

Pubblicazioni
dell'Istituto Nazionale di Geofisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche
diretto dal prof. Antonino Lo Surdo

N. 8

I V O R A N Z I

**Osservazioni ionosferiche eseguite a
Roma dall'agosto al novembre 1938-XVII**

Una tempesta ionosferica di tipo aurorale

ROMA
ANNO MCMXXXIX - XVII

ESTRATTO DA "LA RICERCA SCIENTIFICA",
ANNO X - N. 1-2 (GENNAIO-FEBBRAIO 1939 - XVII)

Riassunto: Vengono riferiti i risultati delle registrazioni ionosferiche, eseguite dall'Istituto nazionale di geofisica, entro la gamma di frequenze da 5,5 a 10 MHz; sono date le frequenze critiche e le altezze apparenti di riflessione per la regione F_2 e vengono discusse le principali perturbazioni ionosferiche osservate. Per tempeste ionosferiche del tipo di quella osservata il 27 ottobre 1938 viene proposta la denominazione di «tempeste ionosferiche di tipo aurorale», data la caratteristica formazione di strati multipli al disotto della regione F_2 .

Riferisco in questa nota i risultati ottenuti nel primo periodo di funzionamento dell'apparato registratore dell'Istituto nazionale di geofisica, descritto in una precedente pubblicazione (1).

Per cause varie le registrazioni non sono state eseguite con tutta continuità, specialmente nei primi due mesi. I periodi di osservazione furono precisamente: 15-31 agosto, 10-14 e 22-28 settembre, 11-16 e 25-30 ottobre, 1-5 e 12-30 novembre 1938.

Come è detto nella citata nota, dalle registrazioni ottenute è possibile ricavare, entro la gamma di frequenze comprese fra 5,5 e 10 MHz circa, i valori delle frequenze critiche e delle altezze apparenti di riflessione delle radioonde nella ionosfera per incidenza verticale (2).

Data la estensione relativamente piccola della gamma di frequenze usata, la determinazione delle frequenze critiche per la regione F_2 è stata possibile nei mesi di agosto e settembre per le sole ore di notte, dal tramonto al sorgere del sole; nei mesi di ottobre e novembre, dato l'abbassarsi delle frequenze critiche di notte al disotto di 5,5 MHz, il periodo utile si è ristretto.

Le frequenze critiche per la regione E si sono determinate soltanto nei casi di aumento anormale della ionizzazione in tale regione: infatti normalmente la frequenza critica per la regione E non superava i 5,5 MHz, nel periodo esaminato.

(1) «La Ricerca scientifica», anno IX, vol. II, n. 5-6, marzo 1938-XVI.

(2) Ricordiamo che la frequenza critica è la frequenza al disopra della quale non si hanno più riflessioni, da una determinata regione ionosferica. Secondo la teoria della rifrazione magnetoionica, per le radioonde che si propagano nella ionosfera, data l'azione del campo magnetico terrestre, si hanno due valori della frequenza critica (birifrangenza magnetica), legati alla densità elettronica N e alla frequenza giro magnetica caratteristica f_H dalle relazioni:

$$N = \frac{2}{3} \frac{\pi m}{e^2} f_0^2, \quad e \quad N = \frac{3}{2} \frac{\pi m}{e^2} (f_s^2 - f_s f_H)$$

ove f_0 è la frequenza critica per il cosiddetto raggio ordinario, f_s quella per il raggio straordinario.

Prima di passare alla discussione dei risultati di osservazione, ricorderò che, d'accordo con quanto prevede la teoria della rifrazione delle radioonde da parte di un mezzo ionizzato posto in un campo magnetico, le riflessioni dalla regione F_2 danno luogo a due echi (ordinaria e straordinaria), le cui frequenze critiche, f_0 ed f_s (per una stessa densità elettronica massima dello strato) soddisfano alla relazione:

$$f_s - f_0 = f_H \frac{f_s}{f_s + f_0}$$

ove f_H è la cosiddetta frequenza giromagnetica caratteristica di uno ione (o elettrone) nel campo magnetico di intensità H : essa vale $\frac{eH}{2\pi mc}$ (c = veloc. della luce nel vuoto); poichè la differenza ($f_s - f_0$) è piccola, si può porre con sufficiente approssimazione:

