

62

CONTRIBUTI  
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE

a cura del Direttore

Prof. FRANCESCO ZAGAR

**NUOVA SERIE**

**N. 247**

---

EDOARDO PROVERBIO

AMPLIFICATEUR DE TEMPS ET DISPOSITIFS  
DE COMPARAISON DES PENDULES ASTRONOMIQUES  
DE PRECISION TRES ELEVEE

Estratto dal «Bulletin Annuel de la Société Suisse de Chronometrie»

Vol. VI - 1965

**CONTRIBUTI**  
**DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE**

a cura del Direttore

Prof. FRANCESCO ZAGAR

**NUOVA SERIE**

**N. 247**

---

**EDOARDO PROVERBIO**

**AMPLIFICATEUR DE TEMPS ET DISPOSITIFS**  
**DE COMPARAISON DES PENDULES ASTRONOMIQUES**  
**DE PRECISION TRES ELEVEE**

Estratto dal «Bulletin Annuel de la Société Suisse de Chronometrie»

Vol. VI - 1965

# Amplificateur de temps et dispositifs de comparaison des pendules astronomiques de précision très élevée

*Communication de M. Edoardo Proverbio, Observatoire astronomique de Brera, Milan  
(présentée par M. Moïse Nacawa)*

Résumé. — *L'utilisation des pendules astronomiques de précision très élevée n'a pas perdu d'intérêt après l'introduction des horloges à quartz dans le problème de la détermination et de la conservation du temps.*

*Au contraire, la solution de cet important problème a permis de nouvelles et importantes applications des pendules verticales de très grande précision (Shortt ou Riefler) à l'étude des variations de la pesanteur.*

*Le problème de l'enregistrement continu de la durée de la seconde sur chronographe peut être résolu au moyen d'un amplificateur de temps.*

*Le dispositif construit à l'Observatoire de Brera pour l'étude des marées terrestres permet l'enregistrement simultané de trois pendules Riefler avec une précision de mesure supérieure à un dix-millième de seconde.*

1. On sait à présent que les problèmes relatifs à la conservation du temps et aux recherches qui dépendent de la rotation de la terre, demandent l'emploi d'horloges à quartz de précision très élevée et d'horloges atomiques. Ces dernières peuvent actuellement garantir une échelle de temps d'une durée très étendue avec une précision relative de  $10^{-10}$  à  $10^{-11}$ . Ces précisions sont sans doute supérieures aux précisions des observations astronomiques actuelles ( $10^{-8}$  à  $10^{-9}$ ) et aux amplitudes des phénomènes astronomiques et géophysiques que ces dernières sont susceptibles de mettre en évidence.

Dans ce domaine, l'emploi des pendules astronomiques a désormais perdu tout intérêt : d'abord pour les difficultés techniques de garantir une échelle uniforme de temps de durée comparable à l'échelle fournie par les horloges à quartz et atomiques, ensuite le principe même sur lequel est fondé le fonctionnement de la pendule introduit dans l'échelle de temps des oscillations périodiques et irrégulières liées aux phénomènes correspondants de la variation de la pesanteur, dont l'ordre de grandeur peut se situer entre  $10^8$  et  $10^{10}$ .

Et c'est surtout ce fait qui constitue la limite insurpassable de la précision des pendules astronomiques.

En revanche, en disposant d'une échelle de temps uniforme, cette circonstance peut permettre l'emploi de pendules astronomiques de précision très élevée dans l'étude des phénomènes qui sont à la base des variations locales de la pesanteur, en particulier dans l'étude des marées terrestres.

Des recherches de ce genre ont déjà été effectuées avec des résultats positifs par le « Bureau international de l'heure » (1) et par d'autres chercheurs.

Etant donné que l'existence de petites variations de la pesanteur dues aux marées terrestres détermine, dans la marche diurne des pendules astronomiques, des variations périodiques de l'ordre de quelques  $\pm 10^{-4}$  s, il est évident que, à part la sensibilité et la précision de l'équipement pendulaire, la sensibilité de l'équipement d'enregistrement de ces variations doit être d'une précision supérieure à  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  s.

