

CONTRIBUTO ALLO STUDIO DEI MICROSISMI

CARLO MORELLI

1. — *Premessa.*

Il problema dei microsismi ha acquistato specialmente durante la seconda guerra mondiale un notevole interesse anche pratico, per la possibilità di seguire attraverso la loro registrazione lo spostamento dei cicloni: condizione questa che grandemente interessa i Paesi circondati da oceani (Stati Uniti, Gran Bretagna, ecc.), dove i cicloni arrivano molto spesso imprevedibilmente sulle regioni costiere, nonostante l'accurato servizio meteorologico di sorveglianza attualmente in funzione, oppure si formano improvvisamente al largo con grande pericolo per la navigazione. Per le stesse ragioni, se pure in scala più ridotta, lo studio dei microsismi interessa anche l'Italia, per la sua posizione al centro del Mediterraneo, dove la situazione meteorologica si presenta spesso complicata e soggetta a rapide variazioni.

Numerose ricerche sono state compiute in questo campo in molti Paesi, ma soprattutto nei due sopra menzionati, e la discussione del problema è stata messa all'ordine del giorno della prossima Assemblea Generale dell'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale ad Oslo, agosto 1948. Data anche l'importanza dei problemi meteorologici, geofisici e geologici connessi con quello della genesi, natura e propagazione dei microsismi, riteniamo perciò opportuno esporre i risultati fin qui ottenuti dalle ricerche in corso sull'argomento all'Osservatorio Geofisico di Trieste dell'Istituto Nazionale di Geofisica.

2. — *Stato attuale del problema.*

Da quando il Bertelli aveva iniziato per primo, nel 1869, lo studio dei microsismi, per quasi 70 anni il problema venne affrontato da numerosi ricercatori ma senza risultati decisivi.

Non è perciò il caso di riassumere qui tutte le conclusioni cui questi primi ricercatori sono pervenuti, in quanto molto spesso esse si riferiscono solo ad un lato particolare del problema, o sono di

natura statistica senza maggiori pretese, o addirittura sono in contraddizione fra loro. D'altra parte esse sono riassunte nelle Memorie del Ramirez (1940), dove figura pure un'ampia Bibliografia, che comprende quasi tutti i lavori pubblicati sull'argomento fino al 1939.

Le stesse Memorie espongono i risultati ottenuti dallo studio dei microsismi a St. Louis nel 2° semestre 1938, sotto la guida di J. B. Macelwane, usufruendo di 4 sismografi elettromagnetici specialmente costruiti allo scopo (Sprengnether, 1946) e distribuiti ai vertici di un triangolo rettangolo, coi lati minori di circa 6 km: poiché queste ricerche hanno aperto un nuovo campo nello studio dei microsismi, portando finalmente ad alcuni risultati decisivi, prenderemo questi come punto di partenza. Li riassumiamo perciò come segue:

a) *le onde microsismiche non sono onde stazionarie, ma si propagano con una velocità media che, per i microsismi osservati a St. Louis, è di 2,67 km/sec; il periodo varia fra 3 e 9 sec, la lunghezza d'onda è prossima a 14,8 km;*

b) *ad ogni aumento dell'ampiezza corrisponde in generale un aumento del periodo;*

c) *in generale, l'ampiezza dipende dall'intensità del ciclone ed il periodo dalla sua distanza dalla stazione registratrice;*

d) *l'orbita descritta da una particella del suolo in moto sotto l'azione dei microsismi è essenzialmente ellittica, sia nel piano orizzontale che in quello verticale, ma l'asse maggiore ruota nei due piani, il rapporto fra i due assi non rimane costante, e anche il senso di rotazione si inverte;*

e) *le oscillazioni rapide della pressione atmosferica, registrate a Florissant e St. Louis mediante due microbarografi elettromagnetici ideati dal Macelwane, non presentano alcuna relazione, diretta o indiretta, con i microsismi, neppure solo nella forma dell'onda, nel periodo o nella durata della perturbazione; se ne conclude che i microsismi del tipo studiato non sono originati da alcuna oscillazione atmosferica che eserciti la sua azione sul suolo nei pressi della stazione sismica. Alla stessa conclusione è pervenuto il Gutenberg (1947) dal confronto col microbarografo a Pasadena.*

Analoghe ricerche sui microsismi erano state compiute a Göttingen fin dal 1936 (Krug, 1937), dove vennero adoperate 4 stazioni con sismografi orizzontali trasportabili, a distanze fra 3,5 e 6,5 km. Era stato trovato già allora che:

a) le onde non sono stazionarie, e la velocità di propagazione media intorno a Göttingen è di 1100 m/sec;

b) le proiezioni sul piano orizzontale del movimento delle particelle sollecitate dai microsismi sono ellissi allungate, il cui asse maggiore non mantiene una direzione costante;

c) l'ampiezza dei microsismi alla profondità di 910 m è uguale a quella in superficie;

d) l'intensità dei microsismi a Göttingen è in stretta dipendenza con i cicloni sulle coste della Norvegia.

Ma questa relazione con i cicloni non era stata meglio precisata.

Il Trommsdorff (1939) aveva ripreso lo studio dei microsismi a Göttingen con stazioni trasportabili a 2 ed a 3 componenti. Indotto dall'osservazione che i centri di origine dei microsismi possono essere più di due (per es., la costa della Scandinavia e il Golfo di Biscaglia), egli trovò che i risultati dell'esperienza si possono spiegare nel migliore dei modi ammettendo che i microsismi risultino dall'interferenza di due onde di diversa direzione e frequenza.

Nel settembre 1944 una stazione sismografica tripartita, ai vertici di un triangolo equilatero di circa 2440 m di lato, venne allestita dall'U. S. Navy a Guantanamo Bay, Cuba, e consentì di ottenere risultati così proficui soprattutto per quanto riguardava la direzione di provenienza dei microsismi, rivolta sempre al centro del ciclone, che nel dicembre 1944 l'U. S. Navy e l'U. S. Coast and Geodetic Survey stabilirono di istituire altre due stazioni tripartite similari, coi lati di circa 1 miglio, a San Juan, Portorico, ed a Richmond, Florida: ciò allo scopo principale di determinare, per intersezione, la posizione del ciclone e di seguirne gli spostamenti e lo sviluppo. Esse entrarono in funzione nell'agosto 1945. Sempre a cura dell'U. S. Navy, nel 1946 furono allestite nei Caraibi altre due stazioni sismografiche tripartite a Trinidad e Corpus Christi, e stazioni singole a Swan Island ed Antigua. Inoltre, nel Pacifico una stazione tripartita è stata allestita a Guam, con stazioni singole a Samar e Okinawa.

L'istituzione delle stazioni tripartite attorno al Golfo dei Caraibi ha portato un contributo importantissimo allo studio dei microsismi, in quanto ha stabilito inequivocabilmente che essi sono generati nel centro del ciclone o nelle sue vicinanze. Il Gilmore (1946), che ha avuto la direzione di queste ricerche, e il Gutenberg (1947),

che dall'agosto 1945 prestò la sua consulenza tecnica, sono pervenuti ai seguenti ulteriori risultati principali:

a) la *velocità di propagazione* media è risultata di 2,6 km/sec per le onde microsismiche a Guantanamo, di 4 km/sec a S. Juan, di 3,25 km/sec a Richmond, in accordo con le diverse stratificazioni geologiche superficiali;

b) il *periodo dei microsismi* (generalmente compreso fra 3 e 8 sec, se l'origine dista più di 100 Km) e la *regolarità delle onde* dipende in linea di massima dalla distanza, ma aumenta anche spesso con l'ampiezza;

c) i *microsismi sono molto probabilmente onde superficiali*, la cui ampiezza diminuisce esponenzialmente con la profondità: poiché la maggior parte dell'energia nelle onde superficiali si propaga in uno strato di spessore uguale alla lunghezza d'onda, dato che in generale la velocità di propagazione dei microsismi è compresa fra 2,5 e 4 km/sec, il loro periodo fra 3 e 7 sec, la lunghezza d'onda fra 12 e 16 km, l'energia dei microsismi si dovrebbe propagare principalmente nei primi 20 km della crosta terrestre; perciò le *superfici di discontinuità che separano le differenti unità geologiche e che si estendono ad una profondità di almeno una frazione non trascurabile della lunghezza d'onda dei microsismi, riflettono o rifrangono una parte dell'energia*: da ciò l'importanza di queste superfici di discontinuità nella distribuzione dell'ampiezza dei microsismi nelle direzioni attorno all'origine; e inversamente l'importanza dei microsismi per lo studio della struttura geologica superficiale;

d) le *oscillazioni dei microsismi sembrano avere ampiezza maggiore nella direzione di propagazione*, il che confermerebbe l'opinione di molti AA. secondo i quali i microsismi sono prevalentemente onde di Rayleigh;

e) *l'ampiezza dei microsismi sembra dipendere dalla profondità del mare al centro del ciclone* (invece la sig.na Charpentier (1918) sostiene che i microsismi sono prodotti solo quando il ciclone arriva sulla piattaforma continentale allargata all'isobata di 1000 m);

f) *l'energia dei microsismi ha origine dall'energia del ciclone*;

g) *i microsismi non possono essere originati dall'urto delle onde contro la costa*, perché queste viaggiano con velocità che raramente supera i 60 km all'ora, mentre l'effetto del ciclone sui microsismi è risultato propagarsi con velocità molto maggiore.

Quasi contemporaneamente, il Bonchkovski (1946) applicava ai microsismi registrati nelle stazioni di Pulkovo, Mosca e Sverdlovsk l'analisi armonica, per ricavare l'onda fondamentale di 8 sec: costruita poi la proiezione del moto orizzontale ad essa corrispondente, ne sono risultate delle ellissi, con l'asse maggiore nella direzione di provenienza: sicché per intersezione è possibile determinare l'origine dei microsismi. La conclusione è che, secondo l'A., i microsismi sono causati dall'urto dei forti venti occidentali del fronte freddo del ciclone contro le montagne della Scandinavia.

Qui è però doveroso ricordare che già nel 1941 il Bungers aveva studiato un metodo per ricavare la direzione di provenienza dei microsismi, nell'ipotesi che essi risultassero dalla sovrapposizione di due treni di onde di Rayleigh con ampiezza pressoché costante e direzioni di provenienza differenti: esso consiste nel cercare sulle due componenti orizzontali due massimi in concordanza di fase, e la concordanza immediatamente successiva. Le ampiezze di questi massimi, composte con la regola del parallelogramma, determinano i vertici del parallelogramma circoscritto alle figure di Lissajous descritte dalla particella in oscillazione per azione dei microsismi. Il lato maggiore di questo parallelogramma è in una delle direzioni di provenienza, il lato minore nell'altra.

Nonostante questi notevoli risultati, il problema dei microsismi era però ben lontano dall'esser risolto, soprattutto per quanto riguardava la genesi e la natura fisica dei microsismi, tanto che il Murphy (dicembre 1946) non trovava modo migliore per esprimere le incertezze ancora dominanti, che dando ad una sua Nota, in cui passava in rassegna i progressi compiuti, il titolo «*I microsismi, questi sconosciuti*». Nella stessa Nota l'A. auspicava che più abbondante materiale sperimentale venisse offerto in ogni fase della ricerca sui microsismi, specialmente nelle vicinanze dell'origine, in particolare sopra gli oceani.

