

PRIMI RISULTATI SULLA LOCALIZZAZIONE DELLE PERTURBAZIONI ATMOSFERICHE DALL'ESAME DELLE ONDE MICROBARICHE

FERRUCCIO MOSETTI

1. — Questo lavoro vuol essere l'introduzione ad un ciclo di ricerche miranti a definire la posizione ed il moto di perturbazioni atmosferiche quali cicloni, fronti, o nuclei di pressione, mediante il solo impiego di stazioni microbarometriche; essendosi già precedentemente visto ⁽¹⁾ che ogni tipo di perturbazione atmosferica genera onde microbariche caratteristiche. L'analisi dei microbarogrammi dovrebbe dunque poter permettere di inquadrare la situazione meteorica, entro un larghissimo raggio, di una zona interessante la stazione o il gruppo di stazioni di osservazione. È nostra idea che le onde microbariche si propaghino dalla zona perturbata alla stazione, direttamente, o indirettamente per successive « attivazioni » delle masse d'aria attraversate. Tali onde sarebbero dunque di carattere progressivo, e, studiando la direzione e la distanza da cui provengono gli impulsi registrati (in base alla differenza dei tempi di arrivo in tre stazioni e alla velocità di fase delle onde), si potrebbe comodamente seguire sulla registrazione microbarografica, il succedersi di eventi meteorici in zone anche molto lontane. Va notato che tale studio, così appena iniziato, è ostacolato da svariate difficoltà alcune puramente tecniche, altre dovute al fatto che fino a poco fa, nulla ci era noto sulla natura delle onde in questione. Anzitutto nessuna presupposizione poteva esser fatta a priori riguardo la velocità delle onde microbariche, perché tutti i pochi lavori eseguiti da Autori isolati sull'argomento della velocità delle onde barometriche (anche a piccolo periodo), per la loro scarsissima concordanza e per l'indole completamente diversa delle ricerche in cui apparivano, non ci potevano dare alcun affidamento, né erano suscettibili di generale applicazione. Dalle nostre misure abbiamo notato una grande variabilità della velocità, anche per onde aventi lo stesso periodo, per le più svariate cause, tanto che siamo ora del parere che la velocità, la cui conoscenza è essenziale per risolvere il nostro problema, sia da calcolarsi caso per caso.

Anzitutto diremo che già dalle prime osservazioni eseguite nell'estate di quest'anno con un gruppo di stazioni tripartite disposte a Trieste nelle località: Osservatorio Geofisico, Roiano, Trebiciano, ai vertici cioè di un triangolo (fig. 1) di lati dell'ordine di qualche chi-

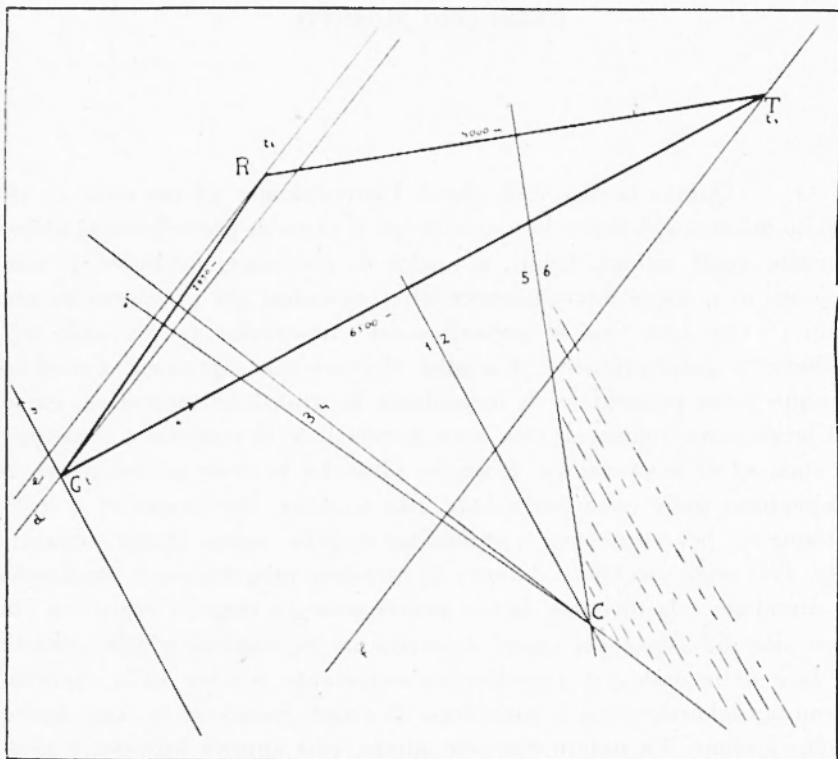


Fig. 1

lometro, si intravvide la possibilità di risolvere il problema impostoci, e ciò per le seguenti ragioni: ogni impulso visibile in un microbarogramma era ritrovabile negli altri; di volta in volta gli sfasamenti risultavano diversi anche per gli stessi periodi; i vari impulsi non venivano registrati simultaneamente nelle tre stazioni. Per ben poter discernere gli impulsi bisogna però tener conto che se i capillari dei microbarografi (2) non hanno sempre la medesima apertura, vi potrà esser sproporzione di ampiezza tra le varie registrazioni: se per esempio in una stazione il capillare è più chiuso che nelle altre, in questo strumento le onde di maggior periodo saranno esaltate e potranno