$$f_s - f_0 = \frac{1}{2} f_H$$

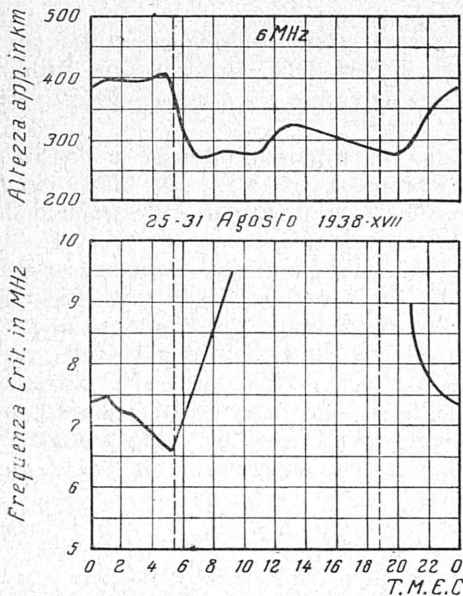


Fig. 1

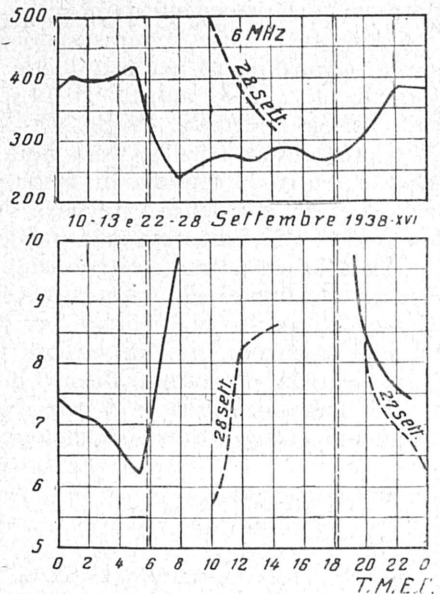


Fig. 2

A Roma si può ritenere che l'intensità totale del campo magnetico terrestre sia di 0,44 Oersted. Ammettendo una variazione di H con l'altezza secondo la relazione di Schmidt ($H = H_0 \left(1 - 3 \frac{h}{R}\right)$, ove H_0 è il valore di H alla superficie terrestre, h l'altezza e R il raggio terrestre), si trova per H all'altezza media della regione F_2 (250 km.) il valore di 0,30 Oersted.

La frequenza giromagnetica risulta quindi di 1,10 MHz e la separazione delle due frequenze critiche di 0,55 MHz. Da un centinaio di misure eseguite sulle migliori registrazioni ho ricavato, come media, il valore di 0,57 MHz, in buonissimo accordo con quello previsto. A uguale accordo pervenne Appleton con analoghe considerazioni ⁽³⁾; ciò comprova la validità della relazione di Schmidt.

I valori delle frequenze critiche medie per i vari periodi riportati nei diagrammi da fig. 1 a fig. 4 si riferiscono al raggio straordinario, per la regione F_2 ($f_{F_2}^x$, secondo il simbolo generalmente adottato). Le altezze apparenti di riflessione si riferiscono alla frequenza di 6 MHz. I singoli dati sono ricavati da registrazioni eseguite ogni mezz'ora. I diagrammi tratteggiati si riferiscono a giorni perturbati, dei quali si discuterà in seguito.