Les systèmes d'enregistrement qui peuvent être, en théorie, employés dans ce but, sont :

- (a) comparateurs électroniques basés sur l'emploi de compteurs décadiques ;
- (b) chronocomparateurs électromécaniques imprimants ;
- (c) chronographes à cylindre.

Le choix de l'une de ces méthodes doit tenir compte d'une exigence particulière, caractéristique à ces mesures, c'est-à-dire le fait qu'elles doivent être effectuées périodiquement dans le délai d'un ou de plusieurs mois, et si possible avec une fréquence très élevée.

A ce propos, comme ordre de grandeur, il faut souligner que les fréquences d'enregistrement utilisées varient d'une chaque heure à une chaque minute, avec la tendance d'atteindre l'enregistrement continu du phénomène.

D'après ces caractéristiques, on arrive à la conclusion que, en excluant l'emploi de chronocomparateurs imprimants dont les meilleurs garantissent actuellement au maximum  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  s, les solutions les plus satisfaisantes sont :

- (a) emploi de comparateurs électroniques travaillant avec des dispositifs d'enregistrement à bande perforée, avec utilisation d'ordinateurs électroniques chargés de dépouiller et aussi d'analyser les données ;
- (b) emploi de chronographes à cylindre à enregistrement continu, combinés avec des dispositifs d'amplification du temps qui permettent l'utilisation convenable de ces enregistreurs.

2. Pour les recherches en cours à l'Observatoire astronomique de Brera, en employant trois pendules astronomiques Riefler de précision très élevée, on a réalisé un dispositif amplificateur du temps entièrement transistorisé permettant d'amplifier (c'est-à-dire de multiplier) les variations périodiques ou accidentelles de la marche de chaque pendule par rapport à une échelle de temps uniforme, et cela d'un facteur pouvant varier de 2 à 100. Les prestations de ce dispositif et, comme on verra ensuite, la sûreté du principe de fonctionnement sont, à notre avis, préférables à la solution proposée et réalisée en 1954 par G. Masson (2).

Le circuit logique qui est à la base du fonctionnement de l'amplificateur de temps en question, est extrêmement simple et emploie presque exclusivement des unités transistorisées Philips.

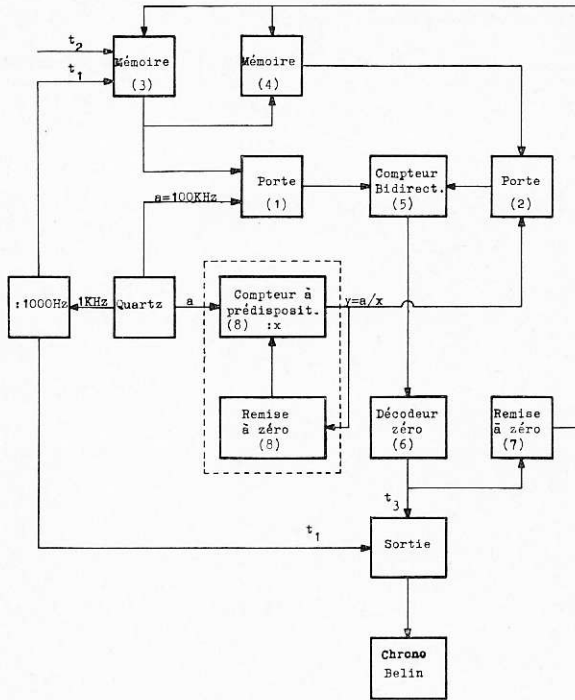


Fig. 1.

Dans la figure 1 est représentée la disposition à blocs des éléments qui constituent l'appareil d'amplification de l'intervalle de temps entre les deux signaux  $t_1$  et  $t_2$  provenant respectivement du diviseur transistorisé, qui divise par 1000 la fréquence standard de 1 kHz donné par l'oscillateur à quartz, et d'une des horloges à pendule de Riefler.

Initialement les circuits ET (1) et (2), commandés respectivement par les circuits de prédisposition (3) et (4), sont interdits.

A l'arrivée du signal  $t_1$ , la mémoire (3) ouvre le circuit (1), et prédispose le circuit (2); de cette façon la fréquence de 100 kHz provenant de l'oscillateur fait entrer en fonction le compteur bidirectionnel au cent-millième de seconde (5). Après un intervalle de temps

$$\Delta t_0 = t_2 - t_1,$$

le signal  $t_2$  interdit le circuit (1) et ouvre le circuit (2), ce qui permet à la fréquence de  $y$  kHz, obtenue à la sortie du compteur à prédisposition (8), de commencer le compte à l'envers du compteur bidirectionnel (5).