mascherare gli impulsi di più breve periodo, che di solito hanno ampiezze minori; viceversa se il capillare è troppo aperto non si vedranno più gli impulsi superiori ad un certo periodo (²). Di tutto ciò bisognerà tenere accuratamente conto, anzi prossimamente la nostra ricerca si indirizzerà allo studio di microbarogrammi di singole bande di frequenza, ottenuti mediante opportuni filtri, per poter evitare al massimo la interferenza tra onde di varia natura e periodo, interferenza che può esser causa di errore sia nella valutazione del tempo di registrazione di un dato impulso, sia nella valutazione del periodo di questo.

Inoltre, molte volte, negli strumenti di cui finora abbiamo fatto uso (sono quelli costruiti dal Bossolasco, modificati in modo da aver una registrazione ottica per eliminare l'incontrollabile attrito del pennino), che hanno uno scorrimento di 20 mm all'ora, gli sfasamenti sono spesso molto piccoli e difficilmente apprezzabili con sicurezza. A tutte queste difficoltà stiamo ora cercando di ovviare, prima di intraprendere una ricerca definitiva sull'argomento, apportando notevoli migliorie agli strumenti sì da ottenere un tipo di microbarografo veramente rispondente allo scopo che oramai, per pratica e per esperienza, crediamo di ben conoscere.

Comunque sia, vogliamo ora dire come abbiamo cercato di risolvere il problema di ricavare, in base alle due differenze di tempo delle registrazioni in tre stazioni, la velocità e la direzione di provenienza degli impulsi. A prima vista, il problema potrebbe supporre eguale a quello che compare in Sismica, nella ricerca degli epicentri; senonché in Sismica nota già da moltissimi anni la velocità delle onde, e costruite ottime tavole di dromocrone dalle quali si può ricavare la distanza in base ai tempi di arrivo delle varie fasi, la ricerca odierna si riduce alla determinazione esatta (con i dati di più stazioni) della direzione di provenienza, più che della distanza, (già nota a priori con le dromocrone) ed è questo un argomento molto studiato e per il quale esistono già molti metodi. Nessuno di tali metodi poté però essere usato nella nostra ricerca, neanche quello fondamentale ed elementare delle iperboli, che presuppone la conoscenza della velocità, per noi a priori completamente ignota, e che è impossibile applicare con sicurezza su distanze tanto grandi in confronto alle esigue dimensioni del triangolo usato.

Assolutamente impossibile poi, almeno per ora, è la costruzione di tabelle di dromocrone. Siamo ben lungi infatti dal poter ricavare, come in Sismica, la distanza, con i tempi di arrivo di eventuali fasi

riflesse o rifratte, perché non sappiamo ancor nulla sulla eventuale possibilità di riflessione delle onde atmosferiche (longitudinali!) su qualche discontinuità più o meno fissa (tropopausa?) e quindi sull'esistenza di onde riflesse di I, II, III... ordine. Inoltre ancora, in Sismica,

