
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI
RENDICONTI

PIETRO CALOI

L'agitazione microsismica destata dalle perturbazioni meteorologiche: I. Microsismi da piccoli bacini chiusi

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 50 (1971), n.5, p. 568–576.
Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1971_8_50_5_568_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Geofisica. — *L'agitazione microsismica destata dalle perturbazioni meteorologiche: I. Microsismi da piccoli bacini chiusi.* Nota (*) del Socio PIETRO CALOI (**).

SUMMARY. — The A. deals, for the first time, with the microseisms rising from small closed basins, as a consequence of air-water interaction, during the transit of cyclonic nuclei, also of very low intensity. This permits the selection of the main cause of microseisms.

One examines the microseisms, caused in the Pieve di Cadore lake, by the transit of the July 15, 1970 cyclone, which in its fast run towards SE determined then—passing over the Upper Adriatic—the characteristic microseisms of the Gulf of Trieste, clearly recorded within a radius of about 400 kms.

1. — Le indagini sui microsismi (intesi come movimenti pendolari non associati a terremoti veri e propri) sono cominciate prima ancora dello studio sistematico delle registrazioni sismiche, propriamente dette. Risalgono infatti al 1871 le prime osservazioni sui microsismi, compiute da Padre Timoteo Bertelli [1] quando ancora mancava uno strumento, scientificamente accettabile, atto alla registrazione dei terremoti (tale strumento, infatti, doveva essere realizzato in Giappone, dall'americano Milne, nel 1875). Padre Bertelli dedicò, a tale argomento, la più vigile ed entusiastica attenzione, esponendo in numerosi lavori i risultati delle sue osservazioni [2], convinto del « grande vantaggio che la Fisica terrestre può attendersi da questi studi, ai quali tante volte in passato richiamai l'attenzione degli scienziati » [3].

La scoperta dei microsismi risale quindi ad un secolo fa. Dopo Padre Bertelli, le ricerche sui microsismi si sono moltiplicate, in Italia e nel mondo. Specie negli ultimi decenni, esse si sono fatte frequentissime: non c'è studioso di sismologia che non si sia cimentato, almeno una volta, con lo studio dei microsismi. Le pubblicazioni al riguardo, formano ormai un'abbondante biblioteca.

Malgrado ciò, l'argomento appare tutt'altro che esaurito. Nel frattempo, sono stati compiuti progressi enormi nello studio della propagazione delle onde sismiche, il che ha consentito di pervenire ad importanti conoscenze sulla costituzione dell'interno della Terra. Non altrettanto può dirsi, invece, dei microsismi. Sono state esposte teorie, ipotesi, congetture in gran numero; ma le conoscenze finora acquisite, nei loro riguardi, sono ancora lacunose, incerte, opinabili, specie per quanto concerne la loro origine.

(*) Presentata nella seduta dell'8 maggio 1971.

(**) Istituto Nazionale di Geofisica.

2. – È nostra opinione che le incertezze sull'origine dei microsismi sono soprattutto da attribuire al fatto che gli studi su tale fenomeno sono quasi esclusivamente dedicati alle grandi tempeste microsismiche, quelle che interessano vaste zone della superficie terrestre, e tengono in movimento i sismografi durante intere giornate, settimane... In queste occasioni, l'atmosfera e l'idrosfera sono in stato d'agitazione su estese regioni: parti di oceani, grandi mari interni fortemente agitati in corrispondenza del formarsi e propagarsi di estesi cicloni. Si presentano quindi, contemporaneamente, forti variazioni di temperatura, di pressione, di velocità di trasferimento. A cosa attribuire, in casi simili, i microsismi? Ai forti venti, all'infrangersi dei marosi sulle coste, alle variazioni di pressione che si esercitano sul fondo dei mari? O ad altro ancora? Non è facile discernere quanto si deve all'una o all'altra delle azioni perturbanti accennate. Di qui il parziale insuccesso degli studi finora condotti su tale argomento.

Una delle condizioni atte a facilitare lo studio sui microsismi è quella di indagare su perturbazioni microsismiche, opportunamente limitate nel tempo e nello spazio: durata del fenomeno a poche ore, associato ad una ben precisata zona di mare. Le poche volte che ho dedicato la mia attenzione a questo fenomeno, è quanto io mi sono proposto [4, 5, 6, 7]. Ed è stato per questa via che si è riusciti ad *isolare* una delle cause dei microsismi, quella legata al transito di disturbi microbarici sopra un tratto di mare, sotto certe condizioni di velocità e di senso dello spostamento. Nel caso specifico dell'alto Adriatico, si è così dimostrato che microsismi apprezzabili prendono origine quando i disturbi microbarici, in fase positiva, transitano sul golfo di Trieste con velocità paragonabile a quella delle onde libere del mare sottostante, procedendo da Ovest ad Est, verso il fondo del golfo stesso. Ed i microsismi appaiono vieppiù sviluppati quanto meglio rispettate sono tali condizioni. Sono queste del resto le situazioni nelle quali originano pure le sesse del golfo di Trieste [8]. L'afflusso dei disturbi microbarici associati a temporali o a cicloni sul golfo di Trieste, nelle condizioni anzidette, determina – in assenza di vento – rapidissime vibrazioni nel mare sottostante, provocate da variazioni di pressione altrettanto rapide: è in corrispondenza di tali vibrazioni che si formano, sul fondo, microsismi coperiodali. La reale esistenza di vibrazioni della pressione atmosferica dell'ordine di pochi secondi è stata provata da Polli nel 1949 [9] e, successivamente, da altri [10–12].

