

**Ancora sulla microsismicità per gelo spinto
presso una grande Diga
e sulle condizioni geodinamiche per la sua insorgenza**

P. CALOI (*) - M. MIGANI (**) - M. C. SPADEA (*)

Ricevuto il 28 Maggio 1973

RIASSUNTO. — Resta confermato che, nei periodi di gelo spinto, il contrasto fra la roccia a monte e a valle della diga di Pieve di Cadore è origine di microsismicità. Le tensioni nel mezzo sono provocate dalla dilatazione dell'elemento liquido ghiacciato, nella roccia imbevuta d'acqua a valle della diga. Si studiano le condizioni geodinamiche d'insorgenza delle microscosse e si mette in evidenza che esse sono particolarmente frequenti durante le rapide variazioni di temperatura, che si verificano in special modo nelle poche ore di riscaldamento diurno, caratterizzate da un parziale disgelo superficiale, accompagnato da brusca « caduta » della diga verso valle.

1. — In una nota precedente (¹), nel riassumere il medio comportamento di una grande diga (nella specie, quella di Pieve di Cadore) nel volgere di quattro stagioni è stato rivelato — per la prima volta — l'eccezionale interesse associato ai periodi di gelo spinto, in cui il mezzo e lo sbarramento risentono del comportamento anomalo dell'acqua, in presenza di temperature nettamente sotto lo zero.

Fra i fenomeni messi in evidenza, insospettato fu quello della microsismicità provocata, particolarmente attiva ai piedi dello sbarramento, a motivo del contrasto di tensioni nel mezzo roccioso a monte e a valle della diga.

(*) Istituto Nazionale di Geofisica, Roma.

(**) E.N.E.L. Compartimento di Venezia.

Nel lavoro precedente, ci si è sopra tutto preoccupati dell'andamento stagionale del fenomeno. Qui ci soffermeremo particolarmente sul suo andamento giornaliero.

2. - Per il rilevamento della microsismicità, ci siamo valse di tre stazioni sismiche, sistemate rispettivamente negli scantinati della cabina comandi centralizzati — in sponda destra presso il coronamento —, in un ennicolo del C14 nell'interno della diga (a quota 661 m) e in un cunicolo del C5 (a quota 660 m), pure nell'interno della diga (fig. 1). Mentre il C14 ha posizione centrale, il C5 è prossimo all'estremo sinistro della diga. I sismografi erano del tipo « Girlanda », di pari caratteristiche strumentali, salvo la componente valle-monte (V-M) del C5, avente un ingrandimento dinamico prevalente su quello degli altri apparecchi.

Le micrososse per gelo vengono registrate a migliaia durante l'inverno, da Dicembre a Marzo, quando la temperatura dell'aria sflette nettamente sotto lo zero ed oscilla ampiamente intorno allo zero.

Qui accenneremo solo ad alcune serie, registrate nel Gennaio 1972 e nel Gennaio-Febbraio 1973.

Come caratteristiche generali delle micrososse per gelo, osserveremo che, generalmente, vengono registrate *solo* dalle stazioni sismiche sistemate in diga. Qui però non in modo uniforme, anche se registrate in entrambi i concii: alcune vengono registrate nette in C14 e deboli in C5 e viceversa; altre ritardate in C5 o in C14; altre ancora solo in C14 o solo in C5. Il motivo di questa asimmetria di registrazione va ricercato sopra tutto nella diversa posizione delle stazioni sismiche: una sistemata nel concio centrale della diga (C14), l'altra in concio periferico (C5), fig. 1.

Fra le centinaia di micrososse registrate tra il 5 e il 12 Gennaio 1972, p. es. quella delle 23^h12^m del 7 Gennaio (fig. 2 α) non è stata registrata nel C5. Evidentemente, la microscossa ha interessato più il C14 che la roccia sottostante (mancano infatti le vibrazioni di elevata frequenza, proprie di quest'ultima): la diga ha risposto prima con l'uninodale del concio, poi con la fondamentale dell'intero sbarramento [$T = 1^s.5$ (?)], che in C4 non ha ampiezza apprezzabile (essendo prossimo al nodo).

Anche la diecina di micrososse della fig. 2 β , per gli stessi motivi, non giungono in C5.

Nella fig. 2 γ invece, è riportata una microscossa registrata solo in C5: la perturbazione evidentemente, ha avuto origine in corrispondenza

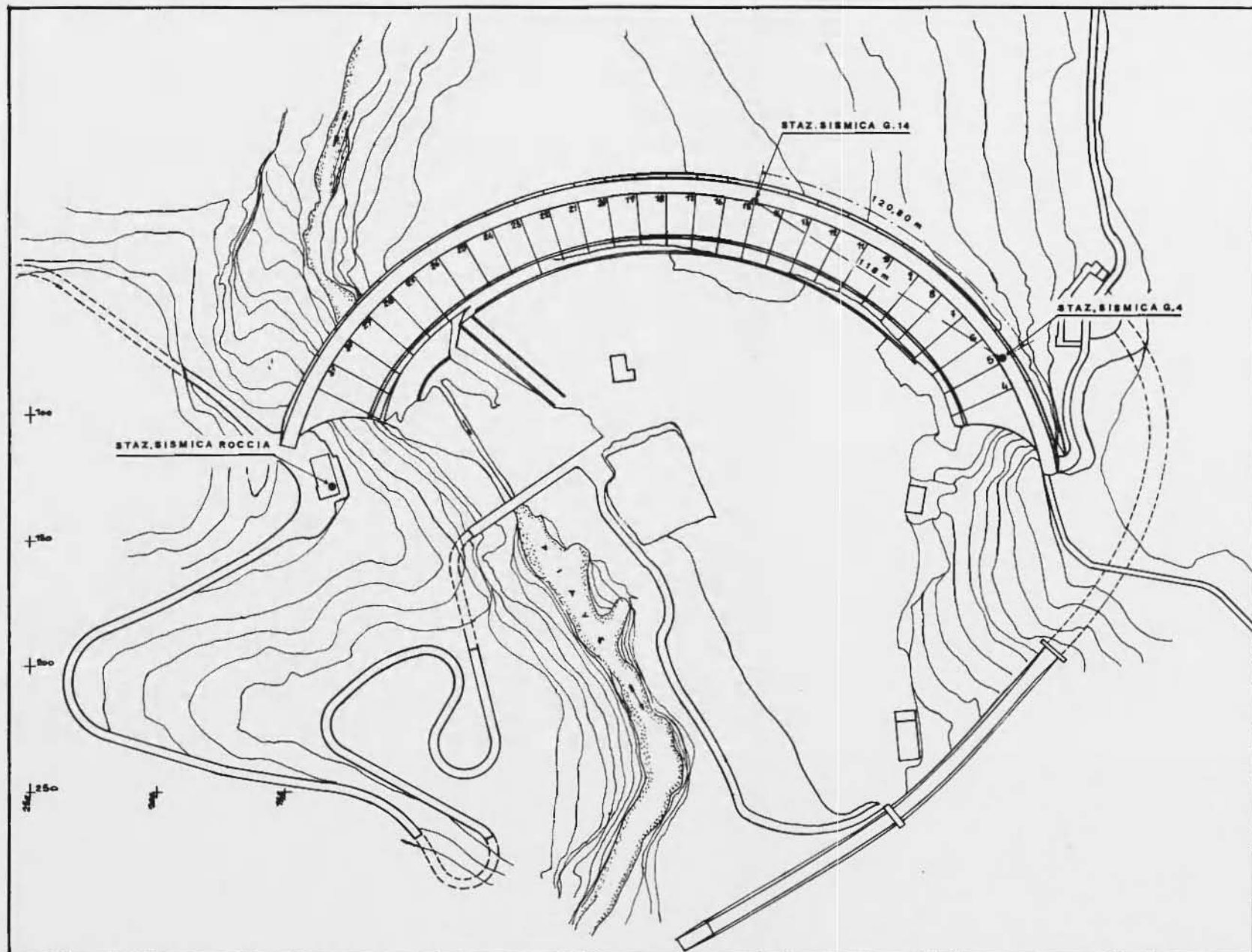


Fig. 1 - Planimetria della diga di Pieve di Cadore (la lettera G sta per «giunto»).

Fig. 1 - Planimetry of the Pieve di Cadore dam (the capital letter G means "joint").

del C5, il quale ha risposto dapprima con l'uninodale propria, seguita dall'armonica superiore dell'intera diga ($T = 1^s$ ca). Analoga osservazione per le due micrososse della fig. 2δ (20^h 32^m e 21^h 34^m del-