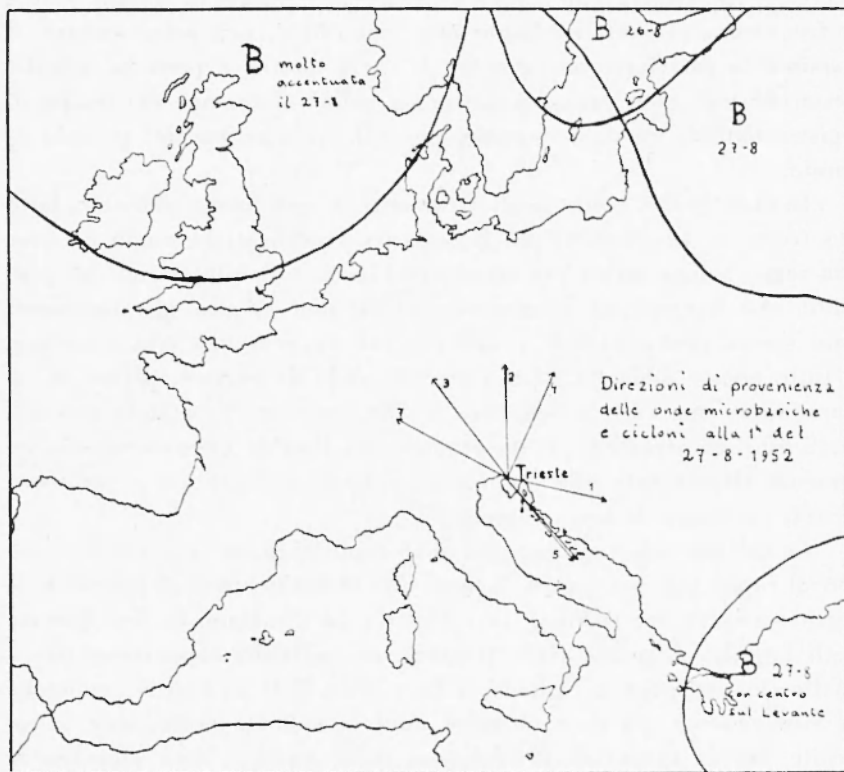
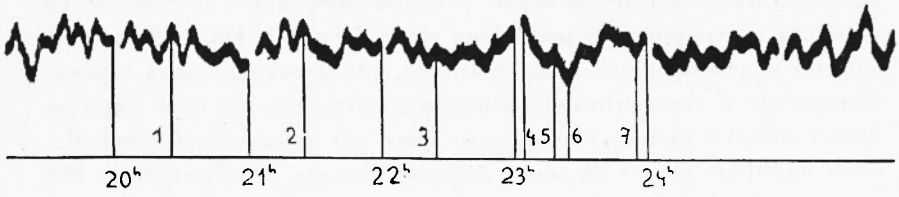
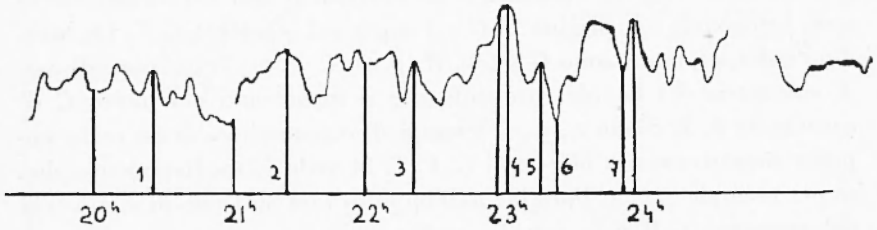


Fig. 2

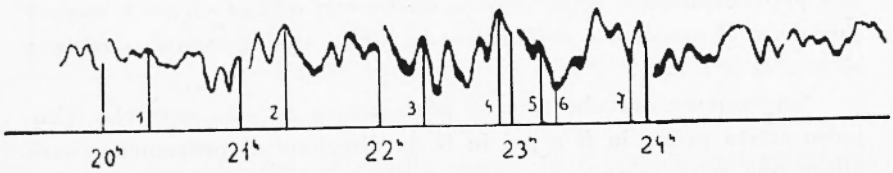
onde che anche dopo anni provengono dalla riattivazione di una medesima zona ipocentrale, mantengono sempre eguale la loro velocità poiché rimangono inalterate le costanti del mezzo attraversato (per la relativa stabilità della crosta terrestre); mentre invece nel nostro caso è impossibile che onde provenienti da successivi cicloni situati nella medesima zona, mantengano invariata la velocità, per il fatto che con le stesse condizioni meteorologiche, variano continuamente temperatura, densità, umidità, pressione ecc. del mezzo attraversato. E poi è chiaro che la velocità delle onde microbariche può essere notevolmente influenzata dal movimento della sorgente (in Sismica, invece, l'ipocentro



Geof. 27-8-52



Roiano 27-8-52



Treb. 27-8-52

Fig. 3

non si muove!) e dall'effetto di trascinamento dovuto al moto relativo delle masse d'aria attraversate. Ci troviamo insomma di fronte ad un problema nuovo e ben più arduo di quello interessante la Sismica. La premessa più importante per la sua risoluzione è la conoscenza della velocità di propagazione delle onde, che, per le ragioni sopra esposte, diciamo che è necessario determinare caso per caso, per ogni impulso. Descriveremo il metodo che abbiamo usato per determinare la velocità degli impulsi e che ci dà anche la loro direzione di provenienza. Per conoscere la distanza approssimata, usiamo per il momento semplici considerazioni sul periodo, che, aumenta chiaramente e, sembra, uniformemente con la distanza tra stazione e sorgente e varia poi, con la natura di questa.

