

Sulle correlazioni fra densità elettronica ionosferica e attività solare

F. MARIANI

INTRODUZIONE.

Lo studio della ionizzazione negli strati più alti dell'atmosfera consente di ottenere informazioni oltre che sulla struttura e sul comportamento della atmosfera stessa anche sulla radiazione ultravioletta e corpuscolare emessa dal Sole. Il Sole è la principale fonte primaria da cui si irradia energia: la disponibilità di nuovi e migliori dati sull'attività solare e, d'altra parte, anche il sensibile miglioramento nella qualità e nelle quantità dei dati ionosferici inducono a studiare con maggiore profondità il problema delle correlazioni tra densità elettronica nella ionosfera e attività solare, di chiarire e precisare ulteriormente il meccanismo di interazione.

Nella presente ricerca studiamo il comportamento della densità elettronica massima negli strati ionosferici e le sue correlazioni con i dati relativi al Sole per una serie di Osservatori ionosferici distribuiti tra le latitudini geografiche estreme di 52° N e 43° S, per un periodo di tempo corrispondente alla fase decrescente dell'ultimo ciclo solare; tutta la ricerca è strettamente collegata a quella sulle variazioni stagionali e non stagionali, sulle quali abbiamo già riferito in altra nota (*) che, d'ora in poi, indicheremo con la sigla *I*.

Paragrafo 1. Dati sperimentali e metodo di analisi.

I dati ionosferici sperimentali di cui ci siamo serviti sono quelli stessi usati in *I*. Qui ricordiamo che con *N* si sono indicati

nel seguito, rispettivamente per gli strati F_2 , F_1 ed *E*, i valori mediani mensili di $(f_oF_2)^2$, $(f_oF_1)^4$ e $(f_oE)^4$ che, nei limiti in cui possono assumersi condizioni stazionarie per l'equilibrio ioni-elettroni, risultano proporzionali alle intensità di ionizzazione, ovvero alla densità elettronica massima e al suo quadrato, rispettivamente per lo strato F_2 e per gli strati F_1 ed *E*; con N_{12} si sono indicati i valori delle successioni costituenti la componente di periodo 12 mesi desunta dalle successioni di *N*.

Per quanto riguarda i dati solari abbiamo usato, per i numeri *R* di Wolf i valori forniti dall'Osservatorio di Zurigo, per l'area A_R delle macchie solari quelli dell'Osservatorio di Greenwich; in quanto invece ai numeri caratteristici relativi ai filamenti e ai flocculi di idrogeno abbiamo usato quelli forniti dall'Osservatorio di Arcetri ⁽²⁾ ⁽³⁾, riducendoli senz'altro alle aree, A_F e A_{Φ} rispettivamente, proiettate sul disco solare, usando i grafici di ragguglio tra numeri caratteristici e aree, pure forniti dal medesimo Osservatorio.

Abbiamo usato, oltre ai numeri di Wolf, le aree dei filamenti e dei flocculi di idrogeno in quanto questi sono fenomeni quiescenti sul Sole, i quali di regola durano per varie rotazioni solari così da esercitare con continuità, a differenza dei brillamenti, che sono di brevissima durata e che comunque non sembrano gran che efficaci nel produrre effetti di lunga durata negli strati più alti della ionosfera, il loro eventuale effetto sulla ionosfera. Da tali serie di valori indici della attività solare abbiamo dedotto, con il metodo dell'analisi periodale già ap-

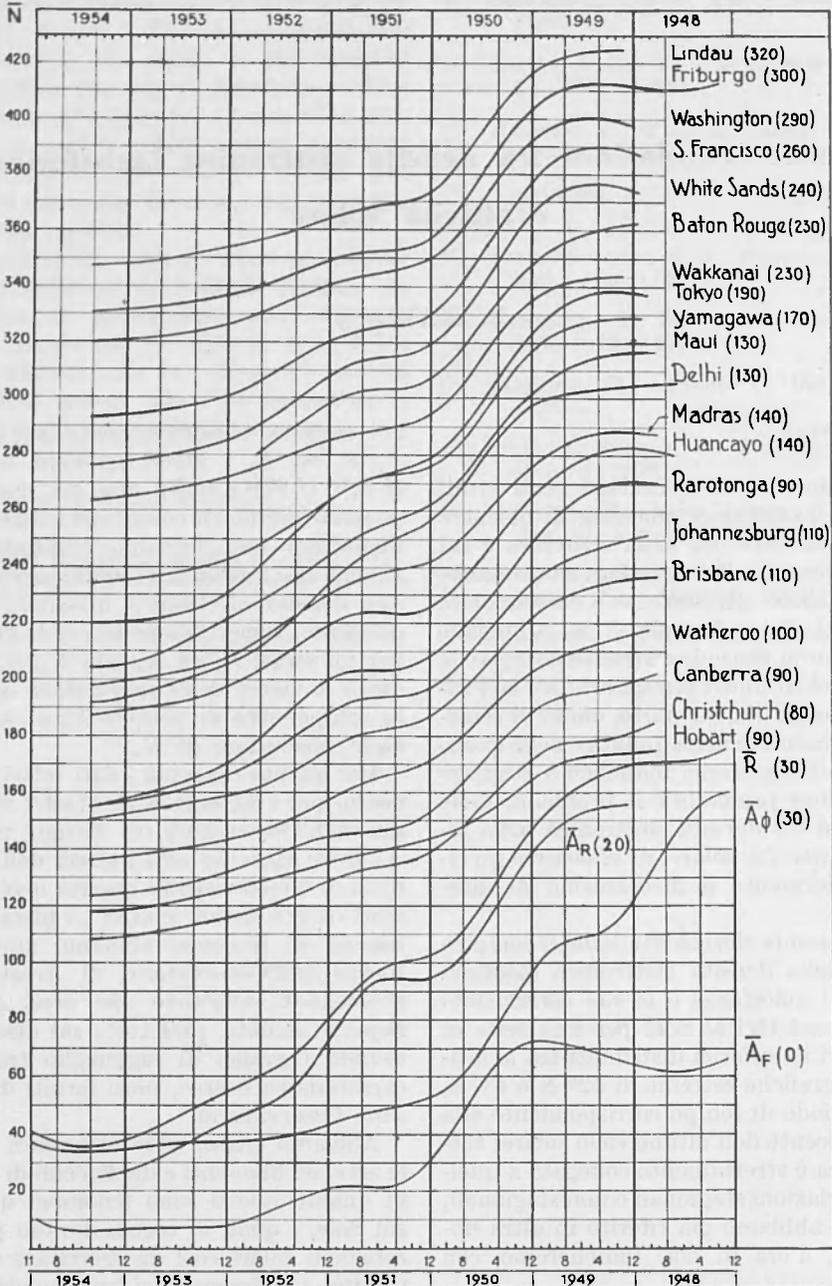


Fig. 1. - Andamenti temporali di \bar{N} nello strato F_2 , a mezzogiorno, di \bar{R} , \bar{A}_R , \bar{A}_ϕ , e \bar{A}_F ; le aree \bar{A}_R sono in $(1/16,09) \cdot 10^{-6}$ del disco solare e le aree \bar{A}_ϕ e \bar{A}_F in 10^{-4} . Sulle ascisse i mesi da Gennaio a Dicembre sono numerati da 1 a 12. In questa e nelle successive fig. 2, 3, 4, 7, 8, 9 i numeri tra parentesi accanto ai nomi degli osservatori indicano l'ordinata cui corrisponde lo zero di ciascun grafico.

plicato in I ai dati ionosferici, le successioni di valori relativi all'andamento medio (o secolare) che abbiamo contrassegnato con soprilineatura.