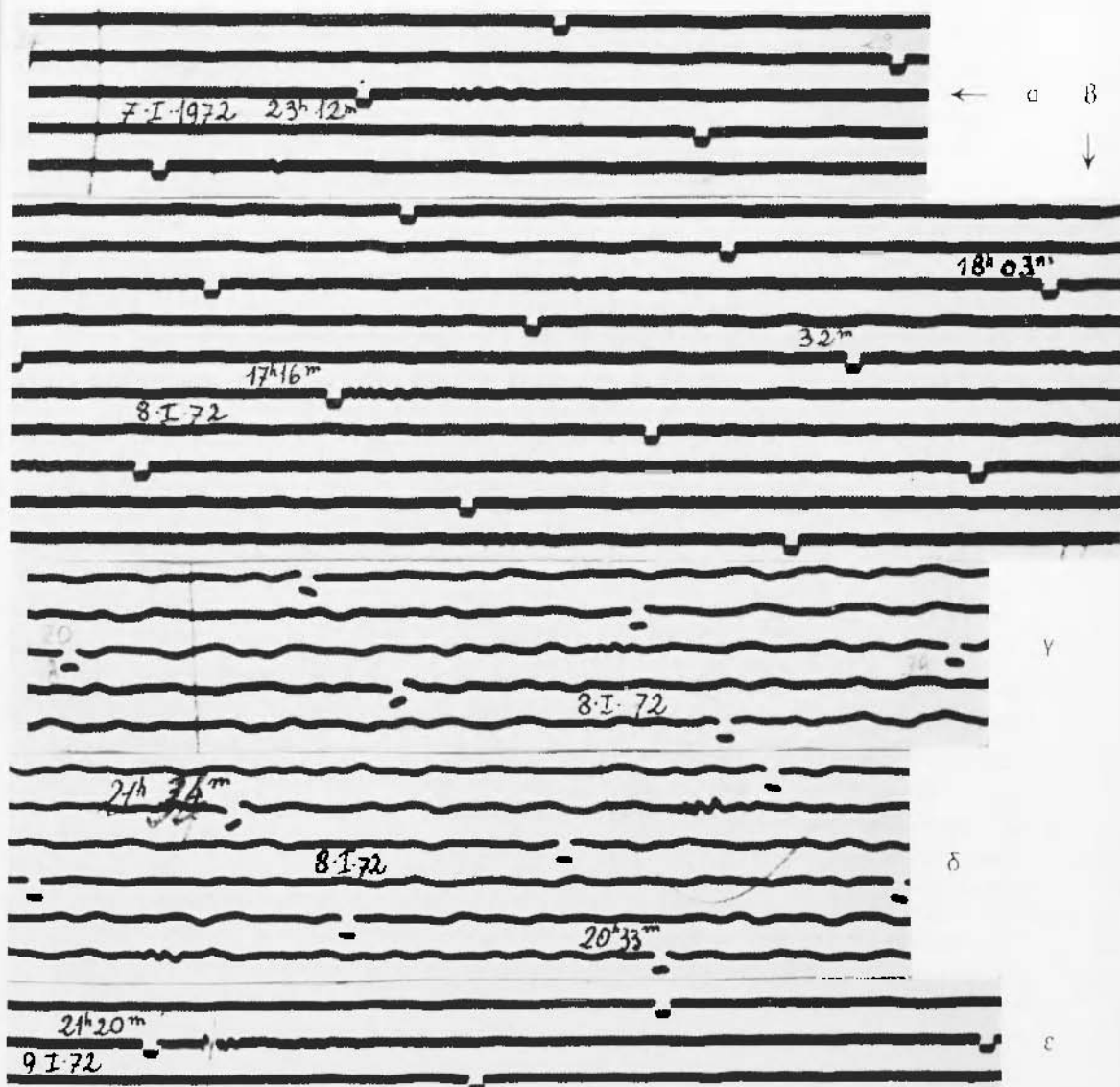


Fig. 2 - Dalla figura 2 alla figura 16, vedi il testo.

Fig. 2 - From figure 2 to figure 16, read the comment in text.

1°8 Gennaio), la seconda delle quali è preceduta da vibrazioni di elevata frequenza, a testimonianza del fatto che la microsossia ha pure interessato la roccia sottostante il conio.

La fig. 2a riporta due micrososse (la seconda a 0.5 sec dalla prima, di maggiore intensità), verificatesi probabilmente nella roccia a contatto con il C14, che solo ha reagito alla sollecitazione.

Altre migliaia di micrososse per gelo furono registrate in diga dal Dicembre 1972 al Marzo 1973.

Anche per questa numerosissima serie di micrososse, si verificano i casi sopra accennati. Ci limiteremo a richiamarne qualcuno.

La microsossia dell'8 Gennaio 1973 (16^h54^m) fu registrata molto più ampiamente in C5, che in C14 (fig. 3), non solo, ma in C14 arriva con circa un centesimo di secondo di ritardo, il che prova che la scossa ha avuto origine nei pressi del C5.

Alle 18^h20^m dell'11 Gennaio 1973 una microsossia viene registrata sia in diga (figg. 4a, 4b), sia in cabina comandi (figg. 4c, 4d) sia pure con minore ampiezza, attesa la minore sensibilità del sismografo ivi funzionanti. E da ritenere che tale scossa abbia avuto origine nel piazzale a valle della diga, in roccia, come è provato dalla mancanza delle oscillazioni proprie del manufatto. Altre fratture in roccia sono quelle registrate alle 19^h20^m del 12 Gennaio, con origine più prossima al C14, come è provato dalla maggiore ampiezza ivi osservata e dal lievissimo anticipo sulle analoghe registrazioni avute in C5 (fig. 5). La più intensa delle due micrososse ha dato lievi tracce in cabina comandi. Un'altra microsossia originata in roccia è quella del 13 Gennaio alle 19^h41^m (fig. 6), più vicina al C14 che al C5. Altri esempi di micrososse provocate da frattura in roccia, sono quelle riportate in fig. 7, di intensità diversa, sebbene la loro origine — prossima al C5 — appaia unitaria.

La quindicina di micrososse riportata in fig. 8, interessa invece quasi esclusivamente la diga e l'origine deve ritenersi a ridosso della stessa: le più o meno lunghe serie di oscillazioni sono infatti animate da dispersione anomala, caratteristica delle vibrazioni libere del manufatto. Esse vengono registrate sopra tutto nel C14, dove la fondamentale dell'intera diga appare maggiormente sviluppata. Si nota che fra l'inizio delle singole perturbazioni e l'inizio delle oscillazioni libere del C14 (o di quelle interessanti l'intera diga) trascorrono tempi diversi. Ciò sta a significare che diversa è la distanza di provenienza delle singole micrososse, nei confronti della stazione sismica sistemata in C14. La più vicina al C14 appare, p. es., quella delle 18^h47^m del 26 Gennaio, seguita da quella delle 19^h34^m dell'11 Gennaio; mentre la più lontana sembra essere quella delle 20^h46^m del 26 Gennaio.

