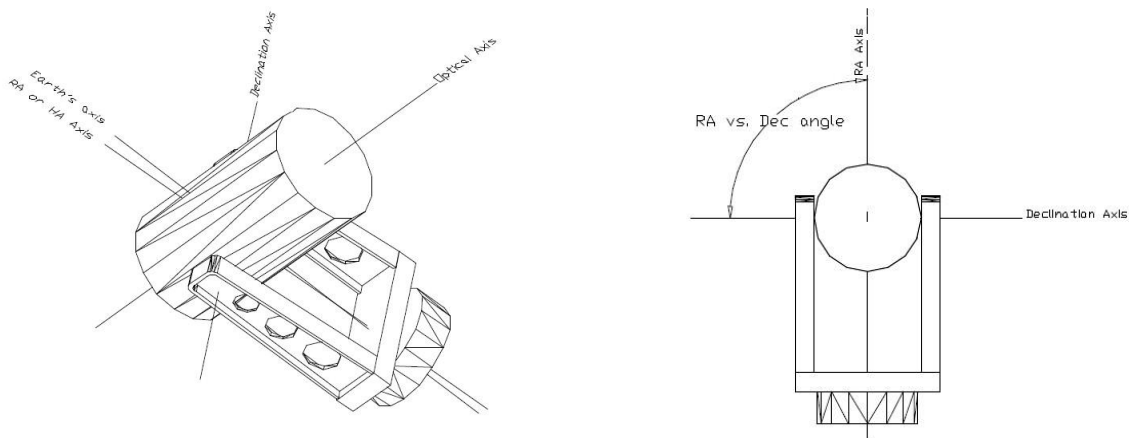


Fig. 4

La non perpendicolarità tra gli assi determina uno spostamento delle immagini  $\Delta h$  in senso EST-OVEST proporzionale a  $NP \cdot \tan(DEC)$  ed è zero all'equatore e massimo al polo celeste.

La non perpendicolarità tra l'asse di declinazione e l'asse ottico del Telescopio è parametrizzata dal parametro CH (figura 5).

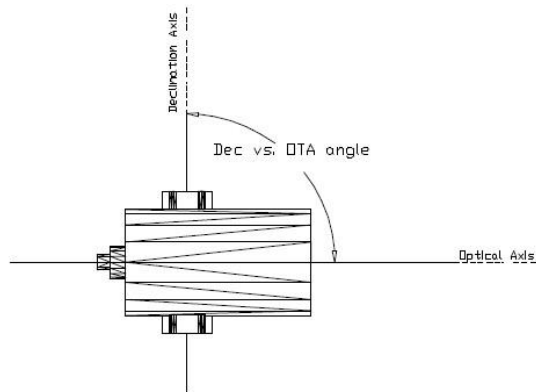


Fig. 5

La causa può essere dovuta ad un disallineamento delle ottiche o anche ad un disallineamento di uno strumento sul piano focale. Il risultato è uno spostamento  $\Delta h$  delle immagini in EST-OVEST con valore pari a  $CH \cdot \sec(DEC)$ . Errori di posizionamento dell'asse polare della montatura equatoriale rispetto al polo nord celeste vengono evidenziati dai parametri ME ed MA (figura 6).

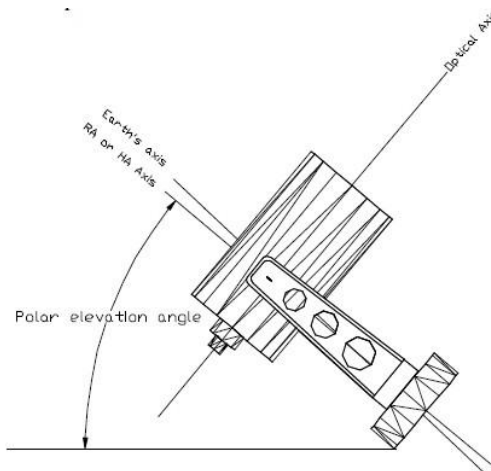


Fig. 6

Questi disallineamenti in elevazione ed azimuth hanno ognuno due componenti sia in angolo orario e sia in declinazione rispettivamente:  $(ME \cdot \sin(HA) \cdot \tan(DEC))$ ,  $(ME \cdot \cos(HA))$   $(-MA \cdot \cos(HA) \cdot \tan(DEC))$ ,  $(MA \cdot \sin(HA))$ .