A l'instant  $t_3$ , où le compte à l'envers a reconduit le circuit bidirectionnel dans la position initiale de zéro, le circuit de décodification du zéro (6) permet au circuit de mise à zéro (7) de reconduire les mémoires (1) et (2) à l'état initial, interrompant en même temps le passage des fréquences de  $y$  kHz et le compte du compteur bidirectionnel même.

Le signal correspondant à l'instant  $t_3$  sera donc retardé par rapport au signal  $t_2$  de la quantité :

$$\Delta t = t_3 - t_2 = \frac{10^5}{y} (t_2 - t_1) = x \Delta t_0,$$

c'est-à-dire que l'intervalle  $\Delta t$  sera dilaté selon le facteur  $x = a/y$ .

Par rapport à l'échelle de temps uniforme des signaux  $t_1$ , à laquelle il faut nécessairement rapporter l'échelle de temps non uniforme et amplifiée des signaux  $t_3$  :

$$t_3 - t_1 = \Delta t_0 (1+x),$$

l'intervalle temps  $\Delta t_0$  sera au contraire amplifié selon le facteur  $1+x$ . Donc en particulier, si nous voulons obtenir un facteur d'amplification 100, il faut prendre  $x = 99$ .

Le diviseur transistorisé (8), basé sur le principe des compteurs à prédisposition, permet de diviser la fréquence de 100 kHz provenant de l'oscillateur à quartz selon des diviseurs entiers  $x$  inclus entre 1 et 99. Par conséquent, le dispositif entier permet d'obtenir des facteurs d'amplification inclus entre 2 et 100.

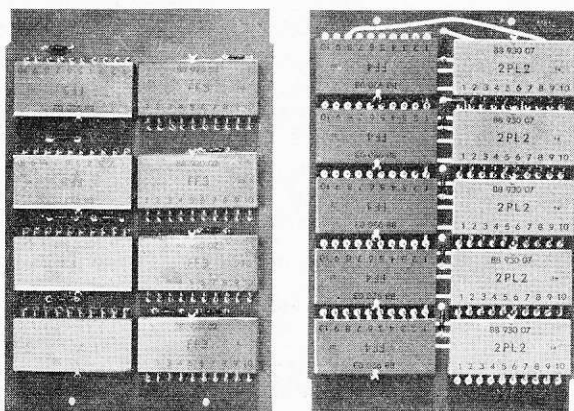


Fig. 2.

On a déjà vu que tous les circuits représentés dans la figure 1 sont formés par des unités transistorisées et par des circuits imprimés. Dans la figure 2, on peut voir le bloc d'une partie du compteur bidirectionnel et du circuit à prédisposition, tandis que la figure 3 représente le panneau dans lequel sont disposés le diviseur transistorisé et tous les circuits de la figure 1 qui forment l'amplificateur de temps.

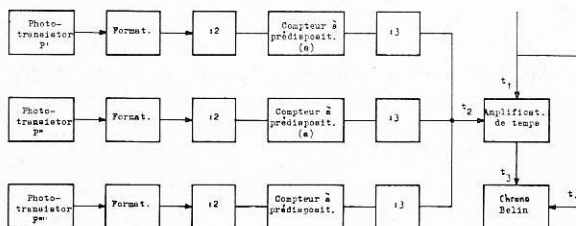


Fig. 4.

