

**Microsismi da piccoli bacini chiusi, da mari interni,
da Oceani**

P. CALOI - M. MIGANI

Ricevuto il 10 Ottobre 1971

RIASSUNTO. — È il compendio di una lunga serie di ricerche sui microsismi e sulla loro origine.

Il moto ondoso è la causa immediata dei microsismi, come effetto di trasferimento di energia sul fondo. Il ritmo dei microsismi fondamentali (quelli legati a sistemi d'onde significative) è legato all'estensione del bacino idrico e alla sua profondità.

Per la prima volta, si portano numerosi esempi di microsismi, provocati sul fondo di un minuscolo lago (il lago di Pieve di Cadore), come conseguenza dell'interazione fra rapide variazioni della pressione atmosferica, in transito sul lago, e le acque sottostanti; i periodi prevalenti si aggirano sugli 8/10 di sec, ma possono variare fra i 4/10 di sec e i 5 sec.

I periodi fondamentali di microsismi da mari interni, variano al variare delle caratteristiche della zona di mare, da cui prendono origine. Così nel golfo di Trieste, i microsismi fondamentali presentano periodi dell'ordine di 2,5-3 sec: essi vengono fortemente amplificati nella loro propagazione attraverso la Val Padana. I microsismi fondamentali del Mar Ligure hanno periodi dell'ordine di 5 ± 1 sec: essi vengono sensibilmente smorzati dalla catena appenninica, mentre si propagano verso l'alta Val Padana, attraverso la « finestra » fra gli Appennini e le Alpi.

Dalla zona ad occidente delle isole britanniche, originano microsismi fondamentali con periodi di 8 sec ca: essi si propagano alle massime distanze e la loro attenuazione in corrispondenza dei sistemi montuosi, non è accentuata. Al largo delle coste scandinave, prendono origine microsismi fondamentali con periodi dell'ordine di 5-6 sec.

I microsismi fondamentali di massima ampiezza nascono da fenomeni di risonanza cinematica fra perturbazioni microbarografiche e acque sottostanti.

Localmente, in stazioni sismiche funzionanti sulle rive del mare, possono originare, nello stesso tempo, microsismi dai più svariati periodi: da quelli di pochi decimi di secondo o di qualche secondo (dovuti a sistemi d'onde sporadici, temporanei accidentali), fino a quelli associati ai sistemi d'onde significative: sono questi ultimi i microsismi fondamentali, animati da notevole energia, e che si propagano alle massime distanze.

Poiché i microsismi non subiscono, nella loro propagazione, dispersione apprezzabile, dal periodo dei microsismi fondamentali si può risalire alla loro zona origine.

SUMMARY. — This is the sum of a long series of research work on microseisms and their origin.

The wavy movement is the immediate cause of microseisms, as a result of the transfer of energy on the ground. The rhythm of fundamental microseisms (depending on significant wave systems) is bound up with the extension of the hydric basin and its depth.

For the first time numerous examples are given of microseisms originating on the bottom of a very small lake (the Lake of Pieve di Cadore) as a consequence of the interaction between rapid variations of the atmospheric pressure passing over the lake and the water below; the prevailing periods are about 0,8 sec, but they may vary between 0,4 and 5 sec.

The fundamental periods of microseisms deriving from inland seas vary with the properties of the sea area where they take their origin. In the Gulf of Trieste, for instance, the fundamental microseisms have periods in the order of 2,5-3 sec.: they are strongly amplified as they spread over the Po Valley. The fundamental microseisms of the Ligurian Sea have periods in the order of 5 ± 1 sec and are sizeably reduced by the Appenine mountain range as they spread toward the higher Po Valley passing through the "window" between the Appenines and the Alps.

The western area of the British Isles is the origin of fundamental microseisms with periods around 8 sec. They spread to maximum distances and their attenuation due to the mountain systems is not considerable. Fundamental microseisms with periods in the order of 5-6 sec take their origin off the Scandinavian coast.

The fundamental microseisms of maximum amplitudes derive from phenomena of cinematic resonance from microbarographic perturbations on the underlying water.

Microseisms of a wide range of periods may originate locally, at the same time, in seismic stations on the sea shores. They have periods of few tenths of seconds or of some seconds (due to sporadic, temporary, casual wave systems), and there are microseisms associated to the systems of significant waves. The latter are fundamental, driven by considerable energies and spread to maximum distances.

Since the spreading of microseisms is not subject to appreciable dispersions, the period of fundamental microseisms allows to detect their area of origin.

1. MICROSISMI DAL LAGO DI PIEVE DI CADORE.

Allo scopo di approfondire lo studio delle caratteristiche geodinamiche della diga di Pieve di Cadore, si è ritenuto opportuno sistemare una stazione sismica nel corpo della diga.

Essa consiste in una terna di sismografi elettro-magnetici « Girlanda », analoga a quella funzionante nello scantinato della cabina — comandi, costruita a quota coronamento, presso la diga stessa.

La nuova stazione sismica, che ha iniziato il suo funzionamento ai primi di Luglio 1970, ha già consentito la precisazione di particolarità, atte a delineare il comportamento dello sbarramento in determinate situazioni: su esse sarà riferito in seguito.

Di eccezionale interesse si rivelarono le registrazioni, ottenute in diga (fig. 1), durante il passaggio di temporali o semplici groppi o

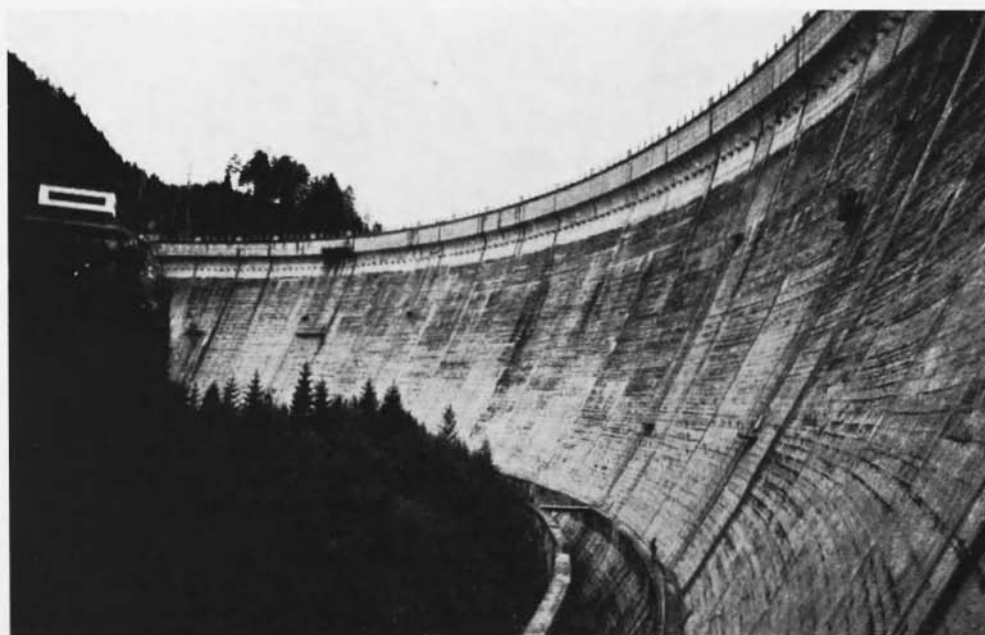


Fig. 1 - Diga di Pieve di Cadore. La stazione sismica, che ha registrato i microsismi provocati dal transito di disturbi microbarici, di cui alle figg. 6, 9-18 è sistemata (con funzioni di controllo geodinamico del manufatto) in un cunicolo sfociante nel ballatoio, in alto, a destra nella fotografia. Analoga stazione sismica funziona negli scantinati della cabina comandi, di fianco alla diga (in alto, a sinistra, nella fotografia).

Fig. 1 - Dam of Pieve di Cadore. The seismic station which recorded the microsisms caused by passing microbaric perturbations (see fig. 6, 9-18) is lodged, with functions of geodynamic control of the structure, in a small tunnel connected with the open gallery appearing on the upper right side of the photo. An equal seismic station is operating in the basement of the control box at the side of the dam (on the upper left side of the photo).

nuclei ciclonici. Già il 15 Luglio 1970, il passaggio di una depressione — procedente da Ovest a Est — provocava la registrazione di microsismi di breve periodo (8/10 sec, in media) e notevole ampiezza. Su di essi ha già riferito uno di noi (3.4). Qui intendiamo soffermarci più particolareggiatamente su quella tempesta microsismica e su tutta una serie di altre registrazioni di microsismi, collegati ad altri temporali in transito o a semplici passaggi di perturbazioni microbariche, in fase positiva o no, dotate di piccolissima energia.

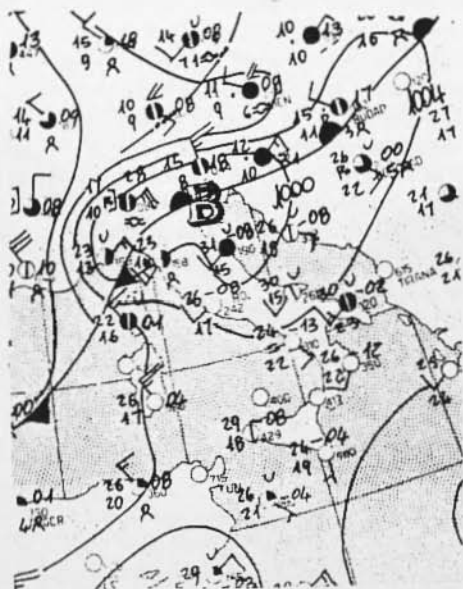


Fig. 2 - Posizione del centro della depressione del 15 Luglio 1970, quando, alle ore 18 (T.M.G.) — dopo aver provocato i microsismi passando sul lago di Pieve di Cadore (fig. 5) — sta attraversando il golfo di Venezia, determinando una nuova, più ampia tempesta microsismica (figg. 6, 19-25).

Fig. 2 - Position of the centre of the depression of July 15, 1970 which at 6^h p.m. (Mean Solar Time), after having caused the microseisms on passing over the Pieve di Cadore Lake (fig. 5), is crossing the Gulf of Venice where it gives rise to another, ampler microseismic storm (figures 6, 19-25).

La fig. 2 rappresenta un momento della situazione meteorologica del 15 Luglio 1970, quando il ciclone — dopo essere transitato sul lago di Pieve di Cadore e ivi provocato la registrazione di minutissimi, ampi microsismi — di cui alla fig. 6 — ha raggiunto, nella sua corsa verso ESE, l'alto Adriatico e causato l'insorgere di microsismi,

propri del golfo di Trieste, chiaramente registrati anche a Pieve di Cadore, circa 3 ore dopo la registrazione dei caratteristici microsismi del lago (fig. 6). Di questa seconda, ben più energica tempesta microsismica, associata allo stesso ciclone, sarà detto più estesamente al n. 2.

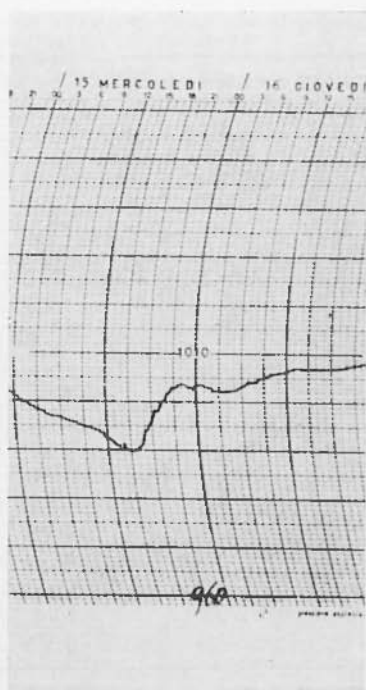


Fig. 3 - Andamento della pressione atmosferica a S. Angelo (Treviso), dopo il transito del ciclone del 15.VII.1970 su Pieve di Cadore (T.M.G.).

Fig. 3 - Development of the atmospheric pressure at Sant'Angelo (Treviso) after the passage of the cyclone of July 15, 1970 over Pieve di Cadore (Mean Solar Time).

Le figg. 3, 4 mostrano l'andamento della pressione a S. Angelo (Treviso), e a Trieste, in concomitanza con il passaggio della depressione. È in corrispondenza delle rapide variazioni barografiche, che accompagnano la ripresa in fase positiva della pressione atmosferica, che insorgono i microsismi nel lago di Pieve di Cadore: primo esempio di cospicui microsismi, associati a rapide variazioni della pressione in fase positiva, registrati presso un minuscolo lago (fig. 5).

Naturalmente, il fenomeno si è ripetuto. Una depressione ciclonica di intensità molto minore di quella del 15 Luglio, si presentò

sul Veneto il 16 Settembre 1970, seguendo l'abituale tragitto da Ovest ad Est. La fig. 7 riproduce la situazione barografica alle ore 18 (Gr.).

Nella fig. 8 è riportato l'andamento della pressione atmosferica, registrata in quell'occasione ad Arta Terme (a pochi chilometri da Tolmezzo).

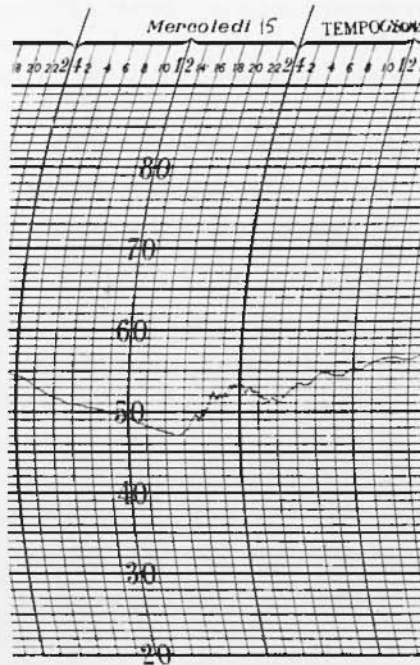


Fig. 4 - Andamento della pressione atmosferica a Trieste, durante il transito della depressione del 15.VII.1970 (il tempo è quello solare medio). Si notino le rapidissime variazioni della pressione in fase positiva.

Fig. 4 - Development of atmospheric pressure at Trieste during the passage of the depression of July 15, 1970 (Mean Solar Time). The very rapid variations of pressure in the positive phase are to be noted.

Transitando sul lago di Pieve di Cadore, quella perturbazione atmosferica provocò microsismi, analoghi a quelli ottenuti il 15 Luglio, sebbene di minore ampiezza, attesa la minore energia associata alla perturbazione (fig. 9). Anche questa volta, raggiunto il golfo di Trieste, il ciclone determinò l'insorgere dei microsismi propri del golfo, visibili sia a Padova, a Pieve di Cadore, a La Maina (figg. 27, 9, 26) ecc., sebbene di ampiezza nettamente inferiore a quella registrata il 15 Luglio, per il motivo più volte accennato.

Per provocare microsismi nel piccolo lago di Pieve di Cadore non è però necessario il passaggio di perturbazioni atmosferiche di notevole energia, come quelle sopra citate. Anche perturbazioni secondarie, di energia molto ridotta, sono capaci di causare la registrazione di apprezzabili microsismi; come p.es. si è verificato il 25 Luglio, il 3 Agosto, il 7 Agosto 1970 ecc. durante il passaggio di perturbazioni barografiche di lieve entità.

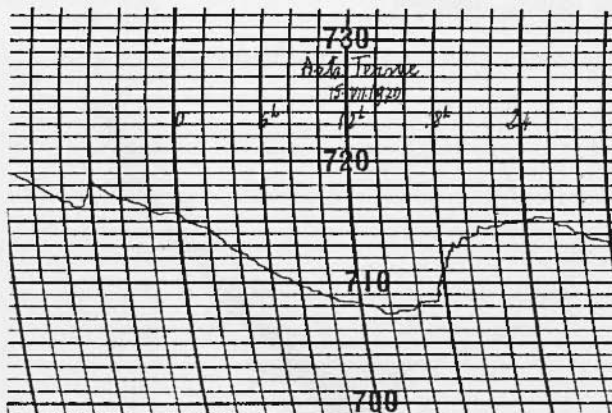


Fig. 4 bis - Andamento della pressione atmosferica ad Arta Terme, il 15.VII.1970 (ora solare). La depressione si è presentata, quel giorno, nettamente più profonda di quella del 16.IX.1970, anche se presenta con essa qualche analogia. La maggiore attività barografica del 15.VII.1970 si è riflessa in una maggiore ampiezza dei microsismi, sia a Pieve di C. sia nel golfo di Trieste, di quella registrata il 16.IX.1970.

Fig. 4 bis. - Development of atmospheric pressure at Arta Terme, on July 15, 1970 (Mean Solar Time). On that day the depression appeared to be clearly deeper than that of September 16, 1970, even if in some aspects it is similar to it. The higher barographic activity of July 15, 1970 was reflected in a major amplitude of microseisms, both in Pieve di Cadore and in Trieste, compared with that recorded on September 16, 1970.

A questo punto, risultava evidente che l'interazione aria-acqua, capace di originare microsismi dal lago, poteva essere provocata da fluttuazioni di energia, in movimento sull'acqua, estremamente piccole.

Per registrare tali fluttuazioni di pressione, si rendeva necessario l'uso di un microbarografo.

Nell'Ottobre 1970 fu sistemato, nella cabina-comandi della diga di Pieve di Cadore, un microbarografo « Askania », capace di

registrare variazioni di pressione di una frazione di un Torricelli (1 Torr = 1 mm Hg).

Le registrazioni di questo strumento confermarono in pieno le nostre previsioni: il passaggio di lievi disturbi microbarici, in fase positiva o no, dissociati da groppi o temporali, in condizioni di tempo bello — e registrati dal solo microbarografo — è capace di provocare microsismi, chiaramente registrati dalla stazione sismica, sistemata nell'interno della diga e — in minor misura — anche dalla stazione sismica nella cabina comandi.

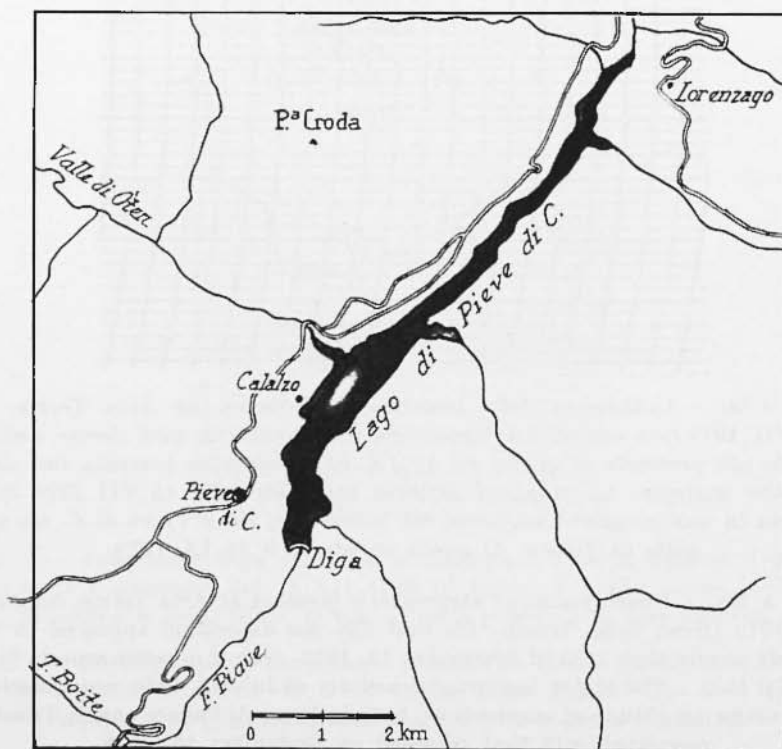


Fig. 5 - Il lago di Pieve di Cadore, formato dallo sbarramento del Piave in località Sottocastello, è lungo --- a pieno carico --- circa 9 km. Presenta una profondità massima di circa 100 m, in corrispondenza di un piccolo settore (quello di destra) della diga; nel rimanente contatto con la diga, l'acqua raggiunge la profondità massima di 60 m ca.

Fig. 5 - The Lake of Pieve di Cadore, formed by blocking the Piave at Sottocastello, is about 9 kms long when entirely filled. Its maximum depth is about 100 ms which corresponds to a small section (at the right) of the dam.

The lake depth at the rest of the dam is not over 60 ms.

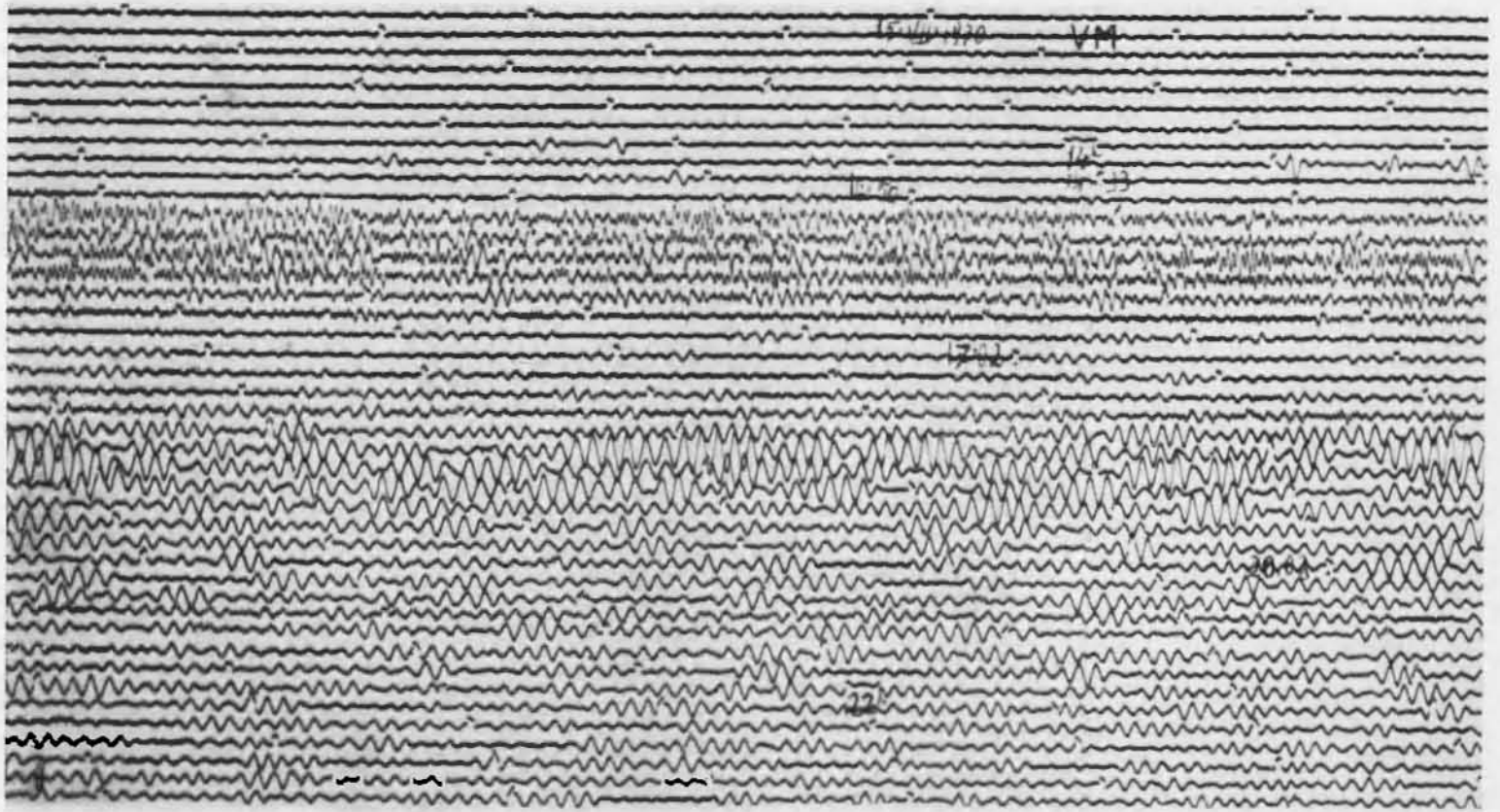


Fig. 6a.

