

OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI MILANO - MERATE

Determinazione dei ritardi di propagazione
dei segnali orari in banda LF ed HF ricevuti
a Merate

(F. Chlistovsky - F. Mazzoleni)

Rapporto interno N° 2

Marzo 1975

1. Introduzione

La precisione della sincronizzazione in tempo mediante ricezione di segnali orari in banda LF ed HF, trova una rilevante limitazione nella determinazione dei ritardi di propagazione delle onde radio. Infatti la loro velocità di propagazione varia con le caratteristiche e le condizioni del mezzo di propagazione, in dipendenza oltre che dalla variazione di altezza degli strati atmosferici interessati lungo le varie ore del giorno (soprattutto nei periodi del sorgere e tramontare del sole), anche da condizioni atmosferiche, tempeste solari e fenomeni magnetici. E' possibile assimilare teoricamente l'atmosfera ad una rete elettrica che provoca variazioni di fase e di ampiezza del segnale in funzione del tempo, però è difficile simulare e tradurre in funzioni esatte i diversi parametri interessati effettivamente al fenomeno in questione. Pertanto una determinazione teorica dei ritardi di propagazione può fornire un valore effettivo approssimato

che non sempre riesce a tener conto di fenomeni imprevedibili od imprevedibili, ed è per questo motivo che si è ricorso alla determinazione dei ritardi di propagazione (o delle correzioni da apportare ai valori teorici adottati) con metodi statistici basati su dati sperimentali di ricezione.

Si elencano ed illustrano brevemente i principali metodi di determinazione dei ritardi di propagazione, con particolare attenzione a quello usato nella presente trattazione.

1.1 METODO TEORICO. Si basa sulla relazione $\tau = \frac{d}{v}$. La determinazione di d (cammino effettivo dell'onda) non presenta problemi (eccetto che per alcuni valori critici della distanza geometrica stazione trasmittente - stazione ricevente) in quanto, dipendentemente dalla distanza geometrica tra i luoghi di trasmissione e ricezione e a seconda della frequenza usata, è possibile prevedere teoricamente il tipo di tragitto e il numero di riflessioni subite dal segnale radio in questione. L'incertezza della determinazione di τ è legata all'imprecisione della determinazione della velocità v di propagazione. A tale proposito si rimanda alla bibliografia [1].

1.2 TECNICA DEL TRASPORTO DI OROLOGI. È praticamente il metodo più esatto; la sua precisione raggiunge il μsec con l'uso di orologi atomici. Presenta però l'inconveniente della impossibilità di determinazioni frequenti e continue per ovvi motivi pratici e quindi si presta soprattutto come metodo di determinazione e controllo preciso dello stato della locale scala di tempo fisico coordinato. [2]

1.3 METODO SPERIMENTALE DI DETERMINAZIONE ASSOLUTA DEI RITARDI DI PROPAGAZIONE Elaborando gli istanti di ricezione dei segnali orari, per periodi di qualche anno, riferiti al sistema BIH [3].

Brevemente, il metodo di riduzione è il seguente:

L'istante di emissione del segnale nel sistema BIH si può rappresentare con la relazione

$$(1) \quad (UT2_{def} - Sig)_{emis} = (UT2_{def} - UTC_{BIH}) + (UTC_{BIH} - Sig)_{emis}$$

lo stesso istante di emissione si può esprimere

$$(2) \quad (UT2_{def} - Sig)_{emis} = (UT2_{def} - UT2_{staz}) + (UT2_{staz} - Sig)_{emis}$$

dove

$$(UT2_{staz} - Sig)_{emis} = (UTC_{staz} - Sig)_{emis} + (UT2_{staz} - UTC_{staz})$$

$$(UTC_{staz} - Sig)_{emis} = (UTC_{staz} - Sig)_{ricez} - \tau + \Delta\tau$$

La differenza $\Delta\tau$ tra i primi membri della (1) e (2) dà l'errore presente nel tempo di propagazione convenzionalmente usato.

1.4 METODO STATISTICO DI DETERMINAZIONE DELLE CORREZIONI DEI τ usato nel presente lavoro. La descrizione verrà effettuata nel capoverso 2 .

2. La sincronizzazione in tempo all'Osservatorio Astronomico di Merate è stata mantenuta fino al 1973 (anno in cui mediante l'installazione di un ricevitore di segnali orari Loran - C si è notevolmente migliorata la precisione di sincronizzazione) mediante ricezione dei seguenti segnali orari :

HBG (75 kHz) - DIZ (4.525 MHz) - IBF (5 MHz) - FTA₉₁ (91.15 kHz)
MSF (5 MHz) - FTK₇₇ (10.775 MHz) - RWM (10 MHz) .

Per la riduzione degli istanti di ricezione di tali stazioni ad istanti di emissione sono stati inizialmente usati i tempi di propagazione precedentemente calcolati per la sede di Milano. [3] Considerando tali tempi come valori approssimati, sulla base degli istanti di ricezione delle stazioni nell'arco di due anni, è possibile calcolare con il metodo statistico sotto descritto [4] le correzioni da apportarvi.

