

Comportamento di una grande diga sotto il gelo spinto

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

Ricevuto il 25 Maggio 1972

RIASSUNTO. — In sintesi, il giuoco delle spinte, a cui è soggetta la diga di Pieve di Cadore durante l'anno, a parità di altre condizioni, può essenzialmente essere diviso in tre periodi.

1. — Verso la fine di Giugno, la temperatura dell'aria supera, in media, quella dell'acqua nel bacino a monte della diga: questa flette verso monte, con curvatura crescente dalla base al coronamento.

2. — Verso la fine di Ottobre, la situazione termica si inverte: la media temperatura dell'aria diviene inferiore alla media temperatura dell'acqua: la diga comincia a flettere verso valle.

3. — Quando la temperatura dell'aria è nettamente sotto lo zero, il giuoco delle spinte si fa più complesso: il sistema roccioso a valle della diga (imbevuto d'acqua), gelando si gonfia e spinge la base della diga verso monte; in quota, continua invece la spinta verso valle.

È in questa fase che, vinta la fermezza del mezzo, il contrasto fra roccia e manufatto può sfociare in minutissime fratture, rivelate — sotto forma di micrososse (energia $\sim 10^{10}$ - 10^{11} e g) — dalla stazione sismica, funzionante a quota 660 m del concio centrale della diga.

1. — È noto che, al di sopra di 0 °C, il comportamento di una diga sotto l'azione delle variazioni di temperatura, si può sintetizzare in due principali movimenti: piegamento verso monte, per temperatura in aumento, flessione verso valle per temperatura in diminuzione (1). Questo, naturalmente, a prescindere dalle variazioni legate all'invaso.

(*) Istituto Nazionale di Geofisica, Roma.

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

All'intorno dello zero e sotto lo zero, il comportamento di una diga si fa più complesso.

A monte dello sbarramento, il lago copre la diga fino ad una certa quota. Quando la temperatura scende sotto lo zero, lo strato d'acqua superficiale gela, per uno spessore più o meno grande, a seconda del salto termico negativo. Al di sotto dello strato gelato, l'acqua conserva una temperatura superiore a 0 °C. A valle, la situazione è quella legata alla temperatura esterna, cioè più o meno nettamente sotto lo zero. In queste condizioni, la parte di diga coperta dall'acqua, viene a trovarsi a temperatura superiore di quella a cui si trova la diga a valle: di qui, almeno inizialmente, un'accentuazione della spinta del manufatto verso valle.

Ma se la temperatura dell'aria persiste a lungo, e nettamente, sotto lo zero, intervengono fenomeni nuovi, legati all'anomalo comportamento del suolo ghiacciato. Il sistema roccioso su cui poggia la diga è ovviamente imbevuto d'acqua, fino ad una certa profondità. Quando la temperatura si conserva sensibilmente sotto lo zero per parecchi giorni, il gelo penetra, più o meno profondamente, nel sottosuolo a valle della diga. Gelando, la componente liquida provoca un rigonfiamento, tanto più sensibile, quanto più a fondo penetra il gelo. Ai margini del piazzale, a contatto con la diga, si manifesta pertanto una spinta verso lo sbarramento che — superata la spinta opposta dalla parte della superficie sommersa —, finisce col tradursi in una flessione verso monte della base del manufatto. In quota, infatti, lo sbarramento subisce l'azione di rigonfiamento del mezzo roccioso d'imposta, solo nella ristretta zona, corrispondente allo spessore della diga; azione evidentemente inefficace ai fini di una spinta in direzione valle-monte; sicché, al di sopra del livello del piazzale esterno alla diga si fa via via prevalente la spinta verso valle, come è schematizzato nella fig. 1.

Che le cose procedano in questo modo, è testimoniato dalle registrazioni clinografiche, che si ottengono — nelle predette condizioni — a quote diverse del concio centrale della diga di Pieve di Cadore; e precisamente a quota piazzale (Pian delle Ere, quota 625m), a quota 660m e a quota coronamento (682m), fig. 2.

2. — Fin qui, la roccia e il calcestruzzo hanno risposto alle sollecitazioni contrastanti nei limiti della loro fermezza; ma quando il gelo è spinto nel tempo (e, quindi, nello spazio), cresce l'intensità della forza di spinta della roccia d'imposta, a valle della diga, verso lo sbar-

Fig. 1 - Rappresentazione schematica delle spinte cui è soggetta la diga di Pieve di Cadore, in tre diversi periodi dell'anno:

1. - Verso la fine di Giugno la temperatura dell'aria supera, in media, quella dell'acqua nel bacino a monte della diga: questa flette verso monte, con curvatura crescente dalla base al coronamento.

2. - Verso la fine di Ottobre, la situazione termica s'inverte (quella rappresentata in figura, rappresenta un momento di tale inversione specie per quanto riguarda il lago, dove è in atto un rimescolamento continuo dell'acque): la diga flette verso valle.

3. - Quando la temperatura dell'aria è nettamente sotto lo zero, il gioco delle spinte si fa più complesso: il sistema roccioso a valle della diga (imbevuto d'acqua) gelando si gonfia e spinge la base della diga verso monte; in quota continua, invece, la spinta verso valle. È in questa fase che, vinta la fermezza del mezzo, il contrasto fra roccia e diga può sfociare in minutissime fratture (10^{10} - 10^{11} erg), rivelate sotto forma di microscosse dalla stazione sismica funzionante a quota 660 del concio centrale della diga.

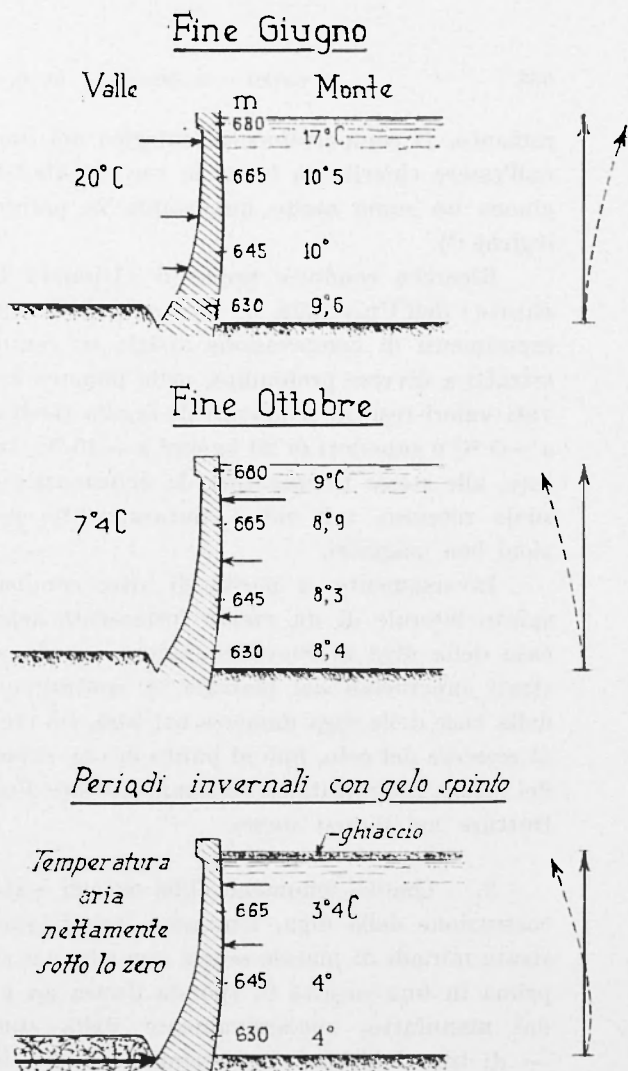


Fig. 1. - Conventional representation of the thrusts to which the dam of Pieve di Cadore is subjected yearly during three different periods:

1. - About the end of June, the air temperature, on the average, overcomes the water one in the watershed upstream the dam: the bending of the dam upstream increases from the bottom to the top.

