

## Sull'ozono atmosferico a Cagliari nel periodo 1955-1960

N. MATTANA - S. SANNA - A. SERRA

Ricevuto il 15 Giugno 1961

### I - INTRODUZIONE.

È da tempo noto, dalle misure sulla radiazione solare e di altri corpi celesti, fatte sulla superficie della terra anche alle massime altitudini possibili, come lo spettro risulti completamente interrotto nella regione delle lunghezze d'onda inferiori a  $2900 \text{ \AA}$ . È stato definitivamente provato, fin dalle prime misure effettuate nell'alta atmosfera con i razzi, che la ragione di ciò è da attribuirsi all'assorbimento prodotto dall'ozono atmosferico concentrato in maggior parte a quote alte, con il centro di gravità attorno a 20 km ed avente un massimo fra 20 e 30 km. È anche noto che l'ozono atmosferico si produce prevalentemente per fotosintesi dall'ossigeno atmosferico soprattutto a causa della radiazione solare di lunghezza d'onda inferiore a  $2025 \text{ \AA}$ . Radiazioni di onda più lunga, invece, producono la scomposizione dell'ozono. Fra i due processi contemporanei di produzione e scomposizione si stabilisce un equilibrio con il risultato della permanenza di una certa quantità di ozono nell'atmosfera. Il processo di produzione dell'ozono è particolarmente influenzato dalla pressione e dalla temperatura che, nella libera atmosfera, subiscono notevoli variazioni; conseguentemente anche la concentrazione dell'ozono, negli strati in cui si produce, è molto variabile. Negli strati più bassi dell'atmosfera la concentrazione di ozono va sempre più diminuendo finché, in prossimità del suolo, si riduce a quantità insignificanti a causa della rapida scomposizione che ivi subisce, particolarmente per la presenza di prodotti capaci di ossidazione.

Nonostante la quantità di ozono esistente nell'atmosfera sia molto piccola (il suo spessore ridotto alla pressione e temperatura normali, 1013 mb,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , oscilla fra 0,15 e 0,45 cm), la presenza di questo gas ha una grande importanza dal punto di vista dei fenomeni fisici ad esso

connessi, in particolare per le sue eccezionali caratteristiche spettrali interessanti il bilancio termico, per le reazioni fotochimiche, per i fenomeni meteorologici associati e per gli effetti biologici.

Molto tempo è trascorso dalle prime ricerche di Fabry e Buisson, di Dobson e suoi collaboratori sull'ozono atmosferico, ma recentemente tali ricerche hanno avuto un nuovo impulso da parte dei geofisici e dei meteorologi e, ultimamente, durante l'Anno Geofisico Internazionale ed il seguente Anno di Cooperazione Internazionale, è stata messa in evidenza l'utilità di una più estesa e continua osservazione al riguardo.

Notevole interesse suscita lo studio delle relazioni intercorrenti fra la distribuzione e variazione dell'ozono nell'atmosfera ed alcuni campi della meteorologia dinamica e sinottica per una maggiore comprensione dei processi atmosferici e della circolazione.

Ancora però questo elemento non è tenuto in considerazione nell'analisi meteorologica pratica; ciò, forse, è dovuto in gran parte al fatto che ancora non esiste una rete mondiale sufficientemente densa di stazioni che eseguano osservazioni sistematiche. In particolare nel Mediterraneo, esclusi i pochi Osservatori specializzati in cui più a lungo si occuparono delle osservazioni dell'ozono, come a Marsiglia ed Arosa, posti d'altra parte in posizione marginale di questo importante bacino, non molti anni fa non veniva fatta alcuna osservazione del genere. Fu solo nel 1954 che il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare Italiana riconobbe la necessità di procedere in Italia ad osservazioni sistematiche di un tale elemento, istituendo tre stazioni di osservazione opportunamente ubicate: Vigna di Valle [lat. 42°5'N - long. 12°13'E - alt. m 271 s.l.m.], Cagliari - Elmas - [lat. 39°14'N - long. 09°3'E alt. m 18 s.l.m.] e Messina [lat. 38°12'N - long. 15°33'E alt. m 51 s.l.m.].

Le serie di osservazioni iniziate regolarmente nel 1955 sono state effettuate senza soluzione di continuità negli anni seguenti ed attualmente sono ancora in atto.

Disponendo dei suddetti dati si è ritenuto utile iniziare uno studio sistematico elaborando prima i dati di osservazione dell'O.S.S.M.A. di Cagliari (\*) che, data la sua posizione centrale nel Mediterraneo Occidentale, potevano essere di particolare interesse.

Una prima comunicazione al riguardo è stata già fatta al X Convegno della Società Italiana di Geofisica nel Novembre (1) del 1960.

---

(\*) Osservatorio Scientifico Sperimentale di Meteorologia Aeronautica - Cagliari (Elmas).

II - ANDAMENTO ANNUALE DELL'OZONO A CAGLIARI.

L'andamento annuale dell'ozono a Cagliari è stato dedotto dalla elaborazione delle osservazioni effettuate tutti i giorni, in cui le condizioni atmosferiche lo consentivano, dal 1° Gennaio 1955 al 31 Dicembre 1960, usando uno spettrofotometro Dobson della Ditta R. J. Beck Ltd Londra, n. 48, munito di fotomoltiplicatore, la cui dettagliata descrizione è stata riportata nelle istruzioni compilate dallo stesso ideatore (2). Il metodo di misura seguito è stato sempre quello consigliato dallo stesso Dobson nelle suddette istruzioni.

Per le misure con la radiazione solare diretta, dalla nota legge dell'assorbimento espressa dalla formula:

$$\text{Log } I_\lambda = \text{Log } I_{o\lambda} - \alpha_\lambda \cdot \mu \cdot x - \beta_\lambda \cdot m - \delta_\lambda \sec z \quad [1]$$

ove  $I_\lambda$  è la intensità della radiazione solare di lunghezza d'onda  $\lambda$  che giunge allo strumento,  $I_{o\lambda}$  la intensità della radiazione solare di lunghezza d'onda  $\lambda$  che giunge all'estremo limite dell'atmosfera,  $\alpha_\lambda$  il coefficiente di assorbimento dell'ozono per la radiazione di lunghezza d'onda  $\lambda$ ,  $\beta_\lambda$  il coefficiente di diffusione dovuto alle molecole d'aria per la radiazione di lunghezza d'onda  $\lambda$ ,  $\delta_\lambda$  il coefficiente di diffusione dovuto al pulviscolo in sospensione nell'atmosfera per la radiazione di lunghezza d'onda  $\lambda$ ,  $\mu$  la lunghezza del percorso relativo della radiazione solare attraverso lo strato di ozono considerando il suo baricentro a 22 km e prendendo questo percorso come unitario lungo la verticale (quando la distanza zenitale  $z = 0$ ,  $\mu = 1$ ),  $x$  la quantità di ozono lungo la verticale dell'atmosfera espressa in cm di spessore che la stessa quantità di ozono occuperebbe se fosse concentrata in uno strato di gas puro alla pressione e temperatura standard (S. T. P.),  $m$  la lunghezza del percorso equivalente della radiazione del sole attraverso l'atmosfera considerando la rifrazione e la curvatura della terra (per  $z = 0$ ,  $m = 1$ ), per una coppia  $A$  di lunghezze d'onda  $\lambda$  e  $\lambda'$  si ha:

$$\text{Log } \frac{I_\lambda}{I_{\lambda'}} = \text{Log } \frac{I_{o\lambda}}{I_{o\lambda'}} - (\alpha - \alpha')_A \cdot \mu x - (\beta - \beta')_A \cdot m - (\delta - \delta')_A \cdot \sec z \quad [2]$$

$$x = \frac{N_A}{(\alpha - \alpha')_A \cdot \mu} - \frac{(\beta - \beta')_A \cdot m + (\delta - \delta')_A \sec z}{(\alpha - \alpha')_A \cdot \mu} \quad [3]$$

dove

$$N_A = \text{Log } \frac{I_{o\lambda}}{I_{o\lambda'}} - \text{Log } \frac{I_\lambda}{I_{\lambda'}} .$$

I valori di  $x$  si possono ricavare dalla [3] quando si conoscono esattamente  $(\beta - \beta')$  e  $(\delta - \delta')$ .

Poiché l'atmosfera contiene pulviscolo di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda della radiazione, i valori di  $(\delta - \delta')$  variano col tempo e la loro determinazione è incerta. Risulta più utile usare due coppie di lunghezze d'onda, con l'equazione seguente invece della [3]:

$$x[(a - a')_A - (a - a')_B] \mu = N_A - N_B - [(\beta - \beta')_A - (\beta - \beta')_B] m - [(\delta - \delta')_A - (\delta - \delta')_B] \sec z \quad [4]$$

ove  $A$  e  $B$  indicano le due coppie di lunghezze d'onda usate.

Analogamente si possono usare altre due coppie di lunghezze di onda  $C$  e  $D$ .

Poiché  $(\delta - \delta')_A$ ,  $(\delta - \delta')_B$ ,  $(\delta - \delta')_C$ , e  $(\delta - \delta')_D$  sono quasi uguali si può usare un valore medio.

Si vede allora che i termini relativi alla diffusione prodotta nell'atmosfera, su due coppie di lunghezze d'onda, quasi si annullano e l'assorbimento dell'ozono diventa il solo fattore importante in queste equazioni.

Sono state usate le seguenti coppie di lunghezze d'onda ed i seguenti valori numerici dei coefficienti di assorbimento:

$$A \begin{cases} \lambda = 3055 \text{ \AA} \\ \lambda' = 3254 \text{ \AA} \end{cases} \quad D \begin{cases} \lambda = 3176 \text{ \AA} \\ \lambda' = 3398 \text{ \AA} \end{cases}$$

$$a = 1,882 \quad \left. \begin{array}{l} a = 1,882 \\ a' = 0,120 \end{array} \right\} (a - a')_A = 1,762 \quad a = 0,391 \quad \left. \begin{array}{l} a = 0,391 \\ a' = 0,017 \end{array} \right\} (a - a')_D = 0,374$$

$$\beta = 0,491 \quad \left. \begin{array}{l} \beta = 0,491 \\ \beta' = 0,375 \end{array} \right\} (\beta - \beta')_A = 0,116 \quad \beta = 0,416 \quad \left. \begin{array}{l} \beta = 0,416 \\ \beta' = 0,312 \end{array} \right\} (\beta - \beta')_D = 0,104$$

La formula finale per il calcolo dello spessore dell'ozono si riduce quindi a:

$$x = \frac{N_A - N_D}{1,388 \cdot \mu} = 0,009 \text{ cm} \quad [5]$$

e quindi alla determinazione dei valori di  $N_A$ ,  $N_D$  e  $\mu$ .

All'inizio delle osservazioni, nel 1955, i valori usati per i coefficienti di assorbimento, secondo le istruzioni del Dobson, erano alquanto differenti da quelli su riportati, così corretti nel Luglio 1957 (\*).

La serie delle osservazioni è stata perciò omogeneizzata procedendo al nuovo calcolo dei dati osservati prima del 1957 secondo i nuovi coefficienti di assorbimento. Contemporaneamente è stata effettuata una analisi critica di tutte le osservazioni mediante accurato confronto con quelle effettuate a Vigna di Valle e Messina nello stesso periodo di tempo, in modo da eliminare quelle osservazioni che non davano garanzia di attendibilità.

Nel 1956 il Dr. C. D. Walshaw della International Ozone Commission aveva anche proceduto ad un accurato campionamento dei tre strumenti operanti in Italia, onde omogeneizzare le osservazioni italiane con quelle della rimanente rete europea per l'A. G. I..

Le osservazioni giornaliere eseguite erano da tre a cinque, in corrispondenza a particolari valori di  $\mu$  e cioè per  $\mu = 2$  e  $\mu = 3$  (ore antimeridiane e pomeridiane) e  $\mu$  minimo (per il mezzogiorno locale vero). Durante la stagione invernale è stato possibile effettuare solo tre osservazioni diurne in quanto il valore di  $\mu = 2$  non è quasi mai raggiungibile. Sono state infine utilizzate le osservazioni di massima attendibilità scartando quello e con cielo molto nuvoloso e con sole basso sull'orizzonte, essendo, d'altra parte, le rimanenti osservazioni abbastanza numerose da consentire una analisi soddisfacente.

Nella Tabella I sono stati raccolti i valori medi decadali, mensili e annuali per i sei anni di osservazione. Nella Fig. 1 sono stati riportati graficamente i valori medi decadali. Dall'esame di questi dati si vede immediatamente come da un anno all'altro vi siano notevoli variazioni, particolarmente nei valori massimi e minimi: i primi si verificano generalmente in primavera (Aprile) ed i secondi in autunno (Ottobre-Novembre). Un anno che appare eccezionale rispetto agli altri è il 1956 ove il massimo si è verificato fra Gennaio e Febbraio ed il minimo in Settembre, inoltre si è avuta la più ampia escursione. La ragione di ciò, particolarmente per il massimo invernale, probabilmente è da ricercarsi in una marcata advezione di aria fredda, ricca di ozono, dalle regioni settentrio-

---

(\*) Precedentemente i coefficienti di assorbimento considerati erano quelli stabiliti da Ny Tsi Ze e Choong Shin (1932) - Nel Symposium per l'ozono a Roma (1954) ed a Ravensburg (1956) la Commissione decise di adottare i più recenti coefficienti determinati dal Vigroux (1953). (Circ. della Int. Ozone Comm. n° 0.4 del 15 Luglio 1957).