zione, sintetizzata in una relazione di linearità del tipo

$$\bar{N} = a + b\bar{R} = \bar{N}_0 [1 + \alpha\bar{R}] \quad [1]$$

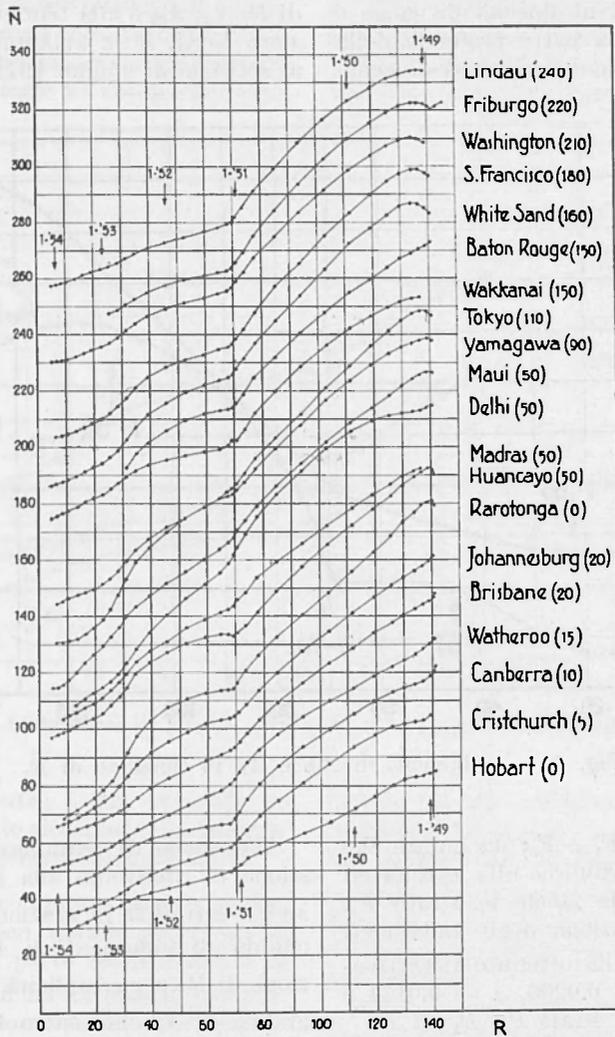


Fig. 2. - Andamento di N nello strato F_2 , a mezzogiorno in funzione di R . In questa e nelle successive fig. 3, 4, 5, 7, 8, 9 i punti rappresentano valori bimensili.

Paragrafo 2.

In generale, nella letteratura sull'argomento, i vari autori hanno rilevato negli andamenti secolari di N e di R , che qui indichiamo con \bar{N} e \bar{R} , una stretta correla-

zione, sintetizzata in una relazione di linearità del tipo $\bar{N} = a + b\bar{R} = \bar{N}_0 [1 + \alpha\bar{R}]$ [1] dove a, b sono costanti, $\bar{N}_0 = a$ è la densità « base » corrispondente ad attività solare nulla e $\alpha = \frac{b}{a}$; le differenze nella costante α riscontrate nei vari Osservatori, sono state

attribuite ad anomalie locali. Da una analisi estesa a 6 Osservatori per il periodo 1937-1947, Allen (⁴) ha ritenuto di poter indicare la cromosfera come sorgente della radiazione generatrice dello strato E che appare associato alla comparsa di flocculi di calcio e di facole e invece la parte profonda della corona come sorgente della radiazione gene-

con \bar{R} , e di \bar{R} e \bar{A}_R con \bar{A}_F e \bar{A}_ϕ . talune particolarità interessanti: ci riferiamo al massimo relativo di \bar{A}_F intorno al dicembre 1949 cui fa riscontro l'andamento monotono di \bar{R} , \bar{A}_R , \bar{A}_ϕ e alla tendenza di \bar{N} , nell'emisfero Nord, a un massimo relativo intorno al solstizio di giugno 1949.

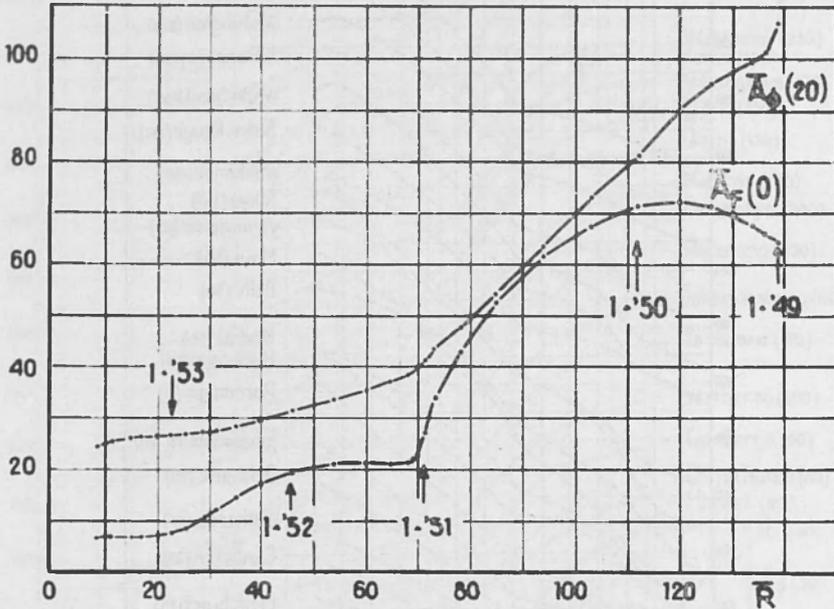


Fig. 3. - Andamenti di A_ϕ e \bar{A}_F in funzione di \bar{R} .

ratrice degli strati F_1 e F_2 ; da notare che Kiepenheuer (⁵) attribuisce alla corona gli strati E e F_1 e alle facole lo strato F_2 . Quanto alla correlazione degli andamenti di \bar{N} e di \bar{R} , Allen ha ottenuto rispettivamente i valori $\alpha = 0.0200$, $\alpha = 0.0124$ e $\alpha = 0.0097$ per gli strati F_2 , F_1 ed E .

Qui di seguito esamineremo separatamente i casi dello strato F_2 e degli strati F_1 ed E .

Caso dello strato F_2 .

Facendo riferimento alla fig. 1, nella quale sono riportati gli andamenti di \bar{N} alle ore 12 nei vari Osservatori, distribuiti in ordine di latitudine geomagnetica e quelli di \bar{R} , \bar{A}_R , \bar{A}_F , \bar{A}_ϕ , si notano, pur nella generica somiglianza di comportamento di \bar{N}

Allo scopo di esaminare meglio la questione ci riferiremo alla fig. 2 che dà gli andamenti di \bar{N} in funzione di \bar{R} , alla fig. 3 che dà gli andamenti di \bar{A}_ϕ e di \bar{A}_F in funzione di \bar{R} (per semplicità è stato ommesso il grafico di \bar{A}_R che, entro $1 \div 2\%$, risulta lineare di equazione $\bar{A}_R = 16.09 \bar{R}$) e alla fig. 4 che dà il grafico di \bar{N} in funzione di \bar{A}_R per tre Osservatori tipici.

L'osservazione delle figg. 2 e 4 e la constatazione della linearità della funzione $\bar{A}_R(\bar{R})$ ci consentono di affermare con sicurezza che, almeno nella considerazione degli andamenti secolari, la sostituzione di \bar{R} con \bar{A}_R non porta a conclusioni diverse da quelle che si traggono usando i numeri di Wolf:

in altri termini resta ben messa in evidenza la scarsa « linearità » della relazione funzionale tra \bar{N} e \bar{R} (oppure \bar{A}_R); in più, però, l'esame comparato degli andamenti di \bar{N} nei vari Osservatori (in luogo di un unico andamento « medio » come fatto da Allen) consente (fig. 2) di notare alcune interessanti e sistematiche analogie di comportamento:

latitudine magnetica da 52° Sud (Hobart) a 53° Nord (Lindau), soprattutto nell'emisfero Nord;

c) in corrispondenza ai valori più alti di \bar{R} , la \bar{N} mostra tendenza, essenzialmente solo nell'emisfero Nord, a raggiungere un massimo relativo; in sostanza sembra presente con una certa sistematicità una asim-