2. - About the end of October, the thermal conditions change (the figure shows a moment of this inversion especially as to the Lake in the which a continuous blending of the water is happening): the dam bends downstream.

3 - When the air temperature is distinctly below 0 °C the action of the thrusts grows more complex: the rocky waterlogged system downstream of the dam, while is cooling, swells and pushes the dam bottom upstream; at the higher quote, on the contrary, the thrust downstream continues.

When the strenght limit of the medium is surpassed, a contrast between the rocky system and the concrete structure arises: this contrast can originate very small fractures revealed from seismic station installed into the central ashlar (n° XIV) at 660 metres height of the dam, under the form of microshocks which energy is of about 10^{10} - 10^{11} erg.

ramento. Il comportamento reologico del suolo gelato è ancora lungi dall'essere chiarito in tutte le sue caratteristiche. In ogni caso, esso giuoca un ruolo molto importante in parecchie strutture geomorfologiche (7).

Ricerche condotte presso il « Disaster Prevention Research Institute » dell'Università di Kyoto (6), hanno provato — operando con esperimenti di compressione assiale su campioni di suolo ghiacciato estratti a diverse profondità, nella pianura di Tokyo — che i più elevati valori resi da sedimenti di argilla risultarono fra 10 e 20 kg/cm² a —5 °C e superiori di 20 kg/cm² a —10 °C. In caso di sabbie sedimentate, alle stesse temperature, la deformazione risulta più grande. Per suolo roccioso, tali valori, naturalmente, possono assumere proporzioni ben maggiori.

Inversamente, a parità di altre condizioni, aumenta quindi la spinta laterale di un mezzo fortemente gelato. Se poi — come nel caso della diga di Pieve di Cadore — alla spinta verso monte degli strati superficiali del piazzale, si contrappone la spinta verso valle della base della diga immersa nel lago, ciò crea un contrasto crescente, al crescere del gelo, fino al punto in cui, superato il limite di fermezza del mezzo interessato, si verificano rotture d'equilibrio, con conseguenti fratture nel mezzo stesso.

3. — Questo fenomeno ebbe aspetti vistosi nei primi anni dalla costruzione della diga. Durante i primi inverni, infatti, furono registrate miriadi di piccole scosse sismiche dai sismografi sistemati, dapprima in una casetta in sponda destra ad una cinquantina di metri dal manufatto; successivamente dalla stessa terna di sismografi — di tipo Ishimoto — sistemati, sempre in sponda destra, presso la cabina comandi a ridosso della diga (2) (sismografi più tardi sostituiti da una più potente terna di apparecchi « Girlanda »). La maggior parte di tali scossette proveniva dalla base dello sbarramento (1,2).

Dopo alcuni anni, la stazione sismica funzionante negli scantinati della cabina comandi cessò di registrare micrososse provenienti dalla base dello sbarramento.

Caloi, che aveva seguito il fenomeno fin dal suo primo insorgere, era però convinto che esso non si fosse del tutto esaurito. Solo una stazione sismica, sistemata entro la diga, avrebbe potuto risolvere la questione. Ottenuto il permesso dall'« Enel », una stazione di sismografi « Girlanda », fu sistemata dal dott. Migani in un cunicolo a

