

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

N. 40

I V O R A N Z I

Le tempeste ionosferiche
del 25 e del 29 marzo 1940-XVIII

ROMA
ANNO MCMXL - XVIII

ESTRATTO DA "LA RICERCA SCIENTIFICA"
ANNO XI - N. 6 - (GIUGNO 1940-XVIII), pag. 397

Riassunto: Viene dettagliatamente descritto lo svolgimento delle tempeste ionosferiche del 24-26 marzo e del 29-31 marzo 1940. Viene inoltre interpretata la perturbazione osservata nelle radiocomunicazioni in tale periodo, attribuendola prevalentemente all'abbassamento della densità elettronica nell'alta ionosfera.

Nei giorni 24 e 29 marzo 1940 si sono iniziate due forti tempeste magnetiche: la prima è stata accompagnata anche da manifestazioni auro-rali estese a latitudini insolitamente basse.

Data la ripercussione che tali tempeste hanno avuto nella ionosfera, appare interessante uno studio dettagliato della evoluzione degli elementi osservati.

Le perturbazioni del campo magnetico terrestre si interpretano ora come dovute allo stabilirsi di un particolare regime di correnti elettriche nell'altissima atmosfera: è ovvia perciò l'importanza di uno studio delle modificazioni dello stato di ionizzazione dell'alta ionosfera; particolarmente proficuo potrà risultare un confronto quantitativo di tali modificazioni osservate in diversi luoghi sulla terra.

Il meccanismo delle tempeste ionosferiche è tuttora completamente oscuro: le osservazioni concordano tutte nell'indicare una rapida e sensibile diminuzione della densità elettronica nella regione F_2 , in corrispondenza della tempesta magnetica. Talvolta, la densità elettronica in detta regione presenta un aumento sopra i valori normali poco prima dell'inizio della tempesta stessa. La perturbazione ionosferica osservata è tanto maggiore quanto più elevata è la regione riflettente le radioonde al momento della tempesta: così, durante il giorno d'inverno, quando le altezze di riflessione sono basse, le perturbazioni si osservano solo per frequenze vicine a quella critica, cioè su quelle onde che vanno a riflettersi vicino al livello di massima densità elettronica.

L'evoluzione di una tempesta ionosferica varia notevolmente con la latitudine.

Entro la zona aurorale, la perturbazione si inizia con l'apparizione di stratificazioni multiple e irregolari della ionosfera, dovute con tutta probabilità alla formazione di piccole nubi di ioni.

Quando le manifestazioni aurorali, che talvolta accompagnano la tempesta ionosferica, si estendono fino a latitudini basse, si osserva un aumento della densità elettronica nella regione F_2 qualche ora prima dell'inizio della tempesta magnetica. A questa prima fase della tempesta ionosferica, caratterizzata da una vera e propria turbolenza dell'alta ionosfera, segue la fase di maggiore durata, e che, in contrapposto alla prima si può chiamare mo-

derata (¹), si nota una rapida diminuzione di densità elettronica nella regione F_2 , dovuta probabilmente a moti di espansione; tale fase si estende verso le basse latitudini e tanto più intensa è la tempesta magnetica.

LE TEMPESTE IONOSFERICHE DEL 24 E 29 MARZO 1940.

La tempesta ionosferica del 24-26 marzo presenta tutte le anzidette caratteristiche.

In fig. 1 è riportato l'andamento della frequenza critica del raggio straordinario per la regione F_2 , nel periodo dal 22 al 27 marzo, quale risulta dalle registrazioni effettuate in questo Istituto.

Nella stessa figura è riportato, nella parte inferiore, l'andamento della declinazione magnetica per tale periodo (*).

La tempesta magnetica ha avuto inizio alle 15 del 24: è nettamente visibile l'aumento di frequenza critica poco prima dell'inizio della tempesta magnetica: da tale aumento si può calcolare che la densità elettronica è cresciuta del 40 per cento circa sul valore normale dei giorni precedenti.

La frequenza critica dopo le 19,30 è scesa a valori inferiori a 3 MHz, cioè inferiori al limite minimo consentito dall'apparato registratore.

Al mattino successivo gli echi riappaiono fra le 6 e le 8: la successiva scomparsa si può attribuire a un improvviso aumento dell'assorbimento dovuto forse ad accresciuta ionizzazione al disotto della regione E. Tale scomparsa degli echi è contemporanea ad un aumento della perturbazione magnetica.

La successiva calma è accompagnata da un nuovo aumento della densità elettronica che raggiunge, verso le 19, circa il 50 per cento del valore massimo dei giorni non perturbati.

L'abbassamento di densità elettronica che segue è contemporaneo a una breve recrudescenza della tempesta magnetica.

