

CONFERENZE
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE

Serie I

a cura del Direttore
Prof. Francesco Zagar

N. 6

E. PROVERBIO

IL PROBLEMA DELLA MISURA DEL TEMPO
E L'IMPORTANZA
DEI SERVIZI ORARI

(Conferenza nel ciclo "Astronomia" tenuta presso l'Osservatorio Astronomico di Brera in Milano)

MILANO
1966

CONFERENZE

DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI MILANO-MERATE

Serie I

a cura del Direttore
Prof. Francesco Zagar

N. 6

E. PROVERBIO
(OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI BRERA-MILANO)

IL PROBLEMA DELLA MISURA DEL TEMPO E L'IMPORTANZA DEI SERVIZI ORARI

(Conferenza nel ciclo "Astronomia" tenuta presso l'Osservatorio Astronomico di Brera in Milano)

MILANO
1966

IL PROBLEMA DELLA MISURA DEL TEMPO E L'IMPORTANZA DEI SERVIZI ORARI

E. Proverbio

(Osservatorio Astronomico di Brera - Milano)

1. - La definizione dell'unità e della scala di tempo

1.1. - Il tempo delle effemeridi.

Sono solo poco meno di dieci anni che la vecchia definizione dell'unità di tempo - il secondo - basata sulla misura del giorno solare medio (tempo rotazionale) ha subito una prima inevitabile e sostanziale modificazione. Si può datare infatti dal 1956 la nascita della nuova definizione decisa dal Comiitato Internazionale dei Pesì e Misure e successivamente ratificata dalla XI Conferenza Generale dei Pesì e Misure (Parigi, 1960).

La nuova definizione [1], ancora attualmente in vigore, stabilisce che il secondo è la frazione $1/31\ 556\ 925,9747$ dell'anno tropico per l'900 gennaio 0 a 12 ore di tempo dalle effemeridi.

Tale secondo prende il nome di secondo dalle effemeridi e la corrispondente scala di tempo su di esso basata tempo delle effemeridi (T.E.).

In così breve tempo, come subito ampiamente vedremo, lo sviluppo impetuoso delle attuali esigenze e dell'evoluzione della tecnica e della ricerca hanno però in certo modo creato i presupposti per un ulteriore aggiornamento delle conclusioni della XI Conferenza Generale.

Il motivo più profondo di questo stato di cose ha origine dal duplice carattere che il tempo può assumere nella fenomenologia della natura, come grandezza (misura di intervalli) o stato fisico (determinazione di istanti o di epoche). L'attuale definizione astronomica della unità di tempo, così come la

precedente, viene ottenuta dalla derivazione formale di un intervallo di tempo i cui due estremi - che costituiscono altrettante epoche di cui la fondamentale o origine è fissata nella definizione stessa - sono reperibili per mezzo di osservazioni e calcoli astronomici.

Mediante questo procedimento la scala di tempo e l'unità di tempo che da questa scala viene derivata, possono essere attualmente utilizzabili con una precisione relativa di 10^{-9} , e quindi insufficiente alle attuali necessità della tecnica e della ricerca fisica in generale. D'altra parte questa stessa scala presenta indubbie caratteristiche di universalità, di uniformità e di continuità nel passato e nel futuro che non trovano riscontro in nessun altro fenomeno fisico.

La nuova definizione attualmente in vigore merita peraltro di essere adeguatamente illustrata poiché essa rappresenta attualmente, dal punto di vista concettuale e pratico, un fondamentale punto di riferimento per l'astronomia e la meccanica celeste.

Teoricamente il T.E. è una scala di tempo rigorosamente uniforme coincidendo essa formalmente con la variabile indipendente delle leggi della dinamica dei corpi del sistema planetario basate sulla teoria della gravitazione newtoniana. In questo senso questa scala può essere meglio definita come scala di tempo gravitazionale, riservando il termine T.E. alla scala di tempo effettiva, operativa, determinata praticamente dalla comparazione delle posizioni osservate dei corpi celesti (Sole, Luna, pianeti) rispetto alle posizioni fornite dalle effemeridi, che costituiscono la soluzione più o meno approssimata della integrazione delle equazioni del moto.

L'epoca fondamentale o origine dalla quale il T.E. viene misurato è, come è stato detto, l'epoca designata da Newcomb come 1900 gennaio 0, mezzogiorno medio di Greenwich, e che attualmente viene indicato come 1900 gen

naio 0,12^h T.E. In questo istante la longitudine media del Sole, riferita all'equinozio medio della data, risulta 279° 41' 48",04. D'altra parte l'unità primaria di T.E. è l'anno tropico all'epoca fondamentale 1900 gennaio 0,12^h T.E. cioè l'intervallo durante il quale la longitudine media del Sole viene incrementata di 360°.

Questa unità può essere espressa in secondi di T.E. partendo dall'espressione di Newcomb che dà la longitudine media del Sole:

$$(1) L = 279^{\circ} 41' 48'',04 + 129\ 602\ 768,13T + 1'',089T^2,$$

nella quale T è espresso in secoli Giuliani di 36.525 giorni medi.

Da quest'ultima relazione che risulta della forma:

$$L = L_1 + L_1 T + L_2 T^2,$$

si ottiene trascurando i termini superiori,

$$\Delta T = \frac{\Delta L_1}{L_1} \left(1 - \frac{2L_2}{L_1} T\right)$$

Ponendo in questa $\Delta L = 360^{\circ} = 129\ 600''$, inserendo le costanti della (1) e trasformando in secondi di tempo si ha subito:

1 anno tropico = 31 556 925,9747 secondi di T.E. - 0,5303 T,

che si riconduce alla nuova definizione astronomica del secondo e giustifica in quest'ultima la necessaria specificazione della particolare epoca $T = 0$.

In pratica il T.E. viene, per tutti gli altri istanti, determinato indirettamente mediante l'intermediario del Tempo Universale (T.U.).

La determinazione della differenza:

$$(2) \quad \Delta T = T.E. - T.U.$$

viene praticamente realizzata confrontando le osservazioni astronomiche, in particolare le osservazioni lunari, effettuate nella scala T.U. - che può essere determinata con notevole precisione mediante osservazioni stellari - con le effemeridi gravitazionali aventi come argomento una scala di tempo omogenea con quella definita dalle tavole del Sole di Newcomb. La (2) costituisce quindi una definizione operazionale della scala di T.E. che materializza, a meno degli errori di osservazione e degli errori di approssimazione nelle effemeridi, la scala teorica T.E.

Inoltre, poichè la scala di T.U. adottata è la scala di tempo rotazionale TU2, cioè la scala di tempo basata sulla rotazione della Terra corretta per le variazioni dovute al moto del polo e per le variazioni stagionali del moto della Terra a periodo semestrale ed annuale, ne risulta che la differenza ΔT rappresenta le variazioni irregolari della velocità di rotazione della Terra.

1.2. - Il campione fisico di frequenza.

Lo sviluppo della ricerca e della tecnica elettronica hanno tuttavia da tempo messo in evidenza la possibilità di utilizzare come campioni di unità di tempo fenomeni fisici periodici basati sulla utilizzazione delle frequenze naturali di transizione a livello atomico o molecolare, teoricamente invariabili. Grazie a queste nuove tecniche oramai collaudate l'unità fisica di tempo può oggi essere disponibile con una precisione di $10^{-10} \div 10^{-11}$.

I campioni atomici o molecolari di frequenza sono basati sull'impiego della ben nota relazione.

$$h\nu = \Delta E ,$$

che lega, per mezzo della costante di Plank, la frequenza caratteristica all'incremento o decremento di energia ΔE corrispondente alla transizione delle particelle atomiche o molecolari da un livello energetico ad un altro.

Fino ad oggi sono stati progettati e sperimentati numerosi campioni di frequenza utilizzando certe frequenze caratteristiche della struttura atomica iperfine o i movimenti di tipo molecolare di rotazione e di inversione. Per quanto riguarda invece le tecniche utilizzate per le misura di queste frequenze, esse si possono attualmente suddividere nei seguenti tipi:

- (a) assorbimento nel campo delle microonde della linea di inversione ($J = 3, K = 3$) di NH_3 a 23,870 GHz;
- (b) fenomeno di risonanza atomica che utilizza la transizione magnetica iperfine degli atomi di C^{13} a 9,192 GHz o di Tl^{205} a 21,311 GHz;
- (c) fenomeno di risonanza molecolare basato sul principio del MASER che utilizza le inversioni di stato ($J = 3, K = 2$) della molecola di NH_3 (frequenza 22,834 GHz) o la frequenza di transizione di livelli magnetici iperfini dell'atomo di H a 1,420 GHz;
- (d) fenomeno di risonanza delle microonde nel campo ottico basato sull'impiego di celle a gas di Rb^{87} (optically pumped gas Cell).

Il grande vantaggio dell'impiego dei campioni atomici di frequenza e di tempo risiede in primo luogo nella elevata precisione e riproducibilità dei campioni stessi rispetto agli elementi definizionali, in secondo luogo nel fatto, di capitale importanza pratica, che le misure di intervalli di tempo e di fre-

quenza sono direttamente accessibili dai campioni stessi.

Quantunque le ricerche nel campo della strutturistica ed in quello tecnologico siano ancora attualmente in pieno sviluppo, e la tendenza a migliorare ancora sensibilmente le prestazioni dei campioni fisici di frequenza e di tempo non possa dirsi esaurita, tuttavia la XII Conferenza Generale dei Pesi e Misure (Parigi, 1964) ha preso l'importante decisione di designare tra i vari campioni fisici di frequenza quello da considerare attualmente come campione di riferimento [2]. La scelta operata dal Comitato Internazionale Pesi e Misure ha assegnato al campione al cesio questo privilegio. La frequenza convenzionale attribuita a questo campione ha il valore di 9 192 631 770 Hz, eguale al valore della frequenza di questo campione espressa in termini di T.E. determinato nel 1958 in collaborazione da W. Markowitz, L. Essen, R.G. Hall e L.V. Parry [3].

Questa attribuzione costituisce, di fatto, la legalizzazione di una unità di tempo fisico. Il carattere di quest'ultima unità di tempo, corrispondente alla durata di 9 192 631 770 periodi di vibrazione del cesio, che viene attualmente quindi a coesistere assieme alla unità ufficiale astronomica di tempo, differisce però essenzialmente da quest'ultima. Infatti mentre l'unità astronomica si ottiene, come abbiamo visto, differenziando la corrispondente scala di tempo, il secondo fisico viene direttamente fornito dai campioni di frequenza, costituendo in questo caso una scala di tempo atomico (T.A.) dalla cui integrazione è possibile ottenere, a partire da una certa origine, la data di un avvenimento (epoca). Praticamente questa integrazione viene eseguita mediante l'intermediario di campioni di frequenza a quarzo il cui stato TQ materializza la scala di tempo dell'orologio. Per ottenere lo stato dell'orologio rispetto alla scala di tempo atomico è necessario determinare la sua correzio-

ne ΔT_a rispetto allo stesso T.A. In tal caso sarà:

$$T.A. = TQ - \Delta T_a,$$

nella quale

$$\Delta T_a = \int_0^t \frac{\Delta \nu}{\nu} dt.$$

In quest'ultima $\Delta \nu / \nu$ rappresenta la deviazione relativa di frequenza del quarzo, rispetto alla sua frequenza nominale ν , determinata con misure continue (o discontinue) della frequenza del campione a quarzo per mezzo del campione atomico. Ne consegue che ciascun campione di frequenza costituisce oggi una particolare scala di tempo fisico. Questa frantumazione della scala naturale e universale di tempo astronomico rappresenta dunque un sostanziale elemento di differenziazione che si traduce praticamente in una limitazione nella precisione intrinseca (accuracy) dei campioni atomici (10^{-11} ; 10^{-12}).

Attualmente esistono numerose scale di tempo atomico integrato relative a vari Istituti ed Osservatori astronomici che dispongono di campioni al cesio o di campioni tarati su quest'ultimo. Tra queste scale assumono presentemente particolare importanza:

- (a) la scala di tempo A.1 sviluppata dal 1958 presso l'United States Naval Observatory, Washington. L'origine della scala A.1 è scelta in modo che all'epoca 1 gennaio 1958 0^h T.U. risulti T.U.2 = A.1;
- (b) la scala di tempo TA₁ stabilita presso l'Osservatorio Astronomico di Neuchâtel (Svizzera) in collaborazione con il Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères. L'origine di questa scala è scelta in modo che all'epoca 1 gennaio 1958 0^h T.U. risulti E.T. = TA₁;
- (c) la scala di tempo ΔA_9 del Bureau International de l'Heure. L'origine di questa scala è scelta in modo che alla data 1 gennaio 1958 20^h T.U. il tempo atomico integrato (media di nove campioni atomici) risulti eguale all'ora definitiva TU2 del B.I.H.

A queste scale se ne aggiungono numerose altre di importanza regionale o nazionale. In verità si può dire che ciascun Osservatorio dispone oggi di una propria scala di tempo fisico più o meno omogenea con le altre. L'operazione di omogeneizzazione o coordinazione tra le varie scale, come vedremo in seguito, è basata sulla sincronizzazione dei campioni di tempo a quarzo per mezzo delle radiotrasmissioni di segnali orari e frequenze campioni.

1.3. - Situazione attuale e prospettive per il futuro.

Il carattere intimamente contraddittorio tra l'unità di intervallo di tempo e la scala di tempo (che presuppone un'origine determinata), che nella classica ed oramai superata definizione rotazionale del secondo si poteva nascondere entro i modesti limiti, attualmente inaccettabili, della precisione con cui l'unità e la scala di tempo stessa potevano essere materializzate ($10^{-7} \div 10^{-8}$), mostra attualmente la sua inconciliabilità. Queste due unità possono oggi difficilmente essere definite a partire da uno stesso fenomeno, al contrario, come abbiamo visto, l'unità di tempo e la scala di tempo possono invece essere fornite da fenomeni di natura differente.

La determinazione dell'epoca o dell'istante in cui si verifica o si è verificato un certo avvenimento o fenomeno presuppone l'esistenza di una scala di tempo le cui caratteristiche debbono essere l'accessibilità, l'omogeneità e l'uniformità. Tale scala può essere oggi ottimamente materializzata per mezzo delle scale T.U. e T.E. di tempo astronomico. L'utilità di queste scale è fuori discussione. Infatti, mentre da una parte per lo studio della meccanica del sistema solare il T.E., fondato sulla definizione attualmente in vigore per il secondo, risulta perfettamente adeguato e corrispondente alle attuali esigenze della tecnica delle osservazioni, dall'altra, per le necessità della vita civile, della navigazione, della ricerca astronomica e geodetica in

generale e per l'osservazione di satelliti artificiali rispetto ad un sistema di riferimento stellare è indispensabile la conoscenza del T.U. che fornisce la posizione della Terra nel suo moto rotazionale.

D'altra parte l'affermazione di una scala di tempo atomica ufficiale, basata su una nuova definizione fisica del secondo, porterebbe senza dubbio notevole vantaggio e coerenza alle applicazioni della fisica in generale. Il motivo per il quale la XII Conferenza Generale dei Pesi e Misure non ha ritenuto attuale questo mutamento è dovuto essenzialmente al fatto che i campioni atomici di frequenza al cesio, al tallio ed all'idrogeno e le tecnologie connesse sono ancora in fase di sviluppo ed è quindi prematura la designazione di una unità di tempo basata su uno di questi campioni. Tuttavia, come è stato accennato, la stessa Conferenza Generale ha già preso l'importante decisione di indicare come soluzione temporanea l'impiego del campione di frequenza al cesio, in vista di una futura nuova definizione del secondo come unità di base del Sistema Internazionale di Unità.

La pratica coesistenza di più scale ed unità di tempo indipendenti (astronomica e fisica) può presentare peraltro un importante significato fisico e cosmologico. La relazione tra i due tempi, mediante l'intermediario del T.U., può essere oggi data con sufficiente approssimazione dall'equazione lineare:

$$(3) \quad T.E. - T.A. = (T.E. - T.U.) - (T.A. - T.U.) = a + bT.$$

In questa a è una costante di scala mentre il coefficiente del parametro temporale rappresenta la deviazione, nell'unità di tempo T , tra le due scale; in altre parole la correzione da attribuire al valore convenzionale 9 192 631 770 Hz della frequenza propria del campione atomico (cesio) espressa in termini di T.E.

