

CONTRIBUTI  
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE  
a cura del Direttore  
Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 250

---

ALESSANDRO MANARA

---

LA STRUMENTAZIONE DELL'OSSERVATORIO  
DI BRERA IN MILANO PER L'INSEGUIMENTO  
OTTICO DEI SATELLITI ARTIFICIALI

Estratto dai *Rendiconti* dell'Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere  
Classe di Scienze (A) - Vol. 100 - 1966

PAVIA  
Tipografia Successori Fusi



1966

CONTRIBUTI  
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE  
a cura del Direttore  
Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 250

---

ALESSANDRO MANARA

LA STRUMENTAZIONE DELL'OSSERVATORIO  
DI BRERA IN MILANO PER L'INSEGUIMENTO  
OTTICO DEI SATELLITI ARTIFICIALI

Estratto dai *Rendiconti* dell'Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere  
Classe di Scienze (A) - Vol. 100 - 1966

PAVIA  
Tipografia Successori Fusi



1966

LA STRUMENTAZIONE DELL'OSSERVATORIO DI BRERA  
IN MILANO  
PER L'INSEGUIMENTO OTTICO DEI SATELLITI ARTIFICIALI

Nota di ALESSANDRO MANARA

Presentata dal m. e. Francesco Zagar  
(Adunanza del 16 dicembre 1965)

---

SUMMARY. — The observation and the optical tracking of artificial satellites has begun at the Brera Observatory by the installation of the Askania Gigas theodolite. A description of the instrument, of the equipments and of the connections is followed by the explanation of the technique used for the reading and the recording of data. Then the correction made on the theodolite and the reductions of the observations are treated. Finally some troubles that have caused a delay in the setting of the instrument are enumerated.

### 1. - Descrizione dello strumento.

I normali teodoliti non si sono dimostrati molto adatti all'inseguimento ottico dei satelliti artificiali perchè con essi non si potevano ottenere osservazioni complete.

Il teodolite TPR secondo Gigas dell'Askania con la sua registrazione fotografica istantanea libera l'osservatore dalla routine delle manipolazioni e gli permette di concentrarsi nel puntare l'obiettivo. La lettura dei cerchi e della livella, comandati da un tasto del registratore fotografico, permette di eseguire serie di osservazioni ad intervalli di  $1/5$  sec. Sulle immagini del film vengono raffigurati i cerchi, azimutale e zenitale, la livella e un quadrante cronometrico.

Particolarmente interessante è la versione aggiornata del Gigas per l'inseguimento dei satelliti artificiali (fig. 1).

Questa nuova versione completa il teodolite originale con l'aggiunta di due telescopi di ricerca, di una piattaforma mobile e di due guide,