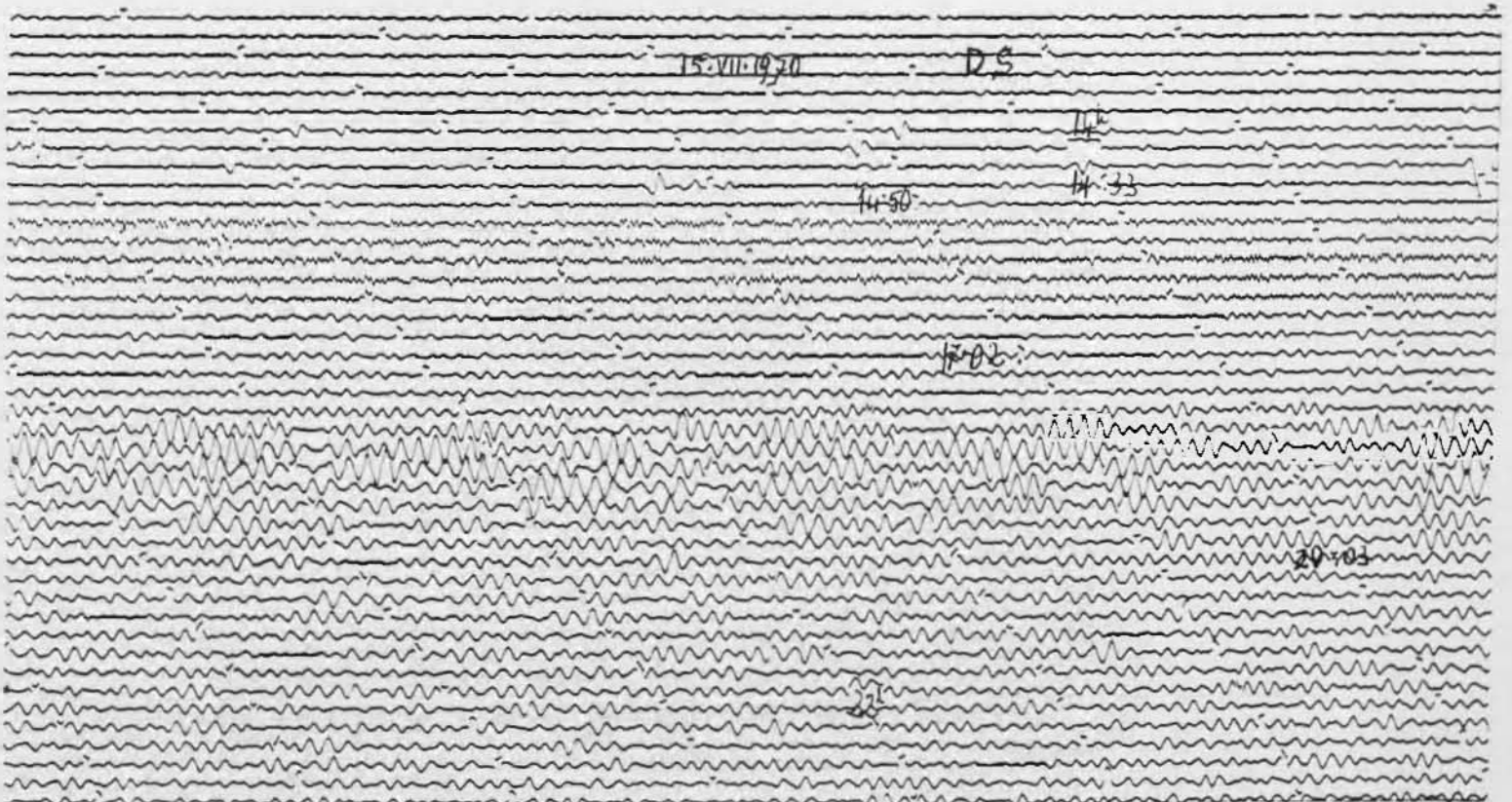


Fig. 6b.

Fig. 6 - Registrazione di microsismi ottenuti a Pieve di Cadore, sul lago omonimo, associati al transito del ciclone del 15. VII. 1970. Si osservano due fasi distinte: una dalla 14^h40^m ca (T.M.G.) alla 16^h50^m ca; l'altra dalle 17^h30^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. 19-25), anche a Pieve di Cadore i massimi per i microsismi provenienti dall'Adriatico si presentano dalle 18^h30^m circa 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. Sulla componente *MV* (monte-valle), normale alla superficie della diga, per motivi evidenti, l'agitazione microsismica locale è di ampiezza nettamente maggiore che sulla comp. *DS* (destra-sinistra), tangenziale alla superficie della diga.

Fig. 6 - Recordings of microseismic movements, obtained at Pieve di Cadore, on the lake of the same name, associated with the Passage of the cyclone of July 15, 1970. Two separate phases may be observed, the first from 2^h40^m p.m. (Mean Solar Time) to 4^h50^m p.m. approximately, the second from 5^h30^m p.m. on ward. The first phase, which is of more interest as it contains the new fact, is formed by microseisms provoked by the *passage of the cyclone centre directly over the lake* as a consequence of the interaction between the turbulence of the atmospheric pressure in the positive phase, and the underlying lake water which gives rise to rapid microseisms with periods generally lower than one second. The second phase is linked, however, to the passage of the centre of the same cyclone over the Gulf of Venice. As is the case also with the other observation stations (fig. 19-25), the maxima of microseisms coming from the Adriatic region occur at Pieve di Cadore beginning at about 6^h30^m p.m., when the cyclone passes over the Gulf of Trieste, at a distance of some 125 kms from Pieve di Cadore. The mean period microseisms of this second storm (the second for Pieve) is about 2^s,6, as with the other seismic stations. For obvious reasons the microseismic local agitation on the hill-valley component, normal to the dam surface, has a sizeably larger amplitude as compared with the right-left component, tangential to the dam surface.

Gli esempi ottenuti sono numerosissimi. Ci limitiamo a riportarne solo alcuni (figg. 10-18).

L'interesse di queste registrazioni è veramente notevole: non esitiamo a definirlo eccezionale. Per la prima volta, chiare registrazioni di microsismi vengono ottenute ai margini di un minuscolo bacino idrico, e — nel contempo — ne viene isolata la causa.

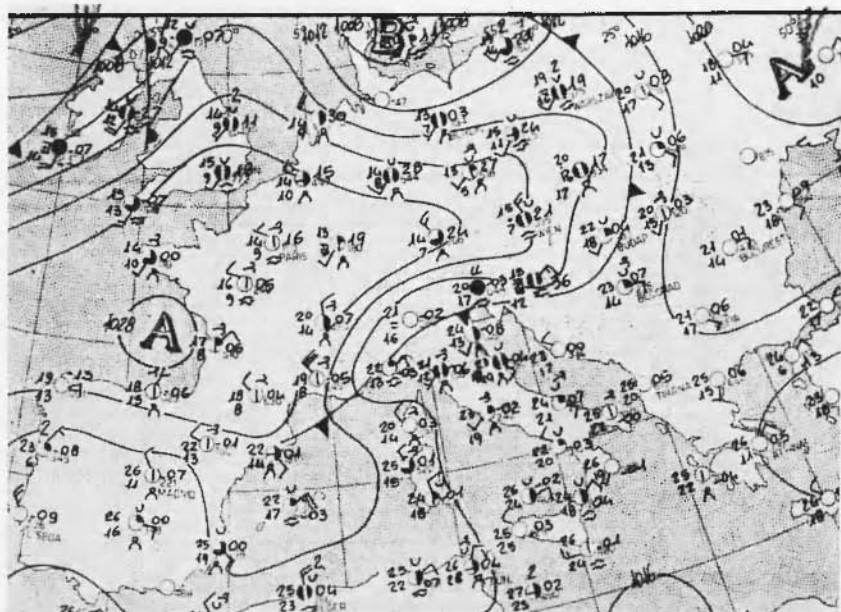


Fig. 7 - Situazione meteorologica del 16.IX.1970, alle ore 18 (T.M.G.), quando il fronte freddo ha raggiunto il golfo di Trieste, dopo essere transitato sul lago di Pieve di Cadore, causandovi i microsismi di cui alla fig. 9.

Fig. 7 - The meteorological situation on September 16, 1970, at 6^h p.m. (Mean Solar Time) when the cold front reached the Gulf of Trieste after having passed over the Lake of Pieve di Cadore, causing there the microsisms shown on fig. 9.

Si noti che i microsismi iniziano e terminano con l'iniziare e il terminare delle lievi fluttuazioni della pressione che, interagendo con le acque del lago, ne provocano l'insorgere (*). Si possono così avere

(*) Va sottolineato che da metà Dicembre a metà Marzo circa, malgrado il passaggio di notevoli perturbazioni atmosferiche, non si hanno registrazioni di microsismi presso la diga di Pieve di Cadore. La spiegazione è semplice. Durante quei mesi, infatti, il lago gela, interrompendo così ogni

microsismi per la durata di una mezz'ora, od anche meno, pari al tempo di transito dei lievi impulsi microbarici, da cui traggono origine. Se si pensa alle tempeste microsismiche oceaniche, che possono durare settimane, associate a cicloni animati da energie poderose, che sconvolgono il mare e l'aria, si vede l'interesse di microsismi originanti in un piccolo bacino, provocati da una causa ben individuata, esauriente la sua azione in poche decine di minuti: è l'origine dei microsismi — almeno di questo particolare tipo di microsismi — che viene precisata.

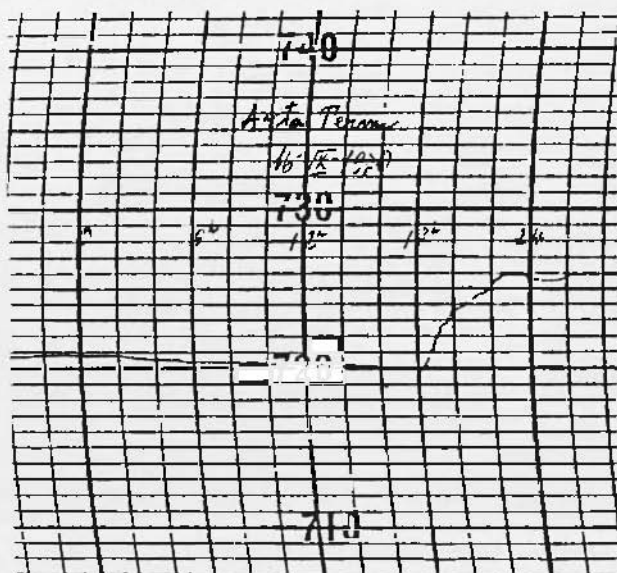


Fig. 8 - Andamento della pressione ad Arta Terme (nei pressi di Tolmezzo), durante il passaggio della lieve depressione del 16.IX.1970 (ora solare). Si noti il salto di pressione (accompagnato da rapide fluttuazioni) a partire dalle 18^h, che presenta qualche analogia con quello osservato, presso la stessa stazione meteorologica, il 15.VII.1970 (fig. 4 bis).

Fig. 8 - Development of pressure at Arta Terme (near Tolmezzo) during the passage of the light depression of September 16, 1970 (Solar Time). The sudden pressure increase, accompanied by rapid fluctuations, beginning at about 6^h p.m., is to be noted, which is somewhat similar to the one observed at the same weather station on July 15, 1970 (fig. 4bis).

forma d'interazione con i disturbi microbarici. Ciò sta inoltre a provare che l'azione diretta del vento sulla diga è insufficiente ai fini della formazione di microsismi.

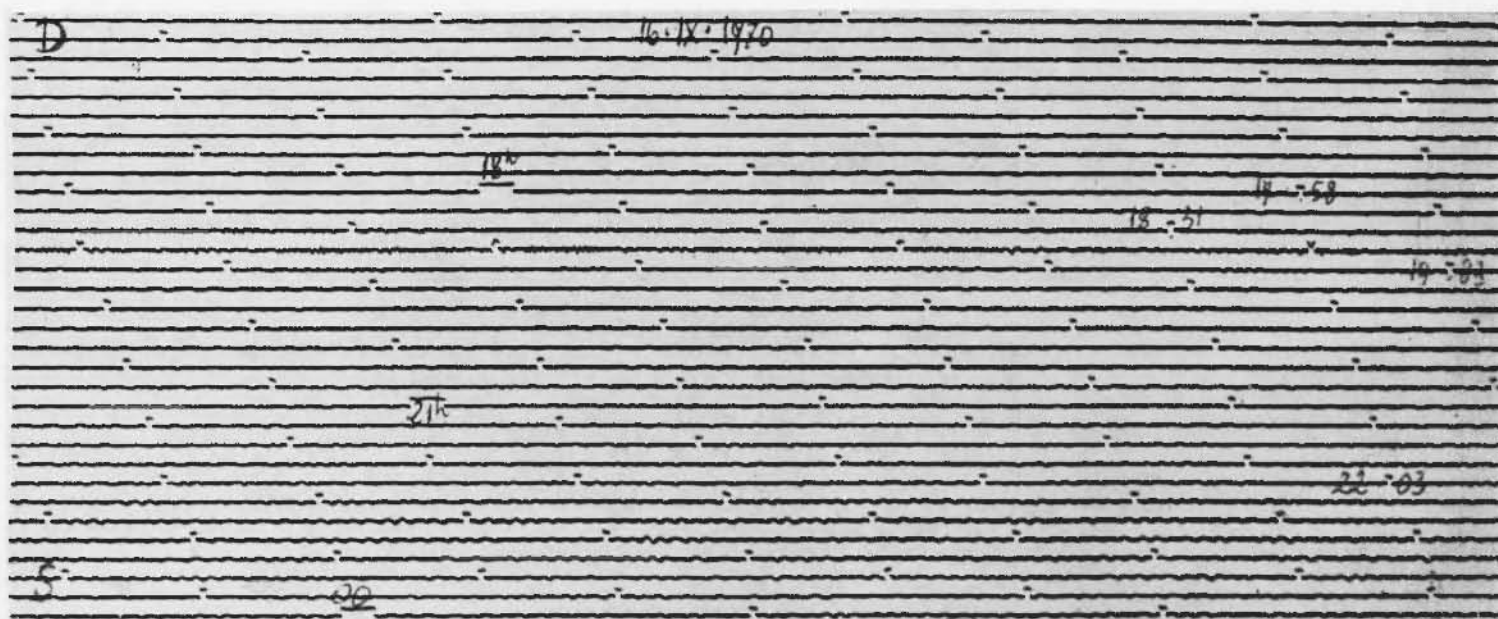


Fig. 9a.



Fig. 9b.

Fig. 9 - Microsismi registrati a Pieve di Cadore in occasione del passaggio della perturbazione del 16.IX.1970 (figg. 7-8). I microsismi provenienti dal lago appaiono nettamente meno sviluppati di quelli provocati dal ciclone del 15.VII.1970. Anche i successivi microsismi provenienti dal golfo di Trieste in arrivo a Pieve dopo le 22^h (più chiaramente sulla comp. *DS*; la *VM* aveva infatti perso di sensibilità nei suoi confronti) risultano molto meno sviluppati degli analoghi provocati dal ciclone del 15.VII.1970. Del resto, anche il loro periodo — dell'ordine di 2 sec — è leggermente inferiore a quello osservato il 15.VII.1970. Ciò sta a provare che la tempesta microsismica, originata nel golfo di Trieste il 16.IX.1970, fu associata a sistemi di onde significative che non avevano ancora raggiunto il loro completo sviluppo.

Fig. 9 - Microseisms recorded in Pieve di Cadore on occasion of the passage of the perturbation of September 16, 1970 (figures 7,8). The microseisms coming from the lake appear distinctly less developed than those brought about by the cyclone of July 15, 1970. Also the successive microseisms from the Gulf of Trieste, which reached Pieve after 10^h p.m. (more discernable on the right-left component, as the hill-valley component, as a matter of fact, had lost all sensitivity in its regard), resulted much less developed than the analogous ones caused by the cyclone of July 15, 1970. Besides, also their period, in the order of 2 sec., is slightly inferior to that observed on July 15, 1970. This is a proof that the microseismic storm originating in the Gulf of Trieste on September 16, 1970 was associated to significant waves systems which had not yet reached their apex.

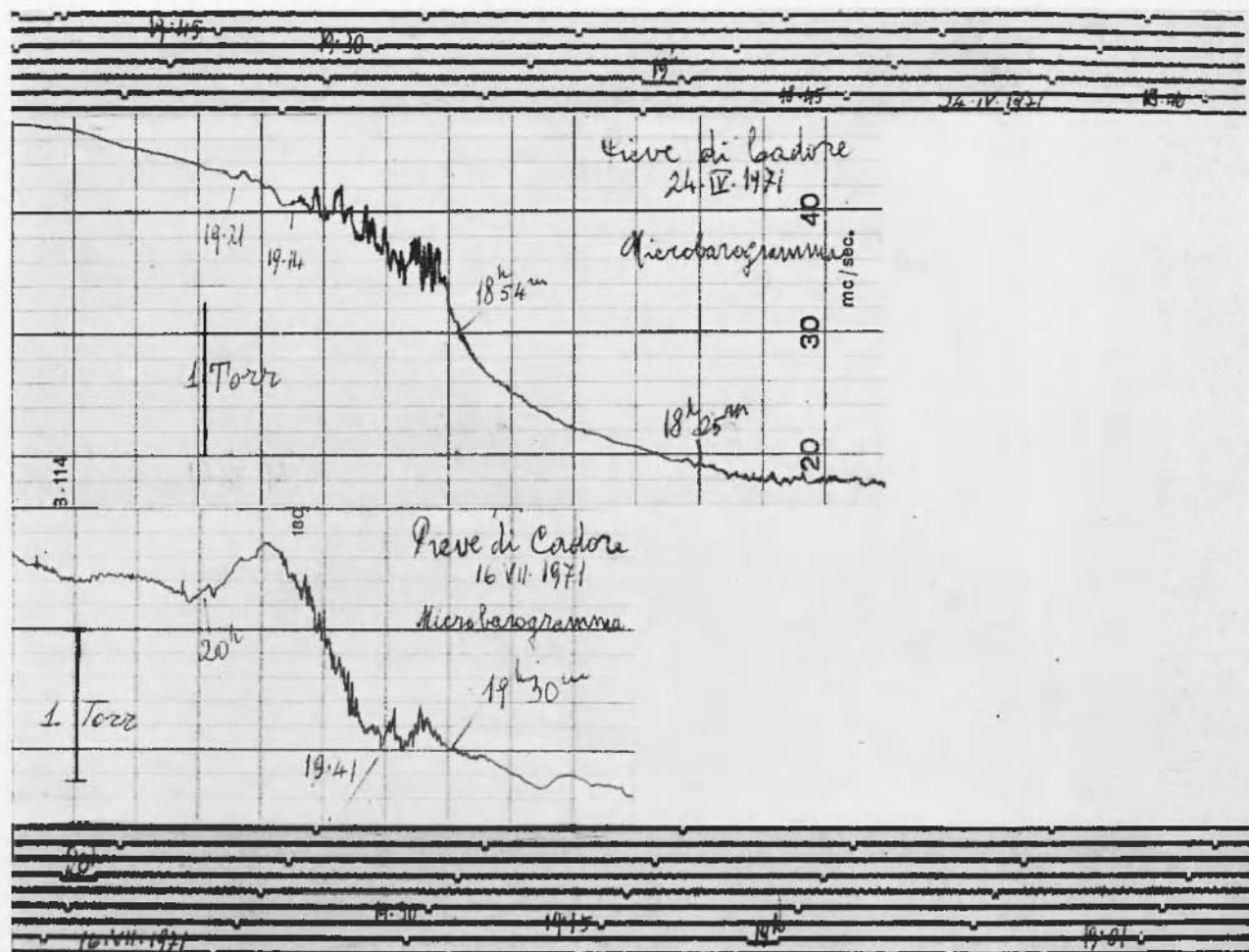


Fig. 10a - Lievi microsismi sulla comp. Valle-Monte (VM), in corrispondenza del passaggio di gruppi di rapide perturbazioni microbariche, sul lago di Pieve di Cadore, dalle 19^h ca alle 19^h20^m ca.

Fig. 10b - Microsismi dalle 19^h37^m ca alle 20^h15^m ca, associati al passaggio sul lago di lievi rapidi, disturbi microbarici, su pressione atmosferica in rapida ascesa. I microsismi iniziano sempre qualche minuto dopo l'inizio dei disturbi microbarici e terminano alcuni minuti dopo il passaggio del nucleo perturbante.

Fig. 10a - Light microseisms on the hill-valley component, corresponding to the passage of groups of rapid microbaric perturbations on the Lake of Pieve di Cadore, from about 7^h p.m. to about 8^h p.m.

Fig. 10b - Microseisms from about 7^h37^m p.m. to about 8^h15^m p.m. associated to the passage of light, rapid microbaric perturbations over the lake. Microseisms always set in a few minutes after the beginning of the microbaric perturbations and end a few minutes after the passage of the perturbing nucleus.