3. – Ci siamo chiesti se non era possibile registrare microsismi, originanti da bacini idrici nettamente meno estesi del golfo di Trieste, ben delimitati. In un primo momento, si era pensato al lago di Garda (con particolare riguardo al bacino di Peschiera); ma difficoltà organizzative, ad un certo punto ci obbligarono a desistere.

Ad un decennio di distanza, ci siamo decisi a tentare, presso un bacino idrico artificiale. La scelta cadde sul lago di Pieve di Cadore, in quanto la stazione sismica funzionante presso la locale grande diga di sbarramento,

registrava sovente oscillazioni, di piccola ampiezza e breve periodo, che potevano essere interpretate come microsismi, provenienti dall'adiacente lago. Va osservato che, presso piccoli bacini lacustri, l'energia associata a movimenti dell'acqua subisce una grossa falceria nel trasferirsi al mezzo solido: per l'inclinazione delle sponde, per la loro accidentalità e inomogeneità, per l'ondulare capriccioso del fondo e il continuo variare delle forme e delle curvature. Necessitava poter usufruire di una parete liscia, verticale, limitante un mezzo omogeneo. Si è pensato quindi di sistemare una stazione

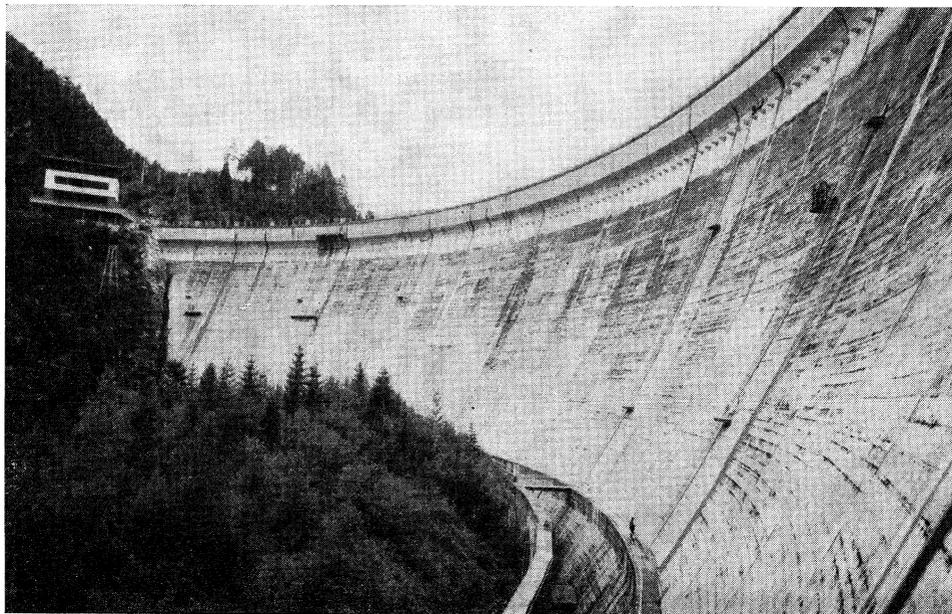


Fig. 1. - Diga di Pieve di Cadore. La stazione sismica, che ha registrato i microsismi provocati dal transito del ciclone del 15 luglio 1970 (Tavola I), è sistemata (con funzioni di controllo geodinamico del manufatto) in un cunicolo sfociante nel ballatoio in alto, a destra nella fotografia.

sismica nell'interno della diga (fig. 1). Il concio XIV (concio centrale della diga), in cui furono sistemati gli apparecchi (una terna di «Girlanda» a breve periodo, dello stesso tipo di quelli funzionanti nello scantinato della cabina comandi centralizzati) ha un'altezza, sul piazzale, di 60 m ca., con uno spessore di m 26 alla base (q. 625 metri s.l.m.) e di m 6 al coronamento (q. 683 metri s.l.m.). La cabina dei sismografi è stata ricavata a q. 660.

Nella prima decade di luglio 1970, la nuova stazione sismica poteva iniziare il suo funzionamento. Il 15 luglio successivo si aveva la prima, cospicua registrazione di microsismi, del tutto locali.

Sofferamoci su questa registrazione.