Misure recenti [4] hanno rilevato per questa correzione i seguenti

valori:

A. Stoyko (Bureau International de l'Heure, 1964): + 29 Hz

S. Iijima (Tokio Astromical Observatory, 1964): + 24 Hz.

La precisione interna media di questi risultati è di circa $\pm 1.10^{-9}$. Tuttavia, come conseguenza della utilizzazione del nuovo sistema di Costanti Astronomiche, adottato dalle U.A.I in occasione della Assemblea Generale di Amburgo (Agosto 1964) [4a], ed anche tenendo conto della correzione dell'errore numerico nel coefficiente di uno dei termini periodici della Teoria lunare di Brown, scoperto recentemente da W.J. Eckert, pare accertato che la correzione da attribuire al valore convenzionale della frequenza del cesio, tenendo conto delle sopradette correzioni (il cui importo totale risulta in termini di frequenza di circa 40 Hz), possa invece ritenersi dell'ordine di circa -10 Hz [4b],

D'altra parte la precisione esterna attribuita alla differenza T.E. - T.A. può essere valutata essenzialmente dalla precisione con cui viene determinato il T.E.

L'errore probabile nella determinazione del T.E. dipende dagli errori di osservazione e dagli errori dovuti alle Effemeridi lunari. Per ciò che concerne i primi la tecnica della camera lunare e delle osservazioni di occultazioni lunari permette di determinare il T.E. a meno di $\pm 1.10^{-9}$. L'incertezza dipendente dalle Effemeridi lunari corrette è dovuta invece agli errori residui a corto periodo (fino a 18,6 anni) lungo periodo, (termine planetario) ed agli errori di tipo secolare insiti nella teoria del moto lunare di Brown.

Secondo Markowitz [5] tali errori possono essere espressi dalla relazione:

$$\sigma_b = 1,2 \gamma T \cdot 10^{-9} .$$

Se per γ si assume il valore di $3''$ si trova che questi errori producono una deviazione nella scala di T.E. dell'ordine di 2.10^{-9} per il 1960 ($T = 0,6$).

Si vede quindi che nelle attuali condizioni se si suppone ad esempio l'esistenza di una deriva secolare tra il T.E. ed il T.A. (esistenza di un termine quadratico nella (3) dell'ordine di 10^{-10}), questa deriva potrebbe essere messa in evidenza solo dopo parecchi decenni di confronti accurati tra le due scale. Una tale variazione secolare tra le due scale di T.E. e T.A. assumerebbe un'importanza di grande portata che potrebbe essere all'origine di fondamentali scoperte riguardanti i principi stessi della fisica moderna.

1.4 - La scala di tempo coordinato.

Come è stato accennato, la scala di tempo universale uniforme provvisorio (TU2) basata sulla rotazione della Terra presenta delle variazioni irregolari dipendenti da fenomeni geologici e geofisici di cui non sono ancora noti l'origine ed il meccanismo. Per tale motivo la scala di T.A. si discosta più o meno notevolmente dalla scala TU2. La scala T.A. risulta in teoria rigorosamente uniforme, d'altra parte la scala TU2 può essere utilizzata, senza richiedere correzioni immediate, anche ammettendo deviazioni dell'ordine di 0,1 s.

Questi due fatti hanno spinto, molto recentemente, a considerare l'opportunità di istituire una nuova scala di tempo (TUC, tempo uniforme coordinato) uniforme entro determinati intervalli di tempo e che, nello stesso tempo, non si discosti notevolmente dalla scala TU2 [6].

Anche la scala di TUC diverge quindi dalla scala T.A., però lo scarto relativo in frequenza tra queste due scale viene mantenuto quasi rigorosamente costante entro periodi più o meno lunghi di tempo dipendenti dalle varia

zioni irregolari della rotazione terrestre. Tra la frequenza caratteristica della scala di TUC e quella convenzionale $\nu = 9\ 192\ 631\ 770$ Hz del campione atomico a getto di cesio che sta alla base della attuale scala T.A. deve infatti sussistere la relazione:

$$\left(\nu_{T.A.} - \nu_{TUC} \right) / \nu_{T.A.} = n \cdot 50 \cdot 10^{-10},$$

nella quale n è un intero positivo, negativo o nullo.

Con questa convenzione, tra i segnali orari (e quindi tra le scale di tempo) emessi nella scala di TUC e quelli ipoteticamente emessi nella scala T.A. sussiste la relazione:

$$(3) \quad TUC - T.A. = n \cdot 50 \cdot 10^{-10} T.A. + B.$$

Il significato della costante di scala B è duplice, da una parte esso dipende inizialmente dall'origine arbitraria delle scale TUC e T.A., dall'altra il suo valore deve essere tale da soddisfare la seconda caratteristica (oltre all'uniformità) della scala TUC e cioè il fatto di seguire, sia pure entro limiti non eccessivamente ristretti (± 100 ms) la scala di TU2, condizione che può essere espressa dalla relazione:

$$\left| TU2 - TUC \right| < 100 \text{ ms.}$$

Sia i valori di B - discontinui per convenzione a meno di ± 100 ms in corrispondenza degli eventuali salti che la scala TUC può presentare rispetto alla scala T.A. per adeguarsi successivamente alla scala TU2 - che i valori di n , sono fissati periodicamente dal B.I.H. previo accordo con i maggiori servizi orari interessati.

I segnali orari di una stazione emessi nella scala TUC prendono il nome di segnali coordinati.

Questi segnali permettono quindi praticamente il confronto tra le varie scale di T.A. e forniscono inoltre, entro periodi di tempo anche notevolmente lunghi, scale di tempo quasi rigorosamente uniformi ed omogenee. Questo fatto permette inoltre di disporre delle numerose scale di TU2 locale per uno studio più approfondito della irregolarità di rotazione della Terra non solo a lungo periodo ma anche a periodo corto e cortissimo (decine di giorni).

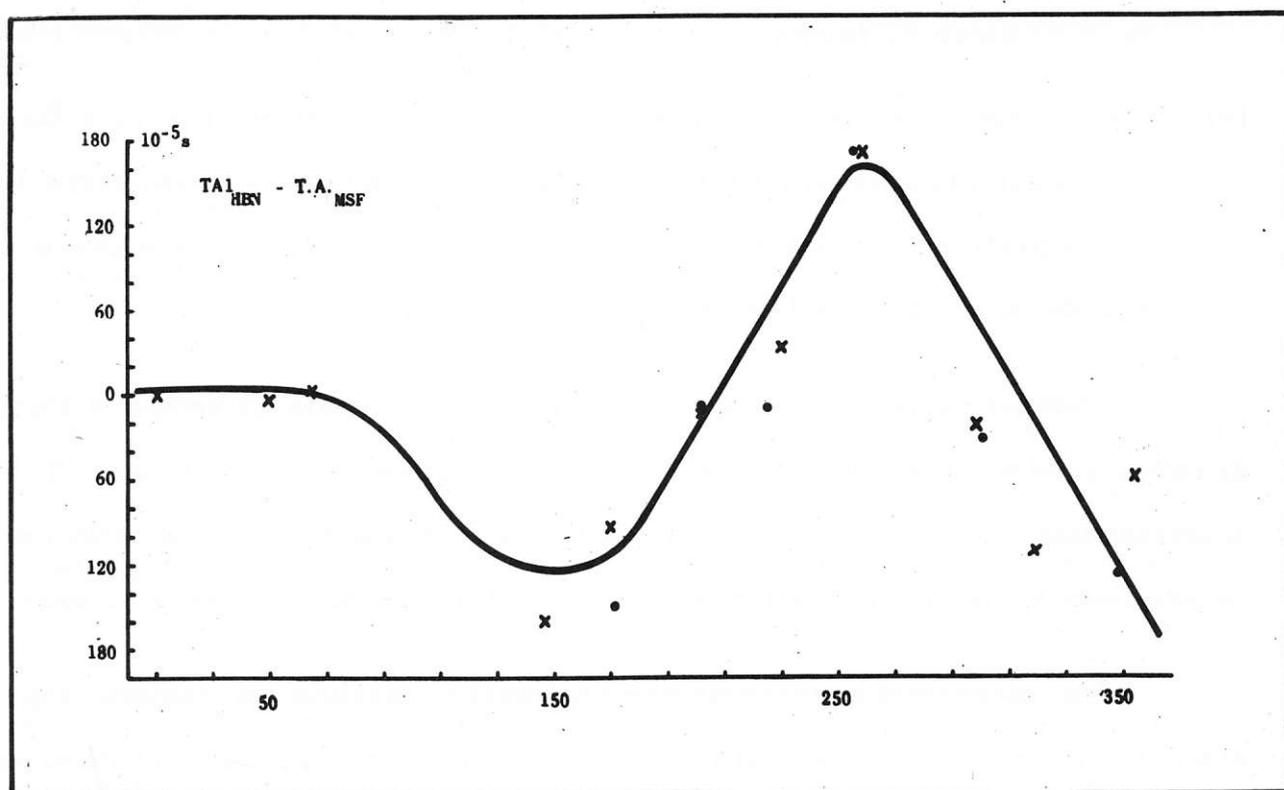


Fig. 1 - Comparazione tra la scala di T.A. di Neuchâtel (T.A.1) e la scala di T.A. di Greenwich effettuata utilizzando segnali orari delle emissioni HEN e MSF. Le misure sono state fatte all'Osservatorio di Brera e sono relative all'anno 1962. E' notevole in particolare il picco manifestatosi verso la fine di agosto e attribuito alla scala di T.A. di Greenwich.

2. - La funzione dei servizi orari.

2.1. - La determinazione del tempo.

Le funzioni principali di un servizio orario erano in passato e si possono anche attualmente così sintetizzare:

- (a) determinazione del tempo, vale a dire determinazione e materializzazione dell'epoca fondamentale ed origine della scala di tempo;
- (b) conservazione del tempo, cioè materializzazione in ogni istante della scala di tempo ovvero determinazione e conservazione dell'unità di tempo;
- (c) comparazione del tempo, cioè confronto tra i vari tipi di scale di tempo e di unità di tempo;
- (d) distribuzione del tempo, in modo da rendere possibile tra vari Osservatori astronomici od Istituti l'operazione precedente e permettere inoltre la pratica utilizzazione per applicazioni scientifiche, tecniche o civili della scala e dell'unità di tempo stessa.

Naturalmente solo sino ad un decennio fa la scala di tempo e l'unità di tempo si identificavano con la scala e l'unità di tempo astronomica (T.U.) L'introduzione del T.E. e, di fatto, della nuova scala di T.A. ha notevolmente ampliato e potenziato l'attività ed anche l'importanza dei servizi orari.

Le operazioni necessarie per realizzare ciascuno dei compiti sopraelencati differiscono sostanzialmente tra di loro anche se questi ultimi concorrono, con reciproche influenze, alla realizzazione del più generale problema della costituzione di un'unica scala e unità di tempo (fisica od astronomica) su scala mondiale.

Senza scendere in particolari che esulano dal carattere della presente esposizione riteniamo necessario delineare a grandi tratti i criteri e le

tecniche operative che stanno alla base delle sopraccitate sezioni (a), (b), (c) e (d).

Per quanto riguarda la determinazione astronomica del tempo (determinazione dello stato dell'orologio), è noto che essa viene praticamente effettuata mediante osservazioni stellari (determinazione del TU2) con l'impiego di strumenti dei passaggi (o cerchi meridiani) muniti di micrometro personale per le osservazioni visuali o di dispositivi fotoelettrici o fotografici.

Recentemente l'impiego dei più efficienti astrolabi a prisma di Danjon e del tubo zenitale fotografico di Markowitz (P.Z.T.) ha permesso un notevole miglioramento dei risultati delle osservazioni stesse facendone aumentare la precisione interna da valori medi di $5 \div 7$ ms a $2 \div 4$ ms.

Il tempo astronomico, così determinato, viene conservato da orologi a quarzo di elevata stabilità ($10^{-10} \div 10^{-11}$).

La scala di tempo fisica risulta invece fondata, come si è detto, sulla utilizzazione diretta o indiretta dei campioni di tempo atomici o molecolari. L'impiego di più orologi a quarzo è reso comunque necessario in ambedue i casi per garantire la continuità della scala di tempo astronomica e fisica.

Quantunque queste attività risultino indispensabili per la funzione dei servizi orari esse non ne costituiscono da sole la caratteristica essenziale; quest'ultima, che ne rappresenta peraltro in certo senso la sintesi, è materializzata dalle varie operazioni necessarie per effettuare il confronto tra le diverse scale di tempo (astronomiche e fisiche) locali o appartenenti ad Osservatori diversi. Ciò è possibile, come è stato accennato di passaggio, mediante l'impiego di particolari servizi di trasmissione e ricezione di segnali orari e frequenze campioni.

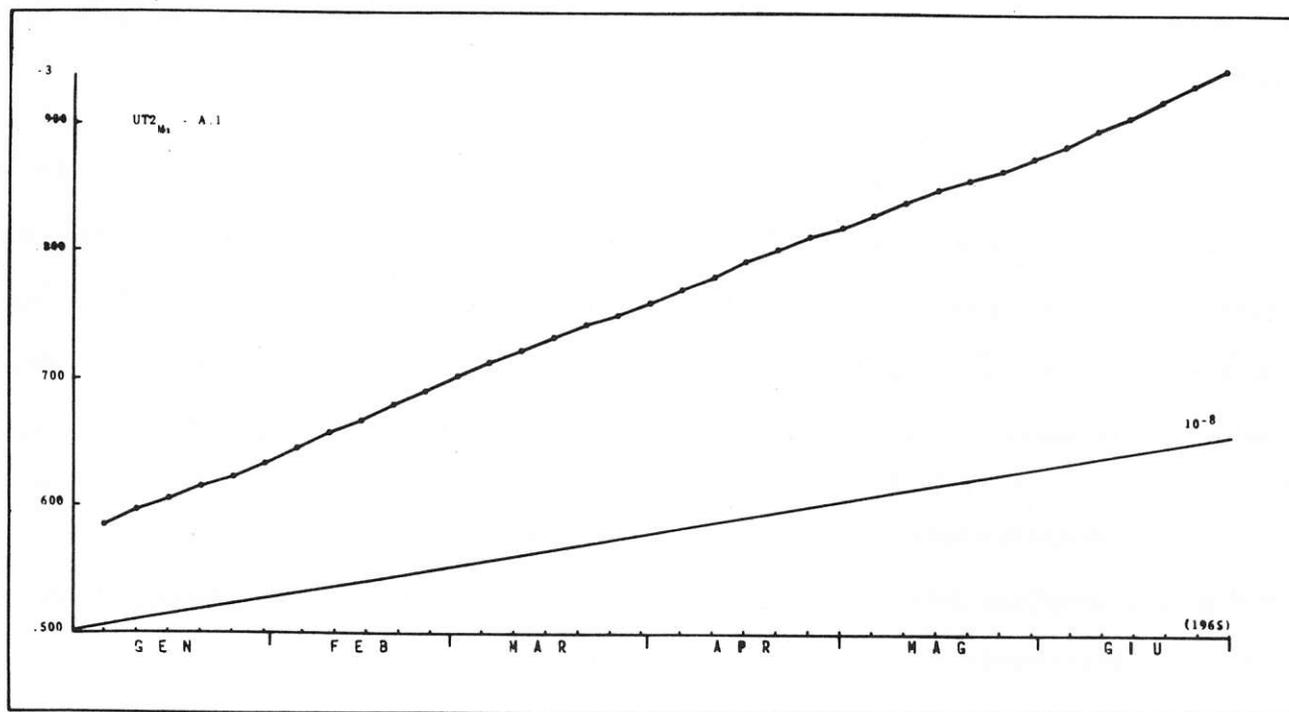


Fig. 2 - Confronto tra il tempo rotazionale ($UT2_{M1}$) osservato a Brera nel primo semestre 1965 e la scala di tempo atomico A.1. Il ritardo del tempo rotazionale rispetto al T.A. è risultato in media in questo periodo $2.8 \cdot 10^{-8}$

2.2. - La comparazione delle scale di tempo.

La trasmissione di tempo tra i vari Osservatori viene effettuata mediante l'emissione di segnali orari al secondo di tipo inglese o di segnali cosiddetti ritmici (61 segnali al secondo). Quest'ultimo tipo di emissione attualmente in vigore ancora presso poche stazioni (ad esempio presso le stazioni dell'U.R.S.S.) permette, utilizzando il principio del nonio acustico, di effettuare confronti di tempo con precisioni al più di $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ s.

