

La geodinamica al servizio delle grandi dighe

P. CALOI

Ricevuto il 10 Giugno 1964

RIASSUNTO. — Si richiama, ancora una volta, l'attenzione sull'interesse (a volte fondamentale, anche ai fini pratici) della costante osservazione delle variazioni del campo elastico, nelle zone in cui un mezzo solido è sottoposto a continue variazioni di tensione, comunque determinate. L'azione di tormento, associata alle variazioni di tensione, si traduce in un decadimento del modulo elastico, testimoniato dal più o meno sensibile diminuire della velocità di propagazione delle onde elastiche. L'osservazione continua del campo elastico in una zona sismica, combinata con la contemporanea osservazione della variazione della verticale apparente, può costituire una valida via d'approccio nel problema della previsione dei terremoti: a questo proposito, nella zona di Tolmezzo, alcune scosse sismiche sono state *sorprese* nella loro fase di preparazione. Nell'ambito delle grandi dighe, simili indagini, sistematicamente perseguite, possono condurre — come di fatto hanno condotto — ad individuare una locale microsismicità, naturale o provocata, che può riuscire esiziale — nelle sue conseguenze — per l'incolumità delle popolazioni a valle dei grandi sbarramenti. I tragici eventi, verificatisi un po' dovunque negli ultimi anni, suggeriscono l'opportunità di una pronta estensione di simili osservazioni presso le maggiori dighe del mondo.

SUMMARY. — Once again we call the attention on the interest (sometimes fundamental also for practical purposes), of the constant observation on the variations of the elastic field, in the zones where a elastic solid is submitted to continuous variations of tension, differently determined.

The twisting action, associated with the variations of tension, into a decay of the elastic modulus, testified by a more or less sensitive slowing down of the propagation velocity of the elastic waves, is translated.

The continuous observation of the elastic field in a seismic zone, joined with the contemporaneous observation of the variation of the apparent vertical, can be a valid help in approaching the problem of the earthquakes forecast; in the zone of Tolmezzo, for example, some seismic shocks in their preparation phase, have been surprised. In the big dams such researches,

systematically pursued, can lead — as actually —, to single out a local seismicity, natural or caused, which, with its consequences, can be fatal to the people living in the valleys below.

The recent tragic events, happened in many places, suggest to spread rapidly such researches in the biggest dams of the world.

1. — Più volte ormai, nella mia pluriennale esperienza sull'ambiente fisico ospitante una grande diga, ho sottolineato l'eccezionale interesse che riveste l'osservazione del campo elastico associato ai sistemi rocciosi ai quali la diga è ancorata, o, in senso più esteso, sopportanti il bacino idrico artificiale.

Già le prime esperienze in merito — prime in Italia e fuori — compiute dal 1949 al 1954 presso le dighe di Pieve di Cadore e del Lumiei (con particolare riguardo alla prima), riuscirono quanto mai significative. Su di esse ho riferito più volte, in relazioni destinate alla SADE e in pubblicazioni specifiche (¹).

Dapprima la roccia decade — ed è il decadimento più rapido e notevole — a motivo dello sbancamento, praticato con l'esplosione di cariche di esplosivo. A parità di altre condizioni, il decadimento assume entità più spiccate quanto maggiore è la carica esplosiva singolarmente usata. La causa di tale decadimento va soprattutto ricercata nel fenomeno di decompressione della roccia messa a nudo, sebbene non vada sottovalutata l'azione di minuta demolizione provocata in profondità dall'onda dirompente, legata all'esplosione.

Sono i vincoli elastici molecolari del mezzo che vengono alterati e rilassati, entro un raggio non facilmente valutabile, intorno al punto di scoppio, ben oltre la nuova superficie esterna limitante la roccia, solo in apparenza rimasta sana. Oltre che presso le dighe sopra citate, testimonianze decisive, in questo senso, sono state raccolte nella stretta del Vajont, e in Val Zoldana, presso Pontesei (sul fiume Maè, affluente del Piave) con numerosi interventi e controlli, ripetutamente eseguiti attraverso gli anni dal 1953 al 1961. In una delle mie più recenti pubblicazioni, è mostrato come tale fenomeno possa essere riprodotto anche con esperienze di laboratorio.

Ma le cause di decadimento del modulo elastico della roccia d'imposta di una diga, non si limitano a quelle legate alle esplosioni. Una volta costruito lo sbarramento, insorgono immediatamente altre cause di perturbazione; l'invaso e le sue variazioni accidentali o periodiche, l'insolazione (onda diurna) e le sue variazioni lungo l'anno solare, le variazioni della temperatura dell'aria, stagionali, periodiche e non periodiche, lente

o rapide, ecc. Anche su questi fenomeni ho potuto raccogliere una casistica quanto mai varia e probante. Nel loro rilevamento, oltre al vibrometro, si sono dimostrate particolarmente preziose le stazioni fotoclinografiche e le stazioni sismiche, operanti presso alcune grandi dighe di sbarramento (Pieve di Cadore, Tolmezzo, Vajont ...).

2. — Con riferimento alla roccia d'imposta di una grande diga e al letto roccioso del relativo bacino idrico, può avere influenza decisiva — ai fini del logoramento, e successiva demolizione dell'edificio roccioso — la *microsisimicita*, naturale o provocata. Di solito, ci si limita, prima della costruzione di una grande diga, a raccogliere notizie sulla sismicita della zona prescelta. Si dimentica però che non è tanto la sismicita normale, traducentesi in scosse telluriche più o meno intense, che può preoccupare; le dighe, come vengono costruite oggi, possono reggere vittoriosamente all'urto dei più violenti terremoti.

L'insidia è piuttosto legata all'eventuale esistenza di una locale attività sismica minutissima, che sfugge alle stazioni sismiche normali, anche se strumentalmente ben dotate. Ad essa si deve la lenta, graduale, impercettibile demolizione dell'edificio roccioso, nel suo tessuto elastico. Solo una stazione sismica *locale* può rivelare una così fatta microsisimicita. Ed anche in questo campo, l'esperienza da me compiuta, non poteva essere più decisiva.

La microsisimicita può essere *provocata*. Questo è il caso verificatosi nel bacino artificiale di Pieve di Cadore. L'alterazione delle caratteristiche elastiche del mezzo, comunque provocata da una, da alcune o da tutte le cause, di cui si è fatto cenno al n. 1, non può non tradursi in una o più serie di micrososse. Solo una stazione sismica funzionante presso la diga, può testimoniare dell'esistenza di questa localissima inquietudine.

È ciò che è appunto avvenuto a Pieve di Cadore, dove fino dal 1951, la stazione sismica ivi sistemata, (Fig. 1-1a) ha dato chiarissima testimonianza di una microsisimicita, nei suoi aspetti più caratteristici, inequivocabilmente legata all'esistenza della diga e dei suoi movimenti. La Fig. 2 riproduce uno dei tanti periodi, durante i quali la crisi microsisimica si è manifestata.

La microsisimicita può anche essere naturale, preesistente alla costruzione della diga, o può essere naturalmente potenziale, riattivata però dall'intervento umano. La più drammatica, tragica esperienza al riguardo è stata fornita dalla stazione sismica funzionante presso la cabina comandi della diga « Carlo Semenza » del Vajont. I sismografi, fino dal loro primo funzionamento, sorpresero la microsisimicita in atto, in sponda sinistra, a

monte della diga. La Fig. 3 dà l'ultima fase di detta microsismicità, legata al contrasto tettonico che doveva demolire, in profondità, la roccia sostenente le pendici del monte Toc.

Ritengo superfluo insistere sul fondamentale interesse, legato alla microsismicità.

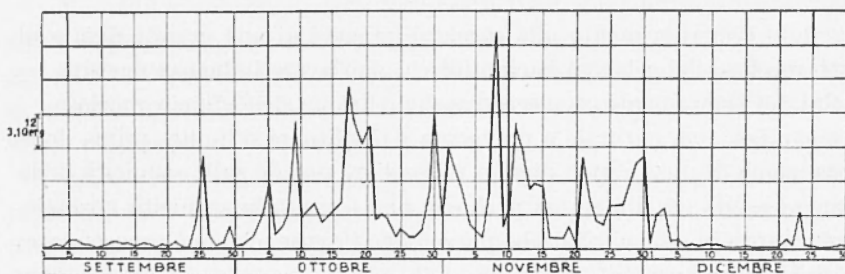


Fig. 2 - Alle notevoli flessioni verso valle osservate nell'autunno 1951 presso la diga di Pieve di Cadore, fece riscontro un'accentuata attività microsismica, di cui il diagramma fornisce la media energia liberata. (Nel solo 1951, presso la diga di Pieve di Cadore, furono registrate oltre 30.000 - trentamila - microscosse!)