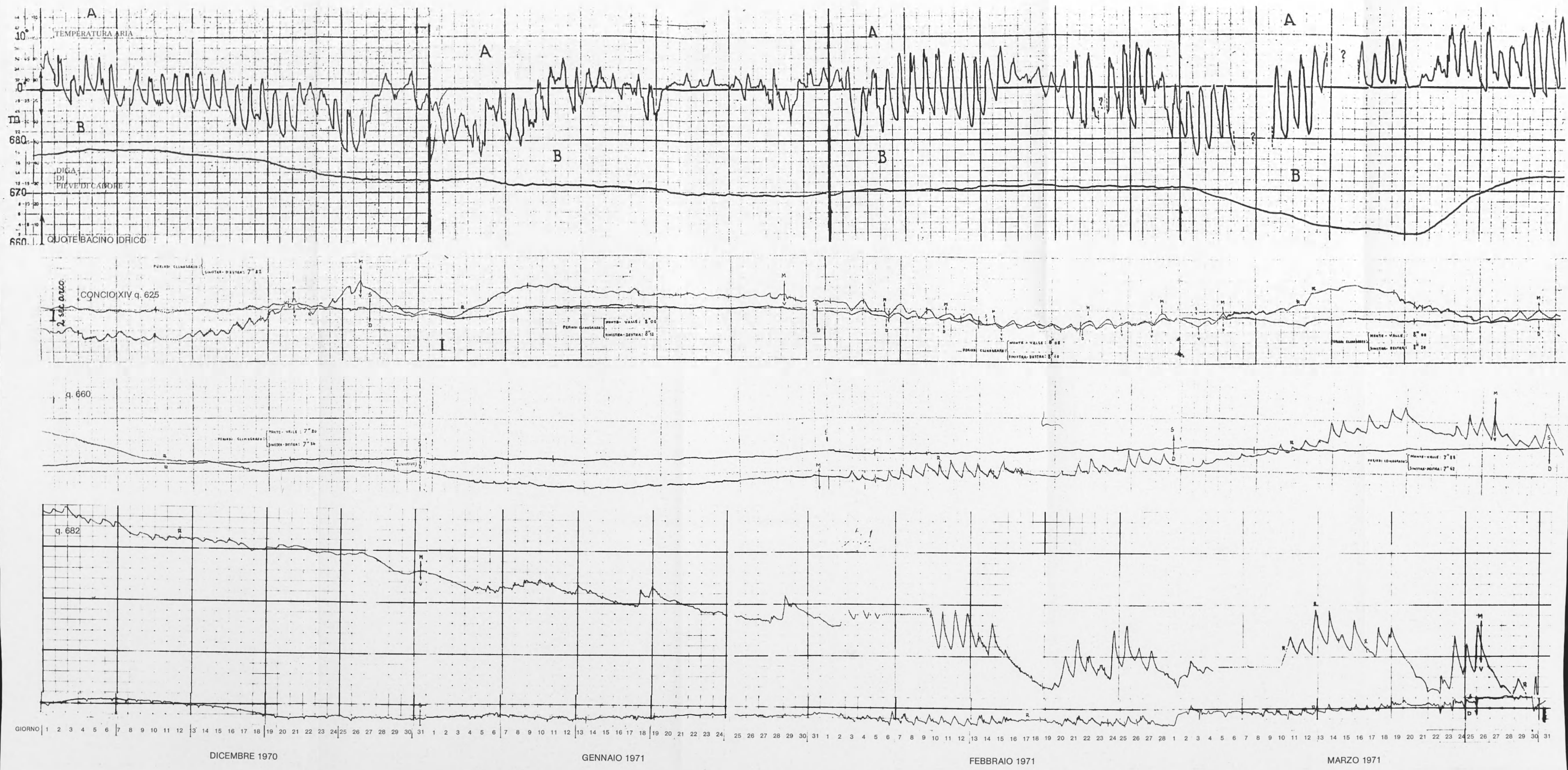


Fig. 2. - Per temperatura in diminuzione, la diga — per invaso invariato — flette a valle. Quando la temperatura dell'aria è decisamente sotto lo zero, solo la parte in quota della diga flette verso valle; la base, invece, viene spinta verso monte dal mezzo roccioso a valle della diga, in fase di dilatazione.

Fig. 2. - When the temperature is decreasing the dam for unchanged watershed, bends downstream; when the air temperature is decidedly below 0°C, only the high part of the dam bends downstream; on the contrary, downstream of the dam the rocky medium, which is swelling, thrusts the dam bottom upstream.

q. 660, nel concio XIV (centrale) della diga (Figg. 3, 4). Tale stazione, che ha permesso di rivelare nuovi fenomeni, di alcuni dei quali si è trattato altrove e di altri si parlerà in seguito, ha consentito il rilevamento di centinaia di minutissime scosse, in giorni di gelo spinto; scosse che sfuggono all'analogia stazione funzionante in cabina comandi centralizzati (Figg. 5, 6).

A questo punto, viene spontaneo di chiedersi perché, nei primi tempi, le microscosse furono tanto più intense da essere registrate chiaramente — a migliaia — anche fuori della diga. La risposta è ovvia. Inizialmente, avevamo due mezzi — il sistema roccioso e la diga — con proprie caratteristiche, ben distinte. La loro forzata « convivenza » non poteva non portare a contrasti iniziali di una certa violenza, atti a smussare le più forti resistenze della roccia ai movimenti della diga: la fratturazione, pertanto, riuscì più generale ed interessò gli elementi di maggiori dimensioni: di qui la maggiore energia liberata dalle microscosse. Del resto, solo in questo modo il sistema poteva stabilirsi su nuove posizioni di equilibrio. [Non va dimenticato, a questo riguardo, che il modulo di elasticità del sistema roccioso sopportante il piazzale a valle della diga, in pochi anni — i primi — subì una fortissima flessione: dagli iniziali 7000 m/sec della velocità delle onde longitudinali (1949), si passò ai 4500 m/sec (1960) (*)].

Superata la fase acuta della crisi, nella zona di contatto fra la culla dello sbarramento e il calcestruzzo, i micromovimenti di questo ultimo poterono realizzarsi in campo plastico. Non così durante i periodi di gelo spinto, nei quali, per i motivi sopra esposti, si verificano fratture, sorgenti di onde elastiche.

La fig. 6 dà numerosi esempi di microscosse, registrate dal Dicembre 1970 al Marzo 1971, nei periodi in cui la temperatura scese decisamente sotto lo zero (*). Noi, naturalmente, ne abbiamo

(*) A questo proposito, un'osservazione superficiale potrebbe attribuire le microscosse alle crepe che — di quando in quando — si verificano nel ghiaccio del lago. A parte il fatto che queste si manifestano sporadicamente e, comunque, in numero limitato, va tenuto presente che — a motivo delle continue variazioni di livello nell'invaso — lo strato ghiacciato si presenta largamente fratturato in tutta una striscia torno torno alle sponde, alle quali quindi non aderisce rigidamente, disperdendo l'energia proveniente dalle spaccature, che pertanto perviene alla riva in misura minima.



Fig. 3 — Diga di Pieve di Cadore.

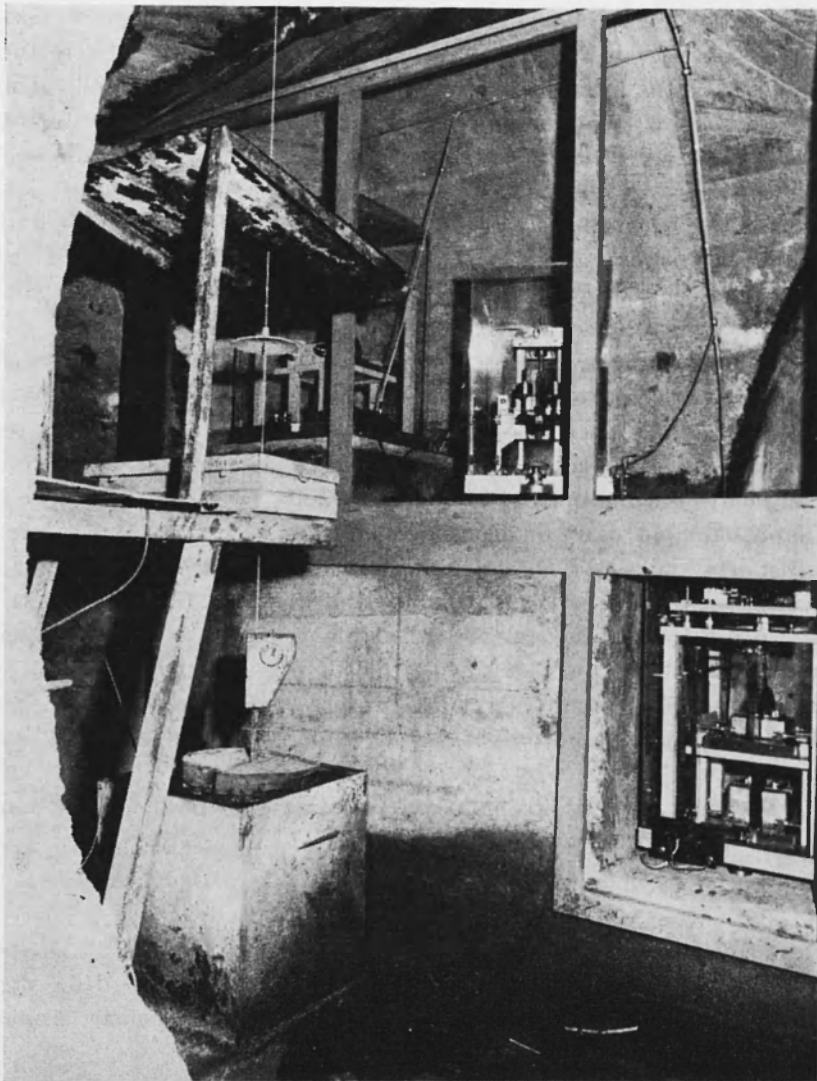


Fig. 4 - Terna di sismografi «Girlanda» installata dentro il concio centrale (XIV) della diga a quota 660m (vedi fig. 3).