2. — Il metodo usato è completamente analitico. Sia dato il triangolo G, R, T (fig. 1), costruiamo un sistema di assi coordinati cartesiani ortogonali con origine in G e l'asse x sul segmento $G-T$. Le coordinate dei tre punti sono $G (0, 0)$, $R (p, q)$, $T (r, 0)$. Tracciamo gli assi di simmetria dei lati del triangolo che si incontrano nel punto C di coordinate h, k . Siano t_1, t_2, t_3 i tempi di registrazione di un certo impulso rispettivamente nei punti G, R, T . Si vede immediatamente che, se per esempio $t_1 = t_3$ l'origine dell'impulso sarà sull'asse di simmetria del segmento $G-R$ e la velocità sarà, con approssimazione tanto più buona quanto più lontana è l'origine (perché evidentemente il fronte d'onda non è sempre lineare), eguale al rapporto tra la distanza fra $G-R$ e la sua parallela condotta per T e la differenza di tempo $t_2 - t_1$. Comunque abbiamo potuto vedere che l'errore che si commette in tale approssimazione della velocità anche con origini vicine è sempre piccolo, o al massimo è dell'ordine del 10%. Analogamente si ragiona se $t_1 = t_2$ o $t_2 = t_3$.

Supponiamo ora che $t_1 \neq t_2$, per esempio $t_1 > t_2$, cioè che l'impulso arriva prima in R e poi in G , la direzione di provenienza sarà allora una retta, sempre passante per C , che non è più l'asse di simmetria ma che si avvicina a R tanto più quanto più grande è la differenza $t_1 - t_2$. Naturalmente una tale determinazione della direzione di provenienza sarebbe laboriosa perché la posizione della retta che la rappresenta dipende non da una sola ma da tutte e tre le differenze dei tempi. Per ricavare almeno approssimativamente la direzione di provenienza si può ragionare anche nel seguente modo: sia per esempio $t_1 > t_2 > t_3$, vuol dire allora che l'impulso arriva prima in T poi in R e infine in G ; il fatto che esso arrivi in T prima che

in R vuol dire che la direzione di provenienza appartiene al semipiano 6 (fig. 1), questa retta appartiene anche al semipiano 4, perché l'impulso arriva in R prima che in G e al semipiano 2 perché l'impulso arriva prima in T che in G . In tal modo il settore che è co-

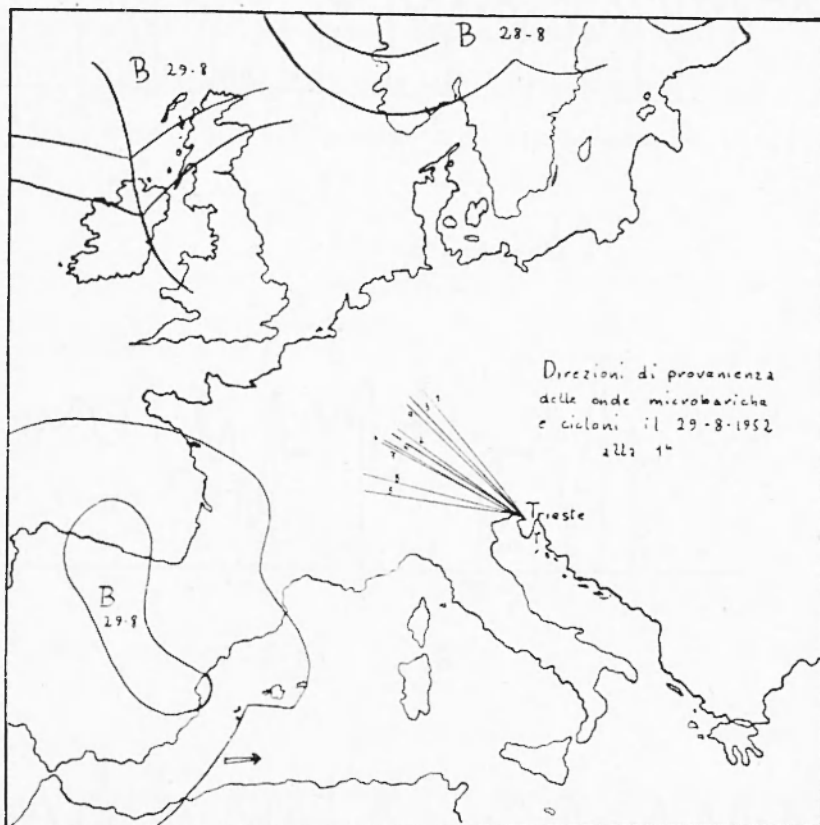
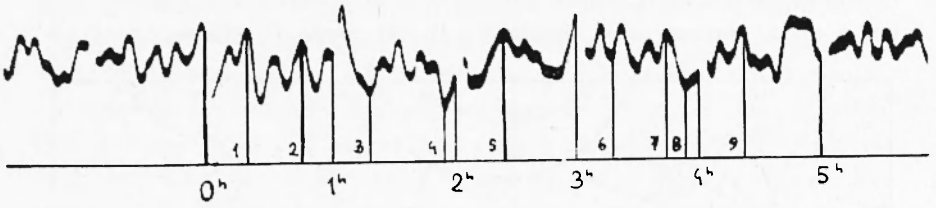


