

Sull'anomalia di Appleton della regione ionosferica E (*)

(About the Appleton anomaly of the ionospheric E region)

P. DOMINICI (**)

Ricevuto il 26 Settembre 1972

SUMMARY. --- The Appleton seasonal anomaly of the ionospheric E region, deduced both with a constant- χ , constant- L method and a (χ , R) correlation method from the normalized foE data at Rome, is briefly discussed; in particular, the facts that the amplitude of the anomaly increases with solar activity and that any explication based upon a "single parameter theory" is unsatisfactory, are emphasized.

RIASSUNTO. --- È brevemente illustrata l'anomalia stagionale di Appleton della regione E, dedotta dai dati foE dell'andamento normale ionosferico a Roma sia con un metodo a χ ed R costanti, sia con un metodo a correlazione (χ , R); sono messi in evidenza l'aumento dell'ampiezza dell'anomalia all'aumentare dell'attività solare e l'inefficacia di spiegazioni, quali quelle correnti, basate sulla variazione di un solo parametro fra i molti in gioco.

1. - INTRODUZIONE

Qualche anno fa E. V. Appleton (1) scoprì un'interessante anomalia, che poi da lui ha preso nome, nell'andamento annuo della frequenza critica ordinaria della regione E della ionosfera, foE. Precisamente, è usuale affermare che per questa regione è ben verificata la teoria di Chapman sulla fotoionizzazione atmosferica ad opera di radiazioni solari; a norma di tale teoria, per i dati di un determinato Osservatorio ionosferico può scriversi, in condizioni quasi stazionarie:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{foE}^2 = \frac{q_0}{a^2} \cos \chi = C \cos \chi, \\ a = 1,24 \cdot 10^{10} \text{ MHz}^{-2} \text{m}^{-3}, \end{array} \right. \quad [1]$$

(*) Comunicazione presentata al Convegno annuale dell'Associazione Geofisica Italiana, Roma 26-28 Aprile 1973.

(**) Istituto Nazionale di Geofisica, Roma.

dove χ è la distanza zenitale del Sole, q_0 è il tasso di produzione di fotoelettroni per $\chi = 0$, α è il coefficiente effettivo di ricombinazione. Orbene, se si considerano valori di foE^4 riferentisi a un valore costante della brillantezza del Sole ionizzante, essi dovrebbero dipendere soltanto da χ e quindi per un assegnato valore di χ dovrebbero essere costanti durante l'anno: si trova invece un massimo invernale.

2. - ANALISI STATISTICA DEI DATI

A partire dall'andamento normale dei valori mediani mensili di foE ricavati nell'Osservatorio ionosferico di Roma dell'Istituto Nazionale di Geofisica nel periodo 1948-70 e assumendo come indice della brillantezza del Sole ionizzante il numero delle macchie solari R , abbiamo estratto i valori mediani mensili di foE^4 per $R = 100$, $\cos \chi = 0,4$ e per $R = 100$, $\cos \chi = 0,2$, riportati nelle curve a , c di fig.: il massimo invernale è ben evidente. Per confronto, sono riportati anche i valori di foE^4 per $R = 0$, $\cos \chi = 0,4$, nella curva b : l'andamento è assai meno pronunciato. Questo modo di rappresentare l'anomalia, che chiameremo « metodo a χ costante », è sostanzialmente quello seguito da Appleton (¹), salvo il fatto che qui la normalizzazione verso assegnati valori di R è stata fatta mediante rette di regressione, mentre là manca una vera e propria normalizzazione, Appleton avendo considerato medie di valori mediani mensili in un periodo, undecennale, di variazione di R .

