

**OSSERVAZIONI SULLA PROPAGAZIONE DI SEGNALI ORARI
SU 2.500 E 5.000 Mc/s
DURANTE L'ECLISSE TOTALE DI SOLE DEL 15 FEBBRAIO 1961**

Nota di EDOARDO PROVERBIO (*)
(*Osservatorio Astronomico di Brera*)

RIASSUNTO. — Durante l'eclisse totale di Sole del 15 febbraio 1961 è stato effettuato un programma speciale di ricezione di segnali orari su onde corte per lo studio del tempo di propagazione nella ionosfera e nella troposfera.

Dall'analisi dei risultati è lecito attribuire una relativa stabilità allo strato F2 durante il periodo dell'eclisse. Anche la propagazione troposferica su 2.500 Mc/s non risulta particolarmente perturbata.

SUMMARY. — During the total solar eclipse of 15 February 1961 a special program of reception of time signals reflected from the ionosphere and troposphere has been carried out at Brera Observatory for a study of the propagation time.

The experimental observations showed a relative stability in the F2 layer. Also the tropospheric propagation on 2.500 Mc/s does not seem particularly disturbed.

In occasione dell'eclisse totale di Sole del 15 febbraio 1961 è stato previsto presso il servizio dell'Ora dell'Osservatorio di Brera uno speciale programma di ricezione di segnali orari avente come scopo lo studio del comportamento degli strati interessati alla propagazione delle radioonde su 2.500 e 5.000 Mc/s.

Come è noto lo studio della ionosfera viene generalmente condotto mediante sondaggi ionosferici basati sul metodo di Breit e Tuve. Tuttavia soprattutto durante i fenomeni di eclissi solari notevoli informazioni si possono ottenere dallo studio delle anomalie di propagazione di segnali orari ⁽¹⁾.

Il fenomeno della totalità interessava in Italia a quota zero sulla superficie terrestre una fascia ampia circa 3 gradi centrata sulla latitudine media

(*) Ricevuta il 5 marzo 1964.