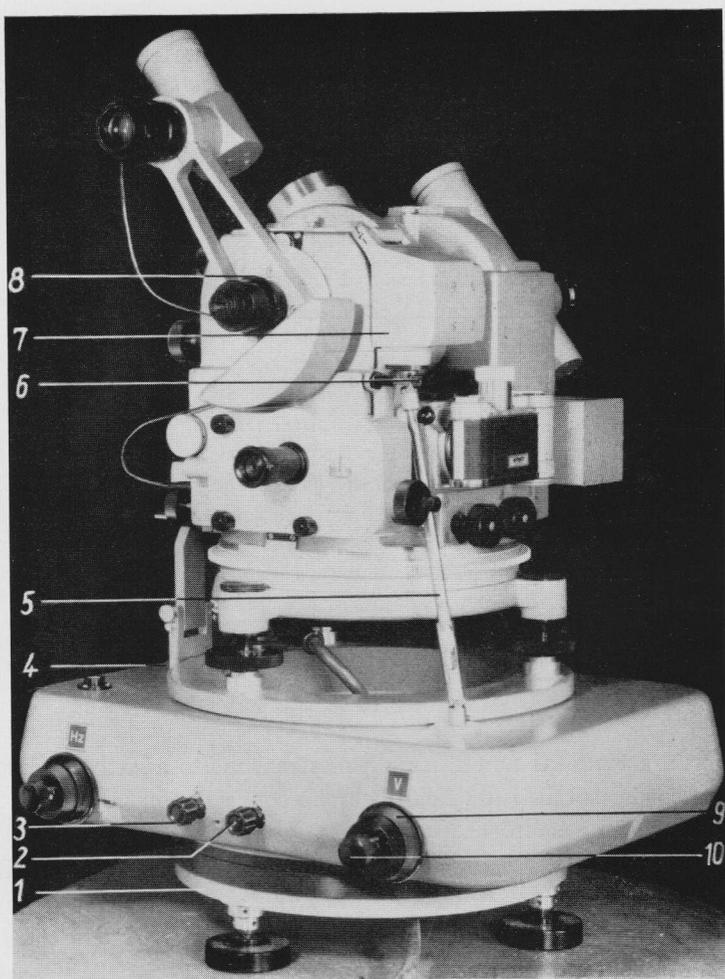


Fig. 1. — Lo strumento per l'inseguimento ottico dei satelliti artificiali.

1. base; 2. potenziometro di regolazione per l'altezza; 3. potenziometro di regolazione per l'azimut; 4. piattaforma ruotante; 5. giunto per l'altezza; 6. viti di regolazione per l'altezza; 7. meccanismo dentato per l'altezza; 8. anello zigriato per il reticolo; 9. regolatore di velocità; 10. regolatore di spostamento.

comandate da due motori, che possono variare la velocità dello strumento sia orizzontalmente che verticalmente. Sulla piattaforma, aggiunta in questa nuova versione, sono poste le manopole di controllo e le leve del meccanismo per l'inseguimento. Le manopole della velocità permettono di cambiare la velocità d'inseguimento da un massimo negativo a un massimo positivo. Concentriche alle manopole di controllo di velocità sono quelle di spostamento in azimuth e in altezza, che operano nello stesso modo dei convenzionali guidatori a movimento lento. La disposizione delle manopole è tale che entrambi i movimenti (spostamento e velocità) possono essere controllati da uno o due osservatori.

## 2. - Generalità sull'apparecchiatura e sui collegamenti.

All'Osservatorio Astronomico di Brera è stato recentemente installato un teodolite di precisione TPR, secondo Gigas, della ditta Askania, munito di apparecchiatura per l'inseguimento ottico dei satelliti artificiali.

Le caratteristiche ottiche dello strumento sono:

|              | Diametro | Focale  | Campo  | Ingrandi-<br>mento | Puntata |
|--------------|----------|---------|--------|--------------------|---------|
| Cannocchiale | 63 mm    | 50 cm   | 1° 22' | 63 X               | 0'',2   |
| Cercatori    | 50 mm    | 16,8 cm | 9°     | 7 X                |         |

Inoltre questo tipo di apparecchiatura si differenzia dai precedenti per la presenza di un dispositivo incorporato per la ripresa fotografica dei valori delle coordinate azimutali e dell'istante del passaggio dei satelliti artificiali e per una piattaforma girevole, munita di due motori, che imprimono al cannocchiale un moto rotatorio libero, orizzontale e verticale, permettendo così l'inseguimento automatico degli oggetti puntati. La precisione delle letture ai cerchi graduati è di 0'',2.

La misura del tempo di osservazione è fornita dal locale Centro di Cronometria con una precisione di  $10^{-4}$  sec. I segnali vengono inviati (fig. 2) ad un cronografo, tipo Wetzer, con alimentatore incorporato, a quattro punte, delle quali ne vengono utilizzate soltanto due.

La velocità di scorrimento della carta del cronografo è di 1 cm/sec.