4. - TEMPESTA MICROSISMICA DEL 15 LUGLIO 1970. - La situazione meteorologica del 15 luglio 1970 è quale risulta dalla carta meteorologica della fig. 2, tratta dal « Bollettino Meteorologico Quotidiano » del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

L'andamento della pressione atmosferica è stato registrato in varie stazioni dell'Italia settentrionale. Qui mi limito a riportare i barogrammi ottenuti a Treviso (S. Angelo) e a Trieste, come quelli che interessano per questo studio iniziale (figg. 3 e 4).

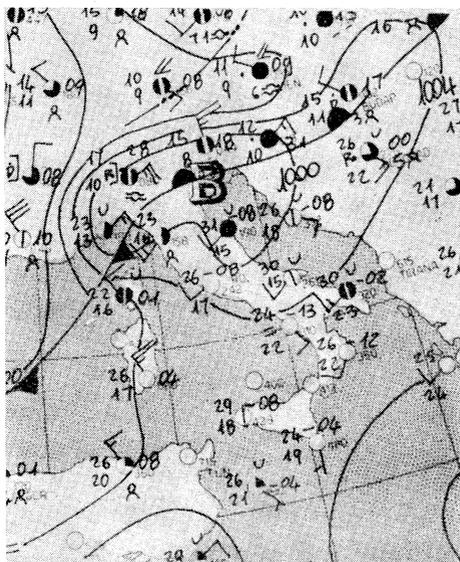


Fig. 2. - Posizione del centro della depressione del 15 luglio 1970, quando, alle ore 18 (T.M.G.) - dopo aver provocato i microsismi passando sul lago di Pieve di Cadore (Tavola I) -, sta attraversando il golfo di Venezia, determinando una nuova, più ampia tempesta microsismica (figg. 5-7 e Tavv. I-II).

Accenniamo ora alle registrazioni microsismiche, associate al transito della depressione accennata, dall'alto Veneto al golfo di Trieste.

Fra le registrazioni di Pieve di Cadore, il fatto nuovo. Già fra le 16 e le 19 del 14 luglio (ora T.M.G.) a due riprese, i sismografi funzionanti nell'interno della diga, avevano registrato minutissime vibrazioni (periodo dell'ordine di 1^s) che si sarebbero poi rivelate concomitanti al transito di una serie di disturbi microbarici (in quel giorno, il tempo appariva già perturbato). Verso le $14^h 40^m$ ca. (T.M.G.) del 15 luglio, una lievissima agitazione, con periodi apparenti da 0,5 a 0,7 sec., comincia ad essere registrata dai sismografi entro la diga e si fa di più in più ampia e convulsa, con massimi sviluppati fra le $15^h 05^m \pm$ e le $16^h 15^m \pm$, per estinguersi praticamente verso le $16^h 45^m \pm$ (Tav. I). Si registrano gruppi (pseudo battimenti) di 5-6 oscillazioni, con periodi medi di $0^s,8$, alternati a singoli impulsi (i più ampi) con periodi di 0,8-1,0 sec. e a gruppi (più isolati) di 1-1,5 sec. È durante questo lasso di tempo che il centro

del ciclone transita sul lago di Pieve di Cadore. Poichè il vento, di modesta velocità, non aveva aumentato la sua intensità, l'unica causa di tali microsismi va ricercata nel transito sul lago di gruppi di rapide variazioni di pressione, in fase positiva, associati al centro del ciclone: *prima chiara testimonianza di microsismi, generati da un'unica causa - ben precisata - in un ristretto bacino idrico*. Delle tre componenti del movimento, quella nettamente di maggiore ampiezza è la componente valle-monte, mentre la verticale risulta la meno ampia. Il moto verticale, infatti, si trasmette sul fondo del lago e, quindi, per

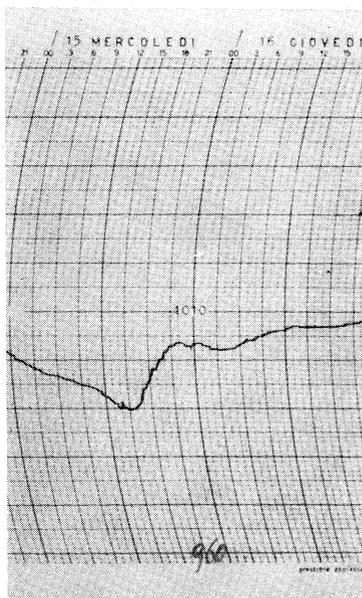


Fig. 3. - Andamento della pressione atmosferica a S. Angelo (Treviso), dopo il transito del ciclone del 15 luglio 1971 su Pieve di Cadore (T.M.G.).