Detti τ_i i valori dei tempi di propagazione delle stazioni i convenzionalmente usati, t_i gli istanti di emissione dei segnali, E_i le quantità per la riduzione di tali istanti al sistema BIH, Δt la correzione della locale scala di tempo, $\Delta\tau$ gli

errori da determinare, si può scrivere la seguente relazione:

$$(1) \quad t_i^k = \Delta\tau_i^k + E_i^k + \Delta t^k$$

dove $i = 1, 2, \dots, n$ ($n = 7$, numero di stazioni emittenti usate) e k è funzione progressiva del tempo.

Dalla equazione (1) si può dedurre

$$(2) \quad \Delta\tau_i^k - \Delta\tau_1^k = (t_i^k - t_1^k) - (E_i^k - E_1^k)$$

A questo punto è necessario introdurre una condizione di lavoro, cioè l'ipotesi che la media delle correzioni $\Delta\tau_i^k$ di tutte le stazioni usate sia trascurabile rispetto al valore di ogni singola correzione. Ciò significa trasformare il sistema di correzioni in un singolo sistema coerente.

Dall'equazione (2) abbiamo

$$\sum_i \Delta\tau_i^k - n \Delta\tau_1^k = \sum_i a_i^k$$

dove

$$a_i^k = (t_i^k - t_1^k) - (E_i^k - E_1^k)$$

L'ipotesi sopra fatta si traduce nell'equazione di condizione

$$\Delta\tau_i^k = -\frac{1}{n} \sum_i a_i^k$$

da cui

$$\Delta\tau_i^k = a_i^k - \frac{1}{n} \sum_i a_i^k$$

Nella tabella I sono riportate le stazioni di cui si sono utilizzati i segnali, i valori degli indici i ad ognuna di esse assegnati e, espressi in decimillesimi di secondo, i ritardi di propagazione usati.

TABELLA I

Stazione	i	$\tau (0^s.0001)$
HBG	1	25
DIZ	2	37
IBF	3	28
FTA ₉₁	4	30
MSF	5	52
FTK ₇₇	6	38
RWM	7	95

In tabella II sono riportati i dati $\Delta\tau$ trovati con il metodo sopra descritto con le rispettive deviazioni standard per gli anni 1969 - 1970 calcolati separatamente e complessivamente, usando tutte 7 le stazioni.

TABELLA II

Stazione	$\Delta\tau_{1969}$ ($0^s.0001$)	$\Delta\tau_{1970}$ ($0^s.0001$)	$\Delta\tau_{1969-1970}$ ($0^s.0001$)
HBG	- 2.0 \pm 1.3	- 2.9 \pm 1.3	- 2.6 \pm 1.3
DIZ	+ 2.3 \pm 1.7	+ 1.8 \pm 1.9	+ 2.0 \pm 1.8
IBF	+ 0.5 \pm 1.9	- 2.2 \pm 1.8	- 1.3 \pm 2.1
FTA ₉₁	- 2.5 \pm 1.9	- 1.4 \pm 3.0	- 1.7 \pm 2.7
MSF	+ 1.1 \pm 2.4	+ 1.8 \pm 2.7	+ 1.6 \pm 2.7
FTK ₇₇	- 0.6 \pm 2.0	- 0.2 \pm 2.2	- 0.3 \pm 2.2
RWM	+ 1.7 \pm 1.4	+ 2.6 \pm 1.9	+ 2.2 \pm 1.8

Nella tabella III sono riportati gli stessi dati per un numero complessivo di 6 stazioni. Si vede facilmente che le variazioni nei due casi sono molto piccole e quindi decisamente trascurabili. Ciò è una verifica della validità del metodo indipendentemente dalle stazioni usate e dal loro numero.

TABELLA III

Stazione	$\Delta\tau_{1969}$ ($0^s.0001$)	$\Delta\tau_{1970}$ ($0^s.0001$)
HBG	- 1.8 \pm 1.3	- 2.5 \pm 1.5
DIZ	+ 2.4 \pm 1.7	+ 1.9 \pm 1.9
IBF	+ 0.7 \pm 1.7	- 1.9 \pm 1.6
FTA ₉₁	- 2.3 \pm 1.8	- 0.6 \pm 2.7
FTK ₇₇	- 0.3 \pm 1.8	0.0 \pm 2.2
RWM	+ 1.9 \pm 1.4	+ 2.9 \pm 1.8

Si sono ritenuti validi quindi gli errori $\Delta\tau_1$ calcolati con 7 stazioni con i dati complessivi dei 2 anni 1969 e 1970. In tabella IV sono riportati i τ precedentemente usati, gli errori

determinati nella presente analisi e quindi, in ultima colonna i τ^* definitivi usati dal 1972 in poi.

TABELLA IV

STAZIONI	τ	$\Delta\tau$	τ^*
HBG	25	- 3	28
DIZ	37	+ 2	35
IBF	28	- 1	29
FTA ₉₁	30	- 2	32
MSF	52	+ 2	50
FTK ₇₇	38	0	38
RWM	95	+ 2	93

Bibliografia

- 1 - Bulletin horaire du BIH n° 8 série F; n° 1 série G
- 2 - Frequency and time standards - Application note 52.HP Co.
- 3 - Proverbio - Chlistovsky . The absolute determination of the travel time of radio signals in the BIH system.
- 4 - Proverbio - Chlistovsky . Coherent system for travel time of radio time signals.