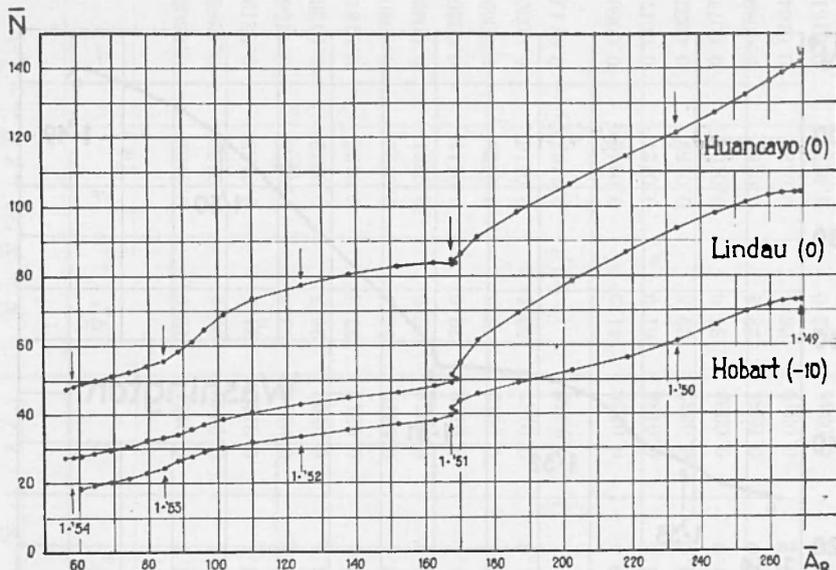


Fig. 4. - Andamenti di \bar{N} nello strato F_2 , a mezzogiorno in funzione di \bar{A}_R .

a) in tutti i grafici è ben evidente un andamento cuspidale ricorrente sistematicamente intorno al gennaio-maggio 1951;

b) ciascun grafico appare distinto in due parti aventi una ben visibile differenza di comportamento: la parte corrispondente ai valori più bassi di \bar{R} ha un andamento sensibilmente rettilineo a medie latitudini e ondulato per le basse latitudini; la parte del grafico corrispondente ai valori più alti di \bar{R} invece mostra, come principale caratteristica, una generale accentuazione dei valori di \bar{N} rispetto a quelli prevedibili estrapolando ai valori più alti di \bar{R} l'andamento rettilineo di $\bar{N}(\bar{R})$ che si può interpolare nei dati posteriori al gennaio 1951; tale accentuazione ha tendenza ad essere crescente o quanto meno non decrescente (eccezzuato il caso di Canberra) al crescere della

metria tra gli andamenti di \bar{N} nei due emisferi; d'altra parte sia la fig. 1 sia, assai più chiaramente, le figg. 2 e 3 sembrano suggerire una apprezzabile dipendenza di \bar{N} dalla area dei filamenti di idrogeno o, più genericamente se si vuole, dall'attività ad essi connessa.

Prima di procedere oltre, data la periodicità di 27,275 giorni con cui tendono a ricorrere i fenomeni della attività solare, abbiamo voluto vedere se, e in che misura eventualmente, sono modificati gli andamenti di $\bar{N}(\bar{R})$ applicando l'analisi periodale alle successioni dei valori N^* e R^* , mediani e medi rispettivamente, di $(f_o F_2)^2$ e di R riferiti al mese solare di 27,275 giorni anziché al nostro mese terrestre convenzionale: ciò è stato fatto, per ovvie ragioni di disponibilità dei dati di $f_o F_2$ giorno per giorno, per il solo Osservatorio ionosferico

di Washington: in sostanza (fig. 5) l'andamento di $\bar{N}^*(R^*)$, eccetto in qualche dettaglio e in una accentuazione della cuspidale intorno al gennaio-maggio 1951, riproduce assai fedelmente quello di $\bar{N}(R)$. In definitiva le indicazioni tratte sopra dalle figg. 1 e 2 restano fisicamente significative: assumeremo pertanto nel seguito di poter

Un primo esame dei risultati raccolti nella tab. 1 permette di trarre le seguenti notevoli conclusioni:

a) i valori dei coefficienti α e δ mostrano asimmetria rispetto all'equatore magnetico e una certa sistematica tendenza a crescere, nell'emisfero Nord, al crescere della latitudine magnetica;

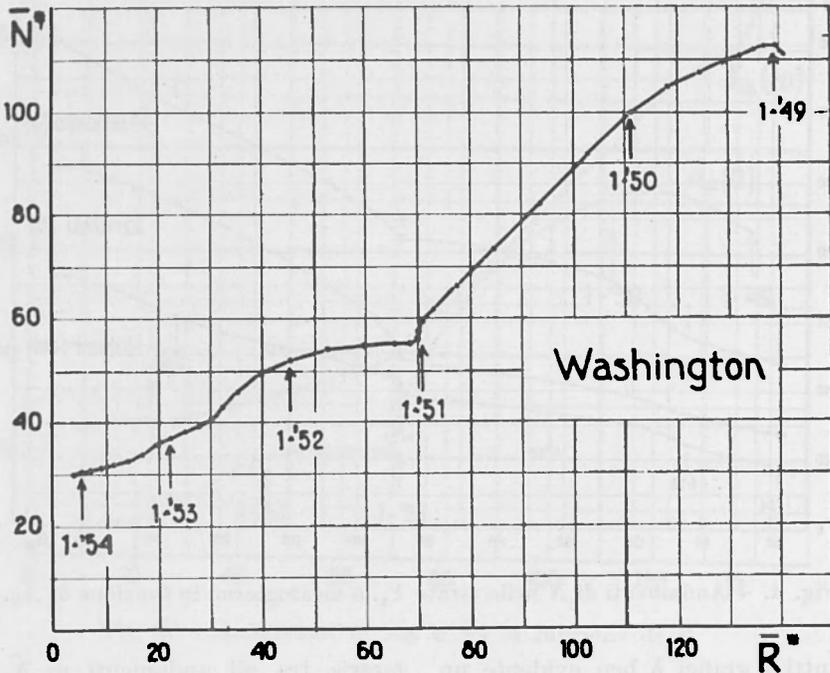


Fig. 5. - Andamento di \bar{N}^* nello strato T_2 , a mezzogiorno, in funzione di R^* .

modificare la [1] in modo da tener conto anche della attività dei filamenti di idrogeno, stabilendo tra \bar{N} , \bar{R} e \bar{A}_F il legame lineare.

$$\begin{aligned} \bar{N} &= a' + b'R + c'\bar{A}_F = \\ &= \bar{N}_o' [1 + \beta\bar{R} + \gamma\bar{A}_F]. \end{aligned} \quad [2]$$

Mediante il metodo dei minimi quadrati abbiamo calcolato, usando i dati del periodo gennaio 1949-dicembre 1953 i valori più attendibili di \bar{N}_o' , β , γ ; a scopo di confronto abbiamo anche calcolato i valori di \bar{N}_o , α , δ corrispondenti alle relazioni

$$\begin{cases} \bar{N} = \bar{N}_o [1 + \alpha\bar{R}] \\ \bar{N} = \bar{N}_o [1 + \delta\bar{A}_F] \end{cases} \quad [3]$$

b) i valori dei coefficienti β sono sensibilmente simmetrici rispetto all'equatore magnetico mentre sono nettamente asimmetrici quelli di γ sui quali si trasferisce, per così dire, la asimmetria presentata dai coefficienti α e δ .

Quanto al significato statistico dei valori raccolti nella tabella si possono fare alcune considerazioni: 1) gli Osservatori indicati nella tabella sono distribuiti abbastanza simmetricamente intorno all'equatore magnetico: scegliendo tra quelli dell'emisfero Nord solo gli Osservatori (indicati in carattere corsivo) cui ne corrisponde nello emisfero Sud uno situato approssimativamente alla stessa latitudine magnetica e attribuendo uno stesso peso statistico ai dati