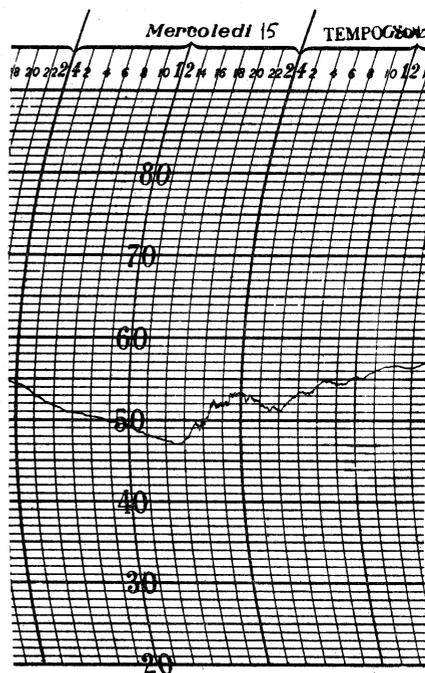


Fig. 4. - Andamento della pressione atmosferica a Trieste, durante il transito del ciclone del 15 luglio 1971 (il tempo è quello solare medio). Si notino le rapidissime variazioni della pressione in fase positiva.

rifrazione nell'interno della diga. Le componenti orizzontali agiscono invece direttamente sulla diga; e, delle due, è naturalmente la valle-monte la più interessata al moto.

Oltre all'*interesse eccezionale* di questi microsismi esclusivamente locali, le registrazioni di Pieve di Cadore presentano l'interesse generale, legato ai microsismi provocati dal ciclone, in transito sull'alto Adriatico, nel suo tragitto da Ovest ad Est (fig. 2). A mano a mano che il ciclone, procedendo sul golfo di Venezia, si approssima al golfo di Trieste, microsismi, di piccola ampiezza e con periodo dell'ordine di $2^s,5$, vengono registrati a Pieve di Cadore. Verso le 17^h40^m (T.M.G.), durante una lieve ripresa dei microsismi locali, col pervenire

del ciclone sul golfo di Trieste, bruscamente l'agitazione, con $2^s,5$ di periodo, si fa ampia a Pieve di Cadore (come del resto, quasi contemporaneamente, avviene a Trieste, Somplago, La Maina, Vajont, Padova, Bologna, Pavia, Zagabria e Vienna), e tale permane per un'ora e mezza circa, durante il transito del centro del ciclone su Trieste. Quindi, con ampiezza decrescente, persiste per diverse ore ancora. Il periodo medio dei microsismi adriatici, registrati a Pieve di Cadore, nella fase di massima ampiezza, è dell'ordine di $2^s,5-2^s,6$.

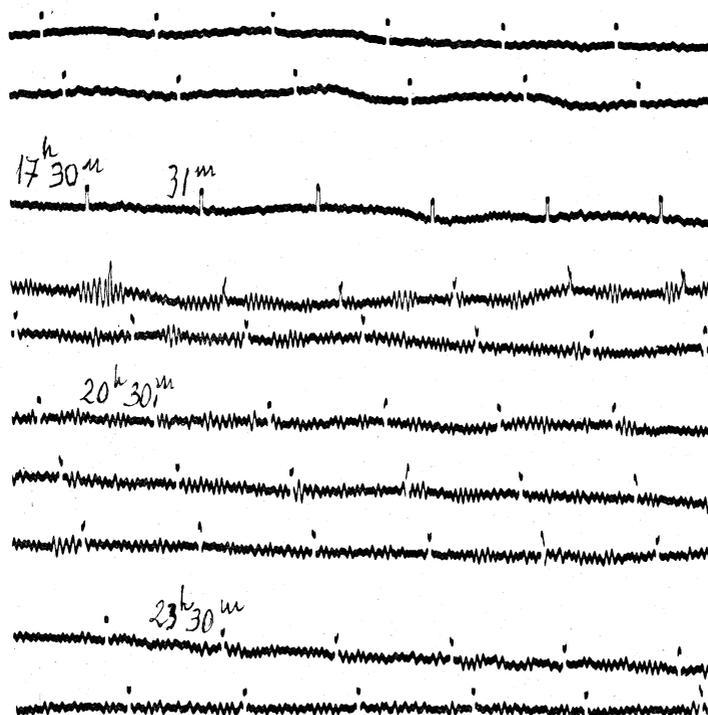


Fig. 5. - Microsismi registrati a Trieste, durante il transito del ciclone del 15 luglio 1970 sul golfo omonimo (T.M.G.). L'intensificarsi dei microsismi coincide con l'insorgere di rapidissime variazioni della pressione in fase positiva (fig. 4). Registrazione ottenuta sulla componente verticale dei sismografi a lungo periodo ($T_0 = 15^s,1$; $T_g = 100$ sec.).

Sempre a Pieve di Cadore, nella Cabina Comandi centralizzati, ad una quindicina di metri dalla diga, funziona da anni una stazione sismica del tipo di quella che, attualmente, è in funzione nell'interno della diga. Naturalmente, anche questa stazione ha registrato sia i microsismi locali, sia quelli successivamente provenienti dal golfo di Trieste. I microsismi locali appaiono ivi - e ciò si spiega - di minore ampiezza (pressochè mancanti, come in diga, sulla componente verticale): la trasmissione, attraverso la roccia crepacciata e inomogenea delle sponde, comporta invero una notevole diffusione d'energia. Si nota inoltre che, anche sulla componente dove appaiono più sviluppati (la E-W), i microsismi locali - pur conservando il periodo - risultano di forma

più sfumata, mancando gli impulsi netti, che caratterizzano la trasmissione attraverso la diga. Per il resto, l'arrivo dei successivi microsismi adriatici segue l'andamento osservato dentro la diga, e si contraddistingue per un particolare sviluppo della componente verticale.