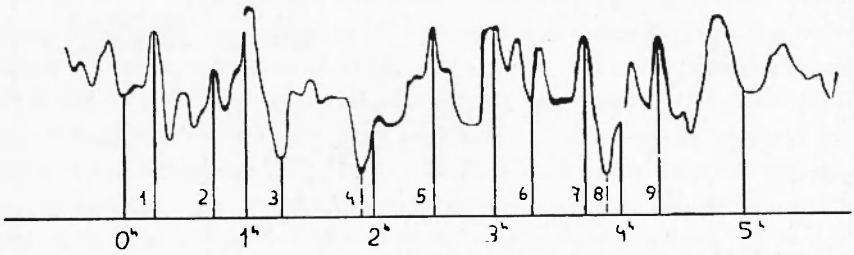
Fig. 4

mune ai tre semipiani, e che ha vertice in C , (zona tratteggiata in fig. 1), comprende la semiretta indicante la direzione di provenienza.

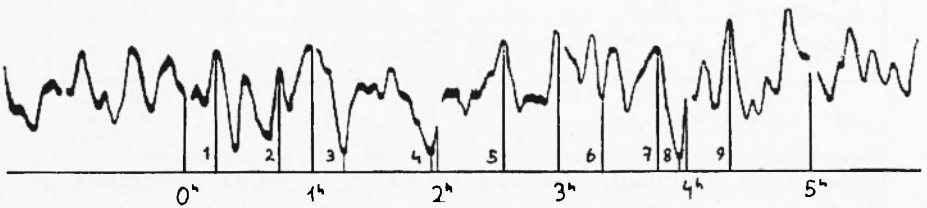
Da tutto questo si vede che, sempre, nel nostro metodo, la direzione di provenienza è rappresentata da una semiretta partente dal punto C . Sulla scorta di quanto abbiamo più sopra esposto pensiamo che, supponendo lineare (e si è dimostrato abbastanza ben approssimato) il fronte d'onda in un intorno del triangolo, si possono costruire tre rette parallele d , e ed f , passanti rispettivamente per i punti G , R , T , tali che la distanza tra d ed e sia proporzionale alla differenza



Geof. 29-8-52



Roiano 29-8-52



Treb. 29-8-52

Fig. 5

$t_2 - t_1$, e la distanza tra d e f sia proporzionale alla differenza $t_3 - t_1$ la perpendicolare a queste rette passante per C , sarà la direzione di provenienza cercata.

Sia

$ax + by = 0$ l'equazione della retta passata per $G(0, 0)$;

$a(x-p) + b(y-q) = 0$ l'equazione della retta per $R(p, q)$;

$a(x-p) + by = 0$ l'equazione della retta passante per $T(r, 0)$.

La distanza tra d ed e è

$$-\frac{ap + bq}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Quella tra d ed f è

$$-\frac{ar}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Occorrerà che sia

$$\tau = \frac{t_1 - t_3}{t_1 - t_2} = \frac{ar}{ap + bq}$$

da cui

$$\frac{a}{b} = \frac{q\tau}{r - p\tau}$$

Il rapporto $-a/b$ è il coefficiente angolare delle rette parallele d , e ed f ; quindi la direzione di provenienza avrà coefficiente angolare

$$\frac{a}{b} = \frac{r - p\tau}{q\tau}$$

l'equazione della retta rappresentante la direzione di provenienza (che passa per il punto $C(h, k)$) sarà dunque

$$y = \frac{(kq - hp)\tau - hr}{q\tau} + \frac{r - p\tau}{q\tau} x$$

Per ottenere la velocità basterà dividere per $\Delta t_2 = t_1 - t_1$ il valore assoluto della distanza tra d ed f , o per $\Delta t_1 = t_1 - t_2$ il valore asso-

luto della distanza tra d ed e , ottenendo risultati necessariamente eguali.

Infatti

$$\frac{ab + b\tau}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\frac{a}{b}p + q}{\sqrt{\frac{a^2}{b^2} + 1}} = \frac{\frac{pq\tau}{r - p\tau} + q}{\sqrt{\frac{q^2\tau^2}{(r - p\tau)^2} + 1}} = \frac{qr}{\sqrt{\tau^2(q^2 + p^2) + r^2 - 2rp\tau}} \quad [1]$$

e

$$\frac{ar}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\frac{a}{b}\tau}{\sqrt{\frac{a^2}{b^2} + 1}} = \frac{qr\tau}{\sqrt{\tau^2(q^2 + p^2) + r^2 - 2rp\tau}} \quad [2]$$

dividendo la [1] per Δt_1 si ha

$$v_1 = \frac{qr}{\sqrt{\frac{\Delta t_2^2}{\Delta t_1^2}(q^2 + p^2) + r^2 - 2rp\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}} \cdot \frac{1}{\Delta t_1}$$

e dividendo la [2] per Δt_2

$$v_2 = \frac{qr\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}{\sqrt{\frac{\Delta t_2^2}{\Delta t_1^2}(q^2 + p^2) + r^2 - 2rp\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}} \cdot \frac{1}{\Delta t_2}$$