Tabella I

Osservatorio	$\bar{N} = \bar{N}_o(1 + \alpha \bar{R})$		$\bar{N} = \bar{N}_o(1 + \delta \bar{A}_F)$		$\bar{N} = \bar{N}_o'(1 + \beta \bar{R} + \gamma \bar{A}_F)$			Latitudine	
	\bar{N}_o	α	\bar{N}_o	δ	\bar{N}_o'	β	γ	geogr.	geomagn.
	<i>Lindau</i>	16.1	0.0395	23.2	0.0461	19.0	0.0162	0.0303	51.6 N
<i>Friburgo</i>	17.7	0.0381	25.4	0.0448	20.6	0.0168	0.0282	48.1 »	50 »
<i>Washington</i>	19.1	0.0346	26.8	0.0410	21.5	0.0183	0.0219	39 »	50 »
<i>San Francisco</i>	21.5	0.0361	31.1	0.0411	23.8	0.0235	0.0155	37.4 »	44 »
<i>White Sands</i>	26.2	0.0309	36.5	0.0363	28.3	0.0212	0.0129	32.6 »	42 »
<i>Wakkanai</i>	24.6	0.0259	33.6	0.0317	27.8	0.0126	0.0181	45.4 »	35 »
<i>Tokyo</i>	32.7	0.0254	43.1	0.0316	34.3	0.0192	0.0090	35.7 »	26 »
<i>Yamagawa</i>	43.9	0.0197	54.9	0.0258	45.5	0.0151	0.0069	31.2 »	21 »
<i>Maui</i>	69.8	0.0124	81.4	0.0172	70.6	0.0111	0.0020	20.8 »	21 »
<i>Delhi</i>	56.9	0.0160	68.4	0.0219	58.8	0.0120	0.0062	28.6 »	19 »
<i>Madras</i>	53.3	0.0133	61.6	0.0187	53.1	0.0116	0.0030	13 »	4 »
		$\bar{\alpha} = 0.0273$		$\bar{\delta} = 0.0330$		$\bar{\beta} = 0.0167$	$\bar{\gamma} = 0.0141$		
<i>Huancayo</i>	40.2	0.0178	49.5	0.0236	41.2	0.0146	0.0050	12 S	0.6 S
<i>Rarotonga</i>	61.3	0.0138	72.6	0.0188	61.8	0.0127	0.0017	21.3 »	21 »
<i>Johannesburg</i>	39.1	0.0184	49.0	0.0237	39.8	0.0159	0.0037	26.2 »	27 »
<i>Brisbane</i>	32.7	0.0201	41.0	0.0263	34.0	0.0150	0.0077	27.5 »	36 »
<i>Watheroo</i>	28.2	0.0229	36.0	0.0284	29.8	0.0157	0.0089	30.3 »	41 »
<i>Canberra</i>	24.2	0.0247	31.2	0.0319	26.4	0.0133	0.0164	35.3 »	44 »
<i>Christchurch</i>	20.5	0.0278	27.5	0.0344	22.0	0.0171	0.0151	43.6 »	48 »
<i>Hobart</i>	24.2	0.0175	29.8	0.0230	24.5	0.0155	0.0030	42.8 »	52 »
		$\bar{\alpha} = 0.0200$		$\bar{\delta} = 0.0260$		$\bar{\beta} = 0.0149$	$\bar{\gamma} = 0.0075$		
		$\sigma = 0.0042$		$\sigma = 0.0048$		$\sigma = 0.0013$	$\sigma = 0.0048$		

di tutti gli Osservatori così selezionati, può essere significativo considerare i valori medi $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$, $\bar{\gamma}$, $\bar{\delta}$ dei coefficienti α , β , γ , δ rispettivamente negli emisferi Nord e Sud, valori medi che appaiono tutti maggiori in quello e minori in questo. 2) Valutando le deviazioni

Osservatorio e Osservatorio determinate da cause occasionali o da effettive differenziazioni di carattere locale della ionosfera, risulta evidente che per gli Osservatori a più alta latitudine Nord i soli valori di α , γ , δ sono significativamente maggiori di quelli

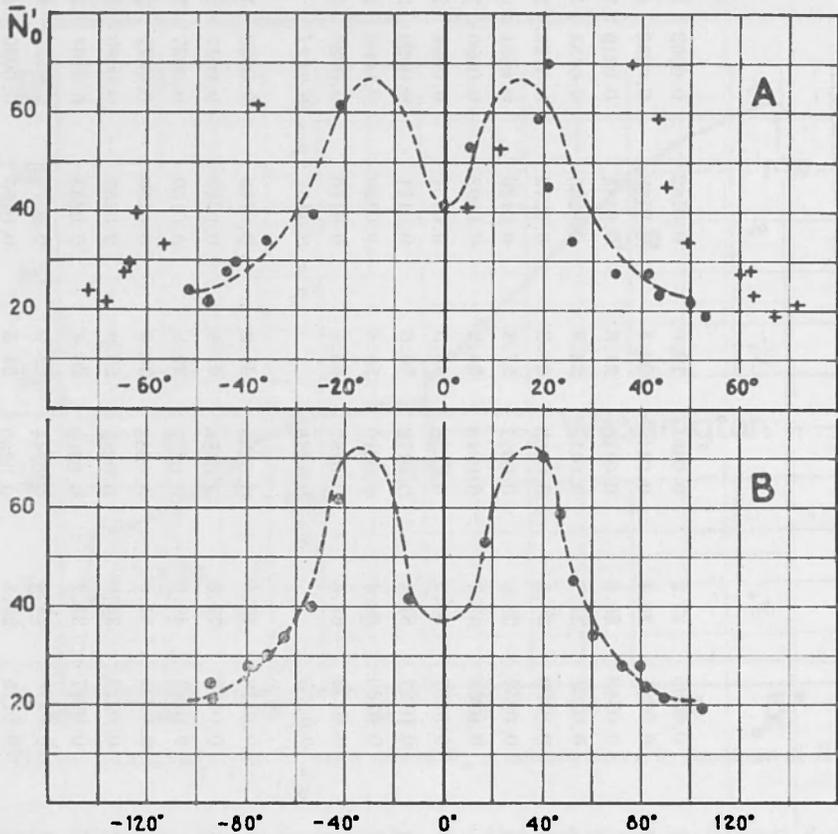


Fig. 6. - Dipendenza di N'_0 dalla latitudine geomagnetica (caso A, punti pieni), dalla inclinazione magnetica (caso A, punti a croce) e dalla somma delle latitudini geografica e geomagnetica (caso B).

zioni quadratiche medie dei valori di α , β , γ , δ relativi a Osservatori nell'emisfero Sud rispetto alla loro media

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_i (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n}}$$

$$\sigma_{\beta}, \sigma_{\gamma}, \sigma_{\delta}$$

e assumendo tali deviazioni (nella tabella semplicemente indicate con σ) come misure dell'ordine di grandezza delle fluttuazioni tra

«normali» che si avrebbero se ci fosse perfetta simmetria di comportamento tra i due emisferi; ed è appunto a ciò che si debbono attribuire i maggiori valori medi dei coefficienti nell'emisfero Nord.

I risultati esposti sono particolarmente interessanti in quanto ci consentono di selezionare un effetto sensibilmente indipendente dalla latitudine geomagnetica e geografica (dipendenza dalle macchie solari) da un effetto dipendente dalla latitudine, anche

se con legge alquanto riposta ma senz'altro con tendenza ad essere più rilevante nell'emisfero Nord che nell'emisfero Sud e in quello crescente al crescere della latitudine magnetica.

Non riportiamo i valori dei coefficienti di correlazione di N con R e A_F , i quali tutti sono assai prossimi all'unità così da non fornire ulteriori elementi di valutazione.

Appaiono invece interessanti (fig. 6) i grafici di N_o' rispetto alla latitudine geomagnetica e alla inclinazione magnetica (ca-

so A) ovvero alla somma delle latitudini geomagnetica e geografica (caso B); le linee tratteggiate rappresentano possibili andamenti simmetrici compatibili con i valori

di N_o' ; tali valori appaiono sensibilmente più simmetrici nel caso B che nel caso A : ciò si può fisicamente giustificare osservando che in realtà le densità elettroniche dipendono sia dalla latitudine geografica che dalla latitudine geomagnetica e quindi è logico attendersi che, nonostante la convenzionalità insita nel riportare sull'asse delle ascisse la