Con le stesse conclusioni, riguardanti la necessità di ulteriori informazioni dettagliate sulle relazioni fra microsismi e cicloni, Press ed Ewing (1948) chiudevano la loro Memoria di fondamentale importanza, di cui parleremo più avanti.

3. — *Impostazione delle ricerche sui microsismi a Trieste.*

Avendo a disposizione i sismogrammi registrati a Trieste dal marzo 1931 per i sismografi Wieckert, dal gennaio 1933 per i fo-

tosismografi Alfani, e d'altra parte disponendo dalla stessa epoca fino al giugno 1940 del « Bollettino di informazioni meteorologiche per l'Aeronautica », pubblicato giornalmente dal Ministero dell'Aeronautica, Roma, abbiamo ritenuto opportuno di utilizzare questo vasto materiale per una ricerca sistematica delle correlazioni esistenti fra i due fenomeni. A ciò siamo stati anche indotti dalle seguenti considerazioni:

a) la posizione geografica di Trieste consente una registrazione chiara dei microsismi provenienti da qualunque zona sia dell'Atlantico nord-occidentale che dal Mediterraneo, per cui già a priori erano da attendersi risultati notevoli da un loro confronto:

b) il sottosuolo della Stazione Sismica di Trieste, formato da arenaria fogliettata (flysch) ma consistente, non è tale da esaltare sensibilmente il movimento per vibrazioni proprie, e quindi non è causa di quella maggiore complessità nei diagrammi che accompagna questo effetto; inoltre l'isolamento della Stazione dallo strato superficiale di terreno circostante, ed il fatto che questo è artificialmente elevato e quindi poco coerente, fanno sì che le vibrazioni a cortissimo periodo dovute al passaggio di veicoli nelle vicinanze, vibrazioni di motori, ecc., non vengano trasmesse agli strumenti: sicché essi si trovano in condizioni di tranquillità particolarmente idonee per la registrazione di movimenti con ampiezza e periodo piuttosto esigui quali sono i microsismi.

Notiamo ancora subito che non tutti i sismogrammi sono più disponibili, alcune serie essendo andate disperse nel bombardamento che il 10 giugno 1944 distrusse gli Uffici dell'Osservatorio. Inoltre le costanti strumentali essendo state in media nel periodo di funzionamento della Stazione:

Sismografo	Regi-trazione	Comp.	To	V ₀	ν
Wieckert 1000 kg	meccanica	NW-SE	4-6 sec	200-220	3-5
» 1000 »	»	NE-SW	4-6 »	200-220	3-5
» 80 »	»	Z	4-5 »	60-80	2-5
Alfani 3 »	fotografica	N-S	7-13 »	1.400 ca	∞
» 3 »	»	E-W	10-13 »	1.700 ca	∞

l'ingrandimento (dinamico) massimo per i Wieckert orizzontali e per quello verticale è stato (per il caso di risonanza), con i valori dello smorzamento ν sempre mantenuti piuttosto elevati, di 300 e

100, rispettivamente: poiché i microsismi registrati a Trieste ben raramente superano l'ampiezza di 1 micron (valore massimo finora trovato: 2.2 micron), ne segue che solo in casi rarissimi l'ampiezza dei microsismi sui sismogrammi Wieckert ha superato 0.3 mm per le componenti orizzontali, 0.1 mm per la componente verticale. Di qui la necessità di limitare lo studio ai soli fotosismogrammi.

Poiché, come sopra si è visto, sembra ormai accertato che i microsismi (non locali; e forse anche « non mediterranei »: v. pag. seguente) sono originati nel centro dei cicloni, o in prossimità di esso, lo studio a Trieste è stato volto soprattutto alla ricerca:

a) *delle correlazioni fra le caratteristiche dei cicloni e quelle dei microsismi*, allo scopo di poterne ricavare elementi utili per l'individuazione delle cause e della genesi dei microsismi:

b) *della natura fisica dei microsismi*:

c) *delle caratteristiche proprie dei microsismi per le varie regioni di provenienza e direzioni di propagazione*, allo scopo di preparare il materiale d'osservazione per ricerche sulle caratteristiche geo-tettoniche delle regioni considerate, ed anche per costituire un fondamento per l'utilizzazione dei microsismi a scopo di osservazione dello spostamento dei cicloni e previsione del tempo.

Perciò il lavoro preparatorio è stato così impostato:

a) per i *microsismi*, lettura alle ore 6-12-18-24 (TMG) del periodo (in decimi di sec) e calcolo, in funzione dell'ingrandimento dinamico, dell'ampiezza del moto vero del suolo (in decimi di micron); inoltre, descrizione del comportamento dei microsismi durante la giornata, esame del loro tipo caratteristico, ecc.:

b) per i *cicloni*, determinazione della posizione del centro, del minimo di pressione, della sua area, del gradiente di pressione, del vento al centro (direzione e intensità).

Questi elementi sono stati quindi tutti correlati fra loro e riportati graficamente, nel modo e con i risultati che più avanti esporremo.

Come si può facilmente intuire, un simile lavoro preparatorio deve necessariamente procedere lento: difatti esso, iniziato nell'ottobre 1947, ha potuto esaurire fino ad oggi — salvo qualche piccola interruzione — i seguenti periodi:

1933	1934	1937
1° febbraio-11 aprile:	1° gennaio-8 febbraio:	1-31 gennaio:
3-30 settembre:	15 febbraio-21 marzo:	17 febbraio-25 luglio.
1-31 dicembre:		

Essi si riferiscono a 129 giorni nel 1933, 74 giorni nel 1934 e 190 giorni nel 1937; cioè, complessivamente oltre 13 mesi.

Le cartine ed i risultati che seguono si intendono ricavati dagli stessi periodi. Sulle stesse è riportata la distanza da Trieste, di 500 in 500 km, e le isobate di 1000, 2000 e 3000 m.

Precisiamo ancora che durante lo svolgimento del lavoro è risultata nettamente la necessità di distinguere, onde poter ricavare qualche indicazione utile da un esame comparativo, i microsismi del periodo invernale dagli altri, in quanto *d'inverno i microsismi presentano in generale sempre ampiezze e periodi maggiori*. Ed è stato trovato che nel periodo invernale andavano compresi proprie i microsismi fra il 21 dicembre e il 21 marzo. Fanno eccezione solo due casi (6 aprile 1933 e 30 settembre 1933), indicati in *fig. 2*.

Osserviamo ancora che ci occuperemo separatamente dei *microsismi di origine locale* e di quelli di *lontana origine*, intendendo con questi tutti quelli originati a più di 50-100 km di distanza. I secondi sono quelli che normalmente sono stati finora studiati, e quindi incominciamo anche noi da questi.

Per brevità e chiarezza d'esposizione, cercheremo sempre che possibile di compendiare i risultati graficamente. Per gli stessi motivi, i casi ambigui sono stati eliminati, per esempio quando coesistevano contemporaneamente due cicloni, e non era possibile decidere se uno solo dei due, e quale, fosse la causa dei microsismi.

Menzioniamo infine il fatto che, mentre per i microsismi di origine atlantica la dipendenza dal *centro* del ciclone è stata qui chiaramente confermata, quelli di origine mediterranea sembrano in connessione soprattutto col *fronte freddo* del ciclone: sono perciò state iniziate ricerche più dettagliate in proposito, sulle quali si riferirà a parte.

4. — *Microsismi di lontana origine.*

Poiché quali caratteri dei microsismi si possono assumere il *periodo*, la *forma* e l'*ampiezza*, li esamineremo separatamente, cercando i fattori che influiscono su ciascuno di essi.

A) *Periodo.* — Le *figg. 1 e 2* dimostrano chiaramente quale sia la distribuzione del periodo dei microsismi registrati a Trieste nelle diverse stagioni dell'anno. Sono indicati con 0 i cicloni che non hanno dato microsismi apprezzabili a Trieste. Come si vede, ciò si verifica quasi sempre quando il centro del ciclone è sulla terra, per cui ri-

sulla confermato che *i cicloni non producono in generale microsismi quando si trovano su terra*. Le poche eccezioni col centro della Penisola Scandinava, sull'Italia e sulla Dobrugia nel periodo invernale, sull'Islanda e Irlanda nelle altre stagioni non si possono considerare in contrasto con queste conclusioni, in quanto i bordi della zona di minimo dell'area depressionaria si trovano in ogni caso sul mare.

Più incerto è il caso dei due centri sulla Finlandia e sulla Carelia (*fig. 1*), perché i microsismi non sono nettamente individuabili; può però anche darsi che la natura speciale del suolo formi un sistema più facilmente eccitabile (tale è forse anche la Valle Padana), secondo quanto ammette la teoria di Press ed Ewing (1948), già sopra menzionata e su cui più avanti ritorneremo.

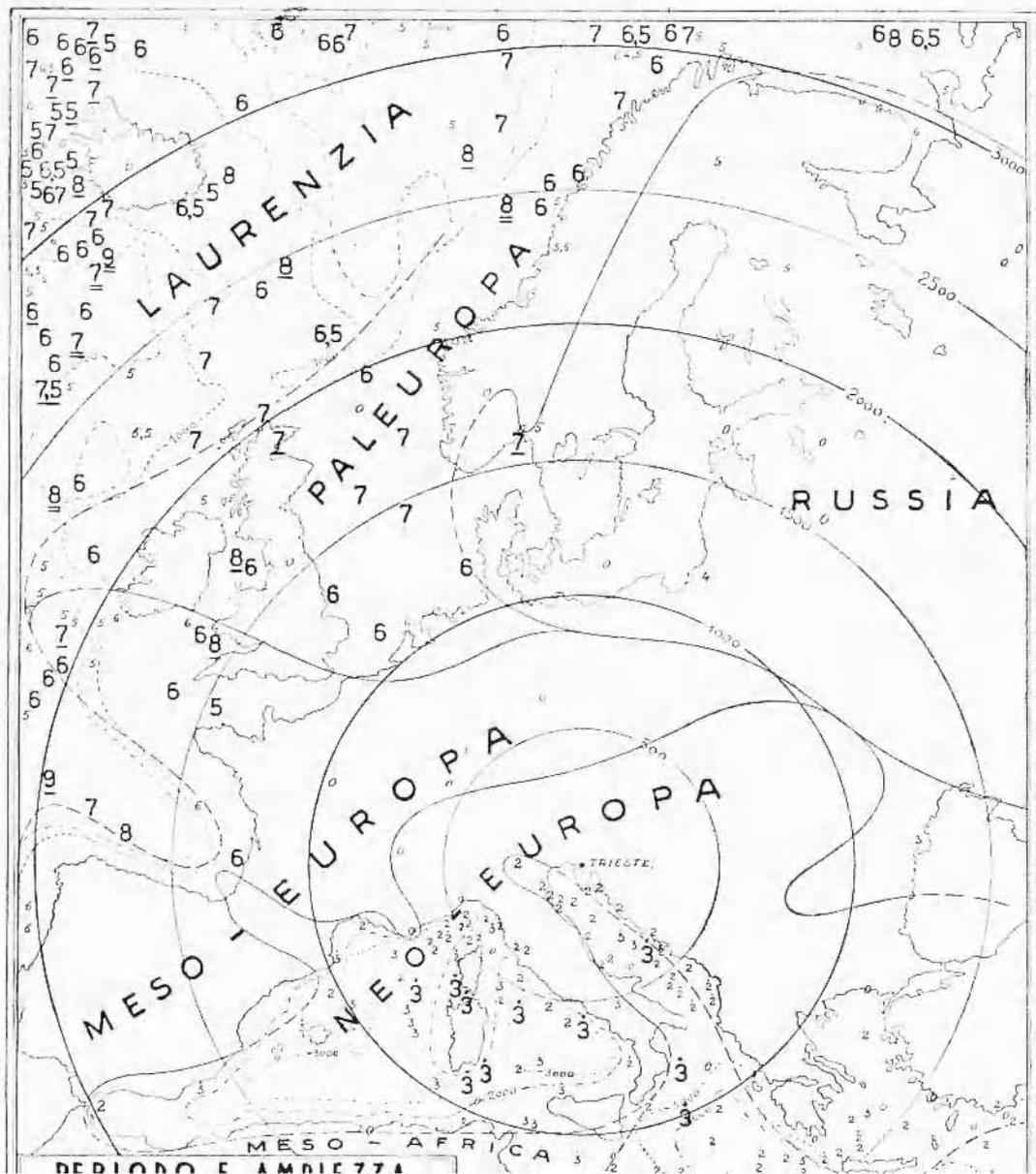
Dall'esame delle *figg. 1 e 2* ricaviamo inoltre le seguenti conclusioni:

a) il periodo è parzialmente funzione della distanza, se i microsismi si propagano in terra; non ne sembra dipendere invece per quella parte del tragitto che separa il centro del ciclone dalla terra ferma.