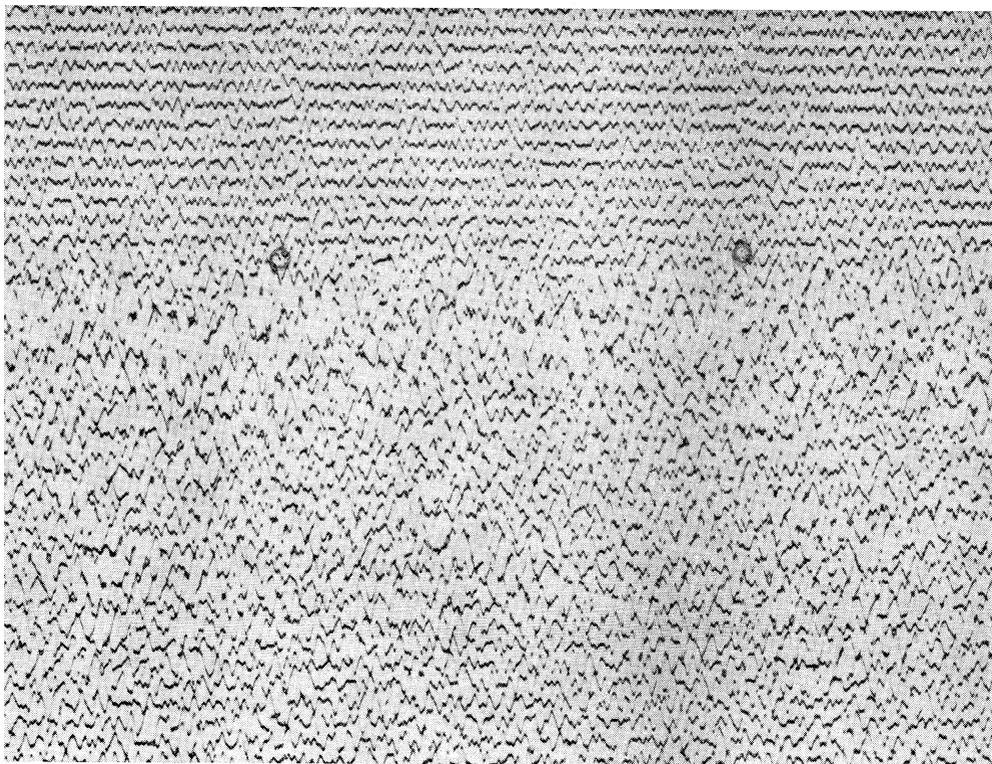


Fig. 6. - Registrazione ottenuta a Trieste nella stessa occasione da un apparecchio a breve periodo ($T_0 = 1,0$ sec.; $T_g = 0,75$ sec.). L'improvviso insorgere di ampi microsismi è sempre dovuto alla causa, di cui alla fig. 5. Sulla componente a breve periodo la registrazione appare caotica, e in essa prevalgono pseudo periodi varianti fra 1 e 2 sec. ca. (i due cerchietti, nella registrazione, si riferiscono ai tempi 17^h38^m , 17^h39^m rispettivamente). Ciò è dovuto al fatto che tale sismografo ingrandisce i movimenti con periodi intorno al secondo decine di migliaia di volte di più di quelli con periodi intorno ai 3 sec. Questi microsismi, pertanto, sono in realtà del tutto sporadici dovuti a sistemi ondosi temporanei: essi mascherano i microsismi fondamentali, legati a sistemi ondosi permanenti, quali sono appunto quelli registrati dai sismografi a lungo periodo (fig. 6), sul ritmo di $2^{s,6}$ ca. Tali sismografi infatti hanno un ingrandimento dinamico pressochè costante per periodi da 1 a 4 sec. ca. Pertanto, quelli di $2^{s,6}$ ca. di periodo sono i microsismi fondamentali, eccitati dal ciclone in transito sul golfo di Trieste: essi vengono registrati, con tale periodo, alle massime distanze (Vienna). Torneremo più dettagliatamente sull'argomento nella 2ª parte del lavoro.

Anche presso altre stazioni sismiche, sistemate nell'arco prealpino (Vajont, La Maina, Somplago) nette sono risultate le registrazioni dei microsismi adriatici, particolarmente ampie quelle del Vajont, a motivo dell'enorme deposito di sabbie e terreno sconnesso prossimo alla stazione sismica (atto ad esaltare il movimento associato ai microsismi); di ampiezza più ridotta a Somplago

(malgrado la minor distanza dal golfo di Trieste), essendo ivi la stazione sismica sistemata nell'interno del monte, sotto un tetto di roccia di spessore variabile fra 150 e 500 metri circa.