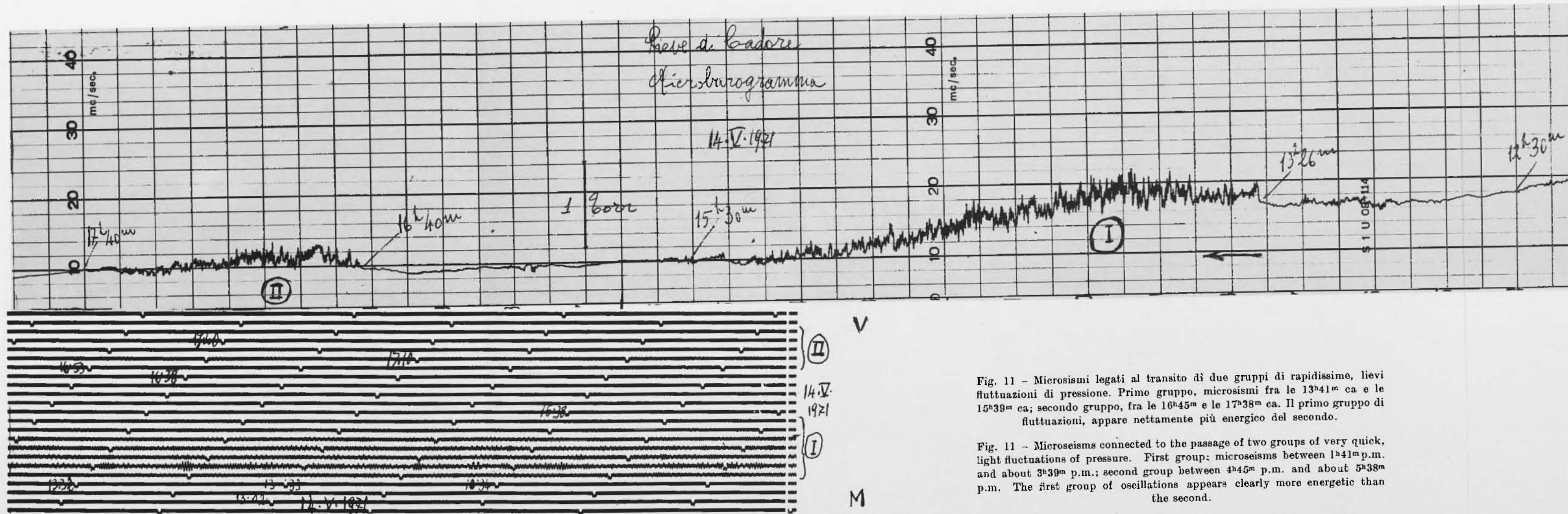
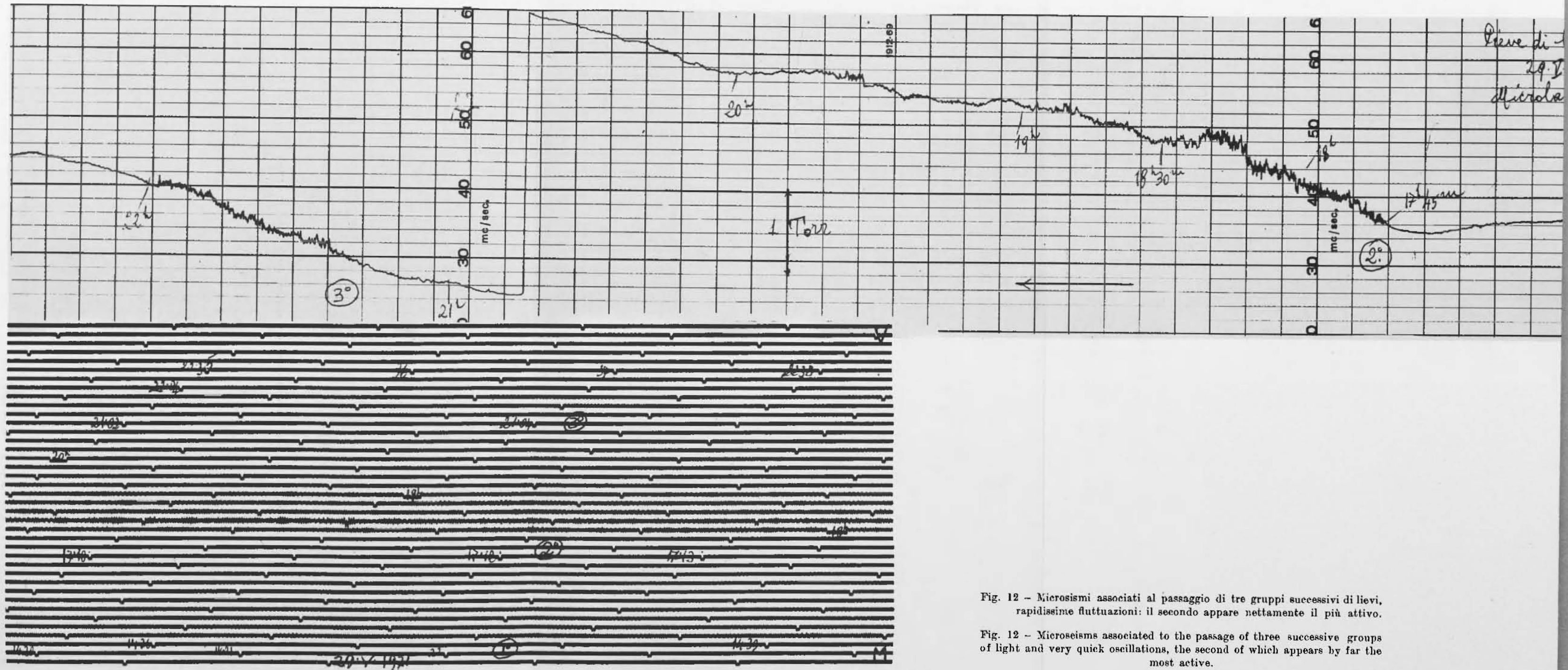


Fig. 11 - Microsismi legati al transito di due gruppi di rapidissime, lievi fluttuazioni di pressione. Primo gruppo, microsismi fra le 13^h41^m ca e le 15^h39^m ca; secondo gruppo, fra le 16^h45^m e le 17^h38^m ca. Il primo gruppo di fluttuazioni, appare nettamente più energetico del secondo.

Fig. 11 - Microseisms connected to the passage of two groups of very quick, light fluctuations of pressure. First group: microseisms between 1^h41^m p.m. and about 3^h39^m p.m.; second group between 4^h45^m p.m. and about 5^h38^m p.m. The first group of oscillations appears clearly more energetic than the second.



Pieve di
29.V
Microse

Fig. 12 - Microsismi associati al passaggio di tre gruppi successivi di lievi, rapidissime fluttuazioni: il secondo appare nettamente il più attivo.

Fig. 12 - Microseisms associated to the passage of three successive groups of light and very quick oscillations, the second of which appears by far the most active.

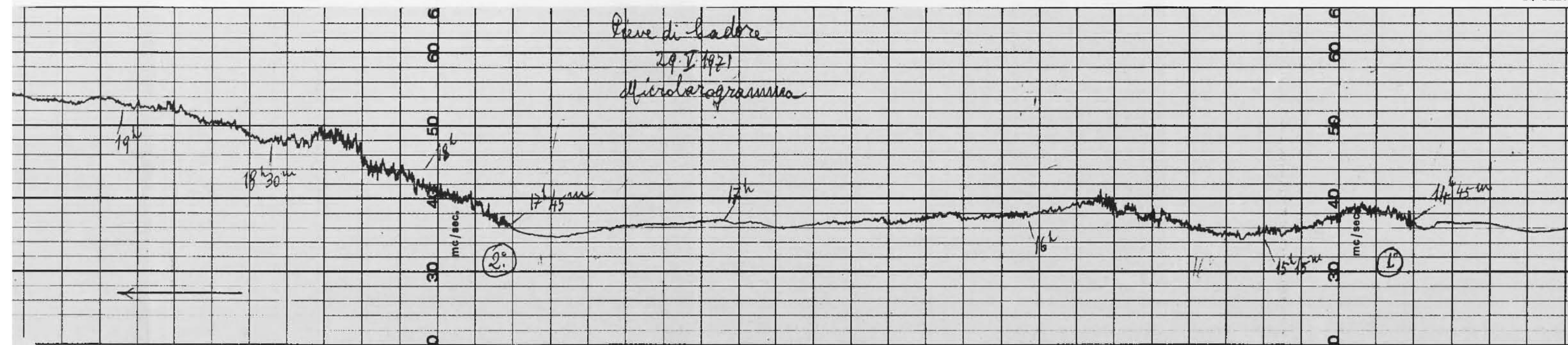


Fig. 12 - Microsismi associati al passaggio di tre gruppi successivi di lievi, rapidissime fluttuazioni: il secondo appare nettamente il più attivo.

Fig. 12 - Microseisms associated to the passage of three successive groups of light and very quick oscillations, the second of which appears by far the most active.

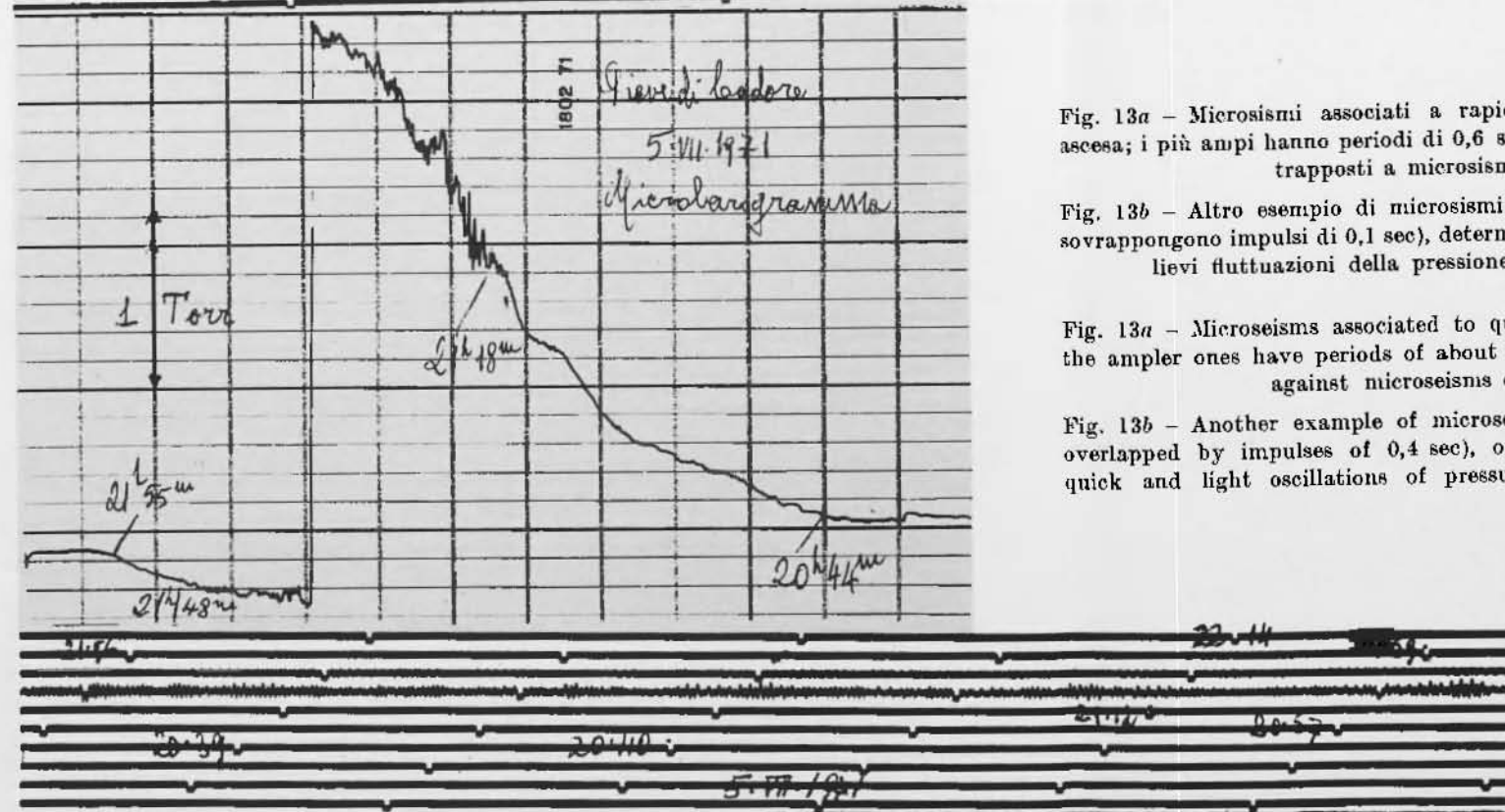
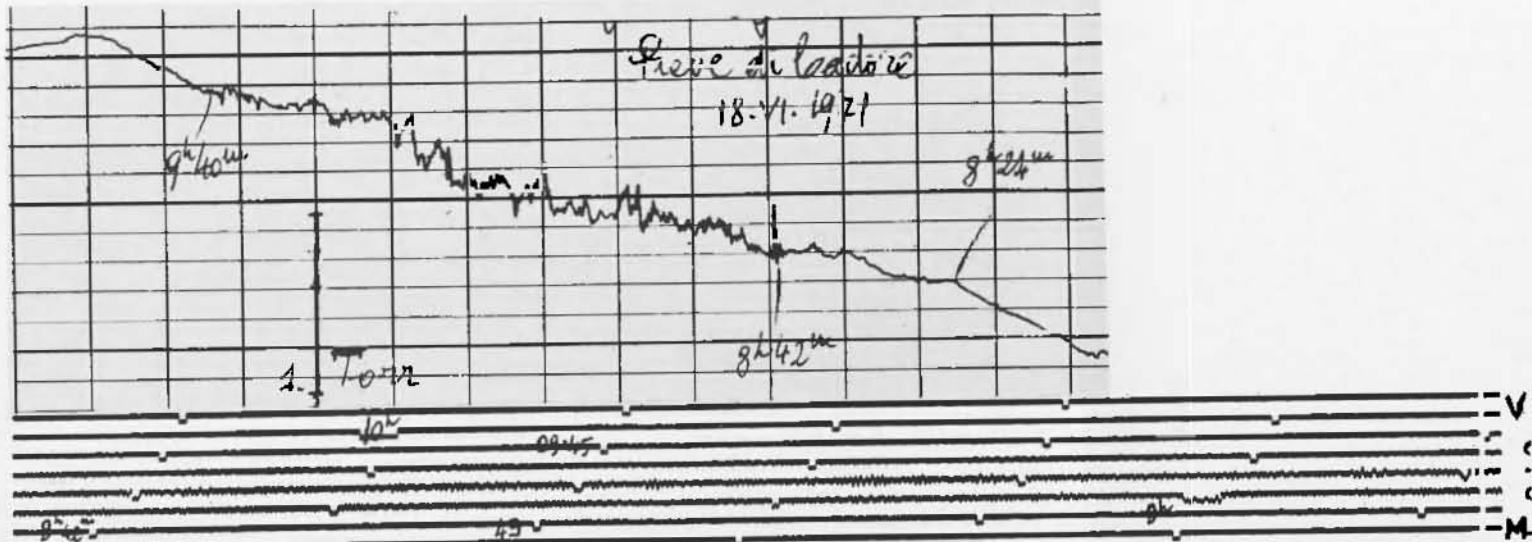


Fig. 13a - Microsismi associati a rapide fluttuazioni della pressione in ascesa; i più ampi hanno periodi di 0,6 sec ca; ma, inizialmente sono contrapposti a microsismi di circa 4^s,5.

Fig. 13b - Altro esempio di microsismi (con periodi iniziali di 4^s,5 cui si sovrappongono impulsi di 0,1 sec), determinati da un gruppo di rapidissime, lievi fluttuazioni della pressione in netta fase ascendente.

Fig. 13a - Microseisms associated to quick oscillations of rising pressure: the ampler ones have periods of about 0,6 sec, but initially they set itself against microseisms of about 4^s,5.

Fig. 13b - Another example of microseisms (with initial periods of 4^s,5, overlapped by impulses of 0,4 sec), originating from a group of very quick and light oscillations of pressure in a clearly ascending phase.

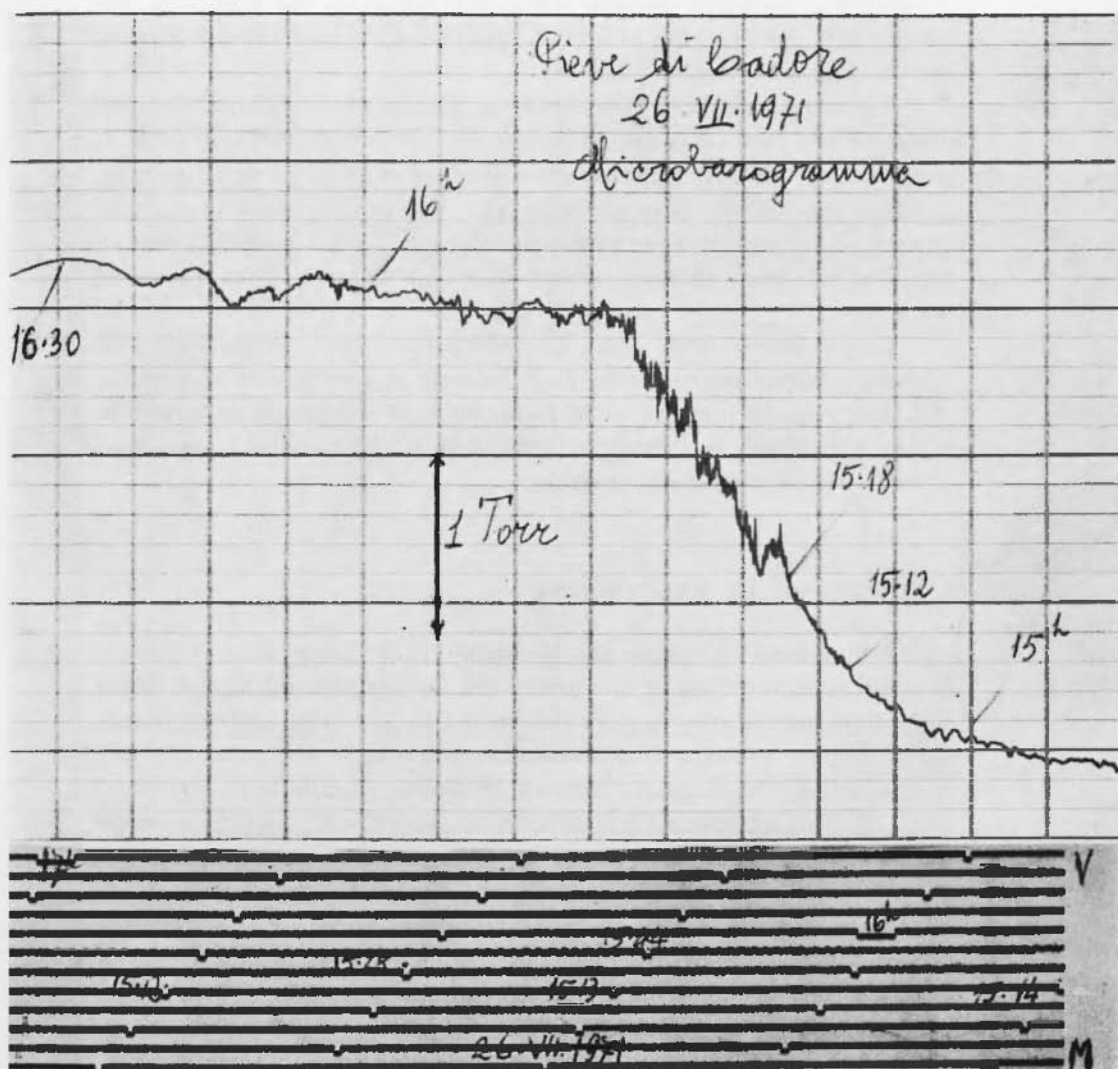


Fig. 14 - Il transito sul lago di rapidissime, tenui fluttuazioni microbariche, su pressione in brusca ascesa, provoca la registrazione di lievi microsismi (con inizio verso le 15^h21^m sul ritmo di 4 sec ca, cui si sovrappongono impulsi di 0.4 sec).

Fig. 14 - The passage of very quick and light microbaric oscillations over the lake, on a pressure of sudden rise, gives recordings of light microseisms starting at about 3^h21^m p.m. at intervals of about 4 seconds, which are overlapped by impulses of 0.4 sec.

Naturalmente, si possono avere microsismi per la durata di parecchie ore, quante durano le fluttuazioni della pressione atmosferica, da cui traggono origine (fig. 18).

Va ancora messo in forte evidenza il fatto che le tempeste microsismiche dal lago iniziano generalmente con periodi dell'ordine di 3, 4 o 5 sec, ai quali si sovrappongono quelli di alcuni decimi di secondo. Localmente, quindi, possono originare — come si è visto per i mari interni e gli Oceani (4) — microsismi dei più diversi periodi, associati alla varietà degli impulsi agenti nelle fluttuazioni della pressione atmosferica.

Infine, va osservato che i microsismi dal lago di Pieve di Cadore devono ritenersi provocati da onde forzate: le piccolissime dimensioni del lago impediscono infatti la formazione di sistemi di onde significative e rendono ben lieve la probabilità di formazione delle condizioni per una risonanza cinetica.

2. MICROSISMI DA MARI INTERNI.

Ritorniamo al ciclone del 15 Luglio 1970. Dopo aver provocato la registrazione di vistosi microsismi nel suo transito sul lago di Pieve di Cadore, proseguendo la sua corsa verso SE, giunto sul golfo di Trieste dava origine a cospicui microsismi, caratteristici del golfo (periodo medio dell'ordine di 2^s, 7), secondo modalità esaminate in precedenza (3, 4). Tali microsismi, animati da un'energia nettamente superiore a quella associata ai microsismi del lago « Cadore », si propagano a distanze dell'ordine di alcune centinaia di chilometri. La loro propagazione non avviene però in modo uniforme; essa appare fortemente condizionata dalla natura geologica degli strati esterni della crosta. I microsismi vengono infatti fortemente esaltati dalla Val Padana (v. registrazioni di Padova, Bologna e Pavia — figg. 21, 22, 23 — dove funzionano strumenti, con piccolissimo ingrandimento), presentano normale attenuazione nel settore NW-NE, dove giungono, sia pure con ampiezza molto ridotta fino a Vienna (figg. 23, 24), e trovano uno sbarramento pressoché invalicabile in corrispondenza degli Appennini.

La perturbazione ciclonica del 16 Settembre 1970 fu di intensità molto minore. I microsismi da essa provocati sia a Pieve di Cadore sia nel golfo di Trieste risultarono pertanto di minore ampiezza (figg. 9, 26, 27). Anche il raggio della zona interessata dai microsismi

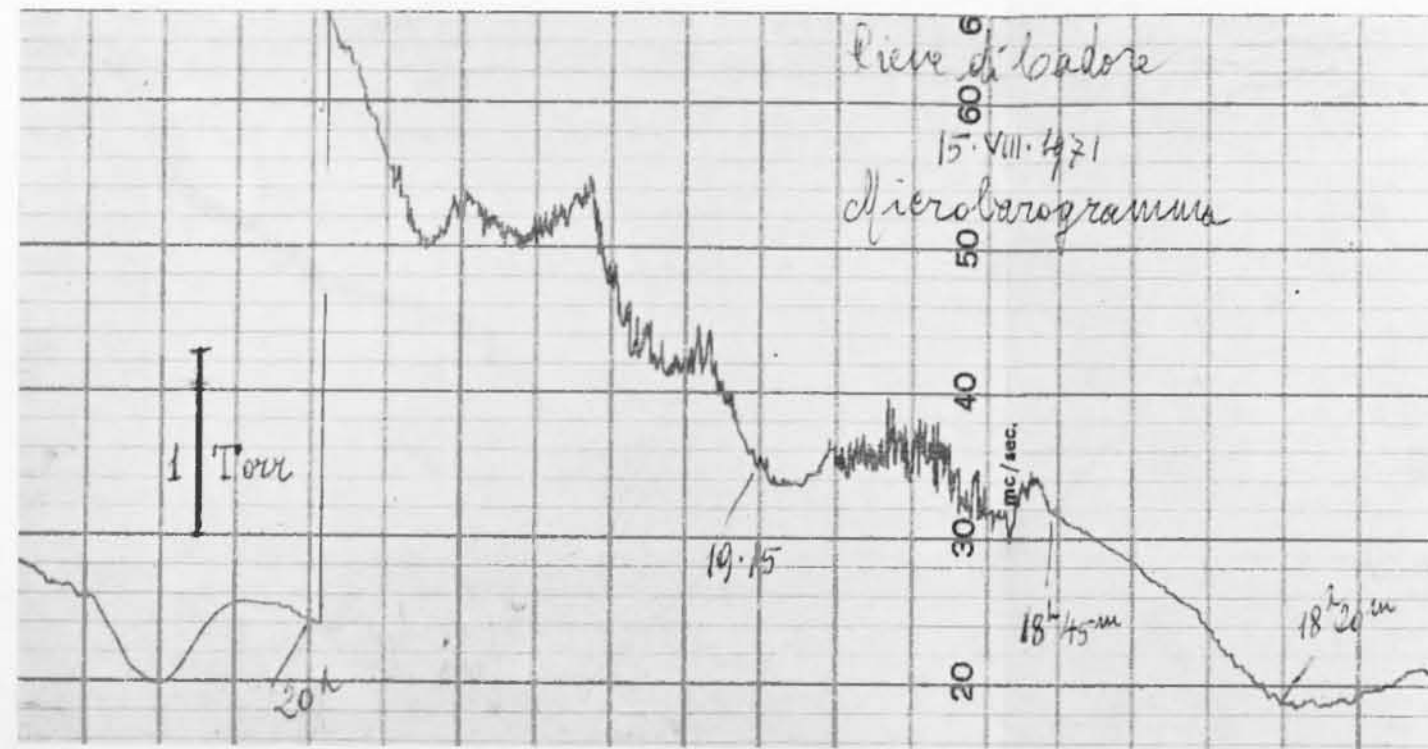
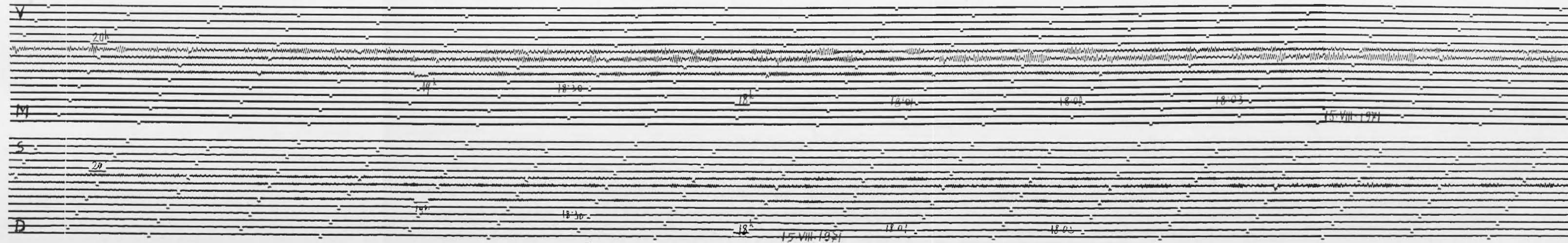
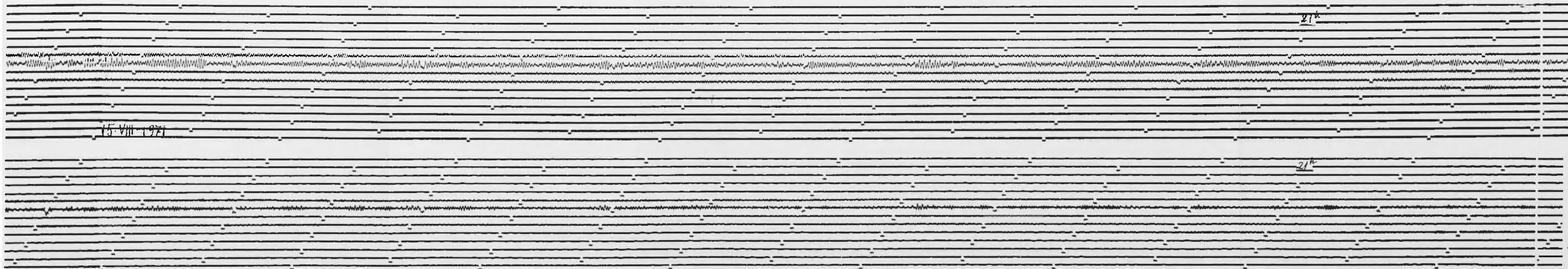


Fig. 15 - Esempio di straordinario interesse. I microsismi iniziano alle 18^h50^m ca su periodi di 4^s ca. Alle 18^h51^m inizia la sovrapposizione di lievi oscillazioni, con periodi di 0,3-0,4 di sec. L'intervallo fra le 19^h10^m ca e le 19^h20^m ca, è caratterizzato da diminuzione di attività, per attenuazione delle rapide fluttuazioni della pressione in fase positiva. Con l'intensificarsi delle fluttuazioni, i microsismi raggiungono le massime ampiezze, per attennarsi e scomparire con le fluttuazioni in fase di estinzione. La componente *V**M* è ovviamente la più ampia.