La prima affermazione risulta dal fatto che a Trieste i microsismi aventi l'origine nell'Oceano Atlantico, nel Mare del Nord e nel Mar Baltico hanno periodo non inferiore a 4 sec, mentre i microsismi con origine nel Mediterraneo non superano mai i 3 sec di periodo. Ciò è in accordo con la teoria e le osservazioni sulla propagazione delle onde superficiali, per le quali l'assorbimento cresce rapidamente con la frequenza, e quindi (ed a causa della dispersione) il periodo che esse presentano aumenta col crescere della distanza epicentrale.

La seconda affermazione risulta dal fatto che una differenza anche di 2000 km di mare nella distanza da Trieste non influisce sensibilmente nel periodo dei microsismi: nel Mediterraneo, si sono trovati microsismi con 2 sec di periodo per cicloni sia nell'Alto Adriatico che presso Gibilterra e presso l'Egitto; analogamente si hanno microsismi con periodo di 4 e 6 sec sia nel Mare del Nord che a Nord dell'Islanda. Invece l'esperienza insegna che per un aumento di 2000 km della distanza in terra l'aumento del periodo delle onde superficiali con periodi dell'ordine di grandezza di quelli dei microsismi qui considerati, è all'incirca di 2-6 sec.

Questa constatazione può essere di fondamentale importanza per le ipotesi sulla genesi e propagazione dei microsismi, perché sembrerebbe dimostrare che *essi non si trasmettono dal centro del ciclone sul fondo, per poi raggiungere la terra ferma lungo il fondo stesso, perché in*



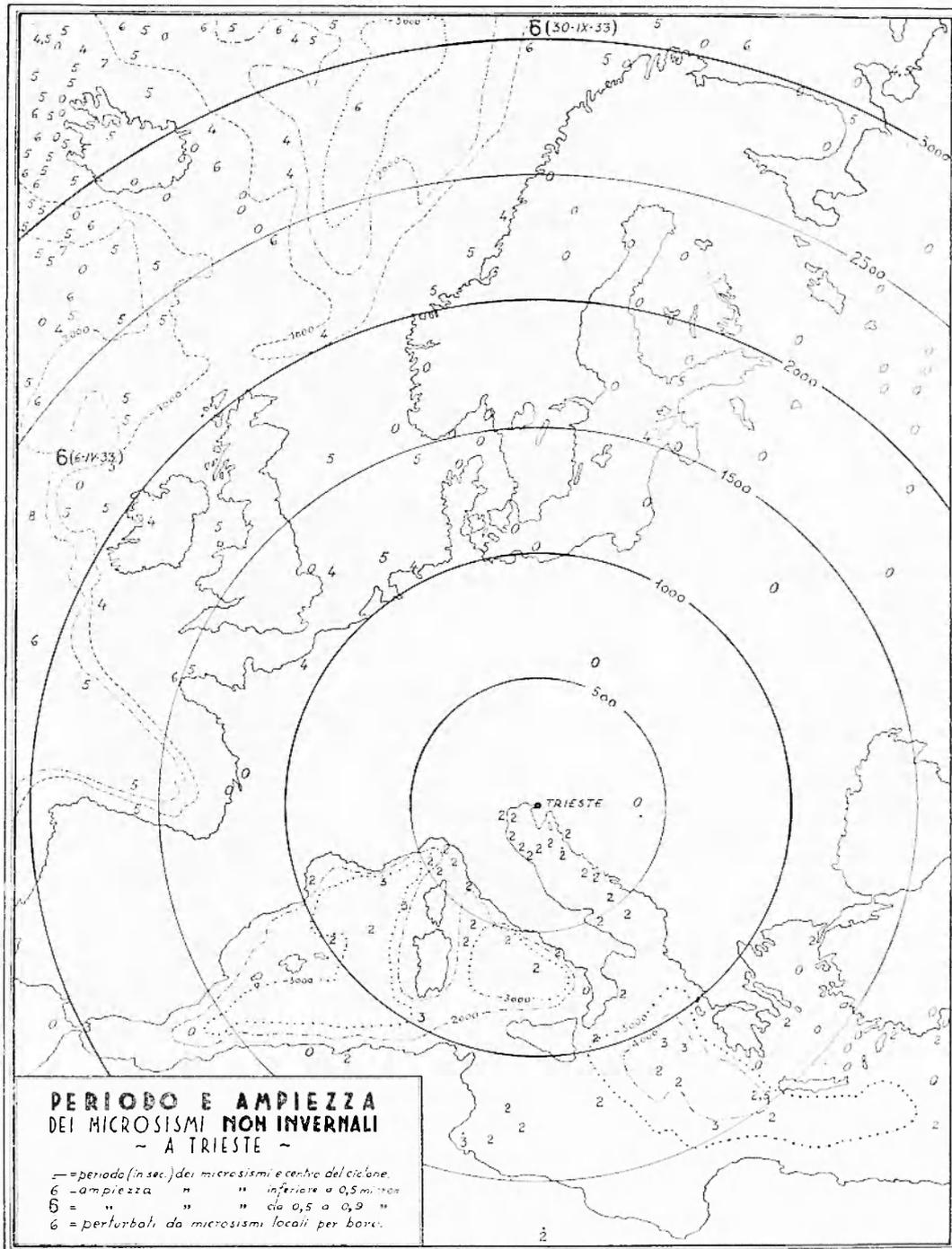


Fig. 2

questo caso il periodo dovrebbe essere una funzione sensibile della distanza anche per il tragitto in mare.

b) *Il periodo è collegato con l'ampiezza dei microsismi.* Specialmente la *fig. 1*, dove le variazioni di ampiezza sono più notevoli, dimostra questo asserto: nel Mare del Nord e nell'Atlantico, quasi tutti i periodi maggiori (di 8 e 9 sec) si hanno quando l'ampiezza dei microsismi registrati a Trieste è non inferiore a 1 micron.

Probabilmente entrambi sono effetti di una stessa causa.

c) *In qualche caso, il periodo dei microsismi sembra dipendere dall'area del ciclone.* Ciò risulta dal confronto delle *figg. 1 e 2* con le *figg. 7 e 8*, rispettivamente. Ma questa relazione non è ben provata, ed ha bisogno di ulteriori conferme.

d) *Il periodo dei microsismi non sembra dipendere dalla profondità del mare in prossimità del centro del ciclone.*

e) *Il periodo dei microsismi non presenta alcuna particolare relazione diretta con la struttura tettonica generale.* Ciò risulta evidente dalla *fig. 1₂* dove è riportata anche nelle sue linee generali la suddivisione tettonica dell'Europa secondo H. Stille (Kober 1942).

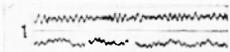
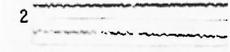
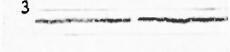
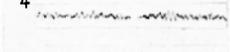
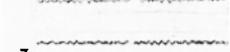
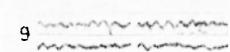
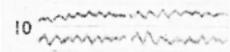
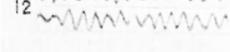
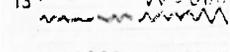
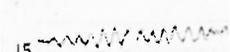
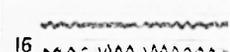
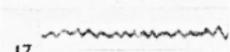
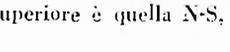
B) Forma. — La forma dei microsismi dipende naturalmente dal periodo, dall'intensità e dalle diverse onde di cui essi sono la risultante. E' quindi ovvio che le diversità nella distanza e nella natura degli strati attraversati giuochino un ruolo fondamentale nella determinazione della forma dei microsismi. Su questa poi devono anche influire sensibilmente le diversità delle condizioni all'origine. In conclusione, era da prevedere un *aspetto caratteristico diverso per i microsismi a seconda delle diverse zone di provenienza.*

Poiché l'individuazione di questo aspetto caratteristico può avere importanza per una immediata determinazione approssimata, con i dati di una sola stazione, della zona in cui il ciclone si sta sviluppando, e successivamente può eventualmente consentire di seguirne gli spostamenti attraverso i cambiamenti di forma (elementi che possono riuscire preziosi per la previsione del tempo); e poiché d'altra parte esiste la possibilità, per lo meno teorica, di risalire da questa diversità di caratteristiche alle diversità geologiche, strutturali e di genesi sopra menzionate, abbiamo cercato di individuare queste caratteristiche di forma per i microsismi registrati a Trieste.

A tal fine, ogni qual volta i microsismi registrati non presentavano dubbi sulla loro origine, ne veniva prelevato un campione,

QUADRO I

*Aspetto caratteristico dei microsismi registrati a Trieste
per depressioni sul mare:*

	Alto Adriatico	(15.3.1937 - 1.58)
	Basso Adriatico	(23.2.1937 - 1.58)
	Ionio	(1.5.1937 - 5.12)
	Tirreno	(30.3.1937 - 1.04)
	Ligure	(17.2.1937 - 0.58)
	Golfo di Marsiglia	(13.3.1937 - 2.55)
	Mediterraneo occid.	(5.3.1937 - 3.55)
	Medit. a Sud della Sicilia	(13.5.1937 - 5.01)
	Egeo	(13.1.1937 - 5.58)
	<i>N. B. - Quelli a periodo brevissimo!</i>	
	Golfo di Guascogna	(27.1.1937 - 11.15)
	Mar Baltico	(22.2.1937 - 2.44)
	a W dell'Irlanda	(24.1.1937 - 7.42)
	presso l'Islanda	(12.1.1934 - 19.43)
	a N della Norvegia	(14.2.1933 - 6.15)
	a W della Norvegia	(9.2.1933 - 10.06)
	a N dello Jutland	(8.2.1934 - 2.48)
	Mare del Nord	(16.3.1931 - 11.39)

N. B.: Il minuto indicato è quello centrale. Per ogni esempio la componente superiore è quella N-S, l'inferiore la E-W; per i nn. 14 e 15 manca la comp. E-W.

nel punto dove si poteva ritenere che le caratteristiche cercate risultassero più distintamente. Nel *Quadro 1* abbiamo riportato un esempio per ogni categoria di campioni raccolti.