Il confronto con segnali orari di tipo inglese mediante l'impiego del metodo oscillografico garantisce invece precisioni interne dell'ordine del μ s. Tuttavia queste precisioni così elevate, intrinseche dell'operazione di confronto, risultano del tutto fittizie a causa sia dell'irregolarità di propagazione del

le radioonde, sia delle variazioni e delle modificazioni che subisce il fronte di salita dei segnali orari stessi, quantunque l'impiego di segnali orari modulati all'emissione (tipo A2) abbia permesso una più precisa reperibilità dell'inizio del segnale alla ricezione.

Impiegando questo metodo di comparazione la precisione esterna effettiva istantanea del confronto di segnali orari - e quindi tra due scale di tempo - si può stabilire mediamente dell'ordine di $10 \div 100$ us. Queste precisioni sono senza dubbio sufficienti per la comparazione a lungo periodo delle scale di tempo, risultano però inaccettabili per confronti istantanei o subbreve periodo (un giorno) dell'unità di tempo se comparate con le prestazioni dei campioni attualmente utilizzati per la conservazione del tempo.

Per questo motivo le tecniche di comparazione dell'unità di tempo sono oggi affidate all'impiego di radio trasmissioni di frequenze campione su on

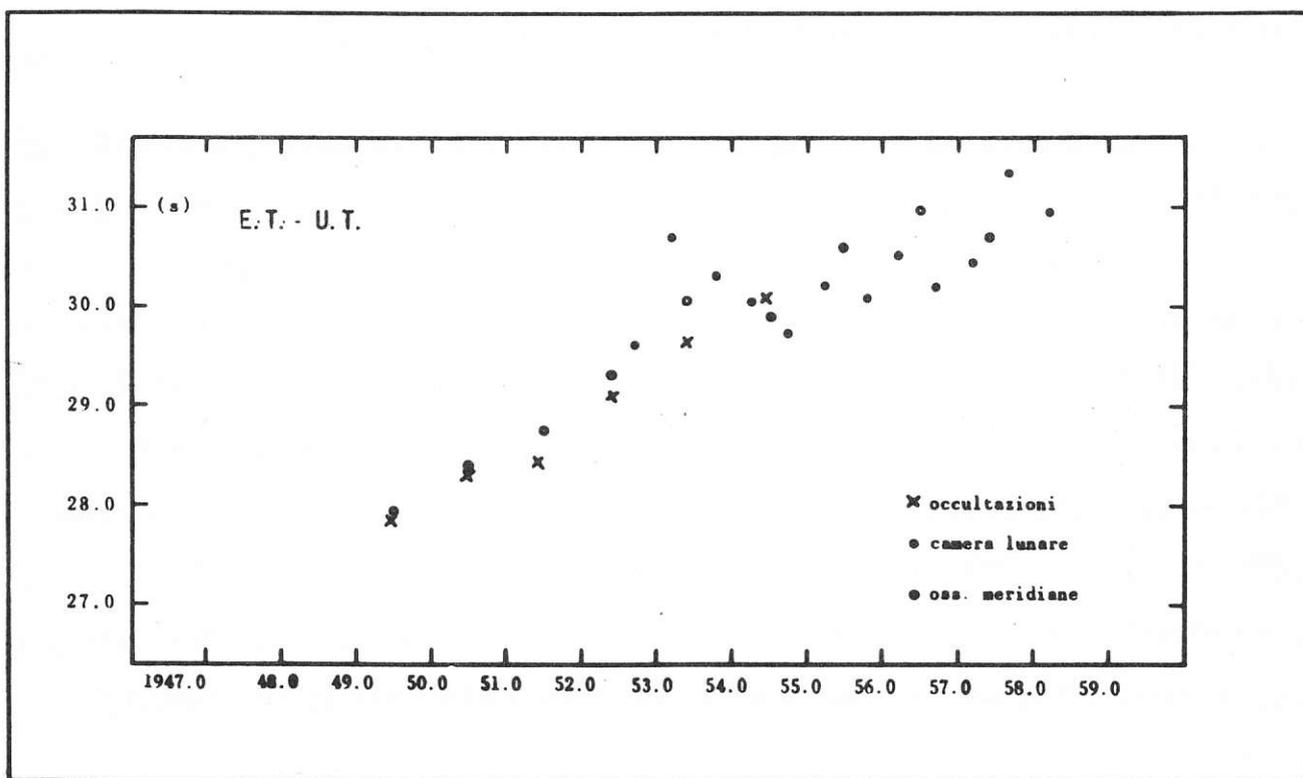


Fig. 3 - L'incremento del T.E. rispetto al T.U. ottenuto con varie tecniche di osservazione. E' da notare la notevole dispersione delle osservazioni effettuate con la camera lunare di Markowitz e delle osservazioni meridiane della luna rispetto ai risultati delle osservazioni di occultazioni.

de miriametriche e chilometriche comprese nelle gamme VLF ⁴ ELF ⁵ .

La ricezione e la registrazione diretta delle frequenze campione permettono di effettuare confronti di elevata precisione. Su un periodo di 24 ore queste precisioni risultano dell'ordine di 10^{-10} e 10^{-11} .

Mediante l'impiego di segnali orari e delle frequenze campione presso i vari servizi orari vengono confrontate tra di loro le scale di tempo e le unità di tempo corrispondenti. In particolare risultano di particolare importanza i seguenti confronti :

- (a) confronto tra le varie scale di tempo atomico (vedi Fig.1) ;
- (b) confronto tra le scale di T.A e la scala di TU2 (vedi Fig.2) ;
- (c) confronto tra la scala TUC e la scala TU2 ;
- (d) confronto tra la scala di TU2 e la scala di T.E. (vedi Fig.3) ;

Fino a qualche anno fa (1959) i segnali orari venivano trasmessi nella scala di TU2. Dal 1959 un numero sempre crescente di paesi emette segnali orari secondo una scala di tempo uniforme basata su una frequenza atomica costante, in particolare nella scala TUC. In occasione della XII Assemblea Generale dell'U.A.I., tenuta ad Amburgo nel 1964 la Commissione 31 dell'U.A.I. ha adottato alcune importanti risoluzioni tendenti a regolamentare le trasmissioni nella scala TUC e ad estenderne il tipo di emissione a tutte le stazioni, in modo da disporre di una rete mondiale sincronizzata di tempo uniforme. Il problema della sincronizzazione del tempo (scala di tempo e unità di tempo) rappresenta in effetti uno dei più importanti compiti dei servizi orari.

Oltre alle emissioni di segnali orari e frequenze campioni, nuove interessanti tecniche sono a questo proposito attualmente sperimentate con note

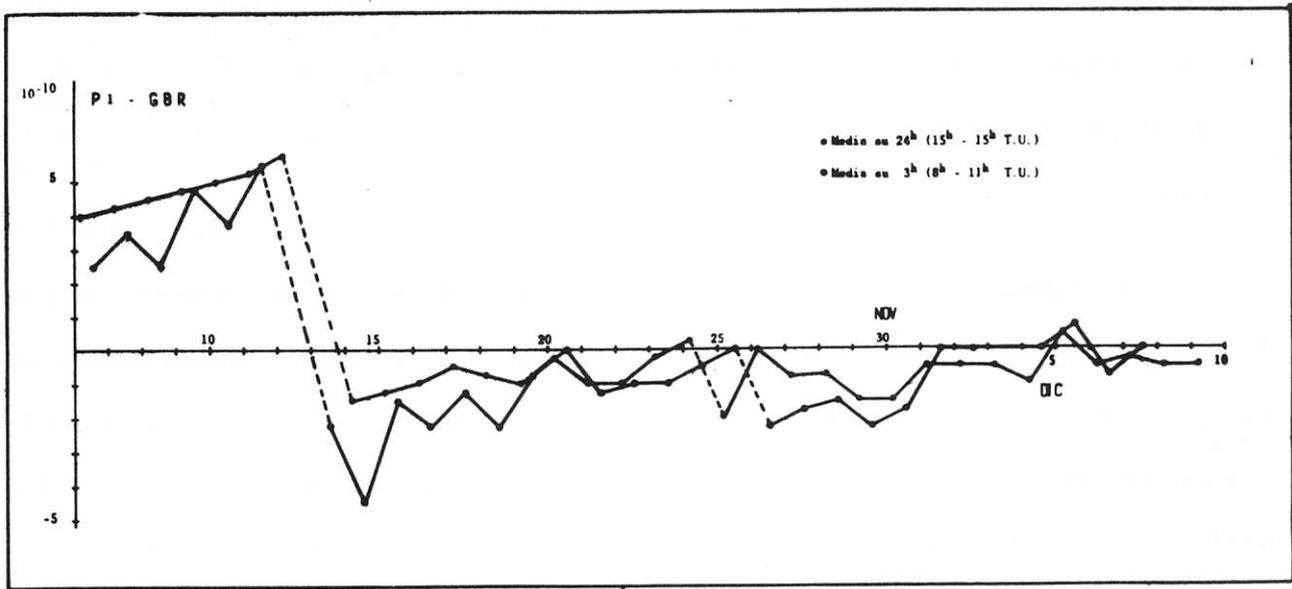


Fig. 4 - Andamento della Frequenza Campione dell'oscillatore fondamentale dell'Osservatorio rispetto alla stazione di GBR dal 5 novembre al 10 dicembre 1965. La correzione della frequenza effettuata il giorno 12 novembre rientra nelle correzioni periodiche eseguite per garantire la stabilità nominale $+ 5 \cdot 10^{-10}$ di questo oscillatore rispetto alla emissione della stazione GBR (stabilità della portante di 16 kHz di GBR $+ 1 \cdot 10^{-10}$). E' interessante notare il notevole aumento della dispersione che si ha utilizzando un periodo di registrazione di 3 ore (dalle 8^h alle 11^h T.U.) rispetto alle medie diurne.

vole successo, in particolare sono presentemente già state sperimentate le seguenti nuove vie di comparazione :

- (a) mediante il trasporto via aerea dei campioni di frequenza a quarzo o atomici [7]. Le incertezze nella sincronizzazione del tempo con questi metodi risultano di $1 \div 5$ us.
- (b) mediante l'impiego del sistema di trasmissione LORAN-C a 100 kHz, [8] consistente nella trasmissione di impulsi con varie frequenze che permettono su lunghe distanze (1000 - 2000 Km) di separare alla ricezione l'onda di terra e l'onda di cielo. Anche in questo caso la sincronizzazione del tempo raggiunge precisioni molto elevate (ordine di 1 us) se comparate con la precisione attualmente raggiungibile mediante l'emissione di segnali orari nella gamma HF e VLF (l'errore esterno può salire oltre i 100 us).
- (c) Utilizzando i satelliti artificiali tipo Telstar e Relay o equivalenti [9].

Esperienze effettuate in questo senso mediante la trasmissione di segnali nel campo delle microonde hanno permesso di raggiungere precisioni migliori di $1 \mu\text{s}$ nelle sincronizzazioni di orologi tra gli Stati Uniti e l'Europa.

Comunque, tenendo presente che ancora attualmente le diverse scale di tempo TUC differiscono tra loro mediamente di importi dell'ordine di $10 \mu\text{s}$, l'impiego della attuale tecnica di trasmissione di segnali orari nella gamma HF e VLF permetterà prevedibilmente anche per il futuro di raggiungere, a lungo periodo, precisioni sufficientemente adeguate. In questa direzione sono da inquadrare le esperienze in corso presso vari Istituti, relative a trasmissioni locali di segnali orari in MF [10] o a banda laterale unica che presentano nell'un caso e nell'altro notevoli vantaggi sia per quanto riguarda il livello sia per ciò che concerne la potenza alla ricezione rispetto agli attuali tipi di emissione in MA.

Sul piano più generale è invece auspicabile un perfezionamento nelle tecniche di sincronizzazione di orologi a quarzo di elevata stabilità mediante l'impiego di radiofrequenze campionate emesse da una stazione unica o da più stazioni rigorosamente tra di loro coordinate. In tal modo si eviterebbe l'inconveniente della coesistenza di così numerose scale fisiche (atomiche) di tempo non adeguatamente omogenee.

3. - Il servizio orario dell'Osservatorio di Brera.

3.1 - Le scale di tempo.

Con l'inizio dell'A.G.I. (1957-1958) venne praticamente ripresa presso l'Osservatorio Astronomico di Brera l'attività osservativa e di ricerca che sta alla base dell'attuale servizio dell'ora.

La necessità ed utilità di disporre di diverse scale di tempo, che co
stituiscono individualmente dei sicuri riferimenti per le ricerche applicate, so
no già state in parte messe in evidenza. Tuttavia, come subito vedremo, l'im
portanza pratica di queste scale assume un particolare significato per le ricerche
astronomiche, per lo studio delle variazioni del tempo rotazionale e per
lo studio della rotazione terrestre .

Le scale di tempo adottate presso l'Osservatorio Astronomico di Bre
ra sono attualmente :

UTO (0) = tempo universale osservato mediante osservazioni di passaggi stellari
in meridiano ;

UT1 (0) = tempo universale osservato corretto per le variazioni del meridiano
di osservazione a causa dell'influenza del movimento del polo ($\Delta \lambda$) ;

UT2 (0) = tempo universale osservato corretto per la variazione nel moto polare
($\Delta \lambda$) e per la variazione dovuta alle irregolarità periodiche di
rotazione della Terra (ΔT_s) ;

UT2 Mi = tempo universale uniforme provvisorio (scala di tempo universale
adottata) determinato dalla regolarizzazione delle serie mensili di os
servazioni individuali di UT2 (0) ;

ETO Mi = tempo delle effemeridi osservato (scala di tempo delle effemeridi
adottata), determinato da osservazioni astronomiche della Luna (oc
cultazioni ed osservazioni meridiane)

Le relazioni necessarie per passare da una scala di tempo ad un'altra
sono :

$$UT1(0) = UTO(0) + \Delta \lambda \quad ,$$

$$UT2(0) = UT1(0) + \Delta T_s \quad ,$$

$$UT2_{Mi} = UT2(0) + e \quad ,$$

$$ETO_{Mi} = UT2_{Mi} + \Delta T_{Mi} \quad .$$

Il valore delle correzioni $\Delta \lambda$ e ΔT_s viene fornito dal B.I.H. per i servizi permanenti dell'ora. D'altra parte queste stesse correzioni possono essere ricavate direttamente dalle osservazioni. Infatti, a causa di queste variazioni, la scala di tempo osservata $UTO(0)$, che rappresenta la misura dell'angolo orario del sole rispetto al meridiano di Greenwich, non risulta uniforme. Se con t indichiamo la variabile indipendente della meccanica o comunque un'analoga scala di tempo uniforme (tempo atomico), il tempo universale osservato (tempo rotazionale) può essere espresso dalla relazione :

$$UTO(0) = \sum_i L_i t^i + \sum (\text{per})$$

in cui L_i sono costanti di un polinomio limitato in genere al terzo grado, che dipendono dall'origine e dall'unità della scala di tempo adottata, mentre $\sum (\text{per})$ rappresenta la somma dei termini periodici a coefficienti e variabili. Questo termine, entro intervalli limitati, viene espresso mediante un appropriato sviluppo di Fourier.

Le variazioni della rotazione della Terra si deducono attualmente dal tempo universale $UTO(0)$ o $UT1(0)$, mediante il confronto di questi tempi con il tempo uniforme fornito da una scala di tempo atomico.

Nella pratica il $UTO(0)$ viene determinato mediante l'intermediario del cosiddetto tempo siderale di Greenwich. Quest'ultimo si ricava invece direttamente dalle osservazioni stellari conoscendo il valore della longitudine λ

del luogo di osservazione. Chiamando infatti T il tempo siderale di Greenwich, cioè l'angolo orario tra l'equinozio di primavera ed il meridiano fondamentale, quest'ultimo può essere determinato mediante osservazioni di passaggi stellari in un Osservatorio di longitudine λ , dalla relazione :

$$(4) \quad T = \alpha + \lambda .$$

Le ascensioni rette osservate nel servizio del tempo dell'Osservatorio di Brera sono tratte dall'FK4, conformemente alle decisioni dell'I.A.U. nel 1961 [11] .

Per quanto riguarda infine il tempo delle effemeridi ricavate indirettamente con osservazioni della Luna (ETO), esso fornisce, com'è noto, un'ottima approssimazione al T.E. risultando la differenza sistematica T.E. - ETO probabilmente dell'ordine del secondo di tempo. [12] .