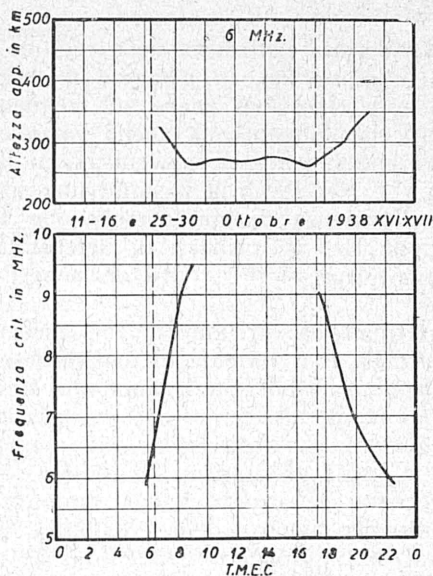


Fig. 3

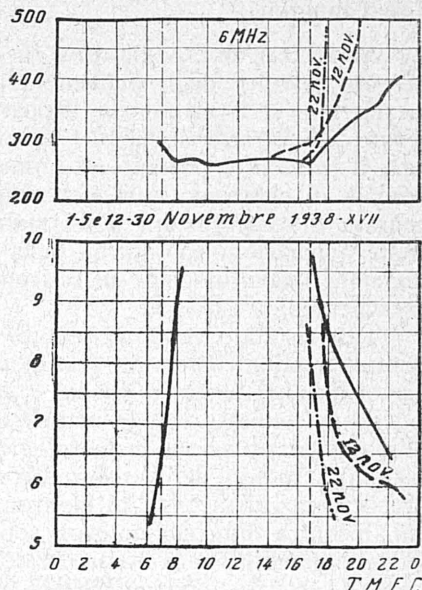


Fig. 4

Come si vede, al procedere della stagione, le frequenze critiche tendono a diminuire, data la diminuzione di densità elettronica massima conseguente all'indebolimento delle radiazioni solari. Appaiono nettamente i già noti andamenti caratteristici della variazione diurna nella regione F_2 : in particolare è visibile la oscillazione secondaria diurna, con massimo verso il mezzodì, nell'altezza apparente di riflessione: tale oscillazione (dovuta al formarsi di una depressione nel valore della densità elettronica attorno al mezzodì) ⁽⁴⁾ si attenua fortemente passando dall'agosto al novembre. Come è noto, il fenomeno viene generalmente attribuito a una espansione termica della regione F_2 (ipotesi di Appleton).

Appare interessante un confronto dei nostri dati con quelli ottenuti a Washington nei mesi di agosto e settembre, e testè pubblicati ⁽⁵⁾: le fre-

⁽³⁾ « Nature », 133, p. 793 (1934).

⁽⁴⁾ Generalmente, al diminuire della densità elettronica, l'altezza apparente di riflessione aumenta, e inversamente.

quenze critiche osservate a Roma sono sensibilmente superiori a quelle osservate a Washington.

La frequenza critica minima media al mattino, prima del sorgere del sole, è a Washington di 5,6 MHz in agosto e di 5,3 MHz in settembre: a Roma si hanno 6,6 MHz per il periodo 25-31 agosto e 6,3 MHz in settembre.

Se tale risultato apparirà confermato successivamente, esso dimostrerà l'esistenza di un notevole effetto di longitudine per la regione F_2 : infatti la latitudine di Washington ($38^\circ 50'$) è inferiore a quella di Roma ($41^\circ 54'$) e quindi, se la ionizzazione della regione F_2 fosse dovuta esclusivamente alle radiazioni solari, si sarebbero dovuti osservare a Washington valori di frequenza critica superiori a quelli di Roma. E' interessante d'altra parte, notare che la *latitudine geomagnetica* di Roma è sensibilmente inferiore a quella di Washington.

ANOMALIE DELLA REGIONE E . — La densità elettronica nella regione E presenta talvolta degli aumenti rapidi e improvvisi, in generale di breve durata, che si rivelano con l'apparizione di riflessioni anche su frequenze elevate. Le caratteristiche del fenomeno, che si manifesta anche varie ore dopo il tramonto, portano ad ammettere che si tratti di concentrazioni improvvise di elettroni (nubi elettroniche) ⁽⁶⁾. Nel 1932, in base ad una serie accurata di osservazioni potei stabilire l'esistenza di una correlazione fra queste apparizioni sporadiche della regione E e il formarsi di determinate situazioni meteorologiche nella troposfera (depressioni a nord del luogo di osservazione) ⁽⁷⁾.

Tale risultato venne in seguito confermato da vari autori ⁽⁸⁾. La correlazione da taluni osservata fra anomalie della E e formazioni temporalesche è stata da altri posta in dubbio ⁽⁹⁾: è assai probabile che le anomalie stesse non siano connesse con le manifestazioni temporalesche vere e proprie, ma bensì con le situazioni meteorologiche generali che favoriscono tali manifestazioni. L'ipotesi del Wilson, secondo la quale gli aumenti di ionizzazione sarebbero dovuti a fasci di elettroni accelerati nei campi elettrici temporaleschi, incontra difficoltà notevoli soprattutto nei riguardi della possibilità, per elettroni generati nella bassa stratosfera, di raggiungere il livello della regione E . Appare più ammissibile una interpretazione basata su cause puramente termiche: abbassamenti improvvisi di temperatura con relativa contrazione dello strato potrebbero portare ad aumenti localizzati della densità elettronica. Se tali contrazioni sono in relazione con determinate situazioni meteorologiche, soltanto uno studio condotto secondo le linee da me stabilite nei lavori citati potrà portare a risultati conclusivi.

La frequenza minima usata nelle attuali registrazioni è troppo elevata per permettere l'osservazione di tutte le anomalie della regione E . Soltanto le più intense si possono così osservare. Il prossimo funzionamento di un nuovo apparato ionosferico, con gamma di frequenze assai più estesa, permetterà di eseguire utili osservazioni sul fenomeno in questione.