T a b e l l a 2

Osservatorio	$N - N_{12} =$ $= (N - N_{12})_o [1 + \alpha R]$		$N - N_{12} =$ $= (N - N_{12})_o [1 + \delta A_F]$		$N - N_{12} =$ $= (N - N_{12})_o [1 + \beta R + \gamma A_F]$		
	$(N - N_{12})_o$	α	$(N - N_{12})_o$	δ	$(N - N_{12})_o$	β	γ
Lindau	16.1	0.0391	24.2	0.0423	16.4	0.0203	0.0356
Friburgo	17.5	0.0394	27.4	0.0400	18.0	0.0225	0.0308
Washington	19.5	0.0336	28.5	0.0368	19.8	0.0188	0.0281
San Francisco	22.0	0.0350	32.9	0.0371	22.4	0.0202	0.0281
White Sands	26.9	0.0308	39.7	0.0314	27.3	0.0196	0.0200
Wakkanai	25.6	0.0243	33.1	0.0311	26.0	0.0117	0.0242
Tokyo	33.2	0.0248	46.9	0.0267	33.5	0.0171	0.0150
Yamagawa	45.1	0.0187	59.4	0.0213	45.4	0.0133	0.0105
Maui	73.5	0.0110	88.1	0.0137	73.8	0.0082	0.0057
Delhi	60.9	0.0139	72.5	0.0187	61.3	0.0079	0.0118
Madras	54.2	0.0126	65.4	0.0158	54.4	0.0087	0.0076
		$\alpha = 0.0246$		$\delta = 0.0294$		$\bar{\beta} = 0.0156$	$\gamma = 0.0205$
Huancayo	41.0	0.0171	52.7	0.0201	41.2	0.0120	0.0099
Rarotonga	63.3	0.0128	78.3	0.0150	63.5	0.0100	0.0054
Johannesburg	41.3	0.0163	51.8	0.0201	41.5	0.0106	0.0112
Brisbane	35.1	0.0175	44.8	0.0212	35.4	0.0114	0.0118
Watheroo	29.9	0.0199	39.6	0.0230	30.1	0.0135	0.0124
Canberra	27.6	0.0195	35.5	0.0244	28.6	0.0105	0.0165
Christchurch	22.8	0.0229	30.6	0.0267	23.1	0.0142	0.0169
Hobart	26.3	0.0146	33.6	0.0165	26.5	0.0117	0.0057
		$\bar{\alpha} = 0.0176$		$\delta = 0.0209$		$\bar{\beta} = 0.0117$	$\gamma = 0.0112$
		$\sigma = 0.0030$		$\sigma = 0.0036$		$\sigma = 0.0014$	$\sigma = 0.0040$

somma delle due latitudini, i valori di \bar{N}_o' si distribuiscono più simmetricamente intorno all'asse delle ordinate.

Per meglio valutare la portata e l'attendibilità dei risultati riportati nella tabella 1, abbiamo eseguito un ulteriore esame dei dati sperimentali, sempre limitatamente agli anni 1949-1953: precisamente abbiamo direttamente considerato le successioni dei valori mediani mensili di N da cui abbiamo detratto, termine a termine, i valori della suc-

cessione N_{12} costituente la componente di periodo 12 mesi (che è stata calcolata nella nota I) e abbiamo esaminato le correlazioni semplici e multiple di $N - N_{12}$ con i valori medi mensili di R e di A_F , avendo posto rispettivamente:

$$\begin{cases} N - N_{12} = (N - N_{12})_0 [1 + \alpha R] \\ N - N_{12} = (N - N_{12})_0 [1 + \delta A_F] \\ N - N_{12} = (N - N_{12})_0 [1 + \beta R + \gamma A_F] \end{cases} \quad [4]$$

L'eliminazione della componente N_{12} con-

T a b e l l a 3

Osservatorio	$\beta = b''/N_o'$	$\gamma = c'/N_o'$	ϱ_2	ϱ_{13}	$\varrho_{12,3}$	$\varrho_{13,2}$	$\varrho_{1(23)}$
Lindau	0.0181	0.0203	0.487	0.421	0.460	0.387	0.603
Friburgo	0.0181	0.0237	0.472	0.438	0.437	0.401	0.593
Washington	0.0056	0.0231	0.236	0.470	0.173	0.447	0.494
San Francisco	0.0092	0.0227	0.290	0.413	0.239	0.383	0.468
White Sands	0.0094	0.0160	0.345	0.382	0.303	0.346	0.474
Wakkanai	0.0097	0.0214	0.296	0.394	0.248	0.362	0.455
Tokyo	0.0114	0.0149	0.332	0.307	0.296	0.266	0.417
Yamagawa	0.0060	0.0042	0.248	0.276	0.210	0.232	0.279
Mauī	0.0050	0.0061	0.269	0.239	0.236	0.200	0.331
Delhi	0.0038	0.0110	0.224	0.361	0.173	0.335	0.396
Madras	0.0039	0.0057	0.264	0.265	0.228	0.228	0.344
	$\beta = 0.0090$	$\gamma = 0.0162$	$\sigma = 0.315$	$\varrho = 0.362$	$\bar{\varrho} = 0.273$	$\varrho = 0.327$	$\varrho = 0.448$
Huancayo	0.0086	0.0098	0.414	0.351	0.380	0.308	0.500
Rarotonga	0.0056	0.0024	0.301	0.137	0.283	0.088	0.313
Johannesburg	0.0076	0.0131	0.365	0.410	0.324	0.376	0.505
Brisbane	0.0078	0.0101	0.350	0.322	0.313	0.281	0.438
Watheroo	0.0108	0.0101	0.424	0.313	0.393	0.265	0.487
Canberra	0.0095	0.0111	0.323	0.278	0.288	0.236	0.393
Christchurch	0.0099	0.0098	0.294	0.225	0.264	0.183	0.342
Hobart	0.0043	0.0001	0.175	0.030	0.173	0.002	0.175
	$\beta = 0.0080$	$\bar{\gamma} = 0.0083$	$\varrho = 0.331$	$\bar{\varrho} = 0.258$	$\bar{\varrho} = 0.302$	$\varrho = 0.217$	$\varrho = 0.394$
	$\sigma = 0.0020$	$\sigma = 0.0042$	$\sigma = 0.074$	$\sigma = 0.115$	$\sigma = 0.065$	$\sigma = 0.114$	$\sigma = 0.107$

sente il confronto della densità elettronica con i dati solari eliminando, o quanto meno riducendo, l'influenza delle variazioni, specialmente quelle stagionali, che sono da mettersi in correlazione principalmente con altre variabili (in particolare l'altezza del Sole sull'orizzonte) piuttosto che con i parametri

e quelle di $R - \bar{R}$ e $A_F - \bar{A}_F$; stabilendo ancora una relazione di linearità del tipo

$$N - N_{12} - \bar{N} = a'' + b'' (R - \bar{R}) + c'' (A_F - \bar{A}_F) \quad [5]$$

si ottengono, come ci si può aspettare a

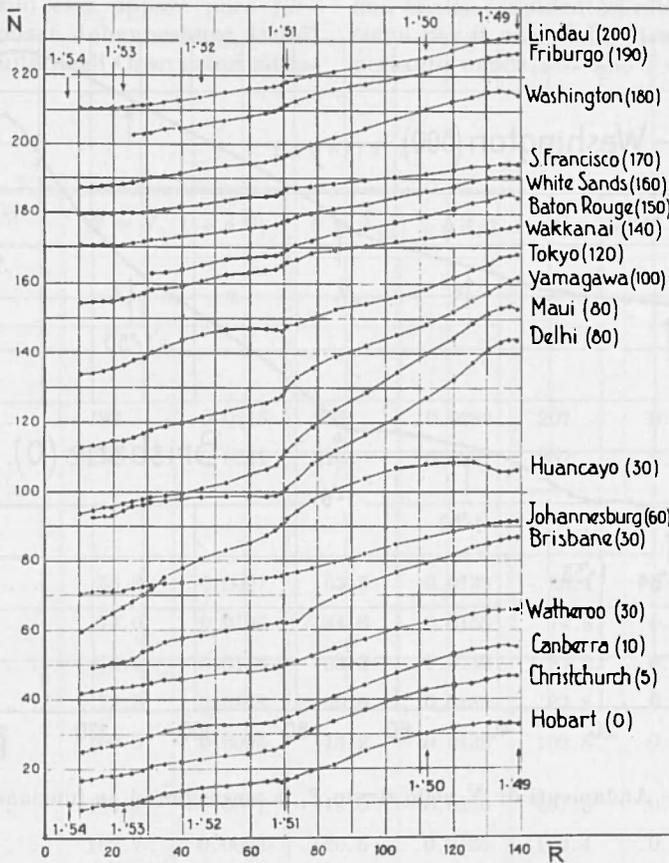


Fig. 7. - Andamenti di \bar{N} nello strato F_2 , a mezzanotte, in funzione di \bar{R} .

caratteristici della attività solare. La tabella 2 riporta i valori dei nuovi coefficienti $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: si nota ancora una asimmetria dei valori di α, δ , e soprattutto, più accentuata, di γ nei due emisferi; inoltre, questa volta, anche i valori di β sembrano mostrare tendenza ad essere maggiori alle medie latitudini geomagnetiche Nord che alle corrispondenti latitudini Sud.