Fig. 4 - Tern of «Girlanda» seismographs installed and working into the central ashlar (XIV) at 660 ms height of the dam (see fig. 3).

riportato solo alcune. Già da esse, però, appare chiara la grande varietà di aspetti che presentano, e che le differenziano — talvolta notevolmente — l'una dall'altra. La differenziazione è testimonianza di diversa origine e di differente propagazione. La rottura d'equilibrio può avvenire lievemente discosta dalla base della diga. Data la poca energia in giuoco, essa non sarà in grado di provocare lo scuotimento del manufatto che si limiterà a far da veicolo alle onde elastiche: avremo, in questi casi, oscillazioni rapidissime, che si esauriscono nell'intervallo di uno o due secondi (fig. 6). Se la frattura è più prossima alla diga, la sua energia può essere capace di provocarne lo scuotimento; trattandosi dell'eccitazione di elementi finiti, essi presentano analogie con il moto di un diapason: avremo cioè dispersione anomala, con oscillazioni di periodo via via più lungo, che saranno le più tarde e tenderanno ai valori propri dell'uninodale dei concii e — spesso — della diga stessa (*) (fig. 6). A questo riguardo, si noterà che le oscillazioni libere del manufatto, a volte insorgono immediatamente dopo l'inizio della perturbazione, a volte vi appaiono più o meno distanziate. Ciò sta a significare che varia la distanza, dalla stazione d'osservazione (nel caso specifico, sistemata in zona centrale della diga) della zona di disturbo. Va ancora sottolineato il fatto che, sovente, la registrazione non ha le caratteristiche proprie di una microscossa singola, ma di più scuotimenti, originati a breve intervallo di tempo l'uno dall'altro: è come se la rottura d'equilibrio in un punto, ne provocasse di analoghe in tutto un intorno (fig. 6).

Ma sugli aspetti predominanti delle registrazioni, ci riserviamo di ritornare in una prossima pubblicazione.

Segue un elenco di microscosse registrate il 24-25-26-27 Dicembre 1970 dalla stazione sismica funzionante nell'interno della diga (alcune di esse sono state registrate anche dalla stazione sismica funzionante negli scantinati della cabina comandi).

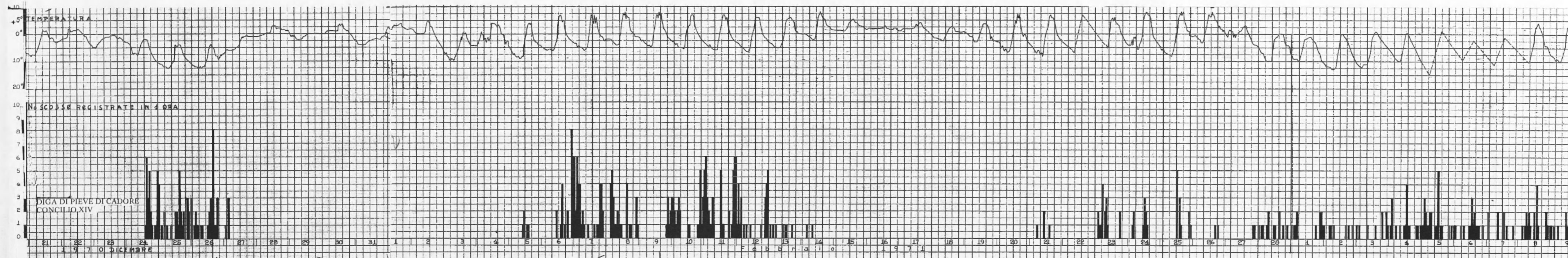


Fig. 5. - Andamento della temperatura dell'aria e successione delle microscosse: queste ultime insorgono numerose quando la temperatura è decisamente sotto lo zero (24-27 Dic. 1970; 27 Febr.-13 Marzo 1971), oppure quando *la media* è sotto lo zero ed è forte il contrasto termico diurno (5-14, 21-26 Febr. 1971).

Fig. 5. - Air temperature behaviour and microshocks sequence: the latter numerously occur when the temperature is decidedly below 0°C (Dec. 24-27, 1970; Feb. 27-March 13, 1971), or when *the average* is below 0°C and the diurnal contrast of the temperature is *very great* (Feb. 5-14, 21-26, 1971).