In tutte le predette stazioni, il periodo dei microsismi fu dell'ordine di $2^s,5$.

Esaminiamo ora le registrazioni ottenute presso un'altra stazione sismica della Val Padana: quella di Padova (Tav. II). Esse presentano particolare interesse. Intanto, non v'è più traccia di quella agitazione microsismica, proveniente dal Mar Ligure, chiaramente registrata a Pavia e ancora presente a Bologna. Tra Bologna e Padova è quindi andata estinguendosi.

Alle $17^h 40^m (\pm)$ T.M.G. inizia invece la registrazione dei microsismi provenienti dall'Adriatico, associati al ciclone in moto verso Est. E, quando quest'ultimo transita sul golfo di Trieste, i microsismi raggiungono un'ampiezza

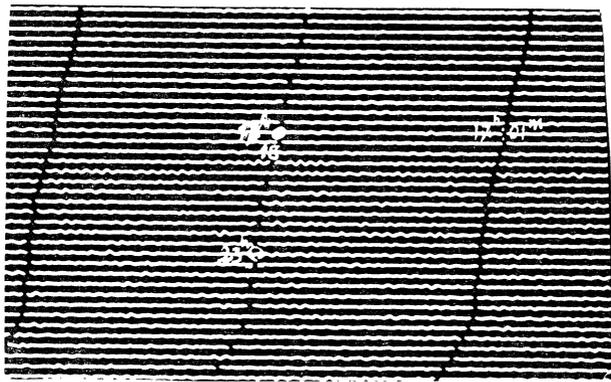


Fig. 8. - Registrazione dei microsismi, associati al transito del ciclone del 15 luglio 1970 sull'alto Adriatico, ottenuta a Vienna, a circa 355 km di distanza dalla zona-origine (golfo di Trieste). Come a Trieste, e nelle altre stazioni d'osservazione, l'agitazione presenta dei massimi verso le 18,30, conserva il medio periodo della zona-origine, ma è fortemente ridotta in ampiezza.

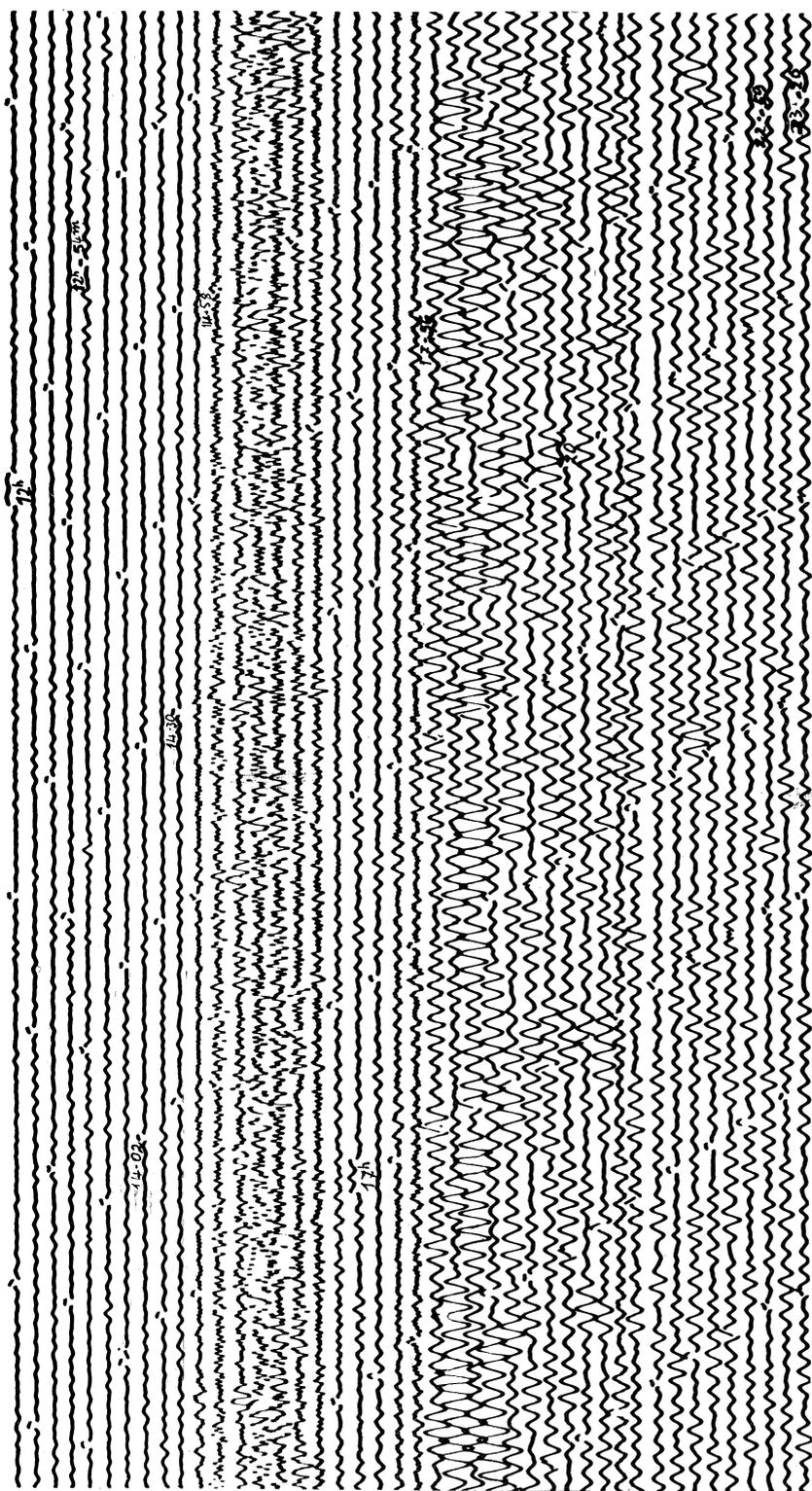
inusitata su tutte e tre le componenti: la massima ampiezza raggiunta dal movimento microsismico, associato alla tempesta in esame, se confrontata con quella ottenuta presso altre stazioni sismiche, anche se più vicine al centro-origine. Ciò sta a significare che, la coltre alluvionale della pianura padana - continuazione del fondo dell'alto Adriatico - esalta questo tipo di microsismi, che infatti conserva ancora a Pavia una sensibile ampiezza.