Queste due espressioni sono ovviamente eguali e si ottiene in definitiva per la velocità di fase la formula

$$v = \frac{qr}{\sqrt{\Delta t_2^2(q^2 + p^2) + \Delta t_1^2 r^2 - 2rp\Delta t_1\Delta t_2}}$$

Essendosi tale velocità ottenuta supponendo lineari i fronti d'onda, senza tener conto né del reale cammino del raggio nell'atmosfera, cammino che per ora si suppone superficiale né del moto della sorgente o del movimento cui sono soggette le successive zone d'aria attraversate, la denomineremo « velocità apparente » riservandoci in seguito, quando conosceremo meglio tutti i fenomeni cui è assoggettato

il raggio d'onda nel suo cammino, di dare i valori della reale velocità di fase.

Per trovare il verso di un dato impulso basterà guardare in quale dei tre punti esso arrivi per primo. Noti così direzione di provenienza

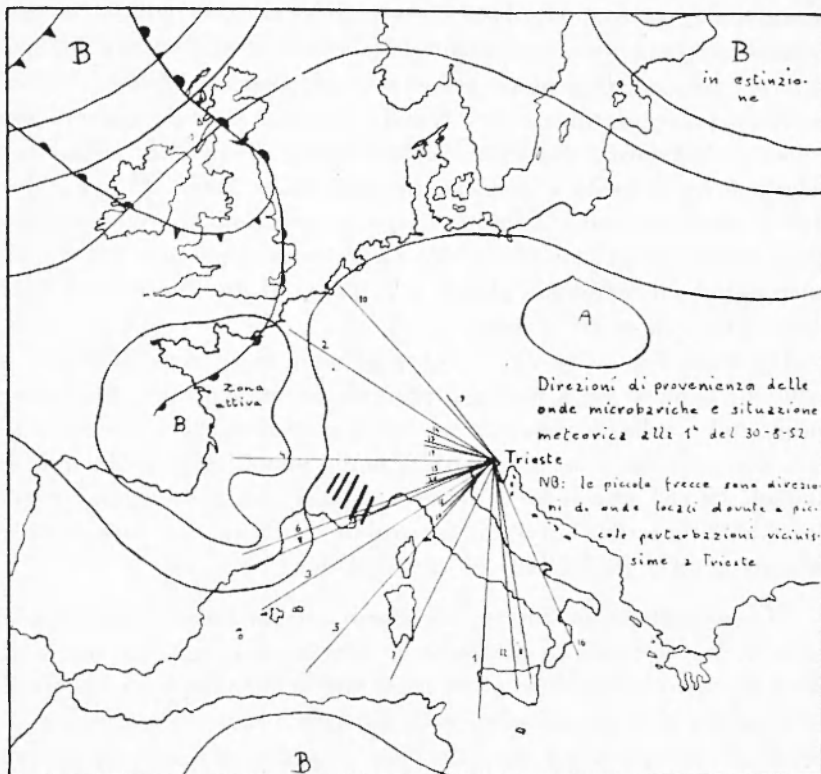


Fig. 6

e verso si applicano le semirette definite da queste due grandezze al punto *C* e, misurando l'angolo che tali semirette formano in senso antiorario col meridiano passante per *C* si ottiene l'azimut. Poiché le dimensioni del triangolo usato in questa ricerca risultano di solito molto piccole rispetto alla distanza della perturbazione, non abbiamo potuto applicare alcun metodo atto a farcela conoscere con sicurezza. Però per poter sapere almeno grossolanamente la maggiore o minore lunghezza del cammino d'onda si può tener conto del fatto che ⁽¹⁾ onde di periodo fino a 9, 10 min, di forma solitamente appuntata ed abbastanza ampie, sono di natura locale e provengono al massimo da una distanza di 100 km. Onde di periodo sui 15, 20 min, di solito lisce

ed abbastanza regolari, provengono da distanza dell'ordine di 1000 km e così via, quanto maggiore è il periodo e più regolari sono gli impulsi, tanto maggiore è la distanza della loro origine. Benché ci sia qualche relazione tra periodo e velocità per le onde provenienti dalla medesima perturbazione, onde di periodo eguale provenienti da perturbazioni pressoché equidistanti dalla stazione, ma situate in zone diverse, possono presentare velocità completamente diverse. Perciò avevamo precedentemente fatto notare che non si può assumere una velocità « standard » per le onde microbariche, né definire alcuna correlazione tra velocità e periodo, in generale, a meno di non considerare comprese entro il limite di errore variazioni di velocità insite nella natura stessa del fenomeno. La velocità apparente delle onde microbariche è comunque piccola e varia tra alcune centinaia e qualche migliaio di metri al min!