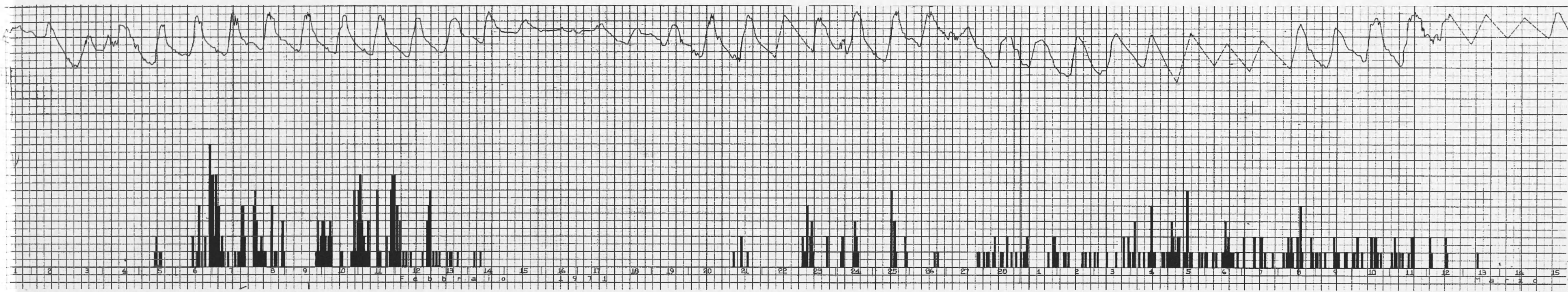
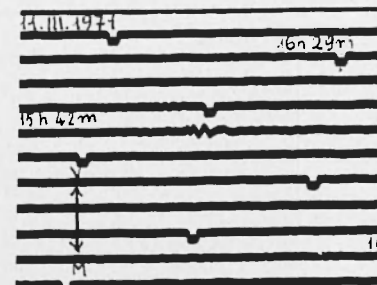
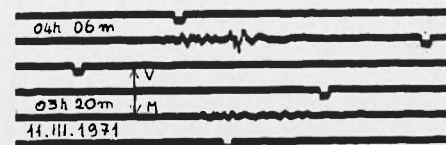
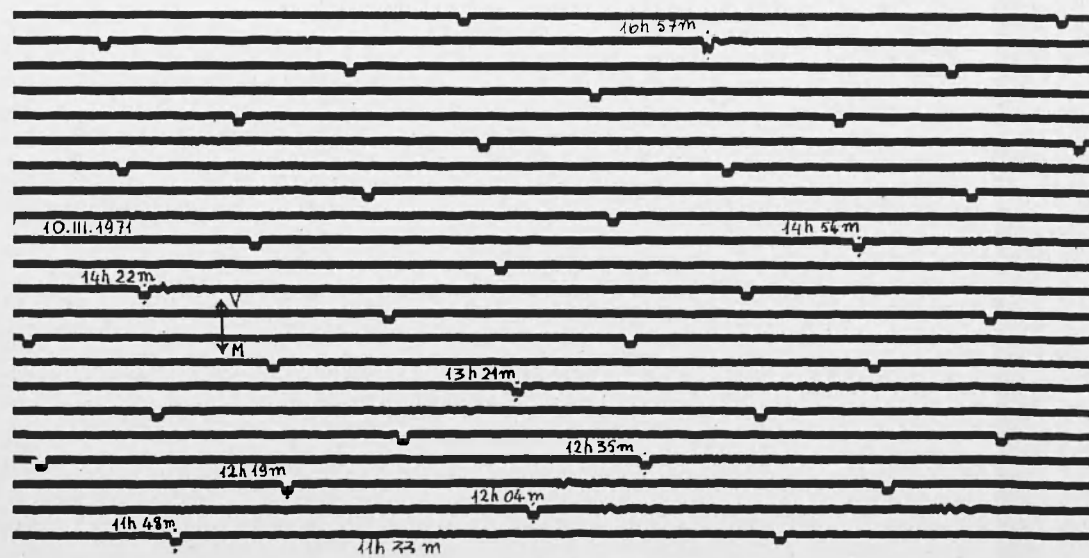
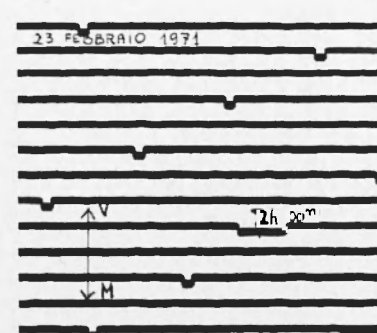
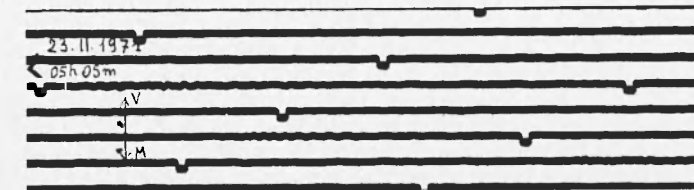
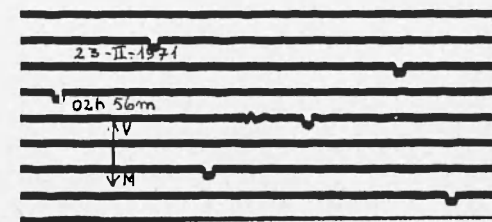
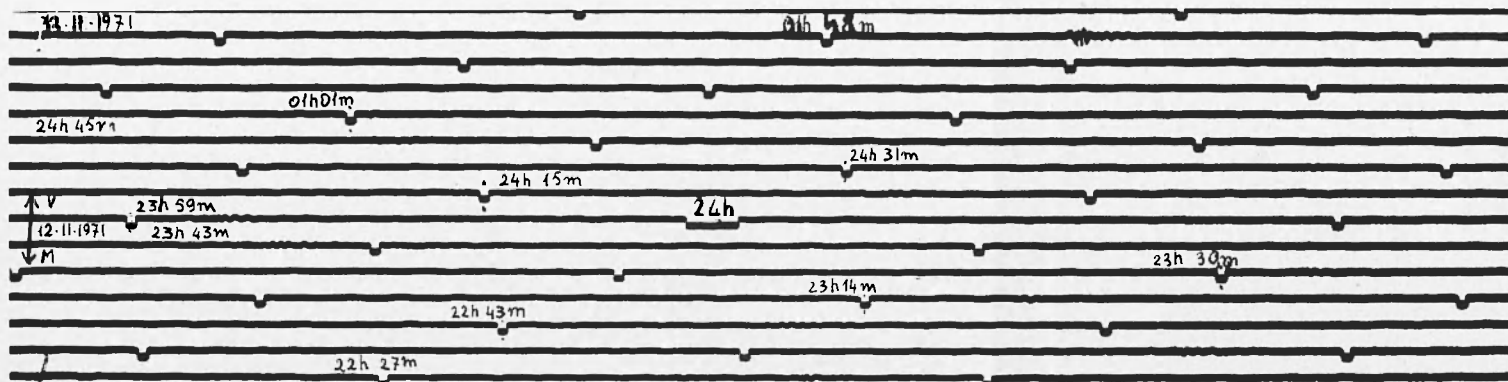
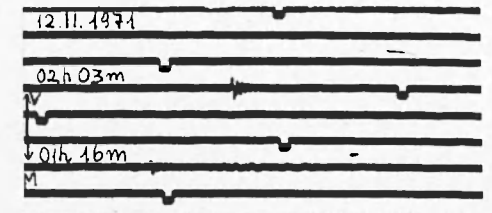
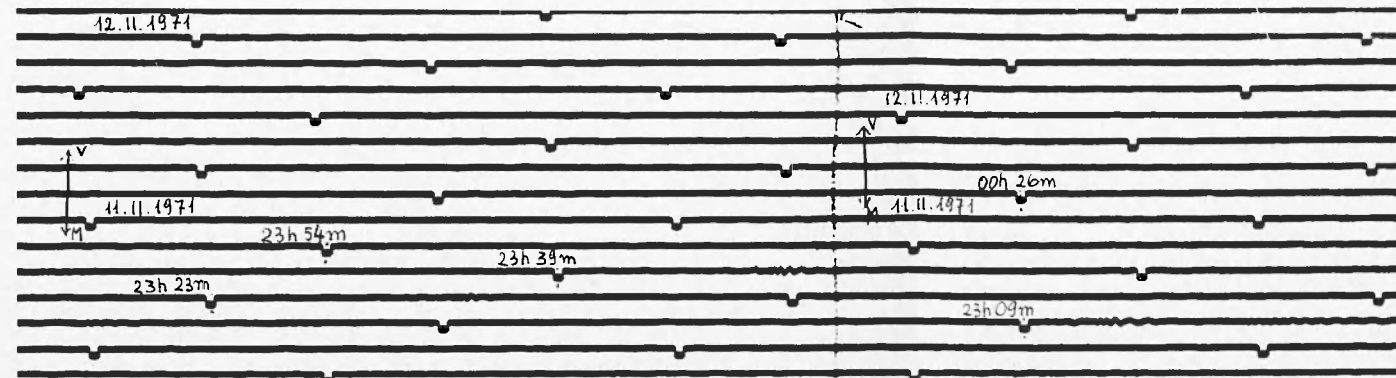
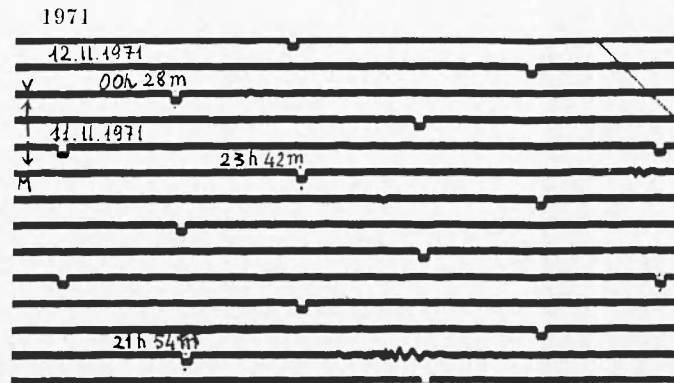
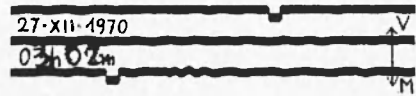
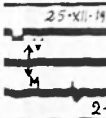
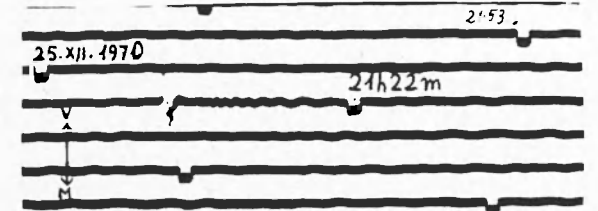
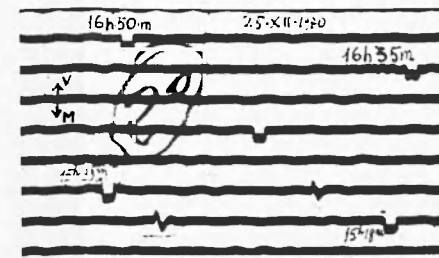
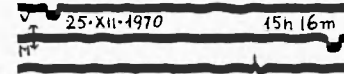
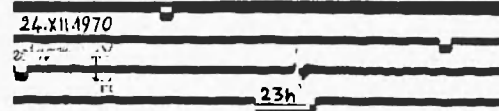
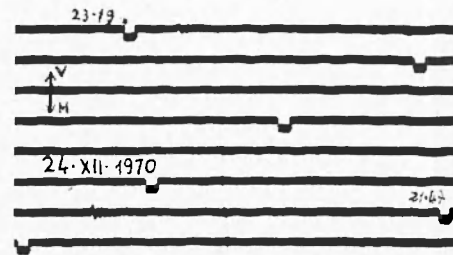
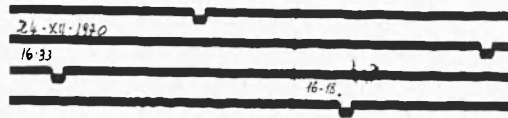