Tabella I - VALORI MEDI DECADELI E MENSILI DELLO SPESSORE DELL'OZONO - S.T.P. - PER GLI ANNI 1955-1960 - MISURATI A CAGLIARI.

M e s e	1955		1956		1957		1958		1959		1960		Media 6 anni		
	Spess. O <sub>3</sub> (cm)	N. oss.	Spess. O <sub>3</sub> cm	N. oss.	Spess. O <sub>3</sub> (cm)	N. oss.									
Gennaio:	1 <sup>a</sup> decade	0,309	25	—	—	0,284	61	0,303	24	0,313	27	0,295	30		
	2 <sup>a</sup> »	0,285	30	0,415	10	0,324	33	0,330	21	0,313	23	0,362	15		
	3 <sup>a</sup> »	0,313	31	0,371	10	0,317	51	0,339	34	0,338	32	0,304	31		
	Media mensile	0,303	86	0,393	20	0,304	145	0,325	79	0,324	82	0,312	76	0,315	488
Febbraio:	1 <sup>a</sup> decade	0,323	27	0,383	13	0,313	51	0,314	44	0,338	17	—	—		
	2 <sup>a</sup> »	0,318	29	0,399	11	0,307	65	0,327	33	0,350	27	0,334	10		
	3 <sup>a</sup> »	0,328	21	0,378	9	0,281	60	0,376	28	0,307	20	0,317	23		
	Media mensile	0,322	77	0,387	33	0,299	176	0,335	105	0,334	64	0,322	33	0,322	488
Marzo:	1 <sup>a</sup> decade	0,393	28	0,281	20	0,333	71	0,362	35	0,323	41	0,345	25		
	2 <sup>a</sup> »	0,367	24	0,335	11	0,314	90	0,338	37	0,346	43	0,383	25		
	3 <sup>a</sup> »	0,313	30	0,367	28	0,314	75	0,322	44	0,330	42	0,350	41		
	Media mensile	0,356	82	0,333	59	0,322	236	0,348	116	0,333	126	0,358	91	0,338	710
Aprile:	1 <sup>a</sup> decade	0,350	27	0,319	12	0,278	55	0,363	35	0,352	44	0,370	32		
	2 <sup>a</sup> »	0,374	30	0,337	14	0,391	68	0,385	32	0,357	43	0,373	37		
	3 <sup>a</sup> »	0,386	25	0,309	18	0,326	59	0,372	46	0,358	35	0,366	42		
	Media mensile	0,369	82	0,320	44	0,310	182	0,373	113	0,356	122	0,369	111	0,348	654
Maggio:	1 <sup>a</sup> decade	0,301	29	0,326	24	0,377	63	0,370	37	0,352	41	0,348	31		
	2 <sup>a</sup> »	0,326	29	0,308	21	0,339	46	0,341	41	0,355	45	0,325	44		
	3 <sup>a</sup> »	0,338	32	0,259	31	0,328	83	0,326	50	0,350	45	0,333	55		
	Media mensile	0,323	90	0,292	76	0,354	192	0,343	128	0,352	131	0,334	130	0,337	747
Giugno:	1 <sup>a</sup> decade	0,325	30	0,301	24	0,321	42	0,337	47	0,343	40	0,328	49		
	2 <sup>a</sup> »	0,330	30	0,308	9	0,331	44	0,344	46	0,331	40	0,324	50		
	3 <sup>a</sup> »	0,322	29	0,274	30	0,329	49	0,321	45	0,314	46	0,323	48		
	Media mensile	0,326	89	0,289	63	0,328	134	0,330	138	0,329	126	0,325	147	0,324	697

CONTINUAZIONE TABELLA I

Mese	1955		1956		1957		1958		1959		1960		Media 6 anni	
	Spess. 0 <sub>3</sub> (cm)	N. oss.	Spess. 0 <sub>3</sub> cm	N. oss.	Spess. 0 <sub>3</sub> (cm)	N. oss.								
Luglio: 1 <sup>a</sup> decade	0,321	30	0,268	30	0,311	49	0,299	47	0,318	43	0,309	47	0,301	753
2 <sup>a</sup> »	0,321	29	0,266	30	0,286	47	0,304	48	0,302	37	0,304	50		
3 <sup>a</sup> »	0,311	33	0,248	33	0,310	55	0,311	45	0,293	45	0,308	55		
Media mensile	0,317	92	0,263	93	0,305	151	0,305	140	0,304	125	0,307	152		
Agosto: 1 <sup>a</sup> decade	0,311	30	0,248	30	0,305	49	0,299	47	0,299	26	0,296	51	0,296	771
2 <sup>a</sup> »	0,315	27	0,245	28	0,305	43	0,297	47	0,300	48	0,303	47		
3 <sup>a</sup> »	0,318	33	0,253	33	0,310	51	0,297	56	0,292	53	0,297	52		
Media mensile	0,315	90	0,248	91	0,307	143	0,298	150	0,297	147	0,299	150		
Settembre: 1 <sup>a</sup> decade	0,313	30	0,242	30	0,307	45	0,302	46	0,301	42	0,300	46	0,291	700
2 <sup>a</sup> »	0,304	30	0,241	30	0,294	35	0,299	44	0,292	44	0,294	48		
3 <sup>a</sup> »	0,303	25	0,263	30	0,280	43	0,295	44	0,286	42	0,297	46		
Media mensile	0,307	85	0,244	90	0,294	123	0,299	134	0,293	128	0,297	140		
Ottobre: 1 <sup>a</sup> decade	0,296	30	0,273	29	0,298	28	0,292	36	0,281	41	0,275	40	0,286	686
2 <sup>a</sup> »	0,284	30	0,262	24	0,281	43	0,283	46	0,293	48	0,290	42		
3 <sup>a</sup> »	0,302	30	0,271	31	0,295	50	0,296	50	0,266	38	0,281	50		
Media mensile	0,293	90	0,271	84	0,291	121	0,290	132	0,287	127	0,282	132		
Novembre: 1 <sup>a</sup> decade	0,280	27	0,290	49	0,301	35	0,301	38	0,292	41	0,277	45	0,292	650
2 <sup>a</sup> »	0,296	27	0,278	40	0,299	29	0,326	40	0,285	35	0,256	43		
3 <sup>a</sup> »	0,351	24	0,304	37	0,302	30	0,297	49	0,274	20	0,266	41		
Media mensile	0,307	78	0,290	126	0,301	94	0,307	127	0,286	96	0,267	129		
Dicembre: 1 <sup>a</sup> decade	0,356	9	0,301	42	0,302	26	0,301	47	0,315	23	0,305	44	0,311	489
2 <sup>a</sup> »	0,367	10	0,295	48	0,308	19	0,333	16	0,325	22	0,332	25		
3 <sup>a</sup> »	0,372	8	0,304	45	0,296	24	0,275	10	0,316	25	0,331	46		
Media mensile	0,365	27	0,300	135	0,301	69	0,305	73	0,319	70	0,321	115		



Tabella II - VALORI MINIMI E MASSIMI (DELLA MEDIA DIURNA) MENSILI DELLO SPESSORE DELL'AZONO - S.T.P. - PER GLI ANNI 1955-1960 MISURATO A CAGLIARI.

