

REGISTRAZIONI IONOSFERICHE

A. BOLLE - S. SILLENI - C. A. TIBERIO

Nel mese di agosto 1948 sono state riprese, presso l'Istituto Nazionale di Geofisica, le osservazioni sistematiche della ionosfera. Nei mesi di agosto e settembre sono state fatte otto registrazioni giornaliere ad intervalli di tre ore; successivamente il numero delle registrazioni giornaliere è stato portato a 12, distribuite in modo da dare un numero maggiore di punti in corrispondenza dei crepuscoli, per i quali le variazioni sono più rapide. L'apparecchio impiegato descritto in una nota precedente (²), è stato completato con i necessari automatismi e dispositivi di sicurezza. Fino ad ora sono stati ricavati i valori della frequenza critica per la regione *F2*; la sostituzione del tubo oscillografico con uno di maggiore potere separatore, effettuata recentemente, consentirà di ricavare anche le altezze virtuali.

Nelle figure da 1 a 6 sono stati riportati i valori mediani delle frequenze critiche del raggio ordinario per la *F2* e per i mesi da settembre a marzo. L'ora indicata in ascisse è quella del meridiano di Roma. Per confronto, sono stati riportati anche i valori previsti, per la zona I (Europa ecc.) e per la latitudine di 42°, dal Central Radio Propagation Laboratory del National Bureau of Standards (Washington). Tra i valori misurati e quelli previsti risulta un rapporto medio di 1,28 per il mese di settembre, di 1,14 per quello di ottobre, di 1,18 per il mese di novembre, di 1,01 per il mese di dicembre 1948, di 0,88 per il mese di gennaio 1949, di 1,47 per il mese di febbraio 1949 e di 1,16 per il mese di marzo 1949. Nel calcolo di questo rapporto si è tenuto conto soltanto delle registrazioni notturne (indicate con cerchietti), per le quali il raggiungimento della frequenza di penetrazione è sicuro.

Sono interessanti le registrazioni in cui si nota la presenza di tracce più numerose (fig. 8) di quelle corrispondenti ai soli raggi ordinario e straordinario, o in cui tutta la zona intermedia è impressionata (fig. 9), perché tali registrazioni indicano il verificarsi di tempeste ionosferiche generalmente associate a tempeste magnetiche, che attualmente in Italia non possono venire rivelate direttamente per la mancanza di impianti appositi. Nel periodo ottobre 1948-febbraio 1949 si sono avute perturbazioni di questo tipo nei seguenti giorni:

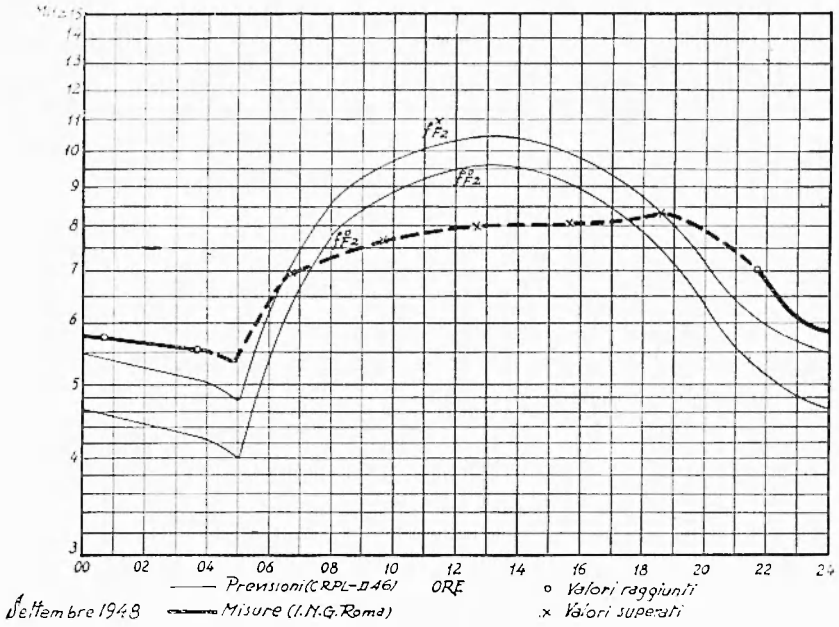


Fig. 1 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nel settembre 1948.