Fig. 5. - Andamento della temperatura dell'aria e successione delle microscosse: queste ultime insorgono numerose quando la temperatura è decisamente sotto lo zero (24-27 Dic. 1970; 27 Febr.-13 Marzo 1971), oppure quando *la media* è sotto lo zero ed è forte il contrasto termico diurno (5-14, 21-26 Febr. 1971).

Fig. 5. - Air temperature behaviour and microshocks sequence: the latter numerous occur when the temperature is decidedly below 0°C (Dec. 24-27, 1970; Feb. 27-March 13, 1971), or when *the average* is below 0°C and the diurnal contrast of the temperature is *very great* (Feb. 5-14, 21-26, 1971).

1970



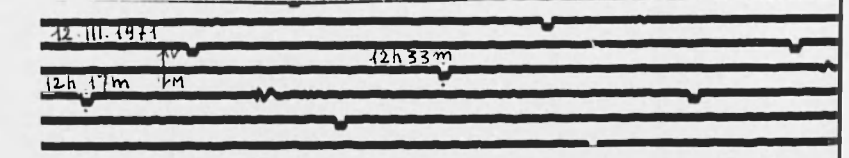
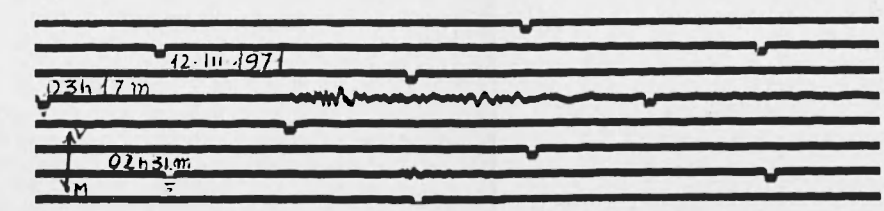
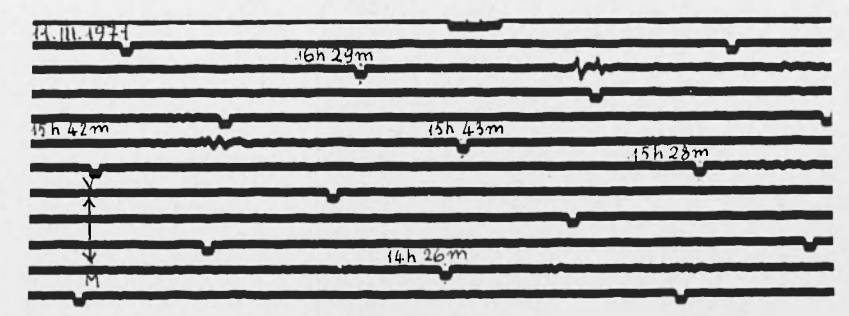