Fig. 15 - An example of an extraordinary interest. Microseisms set in at about 6^h50^m p.m. with periods of about 4 sec. At 6^h51^m p.m. begins the overlapping of light oscillations with periods of 0,3-0,4 sec. The interval between 7^h10^m p.m. and about 7^h20^m p.m. is marked by a reduced activity as a consequence of attenuation of the quick oscillations of pressure in the positive phase. As oscillations grow stronger, microseisms reach their maximum amplitudes; then they become weaker and disappear with oscillations when these reach their extinction phase. The hill-valley (*V**M*) component is obviously the amplest.





15 VIII 1971

21^a

21^a

S

D

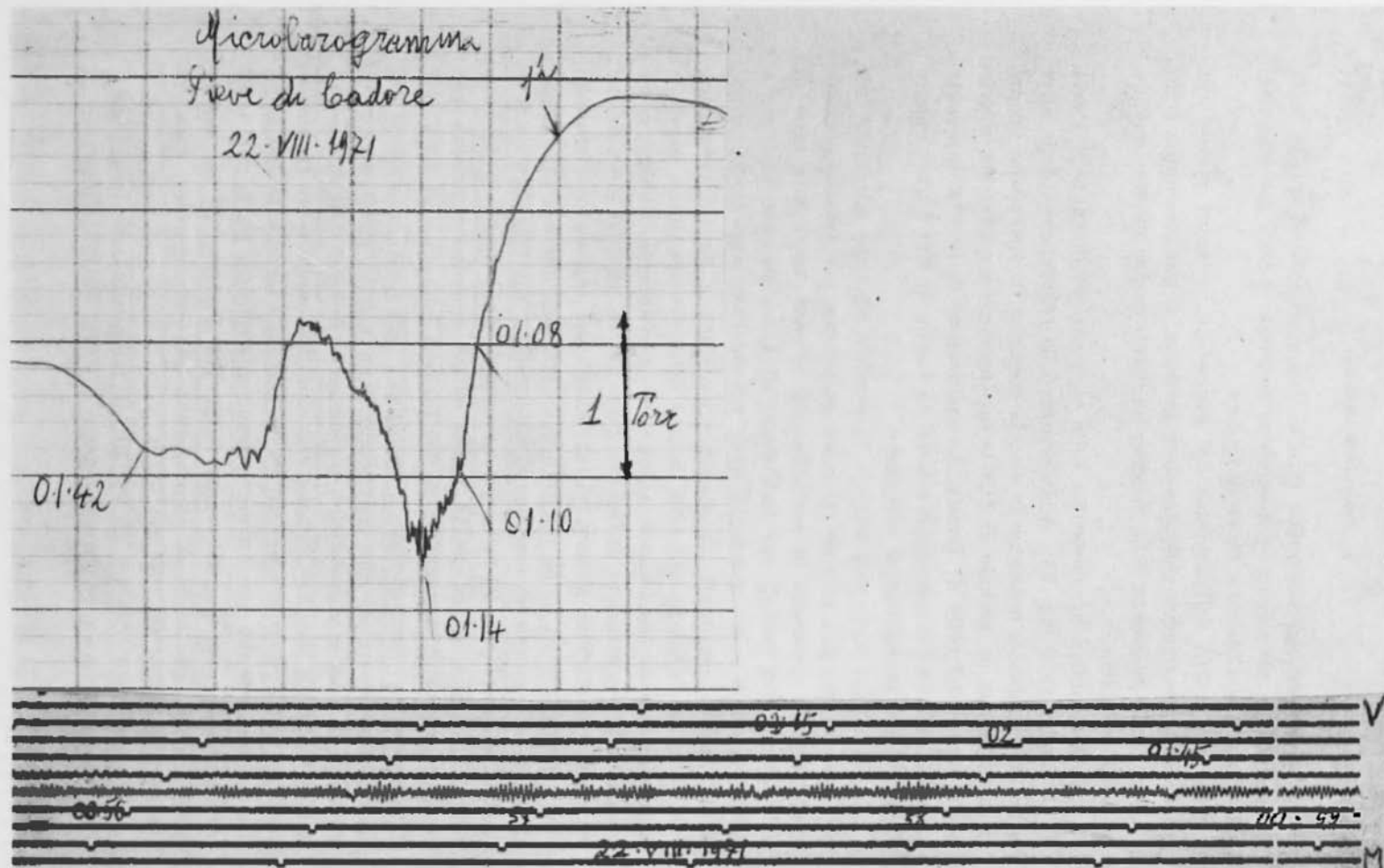


Fig. 16 - Altro notevole esempio di microsismi, associati a rapidissime fluttuazioni della pressione, in transito sul lago.

Fig. 16 - Another noteworthy example of microseisms, associated with very quick pressure oscillations passing over the lake.

adriatici appare quindi molto ridotto, nei confronti di quello della perturbazione precedente: i microsismi risultano infatti già attenuati a Somplago, La Maina e Pieve di Cadore.

Dal rapporto dell'ampiezza dei microsismi, ottenuti presso una stessa stazione sismica nelle due date predette, si può avere una chiara idea della differenza delle energie, animanti le due diverse manifestazioni cicloniche.

Soffermiamoci un momento sulle registrazioni ottenute a Pavia il 15 Luglio 1970 (fig. 23). A differenza delle registrazioni delle altre stazioni esaminate, noteremo in esse la presenza di microsismi fin dal mattino, e con un periodo di 3^s,3-4^s ca, superiore a quello dei microsismi propri del golfo di Trieste. La spiegazione di questa apparente anomalia si ha osservando che, già dal 14 Luglio, il Mar Ligure appare investito da perturbazioni cicloniche.

Come è già stato osservato (3. 4), stazioni sismiche sistemate sulle coste, ai margini di zone di mare comunque perturbato, possono registrare, in occasione di perturbazioni intense, tutta una serie di microsismi, con periodi che dall'ordine di 1 sec possono arrivare a valori di quelli delle coperiodali onde significative: sono questi ultimi i microsismi persistenti, di massima ampiezza e che si propagano alle maggiori distanze. Gli altri, hanno carattere sporadico, associati a sistemi di onde temporanee, animati da poca energia. Ebbene, come risulta dalle registrazioni di Genova (figg. 28-30), in quel giorno e nel successivo la stazione sismica ivi funzionante ha segnalato microsismi dall'aspetto caotico, come risultato della contemporanea registrazione di tutta una gamma di oscillazioni, associate al mare agitato da perturbazioni cicloniche. Di tutta questa congerie di oscillazioni, giungono a Pavia, dalle 9 in poi del 15 Luglio ed ivi vengono registrate con carattere di regolarità, solo quelle con periodo dell'ordine di 3,5-4 sec: tali oscillazioni costituiscono i microsismi persistenti, originanti nel Mar Ligure, associati alle coperiodali onde marine significative. Sismografi di pari caratteristiche, registrano a Bologna tali microsismi molto attenuati (fig. 22), benché essa non disti dalle coste tirreniche molto di più di quanto non disti Pavia. Ciò sta a significare che, mentre i microsismi del Mar Ligure trovano una finestra fra le Alpi e gli Appennini, per propagarsi verso l'alta Val Padana, gli Appennini costituiscono una sorta di sbarramento alla propagazione verso la restante valle del Po (fig. 31).

Intorno alle 19^h del 15.VII.70, ai microsismi che provengono dal golfo di Genova, si sovrappongono a Pavia quelli di provenienza

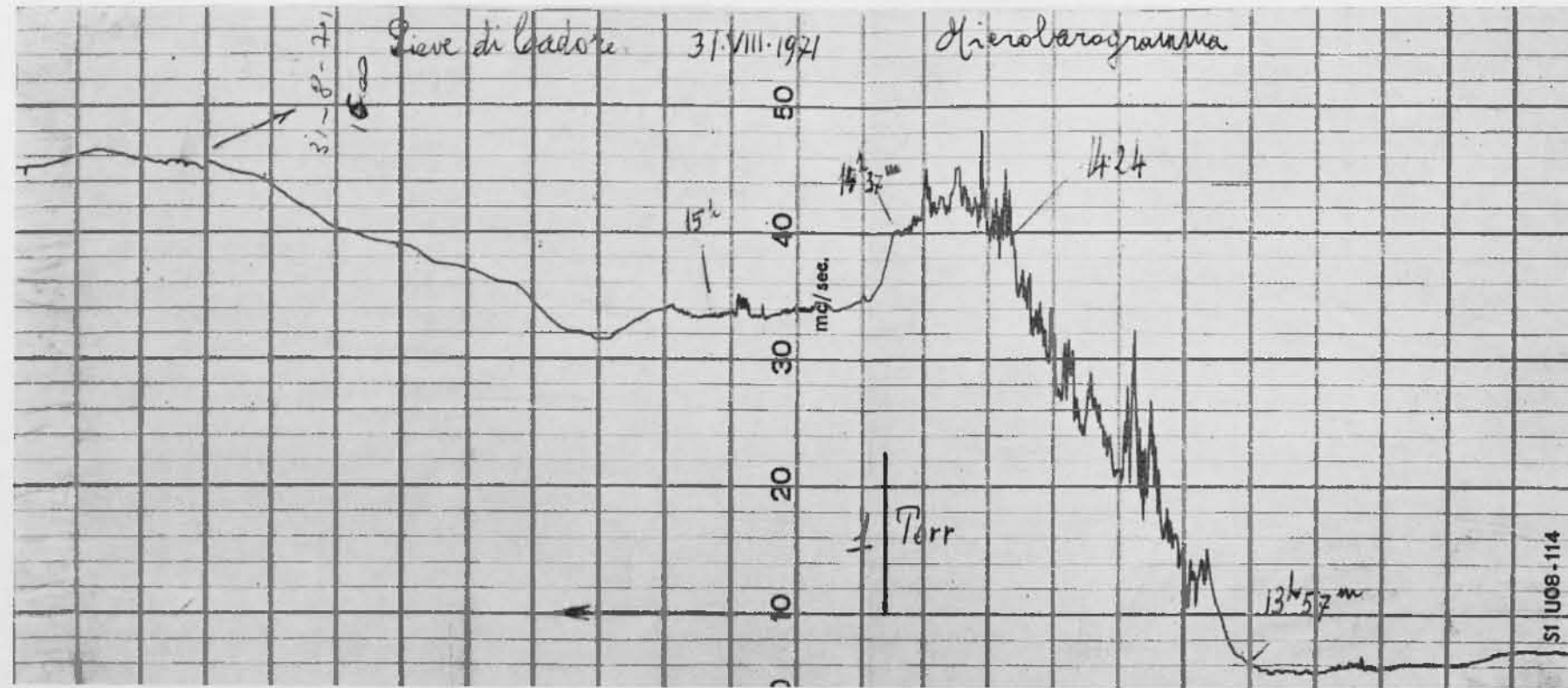
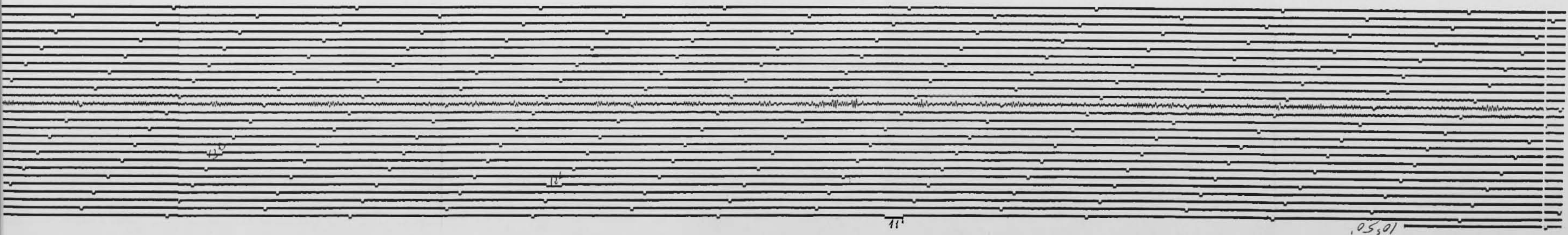


Fig. 17 - Altro eccezionale esempio di microsismi, provocati dall'interazione fra acque del lago e rapide fluttuazioni della pressione atmosferica in transito. Alle 14^h08^m ca iniziano microsismi con periodi di 4-5 sec, a cui, verso le 14^h15^m, si sovrappongono vibrazioni rapidissime --- 0,4 sec ca ---, che evolvono fino a periodi di 0,7 sec ca. Non ostante l'apparenza, le oscillazioni aventi ca 5 sec di periodo, sono in realtà più ampie di quelle con periodo di 0,5 sec ca. Queste ultime, infatti, sono ingrandite dal sismografo 7 volte più delle prime.

Fig. 17 - Another exceptional example of microseisms brought about by the interaction between the lake water and quick oscillations of atmospheric pressure passing by. At about 2^h08^mp.m. set in the microseisms with periods of 4-5 seconds, overlapped toward 2^h15^mp.m. by very quick vibrations of about 0,4 sec evolving up to periods of about 0,7 sec. Notwithstanding the appearance, the oscillations of about 5 sec periods are in reality ampler than those with periods of about 0,5 sec. In fact, the latter are magnified 7 times more than the first by the seismograph.



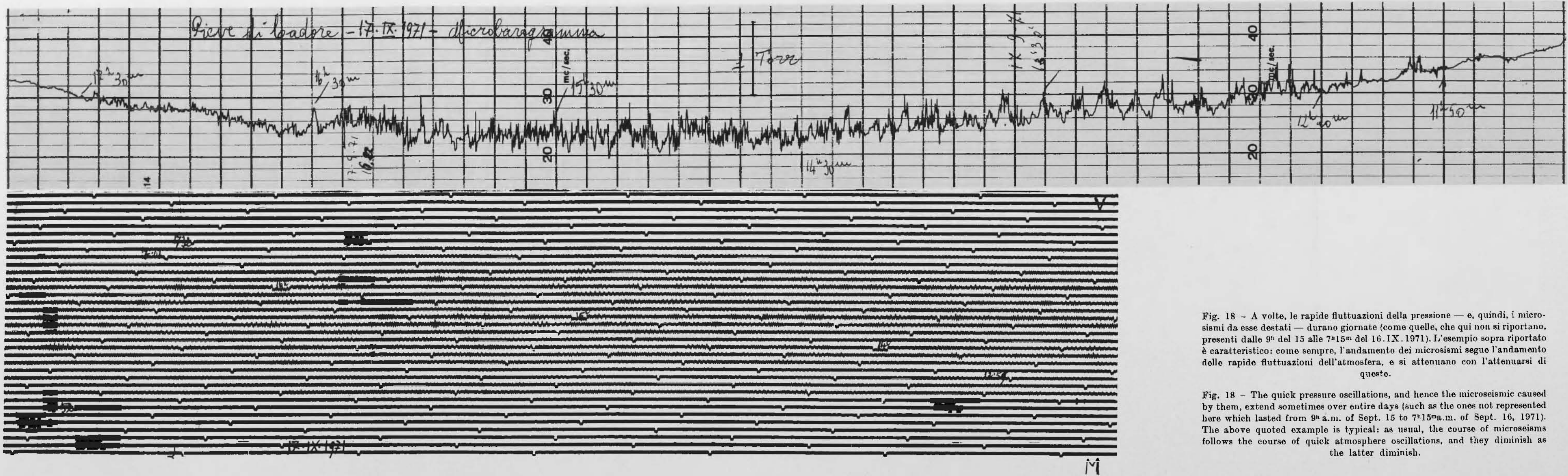


Fig. 18 - A volte, le rapide fluttuazioni della pressione — e, quindi, i microsismi da esse destati — durano giornate (come quelle, che qui non si riportano, presenti dalle 9^h del 15 alle 7^h15^m del 16. IX. 1971). L'esempio sopra riportato è caratteristico: come sempre, l'andamento dei microsismi segue l'andamento delle rapide fluttuazioni dell'atmosfera, e si attenuano con l'attenuarsi di queste.

Fig. 18 - The quick pressure oscillations, and hence the microseismic caused by them, extend sometimes over entire days (such as the ones not represented here which lasted from 9^a a.m. of Sept. 15 to 7^h15^ma.m. of Sept. 16, 1971). The above quoted example is typical: as usual, the course of microseisms follows the course of quick atmosphere oscillations, and they diminish as the latter diminish.

adriatica: essi risultano di periodo dell'ordine di $2^s,7$ e sono di piccola ampiezza. Se ne conclude che Pavia è particolarmente sensibile ai microsismi, provocati da perturbazioni del Mar Ligure.

2.1 - Queste distinzioni fra microsismi persistenti, provenienti da diversi centri-origine, è resa possibile dal fatto che, nella loro propagazione, i microsismi non subiscono dispersione (3. 4).

La perturbazione che ha determinato la tempesta microsismica nel Mar Ligure, proseguendo la sua corsa lungo il Tirreno, provoca la registrazione di microsismi, sporadici e persistenti, anche nella stazione sismica di Roma Città Universitaria (fig. 31).

È interessante osservare la differenza delle registrazioni microsismiche ottenute contemporaneamente a Genova e a Roma, durante il transito di questa tempesta. A Genova l'agitazione microsismica raggiunge la massima intensità fra le 13^h ca e le 22^h ca (tempo di Gr) ed ha carattere esclusivamente locale: l'aspetto caotico (figg. 28-30), sta a significare la sovrapposizione di oscillazioni per sistemi d'onde sporadici, temporanei: gli pseudo-periodi infatti non superano i 3^s .

A Roma microsismi apprezzabili iniziano verso le 15^h del 15.VII ed aumentano via via di ampiezza, per raggiungere i massimi verso le 6^h del 16.VII ed oltre. Sembra quindi esservi uno sfasamento con Genova; ma è solo apparente. Si noti che a Roma i microsismi presentano periodi dell'ordine di 4-5 sec, contro i 2^s in media di Genova. La spiegazione è di carattere strumentale. Gli apparecchi a breve periodo di Genova presentano ingrandimenti dinamici che variano, in media, da 8.000 a 3.500 per periodi da 1^s a 3^s , mentre l'ingrandimento dinamico di movimenti con periodi da 4^s a 5^s decresce da 600 a 300 (1).

Pertanto, l'eventuale presenza di microsismi con periodi superiori a 4 sec, a Genova viene generalmente mascherata da perturbazioni a più breve periodo, di carattere locale, amplificati una diecina di volte e più. A Roma (Città Universitaria) i sismografi Galitzin-Wilip presentano caratteristiche opposte: piccolo ingrandimento per brevi periodi (400-600 per periodi da 1 a 2 sec) e ingrandimento dell'ordine di 1500 per periodi da 4 a 5 sec.

È nostro parere che microsismi con periodi dell'ordine di 4-5 sec originano in corrispondenza della vasta zona di mare fra la Capraia, l'isola d'Elba e Livorno. Tale zona, caratterizzata da piccole profondità del mare e delimitata in modo da formare come un ampio

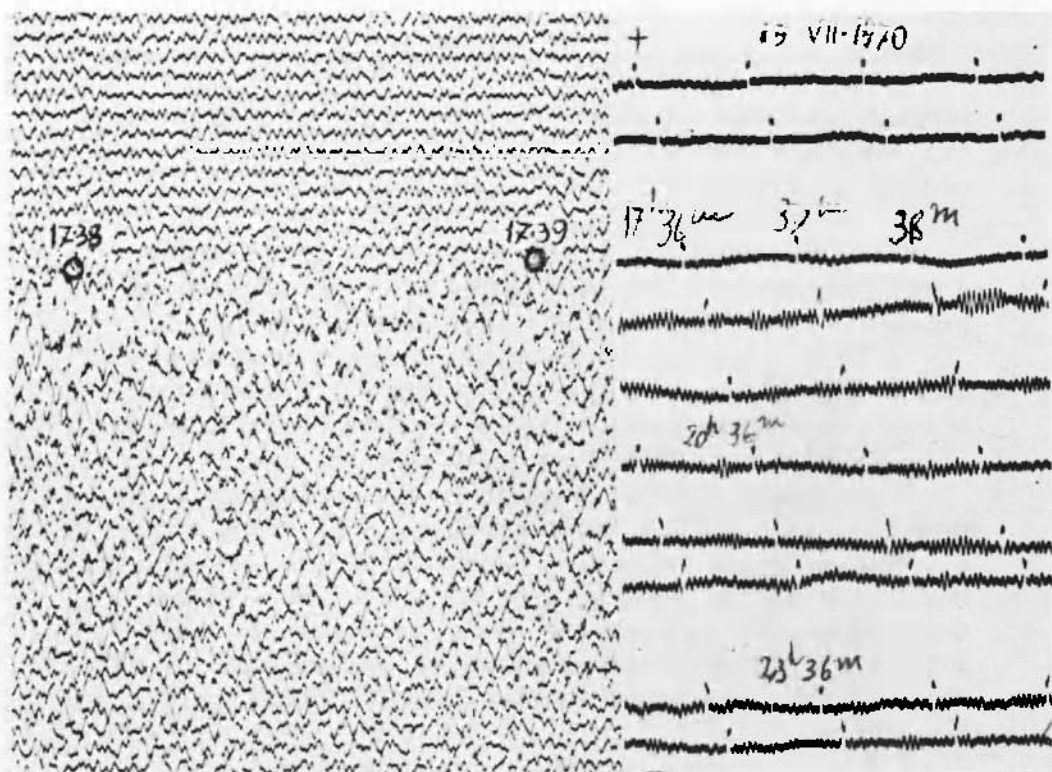


Fig. 19 - Registrazione dei microsismi, associati al transito del ciclone del 15.VII.1970 sul golfo di Venezia, ottenuta a Trieste. A sinistra figura la registrazione fornita dalla comp. EW a breve periodo ($T_0 = 1^s,0$; $T_g = 0^s,75$); essa appare caotica, con prevalenza di impulsi di periodi varianti da 1 a 2 sec ca. Questi non sono i microsismi fondamentali, aventi un periodo di $2^s,6$ ca, bensì perturbazioni a carattere secondario, sporadico, dovute a sistemi ondosi transitori. Essi mascherano i microsismi fondamentali, legati a sistemi ondosi permanenti, «significativi», quali sono appunto quelli registrati dai sismografi a lungo periodo (a destra della figura: comp. Z, con periodi strumentali $T_0 = 15^s,1$, $T_g = 100$ sec); sul ritmo di $2^s,6$ ca. Questa disparità di registrazione è di carattere strumentale: i sismografi a breve periodo ingrandiscono infatti le perturbazioni con periodi dell'ordine di 1 sec, migliaia di volte di più di quelle con periodi intorno ai 3 sec, mentre i sismografi a lungo periodo hanno un ingrandimento dinamico pressoché costante per periodi da 1 a 3 sec. Pertanto, quelli con periodo dell'ordine di $2^s,7$ sono i microsismi fondamentali, eccitati dal ciclone in transito sul golfo di Trieste: solo essi, infatti, vengono successivamente registrati — con tale periodo — a Somplago, La Maina, Padova, Vajont, Pieve di Cadore, Bologna, Zagabria, fino alle massime distanze (Vienna).