Oltre a queste scale astronomiche il servizio dell'ora dell'Osservatorio di Brera dispone di una propria scala di tempo fisico. La scala di tempo fisico adottata :

- UTC M_i = scala di tempo (uniforme) coordinata,

è basata sulla frequenza dell'oscillatore a quarzo fondamentale dell'Osservatorio (Frequenza Campione) sincronizzata con la portante di 16 kc/s della stazione GBR.

Le deviazioni in frequenza della Frequenza Campione dell'Osservatorio rispetto alla portante (16 kc/s) della stazione GBR, che garantisce all'emissione una precisione di $\pm 1.10^{-10}$, è mantenuta entro il limite di $\pm 5.10^{-10}$. Ciò viene realizzato mediante periodiche correzioni alla frequenza istantanea dell'oscillatore campione (Fig.4) .

I valori delle deviazioni in frequenza della scala di tempo UTC M_i

rispetto alla scala di tempo dell'emissione GBR, così come tutti i dati relativi ai confronti delle diverse scale di tempo astronomico, sono pubblicate periodicamente nelle " Astronomical Observatory of Milan Circulars ".

Poichè la scala di tempo della stazione GBR è una scala di tempo uniforme coordinato (TUC), anche tale risulta la scala UTC_{Mi}.

Mediante le correzioni della deviazione in frequenza rispetto a GBR, la scala UTC_{Mi} corretta risulta omogenea con la scala TUC_{GBR} a meno di qualche unità di 10^{-11} .

L'utilizzazione diretta della portante (16 kc/s) della stazione GBR non può costituire invece una base di tempo uniforme a corto periodo a causa delle variazioni diurne di fase della portante. Queste variazioni (a prescindere dalle interruzioni nelle trasmissioni della stazione) di natura sistematica ed accidentale possono raggiungere valore di 20 ± 30 usec e quindi costituiscono un serio limite all'impiego delle misure dirette (Fig.5).

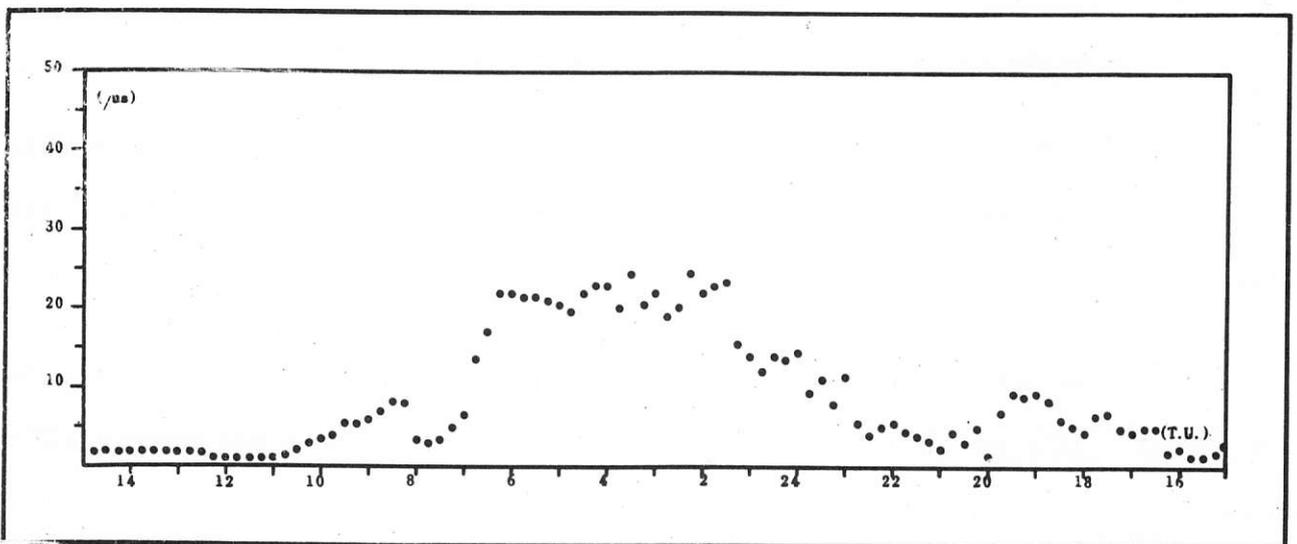


Fig. 5 - Variazione della fase della frequenza della stazione GBR comparata con la frequenza dell'oscillatore fondamentale dell'Osservatorio di Brera in dipendenza dell'angolo orario del Sole. Notevole la variazione brusca di circa 20 usec in corrispondenza del sorgere del Sole all'orizzonte di Milano. (registrazione del 6 dicembre 1965).

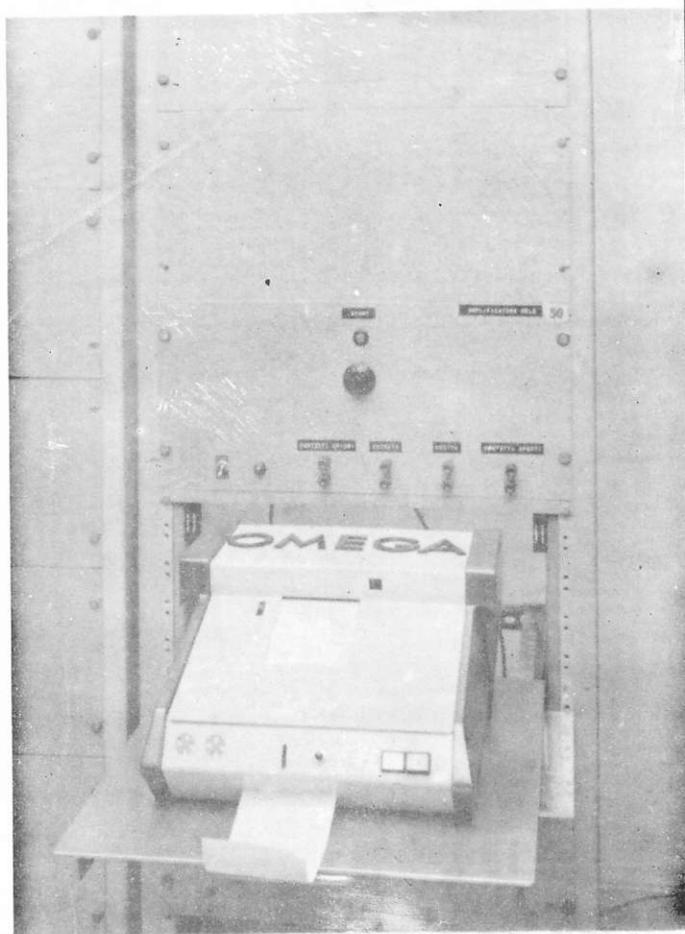


Fig. 6 - Cronografo stampante al millesimo di secondo dell'Omega S.p.A. Il cronografo è alimentato con la frequenza campione di 1 kHz. Durante ciascuna osservazione vengono rilevati i ritardi del relais per permettere la correzione delle osservazioni stesse.

3.2. - Il Servizio Orario.

La determinazione della scala $UT2_{Mi}$ è basata, come è stato accennato, su osservazioni stellari meridiane utilizzando un moderno strumento dei passaggi Askania Ap100 ($d = 100$ mm, $f = 1031$ mm), affiancato da un cronografo stampante (stima $1/1000$ di sec) Omega Time Recorder (Fig.6).

All'inizio del 1966 a questo strumento si affiancherà nel servizio del tempo un astrolabio a prisma di Danjon dotato di un cronografo totalizzatore al mil

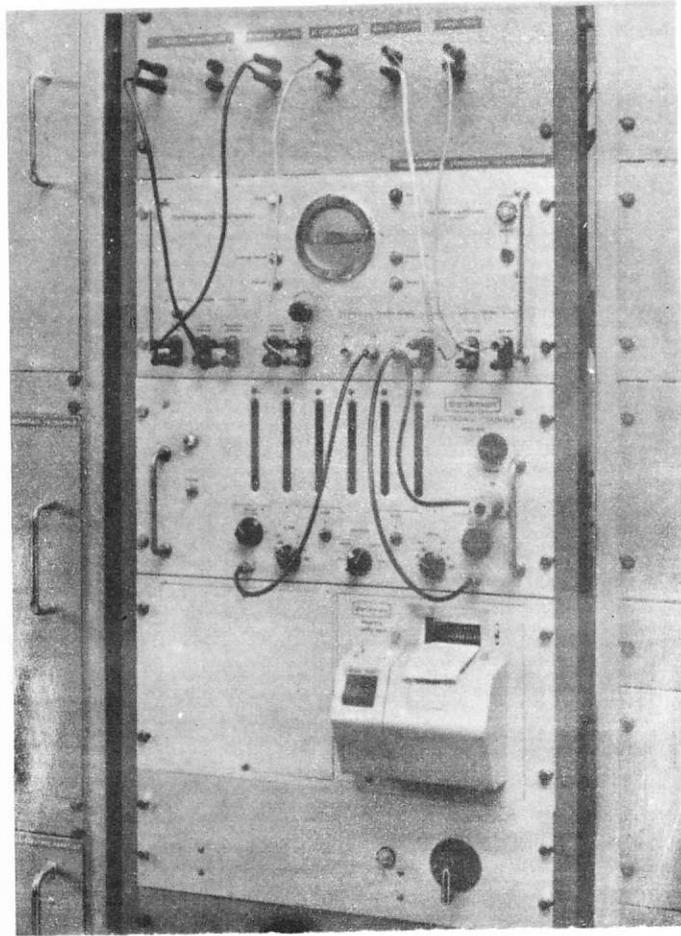


Fig. 7 - Cronografo totalizzatore Ebauches a $1 \cdot 10^{-4}$ sec impiegato per le osservazioni di tempo con l'astrolabio a prisma di Danjon. Il cronografo fornisce direttamente il valore stampato della media dei 24 impulsi provenienti dal tamburo della vite micrometrica dell'astrolabio durante l'osservazione di una stella.

lesimo di secondo (Fig.7) .

La precisione attuale interna di una determinazione di tempo (osservazione di gruppi di 15 ; 20 stelle orarie su un periodo di 2 ore) si aggira in media su 6 ; 7 msec, mentre la precisione esterna risulta inferiore (10 ; 12 msec) .

La scala di tempo $UT2_{Mi}$ così determinata viene conservata dall'oscillatore a quarzo fondamentale dell'Osservatorio. Lo stesso oscillatore fornisce la frequenza campione dalla cui integrazione viene ricavata la scala UTC_{Mi} .

Un ritardatore a predisposizione al decimillesimo di secondo (Fig. 17) permette lo sfasamento periodico della scala UTC_{Mi} secondo la quantità B , stabilita dal B.I.H. e contenuta nella relazione (3), necessaria per riportare la scala UTC_{Mi} a coincidere, con una tolleranza di $\pm 0,1$ sec, con la scala $UT2_{Mi}$. Lo stesso B.I.H. comunica in anticipo il valore del fattore n che caratterizza l'andamento della scala TUC rispetto alle scale TU2 e TA. Per il 1965 si è utilizzato il valore $n = - 3$, per il 1966 tale valore sarà portato a $n = - 6$.

Nella Fig. 8 è dato uno schema a blocchi dell'insieme delle apparecchiature utilizzate per realizzare le scale di tempo coordinato UTC_{Mi} e del tempo astronomico $UT2_{Mi}$.

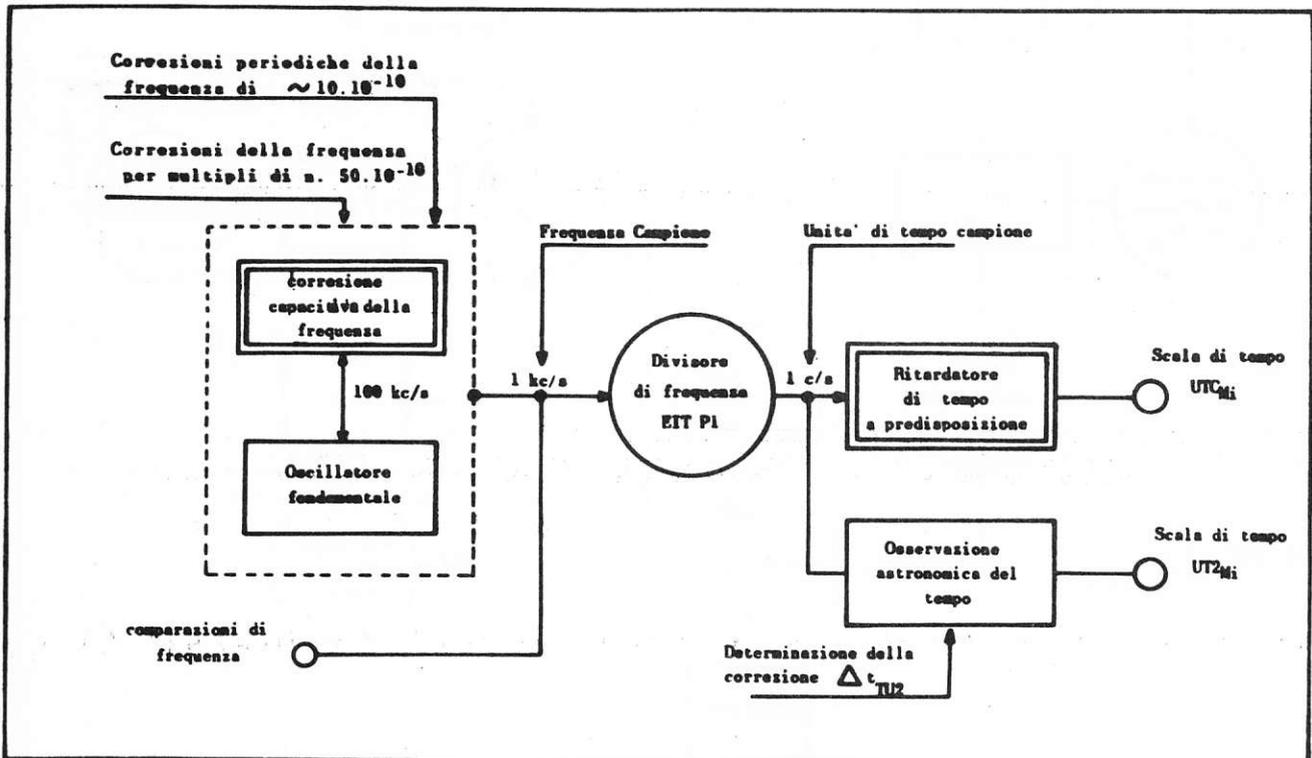


Fig. 8 - La scala di tempo UTC_{Mi} è realizzata dal ritardatore di tempo a predisposizione al decimillesimo di secondo (Fig. 17), che permette di effettuare le periodiche correzioni per riportare la scala UTC_{Mi} vicino alla scala $UT2_{Mi}$. La variazione in frequenza della scala UTC_{Mi} rispetto alla scala di T.A. è invece realizzata per regolazione del condensatore in serie con il circuito oscillatore dell'orologio a quarzo fondamentale.

le realizzare un confronto delle scale UTC_{Mi} e $UT2_{Mi}$ rispetto alle più importanti scale di T.A.

Il confronto dell'unità di tempo fisico locale viene invece effettuato mediante confronti diretti tra la Frequenza Campione dell'Osservatorio e la frequenza portante di una delle stazioni : GBR, NBA, NSS.

Nello schema a blocchi della Fig. 9 è indicato l'insieme delle operazioni e dei confronti effettuati presso il servizio orario dell'Osservatorio di Brera. Come già accennato, i risultati delle osservazioni astronomiche e delle comparazioni delle varie scale di tempo sono comunicati al B.I.H. e pubblicate nelle Circolari dell'Osservatorio.

In particolare su dette Circolari sono dati :

- (a) i risultati delle deviazioni in frequenza (espressi in unità di 10^{-10}) dei confronti tra la Frequenza Campione e la frequenza portante delle stazioni : GBR, NBA, NSS.
- (b) Le correzioni delle scale di tempo dei campioni a quarzo indipendenti dell'Osservatorio, nonché le correzioni della scala di tempo $UT2_{Mi}$ rispetto alla scala UTC_{Mi} .
- (c) Gli istanti di emissione dei segnali orari coordinati e di quelli non coordinati rispetto alla scala UTC_{Mi} . Il passaggio degli istanti di emissione a quelli di ricezione o alla scala $UT2_M$ è reso possibile utilizzando le relazioni :

$$(UTC_{Mi} - \text{segnale})_{\text{emiss.}} = (UTC_{Mi} - \text{segnale})_{\text{ricez.}} - \tau ,$$

$$(UT2_{Mi} - \text{segnale})_{\text{emiss.}} = (UT2_{Mi} - UTC_{Mi}) + (UTC_{Mi} - \text{segnale})_{\text{ricez.}} - \tau ,$$

in cui tutti i dati, compreso il tempo di propagazione τ , sono forniti nelle Circolari stesse.