Per quanto concerne la grande diga di Pieve di Cadore, una lieve ripresa di questo fenomeno si è avuta nella seconda metà del mese di Ottobre 1963. Essa è culminata con una scossa, nettamente avvertita dal personale della diga e nella vicina Sottocastello, avvenuta il 1° Novembre. L'epicentro è risultato a solo km 1,8 dalla cabina comandi; lo scotimento ha avuto la sua origine a km 1,2 di profondità e l'energia sviluppata è stata dell'ordine di 10^{14} erg (Fig. 3a, 3b, 3c).

Sempre con riferimento a questa diga, è interessante sottolineare le conseguenze, in campo elastico, del prolungato svasso del bacino ad esso associato, dopo l'evento del Vajont. Gradatamente, dal massimo invaso dell'Ottobre 1963, il lago si è andato svuotando e, verso la fine del Marzo 1964, si poteva ritenere praticamente vuoto. Tutta la zona interessata dal lago si è trovata quindi in fase di decompressione, con conseguente alterazione della « strained region », alterazione che si è tradotta in una serie di microscosse, avvenute nei pressi della diga dal 5 al 26 Marzo, ripetutesi nei mesi successivi e non ancora cessate. L'alterazione della risposta elastica del mezzo si è estesa però tutto intorno al bacino, dove la ridestata microsismicità è culminata in una serie di scosse, registrate durante il mese di Maggio 1964, e delle quali la Fig. 7 dà alcuni epicentri (Figg. 4a, 4b, 4c: 5a, 5b, 5c: 6a, 6b, 6c).

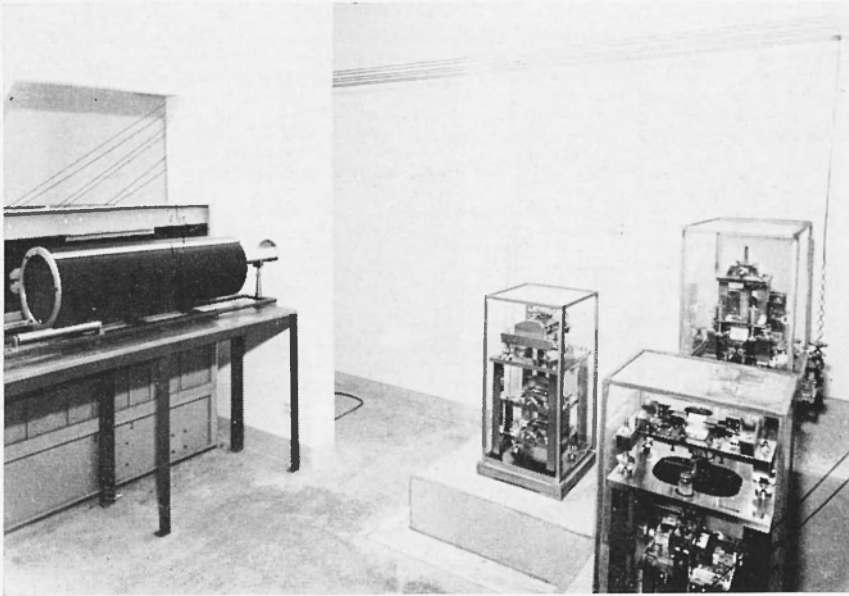


Fig. 1 — Stazione sismica di Pieve di Cadore, funzionante presso la locale grande diga.

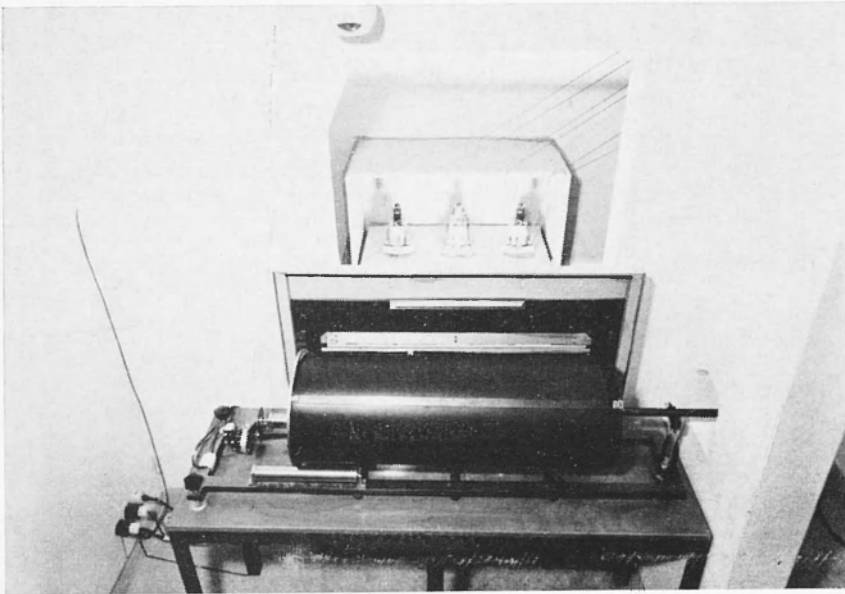


Fig. 1a — Stazione sismica di Pieve di Cadore. Particolare: registratore e galvanometri.

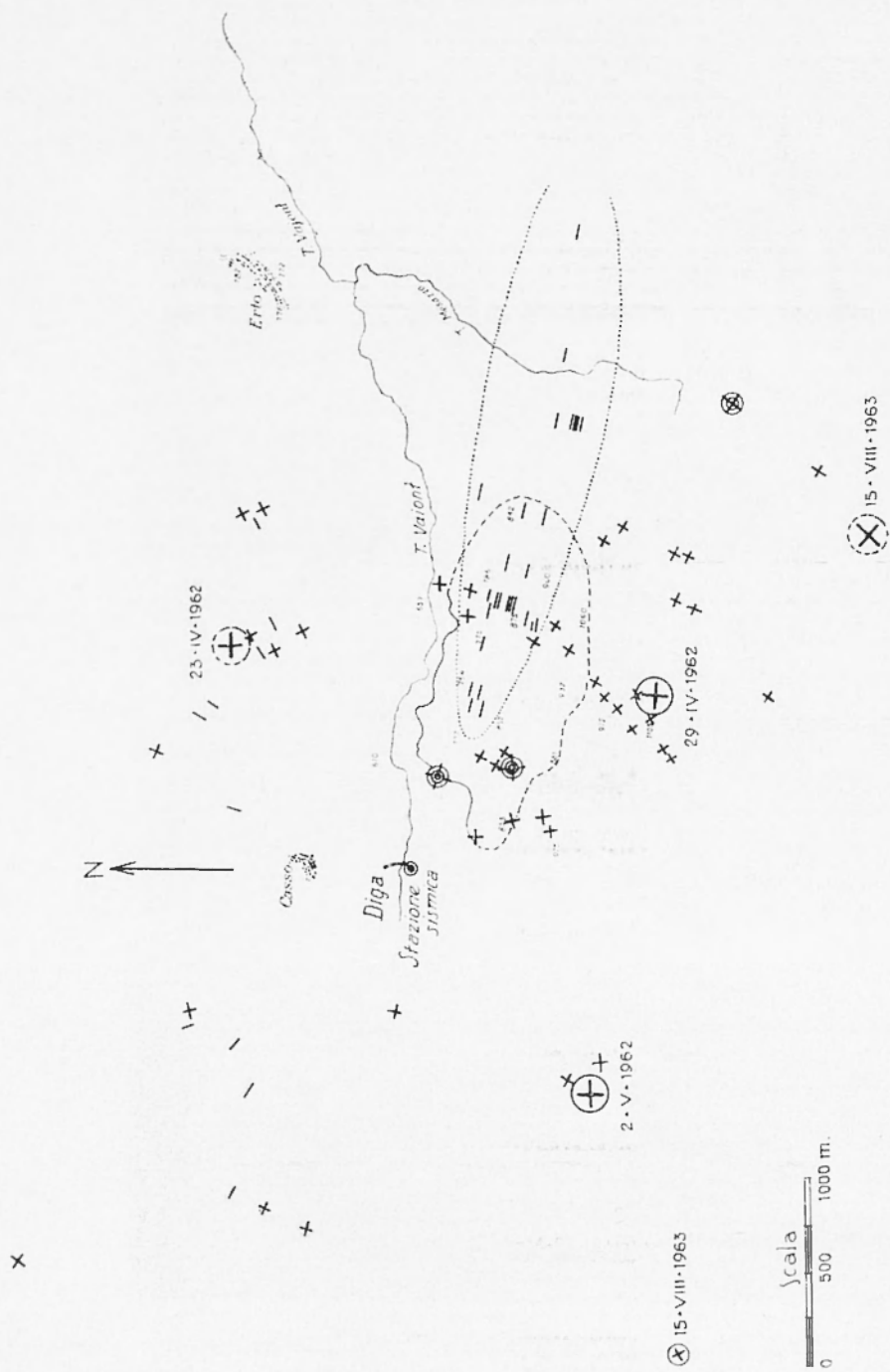


Fig. 3 — Ultima fase del contrasto tettonico che ha condotto al disastro del Vajont (la linea, sulla sinistra del torrente Vajont, in parte continua e in parte a tratto, delimita la zona franosa, quale appariva in superficie; i segni —, entro la linea punteggiata, corrispondono a micrososse per cedimento; i segni +, a Sud e ad Ovest della punteggiata, indicano gli epicentri di micrososse per sollevamento, probabile residuo di orogenesi; i cerchietti designano ulteriori scosse dalla stessa origine).