Fig. 19 - Recording of microseisms associated to the passage of the cyclone of July 15, 1970 over the Gulf of Venice, taken in Trieste. On the left hand the recording obtained by the EW component of a short period ($T_0 = 1^s,0$; $T_g = 0^s,75$) is shown; it appears chaotic, and impulses with periods varying from 1 to about 2 sec are prevailing it. These are not the fundamental microseisms with periods of about $2^s,6$, but secondary, sporadic perturbations due to transient wave systems. They camouflage the fundamental microseisms bound to permanent, «significant» wave systems such as the ones recorded by the long period seismographs (on the right hand of the figure: Z component with instrumental periods ($T_0 = 15^s,1$; $T_g = 100$ sec) with rates of about $2^s,6$. This recording discrepancy is due to the instrument: the short period seismographs enlarge the perturbations of about 1 sec periods thousands of times more than those having periods of about 3 sec, while the long period seismographs have a virtually constant dynamic magnification for periods from 1 to 3 sec. The microseisms with periods in the order of $2^s,7$ are, therefore, the fundamental ones excited by the transient cyclone, over the Gulf of Trieste. They alone are successively recorded with the said period in Somplago, La Maina, Padova, Vajont, Pieve di Cadore, Bologna, Zagabria up to the maximum distances (Wien).

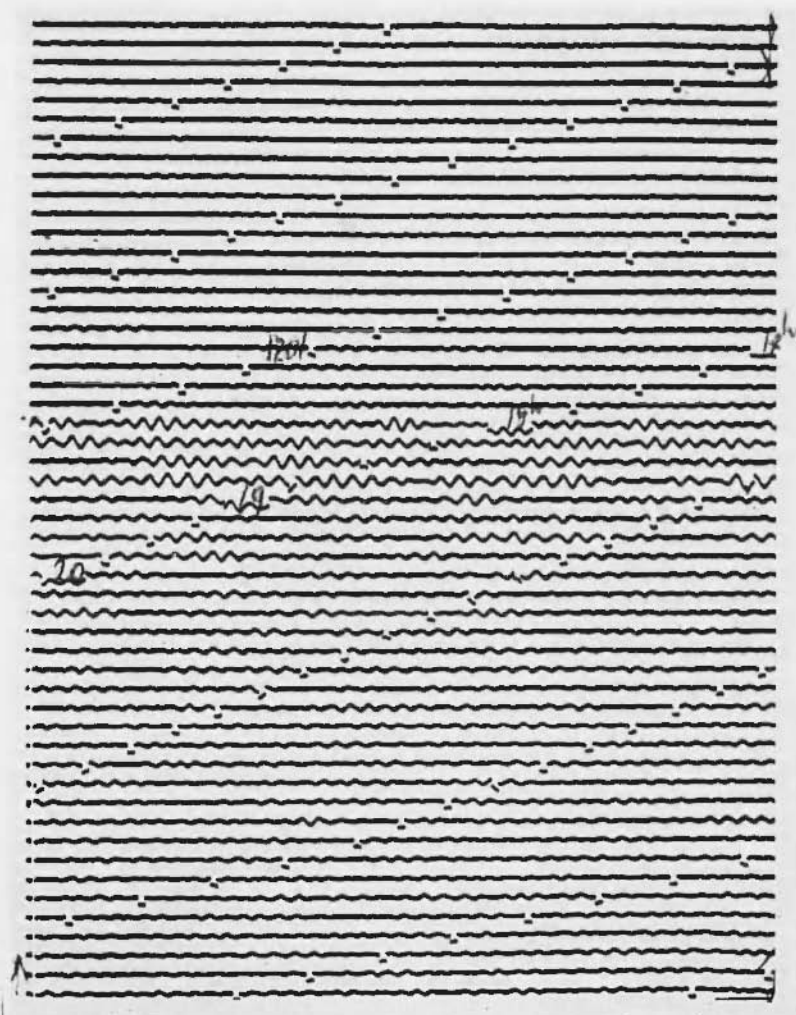


Fig. 20 - Registrazione dei microsismi provenienti dal golfo di Trieste, ottenuta sulla comp. *NE-SW* della stazione sismica di Somplago (presso il lago di Cavazzo), a circa 85 km di distanza dalla zona-origine. I microsismi conservano il periodo medio di 2^s,7, osservato a Trieste (ciclone del 15. VII. 1970).

Fig. 20 - Recording of microseisms from the Gulf of Trieste, taken on the *NE-SW* component of the Somplago Seismic Station (near the Lake of Cavazzo), at about 85 kms distance from the origin area. Microseisms maintain the mean period of 2^s,7 observed in Trieste (cyclone of July 15, 1970).

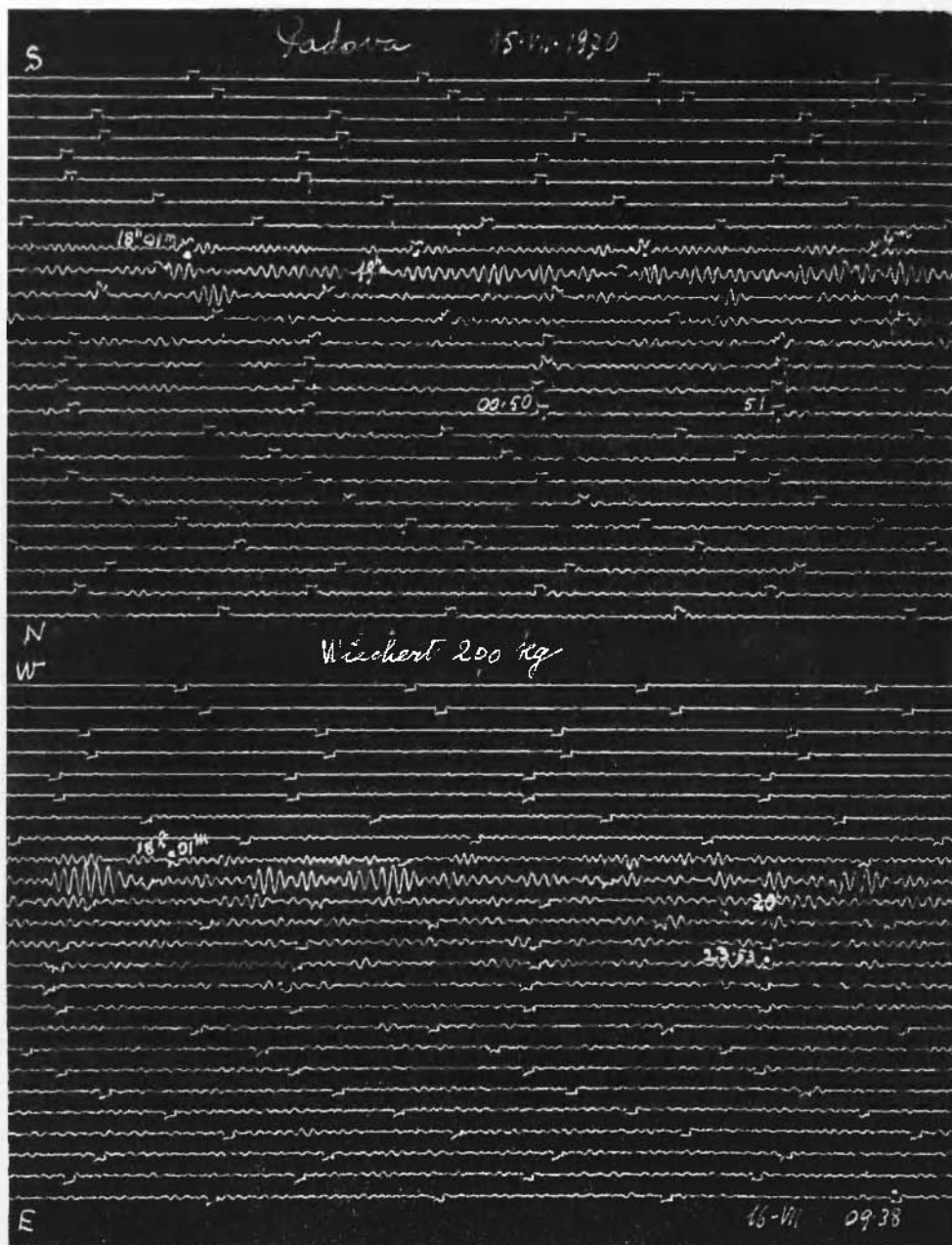


Fig. 21 - Registrazione di microsismi, associati al transito del ciclone del 15.VII.1970 sull'alto Adriatico, ottenuta a Padova, ad oltre 130 km dalla zona-origine (golfo di Trieste). La Val Padana esalta questo tipo di oscillazioni. I microsismi registrati a Padova risultano infatti nettamente più ampi di quelli contemporaneamente ottenuti a Trieste, ai margini della zona-origine. Va precisato che il « Wiechert » di Padova ha un ingrandimento pari a meno di 1/5 di quello del sismografo a lungo periodo funzionante a Trieste (fig. 19), per periodi dell'ordine di 3 sec.

Fig. 21 - Recording of microseisms associated to the passage of the cyclone of July 15, 1970 over the High Adriatic Sea, taken in Padova at over 130 kms distance from the origin area (Gulf of Trieste). The Po Valley enhances this kind of oscillations. The microseisms measured in Padova, in fact, are distinctly ampler than those measured at the same time in Trieste at the margin of the origin area. It must be added that the "Wiechert" of Padova has a magnification of less than 1/5 of the magnification of the long period seismograph, that is for periods in the order of 3 sec, installed in Trieste (Fig. 19).

golfo (fig. 32) nei confronti di perturbazioni provenienti da NW, consente l'apprestamento delle condizioni dinamiche, atte ad esaltare la formazione di microsismi (4). Riteniamo che, in tale zona, le onde significative possano raggiungere, nel loro pieno sviluppo, i 4-6 sec e provocare sul fondo l'insorgere di microsismi coperiodali, quali appunto vengono registrati a Roma (C.U.).

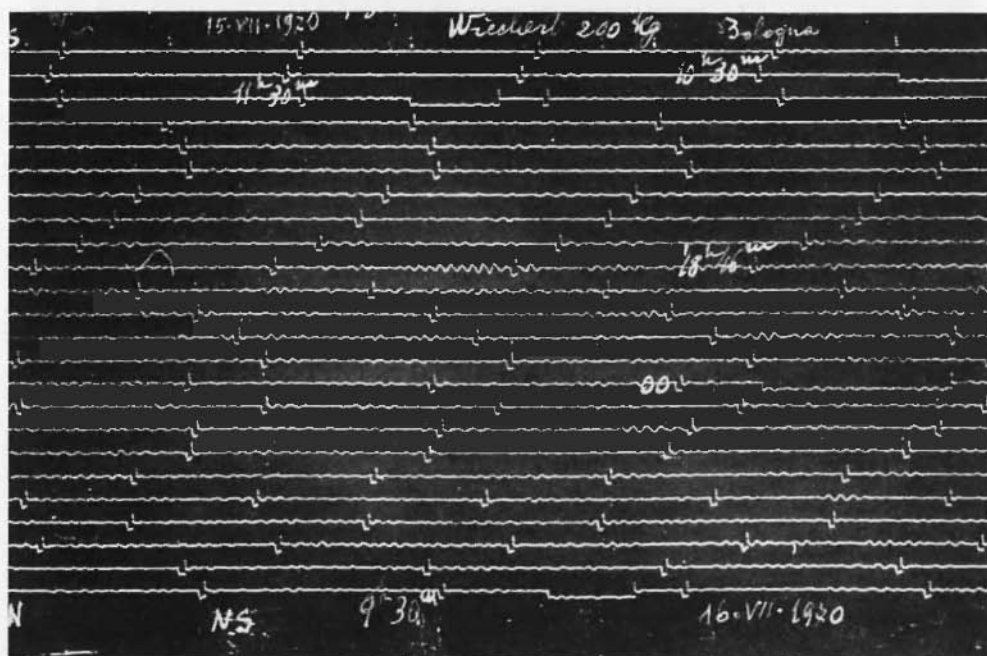


Fig. 22 - I microsismi provocati nel golfo di Trieste dal ciclone del 15. VII. 1970 vengono chiaramente registrati anche a Bologna, dal piccolo « Wiechert » locale, ad oltre 200 km di distanza dalla zona-origine.

Fig. 22 - The microseisms caused in the Gulf of Trieste by the cyclone of July 15, 1970 are clearly recorded also in Bologna by the small local "Wiechert", at over 200 kms distance from the origin area.

Per le ragioni dette, tali microsismi passano generalmente inosservati a Genova, salvo nei casi in cui presentino ampiezza cospicua e l'agitazione locale sia di piccola intensità (fig. 30, parte superiore); non appena però l'agitazione locale riprende a svilupparsi, scompare a Genova (fig. 30) ogni traccia di microsismi di 5^a ca, contemporaneamente registrati a Roma (C.U.).

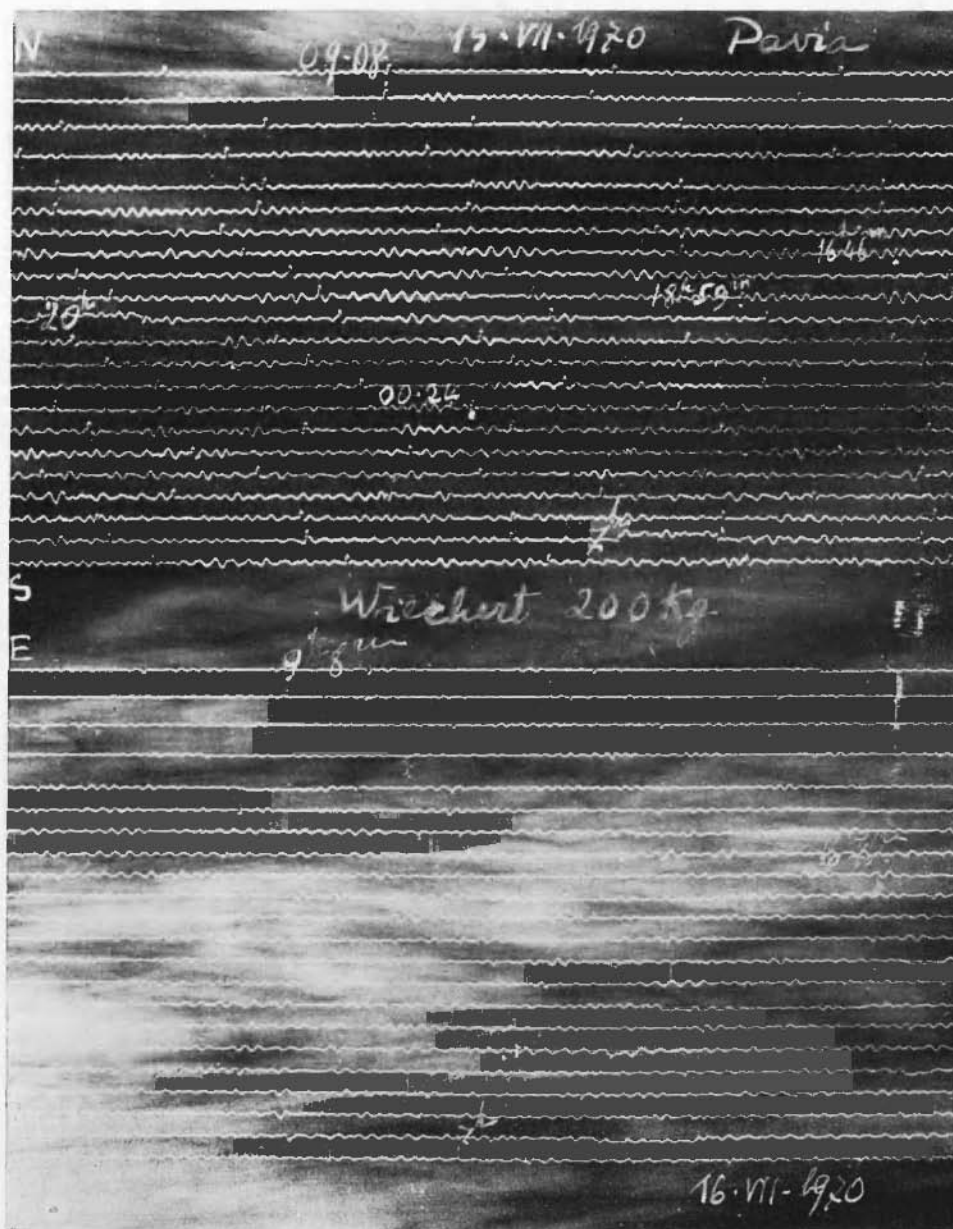


Fig. 23 - Dopo le 19^h (ora solare) del 15.VII.1970, anche sul « Wiechert » 200 kg di Pavia (a ca. 340 km di distanza) si ha registrazione di microsismi provenienti dal golfo di Trieste. Essi però sono preceduti (e, in gran parte, sopraffatti) da microsismi (con periodi dell'ordine di 3^s,5-3^s,7) provenienti dal Mar Ligure, ed ivi provocati dalla stessa perturbazione, in transito parecchie ore prima (fig. 2).

Fig. 23 - After 7^h p.m. (Solar Time) of July 15, 1970, the 200 kg "Wiechert" of Pavia, too, at about 340 kms distance, gave a recording of microseisms from the Gulf of Trieste, preceded, however, and covered to a large extent by microseisms with periods in the order of 3^s,5-3^s,7 from the Ligurian Sea where they had been caused when the same perturbation passed there a few hours earlier.

L'aumento del periodo da 4 a 5 sec ca non è dovuto a fenomeno di dispersione (che, come sappiamo, è pressoché nullo nei microsismi) ma all'aumento del periodo dei sistemi di onde marine significative, da cui i microsismi prendono origine. Questo, quando la tempesta microsismica supera certi limiti di durata (?). È un modo diverso per esprimere il concetto, più volte accennato: il periodo dei microsismi, cioè, aumenta fino a raggiungere il massimo valore in corrispondenza del completo sviluppo del sistema di onde significative.

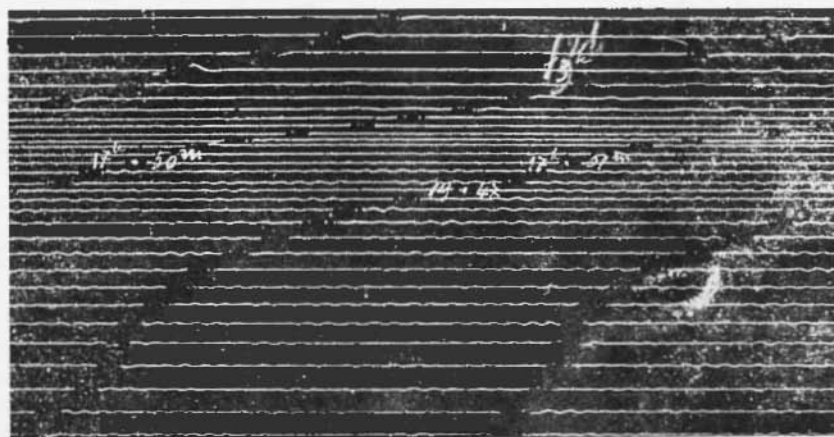


Fig. 24 - I microsismi provenienti dal golfo di Trieste (15.VII.1970) vengono registrati a Zagabria, a ca 200 km di distanza dalla zona-origine. Si noti che la loro ampiezza è nettamente inferiore a quella registrata a Bologna (fig. 22), alla stessa distanza, malgrado il « Wiechert » 1300 kg di Zagabria amplifichi tali movimenti circa il doppio del piccolo « Wiechert » di Bologna. Nuova testimonianza sull'effetto amplificante della Val Padana su movimenti del genere ($T = 2^s,7$ ca).

Fig. 24 - The microseisms from the Gulf of Trieste (July 15, 1970) are recorded also a Zagabria, at some 200 kms distance from the origin-area. It is to be noted that their amplitude is clearly smaller than that recorded at Bologna (fig. 22), at the same distance, although the 1300 kg "Wiechert" of Zagabria gives about twice the amplification of movements in comparison to the small "Wiechert" of Bologna. This is another evidence of the amplifying effect of the Po Valley on the movements of this kind ($T=2^s,7$ approximately).

Per quanto afferisce alla relazione fra periodo delle onde marine e periodo dei microsismi, possiamo osservare che, per onde che « sentono il fondo », i periodi dell'onda liquida e di quella solida coincidono,

mentre per acque profonde l'effetto sul fondo porta al dimezzamento del periodo dell'onda di mare agente, in conformità alla teoria di Longuet-Higgins.

3. MICROSISMI DALL'OCEANO ATLANTICO.

Faremo poche aggiunte a quanto è già stato scritto da uno di noi (⁴). I microsismi di provenienza atlantica traggono la loro origine dal transito, da ovest ad est, di vaste aree depressionarie, che, in prossimità delle coste europee, interagiscono con le acque del sottostante oceano. I periodi elevati (7-9 sec), si spiegano con la formazione di



Fig. 25 - Anche a Vienna -- a ca 355 km di distanza -- giungono i microsismi, associati al transito del ciclone del 15.VII.1970 sul golfo di Trieste. Come a Trieste, e nelle altre stazioni d'osservazione, l'agitazione presenta dei massimi verso le 18^h30^m (ora di Greenwich), conserva il medio periodo della zona-origine (2^s,7 ca), ma è fortemente ridotta in ampiezza.

Fig. 25 - Even Wien, at about 355 kms distance, was reached by the microseisms associated to the passage of the cyclone of July 15, 1970 over the Gulf of Trieste. As was the case in Trieste and the other observation stations, the agitation showed peaks toward 6^h30^m p.m. (Greenwich Time), maintains the mean period of the origin area (2^s,7 approx.), but its amplitude is strongly reduced.