Oltre alle osservazioni già menzionate in *A)* a proposito dei periodi, ed a quelle che seguiranno in *C)* a proposito dell'ampiezza — confermate dagli esempi riportati nel *Quadro 1* — riteniamo giustificato affermare che, per le registrazioni a Trieste, risultano individuali i seguenti gruppi caratteristici di microsismi:

I. Gruppo mediterraneo, con i seguenti tipi:

a) *Adriatico* (1-2). Risultano costituiti da onde con notevoli differenze di periodo, specie sulla comp. E-W; conformemente al fatto che la breve distanza non consente un assorbimento sufficientemente selettivo.

b) *Ligure-Tirreno* (4-5). La stessa osservazione come sopra, meno accentuata; periodo leggermente minore; come se lungo il cammino i periodi brevi venissero assorbiti meno che non nel caso precedente.

c) *Ionio-Mediterraneo centr.-Egeo* (3-8-9). In generale periodo e ampiezza eccezionalmente piccoli; come se qualche causa si opponesse alla formazione dei microsismi in queste zone, o alla loro propagazione verso Trieste.

Riteniamo che probabilmente entrambe le cause sussistono: la prima, soprattutto per l'intensità generalmente piccola dei cicloni che si formano in queste zone; la seconda, probabilmente per qualche caratteristica della crosta terrestre fra l'origine e Trieste, da cui consegue un forte assorbimento.

d) *Mediterraneo occid.* (6-7). Aspetto già più regolare e periodo leggermente maggiore dei tipi precedenti.

II. Gruppo settentrionale, caratterizzato da treni d'onde smorzati con periodo e ampiezza in generale notevolmente maggiori di quelli del gruppo mediterraneo, onde di tipo sinusoidale regolari con periodo poco variabile; conseguenze queste dell'assorbimento, oramai completo per i periodi minori; della firmo-viscosità, che com'è noto, tende a trasformare gli impulsi irregolari in onde regolari a carattere sinusoidale; e del particolare meccanismo della genesi (v. § 5). I tipi si riducono ai seguenti:

e) *Atlantico* (10-12-13-14-15). Il tipo è unico per un'estensione notevole, corrispondente in linea di massima al blocco della Lau-

renza (v. *fig. 1*). La maggiore regolarità si ha per le onde a W dell'Irlanda (12) ed a W della Norvegia (15).

f) *Mare del Nord* (16-17). Periodi leggermente minori dei precedenti; treni d'onda in generale regolari, uniformi e poco smorzati.

g) *Baltico* (11). Ampiezza sempre esigua e periodo minimo fra quelli di questo gruppo, corrispondentemente al fatto che i cicloni arrivano sul Baltico generalmente dopo aver perduto la maggior parte della loro intensità, ed al fatto che si tratta di un mare chiuso, con profondità esigua.

In conclusione, riteniamo consigliabile continuare, con più ampio materiale di osservazione, nello studio dettagliato delle caratteristiche dei diversi tipi, per i motivi sopra esposti.

C) *Ampiezza*. — Essendo oramai ampiamente dimostrato che i microsismi hanno origine dai cicloni, resta da vedere anzitutto quale elemento con questi connesso è la causa dei microsismi. Abbiamo perciò pensato che un contributo essenziale sarebbe stato apportato qualora si fossero individuati almeno gli elementi del ciclone che influiscono sull'ampiezza dei microsismi.

A tal fine, abbiamo confrontato separatamente con l'ampiezza dei microsismi registrati a Trieste:

a) *La profondità del ciclone*. L'esame della *fig. 3* rivela chiaramente che, *in generale, l'ampiezza dei microsismi dipende dalla profondità del ciclone*. Ciò risulta dal periodo invernale, perché in esso i cicloni sono molto più intensi; e in particolare per i cicloni atlantici, che sono quelli che raggiungono i minimi più notevoli. Nelle altre stagioni (*fig. 1*) i minimi non raggiungono gli elevati valori invernali, e la corrispondenza non si manifesta.

Ma risulta anche evidente dalla *fig. 3*, come del resto era da aspettarsi, che l'ampiezza dei microsismi non dipende *solamente* dalla profondità: in particolare, *i cicloni molto profondi producono quasi sempre microsismi molto intensi*, tranne nei casi in cui si trovano molto prossimi alla costa (v. Norvegia sett. e Inghilterra merid.); ma esistono dei casi di microsismi molto intensi senza che la profondità del ciclone sia notevole (v. per es. a SW dell'Irlanda).

Piuttosto però che con la profondità del ciclone, era da prevedere che l'ampiezza dei microsismi risultasse in stretta relazione con un altro elemento strettamente collegato con la profondità stessa:

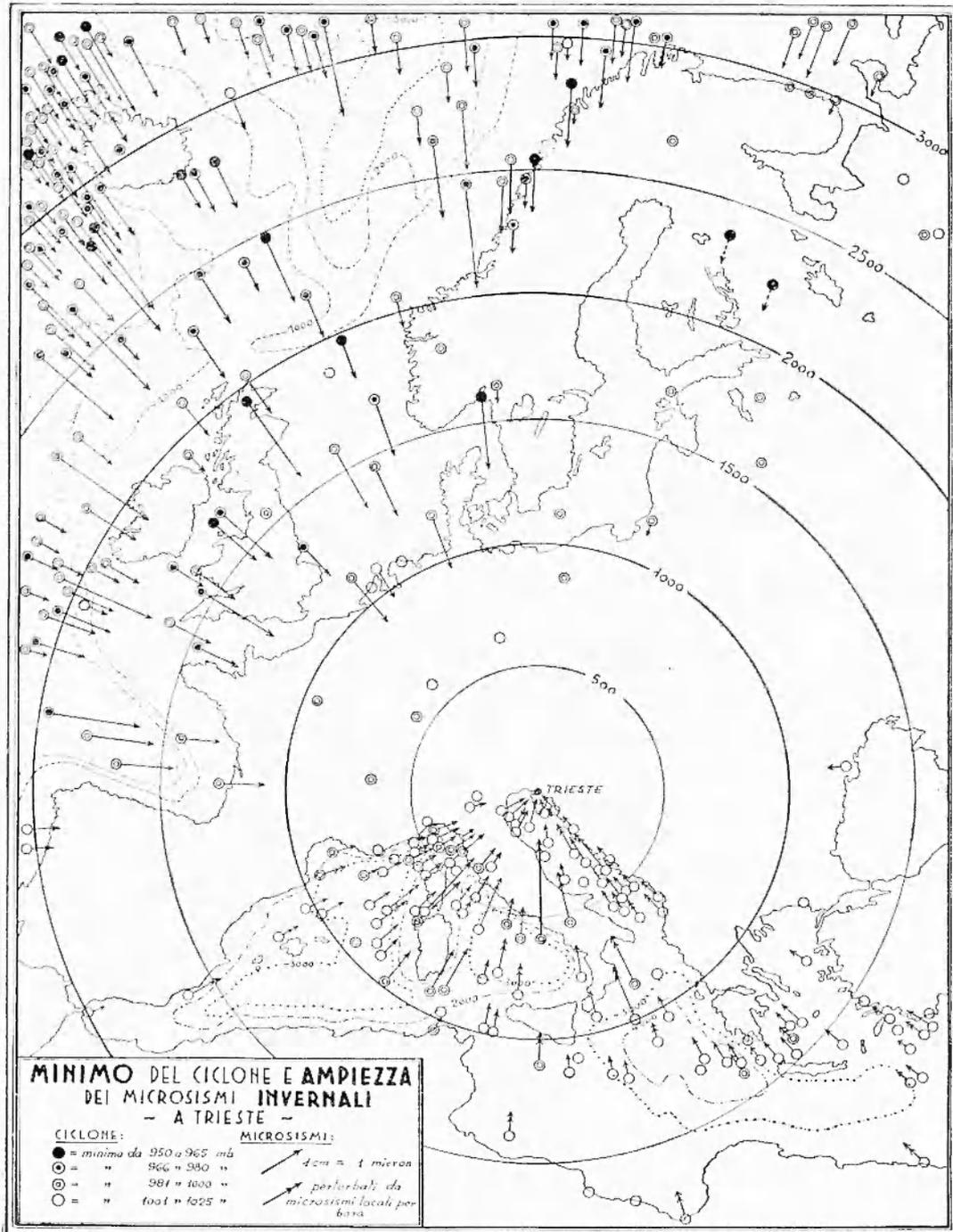
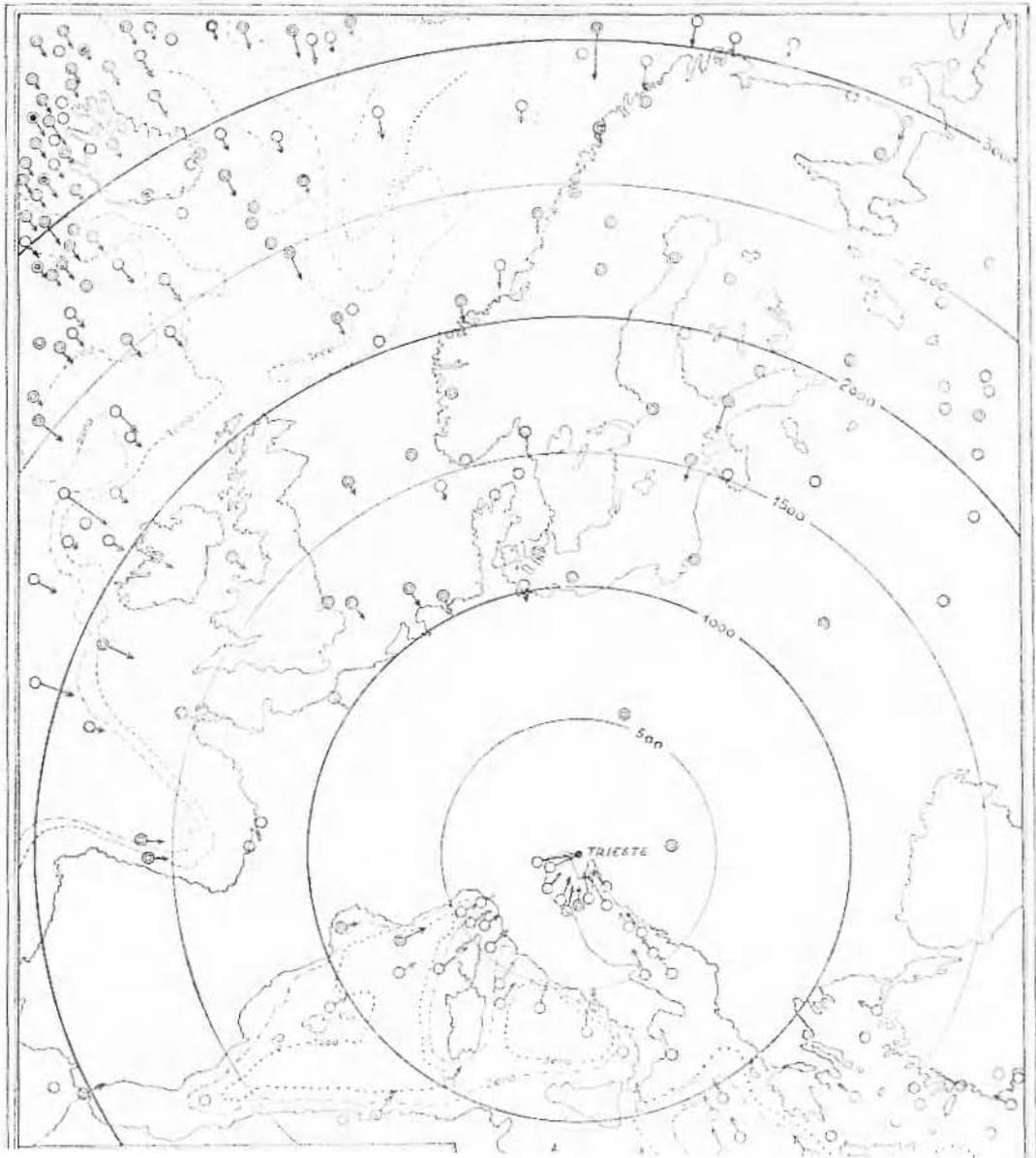