Da ultimo abbiamo voluto studiare le correlazioni tra le successioni di $N - N_{12} - \bar{N}$

priori, valori di a'' oscillanti intorno allo zero; quanto invece ai coefficienti b'' e c'' ci è parso fisicamente significativo misurarli in unità di N_0' allo scopo di esaminarne la dipendenza dalla latitudine: nella tabella 3 sono appunto riportati i valori $\beta = b''/N_0'$ e $\gamma = c''/N_0'$ e in più, questa volta, anche i coefficienti di correlazione semplice ρ_{12}, ρ_{13} , parziale $\rho_{12,3}, \rho_{13,2}$ e multipla $\rho_{1(2,3)}$ di $N - N_{12} - \bar{N}$ con $R - \bar{R}$ e con $A - \bar{A}_F$,

essendosi attribuiti alle precedenti tre quantità ordinatamente gli indici 1, 2 e 3. Anche per i coefficienti ρ le medie valutate per l'emisfero Nord si riferiscono solo agli otto Osservatori indicati in corsivo.

I coefficienti di correlazione sono alquanto bassi: si constata però come nell'emisfero

Quanto al comportamento di N alle ore 00 ci riferiamo alla fig. 7 ove sono riportati gli andamenti di N per le stazioni già considerate; gioverà osservare che in effetti i valori di N alle 00 sono certo funzione della intensità di ionizzazione, ma essi risentono però di tutta la « storia » dello strato F_1 , in

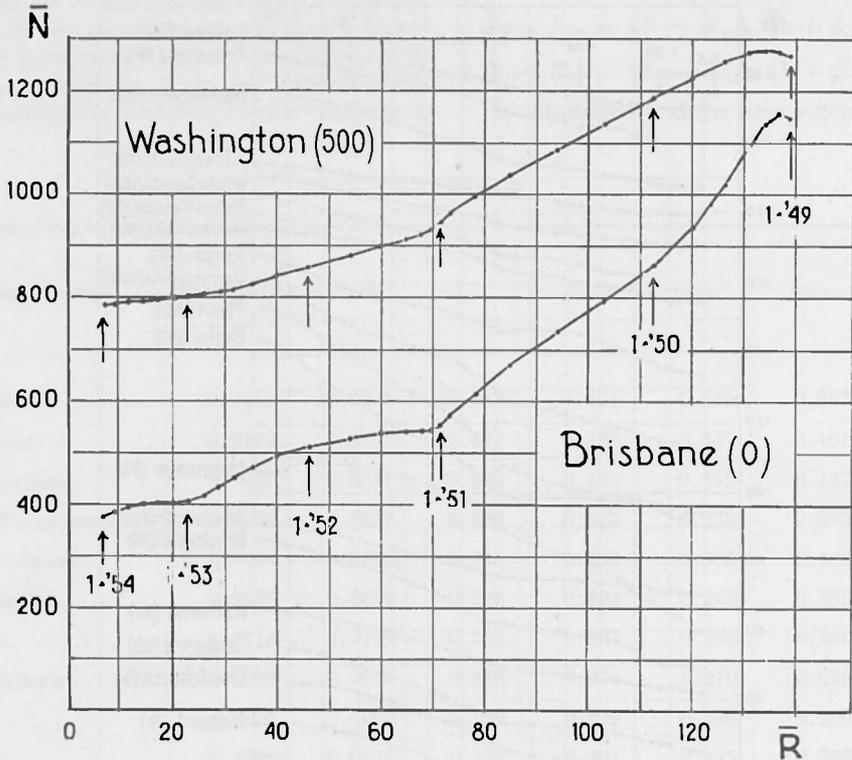


Fig. 8. - Andamenti di N nello strato F_1 , a mezzogiorno, in funzione di R .

Sud *tutti meno uno* dei coefficienti ρ_{12} sono maggiori dei corrispondenti ρ_{13} laddove nell'emisfero Nord oltre la metà dei ρ_{13} superano i corrispondenti ρ_{12} ; la considerazione dei coefficienti di correlazione parziale $\rho_{12,3}$ e $\rho_{13,2}$ e multipla $\rho_{1(23)}$, non consente di trarre conclusioni più significative; per ciò che riguarda invece i coefficienti b''/\bar{N}_o' e c''/\bar{N}_o' appare una sensibile simmetria nei due emisferi per il primo di essi mentre appare confermata, anche se meno chiaramente che dalle tabelle 1 e 2, una maggiore « sensibilità » dell'emisfero Nord alla attività dei filamenti.

quanto, se i valori di N alle 12 possono più o meno approssimativamente considerarsi come un indice della dipendenza della intensità di ionizzazione dalla attività solare, i valori di mezzanotte invece sono subordinati anche ad altri essenziali fattori quali variazioni di temperatura (diurne e stagionali), spostamenti di insieme dello strato F_2 , ecc.; d'altra parte essi potrebbero essere più sensibili dei dati alle 12 a una eventuale radiazione corpuscolare incidente nell'alta atmosfera in quanto di notte viene a mancare la radiazione ultravioletta solare.

Dalla figura risulta tuttavia una somi-

glianza di comportamento tra andamenti diurni e notturni di \bar{N} : il particolare più interessante è di nuovo la diversità di pendenza delle curve $\bar{N}(R)$ nelle due metà precedenti e seguenti il periodo gennaio-maggio 1951; l'importanza relativa delle aree dei filamenti appare esaltata in certi Osservatori ove a mezzogiorno essa appare poco rilevante (per es. Hobart, Johannesburg, Delhi) e peraltro diminuita negli Osservatori situa-

Caso degli strati F_1 ed E .

Il metodo di analisi sopra usato per lo studio di $(f_oF_2)^2$ è stato anche applicato allo studio della densità elettronica massima nello strato F_1 : in questo caso però, dato che di norma durante l'inverno lo strato F_1 si confonde con lo strato F_2 , non è possibile una analisi estendentesi alle varie latitudini come per il caso dello strato F_2 : abbiamo pertanto analizzato solo i dati di Brisbane

Tabella 4

Osservatorio	$\bar{N} = N_o[1 + \alpha R]$		$N = \bar{N}_o[1 + \delta \bar{A}_F]$		$N = N_o'[1 + \beta R + \gamma \bar{A}_F]$		
	N_o	α	\bar{N}_o	δ	N_o'	β	γ
<i>Strato F_1</i>							
Washington . . .	193	0.0215	242	0.0286	207	0.0128	0.0139
Brisbane	250	0.0231	327	0.0287	257	0.0197	0.0049
<i>Strato E</i>							
Lindau	56.2	0.0097	63.5	0.0138	56.4	0.0091	0.0009
Washington . . .	74.0	0.0108	84.6	0.0153	74.8	0.0095	0.0020
Tokyo	79.4	0.0118	93.3	0.0149	83.2	0.0074	0.0062
White Sands . .	79.8	0.0128	90.6	0.0189	83.8	0.0069	0.0093
Maui	100.9	0.0095	113.2	0.0139	102.8	0.0073	0.0037
Rarotonga . . .	106.7	0.0087	119.0	0.0126	107.5	0.0078	0.0015
Johannesburg . .	107.7	0.0093	120.5	0.0135	109.4	0.0073	0.0031
Brisbane	111.4	0.0078	123.1	0.0114	112.0	0.0072	0.0009
Watheroo	94.0	0.0064	102.1	0.0090	93.6	0.0066	— 0.0008
Canberra	91.4	0.0085	101.4	0.0125	92.4	0.0070	0.0024
Hobart	87.3	0.0071	97.1	0.0099	85.0	0.0100	— 0.0054
Christchurch . .	75.5	0.0080	83.5	0.0118	76.1	0.0071	0.0016

ti più a Nord nell'emisfero Nord: in definitiva, a mezzanotte si può ancora pensare a una dipendenza di N da \bar{A}_F ma questa volta però in maniera non chiaramente asimmetrica nei due emisferi.

per l'emisfero Sud e quelli di Washington per l'emisfero Nord (naturalmente soltanto quelli diurni). Risulta ben evidente dalla fig. 8 che anche nel caso dello strato F_1 il comportamento della densità elettronica massima