Quando si analizza un microbarogramma ci si trova di fronte al fatto che onde di varia natura e provenienza vengono registrate insieme e, molte volte, piccole e trascurabili perturbazioni vicine mascherano completamente le onde talvolta molto deboli, provenienti più da lontano. Sicché qua e là troveremo impulsi che provengono press'a poco dalla medesima direzione intercalati con altri di natura completamente diversa provenienti da tutt'altre zone.

3. — Mostreremo adesso con alcuni esempi come, calcolando il periodo, la velocità e la direzione di provenienza degli impulsi registrati dal microbarografo si possa analizzare il microbarogramma traendo fin d'ora utili informazioni sulla situazione meteorica locale e generale. Si vuol ancora notare che data la presenza e sovrapposizione di svariati sistemi di onde é difficile misurare il periodo di un impulso e che pertanto i valori indicati sono solo indicativi.

Caso del 27-8-1952 Intervallo di tempo esaminato 20 ^h -24 ^h fig. 2 e 3		Abbiamo scelto 7 impulsi nell'intervallo più interessante della registrazione. Applicando le formule precedentemente indicate si ricavarono i seguenti risultati			
n. imp.	b/a	azimut	velocità in m/min	periodo in min	
1	-1,32	--113°	946	12	
2	+1,64	0°	4600	20	
3	-11,90	+ 35°	680	12	
4	+0,74	- 23°	570	24	
5	-21,25	-142°	3680	16	
6	-26,00	-141°	1165	12	
7	-1,96	+ 59°	1690	15	

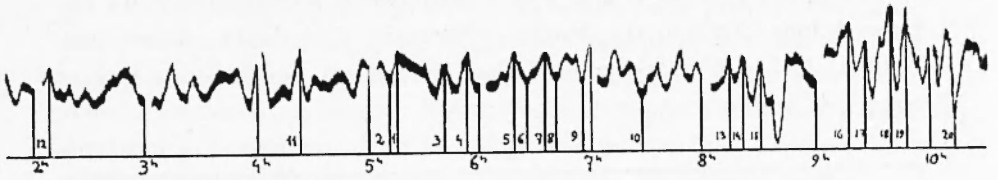
(in fig. 3 per le località di Trebiciano l'inizio dell'ora è 5 min prima di quello segnato, causa ritardo del marcatempo).

Di questi impulsi il 2, 3 e il 7 provengono probabilmente da un forte ciclone centrato tra Scozia e Norvegia, il 4 da un ciclone sul Baltico, 1, 5 e 6 provengono da un ciclone sul Levante con centro circa sull'Arabia.

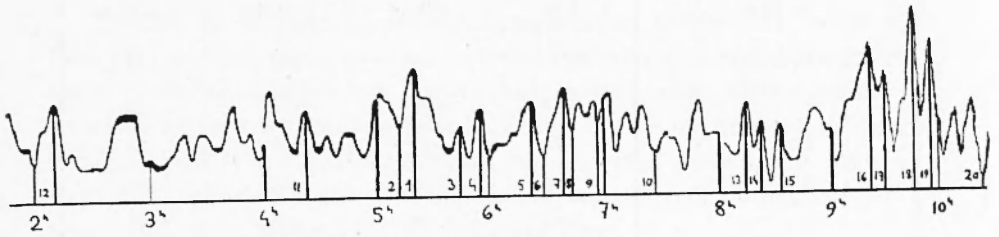
Caso del 29-8-1952 Intervallo esaminato 0 ^h .5 ^h fig. 4 e 5				
n. imp.	b/a	azimut	velocità	periodo
1	-7,44	+38°	381	17
2	-2,26	+55°	431	12
3	-4,25	+44°	605	30
4	-2,06	+56°	361	16
5	-0,94	+77°	629	15
6	-1,89	+59°	365	12
7	-1,76	+60°	435	12
8	-1,10	+73°	459	19
9	-4,85	+42°	284	13

(in fig. 5 l'ora del microbarogramma di Trebiciano è 6,4 min prima di quella segnata).

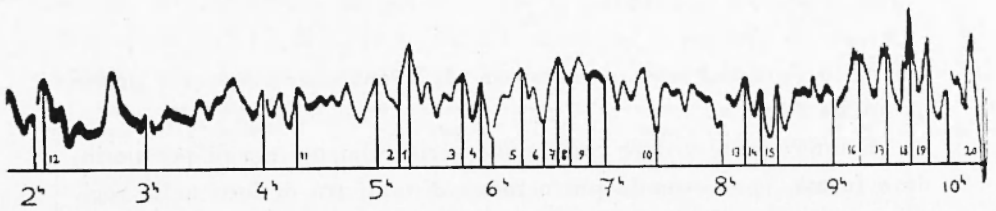
È interessante vedere come onde verisimilmente eguali per periodo e forma, (pur essendo più o meno distanti tra di loro nella registrazione, e « perturbate » da altre oscillazioni), quali le 2, 6, 7 e 4 provengano con valori di velocità molto vicini, dalla stessa direzione! Derivano probabilmente da un ciclone appena formato a N della Scozia. Le onde n. 1, 3 e 9, di periodo più lungo, in media, delle altre potrebbero provenire vista la loro direzione da un vasto e profondo ciclone lontano estendentesi a NW di Trieste con centro presso la Norvegia. Gli impulsi 5 e 8 sarebbero dovuti ad una area ciclonica abbracciante il golfo di Guascogna e la Spagna.