(5) « Proc. Inst. Radio Eng. » 26, p. 1295, e p. 1408 (1938).

(6) BEST, FARMER e RATCLIFFE, « Proc. Royal Soc. » A, 164, p. 96 (1938).

(7) RANZI, « Nature », 130, p. 368 (1932); « Nuovo Cimento », 10, p. 1 (1933).

(8) RATCLIFFE e WHITE, « Proc. Phys. Soc. », 46, p. 107 (1934).

MARTYN, « Nature », 133, p. 294 (1934).

COLWELL, « Nature », 130, p. 627 (1932); « Phys. Rev. », 50, p. 632 (1936).

(9) BEST, FARMER e RATCLIFFE, « Proc. Royal Soc. », A, 164, p. 96 (1938).

Nella seguente tabella sono riportate le anomalie osservate nella regione E nei periodi di registrazione, durante i mesi da agosto a novembre.

TAB. I

Limite superiore approssimato di frequenza in MHz per le più intense riflessioni sporadiche dalla regione E (incidenza verticale).

DATA	Ora T. M. E. C.																							
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Agosto																								
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	9	9	7,5	7
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,5	9,5	9,5	9,5	-	-	-	-	-	-	-	7	7	7	7
28	7,2	7,2	-	-	-	-	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Settembre																								
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	7,2
13	-	-	-	-	-	-	-	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ottobre																								
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,6	-	-	-	-	-	7,5
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	7,2	-	6,5	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	6,5	-	-
Novembre																								
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8,5	-	-	-	-	-

PERTURBAZIONI IONOSFERICHE (REGIONE F_2). Le perturbazioni ionosferiche si possono suddividere in quattro categorie.

I) *Perturbazioni a inizio brusco (fade-out o effetto Dellinger)*. Si manifestano con evanescenze delle onde riflesse, improvvise e di breve durata, accompagnate spesso da perturbazioni del campo magnetico terrestre. Esse sono dovute a ionizzazioni intense della bassa ionosfera (regione D), causate probabilmente da emissioni intense di radiazioni ultraviolette da parte di eruzioni solari.

II) *Periodi prolungati di assorbimento della bassa ionosfera*. Simili ai precedenti, hanno inizio e fine graduali e di maggior durata (più ore o qualche giorno). La causa va probabilmente ricercata in un tipo stabile, non eruttivo, di emissione di intense radiazioni ultraviolette dal sole.

Queste due tipi di perturbazioni hanno in comune la caratteristica di presentarsi solo durante il giorno e con effetti più intensi alle basse latitudini.

III) *Tempeste ionosferiche*. Consistono in deviazioni sensibili dai normali valori delle frequenze critiche e delle altezze apparenti di riflessione. Esse sono sempre associate a tempeste magnetiche. Si nota che, in generale,

al crescere dell'agitazione magnetica le frequenze critiche per la regione F_2 si abbassano sensibilmente (ed aumentano le altezze apparenti di riflessione). Anche per la regione F_1 si notano riduzioni nei valori delle frequenze critiche, quantunque meno marcate che per la regione F_2 . Talvolta si osserva che, col successivo evolversi della tempesta magnetica, le frequenze critiche presentano notevoli aumenti.

IV) *Tempeste ionosferiche di tipo aurorale.* Appaiono talvolta echi irregolari e instabili da varie altezze non multiple fra di loro e comprese fra i 100 e i 300-400 km: le frequenze critiche sono mal definite e rapidamente variabili. Poichè tali caratteristiche si ritrovano nelle perturbazioni osservate in corrispondenza di manifestazioni aurorali, ritengo opportuno denominarle appunto di *tipo aurorale*. La complessa distribuzione osservata per la ionizzazione si può ritenere dovuta all'arrivo di gruppi di radiazioni corpuscolari di diverso potere penetrante.

Nelle nostre registrazioni non si è potuto stabilire con sicurezza il verificarsi di perturbazioni del primo o secondo tipo, dato che non si aveva un controllo preciso e sicuro della costanza delle condizioni di funzionamento dell'apparato: infatti l'affievolimento o la scomparsa degli echi posson esser causati anche da difetti di allineamento nell'accordo fra trasmettitore e ricevitore, al variare della frequenza. Nel nuovo apparato, ora in costruzione, verrà disposto un controllo automatico, che permetterà di seguire con tutta sicurezza lo svolgersi di evanescenze rapide o a lungo decorso.