STAZIONE SISMICA DI PIEVE DI CADORE

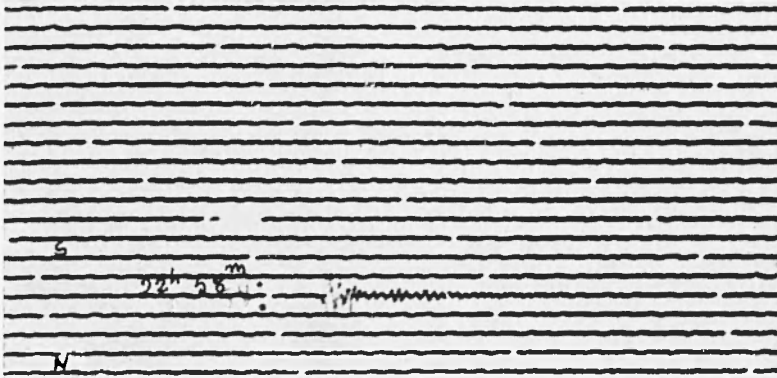


Fig. 3a - Microscossa prossima alla diga di Pieve di Cadore. 1-2-XI-1963
Componente N-S.

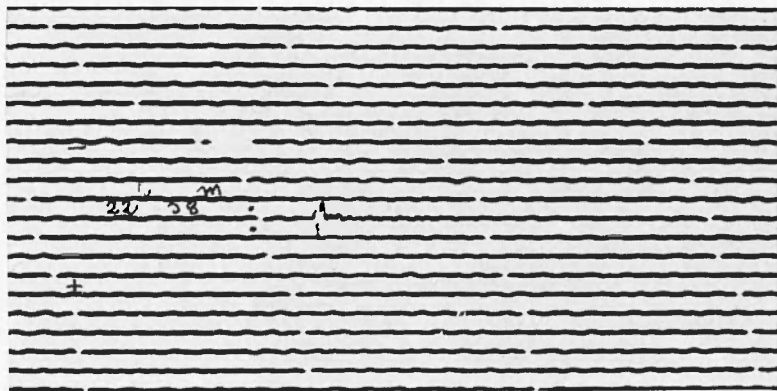


Fig. 3b - Componente verticale.

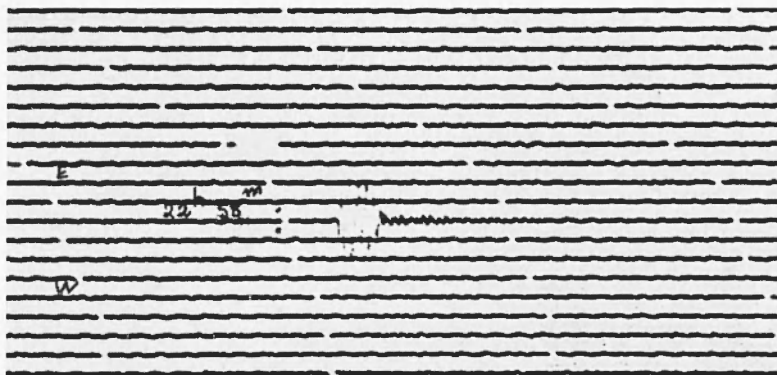


Fig. 3c - Componente E-W.

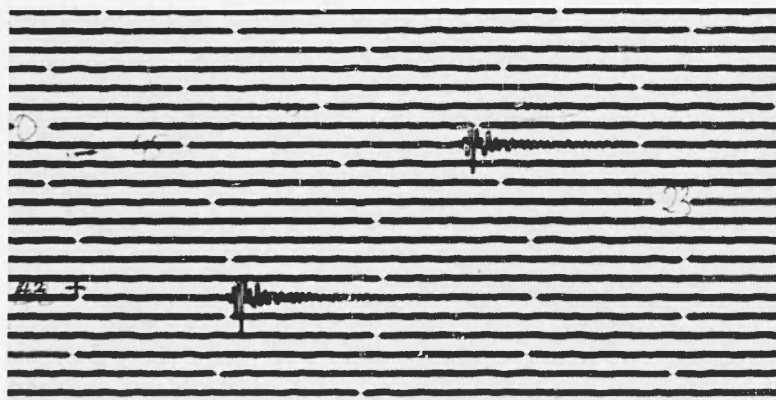


Fig. 4a - Pieve di Cadore. Microscosse del 10-V-1964, 21^h 42^m e 23^h 45^m.

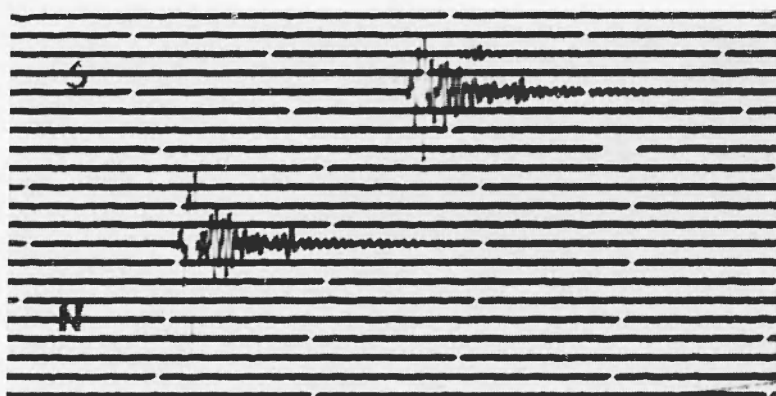


Fig. 4b - Componente N-S.

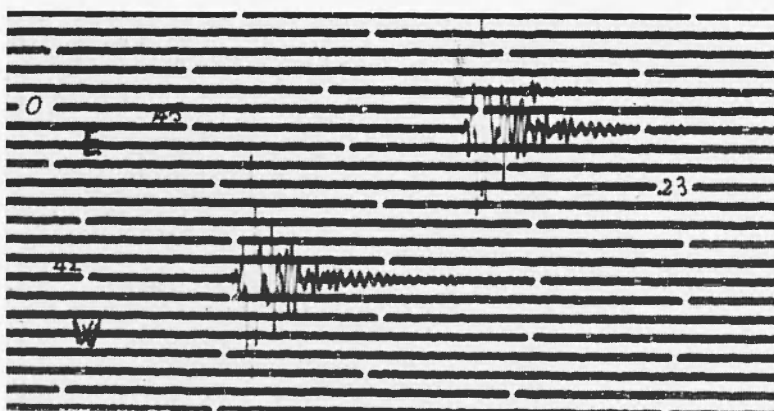


Fig. 4c - Componente E-W.

STAZIONE SISMICA DI PIEVE DI CADORE

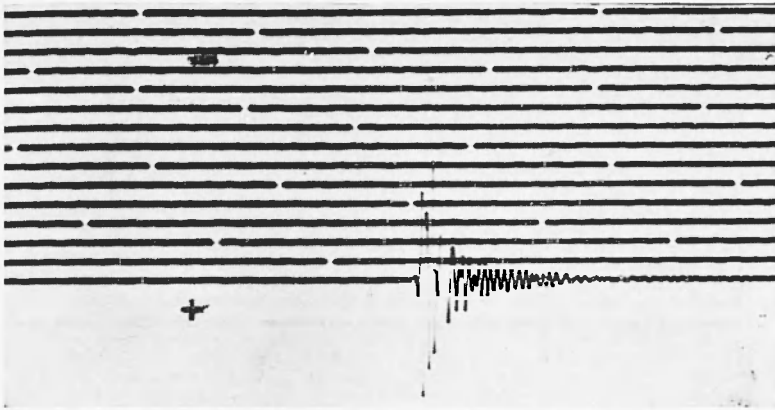


Fig. 5a - Microscossa del 18 Maggio 1964 (zona Calalzo) 11^h 38^m.
Componente verticale ($\alpha = 330^\circ$; $\Delta h = 1,2 - 2 \text{ km } \pm$).