Mese	1955		1956		1957		1958		1959		1960	
	Spess. O <sub>4</sub> cm		Spess. O <sub>3</sub> cm									
	Min.	Mass.										
Gennaio . . . . .	0,272	0,354	0,342	0,442	0,247	0,364	0,258	0,359	0,288	0,356	0,264	0,392
Febbraio . . . . .	0,272	0,385	0,329	0,444	0,232	0,392	0,287	0,367	0,283	0,377	0,304	0,360
Marzo . . . . .	0,241	0,413	0,232	0,384	0,269	0,379	0,287	0,405	0,311	0,394	0,329	0,406
Aprile . . . . .	0,293	0,451	0,218	0,382	0,239	0,429	0,328	0,424	0,329	0,405	0,344	0,419
Maggio . . . . .	0,261	0,371	0,212	0,399	0,230	0,425	0,316	0,395	0,324	0,406	0,315	0,350
Giugno . . . . .	0,283	0,352	0,232	0,396	0,295	0,371	0,289	0,361	0,296	0,394	0,307	0,345
Luglio . . . . .	0,265	0,346	0,198	0,304	0,270	0,338	0,265	0,355	0,288	0,361	0,296	0,338
Agosto . . . . .	0,265	0,332	0,206	0,288	0,248	0,360	0,273	0,317	0,271	0,333	0,274	0,340
Settembre . . . . .	0,260	0,368	0,198	0,293	0,262	0,343	0,273	0,329	0,271	0,349	0,278	0,322
Ottobre . . . . .	0,229	0,335	0,217	0,394	0,250	0,316	0,234	0,331	0,251	0,298	0,263	0,310
Novembre . . . . .	0,247	0,390	0,246	0,394	0,262	0,325	0,285	0,357	0,256	0,313	0,221	0,313
Dicembre . . . . .	0,330	0,484	0,253	0,337	0,280	0,351	0,285	0,365	0,265	0,367	0,265	0,361

alta troposfera e bassa stratosfera appare anche dalle oscillazioni ampie che si hanno nei valori estremi delle medie giornaliere, in ogni mese, riportati nella Tabella II.

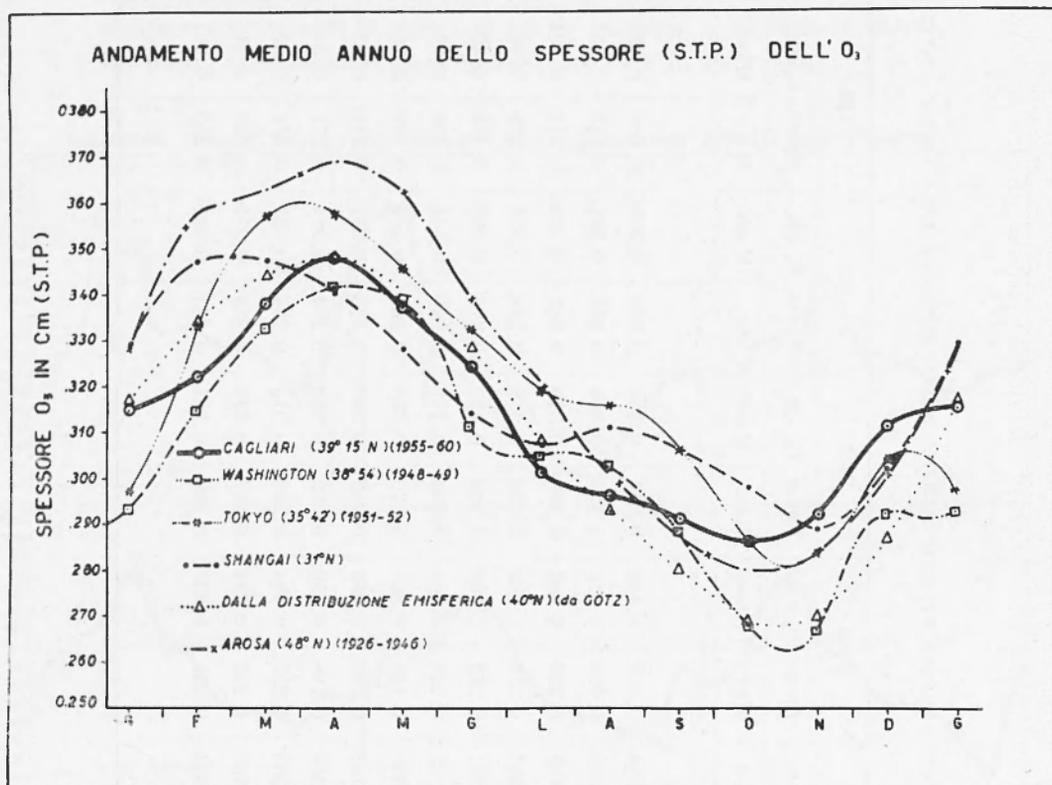


Fig. 2

Con i dati della Tabella I, relativi alle medie mensili per l'intero periodo di osservazione 1955-1960, è stata costruita la curva della Fig. 2 che dà l'andamento medio annuo dello spessore ridotto dell'ozono a Cagliari. Questo andamento corrisponde abbastanza bene a quelli trovati in varie altre località poste a latitudini fra 30° e 50° N (3, 4, 5, 6); appare ben marcato il massimo primaverile ed il minimo autunnale, notevole è anche il tratto quasi orizzontale centrato in Agosto che trova corrispondenza con quello trovato da altri ricercatori (7). Con la curva tracciata da S. Fritz e G. C. Stevens per Washington (6), vi è anche corrispondenza in un altro tratto quasi orizzontale nei mesi da Dicembre a Gennaio.