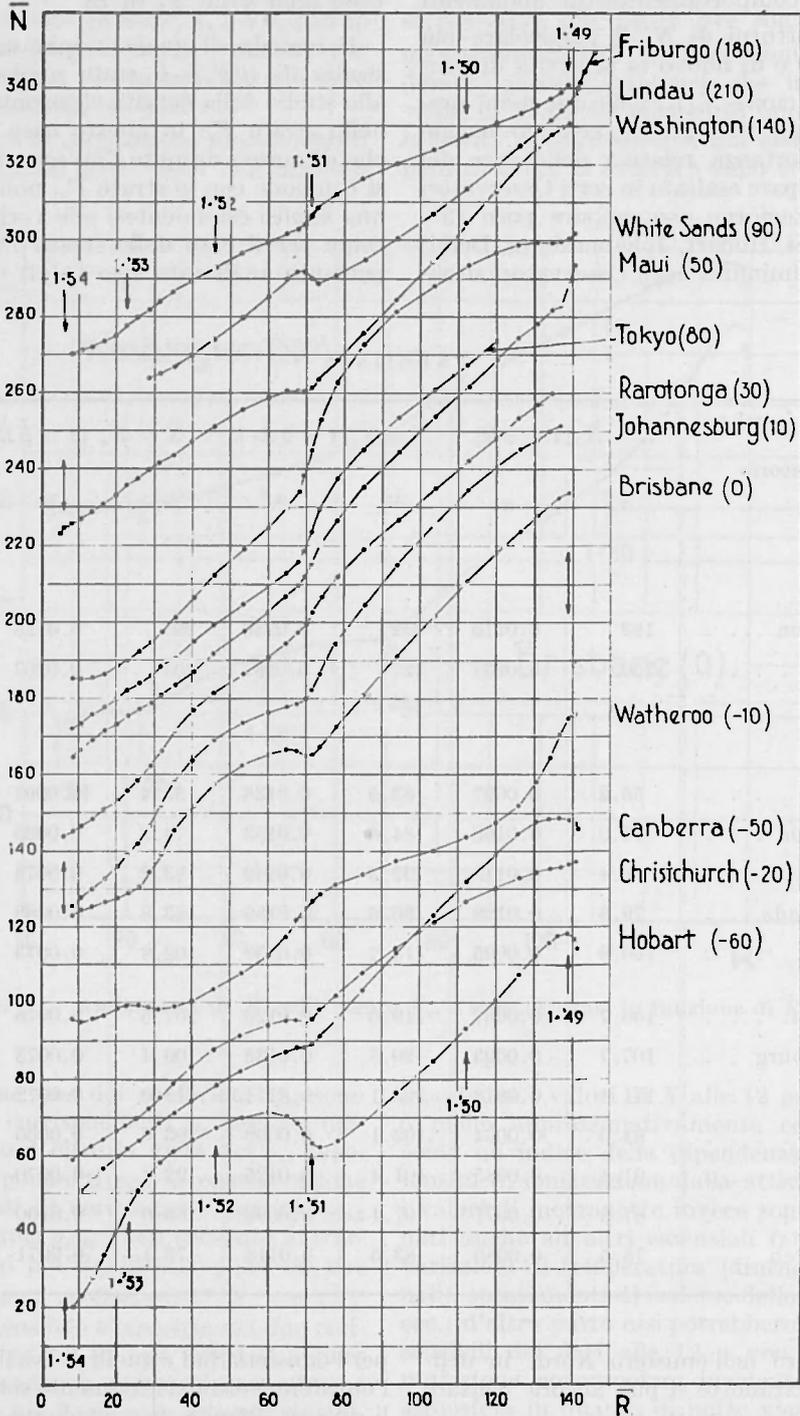


Fig. 9. - Andamenti di N nello strato E, a mezzogiorno, in funzione di R .

appare diverso rispettivamente nei due periodi di tempo prima e dopo il gennaio-maggio 1951. In quanto ai valori dei coefficienti $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ riportati nella tabella 4 (con notazioni analoghe a quelle di tabella 1) essi non sono sostanzialmente diversi da quelli corrispondenti agli andamenti secolari di $(f_oF_2)^2$ per l'Osservatorio di Brisbane mentre invece per l'Osservatorio di Washington sono tutti apprezzabilmente inferiori: sembrerebbe pertanto non sussistere la asimmetria riscontrata negli andamenti secolari di $(f_oF_2)^2$ tra gli emisferi Nord e Sud. Quanto invece alla eventualità che lo strato F_1 e lo strato F_2 siano di unica origine come per primo suppose Bradbury nulla si può concludere; in effetti a Brisbane i valori dei coefficienti $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ relativi agli andamenti di $(f_oF_1)^4$ e $(f_oF_2)^2$ sono abbastanza simili così da potersi ritenere che ivi i due strati possano anche avere la stessa origine; a Washington invece le differenze sono assai sensibili ciò che potrebbe suggerire due possibilità: che diversi siano i processi di formazione dei due strati oppure, ed è forse più accettabile alla luce dei risultati sopra ottenuti per $(f_oF_2)^2$ e di quelli relativi alla componente N_{12} ottenuti in I , che a un unico processo che forma gli strati F_1 e F_2 , si sovrapponga, soprattutto di giorno, una causa di accumulazione di elettroni che influenza sostanzialmente la sola parte superiore della regione F , alla quale causa andrebbe attribuita la asimmetria di comportamento dello strato F_2 nei due emisferi.

Per ciò che riguarda lo strato E è possibile avere maggiori informazioni dato che si dispone di serie pressochè continue di dati in numerosi Osservatori. Nella fig. 9 sono riportati gli andamenti secolari \bar{N} di $(f_oE)^4$ alle ore 12 in funzione di \bar{R} : i grafici sono ordinati dall'alto verso il basso in ordine di latitudine geomagnetica; si notano subito:

a) la notevole irregolarità degli andamenti, assai variabili da luogo a luogo a latitudini superiori ai 30° circa, e alquanto « regolari » invece alle basse latitudini;

b) la netta differenza rispetto ai grafici di fig. 2, per ciò che riguarda sia la sistematicità che la correlazione con i filamenti di

idrogeno; si nota ancora la presenza sistematica di una qualche discontinuità intorno al gennaio-maggio 1951: vien fatto di pensare che la correlazione di \bar{N} con \bar{R} , ed eventualmente con \bar{A}_F o \bar{A}_ϕ , non presenti in ogni caso asimmetrie tra i due emisferi; per contro le condizioni ionosferiche « locali » appaiono assai più rilevanti che nel caso dello strato F_2 .

Sono interessanti i risultati ottenuti dalle correlazioni di \bar{N} con \bar{R} e \bar{A}_F , riportati nella tabella 4 ove, questa volta, gli Osservatori sono disposti ordinatamente secondo la latitudine geografica; è chiaramente assente ogni sistematica asimmetria: si nota una certa costanza di β alle varie latitudini e la irregolare variabilità di γ ; in conclusione, le differenze da Osservatorio a Osservatorio, riscontrate nei coefficienti $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, possono sostanzialmente attribuirsi a differenze nelle condizioni locali; e così pure si possono ritenere i valori di \bar{N}_o e \bar{N}'_o funzione della altezza zenitale del Sole, anch'essa soggetta a qualche minore influenza delle condizioni locali.

Appare confermata dalla tabella 4 oltre che dalla fig. 9 la poca o nessuna dipendenza della densità elettronica nello strato E dalla latitudine geomagnetica.

Paragrafo 3. Discussione e conclusioni.

Da tutto l'insieme dei risultati esposti risulta chiaramente, nello strato F_2 , una dipendenza della densità elettronica massima dalla attività dei filamenti di idrogeno, soprattutto rilevabile nell'emisfero Nord ma peraltro presente anche nell'emisfero Sud (come avviene per es. in modo assai chiaro a Canberra); e ciò è confermato ulteriormente dalla sistematicità in ambedue gli emisferi della discontinuità nella pendenza degli andamenti di $\bar{N}(\bar{R})$ nel periodo a cavallo del gennaio-maggio 1951: la [1] è una relazione di prima approssimazione che va vantaggiosamente sostituita con la [2]. L'interpretazione della asimmetria nei due emisferi, segnatamente della maggiore « sensibilità » diurna dell'emisfero Nord alla attività dei filamenti, non appare semplice allo stato attuale delle conoscenze; va però rile-

vato che tale asimmetria va ad aggiungersi a quelle altre già riscontrate in I nell'andamento della componente di periodo di 12 mesi.