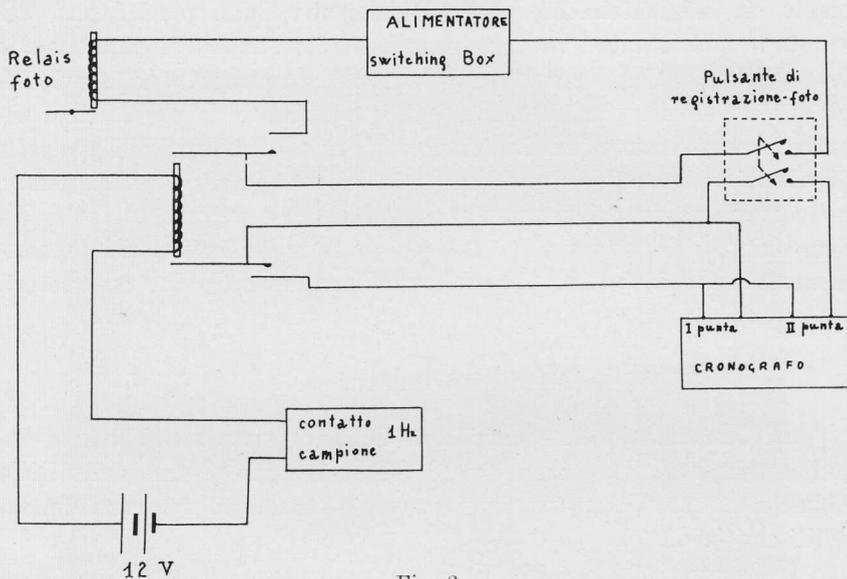


Fig. 2.

### 3. - Registrazione fotografica dei dati.

La ripresa fotografica dei cerchi è comandata da un relais a due contatti (fig. 2) che fa scattare una macchina fotografica,  $24 \times 24$  mm, tipo Robot, con la frequenza di un fotogramma al secondo (fig. 3). Tale circuito è stato recentemente modificato per aumentare ulteriormente la precisione nella determinazione del tempo.

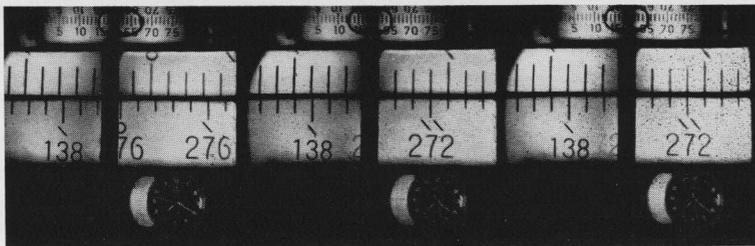


Fig. 3.

Il materiale sensibile varia a seconda della velocità angolare dei satelliti. Per quelli che si muovono con moto rapidissimo è necessario l'uso di emulsioni ultrarapide, come ad esempio Kodak Royal-X Pan (33 DIN-1600 ASA) che danno la possibilità di avere pose estremamente brevi di  $1/500$  sec.; per quelli invece che si spostano con moto rapido viene usato materiale ad alta sensibilità, come le pellicole Kodak TRI-X PAN (27 DIN-400 ASA) con tempo di posa  $1/250$  sec.; infine, per oggetti più lenti si usa materiale meno sensibile, come ad esempio la pellicola Ferrania P 33 (23 DIN-160 ASA) con  $1/100$  sec..

Comunque a titolo orientativo si fornisce la seguente tabella che dà il tempo di esposizione in funzione della sensibilità della pellicola.

| Sensibilità della pellicola (DIN) | 17     | 20     | 23      | 27      | 33      |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Tempo di esposizione              | $1/25$ | $1/50$ | $1/100$ | $1/250$ | $1/500$ |

Poichè, a causa del tempo di esposizione e della velocità angolare dello strumento, si ha una variazione nell'ampiezza delle linee di divisione impresse sul film, occorre tenerne conto nella riduzione delle osservazioni, almeno quando i valori del tempo di esposizione e della velocità angolare dello strumento siano compresi tra quelli indicati nella tabella che segue:

*Fattori di correzione alla larghezza delle divisioni*

| Tempo di Esposizione | Velocità angolare in °/min. |     |     |     |     |
|----------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                      | 20                          | 50  | 100 | 200 | 300 |
| $1/50$               | 2.2                         | 4   | 7   | 13  | 19  |
| $1/100$              | —                           | 2.5 | 4   | 7   | 10  |
| $1/250$              | —                           | —   | 2.2 | 3.4 | 4.6 |
| $1/500$              | —                           | —   | —   | 2.2 | 2.8 |

#### 4. - Rettifica dello strumento.

Le operazioni di rettifica sono state le seguenti:

- a) Livellazione dello strumento - Poichè lo strumento ha sei viti di regolazione (tre per il teodolite vero e proprio e tre per la piastrina mobile) si è dovuto procedere ad una doppia livellazione.
- b) Messa a punto del cerchio di altezza (automatico).
- c) Collimazione dell'asse ottico del canocchiale mediante osservazioni di stelle e di una mira luminosa sufficientemente lontana.
- d) Verifica per la parallasse dei fili del reticolo.
- e) Verifica della flessione del canocchiale, usando il metodo del Forni. Detta verifica però ha dato degli errori trascurabili data la lunghezza e il peso del canocchiale.
- f) Verifica della graduazione ed eccentricità dei cerchi.
- g) Verifica degli errori strumentali a mezzo osservazioni di stelle.

#### 5. - Lettura dei dati.

Per il prelievo dei dati dal film si dispone di un particolare lettore (accessorio al Gigas) munito di micrometro analogo a quello del teodolite. Le letture vengono fatte mediante il metodo delle coincidenze, e quindi come se fossero fatte direttamente al teodolite (naturalmente la lettura diretta di una posizione non corrisponde alla registrazione fotografica della stessa posizione in quanto bisogna considerare il tempo di scatto e la contrazione del film).

La possibilità di usare due coincidenze adiacenti permette prontamente di neutralizzare in parte gli effetti dannosi della contrazione del film. Il lettore del film è adatto per una contrazione media; le variazioni nella contrazione del film determinano la differenza tra entrambe le letture del micrometro deviandole da  $\pm 1'$ .

Se si indica con  $a$  il valore della prima coincidenza e con  $b$  quello della seconda, dalla tabella che segue, si hanno le correzioni corrispondenti a questi valori.

Ogniquale volta  $(b - a) < 1'$  la correzione contenuta nella tabella è additiva; se  $(b - a) > 1'$  la correzione è sottrattiva.

A titolo di esempio si riporta lo schema di calcolo usato per la determinazione dello zero strumentale con le correzioni dovute alla contrazione del film e alla inclinazione dell'asse verticale.

La stessa tabella può essere usata per le correzioni delle letture al micrometro.

## 6. - Riduzione delle osservazioni.

Per il calcolo delle coordinate reali dei satelliti artificiali, come del resto per qualsiasi oggetto celeste, occorre tener conto della rifrazione astronomica e della aberrazione.

a) Rifrazione astronomica: l'effetto di rifrazione astronomica produce una variazione sulla distanza zenitale determinata dalla seguente relazione di Smart:

$$\Delta z_{\infty} = \bar{R} n_0 \sin z \int_1^{n_0} \frac{dn}{n (r^2 n^2 - \bar{R}^2 n_0^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

dove:

$\bar{R}$  = raggio medio della Terra (6370 Km)

$n_0$  = indice di rifrazione nello strato atmosferico più vicino alla Terra

$n$  = indice di rifrazione alla distanza  $r$  dal centro della Terra

$z$  = distanza zenitale

$\Delta z_{\infty}$  = angolo di rifrazione astronomica.

I limiti di integrazione sono  $n_0$  sulla superficie della Terra e l'unità allo strato più alto.

Tale formula è applicabile solo per satelliti al di fuori dell'atmosfera terrestre.

Lo stato attuale delle nostre conoscenze sull'atmosfera non permette di ottenere una relazione esatta tra le due variabili  $n$  e  $r$ ; per tali motivi per discutere l'equazione (1) bisogna ricorrere ai normali sviluppi in serie. La convergenza delle serie determina il limite più alto di  $z$  per il quale la formula è ancora applicabile.

Tavola di correzione per contrazione del film.