Nella Fig. 2 sono stati anche riportati, assieme alla curva dell'andamento medio annuo a Cagliari, quella dedotta per la latitudine di 40° N della distribuzione emisferica costruita da F.W.P. Götz (3), quella di Arosa (48° N) (3), quella di Shanghai (31° N) (4), quella di Tokyo (35°42' N) (5) oltre a quella di Washington (38°54' N) (6).

Per rendere confrontabili le suddette curve, sono state apportate le stesse correzioni effettuate a Cagliari per i nuovi coefficienti di assorbimento dopo il 1957.

In particolare per la curva di Washington (6), in cui furono utilizzate nelle osservazioni le due lunghezze d'onda  $\lambda = 3110 \text{ \AA}$  e  $\lambda' = 3300 \text{ \AA}$ , si ha il seguente rapporto fra le differenze dei coefficienti di assorbimento,  $(a - a')$ , allora calcolati e la differenza degli stessi coefficienti secondo Vigroux,  $(a - a')_v$ :

$$\frac{(a - a')}{(a - a')_v} = \frac{1,17}{0,917} \simeq 1,3$$

Introducendo il suddetto coefficiente di correzione, la curva di Washington risulterebbe ancora nettamente più bassa di quella della latitudine di 40° N (Götz). Ciò molto probabilmente si deve al fatto che, essendo state compiute le osservazioni con una sola coppia di radiazioni di diversa lunghezza d'onda, non è stato eliminato l'effetto dovuto ai coefficienti di diffusione del pulviscolo atmosferico, ciò che si ottiene invece con l'uso della doppia coppia di lunghezza d'onda, come consigliato dal Dobson. Impiegando infatti nella formula usata per il calcolo dei valori di Washington, al posto della costante 0,085, il valore di 0,060 la curva si riporta all'altezza di quella media di 40° N (Götz). D'altra parte gli stessi autori (6), avevano trovato i loro dati più bassi, in confronto a quelli di Craig calcolati per la latitudine di 40° N.

Confrontando le suddette curve annuali rispetto a quella trovata per Cagliari si può rilevare quanto segue:

1 - L'andamento annuale, dedotto dalla distribuzione media emisferica da Götz (3) per 40° N, appare, quasi coincidente con quello di Cagliari nei mesi da Aprile a Luglio, mentre, nei mesi da Agosto a Dicembre, risulta inferiore ed, al contrario, nei mesi da Gennaio a Marzo, superiore.

2 - L'andamento delle due curve di Washington e Tokyo, cioè delle due località considerate che come latitudine più si avvicinano

a Cagliari, dopo le correzioni apportate per i nuovi coefficienti di assorbimento, appaiono molto simili a quella di Cagliari, specialmente per la prima delle due nei mesi da Febbraio a Settembre, e per la seconda nei mesi da Aprile a Dicembre.

3 - L'andamento della curva di Shangai, località a latitudine alquanto più bassa di Cagliari, mostra un certo sfasamento stagionale rispetto a quest'ultima. Invero la differenza dovuta alla latitudine non si manifesta come ci si dovrebbe aspettare con un abbassamento della curva, però appare effettiva una minore escursione annuale. Inoltre in essa si nota un massimo secondario nel mese di Agosto, più accentuato che non a Washington, Tokyo e Cagliari, non rilevabile nell'andamento medio emisferico a 40° N.

Le caratteristiche della curva di Shangai devono, con molta probabilità, trovare dei punti di riferimento nella particolare circolazione monsonica, non avente riscontro con la circolazione mediterranea.

4 - L'andamento della curva di Arosa, pur presentando un andamento generale simile a quello di Cagliari con il massimo nel mese di Aprile ed il minimo in Ottobre e Novembre, manca del tratto quasi costante tra Luglio e Agosto e del massimo secondario in Agosto, inoltre presenta valori maggiori per la maggior parte dell'anno, da Gennaio ad Agosto, ed una escursione annuale molto più ampia. Ciò è in accordo con la nota distribuzione latitudinale dell'ozono.

In conclusione si può affermare che l'andamento annuale dell'ozono per Cagliari, confrontato con quello delle varie località citate, nonostante i dati di queste località siano riferiti a diversi periodi di tempo, sia come epoca che come intervallo, concordando abbastanza bene anche in certe particolarità.

Vari tratti delle curve di Cagliari trovano riscontro in alcune caratteristiche climatologiche dovute alla particolare circolazione del Mediterraneo Occidentale che, come è noto, è influenzata principalmente dalla orografia circostante, dalla temperatura dell'acqua del mare, dalla convergenza di masse d'aria di diversa origine, da perturbazioni cicloniche e situazioni di alte pressioni.

Tutte queste cause concomitanti creano nel Mediterraneo situazioni meteorologiche che non hanno riscontro nelle altre località alla stessa latitudine, così come ad esempio, il periodo delle perturbazioni, che introduce la stagione invernale nei mesi da Novembre a Gennaio, si manifesta con una serie di depressioni cicloniche abbastanza profonde che si

spingono fino alla bassa stratosfera e convogliano masse d'aria da regioni settentrionali più ricche di ozono. Nel periodo invece da Gennaio a Febbraio prevalgono generalmente nel Mediterraneo Occidentale situazioni bariche con alta pressione che danno luogo ad un certo periodo di tempo buono. L'attività ciclonica va di nuovo aumentando da Febbraio ad Aprile e contemporaneamente anche la turbolenza a grande scala che aiuta l'azione delle correnti discendenti e quindi l'aumento dell'ozono totale. Nella stagione estiva, naturalmente, prevalgono condizioni stazionarie con pochi movimenti di masse d'aria e con advezione da zone meridionali meno ricche di ozono.

### III - CORRELAZIONE CON VARI ELEMENTI METEOROLOGICI.

Le variazioni che si verificano nelle quantità totali di ozono, osservate in una determinata località, sono importanti per le relazioni che esse hanno rispetto ai vari elementi meteorologici.

G.M.B. Dobson ed i suoi collaboratori fin dal 1928 <sup>(9)</sup> avevano messo in evidenza che i massimi scostamenti positivi delle quantità giornaliere di ozono, dalle medie mensili, si verificano generalmente nella parte posteriore delle depressioni al suolo ed i massimi scostamenti negativi si hanno nel lato posteriore dei centri di alta pressione al suolo.

D'altra parte A. R. Meetham <sup>(10)</sup> nel 1937 aveva stabilito l'esistenza di significative correlazioni fra la quantità totale di ozono e vari elementi meteorologici osservati in quota, in particolare aveva messo in evidenza una correlazione positiva con la temperatura e la temperatura potenziale nella stratosfera inferiore ed una correlazione negativa con la densità dell'aria all'altezza della tropopausa.