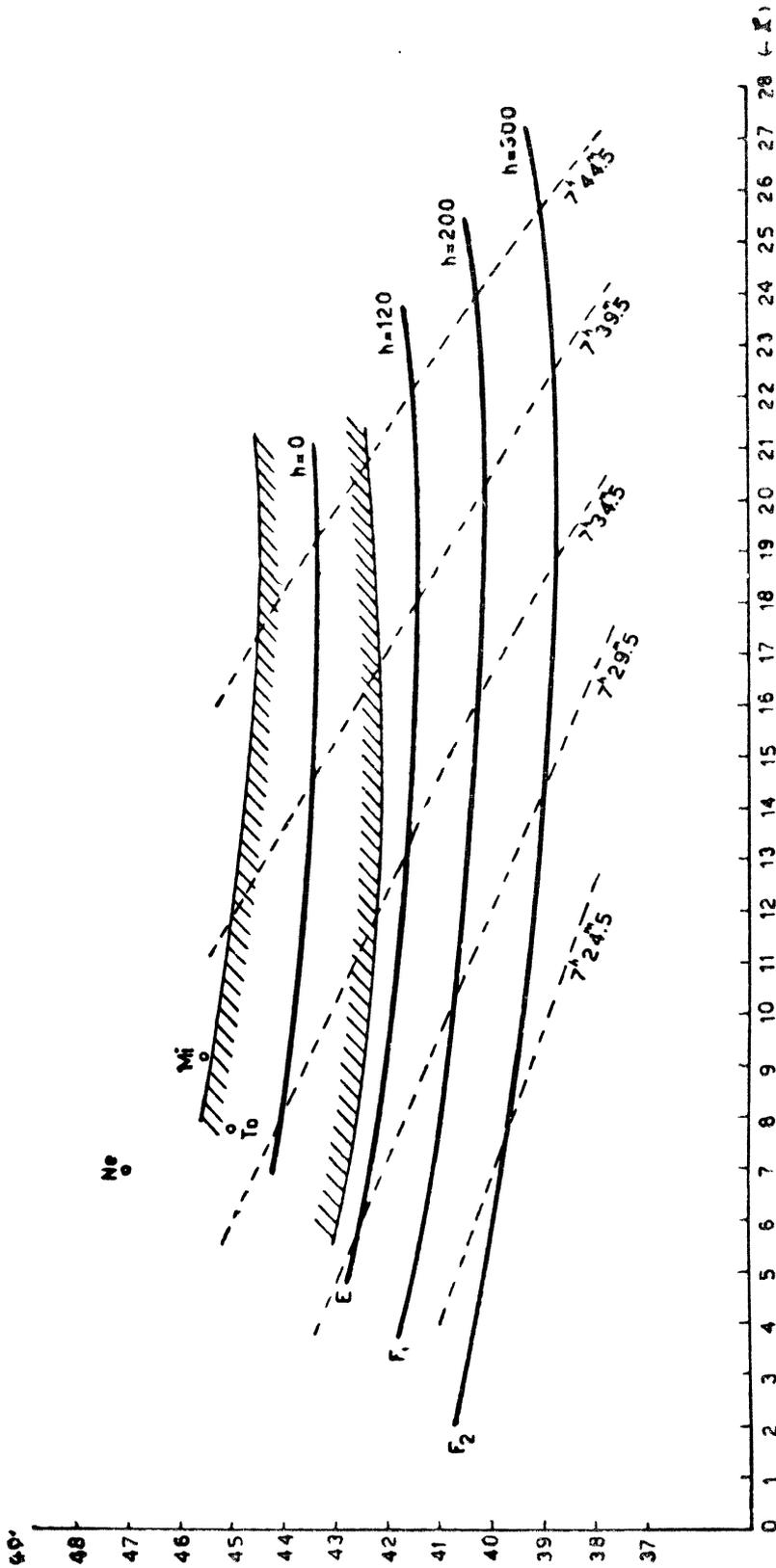


Fig. 1

di 43,5 gradi. A diverse quote ionosferiche la linea centrale dell'eclisse risultava spostata verso latitudini più basse rimanendo praticamente costante l'ampiezza della fascia della totalità.

I diagrammi di Fig. 1, dedotti ed in parte interpolati dai dati calcolati di A. Kranjc ⁽²⁾ rappresentano le circostanze locali del fenomeno per le quote $h = 0$, $h = 120$ km, $h = 200$ km, $h = 300$ km, corrispondenti le ultime tre rispettivamente all'altezza reale media degli strati E, F1, F2.

A Milano (Mi) e Torino (To) la parzialità alla quota dello strato E si aggirava attorno al 95%, a Neuchatel (Ne) al 90% circa. Per lo strato F2 rispettivamente circa il 90% e l'85%.

Questi dati mostrano che nel triangolo Mi, To, Ne, interessato allo studio della propagazione, la grandezza massima dell'eclisse è risultata notevole a tutte le quote ionosferiche.

Le ricezioni di segnali orari campione modulati a 1 Kc/s utilizzati per questa ricerca sono state forzatamente ridotte alle stazioni IBF (5.000 Mc/s) e HBN (2.500 Mc/s) a causa delle cattive condizioni di ricezione che hanno impedito o disturbato la ricezione di tutte le stazioni in programma. Quest'ultimo prevedeva la ricezione oscillografica continuata di segnali orari per la durata di tutto il periodo dell'eclisse, vale a dire per l'intervallo 6^h.5 — 9^h.0 U.T., al fine di mettere in evidenza eventuali variazioni della durata di propagazione imputabili a variazioni continue dell'altezza apparente degli strati o a salti da uno strato all'altro.

Per determinare in prima approssimazione gli strati interessati alla propagazione e come elemento di controllo per i risultati successivi è stata calcolata la massima frequenza utilizzabile (MUF). Nella Fig. 2 sono dati i valori della MUF in Mc/s per gli strati E ed F, relativamente alle distanze geodetiche s delle stazioni di Torino (127 km) e di Neuchatel (302 km), calcolati con la formula approssimata, valida per distanze tali per cui si possa trascurare la curvatura terrestre,

$$MUF = f_c \sqrt{1 + 0,25 \left(\frac{s}{h} \right)^2},$$

nella quale la frequenza critica f_c è stata ricavata dalle relazioni di Chapman caratteristiche dei due strati.

I diagrammi della MUF (IBF) E e MUF (IBF)F1 indicano che la propagazione di IBF sui 5.000 Mc/s può interessare solo lo strato F1 superiore e lo strato F2. Diverso comportamento è da aspettarsi per i segnali di HBN sui 2.500 Mc/s che presentano una MUF superiore alla frequenza di trasmissione anche per lo strato E durante il periodo dell'eclisse.