Valori di  $\Delta(a+b)$  (in secondi di arco) col segno appropriato

| +<br>b—a |     | a+b   |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        | —<br>b—a |     |     |        |        |        |        |        |
|----------|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|-----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
|          |     | 1' 0" | 1' 5" | 1' 10" | 1' 15" | 1' 20" | 1' 25" | 1' 30" | 1' 35" | 1' 40" | 1' 45" | 1' 50" | 1' 55" | 2' 0" | 2' 5" | 2' 10" | 2' 15" | 2' 20" | 2' 25" |          |     |     | 2' 30" | 2' 35" | 2' 40" | 2' 45" | 2' 50" |
| 1'00",0  | 0   | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        | 0   | 0   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 0'59",9  | 0,1 | 0,1   | 0,1   | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2   | 0,2   | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2      | 0,2 | 0,3 | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    |
| 0'59",8  | 0,2 | 0,2   | 0,2   | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4   | 0,4   | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,5    | 0,5      | 0,5 | 0,5 | 0,5    | 0,6    | 0,6    | 0,6    | 0,6    |
| 0'59",7  | 0,3 | 0,3   | 0,4   | 0,4    | 0,4    | 0,5    | 0,5    | 0,5    | 0,5    | 0,5    | 0,6    | 0,6    | 0,6    | 0,6   | 0,6   | 0,6    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7      | 0,8 | 0,8 | 0,8    | 0,8    | 0,8    | 0,9    | 0,9    |
| 0'59",6  | 0,4 | 0,4   | 0,5   | 0,5    | 0,6    | 0,6    | 0,6    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,8    | 0,8    | 0,8   | 0,9   | 0,9    | 0,9    | 0,9    | 1,0    | 1,0      | 1,0 | 1,0 | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,2    |
| 0'59",5  | 0,5 | 0,5   | 0,6   | 0,6    | 0,7    | 0,7    | 0,8    | 0,8    | 0,9    | 0,9    | 1,0    | 1,0    | 1,0    | 1,1   | 1,1   | 1,1    | 1,1    | 1,2    | 1,2    | 1,2      | 1,2 | 1,3 | 1,3    | 1,4    | 1,4    | 1,5    | 1,5    |
| 0'59",4  | 0,6 | 0,6   | 0,7   | 0,8    | 0,8    | 0,9    | 0,9    | 1,0    | 1,0    | 1,1    | 1,1    | 1,2    | 1,2    | 1,2   | 1,3   | 1,3    | 1,4    | 1,4    | 1,4    | 1,5      | 1,5 | 1,6 | 1,6    | 1,6    | 1,7    | 1,8    | 1,8    |
| 0'59",3  | 0,7 | 0,8   | 0,8   | 0,9    | 0,9    | 1,0    | 1,0    | 1,1    | 1,1    | 1,2    | 1,2    | 1,3    | 1,3    | 1,4   | 1,5   | 1,5    | 1,6    | 1,6    | 1,7    | 1,8      | 1,8 | 1,9 | 1,9    | 1,9    | 2,0    | 2,0    | 2,1    |
| 0'59",2  | 0,8 | 0,9   | 0,9   | 1,0    | 1,1    | 1,1    | 1,2    | 1,3    | 1,3    | 1,4    | 1,5    | 1,5    | 1,6    | 1,7   | 1,7   | 1,8    | 1,9    | 1,9    | 2,0    | 2,1      | 2,1 | 2,2 | 2,2    | 2,3    | 2,3    | 2,4    | 2,4    |