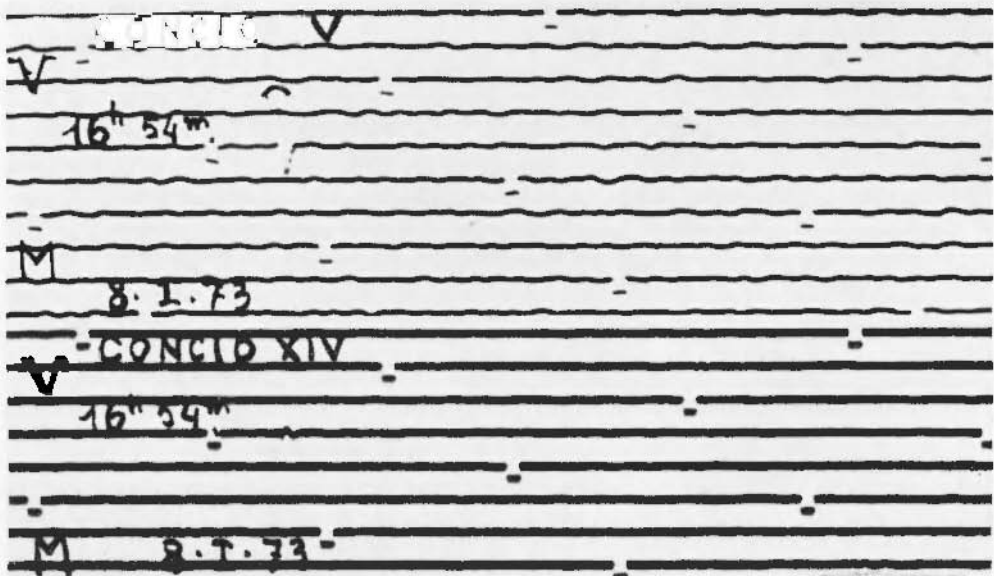


Fig. 3

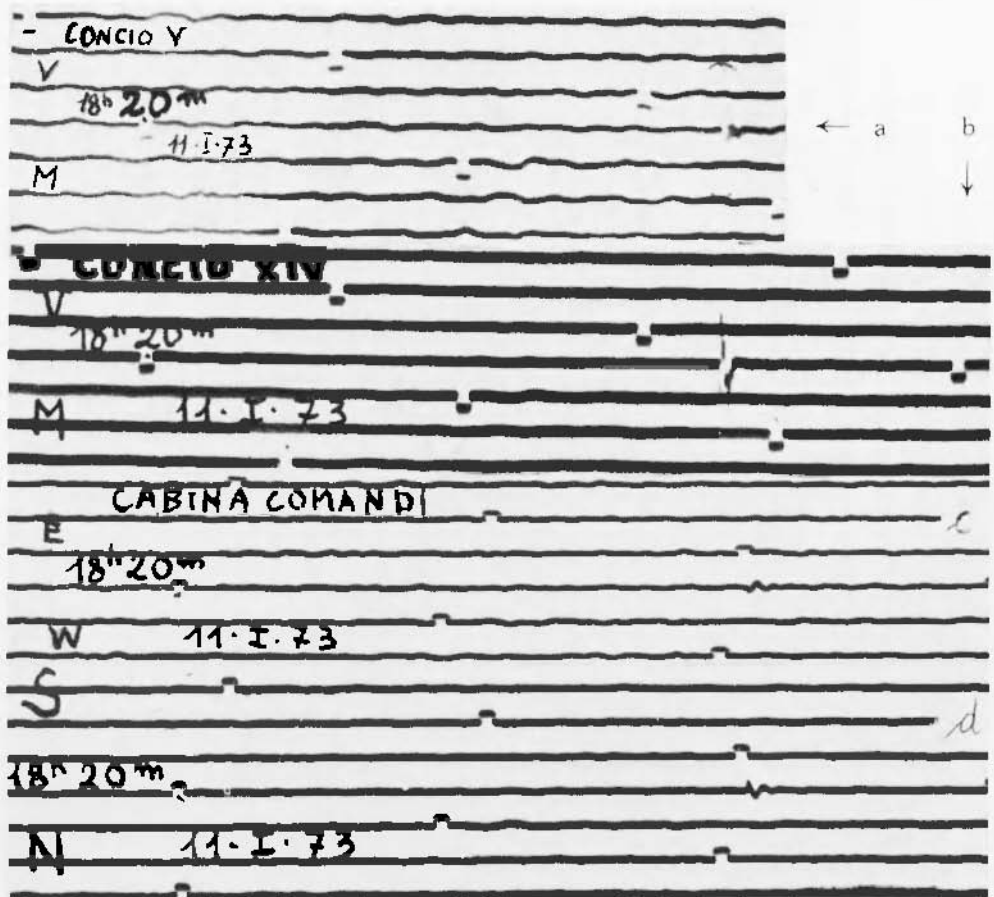


Fig. 4

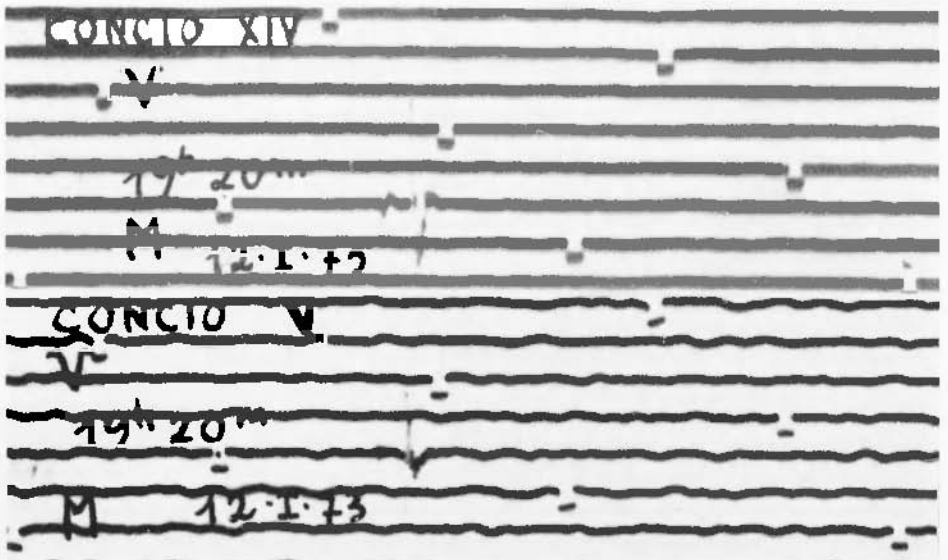


Fig. 5

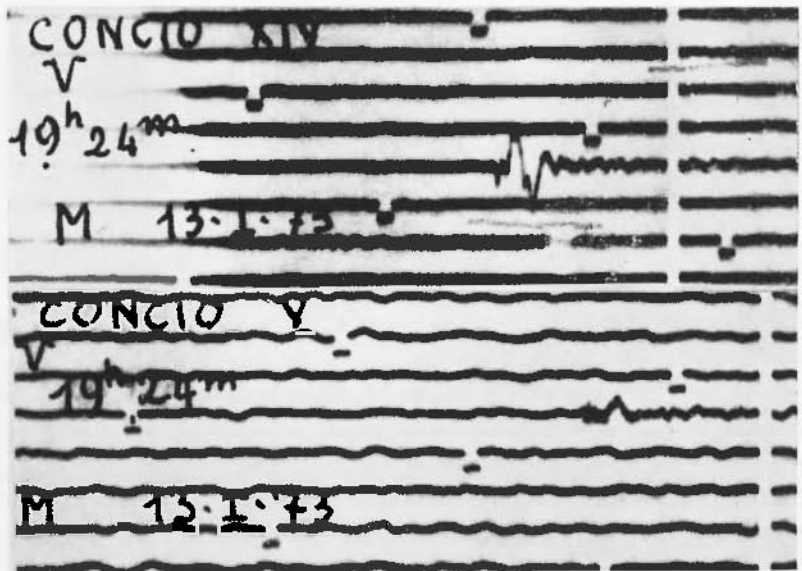


Fig. 6

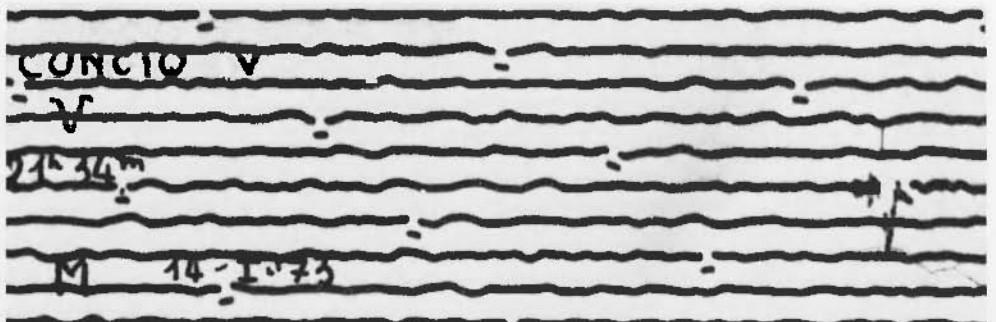


Fig. 7

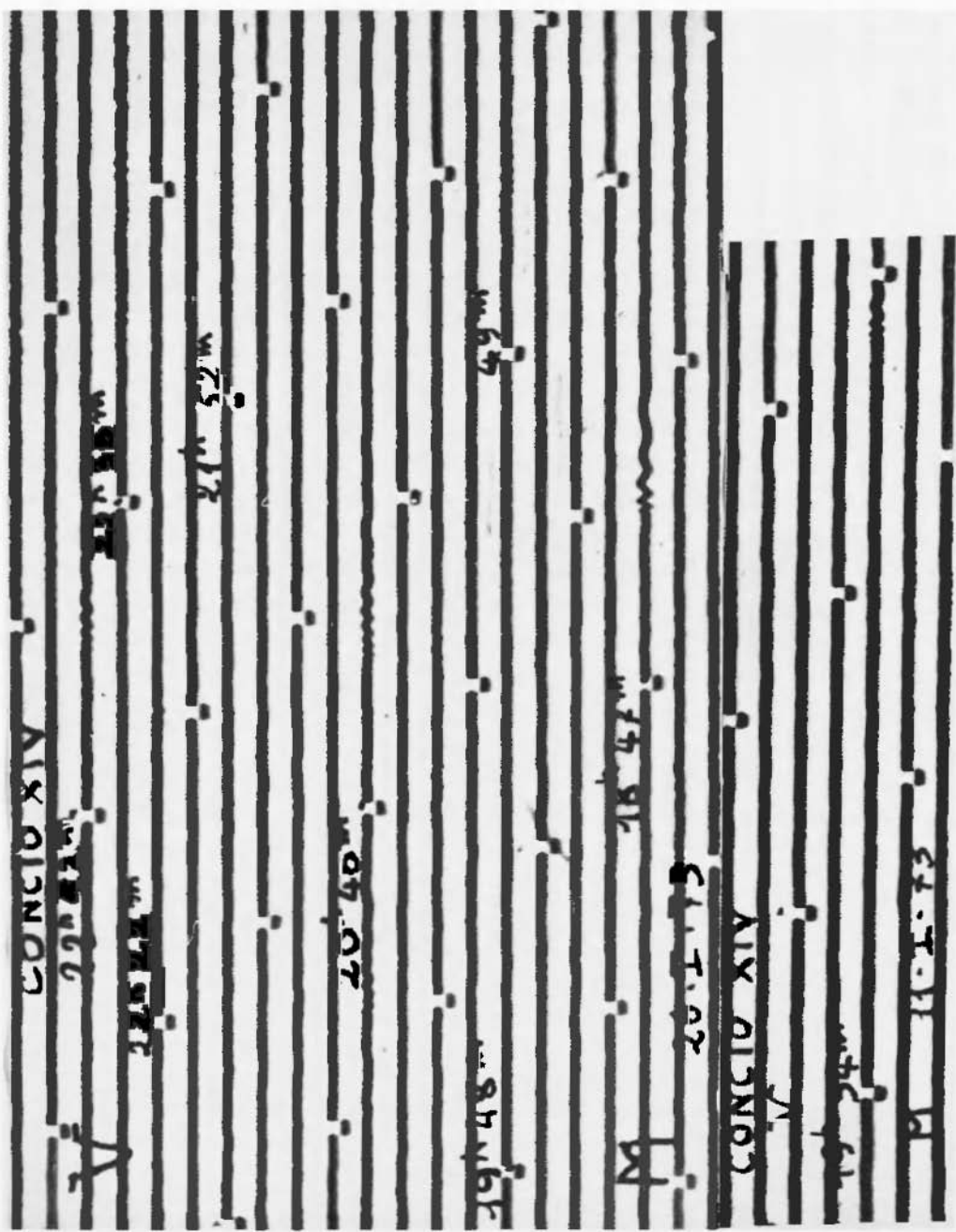


Fig. 8

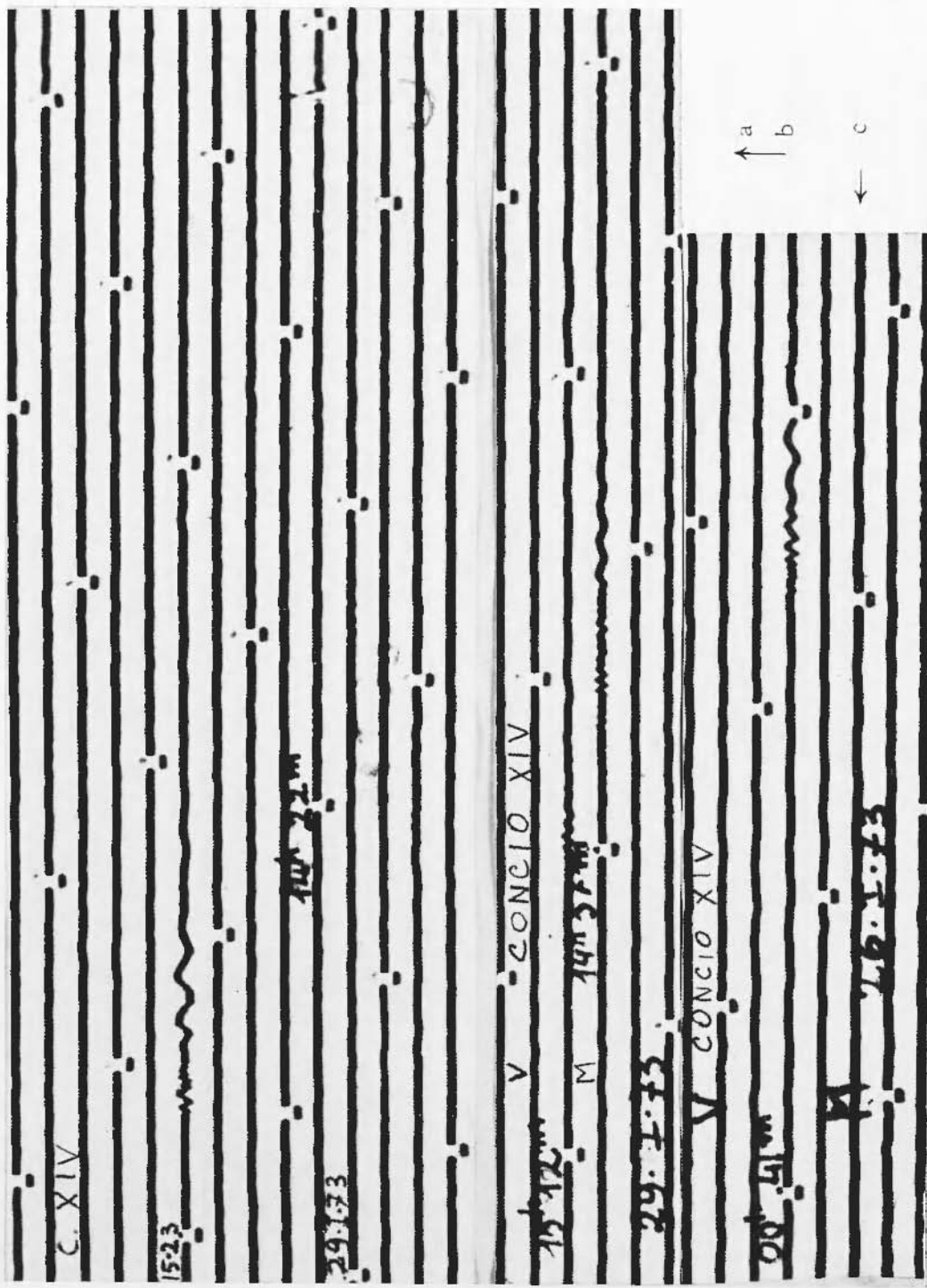


Fig. 9

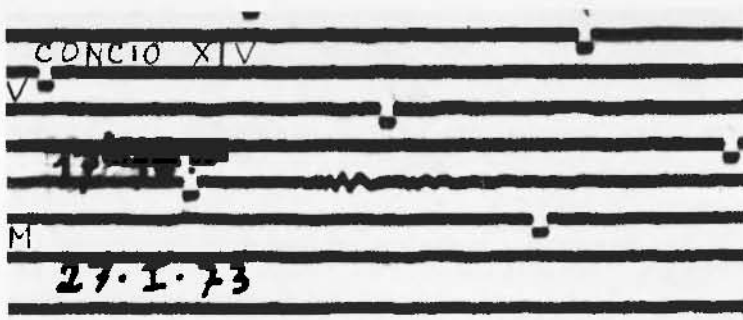


Fig. 10

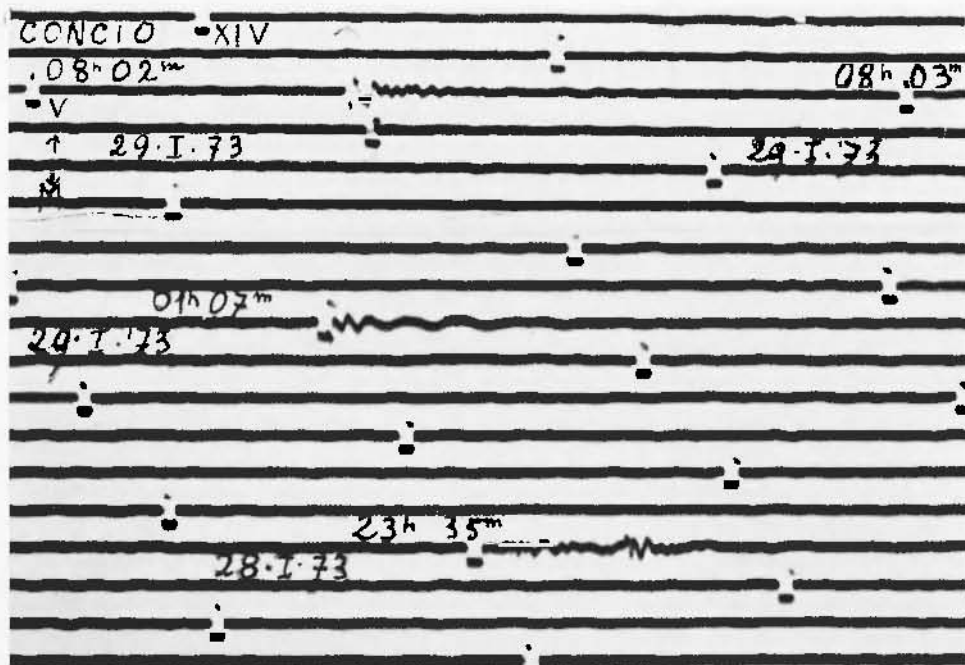


Fig. 11

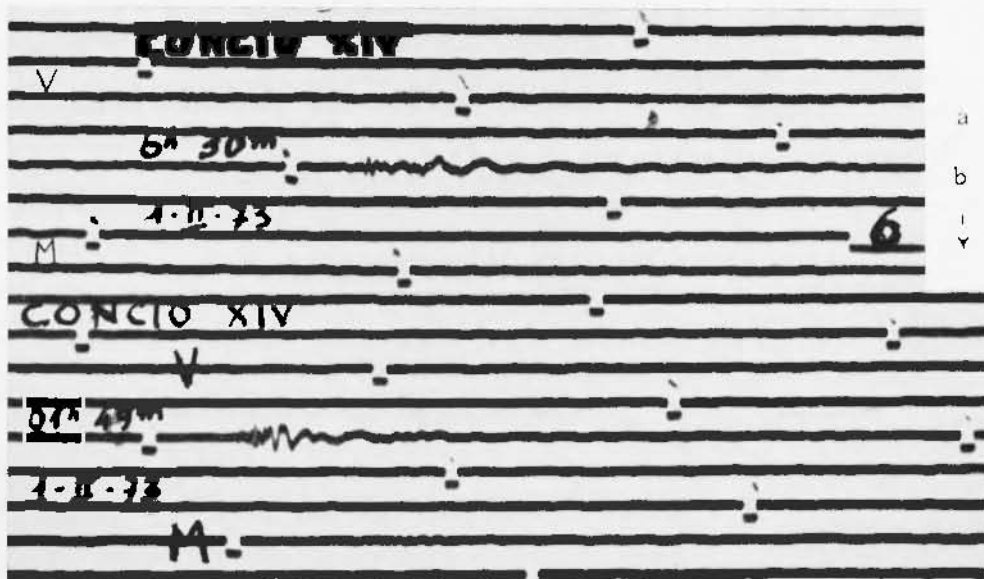


Fig. 12

In ogni modo, l'ordine di grandezza delle distanze relative può essere determinato con la formula (3)

$$r^2 = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{E}{\rho}} b \frac{1}{T},$$

dove v è la velocità di propagazione di un'oscillazione libera di periodo T , in un concio di spessore b , essendo $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ la velocità di propagazione delle onde longitudinali ordinarie, proprie del mezzo.

Per $\sqrt{\frac{E}{\rho}} \approx 4500$ m/sec, $b = 16.5$ m, si ha: $v \approx 366 \frac{1}{T}$.

La velocità risulta quindi inversamente proporzionale al periodo dell'onda libera considerata. Per un periodo $T = 1^s$, si ha, p. es., $v = 366$ m/sec; per $T = 0^s.6$, $v = 470$ m/sec ca; per $T = 1^s.5$, $v = 300$ m/sec ca; per $T = 3^s.0$, $v = 210$ m/sec ca; ecc. Si tratta — è chiaro — di valori puramente indicativi. La seconda delle microscosse sopra citate, con riferimento all'onda libera di $0^s.6$ ca, appare quindi un centinaio di metri più lontana — nella sua origine — della prima. La microscossa delle 20^h46^m del 26 Gennaio, potrebbe essere originata alla base del tampone, ecc.