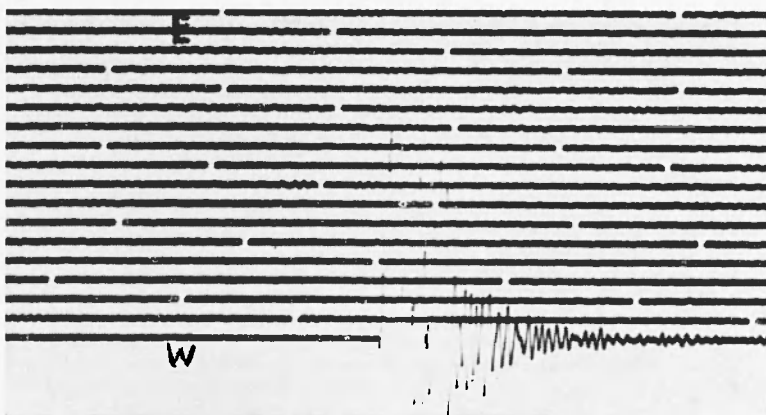


Fig. 5b - Componente E-W.

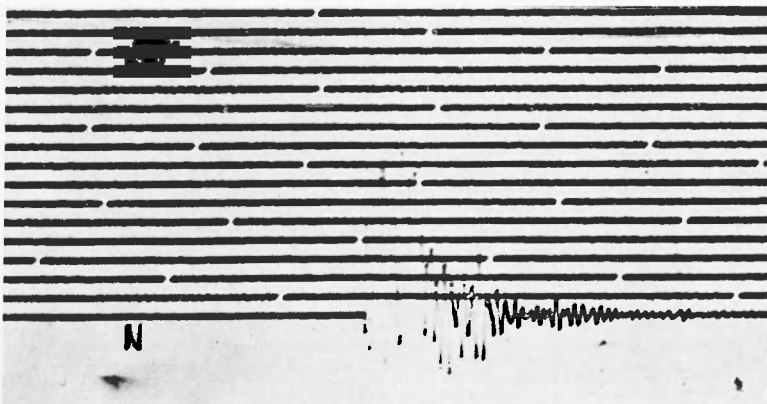


Fig. 5c - Componente N-S.

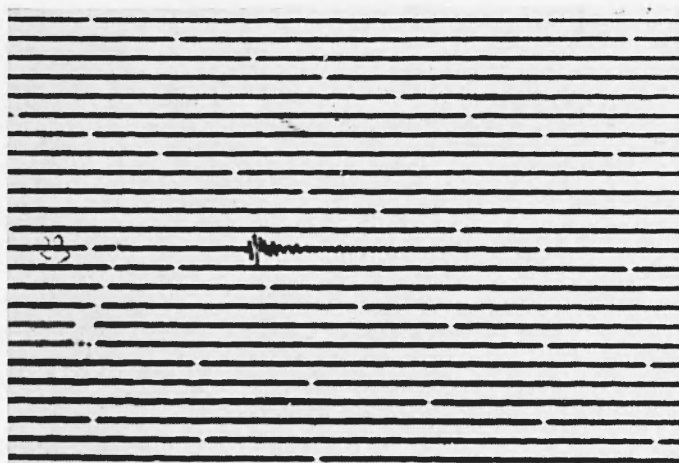


Fig. 6a - Altra microscossa del 18-v-1964 (zona Calalzo),
19^h 23^m ($\alpha = 330^\circ$; $\Delta_h = 2$ km).

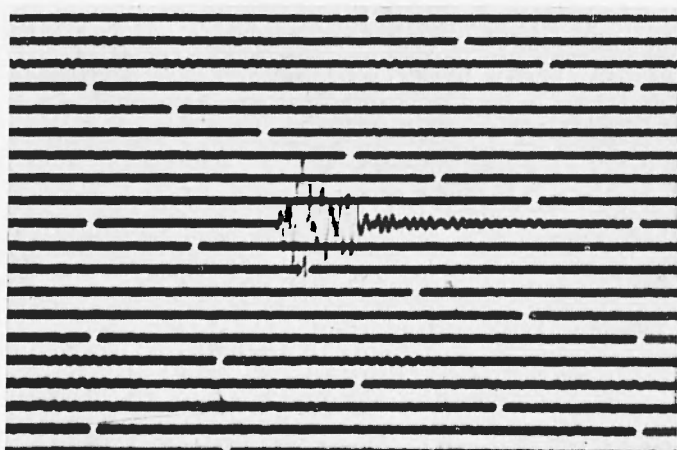


Fig. 6b - Componente E-W.

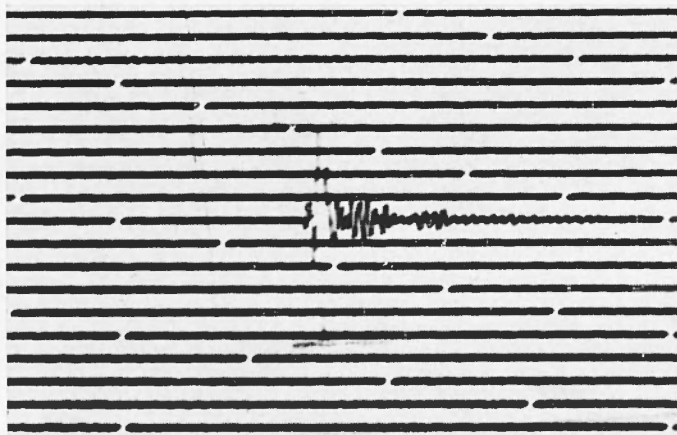


Fig. 6c - Componente N-S.