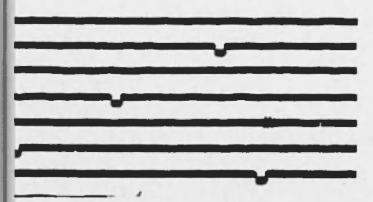
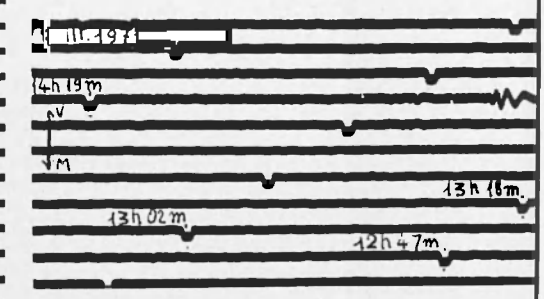
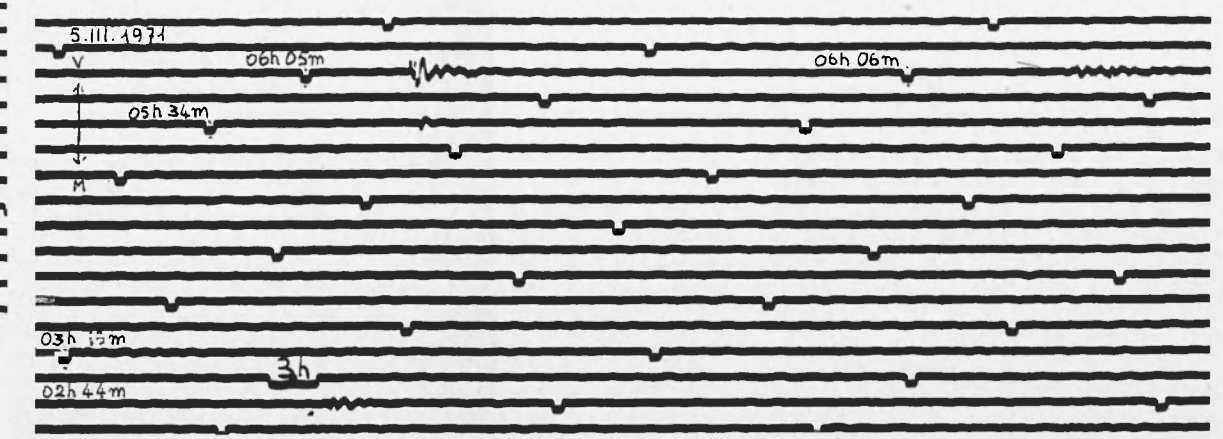
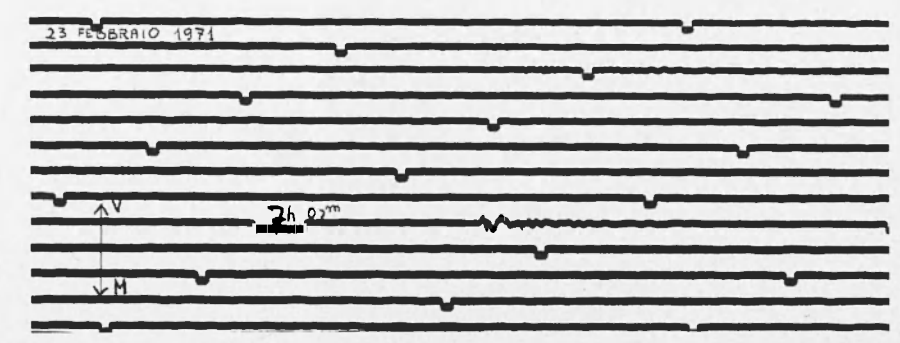
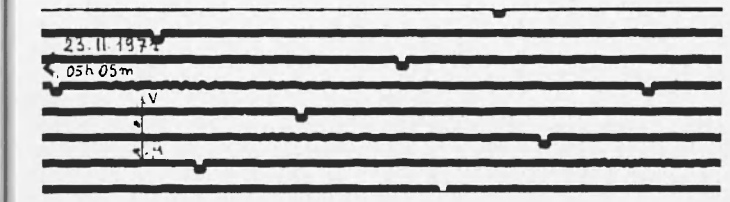
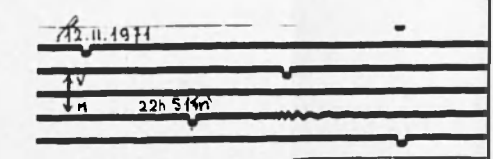
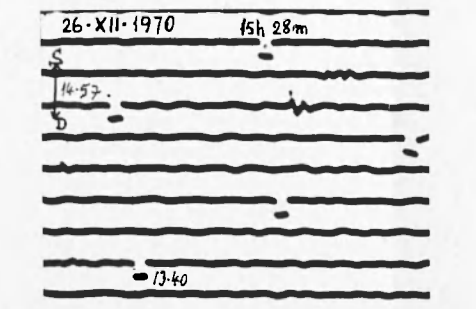
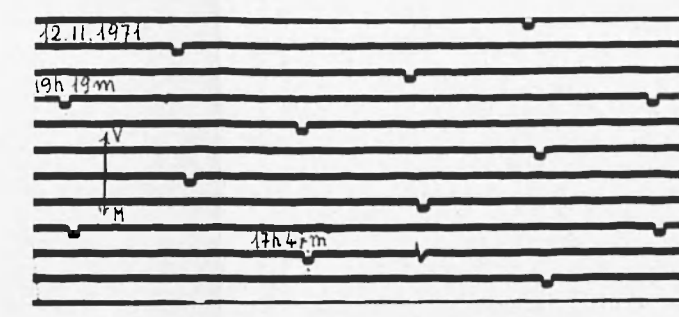
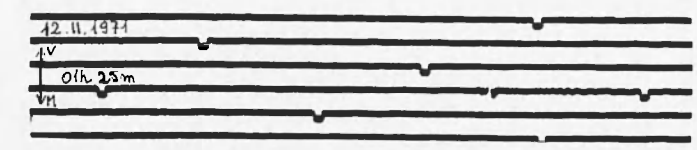
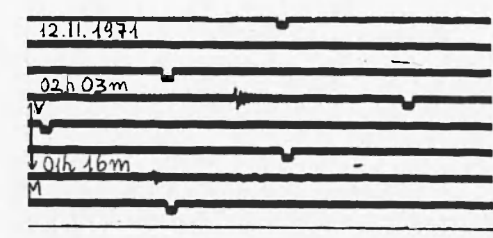
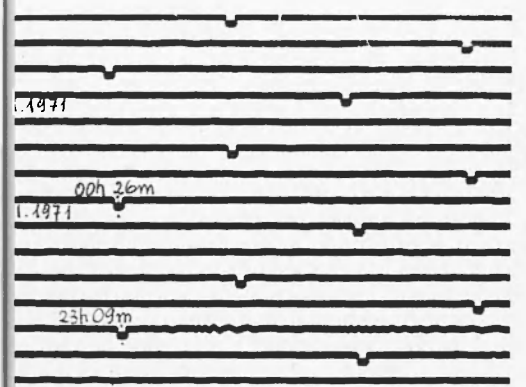
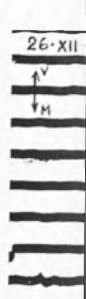
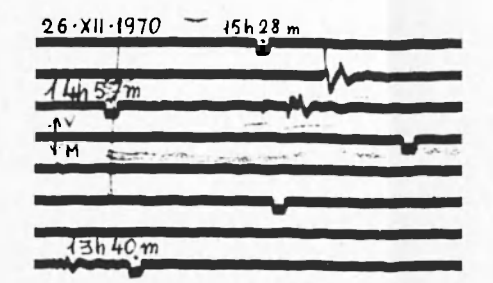
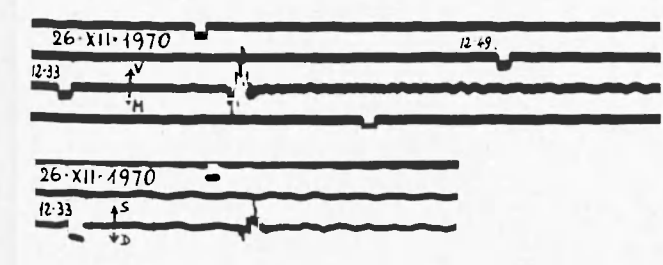
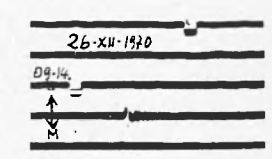
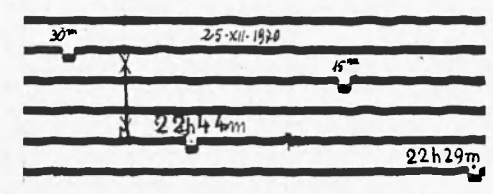
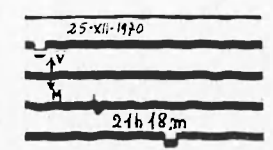
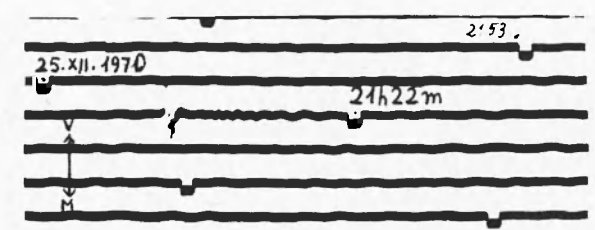
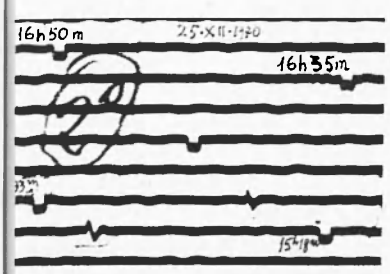