Le microscosse che originano nei pressi della base del C14 — di posizione centrale — oltre provocare le oscillazioni fondamentali dell'intero manufatto, generano spesso anche vibrazioni dell'ordine di 3^s ca, che possono essere considerate come vibrazioni del manufatto fisso ad un estremo (quello sinistro) e « libere » in corrispondenza del tampone (non si dimentichi che, in ogni caso, si tratta di micromovimenti). L'eccitazione di tali oscillazioni possono essere più o meno ritardate: si vedano, ad es., le microscosse relative alle figg. 9c, 11 (01^h07^m del 29 Gennaio 1973), 9b, 9a, 12b, 12a. La microscossa in fig. 9c appare originata proprio sotto il C14, così come la prima della fig. 10. Alle 23^h35^m del 28 Gennaio (fig. 11) vi fu evidentemente una serie di microscosse, così come alle 14^h57^m del 29 Gennaio (fig. 9b). La microscossa, di cui alla fig. 11 (alle 08^h02^m), ha evidentemente avuto origine in roccia, anche se poi ha interessato la diga, così come la microscossa di fig. 12b (01^h49^m) ha provocato, successivamente, microfrazture in roccia. In fig. 13a (p. es. alle 15^h26^m e alle 17^h14^m) le vibrazioni della diga, o di sue parti, si esauriscono in ca 4 sec, mentre in fig. 13b (alle 14^h28^m) esse si sviluppano ben intervallate e persistono per 50 sec ca,

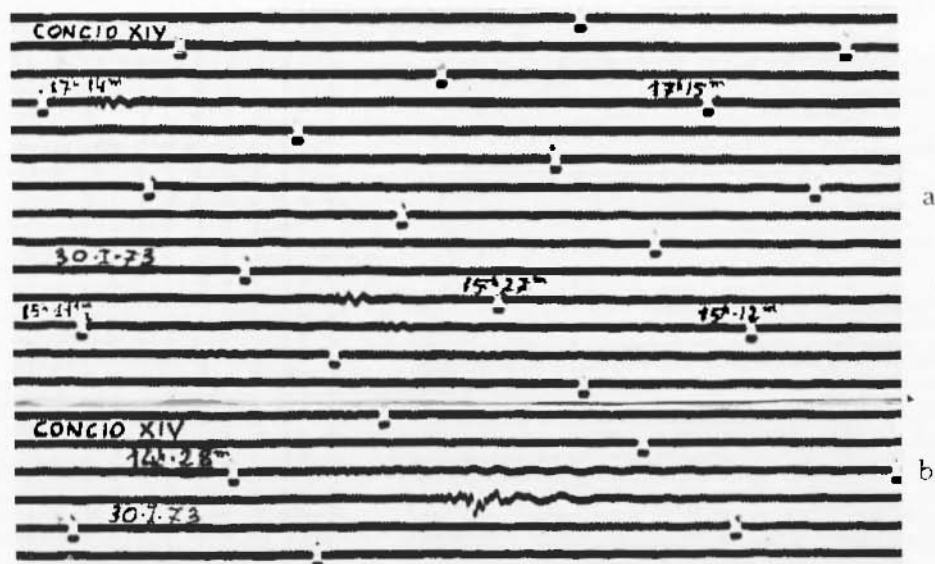


Fig. 13

a significare la lontana origine della microscossa (forse sul fondo del tampone).

Fra le fratture originate in roccia, notevole quella delle 14^h22^m del 29 Gennaio 1973 (fig. 9a), registrata solo in C14 (e quindi molto prossima a questo concio); mentre quella del 31 Gennaio ha avuto origine in sponda destra, a due o trecento metri dalla cabina comandi, in direzione fra SW e SSW, ed è stata registrata solo come traccia in C5, fig. 14 (non si dimentichi che la cabina comandi è separata dal piazzale da una forra — quella del tampone — profonda 120 m ca). Nella fig. 15 è riprodotta una microscossa in roccia, registrata solo in C5 (quindi di origine prossima a questo concio) e ancora solo in C5 sono registrate le microscosse della fig. 16.

3. - Furono esaminate quattro serie di microscosse per gelo: dal 6 al 12 e dal 15 al 19 Gennaio 1972; dall'11 al 16 Gennaio e dal 26 Gennaio al 2 Febbraio 1973. Le diverse migliaia di microscosse così ottenute, furono distribuite di ora in ora per le prime due serie, e di due ore in due ore per la terza e quarta serie, nella loro successione cronologica.

La fig. 17 si riferisce alle prime due serie e comprende altresì l'andamento della temperatura e dell'invaso, nonché la componente