3. La figure 4 représente le schéma à blocs de l'ensemble des appareils employés pour l'enregistrement simultané de la marche des trois pendules Riefler sur chronographe à gros cylindre Belin, avec une période de rotation de 1 c/s. Comme le développement d'une section du cylindre est de 500 mm, 1 ms correspond à

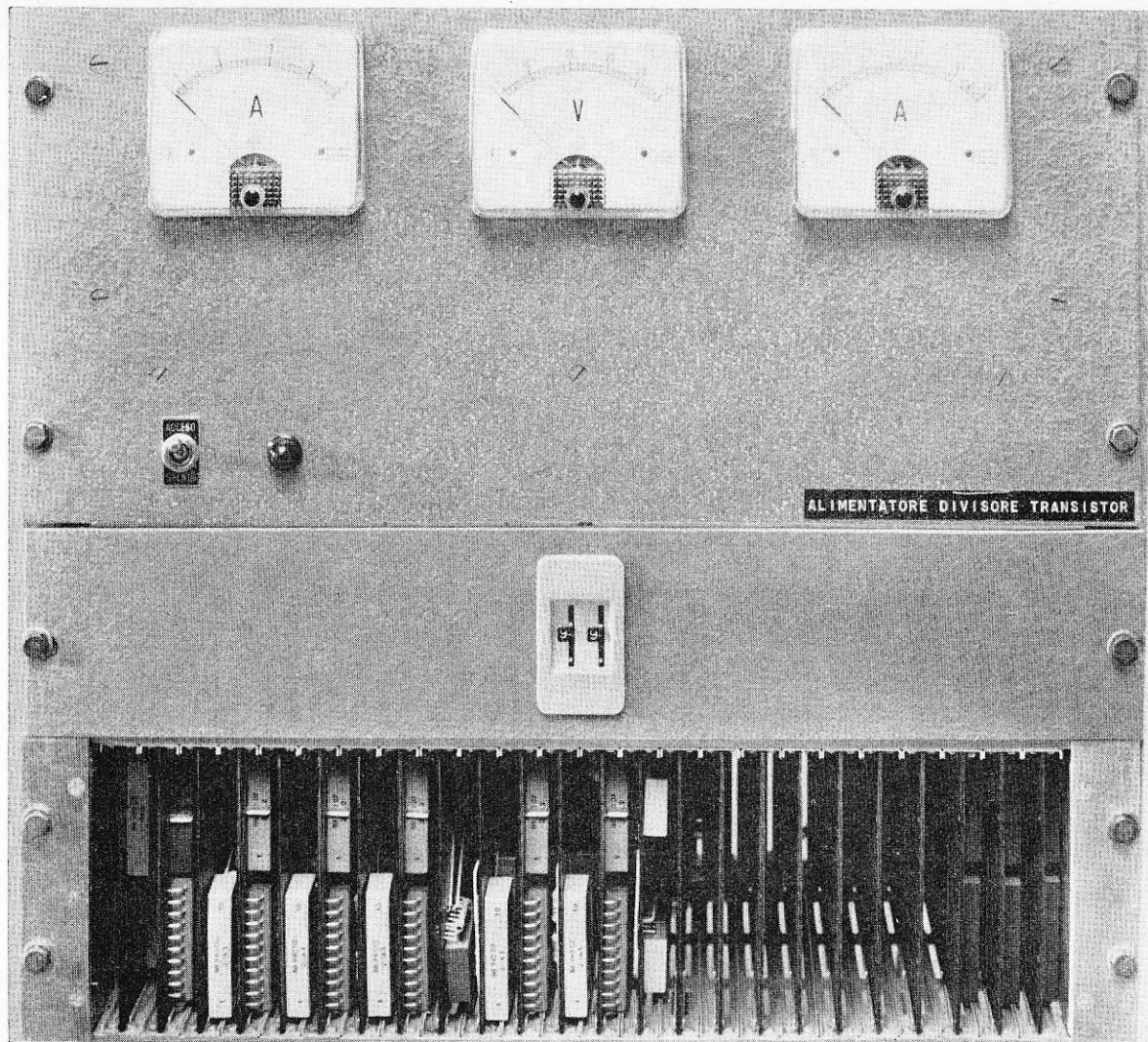


Fig. 3.

0,5 mm. En employant un facteur de multiplication  $x$ , la sensibilité apparente de l'instrument sera multipliée par le facteur  $x+1$  ; on pourra donc écrire,

$$1 \text{ mm} \equiv \frac{2}{x+1} \text{ ms.}$$

Par conséquent, avec un facteur de multiplication 100 ( $x = 99$ ), des variations de marche de  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  s déterminent des oscillations dans l'enregistrement des signaux  $t_3$  de 5 mm, et donc parfaitement observables.