Per quanto concerne la propagazione, si può osservare che questo tipo di microsismi, originato nel golfo di Trieste con un periodo di $2^s,6$ circa, si propaga *conservando il periodo origine* ed estinguendosi entro un raggio di 400 km circa. La sua ampiezza riceve un notevole rinforzo in corrispondenza della Val Padana, mentre l'Appennino settentrionale sembra costituire uno sbarramento alla sua propagazione.

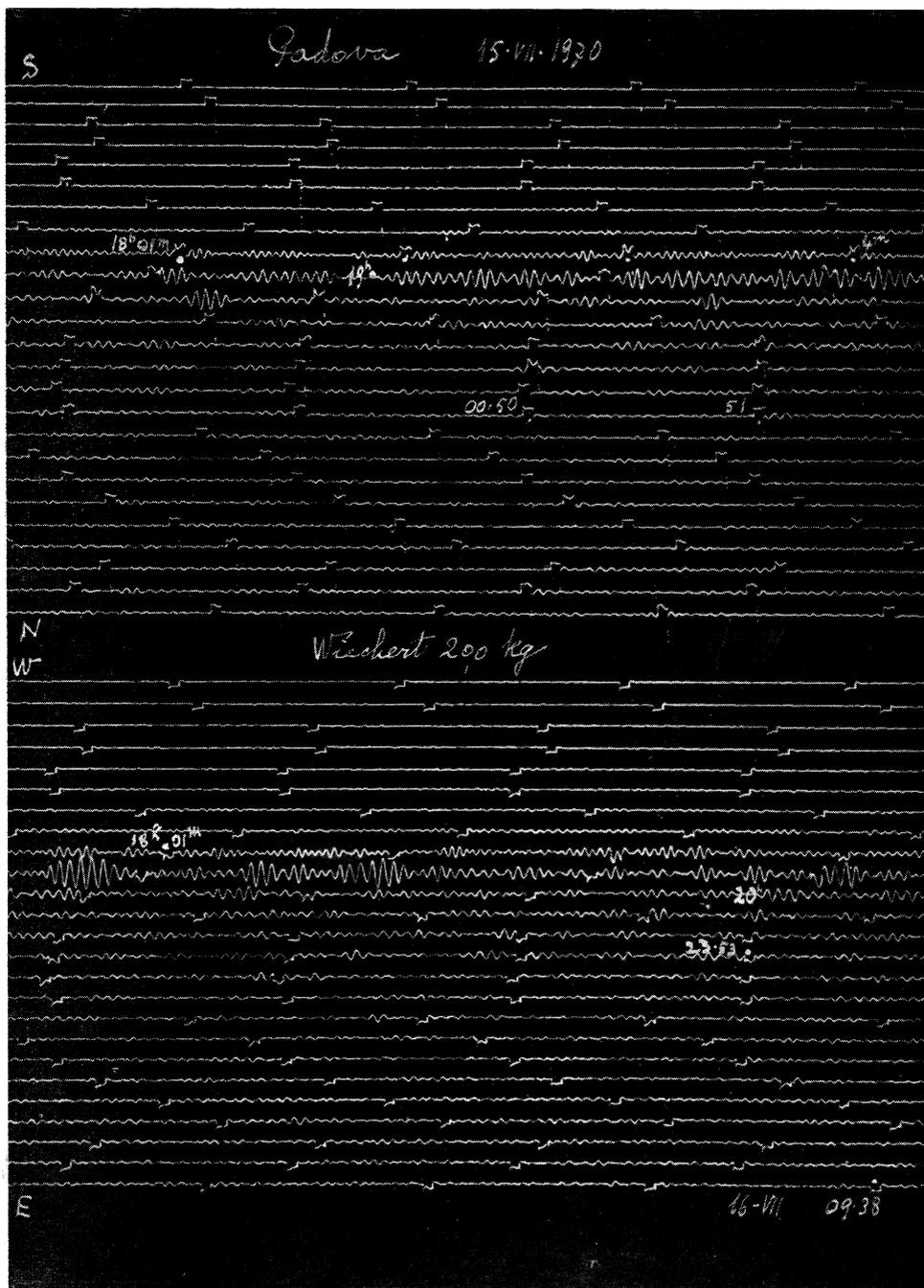
Mi riservo un'indagine più particolareggiata sui microsismi di carattere strettamente locale, che lo stesso ciclone ha provocato transitando sul piccolo Lago di Pieve di Cadore; il che, come si è detto, costituisce un fatto del tutto imprevisto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BERTELLI T., « Armonia », 16 dicembre 1871, 4 gennaio 1872, ecc...
- [2] BERTELLI T., *Osservazioni microsismiche per l'anno meteorico 1873, e risposta ad alcune obiezioni intorno alle medesime*. « Atti dell'Acc. Pont. de' Nuovi Lincei », sess. VII, 5 luglio 1874.
- [3] BERTELLI T., *Della realtà dei moti microsismici ed osservazioni sui medesimi fatte nell'anno 1873-1874 nel Collegio alle Querce presso Firenze*. « Atti dell'Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei », Anno XXVIII, sess. IV, 21 marzo 1875.
- [4] CALOI P., *Oscillazioni del mare e perturbazioni della verticale apparente nel golfo di Trieste durante il rapido transitare di alcuni cicloni attraverso l'alto Adriatico*. « Atti Isti. Ven. », 95 (1935-1936).
- [5] CALOI P., *Due caratteristici tipi di microsismi*. « Annali di Geofisica », III, 3 (1950).
- [6] CALOI P., *Sull'origine dei microsismi, con particolare riguardo all'alto Adriatico*. « Annali di Geofisica », IV, 1 (1951).
- [7] CALOI P., *Sur l'origine des microséismes*. « Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia », 12. Estratto dal volume « La Semaine d'étude sur le Problème des Microséismes », Città del Vaticano (1952).
- [8] CALOI P., *Sesse dell'alto Adriatico, con particolare riguardo al golfo di Trieste*. « Com. Talass. It. », Mem. CCXLVII (1938).
- [9] POLLI S., *Su di un microbarografo modificato*. « Annali di Geofisica », II, 1 (1949).
- [10] DOWN W. L., *Natural Infrasound of Five Seconds Period*. « Nature », 215, n. 5109 (1967).
- [11] LATHAM G. V., ANDERSON R. S. and EWING M., *Pressure Variations Produced at the Ocean Bottom by Hurricanes*. « Journal of Geophys. Res. », 72, 5693-5704 (1967).
- [12] LATHAM G. V. and NOWROOZI A. A., *Waves, Weather, and Ocean Bottom Microseisms*. « Journal of Geophys. Res. », 73, 3945-3956 (1968).