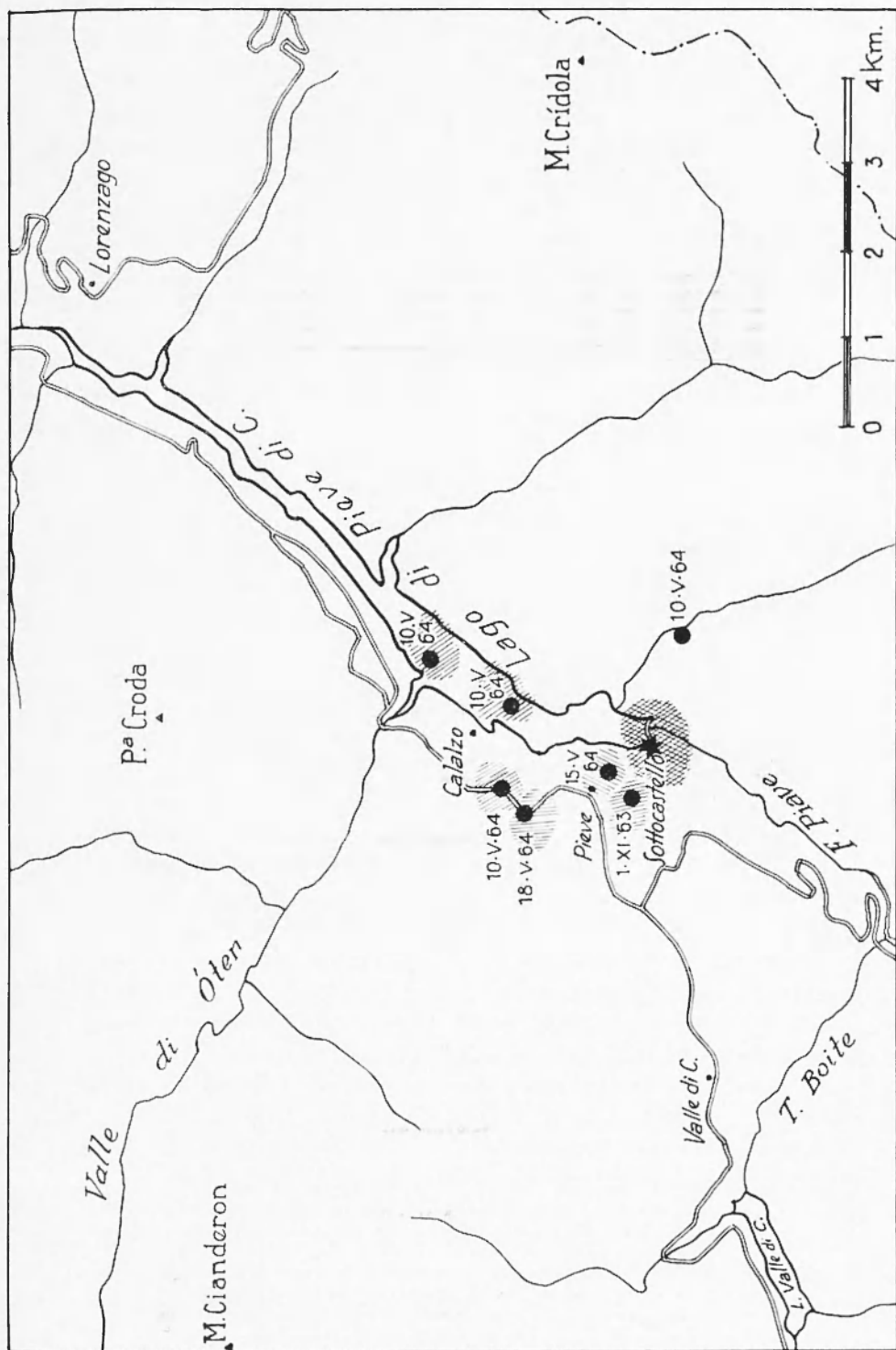


Fig. 7 — Esempio di microsismicità provocata. Alcuni epicentri delle scosse (avvertite dalla popolazione) provocate dallo svasso (Dicembre 1963-Marzo 1964) e successivo reinvaso del lago artificiale di Pieve di Cadore (dal 12 al 18 Maggio il livello dell'acqua è passato da quota 618 a quota 642, salendo rapidamente dal 18 al 28 Maggio fino a 660, per arrivare a 680 verso la fine di Luglio). Dalla zona a doppio tratteggio (intorno alla diga) provennero centinaia di piccole scosse strumentali durante lo svasso e il successivo reinvaso (durante il quale, da Maggio ad Agosto si sono contate 65 scosse). L'asterisco di fianco alla diga indica la posizione della s. azione sismica.

3. — L'avvento di nuove tecniche d'indagine, legata a indirizzi scientifici più o meno diversi da quelli in precedenza seguiti, trova sempre incomprensioni ed opposizioni da parte dei sostenitori dei metodi tradizionali. L'incomprensione, la diffidenza, l'indifferenza e la sottovalutazione non potevano certo risparmiare anche i metodi d'indagine da me introdotti nello studio dell'ambiente fisico, destinato ad ospitare una diga, e nel controllo e sorveglianza dello sbarramento, una volta costruito. Ciò è umano.

A mio avviso, però, alla luce — spesso drammatica — dei risultati ottenuti e dei fatti accaduti, oggi questi metodi non possono più essere ignorati, a meno di rendersi responsabili di colpevole trascuratezza.

L'obiezione maggiore, che apertamente o tacitamente viene fatta da molti, è che la roccia non può degradare, almeno in un breve volger d'anni. Ed è qui l'errore. Bisogna convincersi che il campo delle tensioni elastiche viene più o meno profondamente modificato dall'intervento dell'uomo, dapprima in modo violento come conseguenza dello sbancamento, quindi più lentamente ma in modo continuo, dopo la costruzione di una grande diga.

C'è ancora chi nega la possibilità che la roccia d'imposta di una diga (la culla del manufatto) possa flettere nelle sue caratteristiche elastiche (e quindi nella sua compattezza e resistenza). Si dimentica che i continui movimenti cui la diga viene sottoposta, periodici e non periodici, non possono non riflettersi in campo elastico. E non si deve credere che, tutt'al più, tali flessioni debbano essere limitate alla roccia a contatto immediato con la diga.

Esse possono estendersi — e di fatto si estendono — nel mezzo roccioso per decine e decine di metri, come è appunto provato dalle esperienze che sto conducendo nell'area della diga di Pieve di Cadore dal lontano 1949. In fondo, ciò non dovrebbe meravigliare. Per dare un esempio grossolano, che presenta qualche analogia col fenomeno in questione, si pensi a ciò che si verifica quando si cammina su fine sabbia umida: tutto attorno al piede, la sabbia trascolora in un vasto alone, testimonianza del variato campo delle tensioni in un'area molto più estesa di quella in cui la pressione si esercita. Vedansi, per citare un altro esempio, le conseguenze della pressione esercitata in una piccola zona di un pezzo di plexiglas, quale risulta dalla Fig. 8 (riprodotta in bianco e nero, dall'originale variamente colorato): anche qui, l'area in cui si verifica la variazione del campo elastico è enormemente più estesa di quella in cui la pressione effettivamente si manifesta.

Le enormi variazioni di pressione che la diga, nei suoi continui svariati movimenti, esercita sulla roccia alla quale è ancorata, si propagano

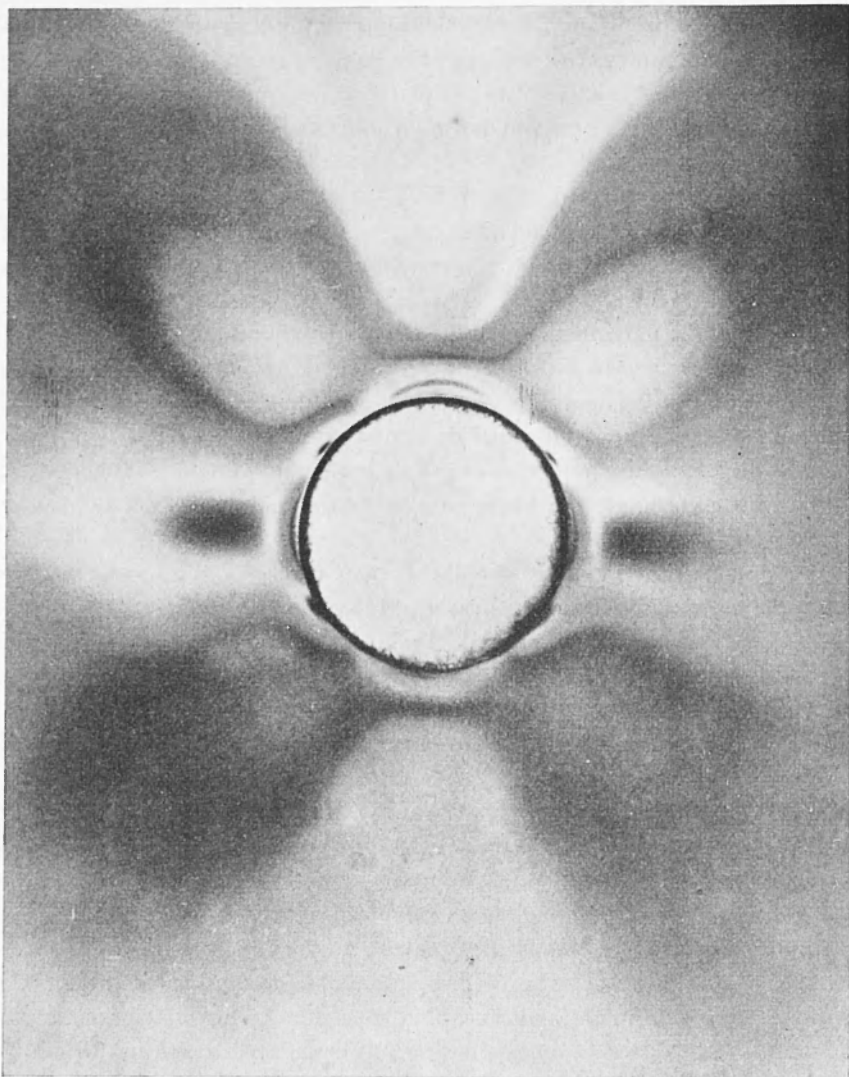


Fig. 8 - Plexiglas fortemente pressato nella zona circolare centrale.

certamente in una vasta zona tutt'intorno alla zona d'imposta, dove il campo elastico sarà pertanto continuamente variato. Attesa la natura discontinua del mezzo, questo incessante lavoro — che si traduce,

sostanzialmente, in un tormento senza soste — non può non determinare un lentissimo, ma incessante logoramento, conseguente a formazione di minutissime lesioni, con progressivo allentamento dei legami elastici.