Nella fase iniziale della tempesta, la turbolenza della ionosfera è dimostrata dalla diffusione degli echi: dalle registrazioni si rileva infatti un allungamento di ciascuna eco dovuto all'arrivo contemporaneo di numerosi echi con cammini ottici di poco diversi gli uni dagli altri. Si rileva ancora il notevole aumento della altezza apparente rispetto a un giorno non perturbato.

Anche nella tempesta ionosferica che ha avuto inizio il 29 marzo alle ore 18, si nota un aumento della densità elettronica, *che si inizia già prima del levar del sole*: manca infatti la rapida diminuzione di densità elettronica che si nota sempre 2-3 ore prima del levar del sole.

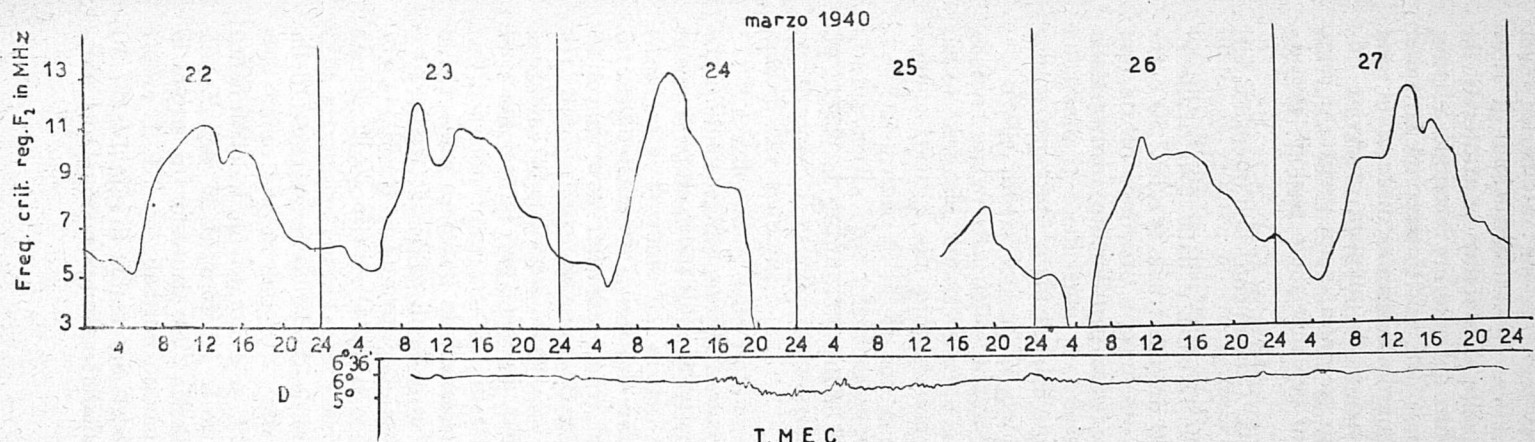
La tempesta ionosferica che segue appare più lunga e intensa di quella del 24-26 (v. fig. 3). Riappaiono gli echi in corrispondenza di un periodo di relativa calma magnetica, e il massimo di densità elettronica si verifica così verso le 21 del 30. Da notare ancora la piccola depressione di densità elettronica il mattino del 30, fra le 10 e le 13, in relazione a una breve ripresa della tempesta magnetica.

LE RADIOCOMUNICAZIONI NEI GIORNI PERTURBATI.

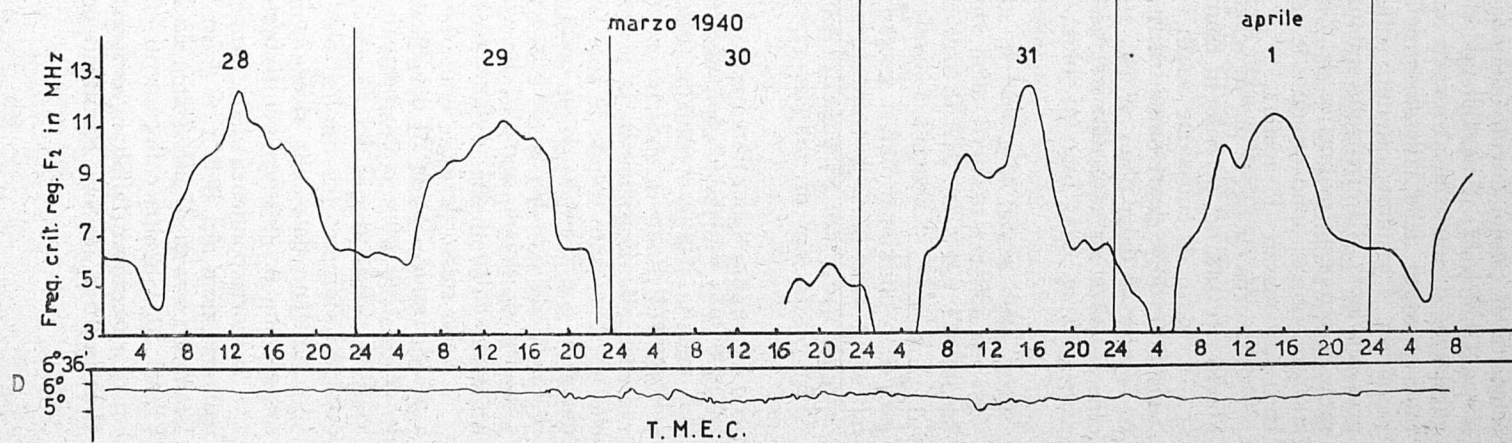
Da un anno circa, presso l'Istituto di fisica della R. Università di Perugia, grazie al contributo dato dal C. N. R., su proposta del Comitato per