Mentre la flessione di un tubo cilindrico che contiene elementi ottici è dovuta alla gravità e varia con la distanza zenitale. Scomponendo questo effetto nelle componenti di HA e DEC si usano rispettivamente le seguenti relazioni:

$$(TF \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(HA) \cdot \sec(DEC)) \quad (TF \cdot (\cos(\varphi) \cdot \cos(HA) \cdot \sin(DEC) - \sin(\varphi) \cdot \cos(DEC))$$

Infine il termine che descrive la flessione della montatura a forcella, che agisce solo sull'asse di declinazione  $\Delta \delta$  è esprimibile con  $FO \cdot \cos(HA)$ . La mappatura è stata eseguita su un campione di 20 stelle distribuite equamente in cielo. Per questo l'analisi effettuata con TPOINT è solo preliminare e mette in luce gli effetti di maggiore entità. Per un'analisi più fine, con cui si potranno applicare anche i termini armonici e di isteresi, è necessario estendere il campionamento a 50 o 100 stelle. Il risultato dei fit effettuati con TPOINT è visibile in figura 7 dove sono rappresentati i residui nella condizione senza (in alto) e con modello (in basso). La scelta dei parametri che sono stati scelti è stata valutata in base alla grandezza statistica PSD (population statistic distribution) che deve essere minimizzata. Nel nostro caso il modello migliore presenta i seguenti valori (espressi in arcosecondi):