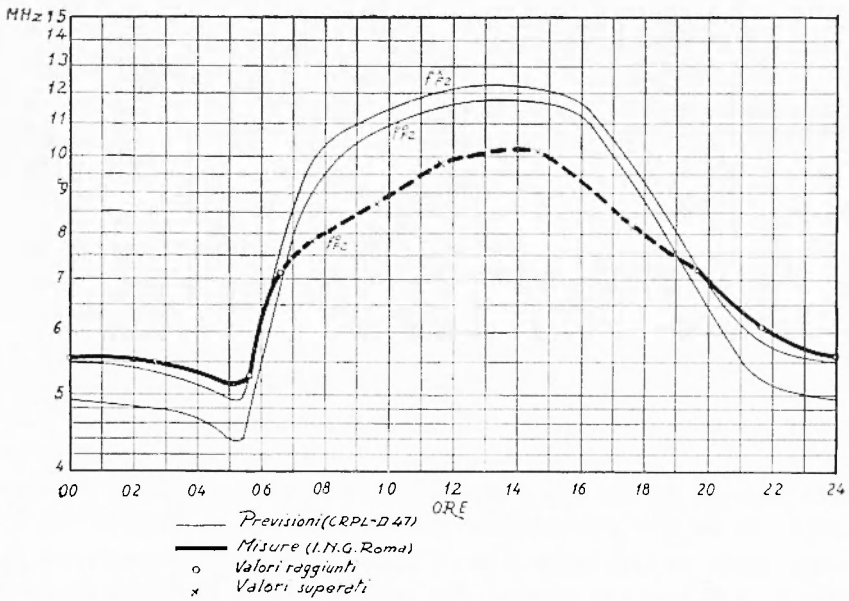


Fig. 2 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nell'ottobre 1948.

Registrazioni di echi sparsi

<i>Ottobre 1948</i>		<i>Gennaio 1949</i>	
giorno	1 ore 22	giorno	4 ore 06-19
	2 » 03		5 » 22
	16 » 24		7 » 03-06-07
	17 » 03		25 » 24
	18 » 03-06		26 » 06-07
	19 » 06-24		27 » 24
			28 » 03-06-07
<i>Novembre 1948</i>		<i>Febbraio 1949</i>	
giorno	17 ore 24	giorno	10 ore 06-07
	18 » 03-20-22-24		11 » 06
	19 » 03-06		19 » 03
	22 » 03		20 » 06
	26 » 03		22 » 03-06
<i>Dicembre 1948</i>		<i>Marzo 1949</i>	
giorno	7 ore 07	giorno	5 ore 24
	12 » 03-07		17 » 06
	18 » 07-24		22 » 06-07
	19 » 03-06-07		26 » 06
	20 » 07		
	21 » 03-06-07		
	22 » 20		
	27 » 06-07		
	28 » 06-20		
	29 » 18		

Nel tempo in cui si ha la perturbazione (da alcune ore ad un giorno e più) la densità di ionizzazione della regione *F* (particolarmente della *F2*) diminuisce.

Particolarmente interessanti, perché rare alle nostre latitudini, sono alcune registrazioni in cui si nota la presenza di tre raggi riflessi, di cui i due estremi differiscono fra di loro approssimativamente della intera frequenza giromagnetica (fig. 10 e fig. 11). Per una spiegazione di tale fenomeno è opportuno richiamare la teoria di Appleton e Builder (¹) (²) e successivi lavori (³) sulla propagazione delle onde elettromagnetiche nei mezzi ionizzati, in presenza del campo magnetico terrestre.

Secondo i predetti Autori, la frequenza giromagnetica è

$$f_u = \frac{He}{2\pi mc} \quad [1]$$

in cui

- H = intensità del campo magnetico in Gauss
 e = carica dell'elettrone in unità elettrostatiche
 m = massa dell'elettrone in grammi
 c = velocità della luce nel vuoto.

Si definisce un *rapporto critico*

$$2 P_L v / P_T^2 \quad [2]$$

in cui

- P_L = frequenza giromagnetica calcolata considerando la componente del campo magnetico nella direzione di propagazione (componente longitudinale).
 P_T = frequenza giromagnetica calcolata considerando la componente del campo magnetico nel piano normale alla direzione di propagazione (componente trasversale).
 v = frequenza di collisione degli elettroni liberi con le molecole d'aria neutre.