Il procedimento seguito può esser criticato perchè mette a confronto dati non omogenei, riferentisi a condizioni variamente diverse dalla stazionarietà (a Roma, $\cos \chi = 0,4$ corrisponde circa alle ore 12 a Dicembre, circa alle ore 7 e alle ore 17 a Giugno), cioè a condizioni rappresentate generalmente, più che dalla [1], da un'equazione di equilibrio del tipo:

$$2 a foE \frac{d(foE)}{dt} = q_0 \cos \chi - a^2 \alpha foE^4. \quad [2]$$

Allo scopo di avere una rappresentazione esente da tale difetto abbiamo ricercato, mese per mese, il legame fra foE^4 e $\cos \chi$ per $R = 0$, mediante rette di regressione in un riferimento logaritmico; come già altri, abbiamo trovato che il legame anzidetto può essere espresso dalla relazione:

$$foE^4 = C_0(\cos \chi)^2. \quad [3]$$

Come risulta dalla curva e in figura, l'esponente p non presenta una significativa variazione stagionale, e ad esso è attribuibile il valor medio $\bar{p} = 1,27$ (secondo la teoria di Chapman, e dunque in accordo con la [1], si sarebbe dovuto avere $\bar{p} = 1,00$); invece, l'andamento della quantità C_0 (curva d), che è il valore di foE^4 per $\chi = 0$, $R = 0$, rappresenta l'anomalia di Appleton a Roma, con un regolare, netto massimo invernale.

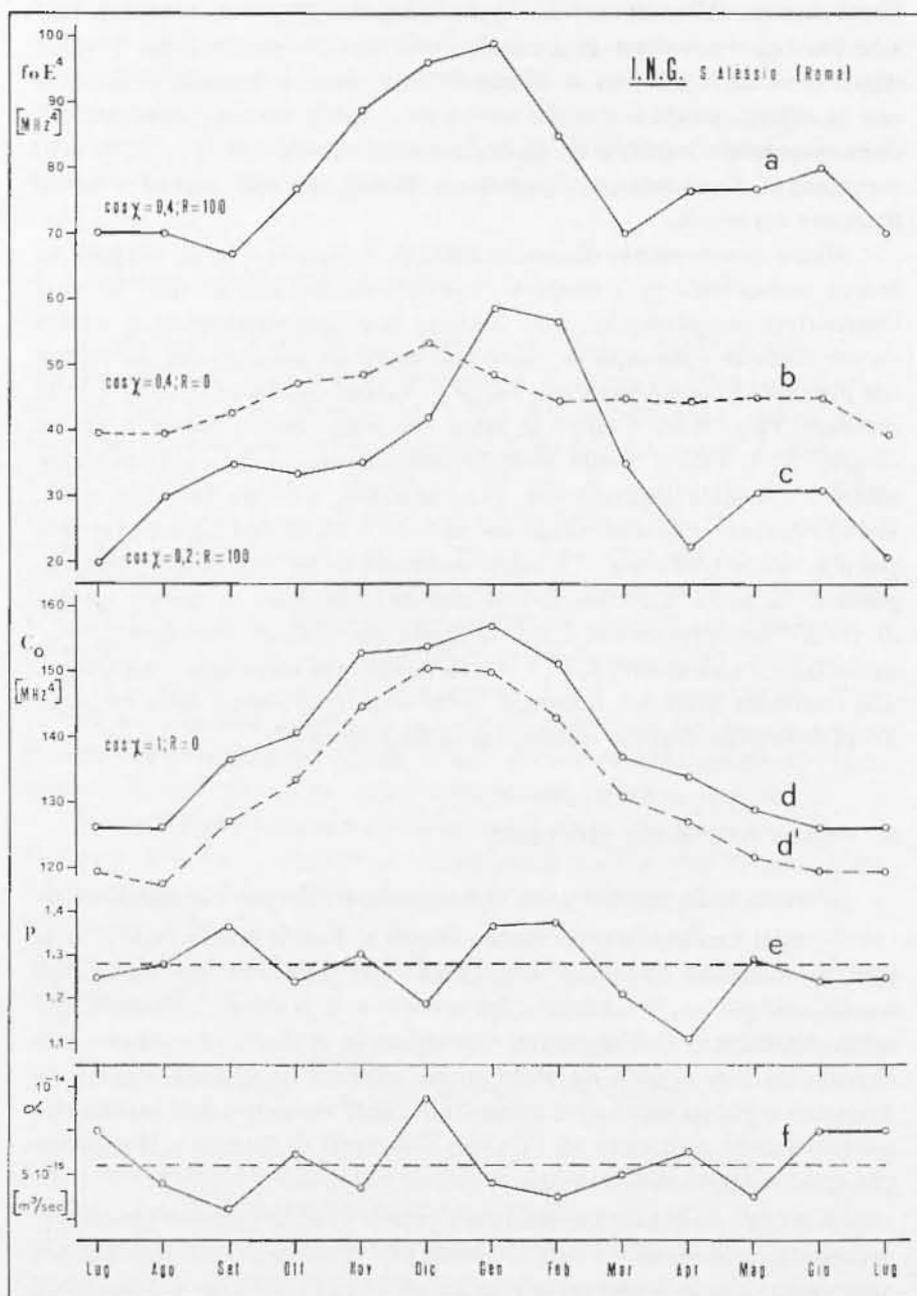
Molto recentemente (Gennaio 1973) S. S. Kouris e L. M. Muggleton hanno comunicato ⁽²⁾ i risultati ottenuti applicando ai dati di vari Osservatori ionosferici un loro metodo che sostanzialmente è quello « a correlazione » ora esposto, salvo una maggiore accuratezza, derivante dal prendere in considerazione anche la variazione durante l'anno della distanza Terra-Sole, e salvo il fatto che come indice solare è preso, anziché R , il valore medio mensile dell'intensità della radioemissione solare a 2,8 GHz (equivalente, per statistiche a lungo termine, a R). Relativamente ai dati di Roma nel periodo 1957-67 essi hanno ottenuto per \bar{p} il valore 1,22 e per C_0 i valori congiunti in fig. con la linea tratteggiata d' ; a parte una sistematica piccola differenza, a nostro avviso derivante principalmente dalla diversità dei periodi considerati, l'accordo fra gli andamenti d , d' , è molto buono: ciò costituisce, fra l'altro, una conferma della non influenza della variazione annua della distanza Terra-Sole sulla densità elettronica della regione E.