« fetch » estesi, nei quali le onde significative possono raggiungere il loro completo sviluppo: è in corrispondenza di esse che nascono sul fondo microsismi di pari periodo. L'esaltazione di tali microsismi è da attribuire a fenomeni di risonanza cinetica, fra le onde significative

e coperiali fluttuazioni barografiche, presenti nella pressione atmosferica, in fase positiva (*).

Naturalmente, anche nelle zone-origine atlantiche, il complesso movimento ondoso locale dà la stura presso le coste ad un'estesa gamma di perturbazioni microsismiche, capaci di mascherare anche i microsismi persistenti, di maggior periodo (fig. 36). Però, a qualche distanza dalle zone d'insorgenza, solo questi ultimi continuano la propagazione, che può superare alcune migliaia di km di tragitto:

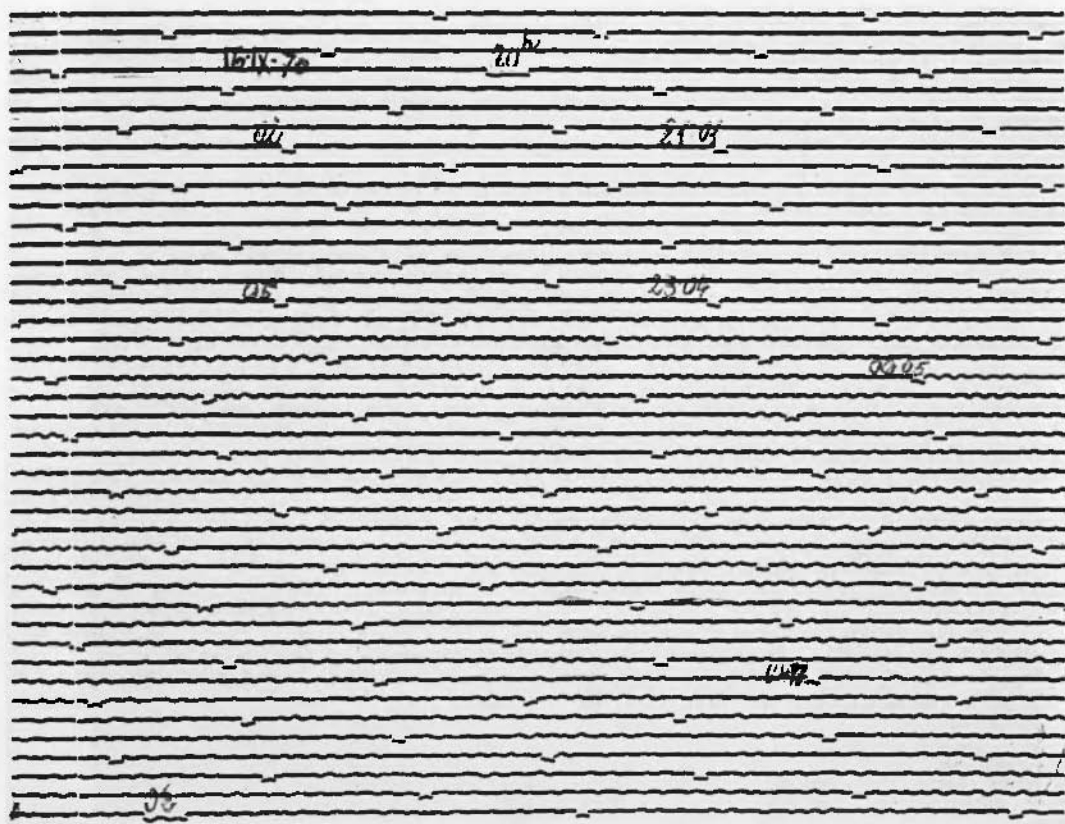


Fig. 26 - Microsismi provenienti dal golfo di Trieste, associati alla perturbazione del 16.IX.1970 (figg. 7, 8), registrati a La Maina (Sauris), a partire dalle 23^h ca (ora solare), alla distanza di 110 km ca dalla zona-origine (v. fig. 9).

Fig. 26 - Microseisms from the Gulf of Trieste, associated to the perturbation of Sept. 16, 1970 (figures 7 and 8), recorded at La Maina (Sauris) beginning at about 11^h p.m. (Solar Time) at a distance of about 110 kms from the origin-area (see fig. 9).

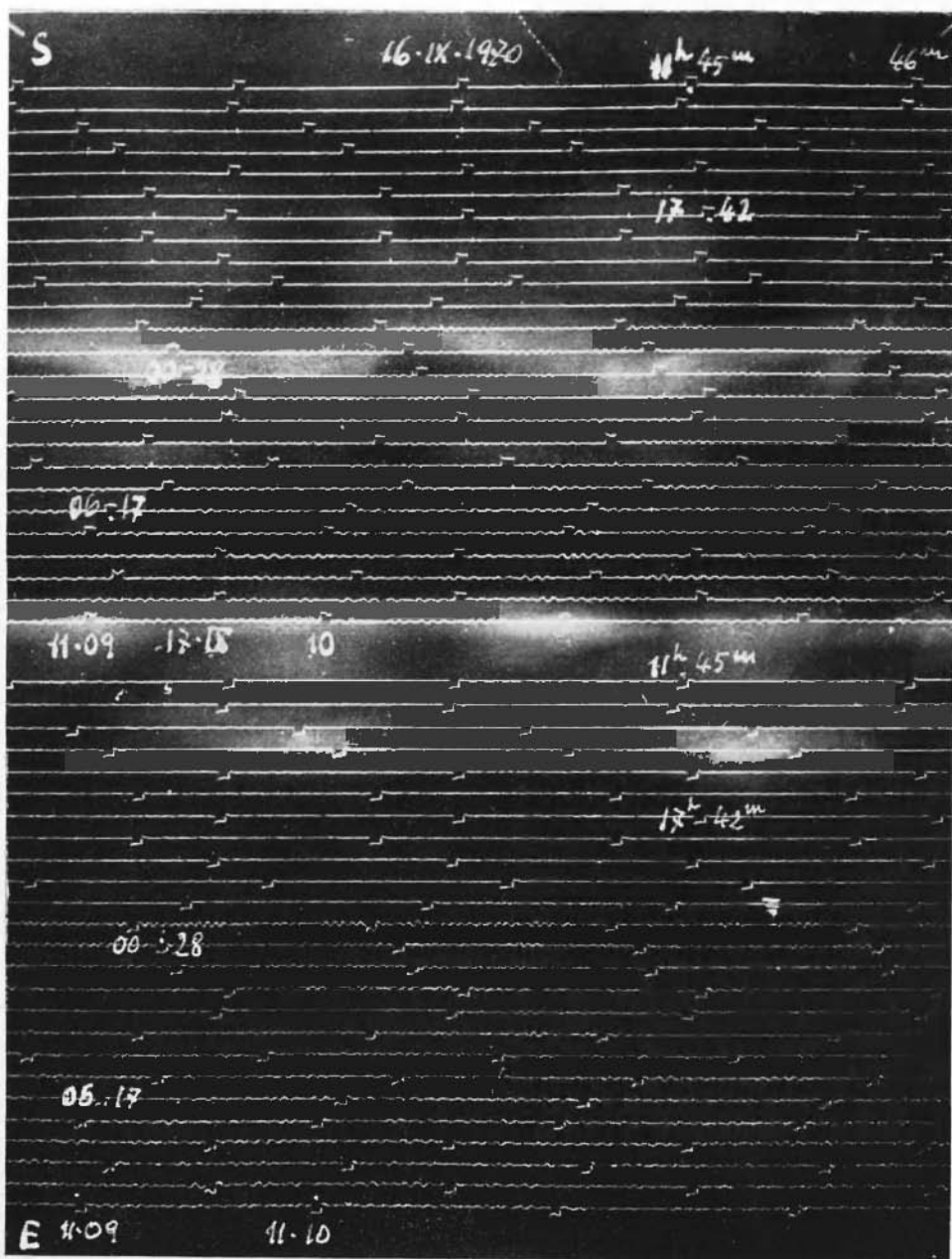


Fig. 27 - Perturbazione del 16.IX.1970, di cui alle figg. 7 e 8. Microsismi registrati a Padova, ad oltre 130 km di distanza dalla zona-origine. Come di consueto, per effetto della coltre della Val Padana, particolarmente sensibile a questi movimenti, a Padova -- malgrado il piccolo ingrandimento del sismografo locale -- le ampiezze appaiono più accentuate che a La Maina, dove funziona un sismografo ad amplificazione nettamente maggiore.

Fig. 27 - Perturbation of Sept. 16, 1970, as per figures 7 and 8. Microseisms recorded at Padova at over 130 kms of distance from the origin-area. As usually, under the effect of the cover of the Po Valley, which is particularly sensitive to these movements, and in spite of the limited magnification of the local seismograph, the amplitudes recorded in Padova are more accentuated than those of La Maina where a seismograph of a sizeably larger amplification is installed.

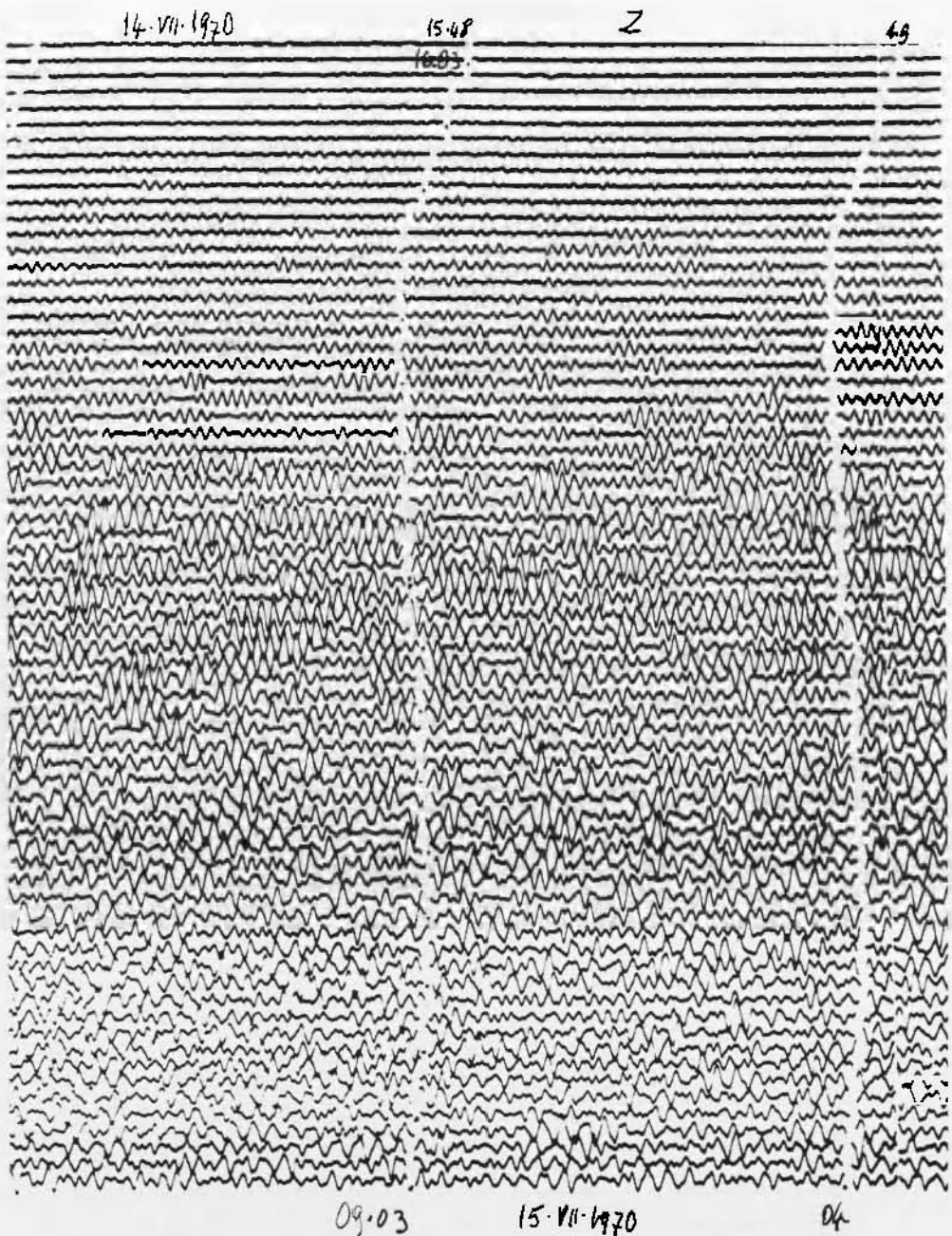


Fig. 28 - La perturbazione del 15.VII.1970 (fig. 2) ha cominciato ad interessare il Mar Ligure dalla notte precedente. I lievi microsismi regolari con periodo da 1,5 a 2 sec, sono da attribuire all'agitazione nella zona di mare prossima alla costa. Il carattere caotico che la registrazione assume a partire dalle prime ore del 15, è da attribuire alla sovrapposizione di microsismi, generati da sistemi ondosi sporadici, temporanei agenti nella zona di La Spezia. Il procedere della perturbazione nella vasta zona di mare poco profondo fra La Spezia e l'isola d'Elba dà origine ai microsismi fondamentali suoi propri, con periodo dell'ordine di 5 ± 1 sec, chiaramente registrati a Roma (fig. 31), mentre a Genova gli strumenti a breve periodo continuano a registrare microsismi di minor lunghezza d'onda, legati a sporadici, temporanei moti del mare (figg. 29-30).

Fig. 28 - The perturbation of July 15, 1970, has reached the Ligurian Sea in the preceding night (Fig. 2). The light regular microseisms of a period between 1,5 and 2 sec must be attributed to the agitation in the sea area near to the shore. The chaotic aspect of the recording since the first hours of July 15 is the result of overlappings of microseisms originating from sporadic wave systems acting temporarily in the area of La Spezia. As the perturbation proceeded in the vast shallow sea area between La Spezia and Elba Island, it gave rise to fundamental microseisms peculiar to it, with periods in the order of 5 ± 1 sec, which were clearly recorded in Rome (fig. 31), while the short period instruments installed in Genoa continued to record microseisms of shorter wave lengths, connected to sporadic and temporary sea movements (fig. 29, 30).

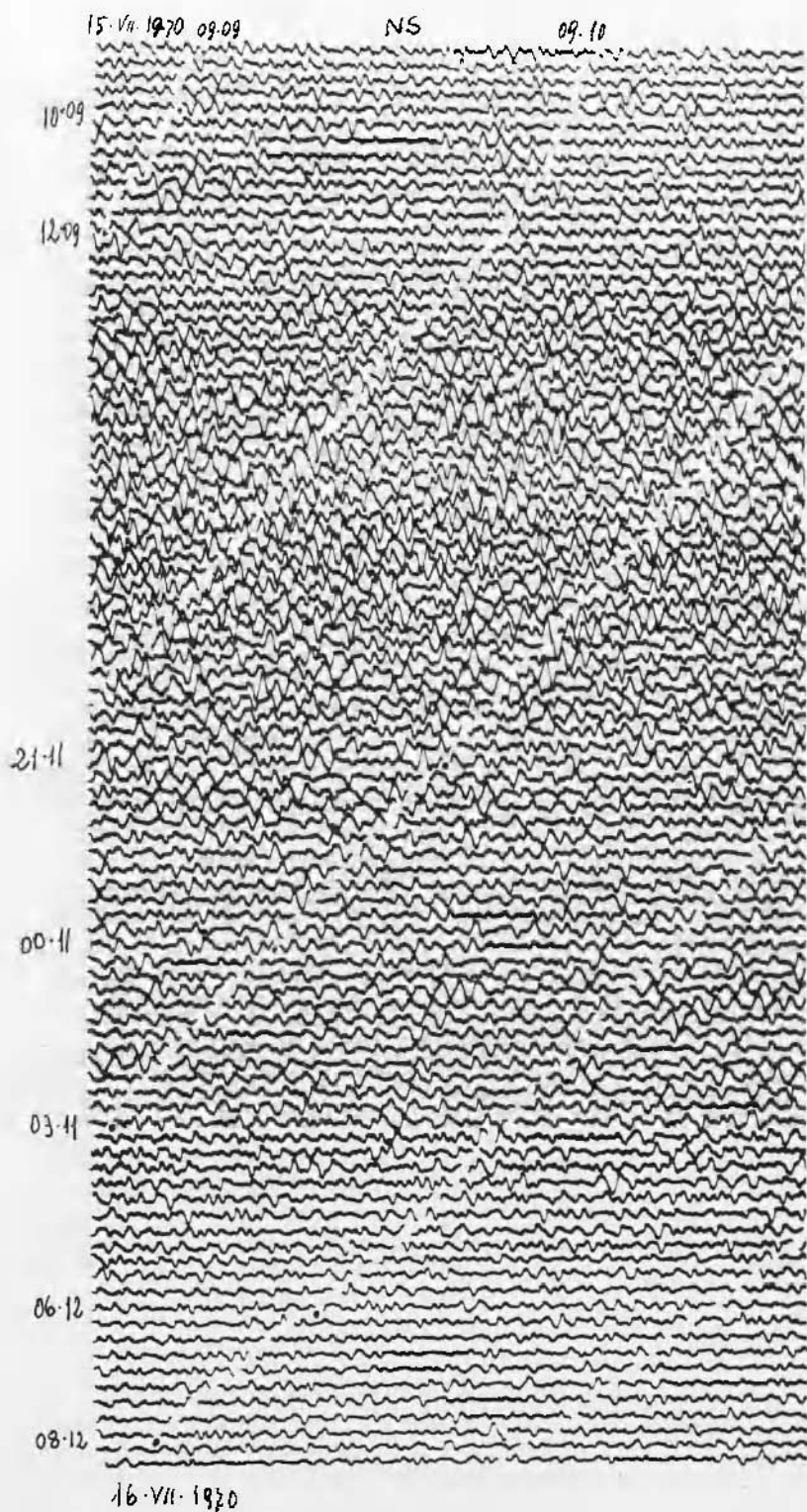


Fig. 29 - Vedi Fig. 28.

Fig. 29 - See Fig. 28.



Fig. 30 - Vedi Fig. 28.

Fig. 30 - See Fig. 28.

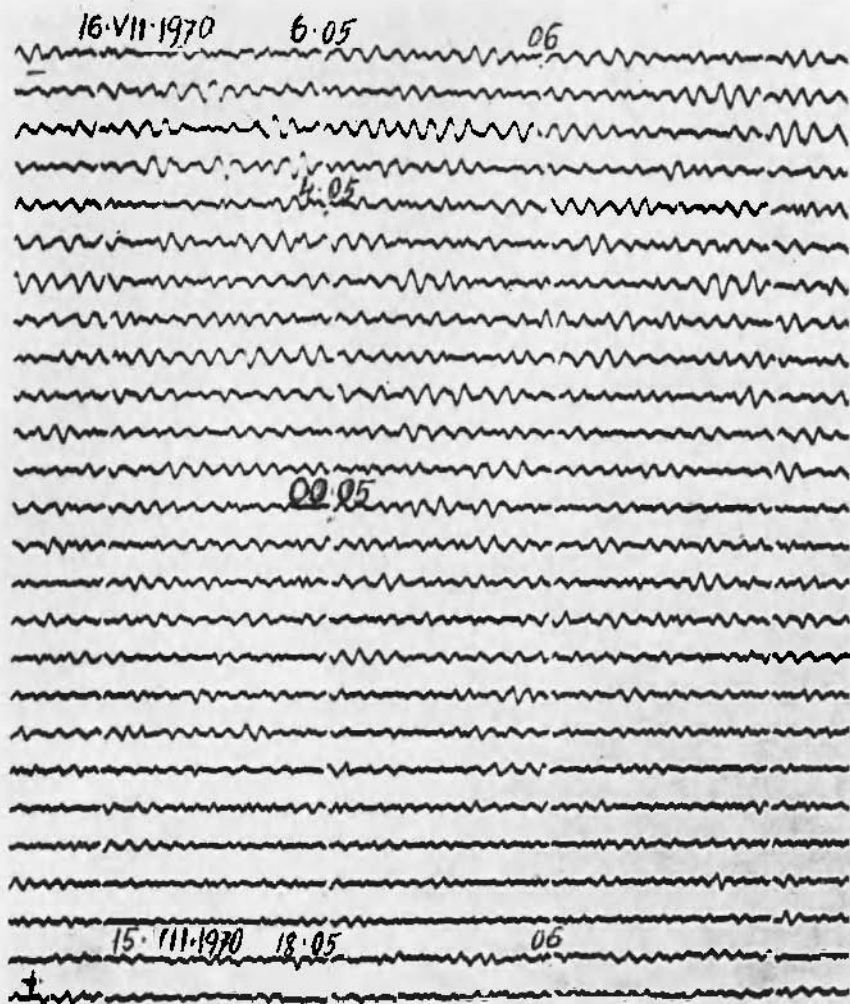


Fig. 31 — Nel suo transitare sul mar Ligure e sull'alto Tirreno, la perturbazione del 15-16.VII.1970, provoca microsismi di ritmo svariato: quelli di minor periodo — e di minore energia —, associati a sistemi d'onde sporadici, temporanei, vengono registrati a Genova (figg. 28-30), dove sovrastano quelli con periodi dell'ordine di 5 sec, di maggiore energia, associati a sistemi d'onde significativi, chiaramente registrati a Roma (Città Universitaria), dagli apparecchi Galitzin-Wilip ($T_0 = T_g - 9,0$ sec ca), ivi funzionanti.

Fig. 31 During its passage over the Ligurian Sea and the High Tyrrhenian Sea, the perturbation of July 15 and 16, 1970 brings forth microseisms of various rates: those of minor periods and energy are recorded in Genoa (fig. 28-30) where they cover those with periods in the order of 5 sec and a higher energy load, associated to significant wave systems which were clearly recorded in Rome (C. U.) by the there installed Galitzin-Wilip instruments ($T_0 - T_g - 9,0$ sec approx.).

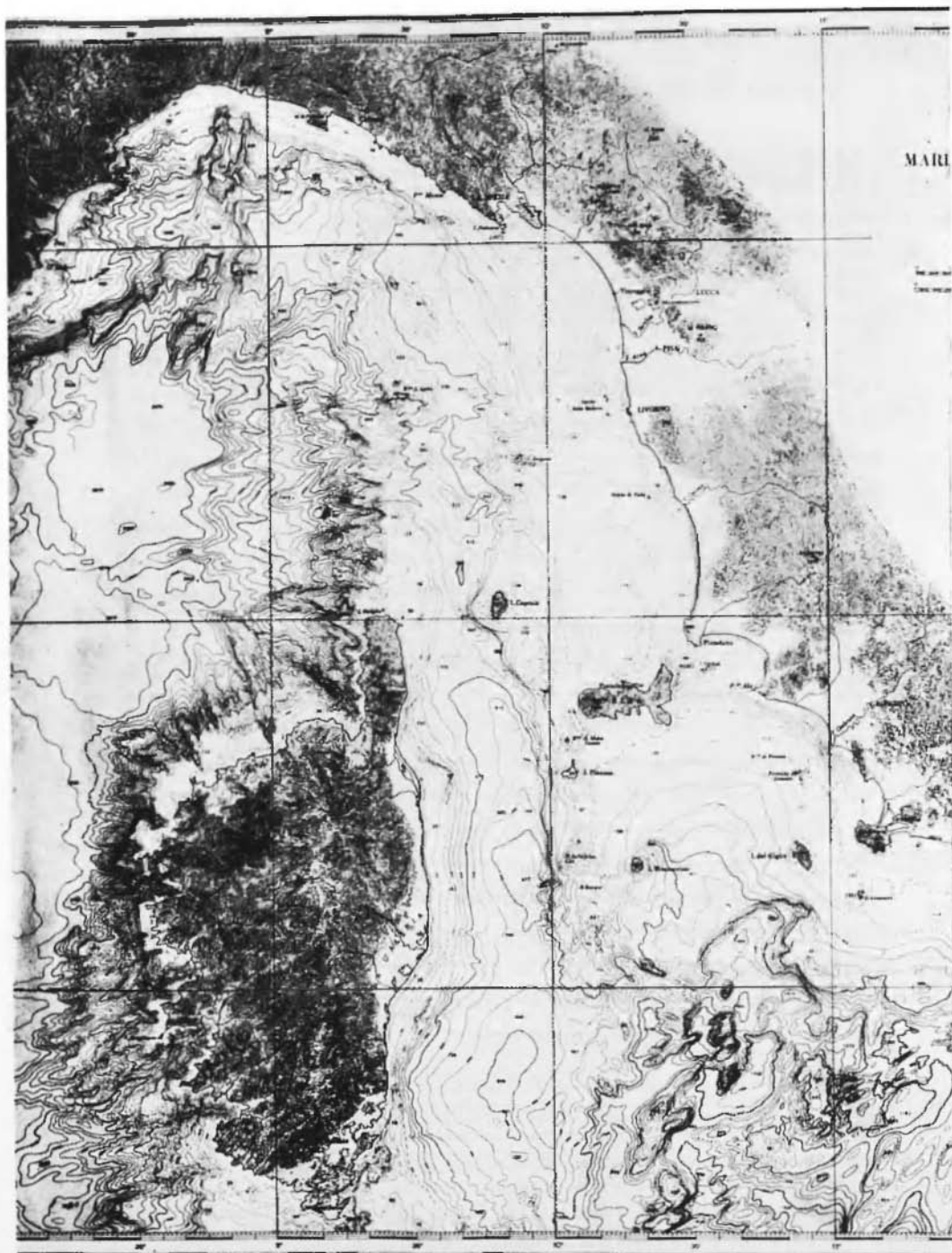


Fig. 32 - La zona di mare tra La Spezia, la Capraia e l'isola d'Elba, caratterizzata da acque relativamente poco profonde, va ritenuta come la matrice dei microsismi, con periodi dell'ordine di 5 ± 1 sec, associati a sistemi d'onde significative — capaci di « sentire » il fondo —, e animati da notevole energia, che consente loro la propagazione a distanza. (Da una carta dell'Istituto Idrografico della Marina).