Successivamente lo stesso Dobson e collaboratori, nel 1946 <sup>(11)</sup>, dimostrarono che i massimi scostamenti positivi delle quantità totali di ozono si verificano in coincidenza con occlusioni, direttamente sui centri depressionari al suolo.

Più recentemente E. Tonsberg e K. L. Olsen <sup>(12)</sup>, riferendo i suddetti scostamenti alle formazioni frontali, stabilirono che il fronte freddo al suolo o il fronte occluso, proiettato al suolo, costituiscono una linea di separazione fra gli scostamenti positivi e negativi.

Una delle più comuni correlazioni stabilite è quella fra la quantità di ozono e la pressione atmosferica al suolo. In realtà è da considerare come non sia esattamente la pressione al suolo ad avere una diretta influenza sulla variazione della quantità totale di ozono, in quanto

questa, sostanzialmente, dipende dalla circolazione atmosferica, particolarmente nella bassa stratosfera e alta troposfera (\*).

Anche per Cagliari sono stati confrontati i valori totali dell'ozono, osservati giornalmente, con alcuni elementi meteorologici in quota dedotti da osservazioni effettuate nella stessa località e negli stessi giorni, con radiosonda. Gli elementi meteorologici presi in esame per tutto il periodo 1955-1960 sono i seguenti:

pressione e temperatura dell'aria all'altezza della tropopausa;  
 altezza della tropopausa;  
 spessore dello strato d'aria fra le superficie isobariche di 300 e 500 mb.

Dalla suddetta elaborazione sono risultati i seguenti indici di correlazione:

- 1) spessore ozono totale — pressione atmosferica nella tropopausa:  
 $= + 0,29 \pm 0,02$  e.p.
- 2) » » » — altezza della tropopausa:  
 $= - 0,29 \pm 0,02$  e.p.
- 3) » » » — temperatura dell'aria nella tropopausa:  
 $= + 0,19 \pm 0,02$  e.p.
- 4) » » » — spessore strato d'aria da 300 a 500 mb:  
 $= - 0,24 \pm 0,02$  e.p.

L'esame dei suddetti indici di correlazione porta alle seguenti conclusioni generali:

a) La correlazione fra la variazione dello spessore dell'ozono totale e la variazione della pressione atmosferica e della temperatura dell'aria all'altezza della tropopausa e dell'altezza della tropopausa risultano alquanto piccole ma abbastanza significative in quanto l'aumento della pressione e della temperatura è accompagnato da un aumento di ozono, mentre l'aumento dell'altezza della tropopausa si accompagna ad una diminuzione dello spessore dell'ozono.

b) una correlazione quasi dello stesso ordine delle precedenti si ha tra lo spessore totale dell'ozono e lo spessore dell'aria fra 300 e 500 mb, si ha cioè, con l'aumentare dello spessore dello strato d'aria una dimi-

---

(\*) Poiché la pressione atmosferica al suolo è legata alle grandi configurazioni della circolazione atmosferica, essa ne diventa l'indice più direttamente e facilmente misurabile.

nuzione nella quantità di ozono. Ciò concorda bene con la correlazione esistente rispetto all'altezza della tropopausa in quanto, generalmente, l'aumento nello spessore d'aria fra 300-500 mb corrisponde ad un aumento dell'altezza della tropopausa.

#### IV - RELAZIONE FRA L'OZONO E LE SACCATURE E PROMOTORI IN QUOTA.

È noto come le variazioni giornaliere delle quantità totali di ozono abbiano principalmente la loro origine nei moti atmosferici che avvengono negli strati compresi fra 5 e 20 km, dove gli effetti fotochimici sono già trascurabili, per cui le relazioni intercorrenti fra l'ozono e le situazioni meteorologiche sono in gran parte da attribuire agli effetti combinati dei moti verticali a grande scala e alla avvezione orizzontale. D'altra parte è anche noto come nella stratosfera inferiore a saccature di bassa pressione ed a promontori di alta pressione corrispondano rispettivamente zone di alta e bassa temperatura le cui velocità di spostamento, in genere, non corrispondano alle velocità del vento alla stessa quota ma a quelle più lente dei sistemi di pressione. Da ciò si deduce che le suddette zone calde e fredde sono prodotte dinamicamente risultando, rispettivamente, dall'effetto di subsidenza o di sollevamento per cui il massimo riscaldamento, in corrispondenza alle saccature, e il massimo raffreddamento, in corrispondenza ai promontori, è un indice dei massimi spostamenti d'aria avvenuti rispettivamente verso il basso o verso l'alto in queste zone. L'effetto di questi moti verticali ha come conseguenza la produzione di massime variazioni positive nella quantità totale di ozono lungo la verticale in corrispondenza delle saccature ed il contrario si ha nei promontori.

Inoltre poiché alle alte quote le isobare e le traiettorie si possono ritenere quasi coincidenti, si ha che l'aria che si muove lungo il lato posteriore delle saccature, nella bassa stratosfera subisce uno spostamento massimo da Nord verso Sud, mentre il contrario avviene nei promontori. Data la distribuzione longitudinale della quantità totale di ozono, crescente da Sud verso Nord, si ha che, con i moti avvertiti, nelle saccature e nei promontori, si manifesteranno rispettivamente un aumento o una diminuzione della quantità di ozono lungo la verticale. L'effetto complessivo, sia dei moti verticali che avvertiti nelle saccature e promontori nella bassa stratosfera, sarà perciò, per le prime, un aumento e per i secondi una diminuzione nelle quantità totali di ozono.

Tutto ciò risulta del resto, confermato dalle già citate correlazioni di Meetham (10).

In fondo, fra gli scostamenti positivi o negativi delle quantità totali di ozono esiste la stessa relazione che intercede fra i campi di pressione ad alta quota ed al suolo; in genere sistemi in quota (es. basse pressioni) si trovano spostati indietro rispetto ai sistemi al suolo.

L'effetto finale fra i moti atmosferici verticali e quelli avvettivi orizzontali è quello di produrre spostamenti positivi nella quantità totale di ozono, in corrispondenza alla saccatura in quota e scostamenti negativi, in corrispondenza ai promotori in quota (13).

Partendo da questi concetti sono state analizzate le configurazioni di saccature e promontori risultanti nelle carte delle topografie della superficie isobarica di 300 mb.

Nonostante non propriamente nella stratosfera, è stata scelta questa superficie isobarica in quanto la più alta a disposizione con un numero sufficientemente attendibile di dati di osservazioni.

In queste configurazioni topografiche è stata particolarmente considerata la posizione (distanza minima) degli assi dalla località di osservazione dell'ozono, in relazione alla quantità totale di ozono.