Che le cose stiano in questi termini è stato, del resto, chiaramente dimostrato dalle interpretazioni geofisiche della prima serie di otto misure di triangolazioni, eseguite dalla SADE presso la diga di Pieve di Cadore, dal 1949 al 1953. È risultato, da queste analisi, che la *dilatazione*, la *distorsione*, la *rotazione*, la *massima distorsione*, e le *deformazioni principali* (elementi fondamentali della deformazione elastica) subiscono, da una triangolazione all'altra, variazioni talvolta notevoli, con inversione di segno: ulteriore testimonianza delle variazioni a cui è incessantemente soggetto il campo elastico in una estesa zona nei pressi della diga. I risultati di questa impegnativa indagine sono stati resi noti, oltre che alla SADE, anche nel convegno sulle grandi dighe, tenuto a New York nel 1958 (2).

Dopo quanto si è detto, apparirà del tutto normale che una microsismicità provocata possa insorgere intorno ad una grande diga o che una latente microsismicità naturale vi possa essere ridestata. È appunto quanto si è verificato a Pieve di Cadore e al Vajont, come venne largamente rivelato dalle locali stazioni sismiche.

4. — A conclusione di queste brevi note riassuntive, posso finalmente affermare di non essere ormai più solo — almeno in campo internazionale — a pensare nel modo detto. Altri, in diversi Paesi, stanno orientandosi verso queste nuove vedute. Citerò soltanto i Giapponesi, notoriamente all'avanguardia in questo ordine di studi. È noto che il modulo d'elasticità di una roccia, determinato con i metodi dinamici, presuppone la conoscenza della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali e trasversali nella roccia stessa. Il decadimento del modulo elastico presuppone pertanto una più o meno sensibile diminuzione di detta velocità nel mezzo solido considerato. È quanto sto osservando nelle indagini sulle rocce d'imposta delle grandi dighe, a partire dal 1949.

Ebbene, di recente, in Giappone furono osservati mutamenti nella velocità delle onde sismiche, prima di grossi terremoti; detti mutamenti indicavano modificazioni nelle proprietà elastiche della crosta terrestre, nell'area dove il terremoto stava preparandosi. Ciò ha indotto gli esperti giapponesi ad introdurre, nel loro vasto programma di indagini tese alla previsione dei terremoti (3), anche periodiche determinazioni di velocità delle onde sismiche, provocate mediante esplosioni, in zone di elevata

sismicità opportunamente prescelte (periodicità che, inizialmente, è prevista di un solo mese!).

La verità, quindi, sta facendosi strada.

5. — Un altro strumento di eccezionale utilità, prima, durante e dopo la costruzione di una grande diga, si è rivelato il fotoclinografo. Mi limiterò a dire di esso poche parole, anche se il suo uso debba ormai ritenersi indispensabile, ai fini della determinazione dei fondamentali lineamenti

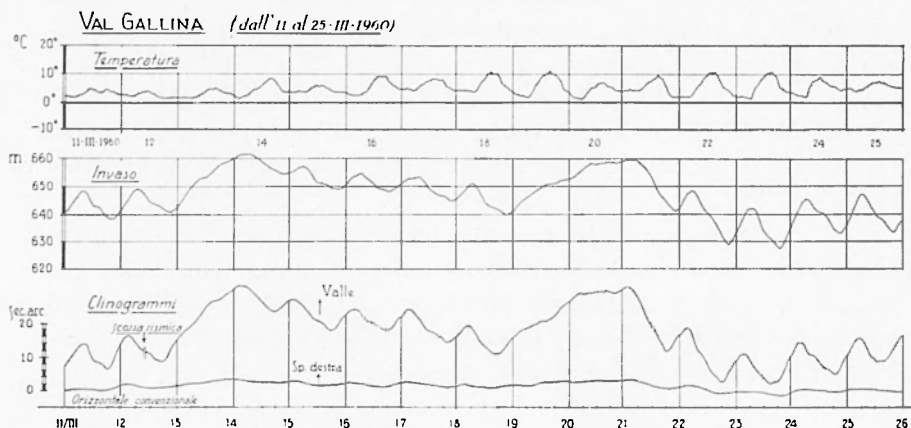


Fig. 9 — Alla base dei conchi, la diga flette quasi esclusivamente sotto l'azione dell'invaso, come nell'esempio qui riportato, in cui — come di consuetudine — la componente valle monte segue fedelmente le variazioni di livello dell'acqua nel bacino idrico.

dinamici di una località destinata ad ospitare una diga o — una volta costruita quest'ultima — a controllarne il comportamento nel tempo. Come prontezza, sensibilità, fedeltà e continuità di risposte nessun apparecchio può rivaleggiare con il fotoclinografo, specie nella versione da me introdotta, da oltre 15 anni, nello studio — in senso lato — dei grandi sbarramenti. Su di esso, e sui risultati del suo uso, ho più volte riferito; e qui non intendo ripetermi. Per quanto riguarda la sensibilità e la fedeltà alle variazioni di pressione sopra uno sbarramento, legate alle variazioni dell'invaso (l'acqua del bacino artificiale creato dalla costruzione della diga), basterà l'esempio fornito dalla Fig. 9.

Non meno interessanti risultano le registrazioni connesse con l'onda diurna (provocata dall'insolazione diurna e dalla successiva scomparsa del sole); con le variazioni di temperatura dell'aria, specie quelle stagionali, ecc.

OSSERVAZIONI AI CLINOGRAFI

DIGA Pieve di Cadore MESE MARZO 1964

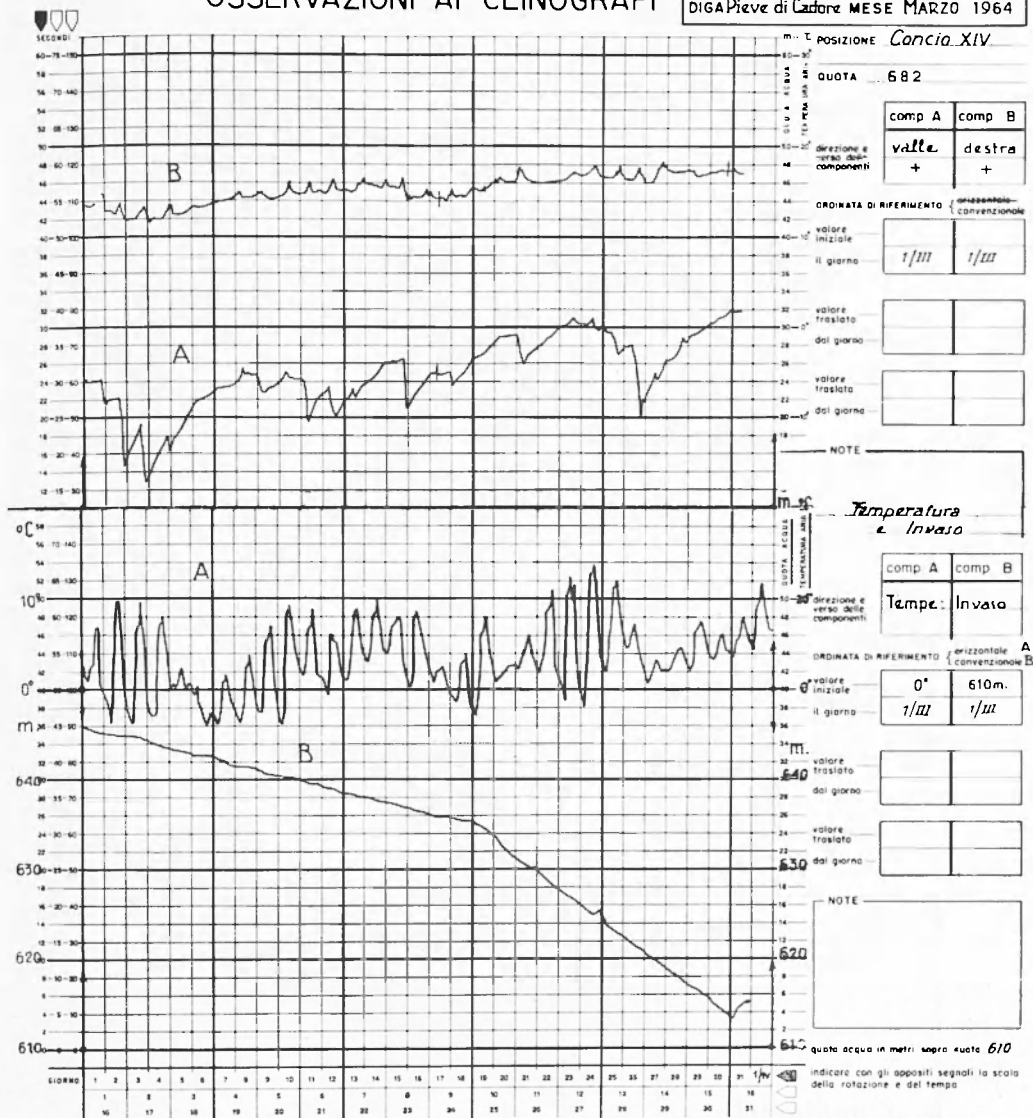


Fig. 10.