3. - DISCUSSIONE DEI RISULTATI

L'esame delle curve $a \div e$ in figura porta a rilevare i seguenti fatti:

(a) il « metodo a χ costante » (curve a , b , c) si presta bene a mettere in evidenza eventuali dipendenze dell'anomalia da particolari condizioni: per es., il confronto fra le curve a , b , porta a riconoscere una netta dipendenza dell'ampiezza dell'anomalia dall'attività solare: tale circostanza non ci pare sia stata sinora rilevata (il metodo seguito da Appleton e poi da molti altri normalizza i dati verso R , come accennato, semplicemente mediando su 11 anni; il metodo di Kouris e Muggleton presenta la stessa limitazione).

(b) Il « metodo a correlazione » (curve d , d' , e) realizza un'efficace perequazione statistica e ben si presta per studi con dati, non sempre omogenei, di vari Osservatori; come accennato, Kouris e Muggleton lo hanno applicato ai dati di una quarantina di Osservatori ionosferici distribuiti in latitudine intorno ai meridiani 5°E , 150°E , 75°W , otte-



nendo (2) una conferma su scala planetaria delle già note caratteristiche dell'anomalia, principale fra tutte il massimo nell'inverno locale, con forte effetto di latitudine (ampiezza piccola nella fascia equatoriale, massima a media latitudine, con asimmetrie fra i due emisferi) e apprezzabile effetto di longitudine. Dalla figura scaturisce una circostanza abbastanza interessante, e cioè che, come ben risulta dal confronto fra le curve c ($\chi \simeq 78^\circ$) ed e , l'andamento dell'esponente p nella [3], al quale si sarebbe portati a non dare importanza, è correlato con le variazioni dell'anomalia a grandi distanze zenitali; a posteriori, la cosa non sorprende ove si ponga attenzione al fatto che la pendenza delle rette di regressione $\log(\text{foE}^4 \cos \chi)$, da cui p è ricavato, dipende fortemente dai valori di foE^4 relativi a grandi valori di χ .