IH	1295.98
ID	-379.4
ME	-23.75
TF	-129.67

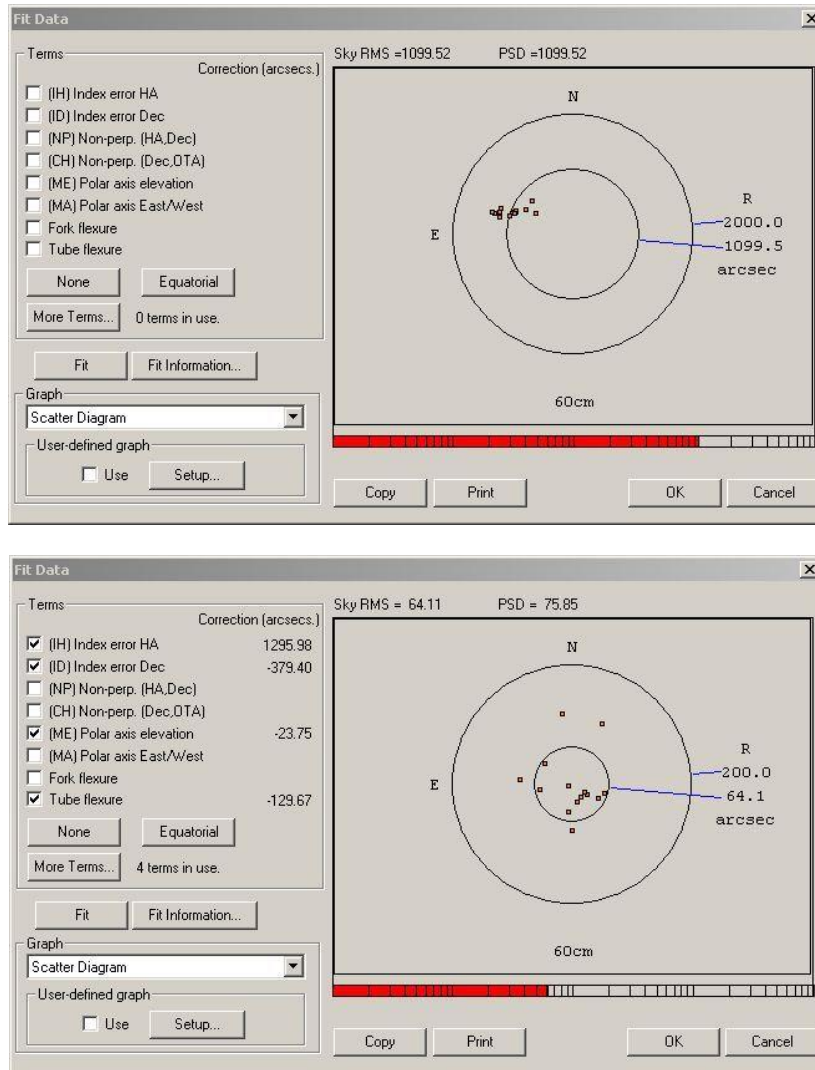


Fig. 7

Come si nota dalle figure, il cerchio di confusione prima del modello è di circa 1000" RMS mentre dopo l'accuratezza è di 64" RMS.

In particolare si vede come la correzione per gli "zeri" degli encoder (soprattutto in HA) contribuisce in modo deciso (in valore assoluto) a restringere la distribuzione dei residui. Qui vengono considerati anche l'errore dovuto al disallineamento dell'asse polare in elevazione ed alla flessione del tubo. Si nota anche come siano trascurabili gli effetti delle flessioni della forcella, del disallineamento polare in azimuth, del non parallelismo tra asse ottico ed asse di declinazione e della non perpendicolarità tra gli assi.

In figura 8 è messo in grafico l'andamento dell'errore in declinazione con la declinazione stessa. Bene si nota l'efficacia del modello ma rimane tuttavia un sospetto andamento periodico che potrà essere analizzato meglio solo aumentando il campionamento. Anche la compensazione sulle flessioni del tubo sono evidenti in figura 9 dove si deduce, in assenza del modello, come al crescere della declinazione l'errore in angolo orario tende a diminuire.

Con questo test iniziale si è compreso che le caratteristiche intrinseche del Telescopio sono facilmente modellabili analiticamente e che i risultati sono al momento ampiamente sopra le aspettative. Un maggiore campionamento oltre ad aumentare l'accuratezza dei termini geometrici che abbiamo preso in considerazione, ci permetterà di studiare la presenza di eventuali errori non ripetibili (come ad esempio spostamenti degli specchi o spostamenti dovuti a variazioni del fuoco ) introducendo i coefficienti di isteresi e di errori periodici dovuti ad eccentricità meccaniche.