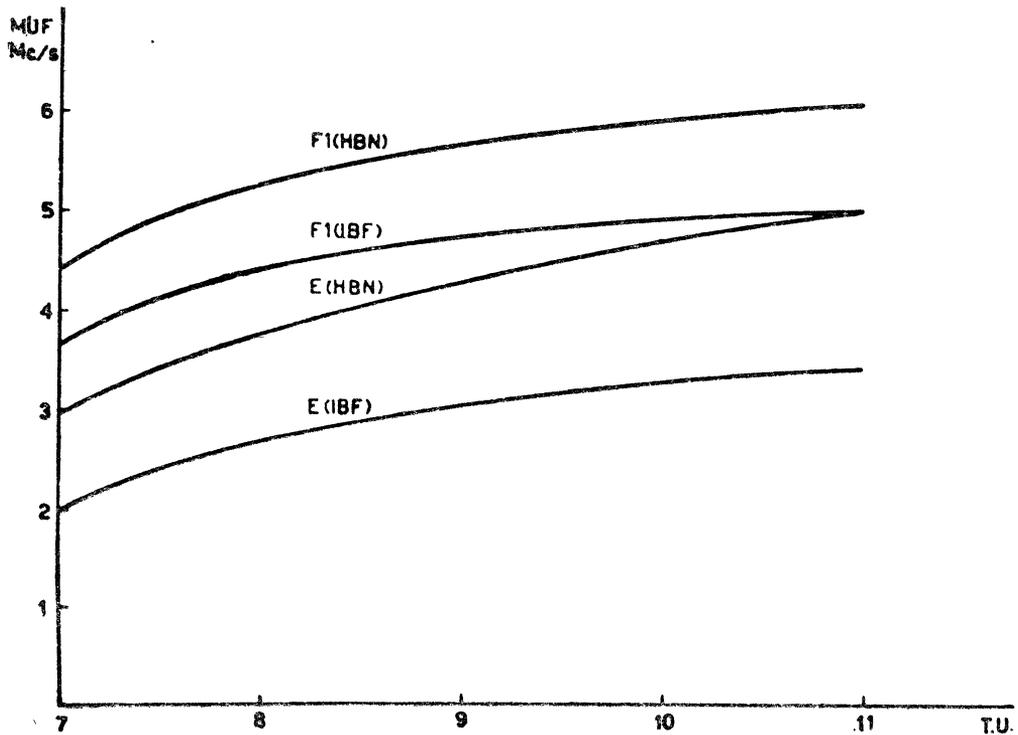


Fig. 2

Un ulteriore e più preciso elemento di riferimento per quanto riguarda la via di propagazione è dato dalle misure di tempo di propagazione dei segnali ricevuti, l'analisi del cui comportamento fornisce anche gli elementi necessari per lo studio dello strato ionosferico interessato.

Chiamando t_s l'istante di emissione di un radiosegnale della stazione s , l'istante di ricezione $t_{s,i}$ in funzione del particolare cammino percorso i è dato da

$$t_{s,i} = t_s + \tau_{s,i} + \Delta t \quad ,$$

ove Δt rappresenta sia i ritardi di ricezione sia la differenza di stato tra l'orologio che comanda l'emissione e quello di confronto alla ricezione e $\tau_{s,i}$ la durata di propagazione. Il confronto contemporaneo di due ricezioni appartenenti a stazioni distinte permette quindi di scrivere, conglobando i ritardi negli istanti di ricezione,