(¹) KIRBY, SMITH, GILLILAND, « Phys. Rev. », 1938, p. 54.

(*) Le registrazioni magnetiche sono state gentilmente fornite dal prof. Tenani, direttore dell'Osservatorio magnetico di Genova.



T.M.E.C.
Fig. 1



T.M.E.C.
Fig. 2

—
—

la geofisica e la meteorologia, si è iniziata la registrazione automatica della intensità di campo dovuto all'onda della stazione di radiodiffusione di Breslavia (950 kHz). Scopo di tale ricerca è quello di stabilire i caratteri della variazione di intensità al sorgere e al tramonto del sole, in relazione a eventuali passaggi della riflessione delle radioonde fra i vari strati della bassa ionosfera. I risultati ottenuti sotto tale riguardo verranno discussi in una prossima nota. Riferirò qui soltanto le variazioni di intensità osservate durante la tempesta magnetica del 24-26 marzo: a causa di un guasto al registratore, non si sono ottenute le registrazioni per il secondo periodo perturbato (29 marzo - 1° aprile).

La curva di fig. 3 dà, in scala arbitraria, l'andamento dell'intensità dell'onda ricevuta nel periodo in esame.

L'orario di emissione va di solito dalle 17 all'1 e dalle 5 o 6 alle 8. Sono notevoli le depressioni fra le 19 e le 20 del 24, fra le 6 e le 7,30 e fra le 22 e le 23 del 25.

Un'altra serie di dati interessanti mi è stata gentilmente fornita dalla

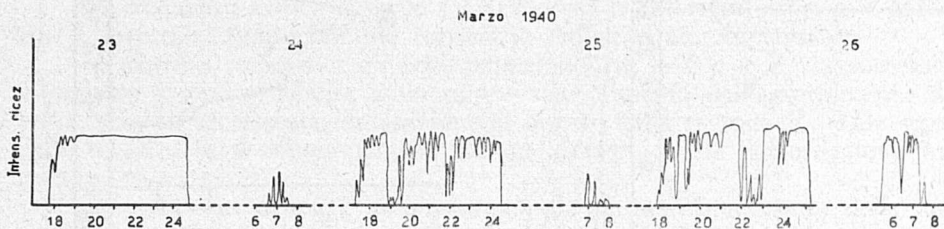


Fig. 3

Società Italo Radio, che, nel suo centro ricevente di Malnome, grazie all'opera dell'ing. A. Niutta, raccoglie tutte le osservazioni sull'andamento dei vari collegamenti.

Per quanto riguarda la prima tempesta ionosferica, è stato osservato che ne sono state colpite le sole trasmissioni transoceaniche: così, le comunicazioni con New York su onde da m 15 a 60 sono state impossibili, fra le 15 del 24 e le 16 del 25: in seguito, si è avuta la ricezione irregolare e saltuaria di deboli segnali, che via via sono divenuti più intensi sino ad assumere entro il 26 l'andamento normale.

Nello stesso periodo, erano normali le ricezioni da Cairo su onde vicine a m 38, fra le 19 e le 24 del 24, da Beirut su onda di m 37,57, fra le 20 e le 22,40. Così pure erano normali le ricezioni da Cairo ($\lambda = m 38,34$) fra le 20,15 del 25 e le 3 del 26, da Beirut ($\lambda = m 39,60$) fra le 20,15 del 25 e l'1 del 26.

Mancano dati sulla ricezione da Londra, e da Bruxelles a causa della sospensione del traffico per il periodo festivo.

In corrispondenza della tempesta del 29, si è notato un indebolimento nelle ricezioni da Beirut ($\lambda = m 39,60$) fra le 18,50 e le 24 del 29, da Istanbul ($\lambda = m 37,20$) fra le 23 e le 23,30 del 29 e da Oslo fra le 8 e le 21 del 30. Gli altri collegamenti europei appaiono normali.

Le ricezioni da Shanghai sono assai indebolite fra le 8 e le 14 del 30 ($\lambda = m 15$ e m 50). Risultano poi impossibili le comunicazioni con New

York a partire dalle 18,30 del 29 e sino alle 21,30 del 30, per onde comprese fra 15 e 60 metri.