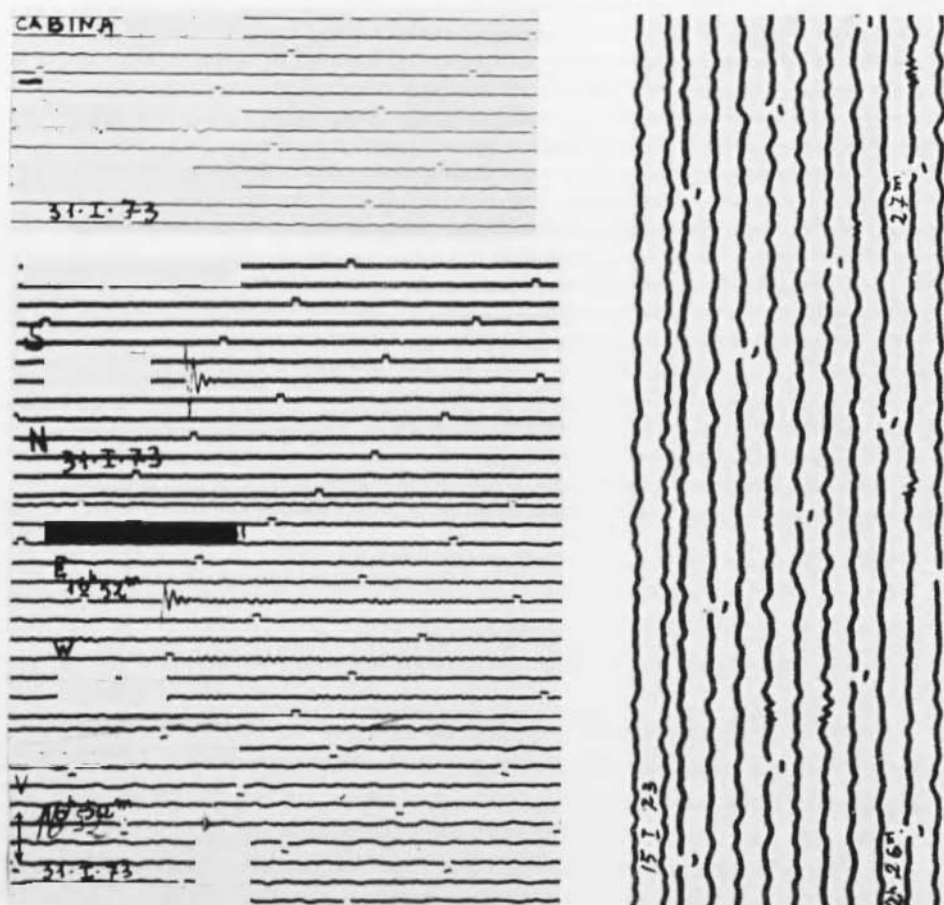


Fig. 16

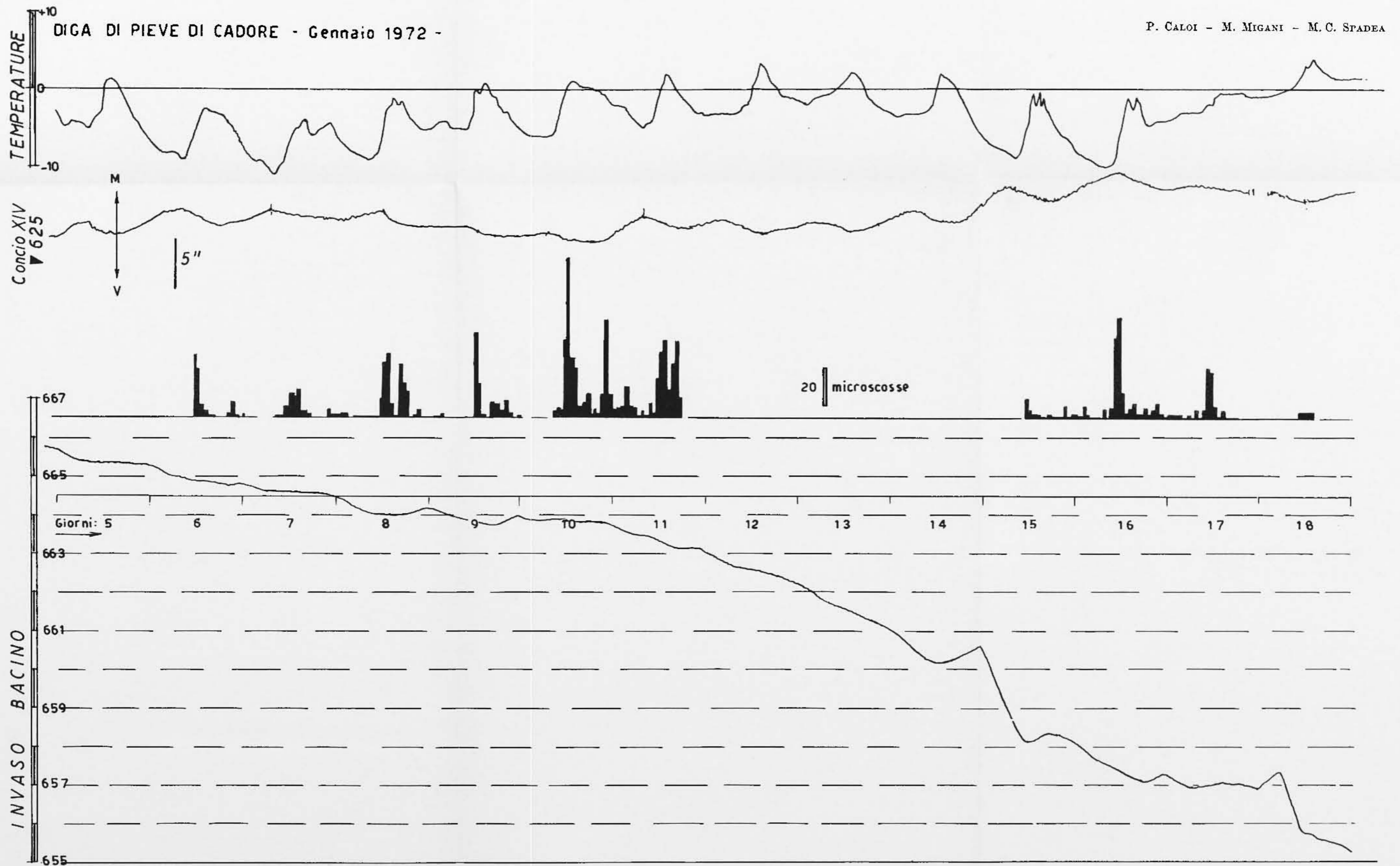


Fig. 17 - Microscosse di ora in ora per i due periodi investigati, dal 6 al 12 e dal 15 al 19 Gennaio 1972. Si noterà che l'accumulo delle microscosse si verifica quando è più rapida la variazione della temperatura: quindi, durante la ripresa termica diurna, quando il termometro tende verso zero e lo supera. È durante questa ripresa che la diga «cade» verso valle, come prova la componente monte-valle del clinografo, funzionante alla base del C14.

Fig. 17 - Microshocks hourly recorded during two different periods: 6-12 and 15-19 of January, 1972. It is clear that the microshocks lot occur concurrently to the quicker changes of temperature, that is when, during the diurnal heating, the temperature tends or oversteps zero degrees. Just during this increase the dam "falls" downstream, as well as the clinographic component (M-V) acting in C14 bottom, evinces.

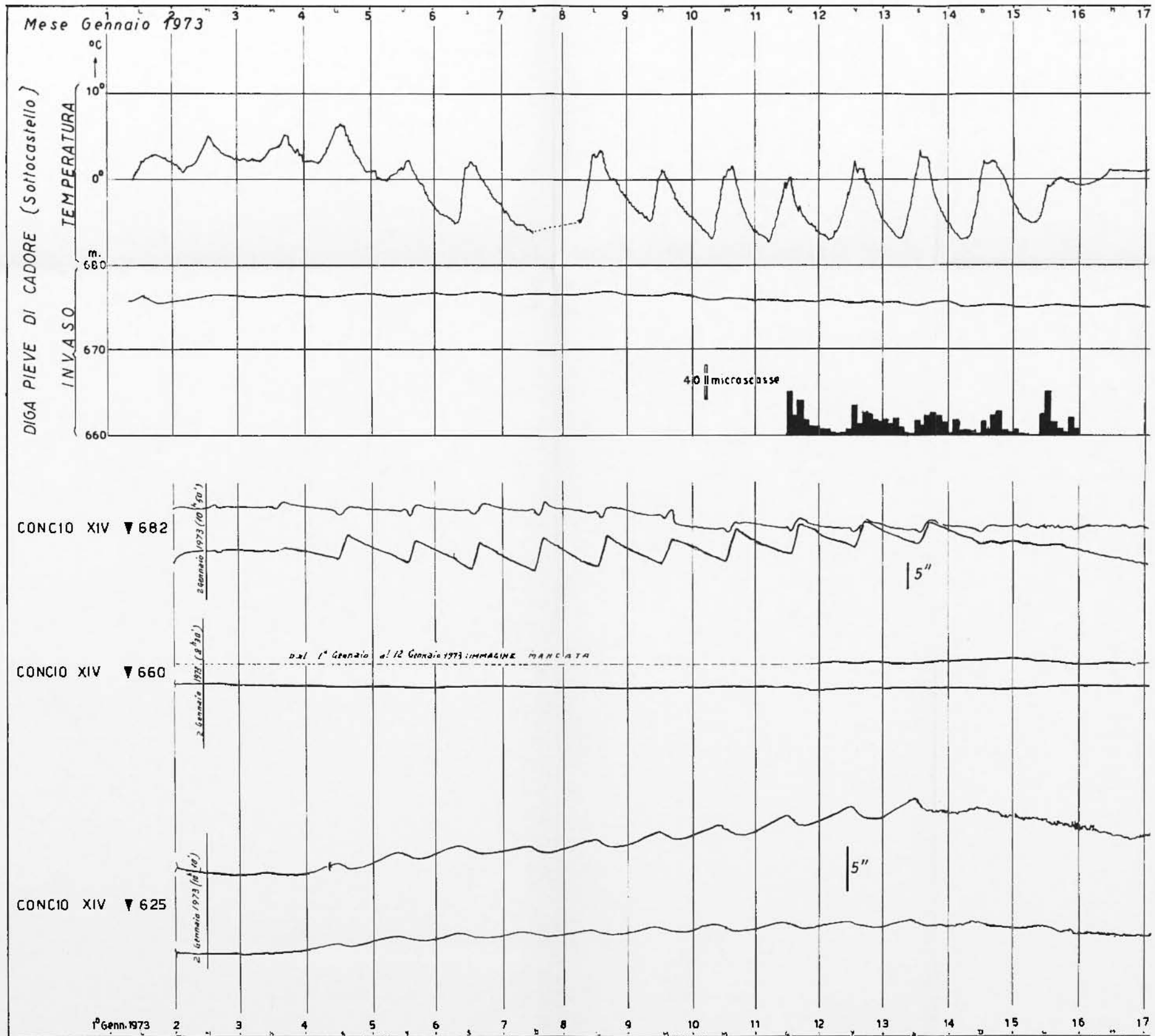


Fig. 18 - La serie di microscosse sopra riportata, si riferisce al periodo 11-16 Gennaio 1973: il computo è stato fatto di 2 ore in 2 ore. A quota 682 (coronamento-diga) lo sbarramento risponde all'insolazione diurna con una flessione verso monte, a cui succede il lento ritorno a valle durante il raffreddamento. Alla base della diga (q. 625), si verifica il fenomeno opposto: rapida « caduta » verso valle, durante il rapido riscaldamento diurno, lenta spinta a monte nel susseguente lento raffreddamento. È specialmente durante la fase di « caduta » che si verifica il maggior numero di scosse.

Fig. 18 - The series of microshocks refer to 11-16 January, 1973 period: the calculation has been made every two hours. At the dam-top (682 ms height) the barrage owing to the diurnal sunniness bends upstream (M), whilst during the cooling the dam bending is slowly downstream (V). At the dam bottom (625 ms height) it occurs the opposite phenomenon: abrupt "fall" downstream according to the sudden daily heating, slow bending upstream (M) according to the ensuing slow cooling. The largest amount of shocks occurs especially during the «fall»'s stage.

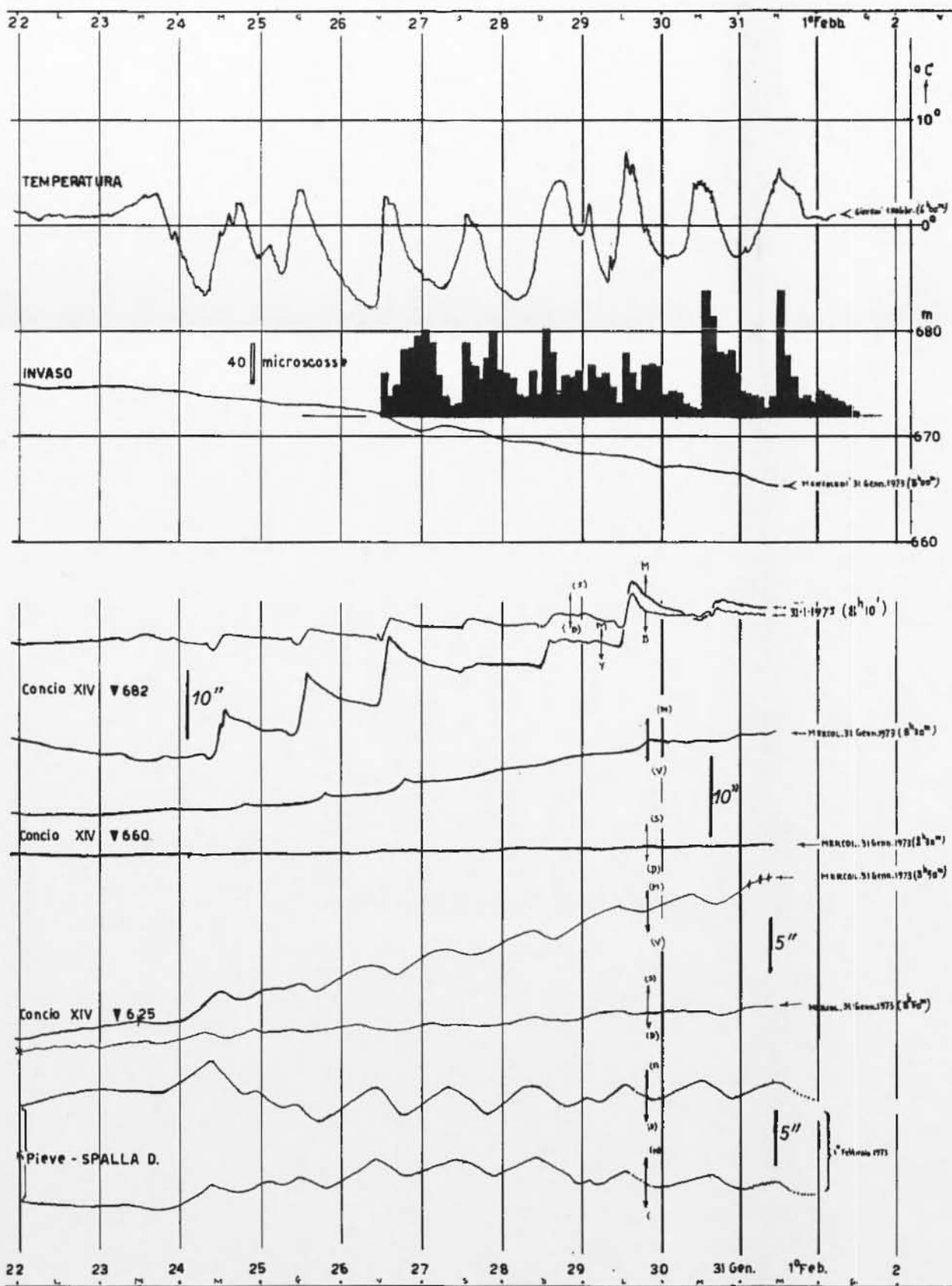


Fig. 19 - Vale il commento relativo alla fig. 18. Riporta in più anche la registrazione clinografica ottenuta in roccia (in spalla destra), che accenna ad un « respiro » gelo-riscaldamento più ampio che alla base del C14, in quanto più lontano e quindi non ostacolato dallo sbarramento.