Se in via ipotetica si volesse pensare all'effetto di una radiazione strettamente correlata con l'attività dei filamenti e interessante principalmente l'emisfero Nord, non potendosi trattare di radiazione ultravioletta, verrebbe fatto di pensare a una radiazione corpuscolare ma allora occorrerebbe spiegare il perchè della sua maggiore intensità nell'emisfero Nord. Non sembra possibile attribuire tale fatto alla presenza del campo magnetico terrestre: basta pensare alla sostanziale simmetria della fenomenologia delle aurore polari nei due emisferi geomagnetici.

Si potrebbe anche pensare a qualche effetto determinato da un eventuale campo elettrico esterno alla Terra: ma, sebbene nulla si sappia in proposito, non sembra plausibile invocare tale ipotesi; per es. la distribuzione geografica dello aumento della radiazione cosmica in occasione del brillamento solare del 23 Febbraio 1956, è stata sostanzialmente quella che ci si poteva aspettare pensando le particelle proiettate dalla zona perturbata del Sole e giunte sulla Terra, soggette al *solo* effetto del campo magnetico terrestre; in più l'energia primaria richiesta alle particelle per raggiungere le latitudini geomagnetiche relativamente basse di $40^\circ \div 50^\circ$ dovrebbe essere tale da permettere almeno a parte di esse di raggiungere il suolo, così da poter essere rivelate nelle misurazioni continue della intensità totale della radiazione cosmica, dalle quali invece, concordemente, non risulta alcuna asimmetria tra i due emisferi.

Da ultimo i risultati relativi agli strati F_1 ed E , sostanzialmente simmetrici per i due emisferi costituiscono una ulteriore difficoltà alla comprensione del comportamento asimmetrico dello strato F_2 in termini di radiazione corpuscolare.

Una ulteriore ipotesi, in analogia con quanto si è anche discusso in I per la componente N_{12} , potrebbe essere quella di considerare le asimmetrie di comportamento

dello strato F_2 come un effetto collegato con i movimenti di circolazione atmosferica a quote sui 200-300 km, naturalmente soggetti alle sensibili « distorsioni » provocate dalla presenza del campo magnetico terrestre. Un utile contributo alla chiarificazione di questo punto potrà esser fornito dall'esame dei dati ionosferici di Osservatori ubicati più a Nord estendentesi su un periodo di tempo sufficientemente lungo, ciò che allo stato attuale non è stato possibile.

La ragione invece della sostanziale simmetria nei due emisferi, riscontrata nella densità elettronica nello strato E (e nello strato F_1), può essere facilmente attribuita o a una debole circolazione al livello di formazione dello strato (ciò che però sembra piuttosto in contrasto con i dati sperimentali) ovvero, ed è ipotesi assai più probabile, al fatto che a tale livello, nella equazione che regola la variazione temporale della densità elettronica, il termine aggiuntivo dovuto alla interazione del movimento di circolazione atmosferica e del campo magnetico terrestre è piccolo rispetto agli altri termini, i quali sono certamente maggiori che nello strato F_2 . Per ciò che concerne la sensibile « irregolarità » degli andamenti secolari di $(f_oE)^4$ alle latitudini superiori ai 30° essa potrebbe essere dovuta all'effetto di filtro esercitato sulla radiazione ionizzante primaria dallo spessore di atmosfera sovrastante la zona di formazione dello strato E .

Accettando l'ordine di vedute sopra esposto, l'esame sistematico dei dati ionosferici relativi allo strato F_2 permetterebbe di fare qualche luce sui fenomeni di circolazione generale nell'alta atmosfera, che apparirebbero apprezzabilmente asimmetrici nei due emisferi.

Le conclusioni che abbiamo esposto, come è ovvio per la loro stessa natura, sono piuttosto un punto di partenza che un punto di arrivo: la loro attendibilità e la loro portata dovranno essere necessariamente materia di studio per ulteriori indagini.

Roma, 25 settembre 1956.

RIASSUNTO

Dall'esame comparato degli andamenti dei valori mediani mensili di densità elettronica massima N nello strato F_2 , esteso a circa 20 Osservatori distribuiti tra le latitudini geografiche di 52° Nord e 43° Sud, per il periodo 1949-1954 (fase decrescente dell'ultimo ciclo solare) si traggono i seguenti principali risultati:

A mezzogiorno: a) La relazione tra gli andamenti secolari di \bar{N} e del numero di Wolf R , indicati con \bar{N} e \bar{R} , usualmente considerata lineare secondo la legge $\bar{N} = \bar{N}_0 (1 + \alpha \bar{R})$, appare meglio espressa da una legge del tipo $\bar{N} = \bar{N}'_0 (1 + \beta \bar{R} + \gamma A)$ ove A rappresenta un altro parametro legato all'attività del Sole che sembra identificarsi con l'area A_F dei filamenti di idrogeno.

b) I valori di α appaiono sensibilmente più grandi nell'emisfero Nord che nell'emisfero Sud, tanto più quanto più cresce la latitudine Nord. I valori di β sono invece sensibilmente uguali nei due emisferi mentre la asimmetria riscontrata in α si trasferisce, sempre nello stesso senso, ai coefficienti γ .

c) Risultati sostanzialmente analoghi si ottengono correlando tra loro i valori mensili di $N - N_{12}$ e quelli di R e A_F (N_{12} rappresenta la componente di periodo 12 mesi presente in N); e così pure, anche se più debolmente, correlando i valori di $N - N_{12} - \bar{N}$ con quelli di $R - \bar{R}$ e $A_F - \bar{A}_F$.

A mezzanotte invece, sempre nello strato F_2 , non appaiono le asimmetrie riscontrate di giorno; rimane però la dipendenza da A_F .

Quanto agli strati F_1 ed E le loro caratteristiche fisiche risultano sostanzialmente simmetriche nei due emisferi.

Si discutono infine le possibili cause di asimmetria tra i due emisferi e si avanza l'ipotesi che possa trattarsi di un effetto più o meno strettamente connesso con i fenomeni di circolazione generale dell'alta atmosfera.

ABSTRACT

A comparative study of the behaviours of the median monthly values of the maximum electron densities N in the F_2 -layer, for

about 20 Observatories located between the geographical latitudes 52° N and 43° S, during the years 1949-1954, leads to the following principal results:

At noon (i) The dependence's law of the secular behaviours of N upon the secular behaviours of the Wolf's number R , indicated \bar{N} and \bar{R} , usually considered linear $\bar{N} = \bar{N}_0 (1 + \alpha \bar{R})$ appears advantageously substituted by the law $\bar{N} = \bar{N}'_0 (1 + \beta \bar{R} + \gamma A)$ where A is another index of the solar activity which could be the area A_F of the hydrogen filaments.

(ii) The values of α are remarkably greater in the northern hemisphere than in the southern hemisphere, especially for increasing northern latitudes. The values β , instead, are about equal in the two hemispheres, while the asymmetry of α appears, with similar features, in the values γ .

(iii) One obtains about similar results in the correlation of the monthly values of $N - N_{12}$ with the monthly values of R and A_F (N_{12} is the component of twelve months period, present in N); the results are again similar for the correlation of $N - N_{12} - \bar{N}$ with $R - \bar{R}$ and $A_F - \bar{A}_F$.

At midnight, instead, the correlations do not exhibit asymmetries between the two hemispheres; the dependence upon A_F remains.

With regard to the F_1 and E layers, their characteristics appear substantially symmetric in the two emispheres.

We discuss the eventual causes of asymmetries between the northern and southern hemispheres and put forward the hypothesis that the asymmetric noon characteristics of the F_2 layer could be connected with the phenomena of general circulation in the high atmosphere.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MARIANI, F., *Ann. Geofis.* **10**, n. 1 (1957).
- (2) RIGHINI, G., - GODOLI, G., *Ann. Geofis.* **3**, 501 (1950)
- (3) GODOLI, G., *Ann. Geofis.* **6**, 199 (1953); **7**, 135 (1954); **8**, 325 (1955)
- (4) ALLEN, C. W., *Terr. Magn.* **51**, 1 (1946); **53**, 433 (1948)
- (5) KIEPENHEUER, K. O., *Ann. d'Astrophys.* **8**, 210 (1945).