Registrazione di microsismi ottenuti a Pieve di Cadore, sul lago di Pomonino, associati al transito del ciclone del 15 luglio 1970. Si osservano due fasi distinte: una dalle 14^h 40^m ca. (T.M.G.) alle 16^h 50^m ca.; l'altra dalle 17^h 30^m ca. in poi. La prima fase – la più interessante, in quanto costituisce il fatto nuovo – è quella formata dai microsismi, causati dal *transito del centro del ciclone direttamente sul lago*, come conseguenza dell'interazione fra la turbolenza della pressione atmosferica, in fase positiva, e le acque del lago sottostante; di qui la formazione di microsismi rapidi, di periodo generalmente inferiore al secondo. La seconda fase è invece legata al transito del centro dello stesso ciclone sul golfo di Venezia. Come presso le altre stazioni d'osservazione (figg. 5-7 e Tav. II), anche a Pieve di Cadore i massimi per i microsismi provenienti dall'Adriatico si presentano dalle 18^h 30^m ca. in poi, quando il ciclone transita sul golfo di Trieste, ad una distanza da Pieve di Cadore di circa 125 km. Il periodo medio dei microsismi, per questa 2^a tempesta (seconda, per Pieve) è, come per le altre stazioni sismiche, di circa 2^s,6.



Registrazione di microsismi, associati al transito del ciclone del 15 luglio 1970 sull'alto Adriatico, ottenuta a Padova, ad oltre 130 km dalla zona-origine (golfo di Trieste). La Val Padana esalta questo tipo di oscillazioni. I microsismi registrati a Padova risultano perciò nettamente più ampi di quelli ottenuti contemporaneamente a Trieste, ai margini della zona-origine. Va sottolineato infatti, che il « Wiechert » di Padova ha un ingrandimento pari a meno di $1/5$ di quello del sismografo di Trieste (fig. 5), per periodi dell'ordine di 3 sec.