A questo riguardo, va ricordato che l'ondata diurna è praticamente legata all'esistenza del lago a monte della diga e nasce appunto dal contrasto fra la variazione diurna della temperatura della parete a valle (sopra tutto per effetto dell'insolazione) e la pressochè costante tempera-

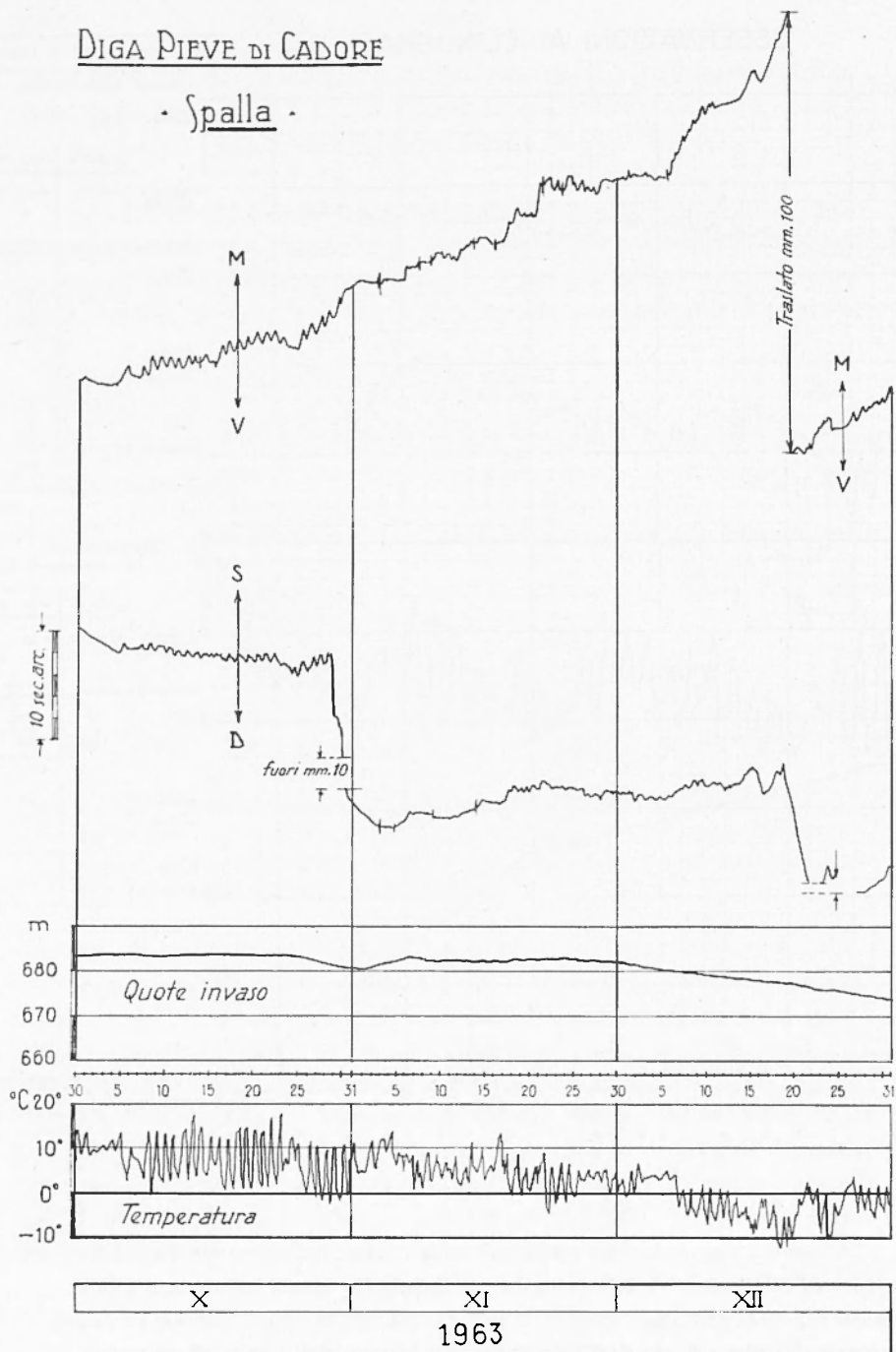


Fig. 11 - Postazione clinografica in roccia, sponda destra, a contatto con la diga. All'improvviso raffreddamento dell'aria, verificatosi verso la fine di Ottobre - e ripetutosi verso la meta di Dicembre - (1963), fa riscontro un micro-cedimento della roccia, rivelato dalla componente clinografica tangenziale alla valle (SD), lungo la quale massima si manifesta la pressione della diga, nella sua flessione verso valle.

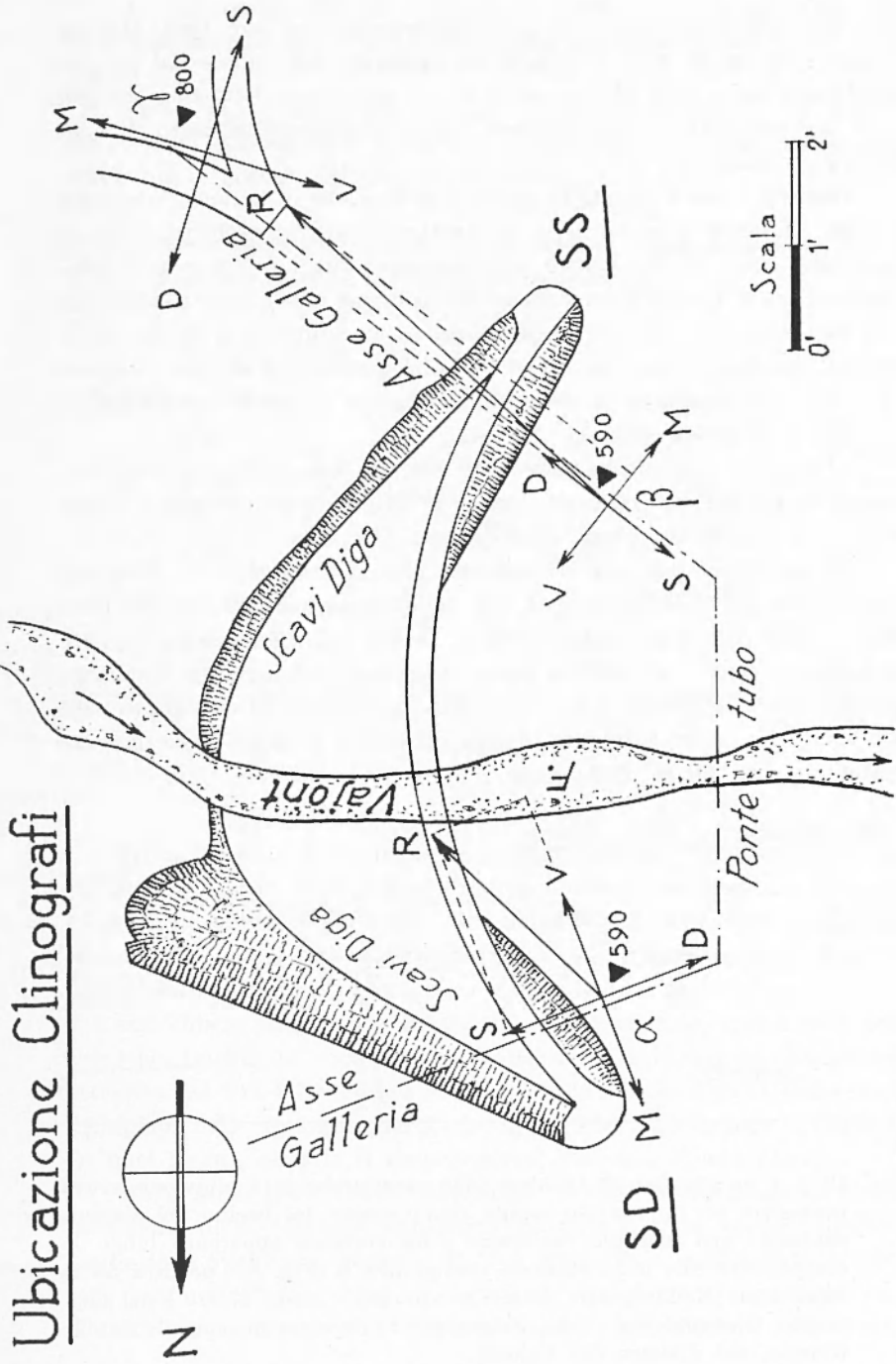


Fig. 12.

tura della parete a monte, sommersa nelle acque del lago. Ogni diga ha esempi cospicui di onda diurna, la cui ampiezza diminuisce dal coronamento alla base della diga e varia altresì al variare delle stagioni (nei mesi invernali, di fatti, si attenua, fino a scomparire). Questo, in condizioni normali.