$$(1) \quad \tau_{2,2} = (t_{2,2} - t_{1,1}) + (t_1 - t_2) + \tau_{1,1}$$

che permette di calcolare il tempo di propagazione del segnale della stazione

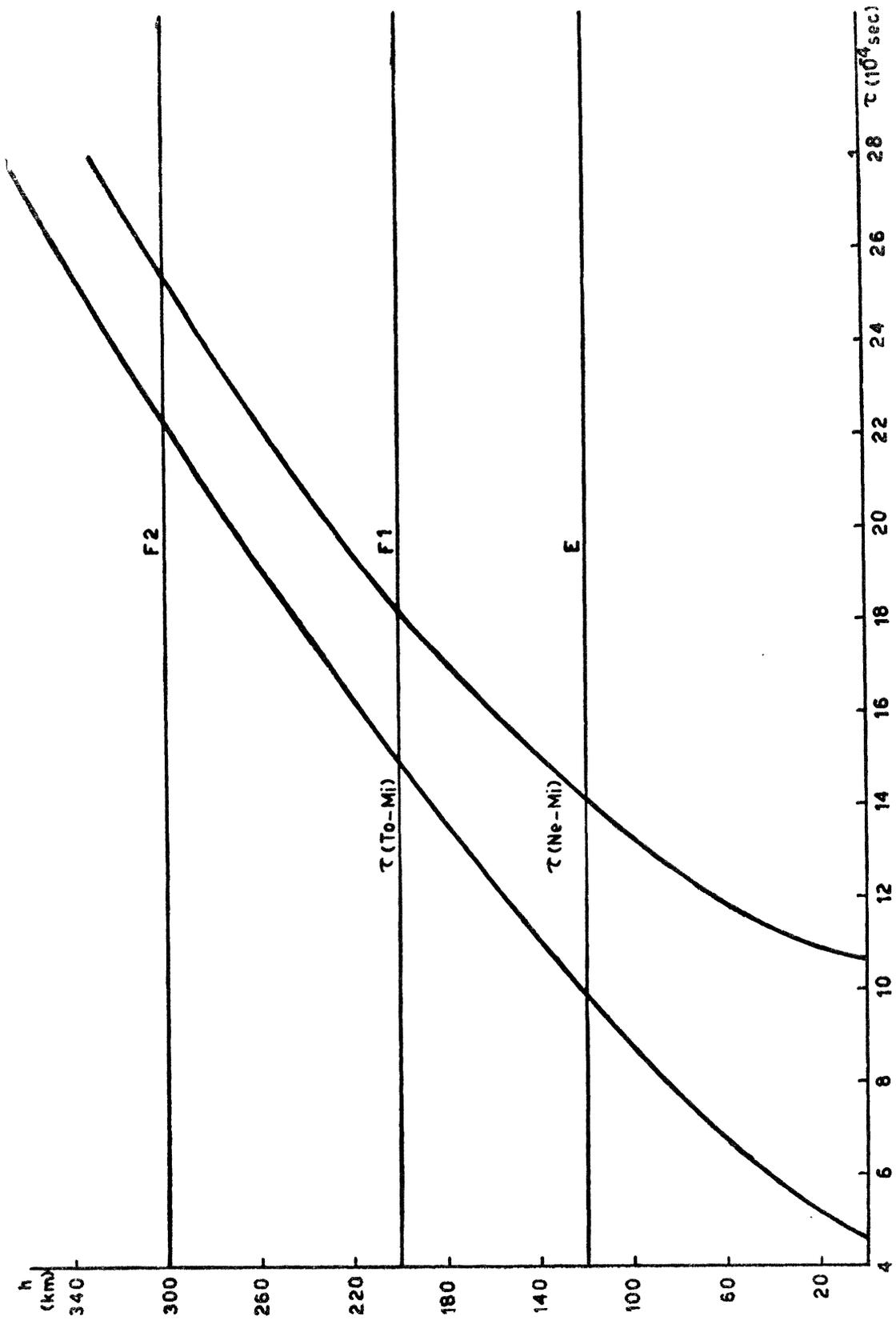


Fig. 3

TABELLA I

| Data | T.U. | t_1 | $t_{1,1}$ | $t_{1,2}$ | T.U. | t_2 | $t_{1,1}$ | $t_{2,2}$ |
|-------|---------------------------------|-------|-----------|-----------|---------------------------------|-------|-----------|-----------|
| 14 | 06 ^h 45 ^m | .0131 | .5498 | .5518 | | | | |
| | 06 55 | | .5498 | .5518 | | | | |
| | 07 05 | | .5498 | .5516 | | | | |
| 15 | 07 15 | .0132 | .5497 | .5516 | 07 ^h 20 ^m | .0544 | .5411 | .5831 |
| | 06 35 | | .5413 | .5431 | | | | |
| | 07 05 | | .5412 | .5430 | | | | |
| | 07 10 | | .5412 | .5431 | | | | |
| | 07 30 | | .5410 | .5428 | | | | |
| | 07 45 | | .5408 | .5427 | | | | |
| | 08 30 | | .5406 | .5422 | | | | |
| 16 | 08 55 | .0136 | .5404 | .5422 | 07 20 | .0545 | .5325 | .5743 |
| | 07 05 | | .5326 | .5343 | | | | |
| | 07 15 | | .5326 | .5342 | | | | |
| | 07 25 | | .5325 | .5341 | | | | |
| | 08 25 | | .5321 | .5337 | | | | |
| | 08 20 | | .5321 | .5338 | | | | |
| | 08 40 | | .5319 | .5738 | | | | |
| | 08 50 | | .5318 | .5736 | | | | |
| 09 20 | .5317 | .5735 | | | | | | |