Les signaux à la seconde provenant des dispositifs photoélectriques dont sont dotés les trois pendules, sont soumis initialement à une première division par 2, de façon à utiliser une seule série de signaux parfaitement stables et en phase.

Avec cette opération, la période d'amplification, c'est-à-dire la durée maximale de fonctionnement du dispositif d'amplification, doit être maintenue au-dessous de 2 s. Il s'ensuit donc que, pour un fonctionnement correct du dispositif même, la plus grande durée de l'intervalle  $t_2 - t_1$  doit satisfaire à la relation :

$$(t_2 - t_1)_{\max} < \frac{2}{x+1} \text{ s.}$$

En employant un facteur 100 de multiplication, cette durée se réduit à 0,02 s.

|| 0.02 s

Pour satisfaire à cette condition, les signaux  $t_2$  sont de temps en temps convenablement retardés ou avancés grâce à des dispositifs retardateurs de temps à prédisposition à 1 dixième de seconde (a). A la sortie des trois retardateurs, les signaux  $t_2$  provenant des trois pendules astronomiques diffèrent donc du signal  $t_1$  d'une quantité inférieure à  $(t_2 - t_1)_{\max}$ .

A ce point, trois diviseurs par trois, déphasés entre eux respectivement de 2 s, permettent ordonnément et alternativement le passage des trois signaux ; de cette façon, la période d'enregistrement de chaque pendule sur l'enregistreur Belin est de 6 s.

Les prestations de ce dispositif, tant en ce qui concerne la sensibilité et la précision des mesures que la fréquence d'enregistrement, sont plus que satisfaisantes. Le dispositif présente en outre les avantages suivants, qui prennent une importance particulière par rapport au but pour lequel ce dispositif a été réalisé :

- (a) appareil entièrement transistorisé permettant des enregistrements continus d'une durée considérable ;
- (b) possibilité de jouir d'une large gamme de facteurs de multiplication, par une simple intervention manuelle à prédisposition ;
- (c) utilisation d'une seule source de fréquence à 100 kHz, garantissant une sensibilité et une précision réelle de  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$  s.

### Bibliographie

- (1) N. Stoyko, C. R., 218, p. 308, 1944 ;  
C. R., 220, p. 1, 1945.
- (2) G. Masson, Ann. Franç. de Chron., N° 1, p. 59, 1954.



Tirage à part du Journal suisse d'horlogerie N° 9/10 - 1965  
Scriptar S. A., 1000 Lausanne

# CONTRIBUTI DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE

## NUOVA SERIE

- 201 - F. ZAGAR - L'Osservatorio di Milano nella storia.
- 202 - M. HACK - Absolute Magnitudes of O-type stars.
- 203 - G. DE MOTTONI - Il nuovo riflettore di 1,37 m dell'Osservatorio di Merate.
- 204 - M. FRACASSINI - The solution of the van de Hulst's integral equations for computing electron density of the solar corona.
- 205 - M. HACK - The shell spectrum of W Serpentis.
- 206 - A. GÖKGÖZ, M. HACK, I. KENDIR - Study of the spectrum  $\zeta$  Tauri in 1960.
- 207 - J. O. FLECKENSTEIN - Boscovich als Mitbegründer der sphärischen Trigonometrie.
- 208 - A. MASANI - The propagation of shock waves in the inside of Stars-II.
- 209 - F. ZAGAR - Galileo Astronomo.
- 210 - E. PROVERBIO - Condizioni per la determinazione della costante micrometrica per mezzo di coppie stellari fondamentali.
- 211 - A. MASOTTI - Sopra alcuni cimeli bibliografici della Specola braidense.
- 212 - M. FRACASSINI - The solution of the van de Hulst's integral equations for computing electron density of the solar corona: general solutions, applications and fortran programming for the IBM 1620 computer.
- 213 - E. PROVERBIO - Determinazione fotografica di precisi istanti dei contatti durante l'eclisse totale di Sole del 15 febbraio 1961.
- 214 - G. DE MOTTONI - Considerazioni sulla collaborazione internazionale nello studio fotografico del Pianeta Marte.
- 215 - M. HACK e L. PASINETTI - Quantitative analysis of the Hydrogen - poor star  $\nu$  Sagittarii.
- 216 - A. MASANI - Sui recenti sviluppi della teoria delle stelle variabili.
- 217 - M. FRACASSINI e M. HACK - Intensities, polarization and electron density of the solar corona during the total solar eclipse of 1961, february 15: (final results) paper II.
- 218 - R. FARAGGIANA e M. HACK - The magnetic star  $\gamma$  Equulei.
- 219 - E. PROVERBIO - La variazione della latitudine di Milano (Brera) nel periodo 1960.1-1961.3.
- 220 - E. PROVERBIO - Sul problema della determinazione dell'azimut strumentale meridiano.
- 221 - R. FARAGGIANA e M. HACK - Results obtained from the 1961 - 62 eclipse of 31 Cygni.
- 222 - P. BROGLIA - The ultrashort period variable SZ Lyncis.
- 223 - A. PASINETTI e L. PASINETTI - The problem of ionizing radiations in space flight.
- 224 - E. PROVERBIO - Possibilità della misura di distanze nel campo topografico con metodi ottici.