| 0'59",1  | 0,9 | 1,0   | 1,1   | 1,1    | 1,2    | 1,3    | 1,4    | 1,5    | 1,6    | 1,6    | 1,7    | 1,8    | 1,8    | 1,9   | 2,0   | 2,0    | 2,1    | 2,1    | 2,2    | 2,3      | 2,4 | 2,4 | 2,5    | 2,6    | 2,6    | 2,7    | 2,7    |
| 0'59",0  | 1,0 | 1,1   | 1,2   | 1,2    | 1,3    | 1,4    | 1,5    | 1,6    | 1,7    | 1,8    | 1,8    | 1,9    | 2,0    | 2,1   | 2,1   | 2,2    | 2,2    | 2,3    | 2,4    | 2,5      | 2,6 | 2,6 | 2,7    | 2,8    | 2,8    | 2,9    | 3,0    |
| 0'58",9  | 1,1 | 1,2   | 1,3   | 1,4    | 1,5    | 1,6    | 1,7    | 1,8    | 1,9    | 2,0    | 2,1    | 2,2    | 2,3    | 2,4   | 2,5   | 2,6    | 2,7    | 2,8    | 2,9    | 3,0      | 3,1 | 3,2 | 3,3    | 3,4    | 3,5    | 3,6    | 3,6    |
| 0'58",8  | 1,2 | 1,3   | 1,4   | 1,5    | 1,6    | 1,7    | 1,8    | 1,9    | 2,0    | 2,1    | 2,2    | 2,3    | 2,4    | 2,5   | 2,6   | 2,7    | 2,8    | 2,9    | 3,0    | 3,1      | 3,2 | 3,3 | 3,4    | 3,5    | 3,6    | 3,7    | 3,9    |
| 0'58",7  | 1,3 | 1,4   | 1,5   | 1,6    | 1,7    | 1,8    | 2,0    | 2,1    | 2,2    | 2,3    | 2,4    | 2,5    | 2,6    | 2,7   | 2,8   | 2,9    | 3,0    | 3,1    | 3,2    | 3,3      | 3,4 | 3,5 | 3,6    | 3,7    | 3,8    | 4,0    | 4,1    |
| 0'58",6  | 1,4 | 1,5   | 1,6   | 1,8    | 1,9    | 2,0    | 2,1    | 2,2    | 2,4    | 2,5    | 2,6    | 2,8    | 2,9    | 3,0   | 3,1   | 3,2    | 3,4    | 3,5    | 3,6    | 3,8      | 3,9 | 4,0 | 4,1    | 4,2    | 4,4    | 4,4    | 4,5    |
| 0'58",5  | 1,5 | 1,6   | 1,8   | 1,9    | 2,0    | 2,1    | 2,2    | 2,4    | 2,5    | 2,7    | 2,8    | 2,9    | 3,1    | 3,2   | 3,3   | 3,4    | 3,5    | 3,6    | 3,8    | 4,0      | 4,1 | 4,2 | 4,4    | 4,4    | 4,5    | 4,7    | 4,8    |
| 0'58",4  | 1,6 | 1,7   | 1,9   | 2,0    | 2,1    | 2,3    | 2,4    | 2,5    | 2,7    | 2,8    | 2,9    | 3,1    | 3,2    | 3,3   | 3,5   | 3,6    | 3,7    | 3,9    | 4,0    | 4,1      | 4,2 | 4,4 | 4,4    | 4,5    | 4,7    | 4,8    | 5,1    |
| 0'58",3  | 1,7 | 1,8   | 2,0   | 2,1    | 2,3    | 2,4    | 2,5    | 2,7    | 2,8    | 3,0    | 3,1    | 3,3    | 3,4    | 3,5   | 3,7   | 3,8    | 4,0    | 4,1    | 4,2    | 4,4      | 4,5 | 4,6 | 4,8    | 4,8    | 5,0    | 5,1    | 5,2    |
| 0'58",2  | 1,8 | 2,0   | 2,1   | 2,2    | 2,4    | 2,5    | 2,7    | 2,8    | 3,0    | 3,1    | 3,3    | 3,5    | 3,6    | 3,8   | 3,9   | 4,0    | 4,2    | 4,4    | 4,5    | 4,6      | 4,8 | 4,9 | 5,1    | 5,1    | 5,2    | 5,4    | 5,4    |
| 0'58",1  | 1,9 | 2,1   | 2,2   | 2,4    | 2,5    | 2,7    | 2,8    | 3,0    | 3,2    | 3,3    | 3,5    | 3,6    | 3,8    | 4,0   | 4,1   | 4,3    | 4,4    | 4,6    | 4,8    | 4,9      | 5,1 | 5,2 | 5,4    | 5,4    | 5,5    | 5,7    | 5,7    |
| 0'58",0  | 2,0 | 2,2   | 2,3   | 2,5    | 2,7    | 2,8    | 3,0    | 3,2    | 3,3    | 3,5    | 3,7    | 3,8    | 4,0    | 4,2   | 4,3   | 4,5    | 4,7    | 4,8    | 5,0    | 5,2      | 5,2 | 5,5 | 5,5    | 5,7    | 5,8    | 6,0    | 6,0    |