(d) I risultati dei confronti tra la scala $UT2_{Mi}$ e le seguenti scale di T.A. :

A.1 - dell'U.S. Naval Observatory,

GA - del Greenwich Royal Observatory,

TA1 - de l'Observatoire Astronomique de Neuchâtel.

Questi ultimi dati sono ricavati, utilizzando tutte le emissioni in on de corte delle tre stazioni ricevute durante le 24 ore, per mezzo della rela zione :

$$UT2_{Mi} - T.A. = (UT2_{Mi} - UTC_{Mi}) + (UTC_{Mi} - \text{Segn. orar.}) - (T.A. - \text{segn. orar.}).$$

Il passaggio infine del tempo $UT2_{Mi}$ all' UTC_{Mi} si può ottenere dall'egua glianza :

$$UTC_{Mi} - T.A. = (UT2_{Mi} - T.A.) - (UT2_{Mi} - UTC_{Mi}).$$

Per il confronto dei segnali orari con i segnali locali e per il passag gio dagli istanti di ricezione a quelli di emissione, oltre al tempo di propaga zione, è necessario conoscere e tenere conto dei ritardi introdotti dal radiori cevitore e del tempo di salita del fronte del segnale o dell'intervallo tra l'ini zio del segnale ed il punto considerato come riferimento nelle misure di con fronto.

Nella Fig. 10 è indicato per i vari tipi di segnali orari ricevuti (vedi tabella I nella quale le stazioni non coordinate sono indicate con asterisco) il punto di riferimento che viene utilizzato nella comparazione di segnali ora ri presso il servizio orario dell'Osservatorio di Brera. Per i segnali in tele grafia non modulati (A1) il punto di riferimento è quello nel quale l'ampiezza

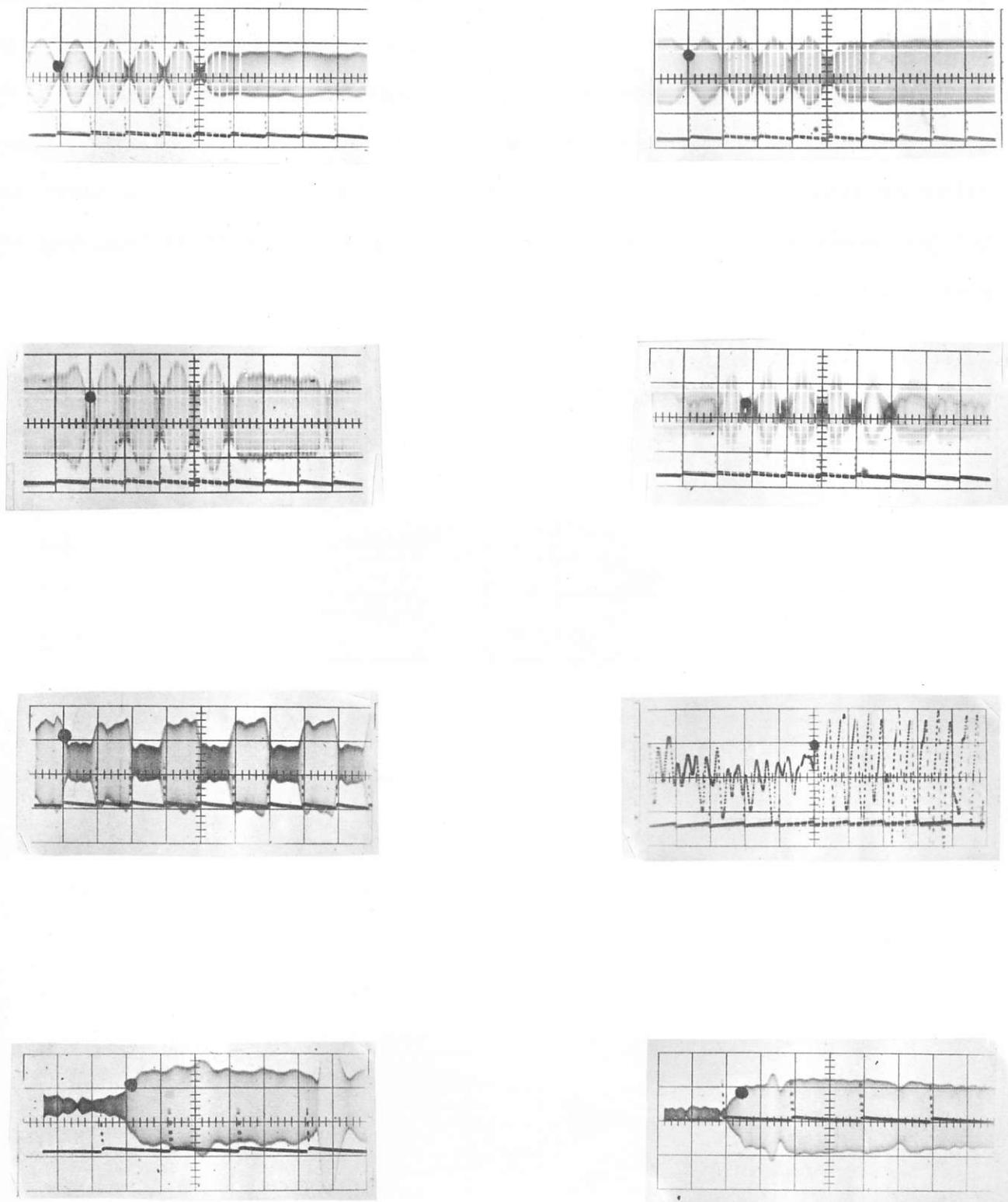


Fig.10 - Oscillogrammi in media frequenza di vari segnali orari ricevuti presso il servizio dell'ora dell'Osservatorio di Brera. Nell'ordine: OMA, IAM, MSF, WWV, HBN, HBG, DIZ, RWM. Il puntino bianco rappresenta per ogni tipo di segnali il punto di riferimento nelle comparazioni di tempo. La scala di ogni oscillogramma è fornita dal treno di impulsi a 1000 Hz indicato dalla seconda traccia dell'oscilloscopio.

del segnale raggiunge il 50% (Fig.11), ad eccezione per il segnale di GBR (16 kc/s) per il quale riferimento è il punto nel quale l'ampiezza raggiunge il 40% (Fig.12). Per i segnali modulati in telegrafia (A2) così come per i segnali costituiti da un certo numero di cicli di una frequenza campione (generalmente 1000 c/s) il punto di riferimento è costituito dal primo minimo nettamente visibile. Per i segnali HBN e HBG il punto è preso al 50% dell'ampiezza del fronte della prima interruzione.

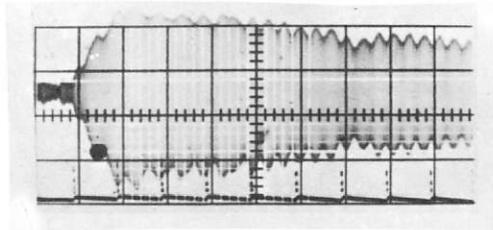


Fig.11 - Segnale orario della emissione OLB5. Il tempo di salita è di circa 1 ms. Il punto di riferimento è preso circa al 50% dell'ampiezza del segnale.

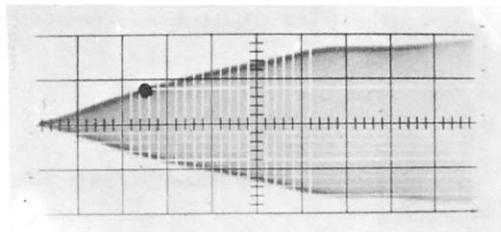


Fig.12 - Segnale della stazione onde lunghe GBR (16 kHz). Tempo di salita $7 \div 8$ ms. Il punto di riferimento è preso circa al 40% dell'ampiezza del segnale.

Tabella I

Stazione	Longitudine (λ)	Latitudine (ϕ)	Ritardi di propagazione (τ)
FTA 91	- 4° 55'	+ 45° 55'	3,2
FTK 77	- 2 07	+ 49 04	2,9
GBR	+ 1 11	+ 52 22	4,3
MSF	+ 1 11	+ 52 22	4,1
HBB	- 7 27	+ 47 01	2,2
HBN	- 6 57	+ 46 58	2,1
HBG	- 6 15	+ 46 24	2,1
IAM	- 12 27	+ 41 52	2,5
IBF	- 7 40	+ 45 03	1,9
NSS	+ 76 27	+ 38 59	24,6
OMA	- 15 08	+ 50 08	2,9
OLB 5	- 14 35	+ 50 07	2,9
VHP	-149 08	- 35 15	58,2
WWV	+ 76 91	+ 39 00	24,7
* BPV	-121 26	+ 31 12	32,7
* DAM	- 9 40	+ 53 47	3,3
* DIZ	- 12 55	+ 52 39	3,4
* DCF 77	- 9 00	+ 50 01	2,8
* RWM	- 37 18	+ 55 45	8,6

Tutti i segnali vengono prelevati dalla MF dei ricevitori ad onde corte (GBR 90) e ad onde lunghe (Textran) (ad eccezione dei segnali ad onde lunghe DCF 77, FTA 91, HBB e HBG prelevati in bassa frequenza dal ricevitore Imcaradio modificato) per evitare la correzione per i ritardi degli amplificatori in bassa frequenza (Fig. 13) che, come è noto, risultano i più sensibili [13].

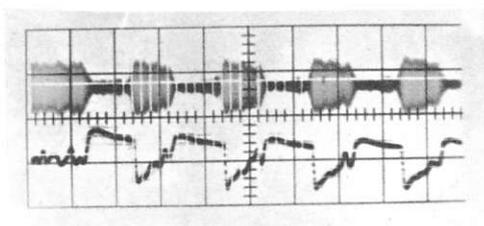


Fig. 13 - Oscillogrammi del segnale della emittente HBN preso in media frequenza ed in bassa frequenza. Il ritardo del segnale in b.f. risulta dell'ordine di 1 ± 2 dms.

3.3. - Lo sviluppo del servizio orario.

All'inizio dell'A.G.I. 1957-1958 le determinazioni del tempo effettuato all'Osservatorio di Brera venivano unicamente utilizzate per la campagna di determinazione delle Longitudini. In seguito all'invio presso il B.I.H. dei risultati dei confronti tra il tempo astronomico locale ($UT2_{Mi}$) ed i tempi semidefinitivi di ricezione dei segnali orari ricevuti, l'Osservatorio partecipò come stazione indipendente al Servizio Internazionale dell'Ora. Dal 1963 il servizio orario dell'Osservatorio costituisce inoltre uno degli Osservatori fondamentali per la determinazione del Tempo Uniforme provvisorio ($TU2$ definitivo) del B.I.H..

Lo sviluppo dei vari servizi dell'ora è documentato dalle pubblicazioni del B.I.H. (Bulletin Horaire) in questi ultimi quaranta anni e più, tanti

quanti ne sono passati dalla costituzione dei primi servizi orari (la costituzione del B.I.H. data dal 1920).

Il servizio orario dell'Osservatorio di Brera è nato in epoca recente (1957). Tuttavia durante questo intervallo relativamente breve, importanti sono stati i progressi realizzati nei vari settori del servizio. Questi progressi sono chiaramente documentati nella tabella II.

Nella determinazione del tempo siderale di Greenwich per mezzo della (4) è necessario introdurre il valore convenzionale della longitudine locale (λ_{conv}). D'altra parte il confronto degli istanti semidefinitivi di ricezione dei segnali orari con l'ora definitiva del B.I.H. (ora dell'Osservatorio medio) permette di determinare lo scarto tra la longitudine convenzionale adottata e la longitudine osservata rispetto all'Osservatorio medio (λ_{oss}). In questo

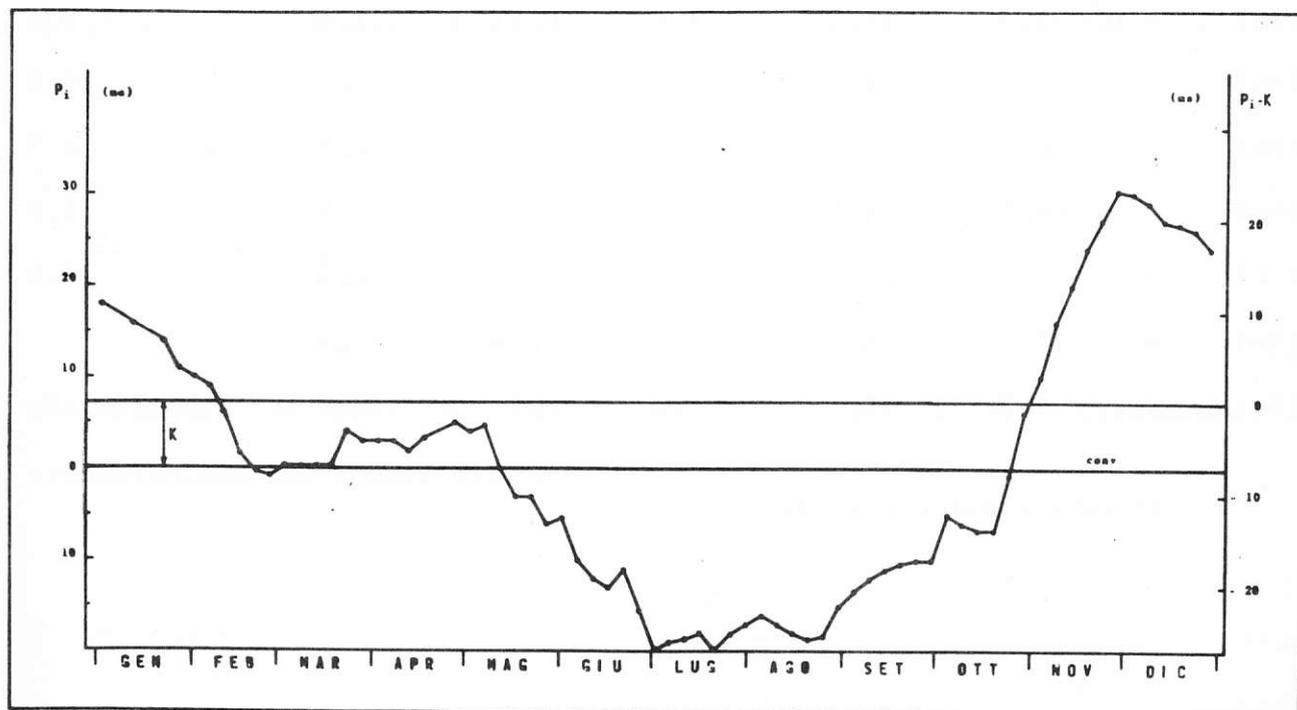


Fig.14 - Variazione della Longitudine locale per l'anno 1962 ricavata dalle osservazioni di tempo effettuate all'Osservatorio di Brera.

scarto confluiscono necessariamente tutti gli errori sistematici ed accidentali propri della determinazione del tempo locale. Di conseguenza l'analisi della curva regolarizzata delle differenze

$$(\lambda_{\text{oss}} - \lambda_{\text{conv}})_j = P_j$$

in funzione del tempo fornisce importanti elementi per valutare le precisioni delle osservazioni ed i loro eventuali progressi.

Tabella II

	K	E_m	E_a	δ	\triangle	E_1	E_c
1957	+ 0 ^s ,003.3	15.0	4.0	0.91	1.8	"	5,4
1958	+ 7.3	14.2	3.9	0.57	1.1	"	4,5
1959	- 4.9	11.4	2.9	0.43	0.8	2.7	2.9
1960	+ 44.8	19.8	2.0	0.29	0.5	1.4	1.4
1961	+ 34.4	13.4	1.7	0.26	0.5	0.7	0.8
1962	+ 7.1	11.9	1.2	0.18	0.3	"	"
1963	- 8.9	18.6	1.2	0.17	0.2	"	"

Il valore della quantità,

$$K = \sum_i P_i / n ;$$

dove n è il numero di valori P_i considerato durante il periodo di un anno ($n = 73$), rappresenta la correzione annuale della longitudine convenzionale dell'Osservatorio ($\lambda_{\text{conv}} = - 36^m 45^s,831$) rispetto all'osservatorio me

dio del B.I.H. Nella Fig. 14 è riportato l'andamento della funzione $F=P_i(t)-K$, per l'anno 1962, ricavato con i dati del Bulletin Horaire del B.I.H. Dalla stessa figura risulta chiaro il significato della quantità :

$$E_m = \sum \left| P_i - K \right| / n$$

che fornisce un'idea delle variazioni per cause sistematiche stagionali e accidentali della longitudine osservata e quindi della scala di tempo adottata.