Fig. 32 - The sea strip between La Spezia, Capraia Island and Elba Island, with relatively limited depths, is considered the matrix of microseisms with periods in the order of 5 ± 1 sec, associated to significant wave systems, able "to feel" the bottom and with a considerable energy load which allows them to propagate at a distance (from a map of the Hydrographic Institute of the Navy).

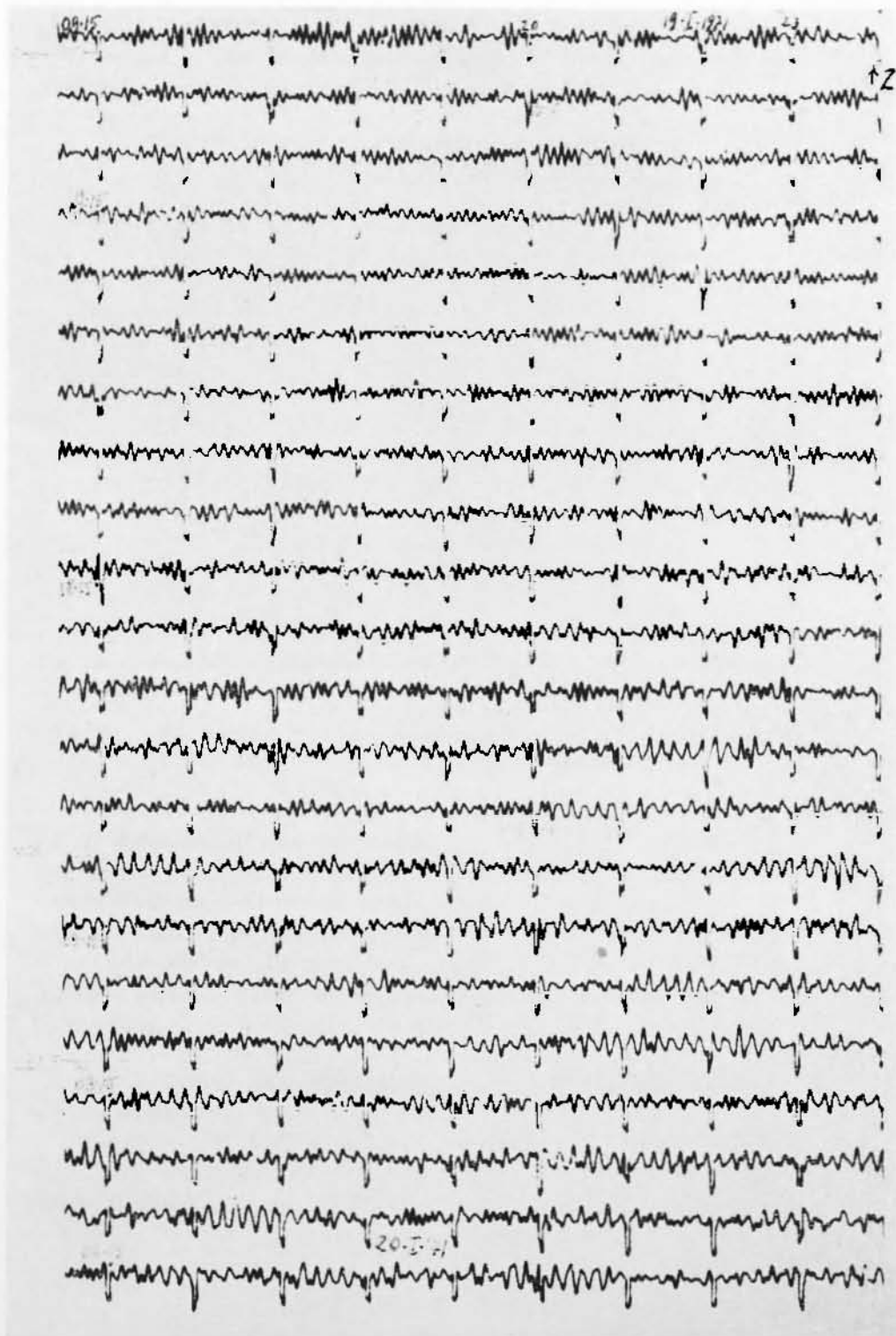


Fig. 33 - Il 19.1.1971 un'ampia zona di bassa pressione agisce nei pressi delle coste scandinave, provocando la creazione di microsismi, con periodi dell'ordine di 5,5 ca — caratteristici della zona — e nettamente registrati dalle stazioni scandinave. Dal 19 al 20 la perturbazione scandinava, unendosi ad un'altra vasta area depressionaria che dall'Atlantico procede verso le isole britanniche, agendo al largo delle coste occidentali di quest'ultima, dà origine ad una energica tempesta microsismica, in cui prevalgono i microsismi di 8-8,5 sec, caratteristici di questo tratto di mare. Anche a Uppsala, nella notte fra il 19 e il 20 tali microsismi cominciano a sovrapporsi a quelli d'origine scandinava e praticamente li sostituiscono durante il 20 e il 21 (fig. 39), quando la vasta depressione atlantica si approssima all'Irlanda, investendo le isole britanniche (figg. 34, 35).

Fig. 33 - On Jan. 19, 1971 a wide area of low pressures acts near the Scandinavian coastline where it gives birth to microseisms with periods in the order of about 5,5 sec, peculiar to the area, which are clearly recorded by the Scandinavian stations. On Jan. 19 and 20 the Scandinavian perturbation combines with another wide depression area proceeding from the Atlantic Ocean toward the British Isles and acting off their West coast, which gives rise to a strong microseismic storm in which microseisms of 8-8,5 sec, peculiar to this sea strip, prevail. In the night from Jan. 19 to 20 also in Uppsala the said microseisms begin overlapping those from Scandinavia and virtually replace them during Jan. 20 and 21 (fig. 39) when the vast Atlantic depression draws near Ireland and hits the British Isles (fig. 34, 35).

gli altri, i microsismi dovuti a sistemi d'onde sporadici, temporanei, vengono più o meno rapidamente assorbiti dal mezzo, tanto più rapidamente, quanto più elevata è la loro frequenza (4).

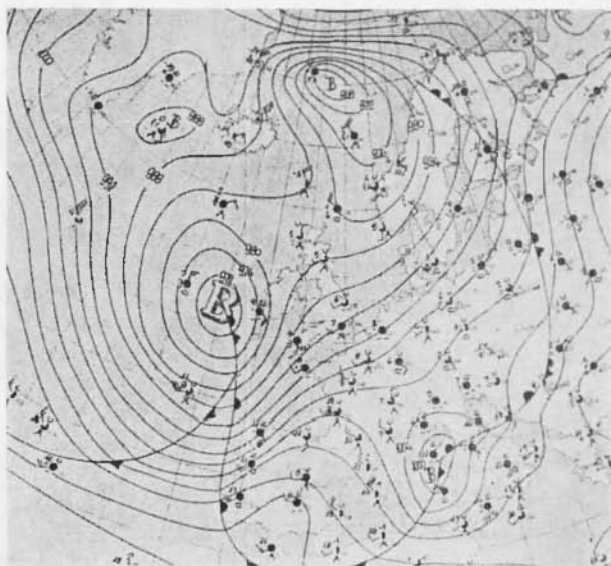


Fig. 34 - Situazione meteorologica alle ore 12 (G.M.T.) del 20.I.1971 (dal Bollettino Meteorologico Quotidiano dell'Aeronautica Militare).

Fig. 34 - The weather situation at midday (G.M.T.) of Jan. 20, 1971 (from the Daily Meteorological Bulletin of the Air Force).

A differenza di quanto avviene per i microsismi fondamentali, che originano in mari interni, i sistemi di montagne continentali non costituiscono ostacolo sufficiente ad impedire la propagazione dei microsismi atlantici di massimo periodo: pur subendo attenuazioni diverse nelle diverse direzioni, essi vengono dovunque registrati in Europa, anche a parecchie migliaia di chilometri di distanza dalle zone-origine.

3.1. - Diamo due significativi esempi di tempeste microsismiche atlantiche.

Tra il 19 e il 20 Gennaio 1971, una depressione agisce al largo delle coste scandinave, provocando l'insorgere di microsismi, propri dei mari di questa zona, con periodi cioè di circa 6 sec, ampiamente

registrati, p. es., a Uppsala (fig. 33). Nelle prime ore del 20 Gennaio, una perturbazione, dall'Atlantico settentrionale, procede verso le isole britanniche: il suo centro si trova in prossimità dell'Irlanda

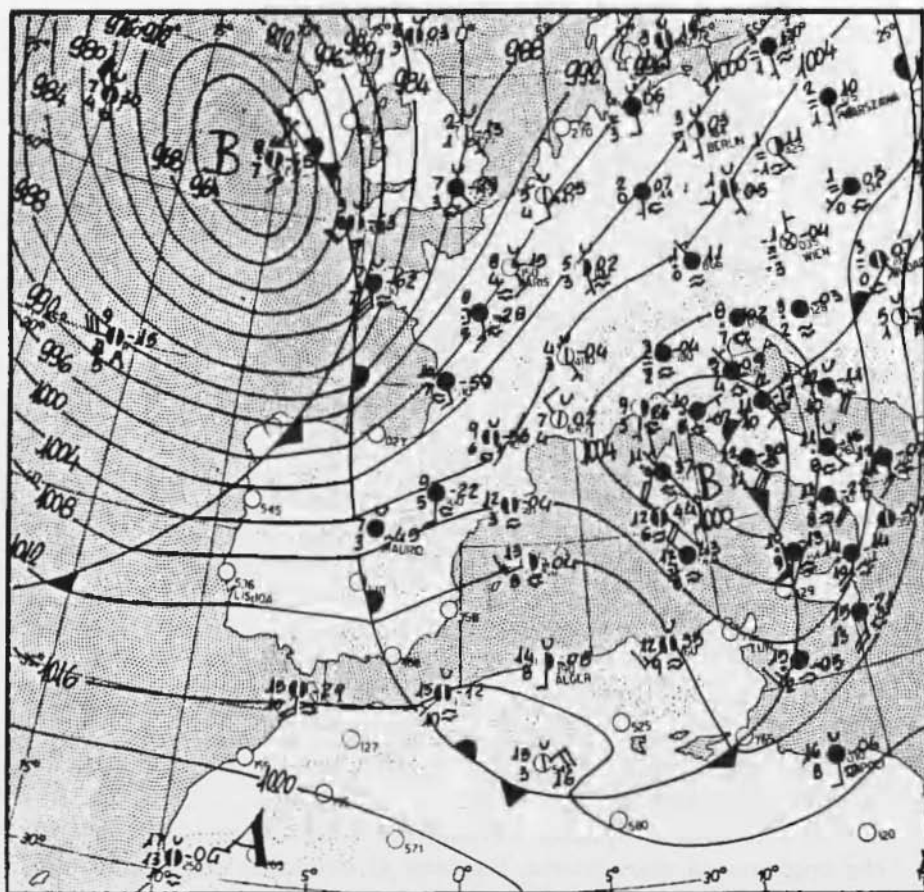


Fig. 35 - Situazione meteorologica alle ore 18 (G.M.T.) del 20.I.1971 (dal Boll. Meteor. Quot. dell'Aeronautica Militare).

Fig. 35 - The weather situation at 6^h p.m. (G.M.T.) of Jan. 20, 1971 (from the Daily Meteorological Bulletin of the Air Force).

alle 12^h del 20 e la raggiunge alle 18^h dello stesso giorno (figg. 34-35). Questa più vasta perturbazione, dà origine a sistemi di onde significative, a cui corrispondono microsismi di notevole ampiezza, con periodi di 8^s ca; sono questi i microsismi fondamentali della zona, legati

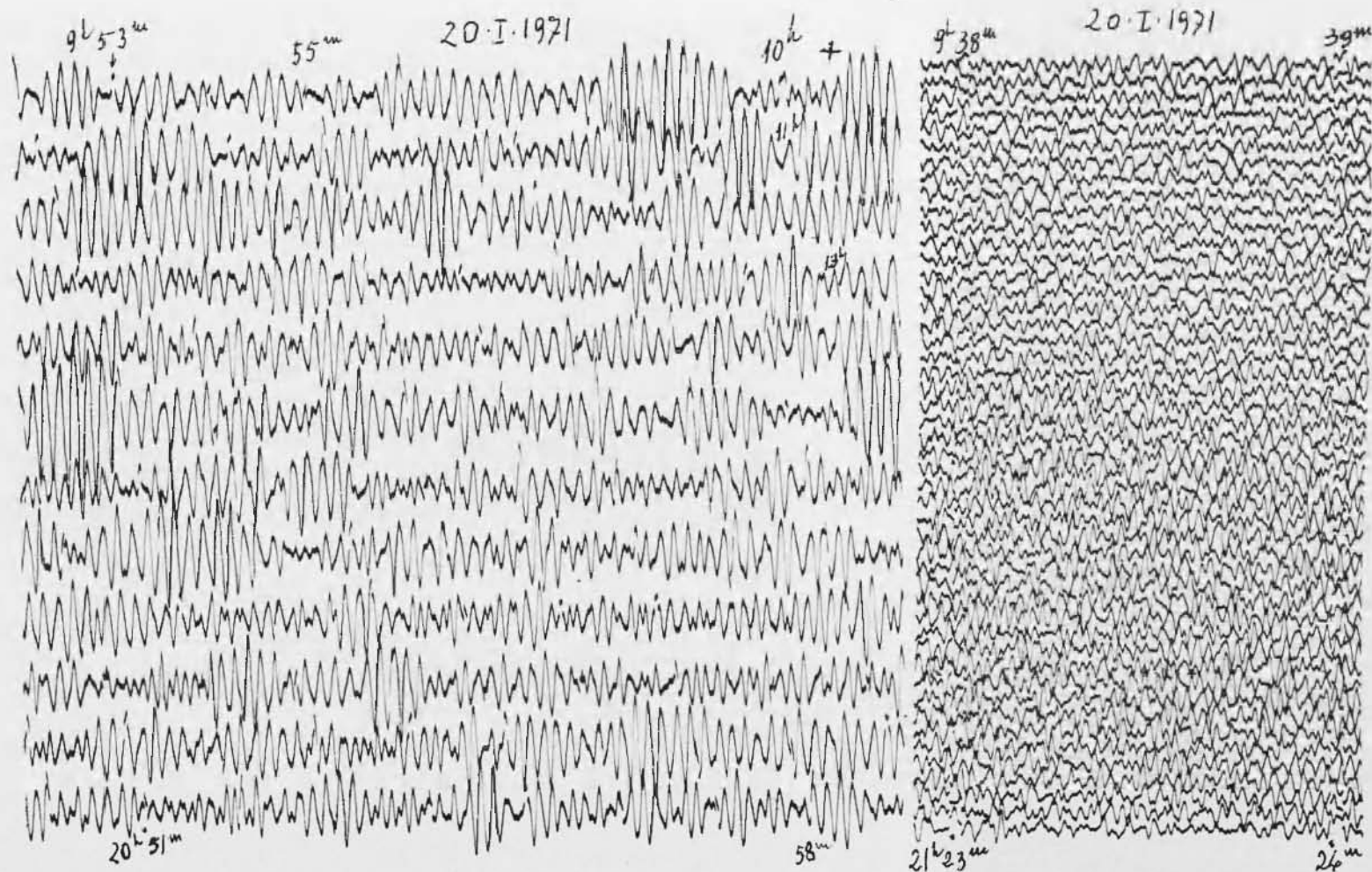


Fig. 36 - Microsismi registrati a Porto (Oporto), in occasione della perturbazione ciclonica, di cui alle figg. 34-35.

a) a sinistra della figura:

Registrazione della componente verticale « Press-Ewing » a lungo periodo (l'ingrandimento dinamico varia da 100 a 600 per periodi varianti da 1 a 8 sec); anche a Oporto, sull'Oceano Atlantico, i microsismi con 8 sec di periodo ca. sono nettamente predominanti, di ampiezza ancora maggiore di quella osservata a Toledo, distante dalla zona-origine circa 200 km in più.

b) a destra:

Registrazione della componente verticale a breve periodo ($T_0 = 1^s,0$; $T_g = 0,77$ sec). Tale strumento ha un ingrandimento dinamico di oltre 40.000 per periodi di 0,6 sec e ca 1000 per periodi di 4 sec; periodi maggiori non hanno amplificazione apprezzabile. La registrazione costituisce una nuova prova dell'esistenza, lungo le coste del mare, in località prossime alla zona-origine, di tutta una gamma di perturbazioni, legate al mare agitato da moti ondosì temporanei, sporadici, su cadenze svariatissime: perturbazioni di piccola ampiezza, di carattere esclusivamente locale, rapidamente assorbite dal mezzo. I microsismi persistenti, di massima ampiezza, sono quelli associati ai sistemi d'onde « significative »: nel caso specifico, quelli propagantisi, sul ritmo di 8 sec ca, dalla zona-origine a Oporto, a Toledo, a Uppsala, a Roma ed oltre, su tragitti di migliaia di km.

Fig. 36 - Microseisms recorded at Oporto (Portugal) during the cyclonic perturbation indicated in figs. 34 and 35.

a) on the left of the figure:

Recording of the vertical "Press-Ewing" component having a long period (the dynamic magnification varies from 100 to 600 for periods between 1 and 8 sec); also in Oporto, on the Atlantic shore, the 8 sec microseisms prevail without doubt. Their amplitude is still larger than that observed at Toledo, some 200 kms more distant from the origin-area.

b) on the right:

Recording of the vertical component of a short period ($T_0 = 1^s,0$; $T_g = 0,77$ sec). The instrument has a dynamic magnification of over 40.000 for periods of 0,6 sec and of about 1000 for periods of 4 sec; larger periods have no appreciable amplification. The recording gives another evidence of the existence, along the coastline, near the origin-area, of an entire range of perturbations connected to the rough sea by sporadic, temporary wavy movements at highly variable rates: perturbations of small amplitudes, of an exclusively local character, which are rapidly absorbed by the medium. The persistent microseisms of maximum amplitude are those associated to the "significant" wave systems, in this specific case the microseisms at the rate of about 8 sec from the origin-area toward Oporto, Toledo, Uppsala, Rome and beyond, covering distances of thousands of kms.

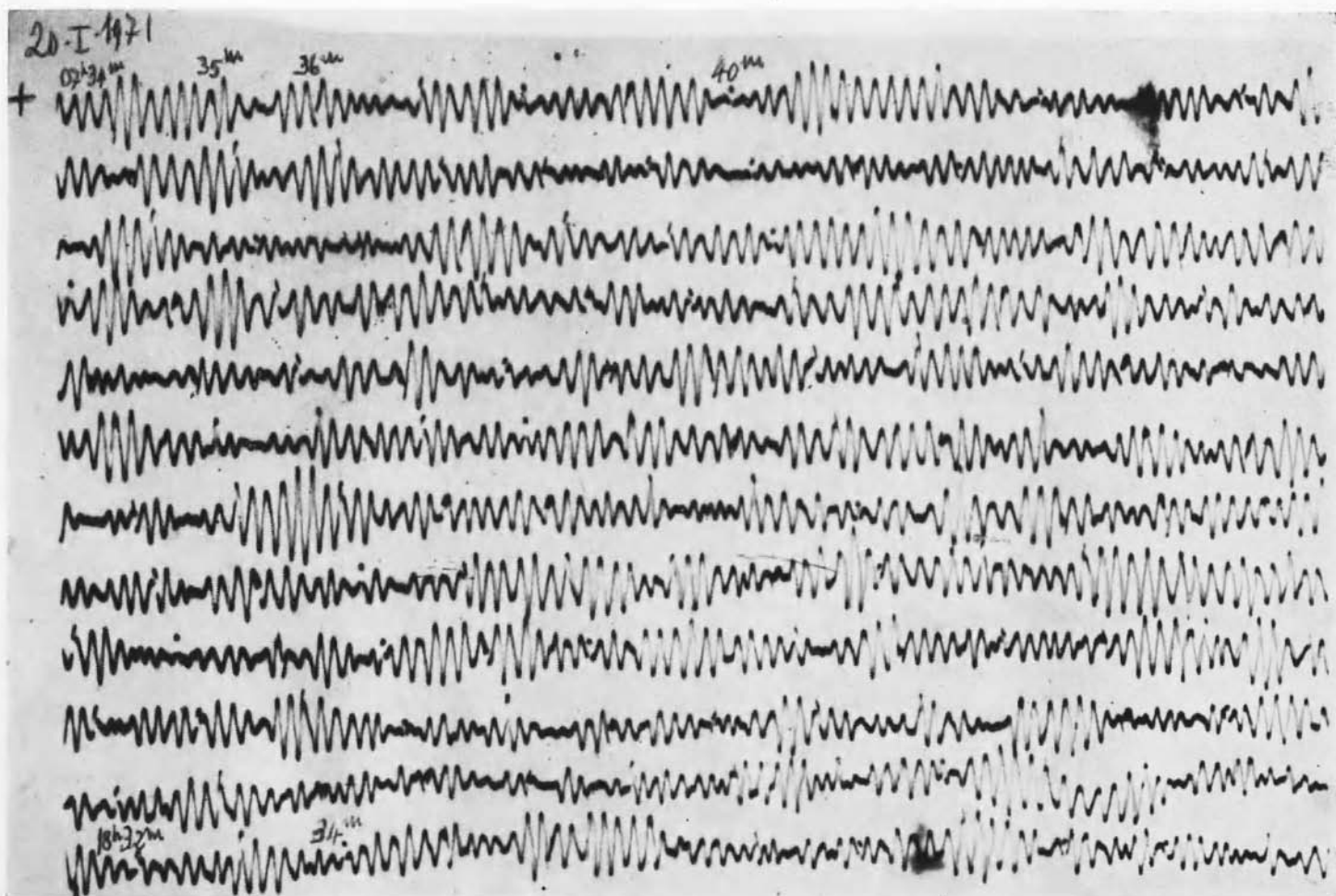


Fig. 38 - Componente verticale « Press-Ewing », a lungo periodo, di Toledo (T.M.G.). I sismografi a lungo periodo di Toledo, durante i giorni 20 e 21 Gennaio 1971, registrano quasi esclusivamente, e con grande ampiezza, i microsismi con periodo di 8^s ca (8-8^s,5), provenienti dalla grande perturbazione ciclonica atlantica, di cui alle figg. 34-35. Mentre a Roma il transito della perturbazione tirrenica provoca microsismi di 4^s ca (fig. 37) che coprono, data la vicinanza della zona-origine, i microsismi di provenienza atlantica (che originano a quasi 2000 km da Roma), a Toledo (che si trova a distanza pressoché uguale dai due centri di perturbazione) non v'è traccia dei microsismi di origine tirrenica. Ciò è soprattutto dovuto all'energia dell'interazione aria-acqua della perturbazione ciclonica atlantica, enormemente maggiore di quella tirrenica, e, in parte, al fatto che la prima agisce su una cadenza fondamentale di periodo pressoché doppio di quella caratteristica della seconda.