Fig. 3



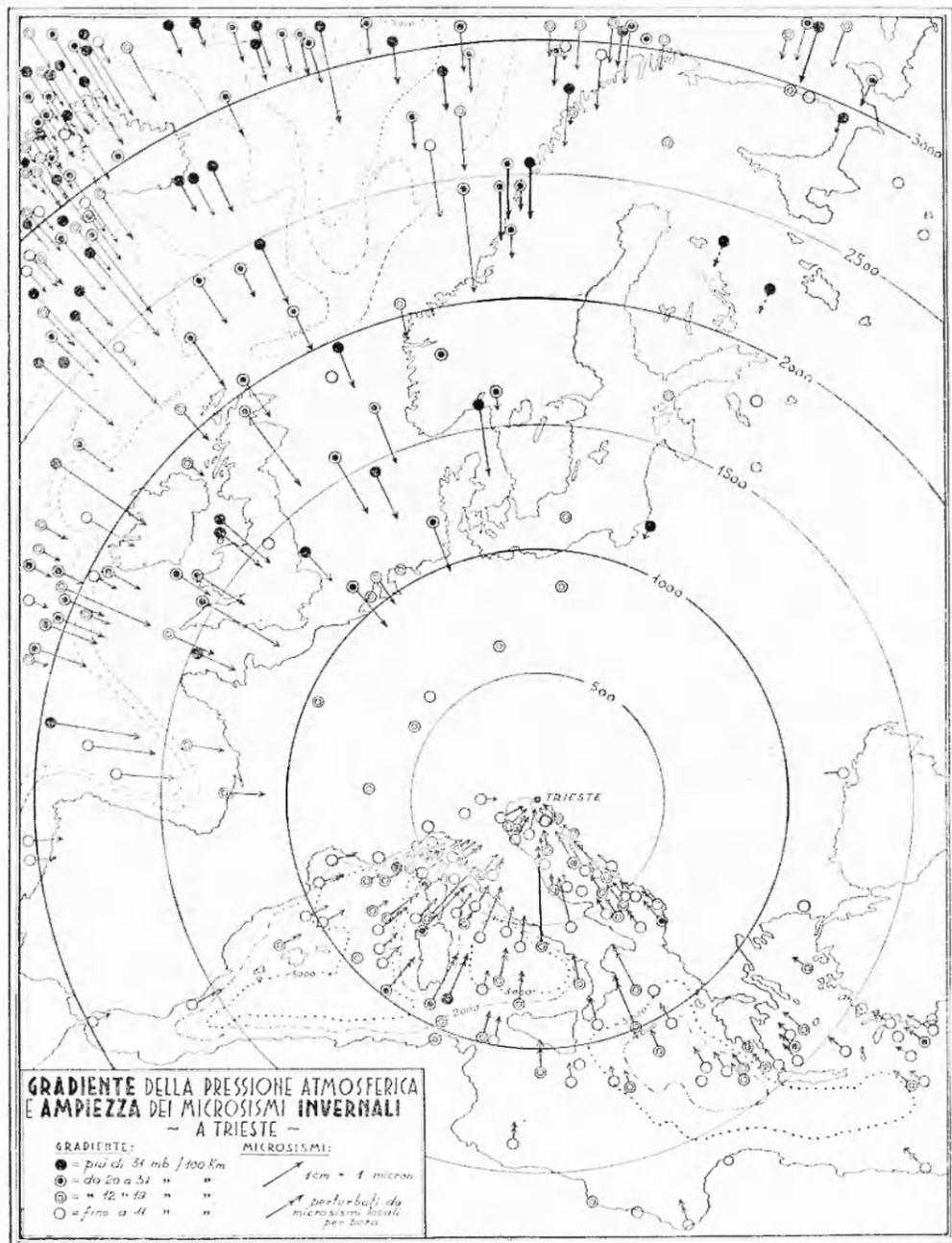


Fig. 5

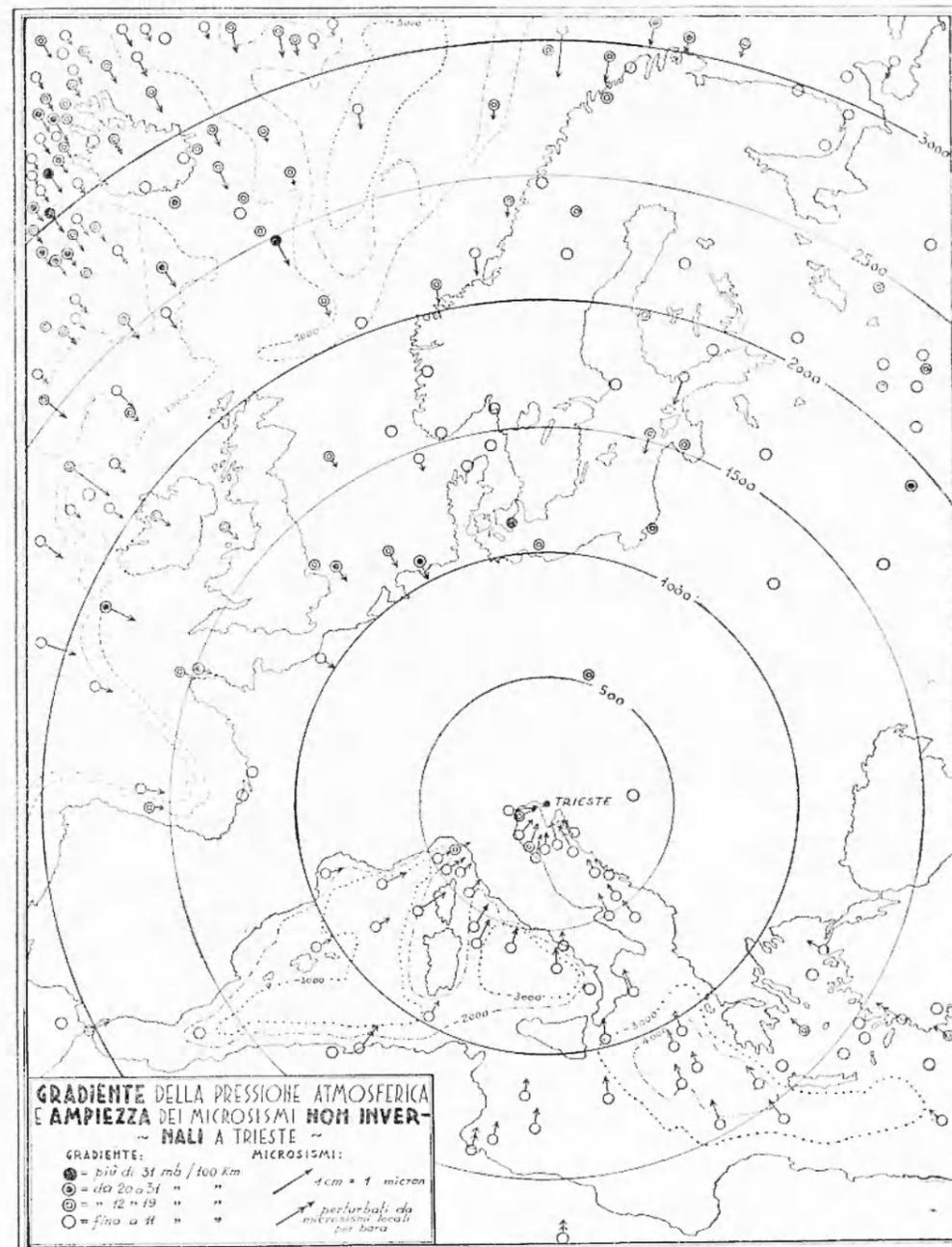


Fig. 6

b) *Il gradiente della pressione atmosferica.* Qui la corrispondenza con l'ampiezza dei microsismi è ottima, come risulta dalla fig. 5, soprattutto dai cicloni atlantici (per quanto si è sopra detto): ogni ciclone con gradiente non inferiore a 20 mb/100 km produce d'inverno microsismi intensi (cioè con ampiezza maggiore di 0,5 micron a Trieste; eccezione solo a SW dell'Irlanda), e viceversa quasi tutti i microsismi di ampiezza notevole sono originati da cicloni col gradiente non inferiore a quello indicato. Nelle altre stagioni invece (fig. 6) anche un gradiente forte non riesce a provocare microsismi intensi: segno questo che, oltre al gradiente, deve influire probabilmente anche la temperatura.

Conseguenza immediata del gradiente di pressione è la *velocità del vento*, ma non abbiamo potuto constatare una stretta relazione con l'ampiezza dei microsismi, probabilmente perché in generale mancano misurazioni dirette nella zona di minimo del ciclone, quando esso è sul mare (condizione questa, come abbiamo visto, necessaria per la genesi dei microsismi).

Invece collegata solo entro certi limiti col gradiente di pressione è:

c) *L'estensione della regione di minimo del ciclone.* L'idea sorta all'inizio del lavoro, che cioè un'area di minimo ristretta favorisse l'aumentare dell'ampiezza dei microsismi, non è stata confermata dai dati successivi. Anzi, dalla fig. 7 risulta che d'inverno i microsismi più intensi si hanno da cicloni con vasta area di minimo. Come era da attendersi, l'inverso non è valido: cioè, una vasta area depressionaria non è affatto motivo perché si debbano avere microsismi intensi. Nelle stagioni non invernali (fig. 8) non si può dedurre alcuna correlazione.

In conclusione, riteniamo si possa accettare come sufficientemente dimostrata (almeno per i cicloni non mediterranei) *la dipendenza dell'intensità dei microsismi dal gradiente di pressione in prossimità del centro del ciclone, e (quindi) dal valore del minimo del ciclone; l'estensione della sua area può contribuire d'inverno ad aumentare l'intensità (e forse anche il periodo) dei microsismi.*

Le correlazioni col fronte freddo sono in corso di studio.