Al fine di verificare la significatività delle rappresentazioni proposte, abbiamo considerato per ogni mese, e quindi per un determinato valore di q_0 , coppie di ore simmetriche rispetto al mezzogiorno locale, e quindi per un determinato valore di $\cos \chi$; ricavando dai dati normalizzati per $R = 0$ le quantità foE , $d(\text{foE})/dt$, foE^4 , abbiamo calcolato il coefficiente effettivo di ricombinazione α eliminando $q_0 \cos \chi$ fra le coppie di equazioni [2] corrispondenti alle ore scelte; s'è ottenuta la curva f in figura, che riproduce, controfase come dev'essere, l'andamento dell'esponente p .

È interessante osservare che se si torna a condizioni rigorosamente stazionarie, considerando valori di foE^4 al mezzogiorno locale, e si ricava q_0 dalla [1] utilizzando i predetti valori di α , si ottiene per q_0 un andamento identico a quello della curva f , con valori intorno a $10^8 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$. Tali valori numerici di q_0 sono accettabili, mentre l'andamento è incompatibile con gli altri risultati. Va tenuto presente che dei tre parametri in gioco, e cioè foE , α , q_0 , quello che certamente contiene l'anomalia in termini di quantità osservabili è foE ; per α è possibile, come indicato, una valutazione parzialmente indipendente; per q_0 ciò che si ottiene è soltanto di riversare su esso il carattere di α , senza alcun significato fisico. Ciò spiega l'infinità delle proposte di spiegare l'anomalia di Appleton con teorie «a parametro unico», basate sulla costanza di q_0 e sull'assunzione che l'apparente variazione di α sia dovuta a corrispondenti variazioni di temperatura e di composizione dei gas atmosferici.

Lo stesso si può dire a proposito della spiegazione, cui inclina attualmente la maggior parte degli studiosi, basata su variazioni di un termine di trasporto verticale collegato al sistema delle correnti Sq . In tale teoria, esprimendo, come fatto sinora, la densità elettronica mas-

sima N_M in termini di frequenza critica ordinaria e dando al termine di trasporto la forma $\text{div}(N_M v)$, con v velocità verticale di scorrimento, l'equazione di equilibrio può essere assunta nella forma:

$$\frac{d(\text{foE})}{dt} = \frac{q_0 \cos \chi - a^2 \alpha \text{foE}^4}{2a \text{foE}} - \left[\frac{\text{foE}}{2} \frac{\partial v}{\partial h} + v \frac{\partial(\text{foE})}{\partial h} \right]. \quad [4]$$

Come si vede, il termine di trasporto viene a dipendere anche da foE e dal gradiente verticale $\partial(\text{foE})/\partial h$, cioè ad esso viene impressa anche una variazione annua che in realtà, anziché derivare dalla velocità di scorrimento, è propria di foE perchè, per es., deriva da a (che invece, al pari di q_0 , è assunto costante). Nel citato articolo di Kouris e Muggleton (2) è fatta un'eccellente rassegna dei lavori basati sulla spiegazione in discussione, e la conclusione, come era da aspettarsi, è che gli argomenti a favore sono soltanto qualitativi.

4. - CONCLUSIONI

A questo punto, quel che si può dire è che l'anomalia di Appleton rivela una sino a qualche tempo fa insospettata natura complessa della regione E, contribuendo, con altri fatti quali la riconosciuta non linearità di responso all'attività solare e l'esistenza di una consistente E notturna, ad apparentare questa regione alla sovrastante regione F: si viene così a costituire un'identità morfologica fra le due regioni (cui probabilmente partecipa anche la regione D in virtù della sua ben nota « anomalia invernale »), la differenza fra esse consistendo nella diversa evidenza del comportamento « non alla Chapman ». E dunque, per dar conto dell'anomalia della regione E, posto che spiegazioni semplici riescono non plausibili, occorrerà trasferire alla regione E i meccanismi, di trasporto e no, proposti e in via di studio per dar conto delle assai più vistose anomalie della regione F.

BIBLIOGRAFIA

(1) APPLETON E. V., 1963. - *Jour. Atm. Terr. Phys.*, **25**, 577.

(2) KOURIS S. S., MUGGLETON L. M., 1973. - *Jour. Atm. Terr. Phys.*, **35**, 141.