*Determinazione dello zero strumentale con correzione  
per la contrazione del film (AZIMUT)*

|                         |                  |           |                            |
|-------------------------|------------------|-----------|----------------------------|
| Lettura a               | 359° 31'         | 0' 30",5  | 1 <sup>a</sup> coincidenza |
| Lettura b               | 359° 30'         | 1' 30",40 | 2 <sup>a</sup> coincidenza |
| b — a                   | —                | 59",9     |                            |
| a + b                   | 359° 61'         | 2' 00",9  |                            |
|                         | $\Delta (a + b)$ | 0",2      | dalla tabella              |
| Valore totale ( $y_1$ ) | 360° 3' 1",1     | 2' 1",1   |                            |
| Lettura a               | 179° 31'         | 44",2     | 1 <sup>a</sup> coincidenza |
| Lettura b               | 179° 30'         | 1' 43",2  | 2 <sup>a</sup> coincidenza |
| b — a                   | —                | 0' 59",0  |                            |
| a + b                   | 179° 61'         | 2' 27",4  |                            |
|                         | $\Delta (a + b)$ | 2",4      | dalla tabella              |
| Valore totale ( $y_2$ ) | 180° 60' 28",8   | 2' 29",8  |                            |

Dalla formula:

$$A = A' - \frac{y_1 + (y_2 - 180^\circ)}{2}$$

dove  $A$  = azimut dello zero del cerchio orizzontale;

$A'$  = angolo tra la mira e il meridiano dell'osservatore.

si ha:

$$A = -3' 12",65$$

*Determinazione dello zero strumentale  
con correzione per la contrazione del film e livella (ZENIT)*

|                          |                  |           |                            |
|--------------------------|------------------|-----------|----------------------------|
| Lettura a                | 89° 34'          | 0' 0'',1  | 1 <sup>a</sup> coincidenza |
| Lettura b                | 89° 33'          | 1' 0'',6  | 2 <sup>a</sup> coincidenza |
| b — a                    | —                | 1' 0'',5  |                            |
| a + b                    | 89° 67'          | 1' 0'',7  |                            |
|                          | $\Delta (a + b)$ | 0'',5     | dalla tabella              |
| Valore totale ( $l'_d$ ) | 90° 08' 0'',2    | 1' 0'',2  |                            |
| Lettura a                | 272° 17'         | 14'',1    | 1 <sup>a</sup> coincidenza |
| Lettura b                | 272° 16'         | 1' 13'',6 | 2 <sup>a</sup> coincidenza |
| b — a                    | —                | 59'',5    |                            |
| a + b                    | 272° 33'         | 1' 27'',7 |                            |
|                          | $\Delta (a + b)$ | 0'',8     | dalla tabella              |
| Valore totale ( $l'_s$ ) | 272° 34' 28'',5  | 1' 28'',5 |                            |

Dalla formula :

$$u = 180^\circ - \frac{1}{2} (l'_d + l'_s) - \frac{\alpha}{4} [(s + d) + (s_1 + d_1)]$$

dove  $u$  = distanza zenitale dello zero del cerchio verticale ;

$\alpha$  = sensibilità della livella ;

$s, d$  e  $s_1, d_1$  = letture della livella nelle due puntate ;

si ha :

$$u = -1^\circ 21' 53'',85$$

Per satelliti artificiali che si trovano nell'atmosfera terrestre l'angolo di rifrazione è:

$$\Delta z = \Delta z_{\infty} - \Sigma$$

dove  $\Sigma$  è la rifrazione differenziale.

La più recente formula per il valore di  $\Sigma$  è quella di Helmut Schmid <sup>(1)</sup>:

$$\Sigma = \frac{\rho s \Delta z_{\infty}}{r^* \left[ 1 - \frac{r^* \operatorname{tg} z}{12,500,000} \right] - H_p}$$

$\rho$  = distanza dell'osservatore dal centro della Terra ( $\bar{R} + H_p$ ).

$H_p$  = raggio reale della Terra dove si trova l'osservatore meno raggio medio della Terra ( $\rho - \bar{R}$ ).