Fig. 19 - Read the comment of fig. 18. Are here reported, moreover, the clinographic recordings in the right rocky side obtained. The oscillation due to frost-heating action is more large in the rock that at the C14 base, since the latter is farther and unhindered from the barrage.

valle-monte (V-M) della postazione clinografica funzionante alla base del C14 della diga di Pieve di Cadore. Le figg. 18, 19 si riferiscono invece alle altre due serie, la prima messa a confronto con la temperatura, l'invaso e le registrazioni clinografiche, contemporaneamente ottenute a quota 682, 660 e 625 metri del C14, la seconda con le stesse grandezze testé elencate, nonché con le registrazioni clinografiche ottenute in roccia, a q. 625, in un cunicolo della spalla destra.

Dall'osservazione delle figure spicca subito un fatto: le microscosse, legate al gelo spinto, si addensano sopra tutto in corrispondenza degli intervalli in cui più accentuato si manifesta il salto di temperatura. Così, poiché il raffreddamento si verifica molto più lentamente del riscaldamento, è in corrispondenza di quest'ultimo che avviene il massimo numero di microscosse. Non è tanto la variazione termica che conta ai fini delle microfrazioni, quanto la rapidità con cui essa si realizza. Generalmente, durante il giorno — se assoluto — la temperatura riguadagna quanto ha perso durante la notte, ma, poiché la ripresa di calore è molto più rapida della perdita, è durante le poche ore in cui la temperatura sale che si concentra maggiormente l'energia efficace ai fini della rottura in campo plasto-elastico.

Il fenomeno è ben delineato anche dalle registrazioni clinografiche, che consentono inoltre di precisarne la causa. È noto che l'onda diurna, conseguente all'insolazione, particolarmente ampia in corrispondenza del coronamento, diminuisce d'ampiezza procedendo verso la base della diga, dove praticamente si annulla. Durante i mesi invernali, si riduce moltissimo anche nel coronamento, fino a scomparire, nel periodo in cui il sole è molto basso sull'orizzonte. Così, anche a Pieve di Cadore, quando la temperatura è al di sopra dello zero, alla base della diga (q. 625m), l'onda diurna viene registrata solo sotto forma di traccia o non viene registrata affatto. Ben diverso è il suo comportamento durante i periodi di gelo spinto. L'acqua, di cui è imbevuta la roccia a valle della diga, gelando si gonfia e spinge la diga verso monte. Ciò è reso manifesto dalle figg. 18-21, le quali rivelano inoltre un altro fatto: il contrastante comportamento del coronamento e della base della diga sotto la stessa causa agente: il raffreddamento fa flettere la parte alta della diga a valle, mentre la base viene spinta a monte e viceversa. Successivamente l'insolazione, riscaldando la parte alta della diga — nella facciata opposta al lago — la spinge a monte: contemporaneamente però, il riscaldamento dell'aria, sciogliendo parzialmente l'acqua gelata nel massiccio roccioso del piazzale, provoca la contrazione del mezzo, con il conseguente lieve scorrimento a valle della base della diga. Ai

pie di della diga, insomma, nei periodi di gelo spinto, si ha la formazione di *un'onda diurna alla rovescia*, provocata dal comportamento anomalo dell'acqua per temperature sotto lo zero. Dalle figure accennate, risulta che — per la diga di Pieve di Cadore — la quota dove la rotazione è nulla è qualche metro al di sotto q. 660m, dove la componente clinografica valle-monte è ancora (sia pure in misura minima) in fase con l'analoga componente di quota coronamento.

Riformando al connesso fenomeno delle microfrazture, va osservato che durante la lenta fase di raffreddamento sotto lo zero, la diga viene spinta gradualmente verso monte; e solo nei tratti in cui il raffreddamento è più rapido, questa spinta può provocare microscosse. In altri termini, durante il raffreddamento, generalmente il mezzo reagisce in campo plastico. Nelle poche ore d'insolazione, in cui la temperatura riprende rapidamente quanto aveva perduto durante la notte, la parte esterna del mezzo si rilascia in modo brusco, consentendo alla diga di « cadere » verso valle (figg. 17-19) in modo troppo rapido per essere contenuta dal mezzo in campo plastico: superato quindi il limite di fermezza, sopravvengono più numerose le microscosse. Come provano i clinogrammi, l'arco percorso dal piede della diga, in un senso o nel senso opposto, è sostanzialmente lo stesso; nella fase di riscaldamento però, esso è percorso molto più velocemente che non durante il raffreddamento: di qui il superamento della fase plastica e la susseguente microfrazione, come effetto di una più accentuata quantità di moto.

Si deve vedere in questo fenomeno un prezioso indizio sul meccanismo che accompagna la sismicità in una zona soggetta a tensioni contrastanti.

L'ordine di grandezza delle forze che intervengono a determinare le microfrazture nella roccia, può essere valutato quando si pensa che le tensioni tangenziali che agiscono da monte ai piedi della diga, a pieno invaso, sono dell'ordine di 30 kg/cm². Sono queste le forze che premono sul mezzo a valle, quando — in seguito al cedimento del sistema roccioso che si affloscia per parziale disgelo di superficie — la diga « cade » verso il piazzale. Ma su ciò si tornerà dettagliatamente in un altro lavoro.

4. — Si è ritenuto opportuno, allo scopo di chiarire sempre meglio il comportamento della diga di Pieve di Cadore nei confronti delle variazioni stagionali, confrontare l'andamento della temperatura (e dell'invaso) con il contemporaneo andamento delle registrazioni clinografiche ottenute nel C14, alle quote 682m, 660m, 625m, durante i mesi di Febbraio e Marzo 1973, che sono — dal punto di vista geodinamico — mesi di transizione.

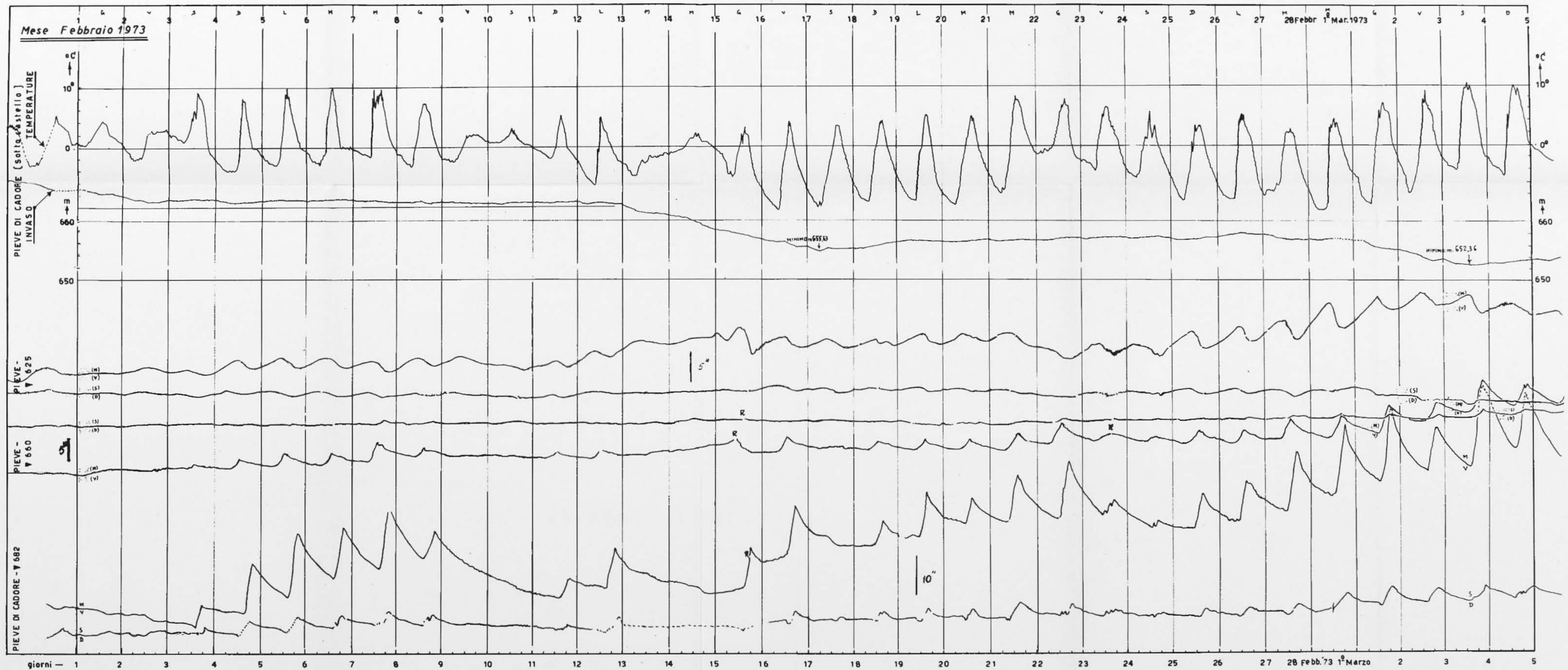


Fig. 20 - Con l'alternarsi della temperatura intorno allo zero, riprende in quota (q. 682) l'onda diurna per insolazione (spinta verso monte per riscaldamento, flessione verso valle per raffreddamento). Al di sotto di q. 660, dove è ancora presente in misura ridotta, l'onda diurna lentamente sparisce. Alla base della diga (q. 625), nei periodi di oscillazione della temperatura intorno allo zero, si ha la formazione di un'onda diurna alla rovescia, in opposizione di fase con quella in quota, come conseguenza di una spinta verso monte per gelo ed una « caduta » verso valle per parziale disgelo (v.testo).