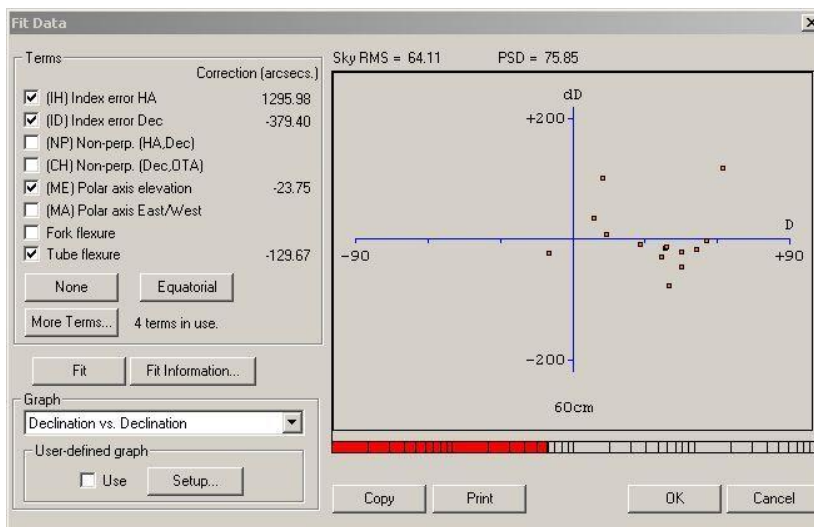
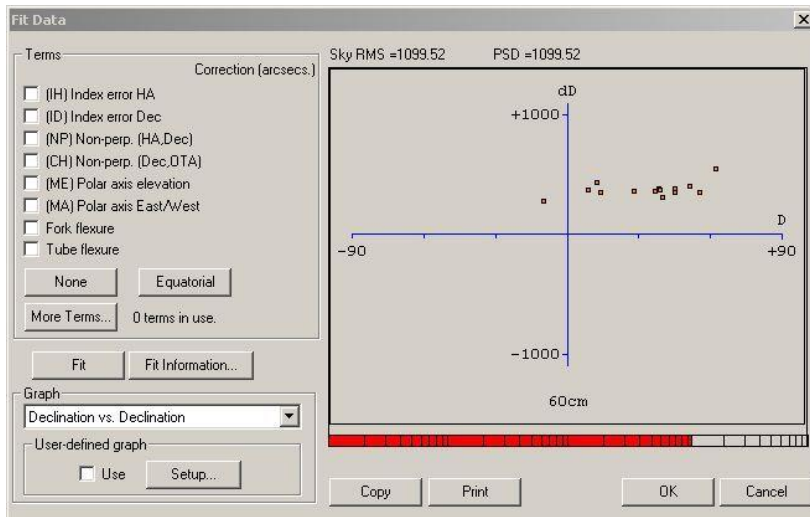
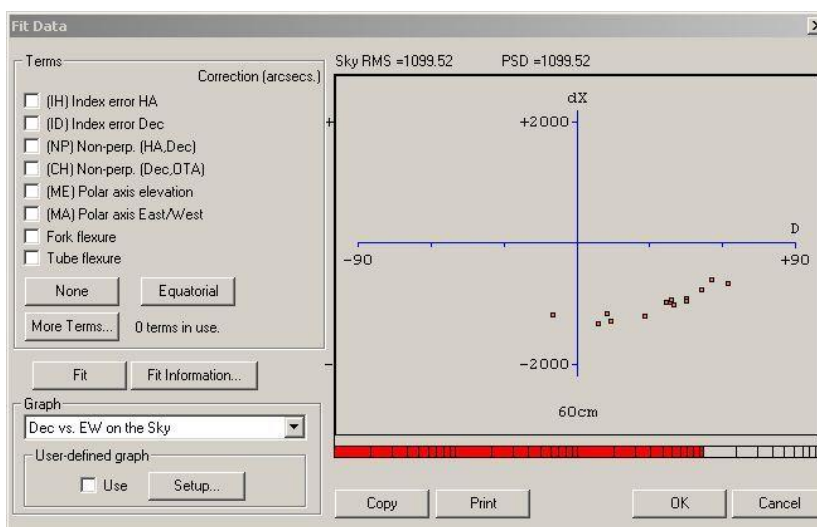


Fig. 8



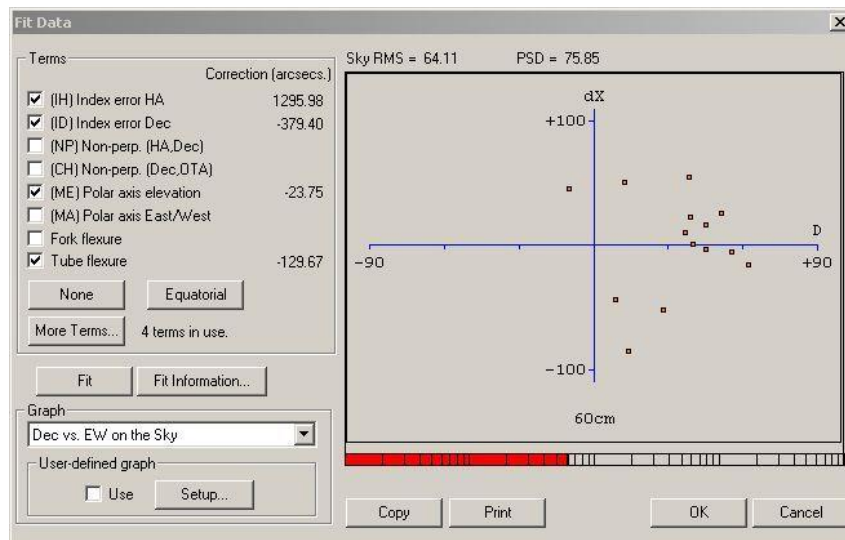


Fig. 9

## BIBLIOGRAFIA

1. "Microcomputer Control of Telescopes", Willmann Bell, 1985
2. TPOINT, User manual
3. "Heavy Telescope Design", Henry Simon, 1931