Le principali tempeste ionosferiche del III tipo osservate sono riportate nella seguente tabella, ove sono caratterizzate dagli scarti, rispetto alla media del periodo, della frequenza critica del raggio straordinario per la regione F_2 .

TAB. II

Tempeste ionosferiche					
Data e ora	$f_{F_2}^x$ in MHz	Media	Data e ora	$f_{F_2}^x$ in MHz	Media
Settembre 27			Novembre 12		
ore 21	7,3	7,8	ore 18,30	6,85	8,5
ore 24	6,2	7,4	ore 20	6,3	7,4
Settembre 28			Novembre 22		
ore 10	5,8	10	ore 17	8,1	10
ore 12	8,2	10	ore 18	5,8	8,7
Novembre 1					
ore 18	8	8,7			
ore 23	5,6	6,4			

Nei grafici di fig. 1, 2, 3, 4 sono riportati gli andamenti anormali delle frequenze critiche e delle altezze apparenti di riflessioni per le più importanti perturbazioni. Le perturbazioni del 27 e del 28 settembre sono state osservate anche a Washington: non conoscendosi ancora i risultati delle osservazioni colà eseguite nel novembre, non è possibile verificare se uguale coincidenza si ha per le altre tre tempeste da me osservate.

Un esempio caratteristico di tempesta ionosferica di tipo aurorale si è avuto nella notte dal 26 al 27 ottobre. Verso le ore 21,30 del 26 ottobre, quando già la frequenza critica per la regione F_2 si era abbassata al disotto di 5 MHz, sono apparsi echi multipli, irregolari e diffusi: tale manifestazione

si è ripetuta nella registrazione delle ore 22 e in quelle ottenute dalle 24 fino alle 5 del 27 ottobre: in seguito, sin verso le ore 15, pur continuando la complessità degli echi, era abbastanza nettamente visibile uno strato riflettente a km 140 di altezza apparente. Al sorgere del sole sono apparse in più le regolari riflessioni dalla regione F_2 , con valori della frequenza critica vicini a quelli normali per il mese di ottobre. In fig. 5 è riportata la registrazione ottenuta alle ore 4,30 del 27 ottobre: appaiono in prevalenza riflessioni da altezze di km 105 e km 140 circa.

Sembra quindi che l'agente ionizzante abbia influito soltanto sulle regioni sottostanti la F_2 . Un fatto simile si nota nelle perturbazioni delle prime due categorie: prima e dopo gli aumenti di ionizzazione nella bassa ionosfera, le regioni E ed F restano pressochè inalterate.

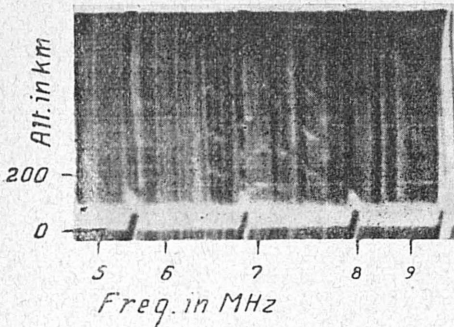


Fig. 5

Data la forte differenza di densità e di composizione prevedibile fra il livello della regione E e quello della regione D , non sembra improbabile che una radiazione ultravioletta solare possa produrre effetti sensibili solo in quest'ultima regione. Appare più difficile l'interpretazione nel caso della tempesta ionosferica di tipo aurorale qui osservata: infatti si notano forti variazioni di densità elettronica verso i 140 km di altezza, mentre la ionizzazione resta normale a 220-240 km, e ciò in ore durante le quali

non si può certo pensare ad un'azione di radiazioni ultraviolette solari.

Allo stato attuale delle nostre conoscenze, il fenomeno in questione si può interpretare solo ammettendo una delle seguenti due ipotesi:

1° che fra le altezze di km 140 e 220 l'atmosfera presenti un profondo cambiamento delle sue proprietà, nei riguardi dell'assorbimento di radiazioni corpuscolari provenienti dall'esterno;

2° che le regioni anormali sotto i 140 km si formino per diffusione orizzontale di masse ionizzate, generate in regioni a latitudine più elevata in seguito a processi aurorali.

La raccolta dei dati ed il controllo del funzionamento dell'apparato ionosferico per questa ricerca sono stati fatti con la efficace e preziosa collaborazione del dr. Antonio Bolle, assistente dell'Istituto di fisica.

Roma, dicembre 1938-XVII.