Gli errori accidentali (E_a) relativi a ciascun P_i sono invece calcolati sulla base delle variazioni della quantità P_i entro periodi di cinque giorni.

Nella tabella II sono infine forniti i seguenti dati calcolati dal B.I.H.:

- (a) le variazioni accidentali (δ) della marcia giornaliera dell'orologio fondamentale dell'Osservatorio ;
- (b) gli errori accidentali di calcolo (Δ) dell'ora interpolata semidefinitiva dell'Osservatorio rispetto all'ora definitiva ;
- (c) gli errori accidentali di ricezione e comparazione dei segnali orari in onde lunghe (E_l) ed onde corte (E_c).

I valori riportati nella tabella mettono in evidenza il progressivo aumento della precisione nelle operazioni di determinazione, conservazione e comparazione del tempo astronomico.

Un parametro estremamente rappresentativo della stabilità e precisione della scala e dell'unità di tempo fisico (UTC_{Mi}) è invece fornito dallo studio degli oscillatori campioni a quarzo. Ricerche sulla stabilità e sull'influenza di vari parametri fisici sulla marcia degli oscillatori a quarzo sono state condotte in questi ultimi anni [14] .

Risultati più recenti dello studio dell'oscillatore fondamentale dell'Osservatorio hanno fornito per la deriva media diurna ($\Delta m / \Delta t$) di questo oscillatore rispetto alla frequenza campione 16 kc/s della stazione GBR (Fig. 15) una espressione in funzione del tempo della forma .

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = 6,50 - 0,0173 (t - t_0), \text{ (in unità di } 10^{-11}\text{)}.$$

nella quale,

$$t_0 = 1964.0$$

$$t = 1964.0 + n \text{ (n espresso in giorni)}$$

Questi risultati mostrano che, attualmente, la scala di tempo fisico (UTC_{Mi}) utilizzata ne servizio orario dell'Osservatorio di Brera, è suscettibile di fornire precisioni intrinseche dell'ordine di $\pm 1.10^{-11}$.

3.4. - Le ricerche connesse con il Servizio dell'ora.

La determinazione del tempo ed il Servizio dell'ora stanno alla base di numerosi settori della ricerca. Ci limitiamo qui solo a ricordare l'importanza che la conoscenza dell'unità di tempo riveste per la ricerca fisica in generale e per molte ricerche speciali di carattere geofisico. Per controllo della scala di tempo (rotazionale e fisico) viene comunemente impiegata in geodesia, in sismologia e naturalmente in astronomia.

Per le ricerche astrometriche in particolare la conoscenza e l'impiego della scala di tempo costituisce un elemento basilare. Essa materializza infatti per queste ricerche una delle due coordinate fondamentali nel sistema di coordinate orarie od equatoriali.

Attualmente il servizio del tempo riveste un'importanza sempre più grande anche per ricerche che, come lo studio del moto del polo, sembravano affidate a tecniche osservative e tuttaffatto diverse.

Le moderne e precise determinazioni di tempo con l'ausilio di orologi atomici o molecolari permettono infatti uno studio accurato e preciso della rotazione della Terra e, di conseguenza, di tutti i fenomeni con essa connessi.

In questa visione moderna e unitaria del problema del movimento della Terra si inquadrano i più recenti sviluppi pratici e tecnici di molte ricerche di carattere astrometrico e geofisico. Sotto molti punti di vista infatti queste due scienze presentano attualmente diversi elementi di contatto proprio grazie al notevole sviluppo della precisione delle osservazioni astronomiche di tempo e dello studio della rotazione terrestre.

Le osservazioni connesse con il servizio del tempo, da un punto di vista generale, possono in effetti venire impiegate e costituiscono l'elemento di base dei seguenti due moderni indirizzi complementari della ricerca astrometrica :

- (a) Lo studio della rotazione della Terra ;
- (b) Le ricerche di astrometria fondamentale .

Il primo indirizzo apre la via, come abbiamo accennato, a nuovi ed affascinanti campi di ricerca. La determinazione delle irregolarità di rotazione della Terra permette infatti, ad esempio, di determinare, in modo indipendente dalle classiche osservazioni di latitudini, il movimento del polo di rotazione sulla superficie terrestre [15] . Inoltre lo studio e la interpretazione delle variazioni periodiche ed irregolari della rotazione terrestre costi

tuisce un elemento di primaria importanza per l'analisi della struttura interna della Terra.

Connesse con queste ricerche sono le ricerche relative alle maree terrestri che costituiscono un altro aspetto, solo in apparenza differente, dei fenomeni legati alla rotazione ed alla rivoluzione della Terra. Risulta infatti teoricamente possibile lo sviluppo delle formule relative al calcolo della pressione e della nutazione direttamente dallo sviluppo del potenziale delle maree terrestri [16]. Inoltre l'osservazione delle maree è strettamente connessa con il movimento di nutazione ed è anzi suscettibile di fornire dei valori più precisi ed attendibili per l'ampiezza dei periodi di nutazione a corto periodo.

La conoscenza della scala di tempo (siderale) permette invece di affrontare i problemi che riguardano l'astrometria fondamentale, vale a dire innanzitutto le ricerche fondamentali per la costituzione di cataloghi stellari, cioè di sistemi di riferimento, che stanno a fondamento di altre ricerche astronomiche e dinamiche; in secondo luogo le ricerche connesse con il moto della Luna, dei pianeti e pianetini.

La Fig. 16 rappresenta, in modo sintetico, gli stretti legami che uniscono numerose ricerche astrometriche al problema della determinazione ed utilizzazione del tempo.

Tuttavia l'impiego del tempo (unità di misura e scala di tempo) presenta attualmente un notevole interesse non solo per scopi puramente scientifici ma anche per scopi pratici e per applicazioni tecniche. Tenendo presente questa importante esigenza dei tempi moderni, in numerosi paesi gli Osservatori Astronomici ed altri Istituti affini hanno sviluppato una conseguente ed utilissima attività cronometrica allo scopo di mettere a disposizione, nelle

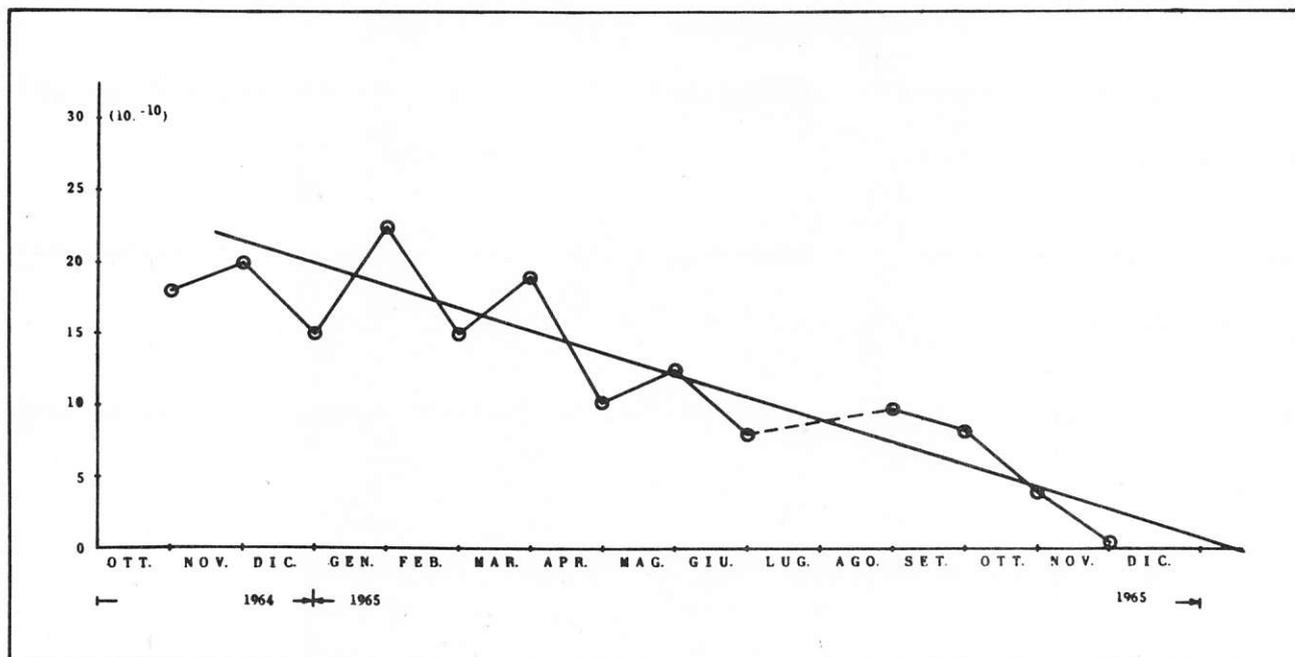


Fig.15 - Variazione della deriva media mensile dell'oscillatore a quarzo fondamentale dell'Osservatorio. In prima approssimazione e per il periodo considerato, la deriva risulta una funzione lineare del tempo.

forme più convenienti ed idonee, sia l'unità di tempo che la scala di tempo astronomico e fisico per gli scopi più diversi.

4. - I servizi del Centro di Cronometria dell'Osservatorio di Brera.

4.1 - I servizi interni.

Le frequenze ed i segnali orari al secondo forniti dagli orologi a quarzo dell'Osservatorio di Brera vengono utilizzati, oltre che per i confronti tra le varie scale di tempo e le frequenze campioni ricevute via radio, anche per scopi interni, come base di tempo per le ricerche astrometriche e per alimentare le stesse apparecchiature cronometriche.

In particolare l'oscillatore a quarzo fondamentale P1 dell'Osservatorio garantisce il funzionamento di tutti i principali servizi interni. Come riser

va di questo oscillatore viene mantenuto l'oscillatore a quarzo P2.

I servizi interni stanno essenzialmente alla base dei seguenti gruppi di ricerche :

- (a) ricerche di astrometria fondamentale (ricerche di catalogo, rotazione della Terra) ;
- (b) ricerche astrogeofisiche o astrogeodetiche (maree terrestri, satelliti artificiali) ;
- (c) servizio dell'ora.

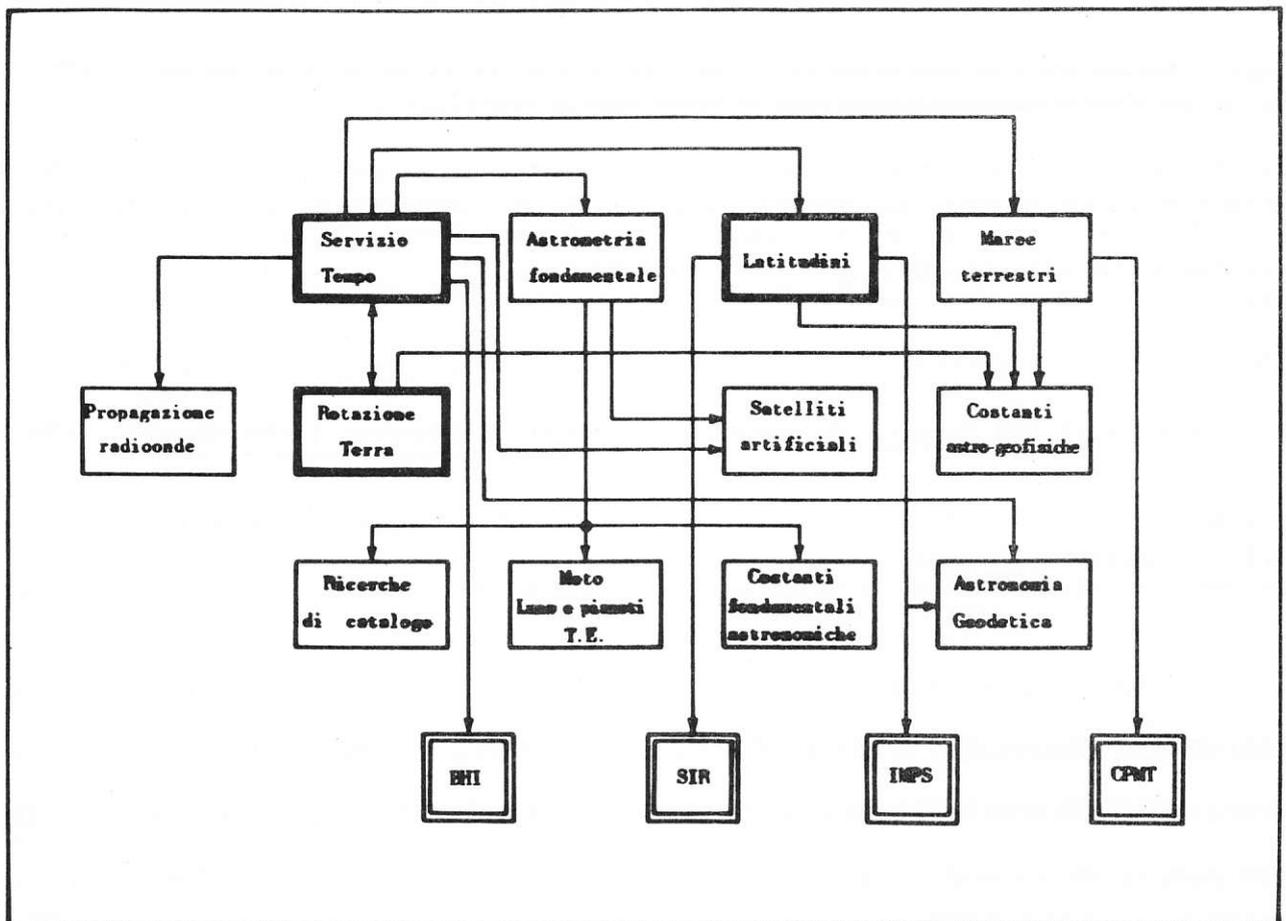


Fig.16 - Numerosi ed importanti settori della ricerca astronomica sono basati sull'impiego di una scala di tempo astronomico. Nella figura sono schematizzate le varie attività della sezione astrometrica dell'Osservatorio di Brera in collegamento con i seguenti organismi internazionali:

- BHI: Bureau International de l'Heure.
- SIR: Service International Rapide des Latitudes.
- IPMS: International Polar Motion Service.
- CPMT: Comité Permanent des Marees Terrestres.

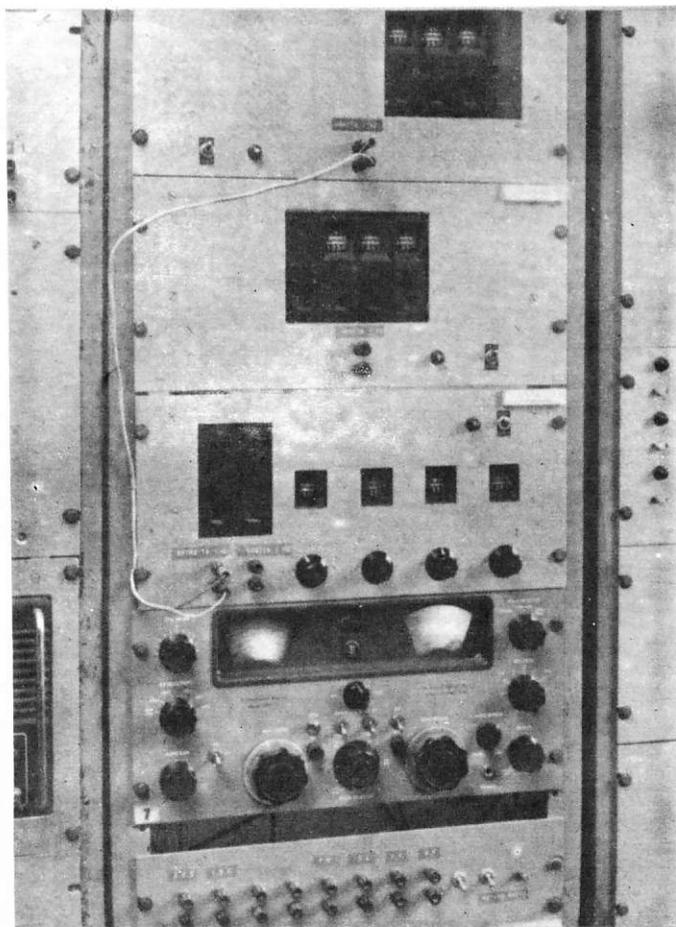


Fig.17 - Ritardatore di tempo a predisposizione e divisori decadici di frequenza a 1000 Hz (sopra). Il ritardatore permette lo sfasamento di un segnale orario fino a 0,9999 s con un passo di 1 dms. In basso è visibile il ricevitore ad onde corte tipo GFR 90 impiegato per la ricezione di segnali orari nella gamma 0,5 - 30 MHz.