Fig. 38 - Vertical long period "Press-Ewing" component of Toledo (G.M.T.). The long period seismographs installed in Toledo record on Jan. 20, and 21 1971 almost exclusively and with high amplitudes the microseisms of about 8 second periods (8^s-8^s,5) deriving from the large Atlantic cyclonic perturbation indicated in figures 34 and 35. While in Rome the passage of the Tyrrhenian perturbation brings forth microseisms of about 4 sec (fig. 37) which cover those from the Atlantic originating at almost 2000 kms from Rome, since the former are near the origin-area, no trace of microseisms of Tyrrhenian origin was measured in Toledo which is about the same distance from the two perturbation centres. This is chiefly due to the energy of the air-water interaction of the Atlantic cyclonic perturbation which is far higher than that of the Tyrrhenian Sea, as well as to the fact, at least partially, that the former acts at a fundamental period rate which is about twice the rate peculiar to the latter.



Fig. 39a.



Fig. 39b.

Fig. 39a e 39b - Registrazione di microsismi della componente verticale Press-Ewing di Uppsala, associati alle perturbazioni di cui alle figg. 34-35. Prevalgono nettamente i microsismi di 8-8,5 sec, propri della fascia atlantica ad ovest dell'Irlanda. Ad iniziare col giorno 22.1. 1971 col passaggio della perturbazione nel mare del Nord, a Uppsala i microsismi di 5,5 sec ca — propri della fascia di mare ad ovest della Scandinavia —, riprendono il sopravvento (fig. 39b).

Fig. 39a and 39b - Recording of microseisms of the vertical "Press-Ewing" component of Uppsala, associated to the perturbation shown in figures 34 and 35. The microseisms of 8-8,5 sec, peculiar to the Atlantic strip West of Ireland, are clearly prevailing. Beginning with Jan. 22, 1971 the microseisms of about 5,5 sec, peculiar to the sea strip West of Scandinavia, dominate at Uppsala when the perturbation passes over the North Sea (fig. 39b).

a sistemi di onde significative, che hanno raggiunto il loro pieno sviluppo (4). Essi vengono registrati, con notevole ampiezza, in tutte le stazioni sismiche munite di sismografi a medio e lungo periodo: a Porto (fig. 36), a Toledo (fig. 38), a Roma (fig. 37), ecc. Anche

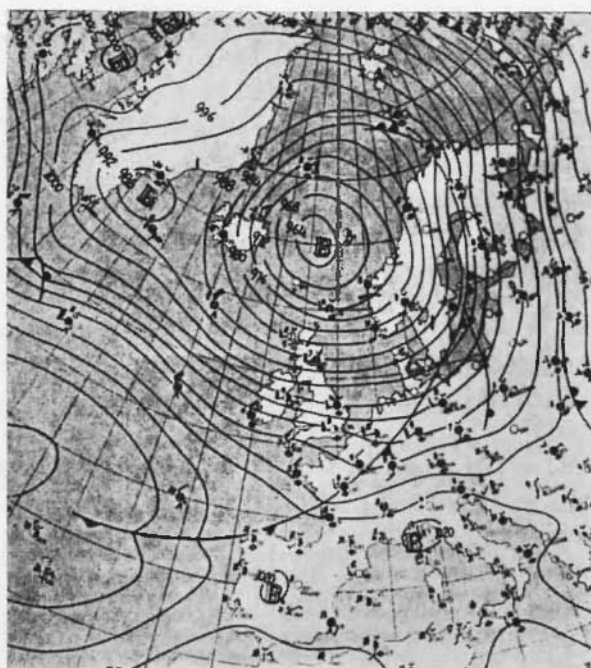


Fig. 40 - Situazione meteorologica sull'Atlantico nord-orientale e sull'Europa alle 12^h del 13 Febbraio 1971 (« Boll. Meteor. Quot. » - Servizio Meteor. Aeron. Mil.).

Fig. 40 - The weather situation for the North-East Atlantic area and for Europe at midday of Febr. 13, 1971 (from the Daily Meteorological Bulletin of the Weather Service of the Air Force).

nelle stazioni sismiche scandinave, la tempesta microsismica locale, legata alla perturbazione più settentrionale, viene gradatamente sopraffatta da quella associata alla perturbazione agente al largo delle isole britanniche (p. es., a Uppsala, fig. 39); e ciò per tutta la durata del 21 Gennaio. Nel frattempo, il formarsi di una perturbazione nell'alto Tirreno, provoca una tempesta microsismica locale, che a Roma (C. U.) si sovrappone a quella atlantica (fig. 37).

Un'altra notevole tempesta microsismica atlantica è stata quella verificatasi verso la metà di Febbraio 1971. Alle 12^h del 13 Febbraio, una vasta area ciclonica si stende fra l'Islanda e la Norvegia (fig. 40). L'attività microsismica si presenta mista per la Scandinavia: a Uppsala, infatti, si alternano i gruppi di oscillazioni con periodi dell'ordine di 6^s, proprio dei microsismi originanti nella fascia di mare prospiciente la Scandinavia, con i gruppi di oscillazioni con periodo dell'ordine di 8^s, proprio dei microsismi della zona atlantica al largo delle isole britanniche; questi ultimi, sensibilmente più ampî (fig. 41). Alle maggiori distanze, però — come di consueto —, giungono solo i microsismi con periodo di 8^s ca (Roma C. U., fig. 43). Con l'evolversi della situazione meteorologica, l'area ciclonica si sposta verso SW, investendo progressivamente ed esclusivamente le isole britanniche (figg. 44, 45). Contemporaneamente, a Uppsala si attenua via via l'agitazione microsismica di carattere «scandinavo», mentre si accentua vieppiù quella di origine prettamente atlantica, che alla fine prevale in forma pressochè esclusiva (fig. 42).

Per i motivi più volte addotti, anche le stazioni sismiche scandinave (Uppsala, Umea, ...) a breve periodo proprio, non registrano i microsismi con periodi superiori a 4-5 sec. Gli strumenti a breve periodo proprio, come altrove, in caso di grosse tempeste microsismiche, registrano impulsi disordinati, in cui prevalgono periodi fra 2 e i 3 sec, propri di perturbazioni locali (Mar Baltico, Golfo di Botnia).

5. CONCLUSIONI.

a) Viene sottolineato l'eccezionale interesse di microsismi provenienti dal piccolo lago artificiale di Pieve di Cadore e provocati dall'interazione fra le acque del lago e le fluttuazioni della pressione atmosferica, in fase positiva o no, transitanti sul lago. Le fluttuazioni attive possono essere di trascurabile entità (frazioni di Torr.); esse sono particolarmente attive se associate a pressione crescente.

Tali microsismi hanno periodi generalmente inferiori al secondo e si estinguono molto rapidamente: sovente insorgono contemporaneamente (o addirittura precedono) microsismi a più lungo periodo, fino a 4-5 sec.

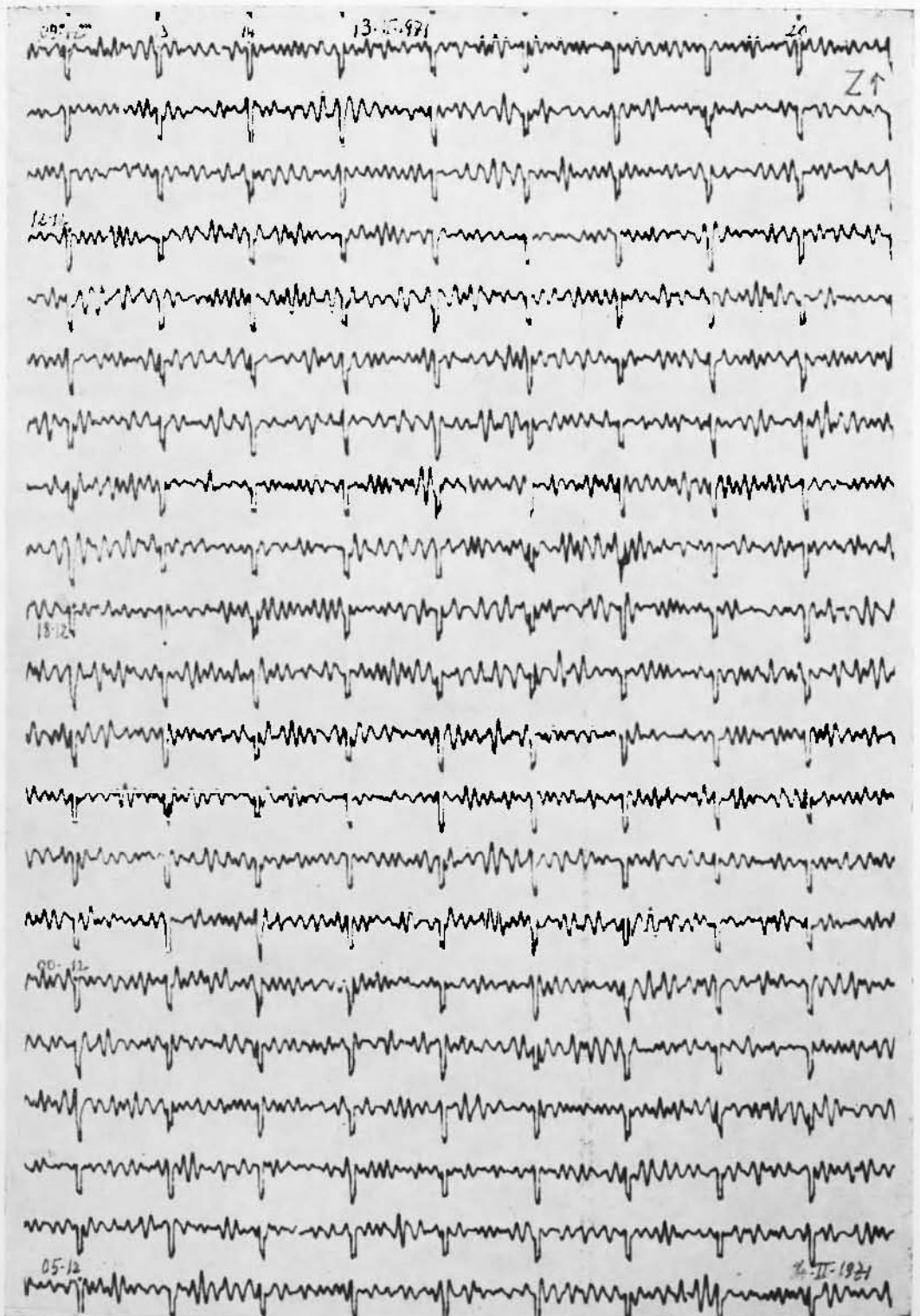


Fig. 41 - La vasta perturbazione, di cui alla fig. 40, agisce contemporaneamente nelle zone di mare presso le coste scandinave e presso le coste occidentali delle isole britanniche: di qui l'alternarsi dei gruppi di microsismi, con periodi dell'ordine di 5,5 sec e 8-8,5 sec, propri della prima e della seconda zona, rispettivamente. Con lo spostamento verso SW della zona perturbante ed il successivo investimento della zona di mare ad ovest dell'Irlanda (figg. 44-45) i microsismi di 8-8,5 sec ca a Uppsala prevalgono nettamente, se non esclusivamente (fig. 42).

Fig. 41 - The wide perturbation shown in fig. 40 acts simultaneously in the sea area near the Scandinavian coast and near the West coast of the British Isles, which explains the alternation of groups of microseisms with periods in the order of 5,5 sec and 8-8,5 sec, peculiar to the former and to the latter area, respectively. When the disturbance area shifted toward SW and affected the sea strip West of Ireland (figures 44 and 45), the 8-8,5 sec microseisms prevail clearly, if not exclusively, at Uppsala (fig. 42).



Fig. 42 - Vedi Fig. 41.

Fig. 42 - See Fig. 41.

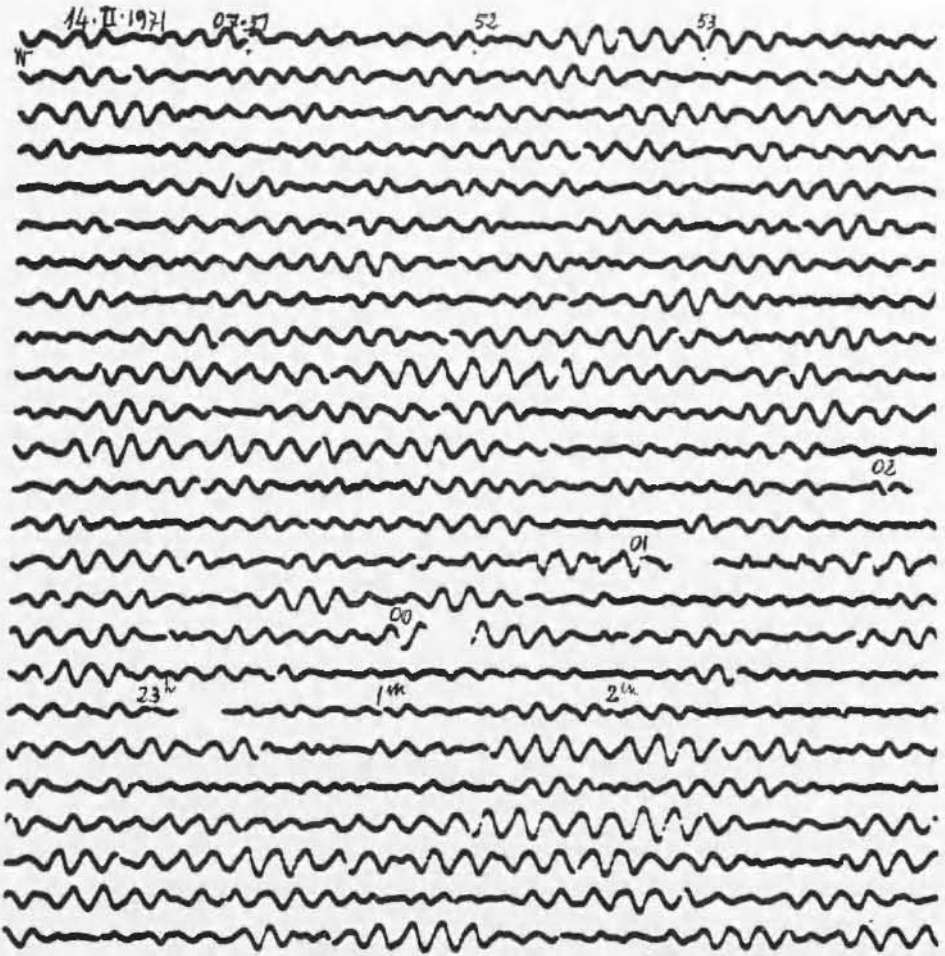


Fig. 43 - I microsismi con periodi di 8-8,5 sec — associati ai sistemi di onde significative, provocati nella zona di mare prospiciente le coste occidentali dell'Irlanda dalla perturbazione vasta e profonda, di cui alle figure 40-44, si propagano alle massime distanze. Quello sopra riportato è un tratto della registrazione ottenuta presso la Stazione Sismica di Roma (Città Universitaria) da un apparecchio Galitzin-Wilip alla distanza di oltre 2.000 km. La mancanza di perturbazioni secondarie, di qualche importanza, nel Tirreno settentrionale, consente una registrazione pressoché indisturbata.

Fig. 43 - The microseisms with periods of 8-8,5 sec, associated to significant wave systems and raised in the sea area off the West coast of Ireland by the vast and deep perturbation shown by figs. 40 and 44, propagate to maximum distances. The above is a section of the recording made in the Seismic Station of University City of Rome by a Galitzin-Wilip instrument at over 2000 kms distance. Since no secondary perturbations of a certain weight were present in the Northern Tyrrhenian area, the recording was almost undisturbed.

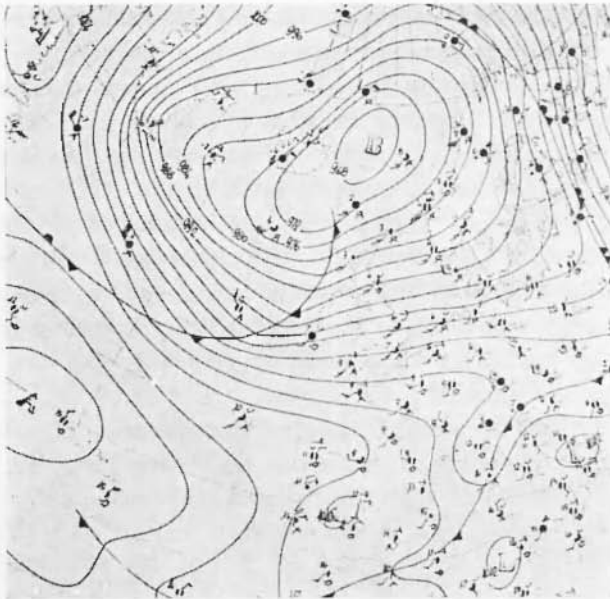


Fig. 44 - Situazione meteorologica sull'Atlantico nord-orientale e sull'Europa, alle ore 12 (G.M.T.) del 14 Febbraio 1971 (Dal « Boll. Meteorol. Quot. » del Servizio Meteor. dell'Aer. Mil.).

Fig. 44 - The weather situation for the North-East Atlantic area and for Europe at midday (G.M.T.) of Febr. 14, 1971 (from the Daily Meteorological Bulletin of the Weather Service of the Air Force).

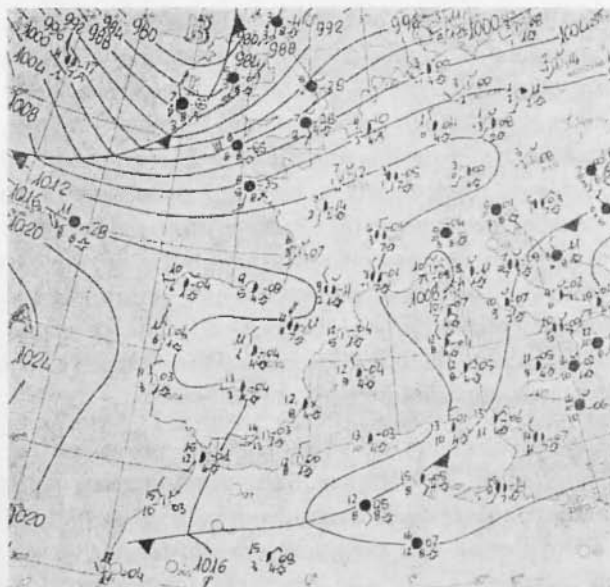


Fig. 45 - Situazione meteorologica sull'Atlantico e sull'Europa alle ore 18 (G.M.T.) del 14 Febbraio 1971.

Fig. 45 - The weather situation for the Atlantic area and for Europe at 6^h p.m. (G.M.T.) of February 14, 1971.

b) I microsismi originanti da mari interni, localmente possono presentare tutta una gamma di periodi, da quelli con periodi inferiori al secondo, ai periodi massimi, causati dalle coperiodali onde significative, proprie del tratto di mare dove i microsismi hanno origine. Solo questi ultimi risultano persistenti e possono propagarsi a distanze di parecchie centinaia di chilometri. Dal golfo di Trieste originano microsismi persistenti, con periodi dell'ordine di 3^s, mentre dal tratto di mare a Nord dell'isola d'Elba insorgono microsismi persistenti i cui periodi sono di 4^s-5^s ca. Stazioni sufficientemente lontane dalle zone-origine, registrano solo microsismi persistenti: poiché i microsismi non subiscono dispersione apprezzabile, dal loro periodo si può risalire alla zona di provenienza.

I microsismi da mari interni trovano ostacolo, nella loro propagazione, in corrispondenza di sistemi montuosi. P.es., gli Appennini formano una specie di sbarramento alla propagazione dei microsismi del golfo di Venezia, che vengono invece esaltati dalla Val Padana. Anche i microsismi dal Tirreno sono fortemente smorzati dagli Appennini, mentre i microsismi, che originano dal Mar Ligure si propagano nell'alta Val Padana, attraverso la « finestra » interposta fra le Alpi e gli Appennini: fra il Colle di Cadibona e il Passo dei Giovi.

c) Lo stesso meccanismo invocato per spiegare l'insorgere dei microsismi da bacini chiusi o da mari interni, vale anche per le tempeste microsismiche d'origine oceanica: l'interazione fra atmosfera ed idrosfera. Le grandi estensioni oceaniche e la durata delle perturbazioni cicloniche, consentono la formazione di estesi « fetch », nei quali le onde significative possono raggiungere il loro massimo sviluppo: ciò spiega l'elevato periodo dei microsismi persistenti d'origine oceanica (5-6 secondi per tempeste prossime alle coste scandinave; 7-9 secondi per le vaste depressioni atlantiche dal golfo di Biscaglia, alle isole Britanniche ed oltre). I microsismi più sviluppati insorgono generalmente non lontano dalle coste, per onde che « sentono il fondo » quando le fluttuazioni della pressione, in fase positiva, interagiscono con le sottostanti coperiodali onde significative.

I microsismi d'origine oceanica possono propagarsi a migliaia e migliaia di chilometri di distanza dalla zona-origine, nell'interno dei continenti, senza subire forti attenuazioni da parte dei sistemi montuosi. Ciò è dovuto sia alla maggiore energia trasferita sul fondo nell'interazione aria-acqua, sia alla maggiore lunghezza d'onda, che —

a differenza di microsismi da mari interni — consente loro di interessare un più grosso spessore della crosta terrestre.

Naturalmente, anche nelle zone costiere oceaniche, presso i luoghi d'insorgenza dei microsismi, i sismogrammi presentano generalmente un carattere caotico, per il sovrapporsi di perturbazioni microsismiche associate a sistemi d'onda marina temporanei, sporadici, di periodo inferiore a quello dei microsismi provocati dalle onde significative. Solo questi ultimi però permangono al di fuori di una zona di raggio variabile — comunque sempre limitato — e si propagano alle massime distanze, conservando il periodo origine.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) BOSSOLASCO M., CICONI G., DAGNINO I., EVA C., *La Stazione Sismica dell'Università di Genova*. « Geofisica e Meteorologia », XIII, 1-2, 1964.
- (²) BOSSOLASCO M., CANEVA A., CICONI G., EVA C., *Contributo allo studio dei microsismi*. « Geofisica e Meteorologia », XVI, 5-6, 1967.
- (³) CALOI P., *L'agitazione microsismica destata dalle perturbazioni meteorologiche: I. Microsismi da piccoli bacini chiusi*. Atti Acc. Naz. Lincei, Rendiconti Classe Scienze fis., mat. e nat., L, 5, 1971.
- (⁴) CALOI P., *L'agitazione microsismica destata dalle perturbazioni meteorologiche: II. Origine dei microsismi associati al transito dei cicloni*. Atti Acc. Naz. Lincei, Rendiconti Classe Scienze fis., mat. e nat. (1971, in corso di stampa).