Da quanto precede appare evidente che soltanto le comunicazioni a grande distanza, e svolgentisi alle latitudini elevate, sono state colpite dalla tempesta ionosferica del 24-26 marzo. La tempesta del 29 ha invece perturbato anche le comunicazioni più meridionali.

Particolarmente interessante è la depressione dell'intensità di ricezione dell'onda di Breslavia. Per la sua interpretazione si possono formulare le seguenti ipotesi:

1. Che la densità elettronica massima nella ionosfera si sia abbassata tanto da ridurre la frequenza critica, per il tragitto Perugia-Breslavia, al disotto di quella dell'onda di Breslavia.

2. Che si sia formato, a quota relativamente bassa (50 ÷ 70 km), uno strato ionizzato fortemente assorbente per le onde medie; oppure, in conseguenza di stratificazioni irregolari della ionosfera, si sia notevolmente abbassato il coefficiente di riflessione, restando, in ogni caso, la frequenza critica superiore a quella dell'onda di Breslavia.

Nella prima ipotesi, si può calcolare, in base alla teoria della propagazione ionosferica delle radioonde, il valore della frequenza critica per incidenza verticale, corrispondente a quello critico di 950 kHz per l'incidenza obliqua relativa alla propagazione fra Breslavia e Perugia.

Dal grafico di fig. 1 non si può determinare il valore minimo della frequenza critica (per incidenza verticale), essendo questa scesa, nella notte dal 24 al 25, al disotto del limite inferiore delle frequenze usate nell'apparato registratore. Il calcolo in questione può essere eseguito in base alle considerazioni che seguono.

La riflessione delle radioonde, cioè la orizzontalità del raggio di propagazione durante la rifrazione curva nella ionosfera, si verifica nella regione in cui l'indice di rifrazione del mezzo rispetto all'onda è uguale al seno dell'angolo φ formato dal raggio stesso con la verticale al punto di partenza (stazione emittente): ciò vale nel caso in cui si possa trascurare la curvatura della superficie terrestre.

L'angolo di cui sopra resta determinato quando si conosca l'altezza apparente di riflessione dell'onda, cioè l'altezza a cui si rifletterebbe il raggio se la velocità di propagazione dell'onda si mantenesse sempre uguale a quella nell'aria non ionizzata, la riflessione avvenisse specularmente e il cammino ottico fosse uguale a quello reale.

Infatti, secondo il teorema di Breit e Tuve, si dimostra che tale percorso virtuale risulta tangente al cammino reale nei punti di partenza e di arrivo: lungo il percorso ionosferico, ovviamente il raggio reale, a causa della rifrazione curva, resta entro il triangolo definito dal cammino virtuale.

Le osservazioni ionosferiche dimostrano che le altezze virtuali massime che danno ancora luogo a riflessioni stabilmente percettibili non superano i 500 km.

Poichè la distanza fra Breslavia e Perugia è di 950 km circa, assunto il valore di cui sopra per l'altezza virtuale di riflessione, si trova per φ il valore di 47° .

Nel luogo di riflessione, l'indice di rifrazione n della ionosfera, rispetto all'onda (la cui frequenza indicheremo genericamente con f), risulta, dalla

teoria della rifrazione ionica (trascurando la birifrangenza dovuta al campo magnetico terrestre), dato da:

$$n = \text{sen } \varphi = \sqrt{1 - \frac{Ne^2}{\pi m f^2}} \quad [1]$$

ove N è la densità elettronica, e ed m la carica e la massa dell'elettrone.

Supponiamo ora che nella stessa regione della ionosfera, in cui avviene la riflessione dell'onda di frequenza f , si rifletta, però con incidenza verticale (come si usa nei normali sondaggi ionosferici), un'altra onda di frequenza f_0 : in tal caso, la stessa densità elettronica N deve rendere nullo l'indice di rifrazione della ionosfera rispetto all'onda f_0 , essendo $\varphi_0 = 0$; sarà cioè:

$$\frac{Ne^2}{\pi m f_0^2} = 1 \quad [2]$$

e quindi

$$f_0^2 = \frac{Ne^2}{\pi m} \quad [3]$$

La [1] diviene allora:

$$\text{sen } \varphi = \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}} \quad [4]$$

e, in definitiva,

$$f_0 = \frac{f}{\text{sec } \varphi} \quad [5]$$

Posto allora $\varphi = 47^\circ$ ed $f = 0,95$ MHz, si trova $f_0 = 0,69$ MHz.

Quando si tenga presente il grafico di fig. 1 e il fatto che la riflessione dell'onda di Breslavia ricevuta a Perugia, avviene a una latitudine più elevata di quella di Roma, appare assai attendibile la prima delle ipotesi proposte.