Nella Fig.18 è data la disposizione a blocchi delle varie apparecchiature che forniscono la necessaria base di tempo alle diverse ricerche astronomiche in corso all'Osservatorio di Brera.

Come si vede il cuore dei vari servizi è materializzato dall'oscillatore fondamentale P1, il cervello è fornito invece dal ritardatore a predisposizione (Fig.17). Quest'ultimo, come buona parte delle apparecchiature fondamentali, è stato progettato e costruito all'Osservatorio di Brera. Le apparecchiature originali che fanno parte dei precedenti apparati sono in parte descritte in alcune note apparse in varie pubblicazioni. [17] .

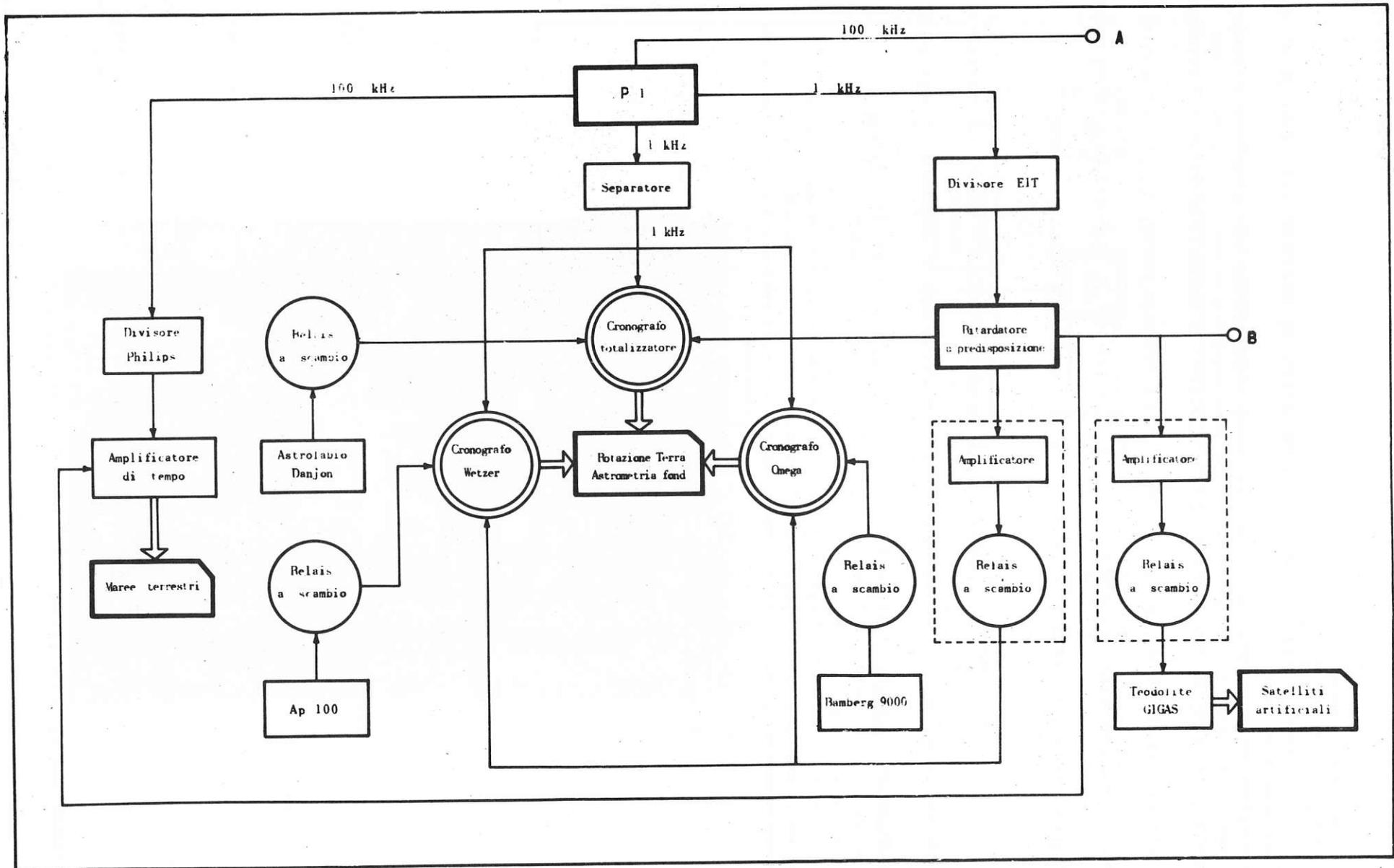


Fig.18 - L'oscillatore fondamentale PI dell'Osservatorio e la rete di apparecchiature e servizi da esso alimentati.

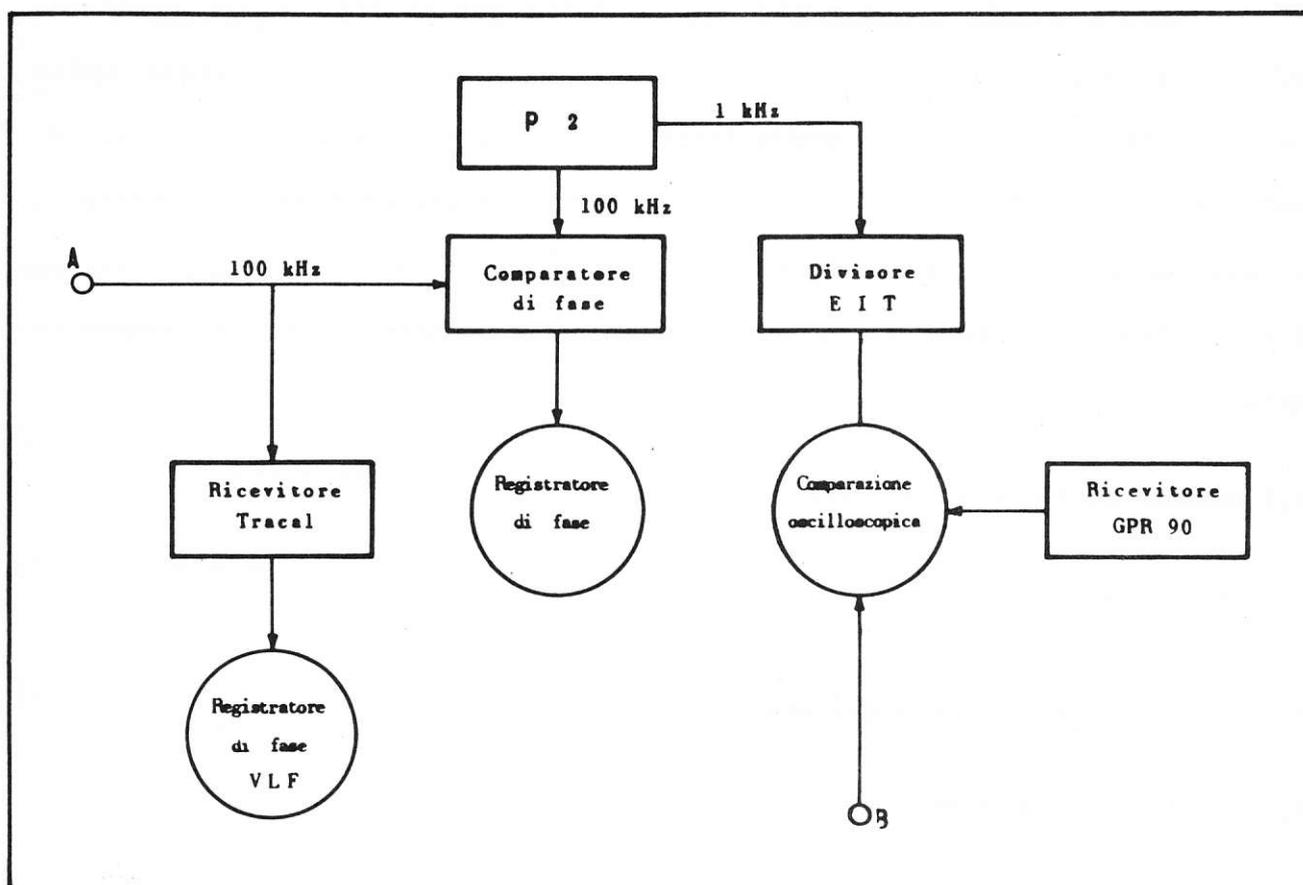


Fig.19 - La figura, in connessione con la Fig.18 mette in evidenza le attività fondamentali del servizio dell'ora dell'Osservatorio fondato sulle operazioni di comparazione delle varie scale di tempo.

Nella Fig.19 sono invece meglio specificati alcuni dettagli tecnici dei procedimenti che caratterizzano il servizio dell'ora, basati sulle comparazioni di segnali orari o segnali locali con metodo oscillografico e di frequenze campioni per mezzo delle registrazioni delle variazioni di fase.

4.2. - La distribuzione del tempo.

Oltre ai servizi interni precedentemente descritti l'Osservatorio di Brera cura, per mezzo del proprio Centro di Cronometria, tutta una serie di servizi esterni, rivolti cioè a fornire con la necessaria precisione sia l'unità di tempo che la scala di tempo a vari utilizzatori e per diversi scopi: scientifici, tecnici, industriali.

Non è questa la sede per approfondire questo aspetto del problema della utilizzazione del tempo. Tuttavia si ritiene utile segnalare, senza addentrarsi in dettagli, peraltro molto interessanti e già accennati in precedenti pubblicazioni [18], i settori attualmente più interessanti all'impiego di una base di tempo (fisica od astronomica) e all'uso dell'unità di tempo (fisica), cioè i settori più interessati alla utilizzazione di segnali orari e frequenze campioni :

- (a₁) Istituti od Osservatori astronomici ;
- (a₂) Istituti di geodesia ;
- (a₃) Istituti di geofisica applicata ;
- (a₄) Istituti di sismologia ;
- (b₁) navigazione terrestre, aerea e marittima ;
- (b₂) laboratori di ricerche spaziali ;
- (c₁) industrie di strumenti di misura, in particolare di cronometria ;
- (c₂) telecomunicazioni ;
- (c₃) laboratori di elettronica applicata .

Attualmente il Centro di Cronometria dell'Osservatorio di Brera effettua numerosi servizi di trasmissione di segnali orari e frequenze campioni con scopi e con precisioni diversi [19] .

Nella tabella III sono riassunti i vari servizi assieme con le corrispondenti caratteristiche di emissione.

TABELLA III

Servizio	Via e tipo di trasmissione	Frequenze portanti	Modulazione	Durata delle trasmissioni	Precisione
FC	Ponte radio circolare MF	163,35 MHz	1000 Hz	continua	$\pm 5 \cdot 10^{-10}$
ATM	Radiodiffusione MF	31,75 MHz	1 Hz	7 ^s ogni ora	$\pm 0,1$ ms
SIP	Servizio telefonico	1000 Hz	--	ogni 10 ^m	$\pm 5 \cdot 10^{-9}$
		1 Hz	--	ogni 10 ^m	$\pm 0,1$ ms
MM	trasmissione per cavo	1 Hz	--	ogni 5 ^s	$\pm 0,1$ ms

Il servizio di trasmissione FC utilizza direttamente la frequenza campione dell'Osservatorio che costituisce la base per la scala di tempo UTC_{Mi}.

Il servizio di trasmissioni di segnali di tempo sulla portante di 31,75 MHz è basato sulla emissione, ciascuna ora, di un codice costituito di 5 top distanziati esattamente di un secondo seguiti dopo l'interruzione di 2^s da un ultimo top al 58.mo secondo del 59.mo minuto. L'ultimo secondo emesso dal codice rappresenta il 58.mo secondo invece del 60.mo per il fatto che questo codice può venire utilizzato per la rimessa all'ora di orologi sincroni che presentano una inerzia nel dispositivo di rimessa all'ora di 2 secondi [20] .

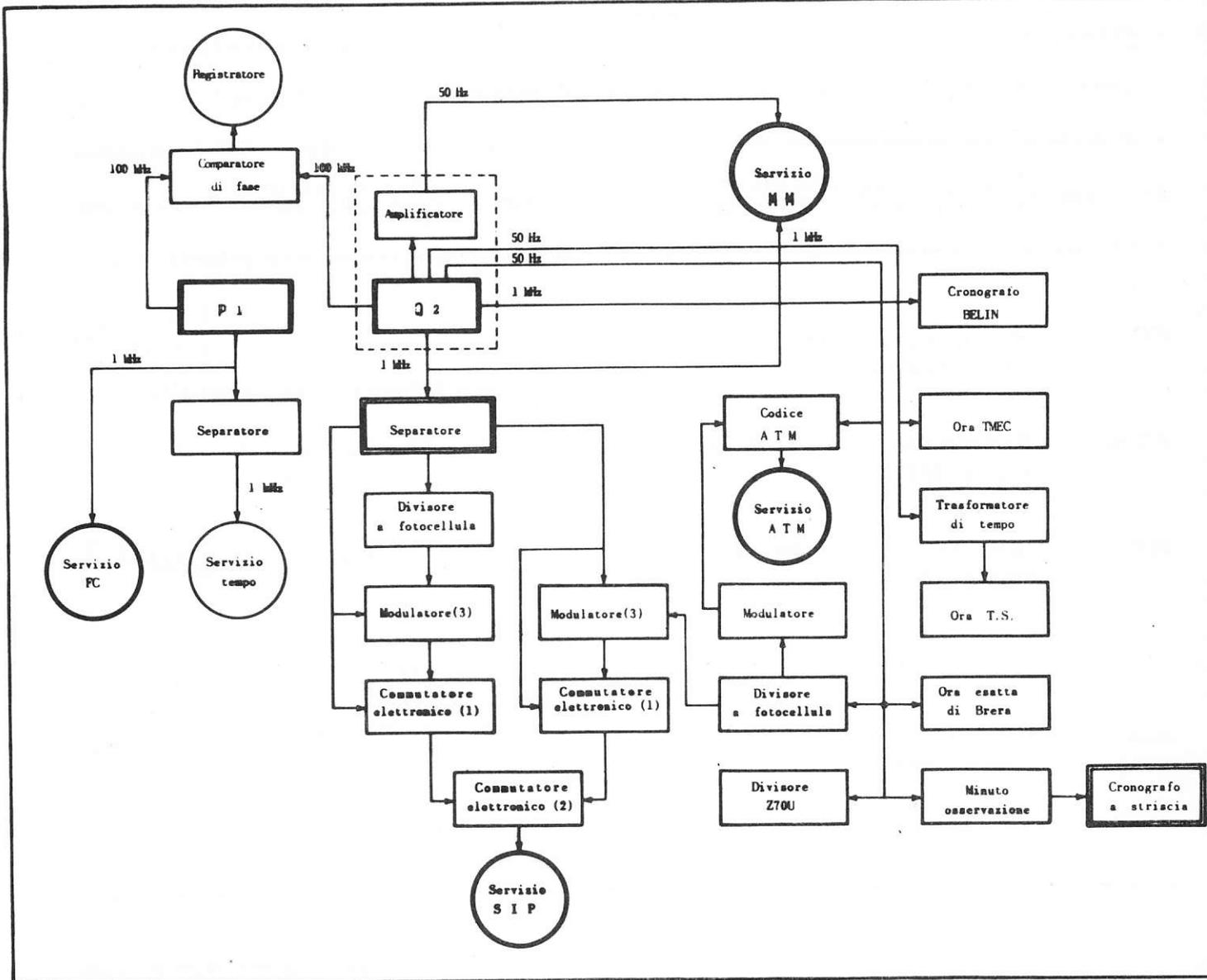


Fig.20 - Disposizione a blocchi dei vari servizi del Centro di Cronometria dell'Osservatorio nel campo della trasmissione di segnali orari e frequenza campione.