Nei sondaggi effettuati la direzione di propagazione è verticale, perciò le componenti suddette sono, rispettivamente, quella verticale e quella orizzontale del campo magnetico terrestre.

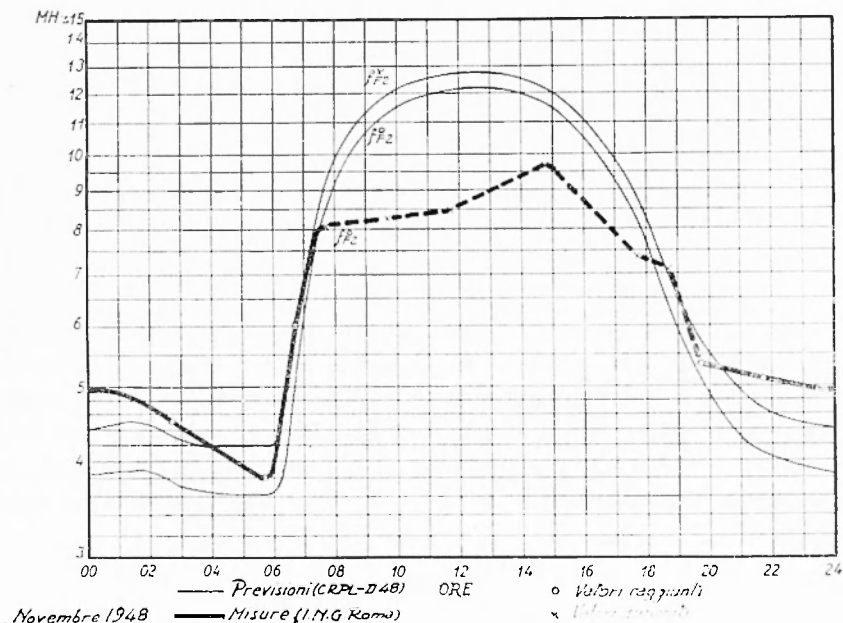


Fig. 3 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nel novembre 1948.

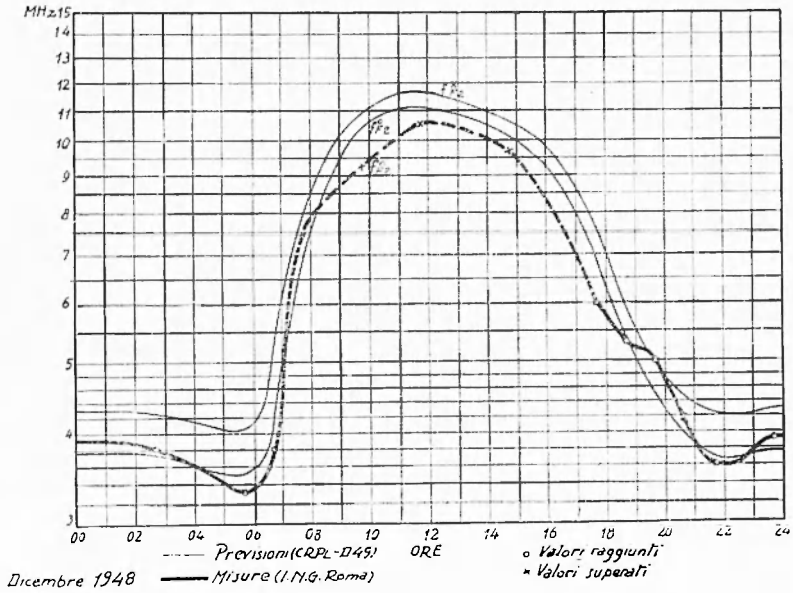


Fig. 4 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nel dicembre 1948.