5. — *Cause dei microsismi di lontana origine.*

Per una più proficua discussione sulle cause dei microsismi, riassumiamo nel seguente modo le cognizioni che si possono considerare sicuramente dimostrate:

condizione necessaria per la genesi dei microsismi di lontana origine è che, sul mare, si formi un ciclone; la condizione non è però sufficiente, perché occorre che il ciclone sia sufficientemente intenso, specie se in stagioni diverse dall'inverno, cioè che il gradiente di pressione in prossimità della sua area centrale sia tale da provocare sulla superficie del mare oscillazioni di pressione sufficientemente intense. Questo effetto è particolarmente sensibile d'inverno, e può risultare aumentato dall'estendersi dell'area sulla quale le oscillazioni atmosferiche si manifestano.

Poiché l'energia disponibile nel centro del ciclone si traduce nell'energia dinamica delle masse d'aria in movimento, l'ipotesi fino ad oggi più plausibile e generalmente ammessa è che l'effetto sia esclusivamente dovuto all'urto di queste masse contro il mare: effetto che i più erano concordi nell'ammettere fosse quello delle onde marine, dividendosi poi in due categorie per quanto riguardava la propagazione al suolo:

i primi (Wiechert, Gutenberg, e scuola tedesca) ammettevano che la propagazione fosse dovuta all'urto delle onde contro le coste, specialmente rocciose; questa ipotesi è stata confutata da Whipple e altri, i quali hanno dimostrato fra l'altro come le onde elastiche di alta frequenza prodotte dall'urto delle onde marine contro le rocce non potrebbero combinarsi in modo da produrre le oscillazioni relativamente lente dei microsismi; se mai, l'urto delle onde può essere la causa di microsismi *locali*, di cui parleremo più avanti; la stessa osservazione vale per l'urto del vento contro le montagne, cui si oppone anche il fatto che manchino microsismi di lontana origine quando il ciclone è su terra;

i secondi (Banerj, ecc.) ammettevano l'azione diretta sul fondo delle differenze di pressione dovute alle onde marine; questa ipotesi dovrebbe cadere anche, quando si consideri che le variazioni di pressione dovute alle onde marine non sono più sensibili già a 50-60 m. probabilmente anche tenendo conto della viscosità, e quando si tenga conto della conclusione di cui al § precedente, A), a).

Una recente pubblicazione dello Zanon (1918), che dimostra, sulla base delle registrazioni a Venezia di un *microbarografo Alfani*, come pulsazioni atmosferiche a breve periodo (dell'ordine di 1 sec) si sviluppino nell'interno di un ciclone, e si propaghino nell'aria a grandi distanze, sembrerebbe confermare l'ipotesi del Gherzi (1932) e a., secondo i quali sono le pulsazioni atmosferiche la causa prin-

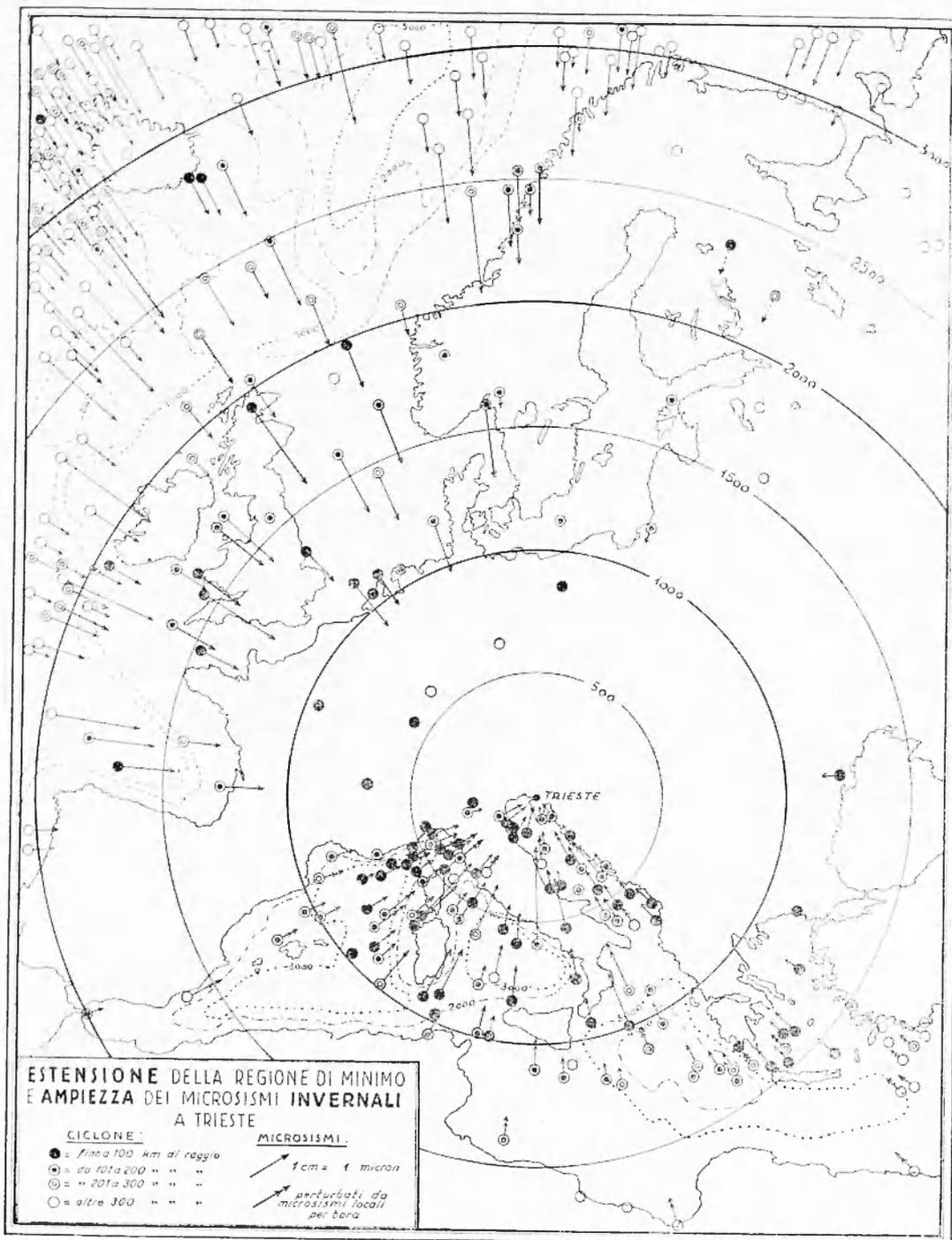


Fig. 7

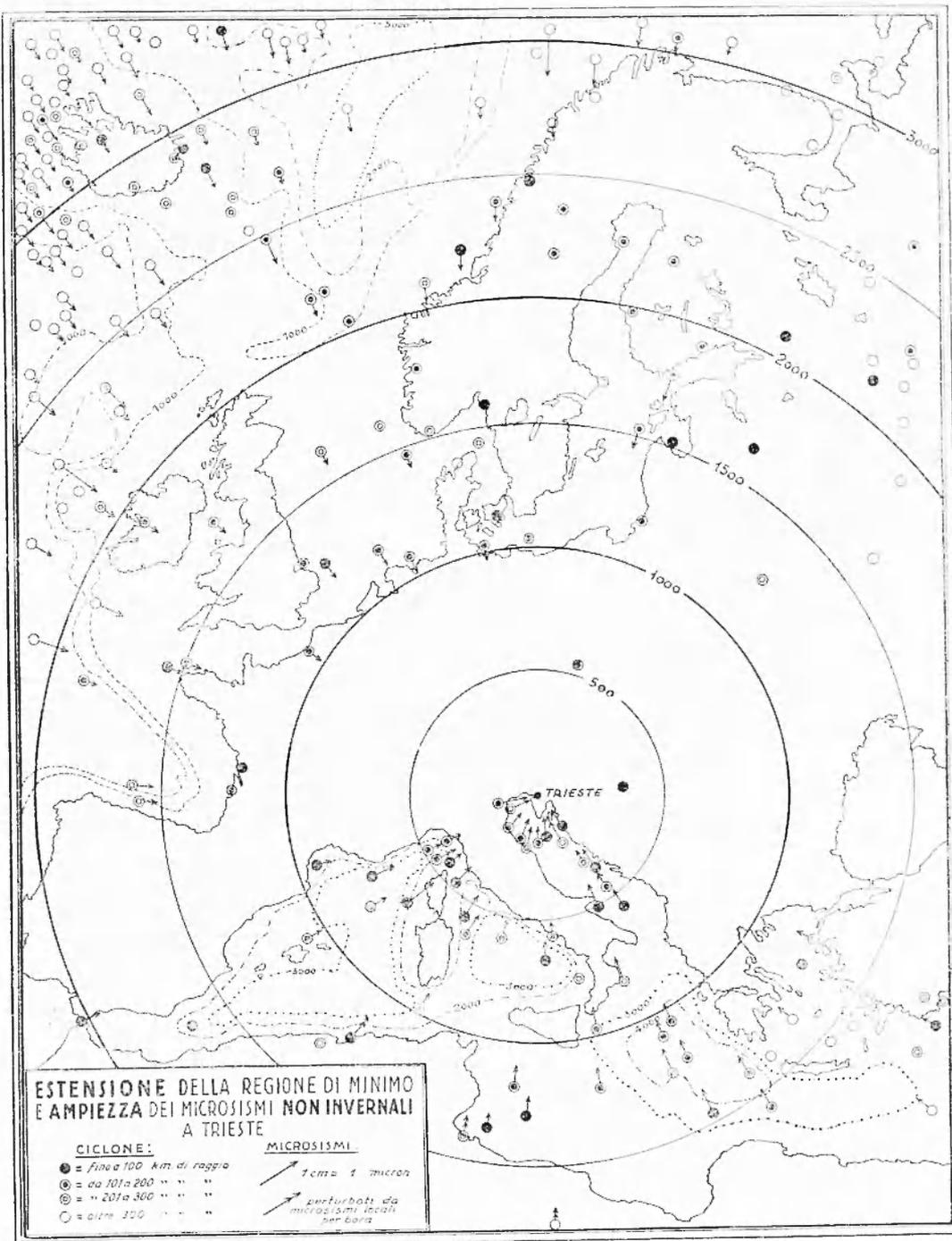


Fig. 8

riple dei microsismi. Osserviamo però che lo stesso effetto dovrebbe manifestarsi su terra, in particolare quando il centro del ciclone passa nelle vicinanze della stazione: il che, come abbiamo visto sopra, non avviene. Per cui questa causa è necessaria, ma non sufficiente.

Menzioniamo ora i risultati di uno studio (Morelli, 1948) su alcune esplosioni di mine subacquee nel Golfo di Trieste: simili esplosioni generano nel mare onde longitudinali di notevole intensità, il cui urto contro la costa o contro il fondo del mare dà origine — secondo quanto vedremo fra poco — a onde sinusoidali del tipo delle onde cosiddette di Rayleigh.

Questi risultati confermano pienamente quanto previsto da Press ed Ewing (1948), i quali hanno sviluppato una teoria sulla propagazione delle onde elastiche nel sistema costituito dall'acqua e dal fondo, ampliando la teoria di Pekeris sulla propagazione del suono in due strati liquidi, dopo che il Pekeris stesso aveva dimostrato che la sua teoria spiegava pienamente la maggior parte delle caratteristiche osservate da Ewing e Worzel per le onde sonore prodotte da esplosioni in acque poco profonde. La teoria di Press ed Ewing prevede appunto l'esistenza di un sistema d'onde costituito da onde del tipo cosiddetto di Rayleigh sulla superficie del fondo e di onde longitudinali più volte riflesse (totalmente), fra le quali si esercita interferenza positiva.