$r^*$  = distanza del satellite dal centro della Terra.

$$s = \frac{\mathcal{R} T_0}{R},$$

$\mathcal{R}$  = costante assoluta dei gas.

$$T_0 = 273,16 \text{ K}^\circ.$$

La seguente tabella (Ivan Mueller <sup>(1)</sup>) riassume i risultati delle relazioni precedenti per la correzione di rifrazione fuori (2<sup>a</sup> colonna) e dentro l'atmosfera (3<sup>a</sup>-5<sup>a</sup> colonna) per un'atmosfera normale:

| $z$ | $\Delta z_{\infty}^m$ | Altezza sul suolo |        |         |
|-----|-----------------------|-------------------|--------|---------|
|     |                       | 100 km            | 300 km | 1000 km |
| 0°  | 0",00                 | 0",00             | 0",00  | 0",00   |
| 15° | 15,62                 | 14,38             | 15,21  | 15,49   |
| 30° | 32,65                 | 30,97             | 32,75  | 33,38   |
| 45° | 58,22                 | 53,55             | 56,64  | 57,72   |
| 60° | 100,62                | 92,42             | 97,77  | 99,66   |
| 75° | 214,09                | 195,12            | 208,88 | 211,26  |

<sup>(1)</sup> I. I. MUELLER, *Introduction to Satellite Geodesy*. New York 1964.

Dalla tabella si può vedere che per osservazioni visuali si può sempre usare (per una precisione di soli 20'') l'angolo di rifrazione astronomica eccetto che per satelliti con  $r^* < 100$  km e  $z > 60^\circ$  dove bisogna applicare senz'altro la correzione differenziale.

Per una precisione maggiore bisogna invece tenere presente la tabella completa.

Se si vuole dare la correzione alle coordinate equatoriali allora le correzioni da applicare sono le seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \alpha_r = - \Delta z \sec \delta^* \sin C \\ \Delta \delta_r = - \Delta z \cos C \end{array} \right.$$

$\delta^*$  è la declinazione osservata.

$C =$  angolo parallattico (cioè angolo polo-satellite-zenit)

dove

$$\cos C = \frac{\sin \varphi' - \sin \delta^* \cos z}{\cos \delta^* \sin z}.$$

con  $\varphi'$  latitudine geocentrica dell'osservatore.

Se il satellite è in meridiano ( $C = 0$ ) l'ascensione retta non è influenzata dalla rifrazione atmosferica.

b) Aberrazione: dato che le correzioni per l'aberrazione nelle coordinate dei satelliti artificiali, osservati visualmente, sono dell'ordine di pochi secondi d'arco, normalmente vengono trascurate.

## 7. - Inconvenienti.

Nella messa a punto del Gigas si è verificato qualche lieve inconveniente dello strumento stesso. Ad un certo momento delle prove è avvenuto lo scollamento di due prismi dalla loro sede con conseguente scomparsa nel micrometro della lettura del cerchio orizzontale. Per riparare a questo inconveniente si è dovuto smontare la parte fissa dello strumento (il teodolite) e incollare più accuratamente, di quanto era stato fatto, i prismi al loro posto; (il che è stato realizzato dopo avere interpretato il cammino ottico dei raggi nello strumento, avendo la casa costruttrice fornito lo schema ottico dello strumento). Questo lavoro è stato reso necessario anche perchè i numeri del cerchio verticale nel-

l'oculare del micrometro non apparivano essendosi trovate delle regolazioni sbagliate nella posizione del prisma facente capo alla lettura di detto cerchio.

Inoltre sono state eliminate delle imperfezioni nelle saldature che avevano determinato interruzioni di corrente in alcune parti dello strumento (scatto macchina fotografica, lampadine cannocchiale, motorino per moto orizzontale). Infine si è riscontrato un cattivo funzionamento del potenziometro della velocità per cui si è dovuto smontare la piattaforma mobile per la opportuna regolazione.

Attualmente lo strumento è in perfetto funzionamento ed è stata già iniziata la serie di osservazioni di satelliti artificiali, passanti sull'orizzonte di Milano, fino alla 4<sup>a</sup>-5<sup>a</sup> grandezza.

---