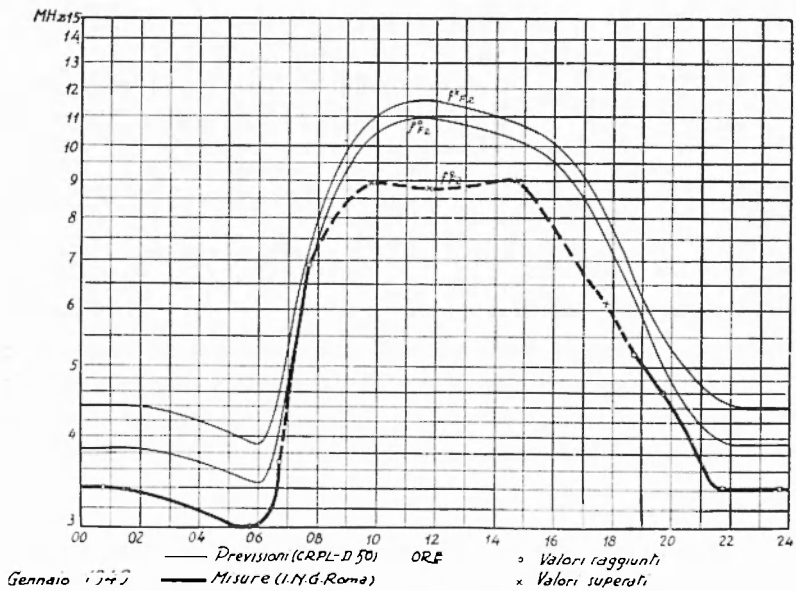


Fig. 5 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nel gennaio 1949.

Il tipo di propagazione che si osserva ordinariamente è quello trasversale, che richiede un rapporto critico

$$2 P_{\perp, v} / P_{\tau}^2 \ll 1 \quad [3]$$

e dà luogo a rifrazione con un raggio ordinario per cui (*)

$$N = \frac{3}{2} \frac{\pi m}{e^2} f^2 \quad [4]$$

ed un raggio straordinario per il quale

$$N = \frac{3}{2} \frac{\pi m}{e^2} (f^2 - f f_0) \quad [5]$$

purché il numero di collisioni ν sia piccolo, e di conseguenza l'assorbimento di energia trascurabile. Se invece l'assorbimento non può essere trascurato, la [4] si sdoppia in

$$N = \frac{3}{2} \frac{\pi m}{e^2} (f^2 \pm f f_0) \quad [6]$$

Se invece il rapporto critico

$$2 P_{\perp, v} / P_{\tau}^2 \gg 1 \quad [7]$$

la propagazione è di tipo longitudinale, ed allora per il raggio ordinario

$$N = \frac{3}{2} \frac{\pi m}{e^2} (f^2 + f f_0) \quad [8]$$

e per il raggio straordinario

$$N = \frac{3}{2} \frac{\pi m}{e^2} (f^2 - f f_0) \quad [9]$$

La propagazione è ancora di tipo longitudinale anche per valori minori del rapporto critico, qualora essa avvenga lungo la direzione del campo magnetico terrestre.

Nella propagazione longitudinale la polarizzazione dei raggi è circolare; nella propagazione trasversale essa è invece generalmente ellittica, ciò che ha permesso di accertare che la propagazione che si incontra normalmente nelle zone temperate è quella trasversale.

(*) Il fattore $\frac{3}{2}$ introdotto da Hartree in questa e nelle relazioni successive tiene conto del « termine di polarizzazione di Lorentz » dovuto alla distribuzione discontinua delle cariche. Esso è stato molto discusso (1) e, secondo le idee più recenti, andrebbe eliminato.

A parità di ionizzazione N si avranno, per i diversi casi, diverse frequenze. Nel tipo trasversale la separazione di frequenza fra raggio ordinario e raggio straordinario è data dalla nota relazione