La propagazione delle onde elastiche di un simile sistema è dispersiva. In un punto sufficientemente distante i periodi predominanti saranno quelli associati con valori stazionari della velocità di gruppo: ciò viene appunto dimostrato dalle esplosioni in acque poco profonde (fig. 9). Così, ogni perturbazione non periodica, come per es. un'esplosione nell'acqua, o una forza impulsiva applicata alla superficie dell'acqua su un'area sufficientemente estesa, si presenterà dopo essersi propagata in acqua profonda, sotto forma di treni d'onde sinusoidali oscillanti con periodi corrispondenti a valori stazionari della velocità di gruppo. Questi periodi dipenderanno dalla profondità dell'acqua e dalle proprietà elastiche del fondo.

La teoria di Press ed Ewing prevede anche per i microsismi con brevi tragitti in acqua profonda un carattere di minore regolarità ed una gamma di periodi maggiore rispetto ai microsismi con lunghi tragitti in acque profonde: secondo quanto appunto abbiamo detto nel § precedente, parlando della forma dei microsismi.

La teoria non è stata ancora sviluppata per quanto riguarda il

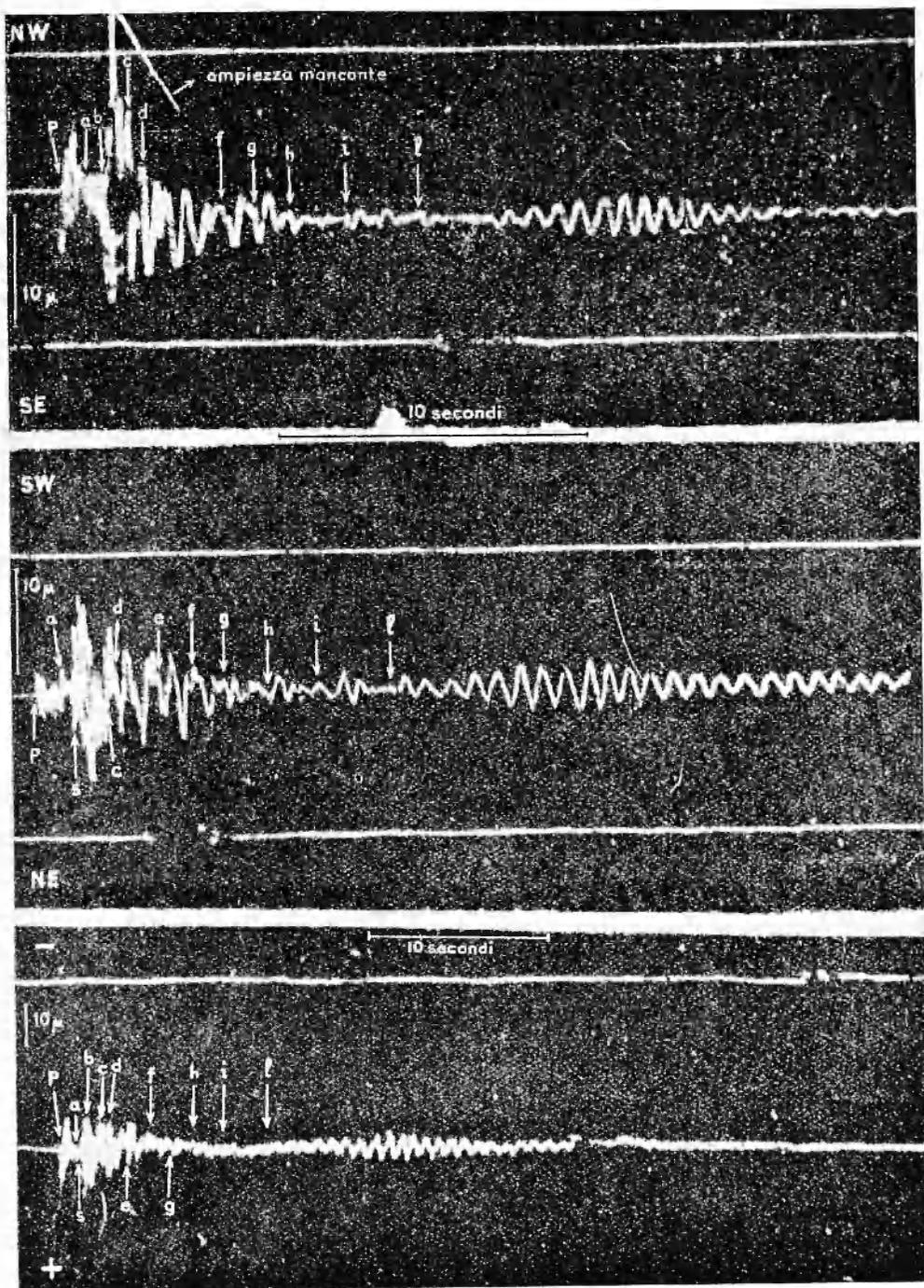


Fig. 9

Sismogramma di un'esplosione di mina subacquea nel Golfo di Trieste, a 5150 m. h=19 m. dal quale risulta il caratteristico treno d'onde sinusoidali smorzate risultante per interferenza da periodi molto prossimi, corrispondenti al valore minimo della velocità di gruppo (2.5.1917-9.08).

passaggio di energia al bordo continentale, ma si può ammettere per ora intuitivamente che quando il sistema d'onde di cui sopra raggiunge la superficie inclinata o verticale che delimita il continente, dà origine a onde elastiche di tutti i tipi: saranno però le onde superficiali dello stesso periodo delle onde incidenti a ricevere la parte maggiore dell'energia di queste. Ritourneremo sull'argomento del § seguente.

Qui riteniamo di concludere col seguente schema relativo alla genesi e propagazione dei microsismi, che tiene conto degli elementi finora accertati e che sembra costituire l'*ipotesi di lavoro* oggi più conveniente:

I microsismi di lontana origine sono generati nei cicloni sul mare, probabilmente da brusche variazioni della pressione atmosferica o dalle pulsazioni atmosferiche o dall'urto di masse d'aria contro la superficie del mare (in caso di cicloni violenti, tutte queste cause sono verosimilmente attive); gli impulsi atmosferici si traducono in onde longitudinali nell'acqua e nel conseguente sistema di onde elastiche secondo la teoria di Press ed Ewing, dal quale si generano sulla terraferma le onde del tipo cosiddetto di Rayleigh.

Questa ipotesi rende ragione della maggior parte delle correlazioni messe in evidenza nel § precedente, sia per quanto riguarda il periodo, che la forma e l'intensità.

6. — *Natura fisica dei microsismi di lontana origine.*

In uno studio (Morelli, in corso di pubblicazione) sulla cosiddetta fase principale dei terremoti lontani, siamo pervenuti alle seguenti conclusioni:

a) Le onde costituenti la cosiddetta fase principale di un sismogramma risultano dalla composizione di (almeno due) onde differenti aventi periodi anche sensibilmente diversi fra loro; di queste, la componente a periodo maggiore è generalmente un'onda di Love, cioè tangenziale trasversale, che persiste pure nella fase massima per un certo tratto, che può anche essere molto lungo; anche le altre componenti hanno però un carattere predominante trasversale.

b) La particella sollecitata da queste onde descrive in generale delle ellissi nel piano verticale, come vuole la teoria, ma anche nel piano orizzontale; le direzioni degli assi maggiori di queste ellissi non rimangono però costanti, ma variano, e non sempre nello

stesso verso: il rapporto fra lo spostamento verticale e quello orizzontale è variabile, e in ogni caso inferiore al valore teorico di 1.46 previsto dalla teoria (per il valore 0,25 del coefficiente di Poisson).

Sicché le onde previste dalla teoria di Rayleigh non si troverebbero « pure » nella fase principale di un terremoto lontano neppure come onde componenti. Ma non era questa la conclusione che ora ci interessa, bensì il fatto che *i caratteri sopra descritti in b) per le onde della fase principale, sono stati da noi trovati anche nei microsismi: in particolare, l'oscillazione per ellissi, la rotazione dell'asse maggiore di queste, l'inversione del verso di rotazione, ecc.* (v. anche Krug, 1937).

Nella *fig. 10* è rappresentato schematicamente l'andamento della rotazione del vettore orizzontale del moto di una particella per effetto di microsismi.

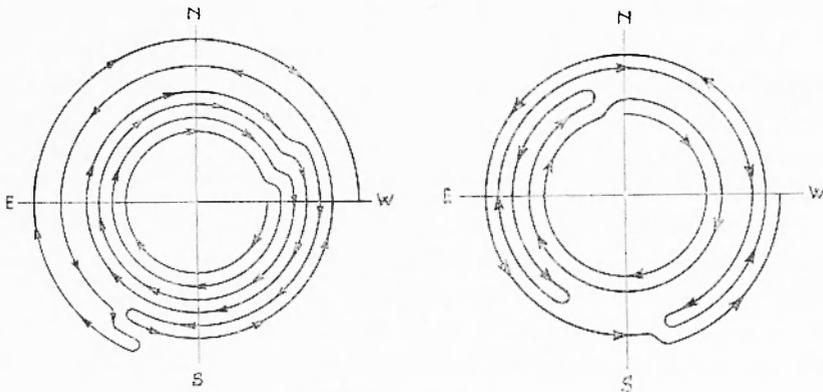


Fig. 10

Schema della rotazione nel vettore orizzontale dello spostamento della particella del suolo sotto l'azione di microsismi (*a sinistra*: 23. I. 1937, dalle 23.49 alle 24.10, ciclone a N dell'Islanda; *a destra*: 4. I. 1937, dalle 22.59 alle 23.20, ciclone a W dell'Inghilterra).

Figure analoghe erano state ottenute per la fase massima di un terremoto lontano anche dal Pannocchia (1941).

Sono così giustificate le affermazioni sulla natura fisica dei microsismi anticipate nel § precedente.

7. — *Microsismi di origine locale.*

Intendiamo come tali quelli dovuti a cause locali, che investono quindi zone limitate, con intensità che può essere anche notevole al

centro, ma che va rapidamente estinguendosi con la distanza. A differenza degli altri microsismi prima considerati, questi interessano soltanto gli strati superficialissimi della crosta terrestre, e lo sviluppo di energia rispetto ai precedenti, è minimo. Nel *Quadro 2* riportiamo alcuni esempi di microsismi di questa natura.

I più interessanti sono quelli *dovuti al vento*, ed in particolare alla *bora* (v. *Quadro 2, I*), il caratteristico vento da ENE, a raffiche, che investe spesso Trieste con grande intensità. L'urto del vento contro gli ostacoli del terreno provoca le oscillazioni di questo; mentre quelle a brevissimo periodo vengono rapidamente smorzate, quelle a periodo maggiore possono propagarsi a distanze più grandi (ma sempre limitate), ed in particolare essere registrate, anche per quanto si è detto sopra (§ 3) sulla natura del sottosuolo alla Stazione Sismica di Trieste; ma l'aspetto rimane irregolare, in conseguenza appunto del carattere irregolare della causa e della sua vicinanza dalla Stazione.