In questo modo lo stesso codice può venire utilizzato, data l'elevata precisione, come riferimento di tempo per scopi scientifici e tecnici entro un raggio di circa 50 - 70 Km da Milano [10] .

Entro la rete telefonica urbana della città il Centro di Cronometria cura invece il servizio SIP di trasmissioni di segnali orari al secondo e di frequenza campione [21] .

Le correzioni dei segnali orari emessi rispetto alla scala di tempo UTC_{Mi} e gli scarti della frequenza campione FC rispetto alla portante della stazione GBR sono mensilmente pubblicati nel Bollettino del Centro di Cronometria.

Nella Fig.20 è dato lo schema a blocchi delle varie apparecchiature costituenti i servizi del Centro di Cronometria. Una descrizione più dettagliata dei vari servizi non è possibile fare in questa sede, tuttavia a miglior chiarimento della figura, riteniamo necessario fornire i seguenti utili dettagli, oltre a quelli che si possono trovare nella bibliografia :

- (a) la funzione del commutatore elettronico (1) è quella di permettere alternativamente ogni 10 minuti il passaggio dei segnali orari modulati a 1000 Hz (durata dei segnali 70 ms) o della frequenza campione di 1KHz. Nella Fig.21 è fornito lo schema originale di questo commutatore.
- (b) La funzione del commutatore elettronico (2) è quella di inserire automaticamente i segnali orari provenienti dal divisore elettromeccanico a 50 Hz in caso di avaria del divisore elettromeccanico principale a 1 kHz (Belin). Nella Fig.22 è fornito lo schema originale di questo commutatore.
- (c) Il trasformatore di tempo e di frequenza elettromeccanico, progettato all'Osservatorio di Brera, determina, a partire da una scala di tempo solare medio, una scala di tempo siderale con uno sfasamento di circa 5 ms al giorno, e quindi più che sufficiente per i bisogni correnti delle osservazioni astronomiche. Il trasformatore è costituito da un riduttore di velocità formato da sei ingranaggi convenientemente accoppiati, incaricati di dotare lo statore di un trasformatore sincrono a 50 Hz di un movimento lento di rotazione. I 50 Hz siderali all'uscita del trasformatore sono quindi amplificati e utilizzati per il funzionamento di orologi sincroni a T.S..

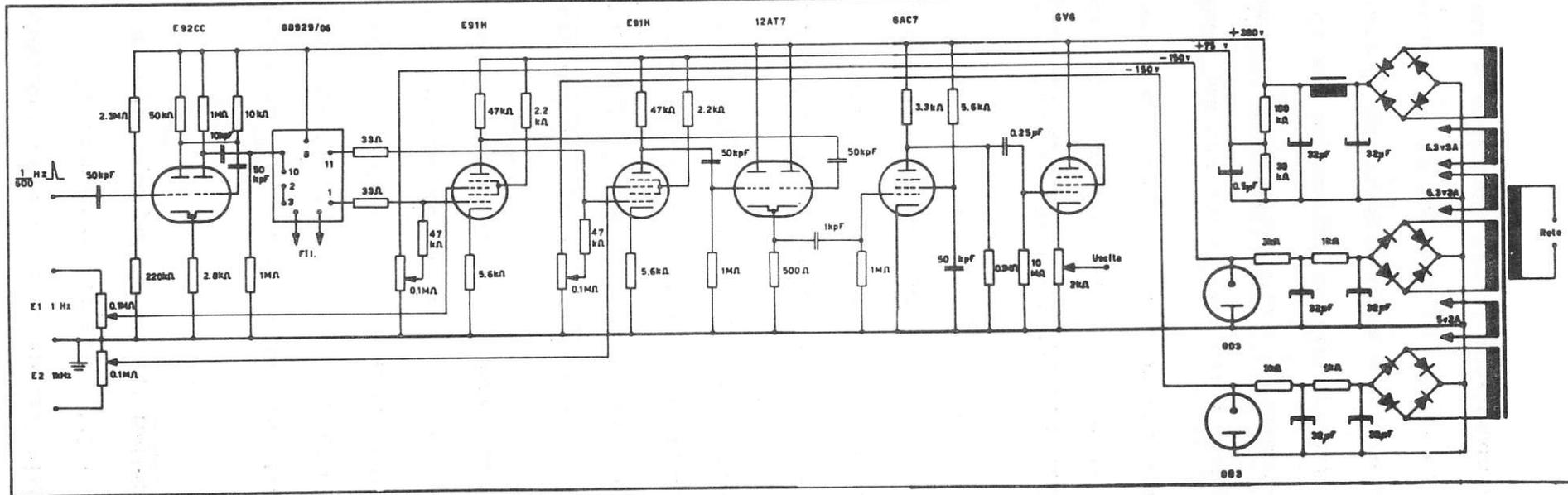


Fig. 21 - Commutatore elettronico che determina il passaggio dei segnali orari (E1) e della frequenza campione a 1000 Hz (E2) alternativamente ogni 10^m . Il segnale di commutazione con la frequenza di 1/600 Hz per mezzo del flip-flop Philips 88929/06 apre alternativamente le due porte E91H. In tal modo i segnali orari all'uscita del circuito di potenza vengono convogliati nel separatore e inviati direttamente alla centrale telefonica della rete cittadina.

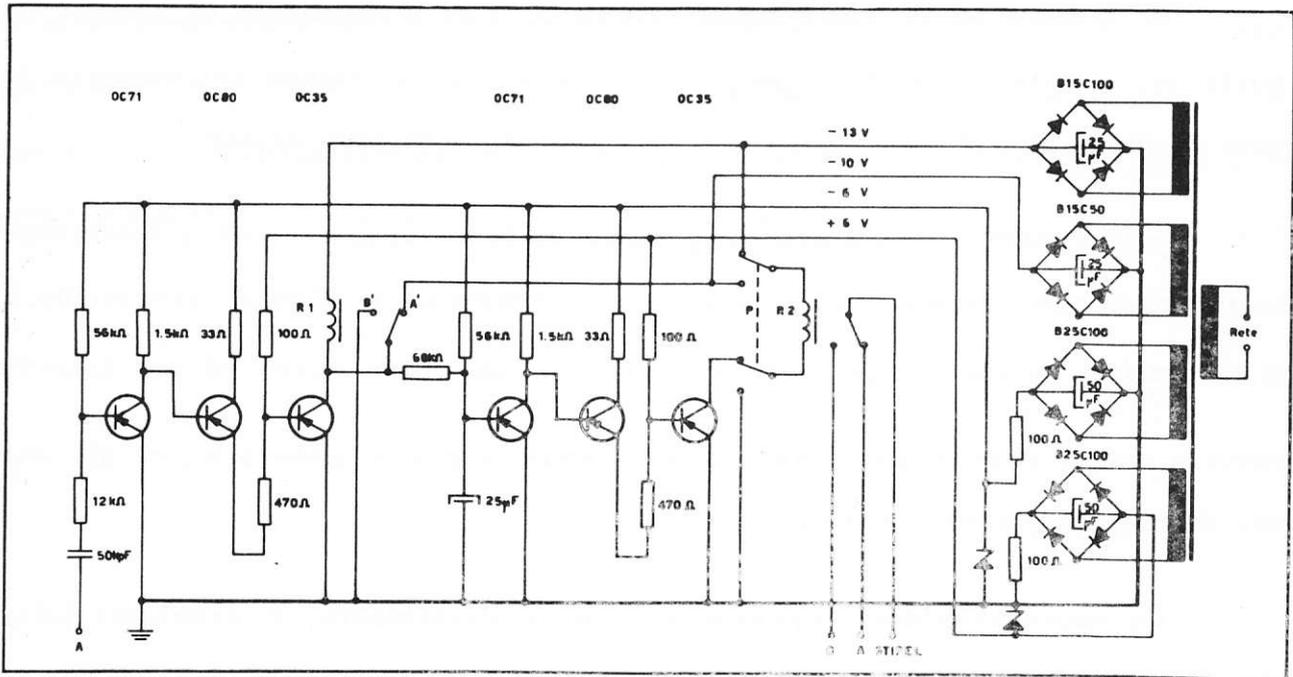


Fig.22 - Commutatore elettronico che permette il passaggio automatico dei segnali orari del gruppo principale A (Divisore elettromeccanico a 1000 Hz) al gruppo di riserva E. Il relais normalmente in posizione A¹ va in B¹ ogni secondo all'arrivo del segnale orario principale. Il relais H2 normalmente in posizione A va in B nel caso che il segnale orario in A¹ manchi per 5s. Il ritorno nella posizione A viene ottenuto manualmente per mezzo del doppio deviatore telefonico P.

4.3. Conclusioni.

Un servizio orario completo è costituito da un insieme di installazioni capaci di permettere la determinazione delle varie scale di tempo e delle unità di tempo corrispondenti. Il carattere prevalentemente astronomico degli attuali servizi orari è dovuto al fatto che l'unità di tempo è stata finora definita a partire da un fenomeno astronomico naturale.

La futura probabile coesistenza di più unità di tempo (basate su principi diversi) costituirà senza dubbio un elemento nuovo nella storia della metrologia del tempo. Questo nuovo elemento dovrà necessariamente determinare un potenziamento degli attuali servizi orari e stimolare la loro collaborazione con altri istituti o con i laboratori incaricati della ricerca tecnologica e metrologica inerente ai campioni di tempo fisico.

E' d'altra parte fuori discussione, ed anzi attualmente di grande importanza, la determinazione e lo studio di una base di tempo astronomica legata al moto di rotazione della Terra ed al moto di rivoluzione.

Per contro, il continuo progredire della ricerca tecnica e l'esigenza in questo campo di disporre di campioni di frequenza di elevata precisione e di immediata utilizzazione viene a costituire un nuovo onere ed una interessante e nuova attività per i servizi del tempo e più in generale per gli istituti di metrologia del tempo.

Un nuovo problema si presenta tuttavia attualmente. Il problema della sincronizzazione od omogeneizzazione su scala mondiale di vari tempi atomici.

Da parecchi decenni gli astronomi e tutti coloro che fanno uso del tempo astronomico sono in grado, sia pure anche dopo anni, di correggere ed omogeneizzare le scale di tempo astronomico locale e tutte le osservazioni su queste scale basate utilizzando i dati forniti dal B.I.H..

E' da augurarsi che una simile impresa, con le caratteristiche della tempestività e della precisione proprie dei moderni campioni del tempo fisico, possa essere estesa e mantenuta a proposito della scala di tempo basata attualmente sul campione al cesio.

Per questo motivo sono senza dubbio da condannare tutti i tentativi di costituire nuove scale indipendenti di tempo fisico locale o di utilizzare le attuali trasmissioni di tempo fisico senza un'esatta e rigorosa conoscenza dei numerosi e complessi problemi di riduzione. In caso contrario le elevate precisioni intrinseche possono risultare solo apparenti e condurre a gravi errori di valutazione e di comparazione.

D'altra parte è necessario che il tempo astronomico rotazionale e del del

le effemeridi venga continuamente determinato, perfezionandone via via le tec
niche osservative e di riduzione, allo scopo di migliorare da una parte la co
noscenza delle variazioni di rotazione della Terra e di costituire dall'altra una
sempre più sicura base per le osservazioni astronomiche e geodetiche eseguite
sopra la superficie terrestre.

Bibliografia

- [1] - Comptes Rendus XI^{me} Conf. Gener. Poids et Mesures, 84, Paris, (1960) .
- [2] - Comptes Rendus XII^{me} Conf. Gener. Poids et Mesures, 68, Paris, (1964) .
- [3] - Markowitz W., Hall R.G., Essen L., Parry J.V.L., "Frequency of cesium in terms of Ephemeris Time", Phys.Rev.Letters, 1, 195, (1958) .
- [4] - Stoyko A., "La variation de la rotation de la Terre"., Actes du Congrès Intern.de Chronom., 191, Lausanne, (1964) .
Iijima S., " Frequency of cesium resonator on ET determined in Tokyo ", Tokyo Astron.Bull. N. 165, (1964) .
- [4a] - Trans.I.A.U., 12 B, 594, (1966) .
- [4b] - Nicholson W., Sadler D.H., "Atomic standards of Frequency and the Second of Ephemeris Time", Nature, 210 (5032), 187, 1966 .
- [5] - Markowitz W., " Definition, determination et conservation de la seconde ", Com.Consul.pour la definition de la seconde, 47, Paris, (1961) .
- [6] - Transactions of the I.A.U., Vol.XII B, Resolution adoptées par la Comm.31, (1965) .
- [7] - Markowitz W., "Time determination and distribution: current developement and problemes", Actes du Congrès Intern.de Chronom., 159, Lausanne, (1964) .

- [8] - Shapiro L.D., "Loran-C timing", Frequency, 2, 32, (1965).
- [9] - Steele J. McA, Markowitz W., Lidback C.A., "Telstar Time Synchronisation", IEEE Trans.on Instrum, 1, (1965).
- [10] - Proverbio E., "Problemi ed esperienze riguardanti la radiopropagazione di segnali di tempo e di frequenze in modulazione di frequenza", Automazione e Strumentazione, 1, (1965).
- [11] - Transaction of the I.A.U., Vol. XI B, 167, 1962.
- [12] - Aoki S., "Discussion on Longitude differences of catalogues in the determining Ephemeris Time", Astron.J. 66, 1, (1961).
- [13] - Proverbio E., "La misura dei ritardi alla ricezione di segnali orari utilizzati nella determinazione di tempo e di longitudine", Rend.Ist. Lomb. di Scienze e Lettere, Vol. 95, 673, (1961).
- Requême Y., "Retards théoriques et expérimentaux des signaux horaires dans les amplificateurs à fréquence intermédiaire", Ann.Franç. de Chronom., 1, 23, (1962).
- [14] - Proverbio E., "Etalon de temps et de fréquence du service horaire de l'Observatoire de Milan", Actes du congrès Intern. de Chronom., Lausanne 139, (1964).
- Proverbio E., "Ricerche sulla marcia e sulla deriva di campioni di frequenza a quarzo", Rend. Ist. Lomb. di Scienze e Lettere, Vol.98, 669 (1964).
- [15] - Stoyko A., "Sur la détermination du pôle d'après les service horaire", Comptes rend. des seances de l'Acad. de Sc., t. 242, 2298, (1965).

- [16] - Melchior P., "Deduction du phenomène de precision-mutation à partir de la marée terrestre", Bull. de l'Acad. Roy. de Sci., 24, (1965).
- [17] - Brando F., Proverbio E., "Cronometro elettronico e dispositivo oscillografico per confronti di tempo", Rend. Ist. Lomb. di Scienze e Lettere, Vol. 93, 399, (1959).
- Proverbio E., "Determinazione della Longitudine dell'Osservatorio Astronomico di Brera durante l'Anno Geofisico Internazionale" 1957-58, Public. della Comm. Ital. del Comit. Intern. di Geofisica, serie I G C, n. 39 (1965).
- [18] - Proverbio E., "La determinazione e la sincronizzazione dell'unità di tempo e di frequenza per scopi tecnici e scientifici", Elettrificazione n. 12, (1964).
- [19] - Proverbio E., "Transmission services of Time Signals and Frequencies Standard of the Milan Observatory Chronometric Center", Mem. SAIt. Vol. 1-2, 205, (1965).
- [20] - Crestetto G. Mazzon L., Proverbio E., "Service de distribution de l'heure et dispositif pour la remise a l'heure automatique des horloges", Actes du Congrès Intern. de Chronom., Lausanne, 563, (1964).
- [21] - Proverbio E., "Il servizio di distribuzione di segnali orari e di frequenza campione sulla rete telefonica di Milano", Elettrificazione, n. 2, (1963).

INDICE

	pag.
1. - La definizione dell'unità e della scala di tempo	3
1.1 - Il tempo delle effemeridi	3
1.2 - Il campione fisico di frequenza	6
1.3 - Situazione attuale e prospettive per il futuro	10
1.4 - La scala di tempo coordinato	13
2. - La funzione dei servizi orari	16
2.1 - La determinazione del tempo	16
2.2 - La comparazione delle scale di tempo	18
3. - Il servizio orario dell'Osservatorio di Brera	22
3.1 - Le scale di tempo	22
3.2 - Il Servizio Orario	27
3.3 - Lo sviluppo del servizio orario	36
3.4 - Le ricerche connesse con il Servizio Orario	40
4. - I servizi del Centro di Cronometria dell'Osservatorio di Brera	43
4.1 - I servizi interni	43
4.2 - La distribuzione del tempo	47
4.3 - Conclusioni	53