- 225 - T. TAMBURINI - Studio spettrofotometrico di 56 Arietis.
- 226 - P. PROBLIA - Light curves variations and elements of CW Cassiopeiae.
- 227 - A. MASANI e G. SILVESTRO - Energy Spectrum of Neutrinos Produced in  $e^+$ ,  $e^-$  Pair annihilation.
- 228 - M. FRACASSINI e L. E. PASINETTI - Study of  $\epsilon$  Del: Reduction and Elaboration of the observations by the electronic computer IBM 1620.
- 229 - E. PROVERBIO - Riduzione degli errori sistematici nelle osservazioni meridiane di tempo e di longitudine.
- 230 - E. PROVERBIO - Sulla determinazione di differenze di longitudine per scopi geodetici.
- 231 - E. PROVERBIO - Osservazioni sulla propagazione di segnali orari su 2.500 e 5.000 Mc/s durante l'eclisse totale di Sole del 15 febbraio 1961.
- 232 - R. FARAGGIANA - Quantitative analysis of  $\gamma$  Capricorni.
- 233 - A. MASANI - La produzione di neutrini nei plasmi ad altissima temperatura.
- 234 - E. PROVERBIO - Ricerche sulla marcia e sulla deriva di campioni di frequenza a quarzo.
- 235 - E. PROVERBIO - Sur la détermination du facteur de qualité du Système Balancier - Spiral d'un oscillateur mécanique.
- 236 - M. FRACASSINI e L. PASINETTI - Teorie e problemi attuali sulle variazioni della brillantezza della luce Zodiacale (L. Z.) e anti solare (A. S.) e delle emissioni del cielo notturno (airglow) in relazione al ciclo solare e lunare.
- 237 - A. MASANI, R. GALLINO, G. SILVESTRO - Neutrino Emission of Massive Star Evolutions, in the Late Stages.
- 238 - R. FARAGGIANA, A. GÖKGÖZ, M. HACK, I. KENDIR - Spectrographic Observations of the 1962 Eclipse of 32 Cygni.
- 239 - C. DE CONCINI e E. PROVERBIO - Determinazione unilaterale della differenza di longitudine tra Milano (Brera) e Solferino e valutazione critica dei metodi di riduzione.
- 240 - E. PROVERBIO - Sulla determinazione delle variazioni della curvatura media di una livella e delle irregolarità di curvatura.
- 241 - E. PROVERBIO - Determinazione degli errori progressivi e del passo della vite micrometrica di un micrometro di latitudine con stelle a bassa declinazione.
- 242 - E. PROVERBIO - Sulla determinazione dell'equazione personale mediante osservazioni di passaggi di meridiano.
- 243 - E. PROVERBIO - Sulla determinazione astronomica del Tempo e sull'impiego del metodo di Döllén in meridiano in determinazioni di elevata precisione.
- 244 - E. PROVERBIO e F. CHLISTOVSKY - Sulle variazioni a corto periodo della velocità di rotazione della Terra.
- 245 - A. MASANI, R. GALLINO e G. SILVESTRO - L'Astronomia del neutrino.
- 246 - E. PROVERBIO e L. MARTINENGGI - Programmi di riduzione su calcolatore elettronico delle osservazioni astronomiche di Tempo e di Azimut.