Le situazioni con le saccature e promontori in quota suddette sono quelle riportate rispettivamente nelle Figg. 3 e 4 e si riferiscono agli ultimi due anni 1959 e 1960. Nelle figure sono riportati in ascisse le rispettive distanze degli assi delle saccature e promontori dalla verticale del luogo di osservazione (Cagliari) e nelle ordinate gli scostamenti delle quantità totali di ozono osservate dal valore medio calcolato durante tutto il periodo di osservazione della saccatura o promontorio.

La scelta degli ultimi due anni è stata fatta in quanto in tale periodo di tempo si disponeva del maggior numero possibile contemporaneamente di dati dell'ozono e carte del tempo in quota.

L'esame dei grafici corrispondenti nelle figure su menzionate e particolarmente dei due grafici finali nei quali sono stati riportati i valori medi calcolati complessivamente su tutti i dati di ogni singolo periodo di osservazione, mostra chiaramente come, nel caso della saccatura, con il diminuire della distanza dell'asse di questa dalla stazione di osservazione si abbia un aumento nello spessore dell'ozono totale, con un massimo corrispondente al passaggio dell'asse della saccatura sulla verticale della stazione, il contrario invece si verifica con il promontorio.

Ciò che si è potuto constatare in una posizione centrale del Mediterraneo dà perciò una chiara conferma di quanto precedentemente constatato altrove da altri studiosi del problema (5, 9, 14, 15).