2 conoscendo quello della stazione 1. In particolare se la stazione emittente è unica e diversi i cammini di propagazione la precedente diventa

$$(2) \quad \tau_{1,2} = (t_{1,2} - t_{1,1}) + \tau_{1,1} \quad .$$

Nel seguito l'indice $s = 1,2$ corrisponderà rispettivamente alle stazioni IBF e HBN, l'indice $i = 1,2$ alla propagazione diretta (ponte radio) e ionosferica dei segnali di IBF e HBN.

I segnali di tempo delle due stazioni IBF e HBN sono stati ricevuti contemporaneamente ad un segnale orario inviato da IBF mediante ponte radio (Torino-Trivero-Milano) in fase con quello trasmesso sui 5.000 Mc/s.

Utilizzando per la velocità di propagazione delle onde corte V_d quella determinata da A. Stoyko presso il B.I.H. ($V_d = 273.300$ km/s) si trova per il tempo di propagazione di quest'ultimo segnale $\tau_{1,1} = 0,58$ ms, in ottimo accordo con il valore dello stesso tempo rilevato sperimentalmente che risulta 0,54 ms qui utilizzato.

Nella tabella I sono dati tutti gli elementi ottenuti dai confronti dei segnali di tempo, ad esclusione di t_1 e t_2 ricavati dal Bulletin Horaire del B.I.H., necessari per il calcolo dei tempi di propagazione $\tau_{1,2}$ e $\tau_{2,2}$, il cui comportamento è mostrato nella Fig. 4.