Fig. 20 - With the temperature oscillations about zero degrees, the diurnal wave due to sunniness at the 682ms height resumes to be recorded upstream (M) by heating and downstream (V) by cooling respectively bending. Under 660ms height, the diurnal wave, with lesser amplitude recorded disappears. At 625ms height (dam-bottom), an inverted diurnal wave in opposite phase to that of the dam-top is formed, in consequence of an upstream bend (M) due to frost and of a downstream "fall" (V) due to partial thawing (read the text).

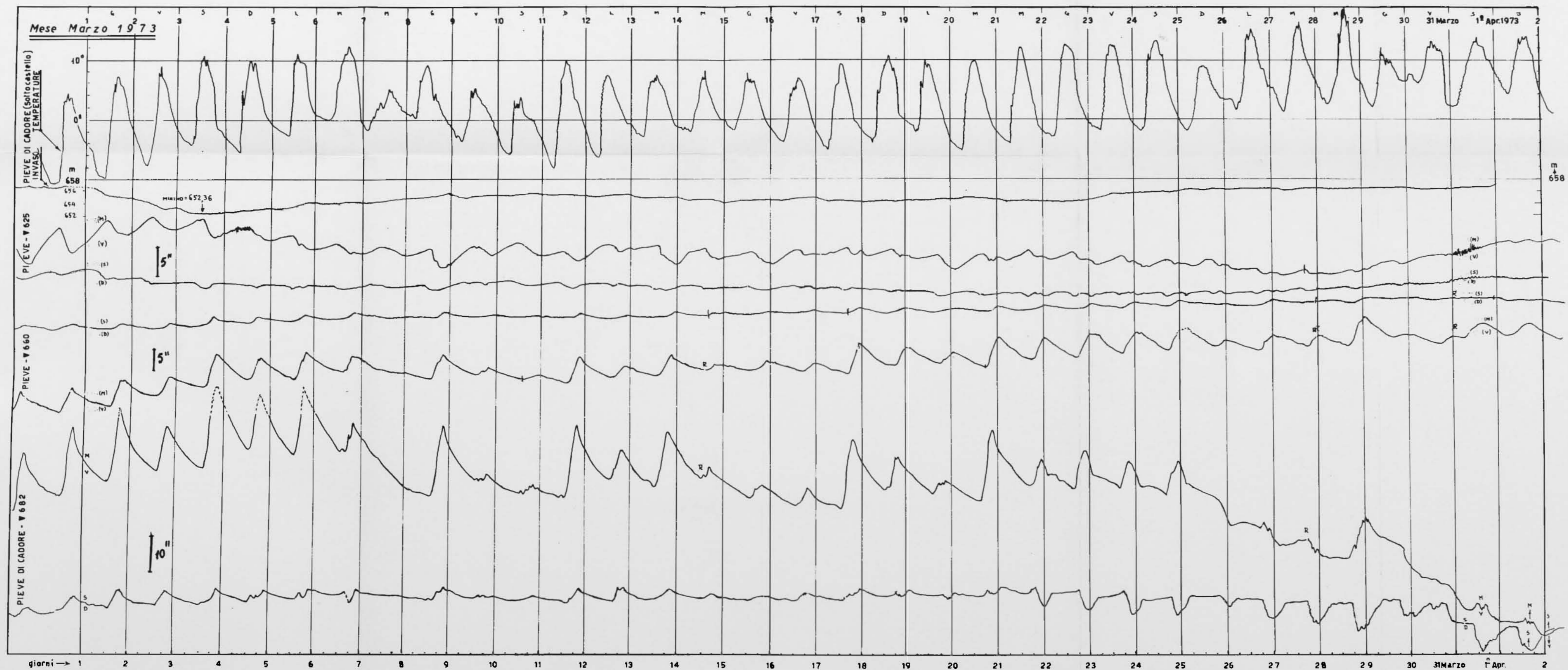


Fig. 21 - Vale il commento relativo alla fig. 20 fino al persistere di un deciso raffreddamento notturno. Col prevalere del riscaldamento diurno, l'«onda alla rovescia» di base si rompe e, quando la temperatura oscilla decisamente sopra lo zero, tende a sparire e, alla fine ad appiattirsi, dopo gli ultimi «sussulti» della roccia, liberata dalla morsa del gelo.

Fig. 21 - The comment is the same of fig. 20 while the night-cooling is decided. When the diurnal-heating prevails, the "inverted wave" at the C14 base breaks. For temperature-oscillations decidedly above zero degrees, the "inverted wave" tends to disappear reducing, at last, itself to a line concurrently to a release of the rock from the frost vice.

A quota 682m e, in minor misura, a quota 660m cominciano a manifestarsi i primi gruppi di onde diurne per insolazione, mentre la diga — in ciò aiutata anche dalla diminuzione dell'invaso —, inizia a flettere verso monte. Tale comportamento continua anche durante il Marzo: per tutto il mese a quota 660m; solo fino al 20 per quota 682m (coronamento), che — a partire da quella data — flette a valle, anziché a monte. La spiegazione di tale anomalia è data dall'andamento della temperatura dell'aria — che, nel frattempo, in media, sta avvicinandosi agli 8°-10° — e dell'invaso, limitato a quote sotto i 660m. A monte, la parte della diga sommersa trovasi ad una temperatura intorno ai 4°: di qui la spinta a monte per la parte di diga fino a quella quota che, a valle, trovasi mediamente sopra i 4° ed è soggetta all'insolazione. Da quota 660m in su, però, anche la superficie della diga a monte è soggetta ad un progressivo riscaldamento, conseguente all'aumento della temperatura dell'aria, in contrasto con la parte sommersa, costretta a temperatura minore, contrasto che aumenta con la quota: di qui, un movimento relativo della parte emersa in opposizione alla parte sommersa, cioè verso valle, come è chiaramente messo in evidenza dalla fig. 21, che mostra altresì il deteriorarsi dell'onda diurna, conseguente alla contrastante situazione termica.

Ben più interessante però si rivela il comportamento della base della diga: durante il Febbraio, *l'onda diurna alla rovescia*, di cui si è detto sopra (cioè in opposizione di fase con l'onda diurna in quota) continua a svilupparsi regolarmente e con successione uniforme (e ad essa corrisponde, come si è visto, la microsismicità per gelo). Ai primi di Marzo però, a mano a mano che la temperatura si porta decisamente sopra lo zero, l'ondulazione a quota 625 perde gradualmente l'uniformità di successione, si rompe nel suo ritmo, e — nella seconda metà del mese, quando la temperatura tende a variare soltanto sopra lo zero — presenta solo perturbazioni sporadiche, irregolari per acquietarsi alla fine in una linea senza movimenti apprezzabili (poco mossa). Ciò sta a significare che lo strato esterno del piazzale si è ormai riscaldato sopra lo zero ed è venuto a cessare ogni apprezzabile contrasto contro lo sbarramento.

5. — A conclusione di queste note, va fortemente sottolineato l'interesse associato al particolare tipo di microsismicità investigato e alla sua insospettata origine. L'uno e l'altra furono rivelati grazie al prezioso ausilio di due strumenti, che già tanti aspetti del comportamento geodinamico di una grande diga, e del suo ambiente fisico, hanno

consentito di chiarire: il sismografo e il fotoclinografo. Il primo ha rivelato il fenomeno, il secondo ha contribuito, in modo determinante, alla sua spiegazione.

Prese singolarmente, le micrososse per gelo sono di intensità piccolissima (mediamente dell'ordine di 10^{10} erg). Non bisogna dimenticare però che, nelle zone di montagna, esse possono verificarsi — attraverso tre o quattro mesi — a diecine di migliaia. Poiché ogni microsossa testimonia di una microfrattura nella roccia, è inevitabile un lieve, lentissimo ma continuo indebolimento della culla della diga.

Di qui la necessità di un intensificato, accurato controllo della risposta elastica del mezzo — a cui la diga è ancorata — e delle sue variazioni nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) CALOI P., MIGANI M., SPADEA M. C., 1972. — *Comportamento di una grande diga sotto il gelo spinto*. "Annali di Geofisica", XXV, 4.
- (²) CALOI P., SPADEA M. C., 1969. — *Sulla risposta elastica delle dighe e sulla loro variazione nel tempo*. "Annali di Geofisica", XXII, 1.
- (³) CALOI P., 1956. — *Sui periodi di oscillazione libera dei conei di una diga e sulle loro relazioni con le caratteristiche elastiche del calccestruzzo*. "L'Energia Elettrica", XXXIII, 12.