$$(f^o - f^o) = \frac{f^o f_u}{f^o + f^o} \quad [10]$$

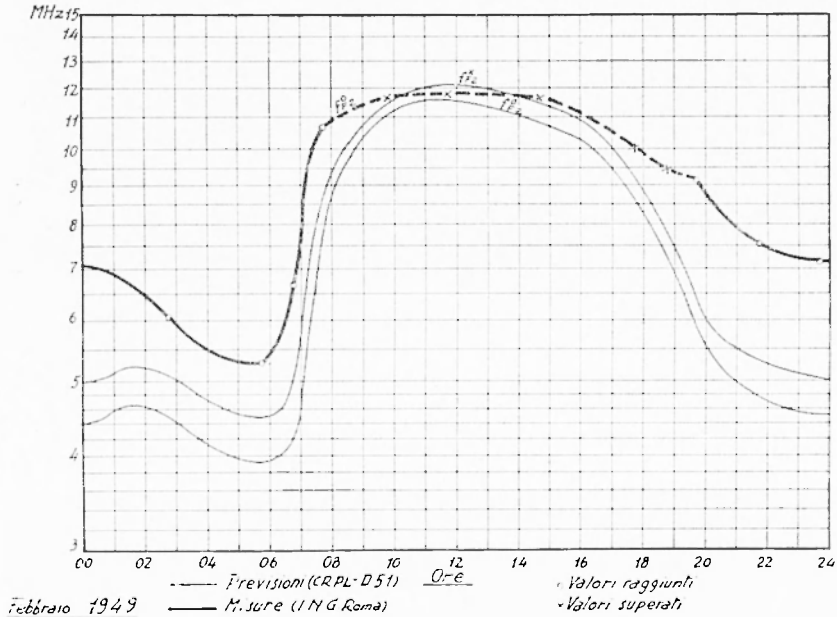


Fig. 6 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nel febbraio 1949.

che per frequenze non troppo basse si semplifica

$$f^o - f^o = \frac{f_u}{2} \quad [11]$$

Queste due relazioni, e particolarmente la [10], hanno dato luogo a verifiche sperimentali non molto soddisfacenti (7).

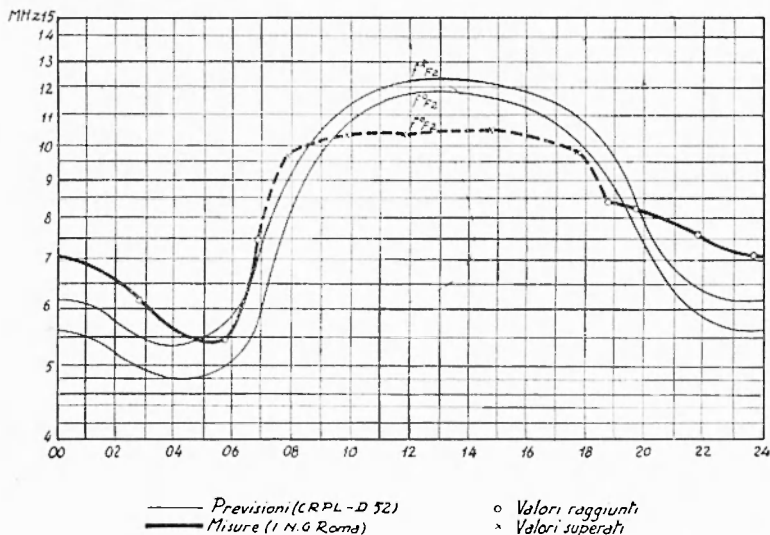
Nella propagazione longitudinale, uguagliando la [8] e la [10] si ottiene la separazione di frequenza fra raggio ordinario e straordinario

$$f^o_o - f^o_o = f_u \quad [12]$$

Uguale separazione f_u si ha, per la propagazione trasversale, fra il primo e il secondo raggio straordinario, quando la frequenza di collisione ν è alta.

Taylor (⁹) ha mostrato che, quando v è piccola, si passa dal tipo longitudinale a quello trasversale in modo discontinuo. Il passaggio è però continuo per alti valori di v .

Comunque il manifestarsi dei tripletti, con frequenza di separazione uguale alla girofrequenza, dipende dalla frequenza di collisione v e dal rapporto critico, che è ad essa proporzionale. Il fattore P_v/P_r^2 alle latitudini temperate è piccolo, e probabilmente non molto variabile nel tempo. L'osservazione di frequenze critiche multiple separate



Marzo 1949

Fig. 7 - Frequenze critiche previste e misurate a Roma nel marzo 1949.

dall'intera frequenza giromagnetica conduce quindi a concludere che la frequenza delle collisioni v raggiunga perciò, in questi casi, valori elevati. Secondo Seaton (⁵) essa, già alle alte latitudini, è appena sufficiente se calcolata in base alla sola agitazione termica, pur con delle ipotesi che portano a valori maggiori di quelli tabulati da George (³).