Quando, come è avvenuto per la diga di Pieve di Cadore (v. quanto è stato osservato al n. 2), tutta la struttura resta all'asciutto, allora il comportamento del manufatto alle variazioni termiche viene profondamente alterato. L'onda diurna pressoché scompare e, per quanto si riferisce alle variazioni più lente di temperatura, ad un aumento di questa corrisponde una flessione a valle, e ad una diminuzione un ritorno a monte (Fig. 10): giust'appunto il contrario di quanto si verifica in condizioni normali (con bacino pieno).

L'uso del clinografo ha provato (¹) che, con il passar degli anni, il calcestruzzo subisce un graduale, notevole irrigidimento, mentre la roccia d'imposta decade in campo elastico, ecc. (Fig. 11).

Ma anche in posizioni discoste da uno sbarramento, il clinografo può fornire preziose indicazioni sul comportamento del sistema roccioso, cui la diga è ancorata (v. per es. la Fig. 12). Come dalla Fig. 13, la flessione verso valle subita dalla componente clinografica, oscillante secondo l'asse della valle, è stata ottenuta in occasione di una improvvisa alluvione che ha bruscamente invasato il bacino a monte della diga del Vajont a circa 60 m. dalla diga.

Diga del Vajont - spalla sinistra

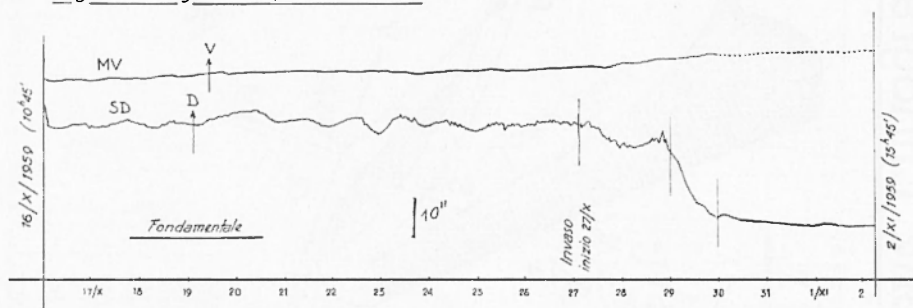


Fig. 13 - A partire dal 27 Ottobre 1959, una prolungata alluvione aveva provocato un improvviso rapido riempimento del bacino del Vajont, causando una sensibile variazione della verticale apparente lungo la componente SD, nella stazione clinografica β (Fig. 12) posta a 55 m dalla diga. [Nell'originale, la scritta «invaso - inizio 27/X» è del compianto Giovanni De Vido, tragicamente scomparso, con il fratello Giorgio, nel disastro del Vajont].

Il che significa che il complesso di roccia di ancoraggio della diga ebbe a subire una flessione, ancora sensibile, per uno spessore di ca. 60 metri.

Tutto ciò a riprova di quanto è stato detto nel n. 4, circa la notevole estensione delle variazioni delle tensioni elastiche, destinate nella roccia dalle flessioni di uno sbarramento.

6. - Del resto l'uso del fotoclinografo su larga scala può portare a ben altre acquisizioni in campo scientifico.

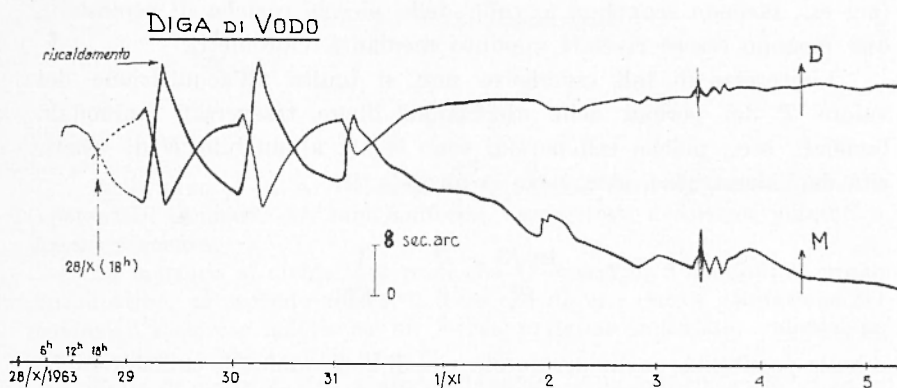


Fig. 14.

L'osservazione continua delle variazioni della verticale apparente, sia pure a piccolo ingrandimento, può servire a sorprendere fenomeni geofisici, di carattere più vasto, comunque legati all'attività della crosta terrestre. Ciò è stato già messo in evidenza in particolari pubblicazioni (4). Qui mi limito a riferire un semplice esempio dell'utilità di tali osservazioni, che andrebbero largamente diffuse sul suolo nazionale, specie nelle zone sismiche. La Fig. 14 riproduce un tratto della registrazione clinografica, ottenuta dal 3 al 4 Novembre 1963, presso la piccola diga di Vodo (sotto l'Antelao, nelle Dolomiti del Cadore, fra Pieve di Cadore e Cortina). In quei giorni, essendo il cielo coperto, mancava l'onda diurna.

Nella notte fra il 3 e il 4 Novembre, si ebbe la registrazione di una variazione della verticale apparente in tutta la zona, corrispondente a oscillazioni aventi un periodo di 2^h,5 circa. Tale oscillazione è risultata più netta sulla comp. valle monte (ampiezza 1 sec. d'arco ca.). È interessante notare che, durante questo «sericchiolo» della crosta,

è stato registrato anche un lievissimo terremoto (vedasi vibrazione nel corso dell'oscillazione accennata). Tutto ciò, naturalmente, è passato inosservato alla popolazione.

7. - Con particolare riferimento alle dighe, l'uso del vibrometro può risultare di grande interesse non solo per la determinazione diretta delle caratteristiche elastiche del calcestruzzo, e della loro variazione nel tempo, ma anche per il rilevamento della risposta elastica dei conci delle dighe stesse, come elementi vibranti. Ogni concio ha periodi propri di oscillazione libera, come i rebbi di un diapason. Opportunamente eccitati (per es., facendo scoppiare a valle delle piccole cariche di esplosivo), essi possono essere rivelati appunto mediante vibrometri.

L'interesse di tali esperienze non si limita all'acquisizione del valore T dei periodi delle oscillazioni libere trasversali uninodali, binodali, ecc.; poiché tali periodi sono legati al modulo E di elasticità del calcestruzzo, attraverso la formula (4)

$$T = \frac{4\pi\sqrt{3}}{\vartheta^2} \cdot \frac{l^2}{b} \cdot \frac{1}{\sqrt{E/\rho}},$$

si ha la possibilità, anche per questa via, di determinare le caratteristiche elastiche del mezzo sollecitato. Ciò permette di seguire, nel tempo, l'eventuale mutare di tali caratteristiche, che sarà rivelato dal mutare dei suddetti periodi di oscillazione libera dei conci.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CALOI P., *Aspetti della dinamica di rocce, calcestruzzo ed acque*. « Annali di Geofisica », XV, 2-3, 1962. (Contiene, fra l'altro, un'ampia bibliografia sui lavori da me pubblicati sull'argomento, a partire dal 1950).
- (2) CALOI P., SPADEA M. C., *Geophysical Interpretations of the first Series of Triangulations carried out at the Pieve di Cadore Dam*. VI Congress des Grands Barrages, New York, 1958.
- (3) CHUJI TSUBOI, KIYOO WADATI, TAKAHIRO HAGIWARA, *Prediction of Earthquakes* (Progress to Date and Plans for Further Development). Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 1962.
- (4) CALOI P., *La geofisica e le grandi dighe*. « L'Energia Elettrica », XXXIX, 1, 1962.