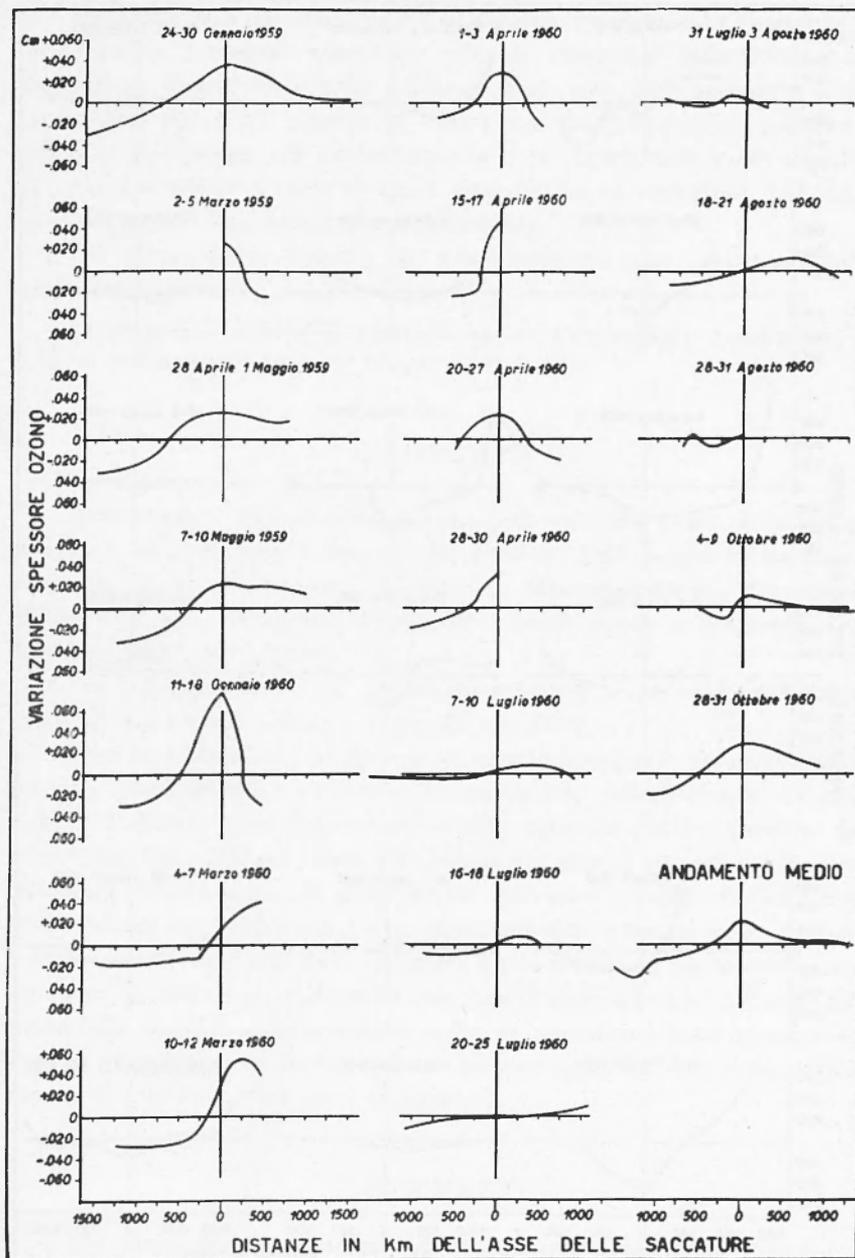


Fig. 3

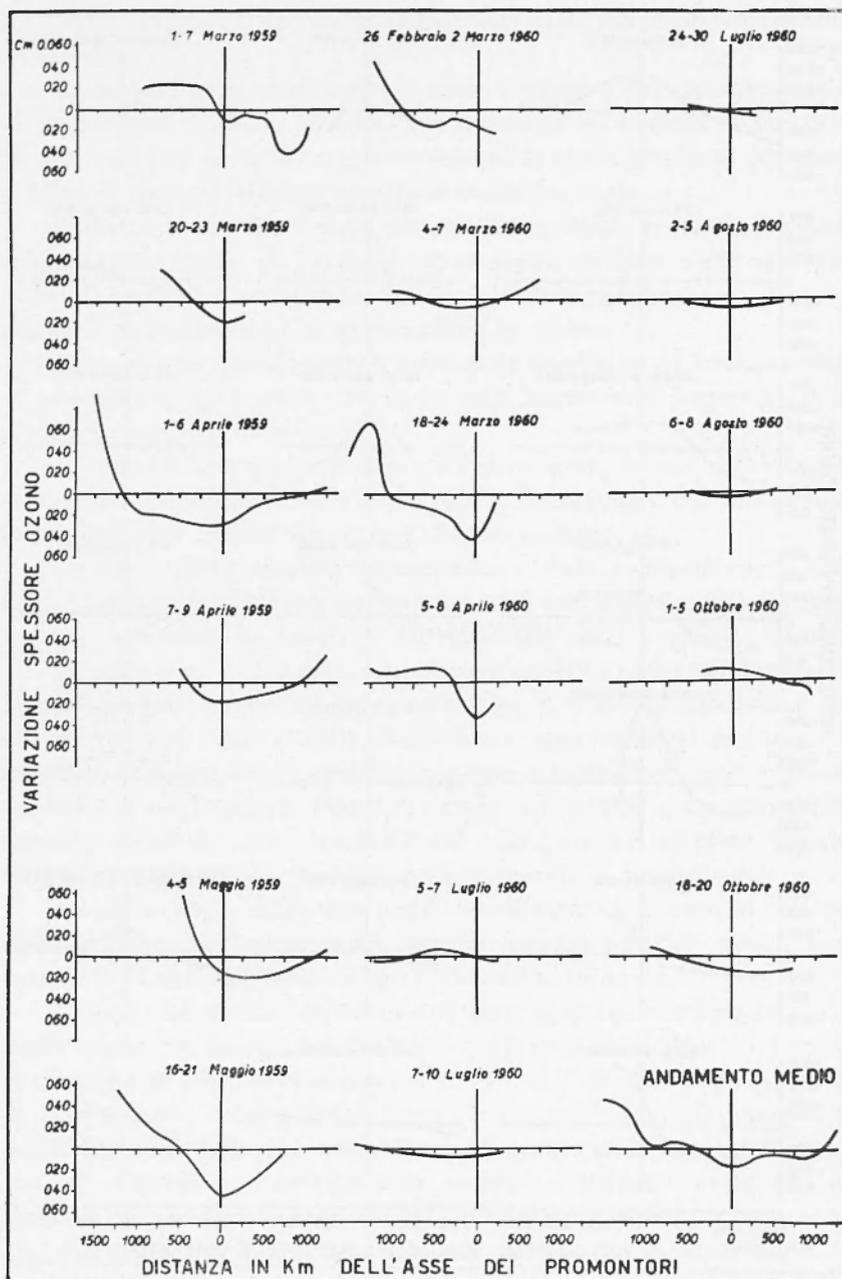


Fig. 4

Naturalmente per ogni singola situazione, pur restando l'andamento come quello descritto, appaiono notevoli variazioni quantitative nei massimi di variazione e nelle distanze degli assi delle saccature o dei promontori dai quali appare la variazione rispettivamente positiva e negativa dell'ozono, ciò evidentemente è in dipendenza della rapidità con cui avvengono i moti ai quali sono legate le variazioni dell'ozono ed allo spessore degli strati d'aria interessati.

Ciò potrà essere oggetto di una successiva più circostanziata e minuziosa ricerca.

Osservatorio Scientifico Sperimentale di Meteorologia Aeronautica di Cagliari (Aeroporto Elmas) 10 Giugno 1961.

### RIASSUNTO

*Utilizzando i dati di osservazione della quantità totale di ozono atmosferico elaborati per il periodo dal 1955 al 1960 presso l'Osservatorio S.S. di M.A. di Cagliari, del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, è stato analizzato l'andamento medio annuo e confrontato con quello di varie altre località.*

*Sono stati analizzati gli andamenti nei singoli anni del suddetto periodo ed è stata rilevata una anomalia nel 1956.*

*Sono stati calcolati i coefficienti di correlazione fra le quantità d'ozono osservate giornalmente e i valori nella tropopausa della pressione atmosferica, dell'altezza, della temperatura e dello spessore fra le superficie isobariche fra 500 e 300 mb. Tali correlazioni pur di non alto valore, risultano abbastanza concordanti con quelle trovate per altre località. Infine è stata analizzata la corrispondenza fra le variazioni delle quantità totale di ozono e la posizione degli assi delle saccature e promontori in quota interessanti la zona mediterranea, deducendo che, con l'approssimarsi dell'asse delle prime alla stazione di osservazione si ha un andamento nello spessore dell'ozono col massimo in corrispondenza del passaggio dell'asse nella stazione stessa: il contrario si ha per i promontori.*

### SUMMARY

*The mean yearly behaviour of atmospheric ozone totale amount at Cagliari has been analyzed utilizing observation data worked out for period 1955-1960 at Cagliari Experimental Scientific Observatory of Aeronautical Meteorology. A comparison has been made with values observed at other sites.*

*Behaviour of each single year of said period has been analysed and an anomaly has been found for 1956.*

*The correlation coefficients have been computed for ozone amounts, daily observed, and atmospheric pressure values, tropopause levels and temperatures levels and temperatures at 500 and 300 mbs isobaris surfaces, and thickness values between two surfaces. These correlations, trough of not considerable values, are fairly consistent with those computed at other sites.*

*Finally the relationship between variation of total ozone amount and position of upper troughs and ridges axes for the mediterranean area has been analysed, deducing that, when trough axes approach to the observation station, the behaviour of ozone thickness has a maximum upon the aris crossing the station, and viceversa for the ridges.*

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) MATTANA, N., SANNA, S., SERRA, A., *Atti X Congresso Associazione Geofisica Italiana*. Roma 1960 (in corso di stampa).
- (2) DOBSON, G.M.B., *Observer's handbook for the Ozone Spectrophotometer*, International Ozone Commission. Pubbl. n. 145 - Beck London.
- (3) GOTZ, F. W. P., *Ozone in the Atmosphere*, Compendium of Meteorology. Am. Met. Soc. - Boston, 1951.
- (4) CRAIG, R. A., *The Observations and Photochemistry of Atmospheric Ozone and they Meteorological Significance*. «Meteor. Monogr.», 1, 2, (1950).
- (5) MIYAKE, Y., KAWAMURA, E., *Studies on Atmospheric Ozone at Tokyo*, «Meteorological Research Institute Tokyo», Assembly International Ass. Met. Int. Un. Geodesy and Geophysics, Roma 1954.
- (6) FRITZ, S., and STEVENS, G. C., *Montly Weather Review*, 78, 8. 135-147, (1950).
- (7) CRAIG R. A., Idem. p. 139.
- (8) SERRA A., *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, XVIII, 1, Roma, 1958.
- (9) DOBSON G.M.B., HARRISON D. N., and LAWRENCE J., *Proc. Soc. Roy.*, London, 122, 456-486, (1928).
- (10) MEETHAM, A. R., *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, 63, 289-307, (1937).
- (11) DOBSON, G.M.B., BREWER, A. W., and CWILONG, *Proc. Roy. Soc.*, London, 185, 144-175, (1946).
- (12) TØNSBERG E. and OLSEN K. L., *Investigations on Atmospheric Ozone at Nordlyss Observatoriet, Tromsø*, «Geofysiske Publikasjoner», XIII, 12 144.
- (13) RAMANATHAN, K. R., *Atmospheric Ozone and the General Circulation of the Atmosphere*, Assembly Int. Ass. Met. Int., Roma, 1954.
- (14) BUISSON, H., and FABRY, C., *Jour. Phys.*, 6<sup>o</sup> S. 2, 197, (1921).
- (15) NORMAND, C., *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, 79, 339, 39-50, (1953).