Si osserva però che il fenomeno si verifica in un periodo di forte attività solare, i tripletti sono generalmente accompagnati da forte ionizzazione E sporadica (I.N.G. e (⁶)), sono preceduti da abbassamento della frequenza critica (I.N.G. e (⁷)), e accompagnati da forte assorbimento (⁸). Essi sono particolarmente frequenti nelle zone aurorali (⁷) (⁸). Sembra perciò che si possa concludere che nella fre-

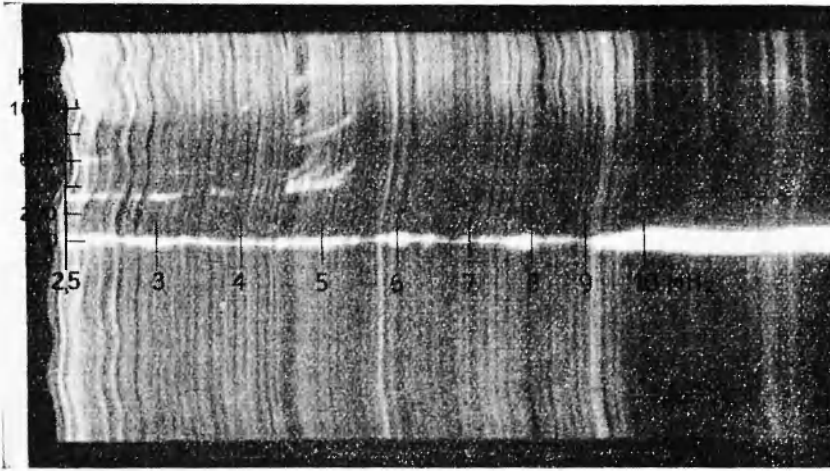


Fig. 8 - Registrazione del 13 novembre 1948, ore 20. Echi sparsi. Oltre alle tracce del raggio ordinario e di quello straordinario si notano altre due tracce intermedie.

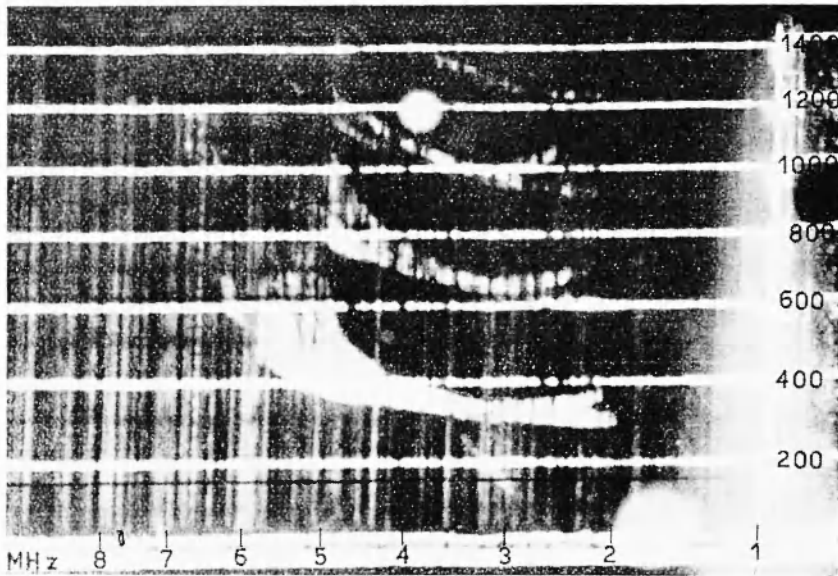


Fig. 9 - Registrazione del 17 marzo 1949, ore 6. Echi sparsi. È impressionata tutta la zona intermedia fra la traccia del raggio ordinario e quella del raggio straordinario.

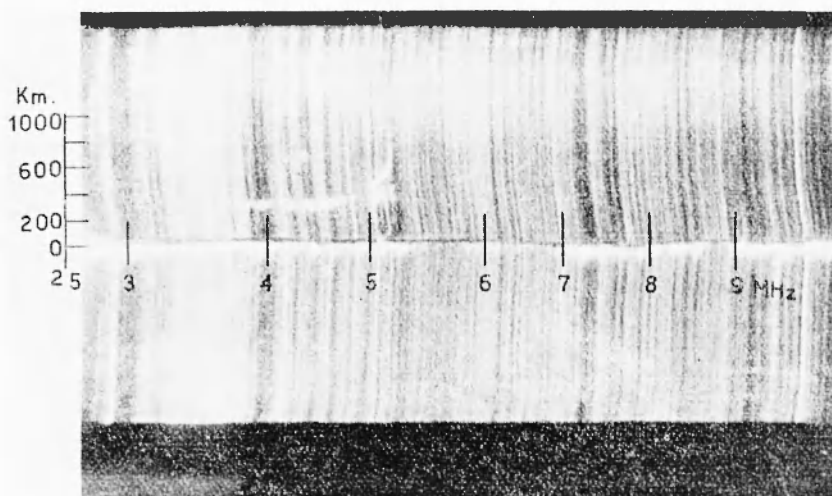


Fig. 10 - Registrazione del 2 novembre 1948, ore 6.35. Si notano tre tracce, di cui le due estreme corrispondono a frequenze di penetrazione che differiscono di f_u .