Geof 30-8-52



Roiano 30-8-1952



Treb. 30-8-52

Fig. 7

(in fig. 7 l'ora del microbarogramma di Trebiciano cade 6,5 min prima di quella segnata).

Caso del 30-8-1952 Intervallo esaminato 2 ^h . -10 ^h fig. 6 e 7		Rappresenta un esempio di analisi completa di un tratto di microbarogramma dotato di onde di diverso tipo e origine.			
n. imp.	b/a	azimut	velocità	periodo	
1	+1,35	+175°	625	30	
2	-2,15	+ 55°	594	20	
3	0,00	+120°	774	11	
4	-0,65	+ 87°	735	11	
5	+0,25	+135°	1720	20	
6	-0,21	+108°	770	11	
7	+0,64	+153°	1480	20	
8	-0,18	+110°	1240	11	
9	-10,50	+ 36°	267	8	
10	-6,06	+ 40°	540	20	
11	+2,35	+187°	1280	20	
12	+2,02	+183°	883	25	
13	-1,17	+ 72°	989	8	
14	+1,61	+ 62°	824	8	
15	-0,38	+ 99°	1240	8	
16	+3,08	+191°	884	25	
17	-1,10	+ 73°	746	9	
18	+0,16	+133°	1100	9	
19	+0,23	+129°	885	9	
20	-0,21	+108°	711	9	

Si nota sulle carte del tempo una zona perturbata in via di sfacelo (già analizzata col microbarogramma del giorno precedente) sull'Atlantico settentrionale da cui proverrebbero gli impulsi 2 e 10, di 20 min di periodo e velocità media di 567 m/min. Una zona perturbata sulla Francia e sul golfo di Guascogna, e in dipendenza di questa una zona tempestosa e molto attiva estendendosi fino alla Provenza e alle Alpi occidentali, provocherebbero gli impulsi 3, 4, 6 e 8, molto vicini per periodo e per velocità ($T = 11$ min; $v_m = 760$ m/min). Gli impulsi n. 1, 5, 7, 11, 12 e 16 sono di origine molto lontana, provengono da qualche forte perturbazione africana non interessante la zona raffigurata dalle carte del tempo usate (*), per esse velocità e periodo sono legate nel seguente modo:

$$T = 20^{\text{min}} 25^{\text{min}} 30^{\text{min}}$$

$$v_m = 1490 884 625 \text{ m/min.}$$

(*) Le carte del tempo consultate furono i Bollettini Quotidiani d'Informazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica di Roma.

Gli impulsi 17, 18, 19 e 20 sono di origine vicinissima, dipendono da cause locali, (come si vede dal loro periodo e dalla loro forma) e son generati probabilmente da un temporale sull'Adriatico settentrionale o dall'avvicinarsi di una debole discontinuità non segnata sulle carte. Essi hanno periodo di 9 min circa e velocità media di 860 m/min. Così pure sono di origine locale gli impulsi 9, 13, 14, 15 di 8 min di periodo e velocità media di 830 m/min.

4. — Sono questi appena i primi grossolani e sommari risultati che non possono essere definitivi ma che vogliono mostrare un metodo, una strada da seguire per potere col solo esame delle onde registrate al microbarografo, onde « dinamiche » di natura ben diversa dalle fluttuazioni (stazionarie) a lunghissimo periodo, da altri studiata, cercare di localizzare la causa che le genera e trarre così utili risultati pratici.

Istituto Nazionale di Geofisica — Osserv. di Trieste — Ottobre 1952.

RIASSUNTO

Si prospetta la possibilità e il modo di localizzare le perturbazioni atmosferiche in base all'esame delle onde microbariche da queste generate. Si mostrano degli esempi da cui appare che la direzione di provenienza di particolari onde registrate dai microbarografi, corrisponde proprio alla posizione dei cicloni rispetto al gruppo di stazioni registratrici.

SUMMARY

It is considered possible to locate atmospheric perturbances by studying the microbaric-waves developed by the perturbances themselves. From several examples it appears that the direction of particular waves recorded by microbarographs, correspond exactly to the position of cyclones in respect of the group of recording stations.

BIBLIOGRAFIA

- (1) MOSETTI F., *Le onde microbariche*, Rivista di Meteorologia Aeronautica III, 1952.
 (2) MOSETTI F., *Teoria del microbarografo Alfani*, Annali di Geofisica IV, 1951.