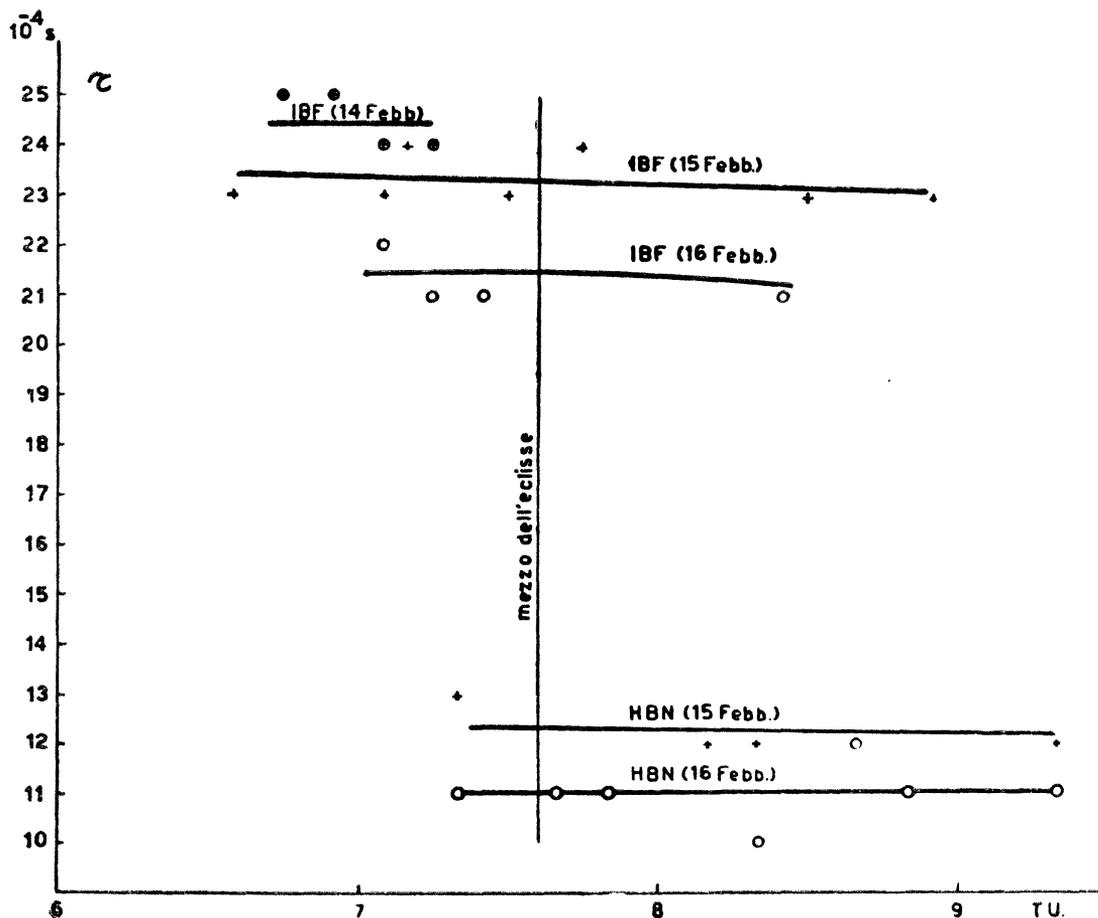


Fig. 4

In primo luogo confrontando questi ultimi dati con i diagrammi di Fig. 3 che danno i tempi teorici di propagazione relativi alle distanze (Mi-To) e (Mi-Ne) in funzione dell'altezza virtuale dello strato ionosferico ricavati per mezzo della relazione approssimata,

$$\tau = \frac{2 \sqrt{h^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2}}{V_d} ,$$

si vede subito che la durata di propagazione dei segnali IBF per il giorno 15 febbraio è tale da giustificare un'unica riflessione sullo strato F2, in accordo con quanto precedentemente indicato. Per quanto riguarda invece il cammino di propagazione dei segnali HBN l'esiguo valore di $\tau_{2,2}$ sembra giustificare una propagazione di tipo superficiale o troposferica (l'onda di terra presenta un tempo di propagazione teorico di $10,5 \cdot 10^{-4}$ s).

Inoltre si può notare, tenendo presente le fluttuazioni osservabili nei giorni 14 e 16 febbraio che l'andamento dei $\tau_{1,2}$ non presenta apprezzabili variazioni durante tutto il periodo dell'eclisse. Ciò che risulta in accordo con l'ipotesi che lo strato F2 non risenta sensibilmente variazioni di intensità a breve periodo delle radiazioni ionizzanti provenienti dal sole, e con i risultati ottenuti con misurazioni ionosferiche da altri osservatori ⁽⁴⁾. La stessa conclusione, sulla base dei risultati delle misure di $\tau_{2,2}$, può essere tratta per la propagazione di tipo superficiale o nella bassa troposfera per frequenze dell'ordine di qualche Mc/s; rimane comunque interessante a questo proposito il tipo di propagazione del segnale HBN forse dovuto alla presenza delle catene e dei massicci delle Alpi.

Questi risultati confermano, tenendo conto del materiale limitato a disposizione, l'utilità che lo studio della propagazione di segnali orari e soprattutto di frequenze campione durante le eclissi solari presenta per le ricerche ionosferiche.

Contemporaneamente alle misure del tempo di propagazione τ è stata tentata una misura dell'attenuazione dei segnali IBF e HBN, ma il numero limitato di fotogrammi e la loro dispersione non ha permesso di costruire in questo caso una curva rappresentativa. Si è ottenuto comunque per il rapporto E_e/E_c tra le ampiezze medie di ricezione della stazione IBF durante il periodo compreso tra il primo e quarto contatto dell'eclisse e le ricezioni di confronto effettuate i giorni 14 e 16 febbraio il valore 1,5 corrispondente ad un guadagno di circa 3,5 db, causato presumibilmente da una corrispondente diminuzione della densità elettronica dello strato F2.

I confronti oscillografici di segnali orari e le rilevazioni oscillografiche sono stati effettuati durante i giorni 14, 15 e 16 febbraio dal Sig. L. Martini che ringrazio per la collaborazione.

BIBLIOGRAFIA

- (1) NAGAOKA A., *Proc. Imp. Acad.*, Tokyo, 6 (2), 59, 1930.
 APPLETON E. V., CHAPMAN S., *Nature*, May 21, 757, 1932.
 CHAPMAN S., *MNRAS*, 413, 1932.
 MARTIN L. H., *Nature*, March 1, 361, 1952.
- (2) KRANJC A., *Att. Acc. Naz. Lincei*, XXIX, 539, 1960.
- (3) STOYKO A., *Colloque Inter. sur la propag. des ondes*, Paris, 1956.
- (4) BOSSOLASCO M., ELENA A., *Geofisica pura e Applicata*, 51, 155, 1962.