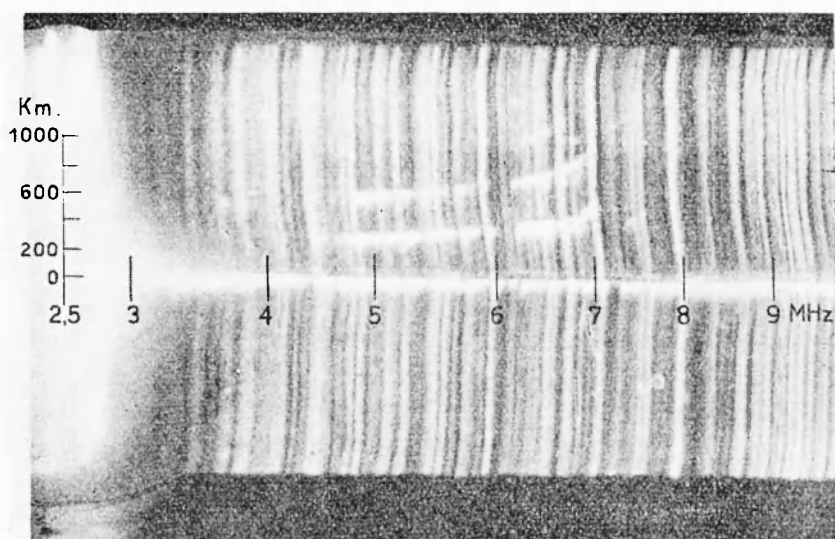


Fig. 11 - Registrazione del 9 novembre 1949. Aspetto analogo a quello della fig. 10, ma con separazione fra le frequenze critiche estreme minore di f_u .

quenza delle collisioni si debba tenere conto, oltre che dell'apporto dovuto all'agitazione termica, anche di quello dovuto alla ricombinazione degli elettroni con gli ioni positivi, che nelle condizioni accennate possono essere particolarmente numerosi.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — Maggio 1949.

BIBLIOGRAFIA

- (1) E. V. APPLETON and G. BUHLER: *The Ionosphere as a Doubly Refracting Medium*, Proc. Phys. Soc., v. 45 p. 208-220 (mar. 1933).
- (2) A. BOLLE: *Un nuovo complesso per il rilevamento sistematico delle caratteristiche ionosferiche*, Annali di Geofisica, vol. I, n. 2 (1948).
- (3) E. F. GEORGE: *Electronic Collisional Frequency in the Upper Atmosphere*, Proc. I.R.E., v. 35 n. 3 p. 219-252 (mar. 1947).
- (4) H. R. MIMNO: *The Physics of the Ionosphere*, Review of Modern Physics, v. 9, n. 1, p. 1-43 (gennaio 1937).
- (5) G. NEWSTEAD: *Triple Magneto-ionic Splitting of Rays reflected from the F2 Region*, Nature v. 161 p. 312 (28 febbraio 1948).
- (6) G. NEWSTEAD: *Propagation of electromagnetic Waves in a Refracting Medium in a Magnetic Field*, Proc. Cambridge Phil. Soc. 1931, XXVII, p. 143.
- (7) J. C. W. SCOTT: *Magneto-ionic Measurements at High Latitudes*, Terr. Magn. v. 53 n. 2 p. 109-122 (giugno 1948).
- (8) S. L. SEATON: *Magnetoionic Multiple Refraction at High Latitudes*, Proc. I.R.E., v. 36 n. 4 p. 450-454 (aprile 1948).
- (9) M. TAYLOR: *The Appleton-Hartree Formula and Dispersion Curves for the Propagation of Electromagnetic Waves Through an ionized Medium in the Presence of an External Magnetic Field*, Proc. Phys. Soc., v. 45, p. 245 (1933); v. 46, p. 403 (1934).