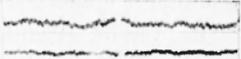
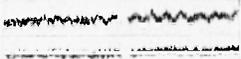
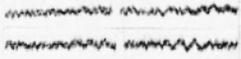
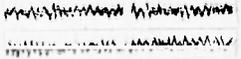
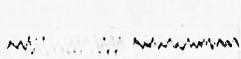
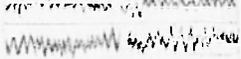
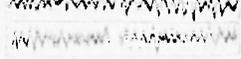
Osserviamo intanto subito che *non sono stati finora riscontrati microsismi con bora a meno di 25 km/ora*: ciò dimostra, come del resto era intuitivo, che perché microsismi di vento si manifestino, è necessario che esso raggiunga una data intensità, che dipende anche dalla natura del vento e dalla sua direzione.

Aumentando l'intensità del vento, cresce proporzionalmente l'intensità dei microsismi. Al n. 7 del *Quadro 2* sono riportati i microsismi generati da bora a 110 km/ora, una delle maggiori velocità finora registrate a Trieste: si vede chiaramente l'effetto dell'intensità del vento *sull'ampiezza* dei microsismi (che è di ben 1.5 μ , la più forte finora osservata per cause locali), ma anche — e ciò conferma quanto abbiamo detto sopra al § 4, A) — *sul periodo*. Si potrebbe pensare che la maggiore intensità del vento metta in oscillazione parti più estese, e probabilmente anche più profonde, degli strati superficialissimi, e che queste abbiano quindi un maggiore periodo di oscillazione proprio.

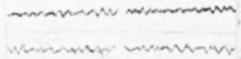
Passando agli altri venti, notiamo per es. che lo *scirocco* (n. 8), che per Trieste è pure un vento proveniente da terra, produce a parità di velocità con la bora (n. 3) microsismi leggermente inferiori in ampiezza sulla comp. E-W, ma ben maggiori sulla comp. N-S, in concordanza con la direzione di provenienza di questo vento (SE),

QUADRO 2

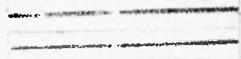
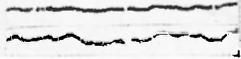
*Microsismi dovuti a cause locali.***I. Bora**

1		raffiche a 30 km/ora	(11.7.1937 - 12.01)
2		» » 48 »	(2.1.1934 - 12.02)
3		» » 55 »	(1.1.1934 - 15.23)
4		» » 70 »	(16.1.1934 - 16.03)
5		» » 78 »	(13.1.1934 - 18.17)
6		» » 105 »	(3.2.1934 - 6.56)
7		» » 110 »	(21.2.1933 - 9.10)

II. Altri venti

8		Scirocco: raffiche a 57 km/ora	(12.3.1937 - 12.44)
9		Libeccio: raffiche a 22 km/ora	(23.3.1937 - 2.05)

III. Temporale

10		con vento da E raffiche a 12 km/ora	(8.7.1937 - 3.59)
11		con vento da ENE (bora) raffiche a 25 km/ora	(9.7.1937 - 10.02)

N. B.: Il minuto indicato è quello centrale. Per ogni esempio la componente superiore è quella N-S, l'inferiore la E-W; per il n. 5 manca la comp. E-W.

che rispetto alla bora ha una più forte componente in direzione N-S.

Invece il *libeccio*, che per Trieste è vento dal mare (SW), provoca microsismi di notevole ampiezza (n. 9) anche per raffiche a solo 22 km/ora: ciò perché non è qui tanto l'effetto del vento contro il suolo quello che conta, bensì l'effetto delle *onde marine* generate dal libeccio contro la costa, e soprattutto contro le dighe, che si estendono per lungo tratto in mare sia a SW che a NNE della stazione.

Da quanto precede risulta chiaro che microsismi possono essere generati anche dall'urto dei venti contro le montagne, e delle onde contro le coste: ma si tratterà di effetti sempre locali anche se più o meno estesi, e quindi di natura completamente diversa, nei riguardi della genesi, dei microsismi di lontana origine che costituiscono l'oggetto principale delle ricerche.

Interessante è infine notare (*Quadro 2, n. 10 e 11*) che durante il passaggio di *temporali* su Trieste, anche con venti di intensità minima, e non certo tale da produrre microsismi per l'urto contro gli ostacoli del terreno (v. sopra), si registrano microsismi regolari, costituiti da treni d'onde sinusoidali pochissimo smorzati, con periodo fra 1.5 e 2 sec. e ampiezza minima (0,1 μ). Essi sono quindi verosimilmente dovuti alle pulsazioni atmosferiche che si generano coi temporali, messe in evidenza dai microbarografi (Zanon, 1948). Ciò non è probabilmente in contraddizione con i risultati negativi dei confronti fra microsismi e oscillazioni microbarografiche, trovati da Macelwane e da Gutenberg (v. sopra, § 2), perché essi si riferivano a microsismi di lontana origine, mentre qui si tratta di microsismi di origine locale.

Riteniamo anzi oltremodo consigliabile che le ricerche col microbarografo siano continuate ove tali strumenti sono in funzione, perché i risultati che se ne potranno ricavare saranno indubbiamente interessanti; e che in particolare converrebbe installare tali strumenti in prossimità delle zone dove i cicloni sono più frequenti, cioè (per l'Europa) l'Islanda, l'Irlanda e la Norvegia settentrionale.

3. — *Conclusioni.*

Il problema dei microsismi, di cui è stata messa in evidenza l'importanza pratica, sembra aver trovato la via per una soluzione definitiva. Il contributo che qui abbiamo portato, per quanto modesto, mostra tuttavia come anche con i dati di una sola stazione si possano ottenere risultati molto interessanti; intendiamo perciò

continuare nel loro studio, per approfondire alcuni punti ancora incerti, e per esaminarne altri qui appena accennati. I risultati finora conseguiti saranno indubbiamente di valido aiuto per l'impostazione delle ricerche future.

E' chiaro però che tali sforzi potranno conseguire risultati molto più cospicui se essi non resteranno isolati, ma verranno coordinati da qualche Ufficio Centrale o Ente appositamente creato a questo scopo; o quanto meno se una più stretta collaborazione unirà coloro che si occupano di queste ricerche.

Istituto Nazionale di Geofisica — Osserv. di Trieste — Luglio 1942.

RIASSUNTO

Si rende conto dei risultati ottenuti nello studio dei microsismi registrati dalla Stazione Sismica di Trieste, comparati con la posizione e caratteri dei cicloni da cui essi hanno origine. E' risultato fra l'altro che il periodo è funzione della distanza se i microsismi si propagano in terra, ma non sembra esserlo per quella parte del tragitto che separa il centro del ciclone dalla terra ferma: il che escluderebbe la propagazione dei microsismi lungo il fondo del mare; che l'ampiezza è funzione della profondità del ciclone, ma soprattutto del gradiente di pressione; che i microsismi, come le onde superficiali, hanno un aspetto proprio a seconda della regione di provenienza e del tragitto percorso: e ne sono stati individuati i vari tipi caratteristici per Trieste.

La natura fisica dei microsismi alla stazione registratrice risulta avere gli stessi aspetti delle onde superficiali, ricavati in altro lavoro. Per la spiegazione della genesi dei microsismi, l'ipotesi più plausibile sembra essere quella secondo cui gl'impulsi atmosferici si traducono in onde longitudinali nell'acqua e nel conseguente sistema di onde elastiche secondo la teoria di Press ed Ewing (la cui esistenza è stata dimostrata anche in uno studio su alcune esplosioni di mine subacquee nel Golfo di Trieste); queste si trasformano poi sul continente in onde superficiali. Vengono infine studiati i microsismi di origine locale, dovuti al vento, all'urto delle onde contro le coste, ecc.

BIBLIOGRAFIA

(1) BETTELLI D. T.: *Riassunto delle osservazioni microsismiche fatte nel Collegio alla Querce di Firenze* - Atti Acc. Pont. Nuovi Lincei, XXI, s. 2, Roma 1878.

- (2) BONCHIKOVSKI V. F.: *Microseisms and their causes* - Publ. Inst. Séism. n. 120, 42 pg., Moscou 1916.
- (3) BUNGERS R.: *Analyse eines mikroseismischen Sturmes* - Zeitsch. f. Geoph., XVII, 111-131, 1911-12.
- (4) CHARPENTIER J.: *Centres dépressionnaires, agitation microseismique et houle* - Ann. de Géoph., IV, 1, 1-11, Paris 1918.
- (5) GHERZI E.: *Cyclones and microseisms* - Gerlands Beitr. z. Geoph., 36, 20-23, 1932.
- (6) GILMORE M. H.: *Microseisms and Ocean Storms* - Bull. Seism. Soc. America, 36, 2, 89-119, April 1916.
- (7) GUTENBERG B.: *Microseisms and Weather Forecasting* - Journ. of Meteor., 4, 1, 21-28, Febr. 1917.
- (8) KOBER L.: *Tektonische Geologie* - Gebr. Bornträger, pg. 294, Berlin 1942.
- (9) KREIG H. D.: *Ausbreitung der natürlichen Bodenunruhe (Mikroseismik) nach Aufzeichnungen mit transportablen Horizontalseismographen* - ZS. f. Geoph., XIII, 328-346, 1937.
- (10) MORELLI C.: *Studio di alcune esplosioni subacquee nel Golfo di Trieste* - Annali di Geofisica. Roma. II. in corso di pubblicazione.
 — *Contributo allo studio della cosiddetta « fase principale » di un sismogramma* - Annali di Geofisica. Roma. in corso di pubblicazione.
- (11) MURPHY L. M.: *Microseisms, the Unknown* - Trans. Am. Geoph. Un., 27, VI, 777-780, Washington 1916.
- (12) PANNOCCHIA G.: *Studio della fase massima di un terremoto lontano* - La Ricerca Scient., 12, 5, Roma 1941.
- (13) PRESS F. ed EWING M.: *A theory of microseisms with geologic applications* - Trans. Am. Geoph. Un., 29, 2, 163-174, April 1948.
- (14) RAMIREZ J. E.: *An experimental investigation of the nature and origine of microseisms at St. Louis, Missouri* - Bull. Seism. Soc. Amer., 30, 1, 35-84; 2, 139-178, 1910.
 — *Investigaciones sobre la naturaleza de los microsismos* - Rev. Ac. Colombiana Ciencias Exac., Fis. y Natur., VI, 22-23, 300-318. Bogotá, enero-agosto 1945.
- (15) SPRENGNETHER W. F.: *A description of the instruments used to record microseisms for the purpose of detecting and tracking hurricanes* - Bull. Seism. Soc. Amer., 36, 2, 83-87, April 1916.
- (16) TROMMSDORFF F.: *Untersuchungen über die natürliche Bodenunruhe (Mikroseismik) mit transportablen Dreikomponentenstationen* - ZS. f. Geoph., XV, 301-320, 1939.
- (17) ZANON F. S.: *Pulsazioni della pressione atmosferica con periodi inferiori ad un'ora (Nota preventiva)* - Geofisica pura ed appl., XI, 1-2, 19-41, Milano 1916.