Fig. 6. - Si riportano alcuni esempi delle centinaia di micrososse da gelo spinto, registrate entro la diga di Pieve di Cadore. Esse si presentano sotto aspetti diversi, a seconda che le minuscole fratture che le originano sono più o meno discoste dalla base della diga. Quando interessano esclusivamente la roccia a ridosso del manufatto, questa fa da semplice veicolo di propagazione (4°, 5°, 6°, 24°, riquadro). Se la microsossa è aderente alla diga — come generalmente si verifica — oltre alle onde elastiche dei due tipi, la stazione sismica registra pure la reazione del manufatto, sottoforma di vibrazioni multinodali dei conci, per culminare nell'oscillazione propria fondamentale della diga (5°): tali vibrazioni si presentano infatti, con periodi crescenti (dispersione anomala) e, sovente, sono le sole ad essere registrate.

Fig. 6. - Some examples of the hundreds microshocks caused by severe frost and recorded into the dam of Pieve di Cadore. The same show different aspects according as the very small fractures originated, are more or less distant from the dam bottom. When they concern exclusively the rocky system close by the structure, the latter acts morely as a vehicle of wave propagation (4th, 5th, 6th, 24th square). If the microshock starts strictly up the dam — as well as it generally happens — the seismic station besides the elastic waves of two types, records the reaction of the entire structure, either by multinodal oscillations of the ashlars or by the fundamental oscillation of the dam its own (5°). These oscillations, in fact, of longer and longer periods (anomalous dispersion) often are the only ones to be recorded.

ELENCO DELLE SCOSSE REGISTRATE NELLA STAZIONE SISMICA IN DIGA
DAL 24-XII-1970 AL 27-XII-1970

N.	Data	h	m	s	N.	Data	h	m	s	
1	24-XII-1970	{	13	13	23.4	51	25-XII-1970	17	02.7	
						52		21 44.3		
2					34	00ca		53	29 23.2	
3					37	17.8		54	41 41.3	
4					40	08.7		55	43 02.0	
5					41	23.5		56	46 30.5	
6					48	12.8		57	56 05.7	
7					50	53.0		58	01 01 24.5	
8					14	27 14.75		59	02 55.3	
9					15	15 14.1		60	07 52.3	
10					28	49.8		61	19 41.2	
11					30	51.3		62	40 15.3	
12					40	31.8		63	51 25.9	
13					44	28.0		64	52 01.8	
14				{	15	48 37.7		65	54 30.1	
15						49.7		66	02 06 02.4	
16						50		43.8	67	10 49.5
17						58		20.8	68	11 06.4
18						16		08 10.6	69	13 56.1
19						17		43.2	70	45 58.1
20						31		45.8	71	52 23.0
21						17		20 07.2	72	03 09 34.2
22						26		50.0	73	14 04.6
23			33		30.5	74	28 46.4			
24			38		08.6	75	28 54.5			
25			40		52.1	76	30 29.0			
26			44		24.6	77	40 01.2			
27			47		37.7	78	04 27 18.9			
28			51		34.3	79	44 03.6			
29			18		12 38.4	80	49 34.0			
30			25		51.7	81	54 25.2			
31			19		35 13.8	82	05 17 21.7			
32			48		18.8	83	26 25.2			
33			20		01 13.4	84	28 16.4			
34			21		46 30.8	85	47 43.6			
35			22		18 29.3	86	06 17 10.9			
36			28		24.0	87	33 05.0			
37			30	21.1	88	34 13.6				
38			49	28.2	89	46 25.6				
39			49	36.2	90	48 01.9				
40			49	39.7	91	07 42 39.1				
41			23	04 50.5	92	08 21 41.8				
42			15	22.9	93	09 58 30.3				
43			19	04.4	94	12 27 44ca				
44			22	24.0	95	13 53 56.5				
45			29	06.7	96	55 40ca				
46			34	30.3	97	14 03 17ca				
47			38	03.1	98	07 43ca				
48			44	30.5	99	45 41ca				
49	25-XII-1970	00	01	37.8	100	15 00 31.7				
50				10	21.7	101	06 28ca			

Segue elenco

N.	Data	h m s	N.	Data	h m s
102	25-XII-1970	06 43ca	154	26-XII-1970	00 47 47ca
103		13 14.5	155		51 32.0
104		14 04ca	156		59 29ca
105		17 41ca	157		01 27 31ca
106		33 17.5	158		28 56ca
107		58 38ca	159		31 51.0
108		16 11 18ca	160		01 34 47ca
109		16 31ca	161		46 08ca
110		24 15ca	162		46 31.0
111		25 40.5	163		02 08 32.0
112		34 55ca	164		02 29 08.3
113		37 03.5	165		{ 08.4
114		45 47.5	166		41 41.0
115		49 24.5	167		47 32ca
116		49 39.5	168		03 00 21.5
117		17 06 55ca	169		05 26.5
118		14 39.5	170		21 56.0
119		31 58ca	171		22 13.0
120		18 35 36ca	172		22 37.0
121		19 01 09.5	173		31 42.0
122		07 06ca	174		56 26ca
123		17 37.5	175		56 55ca
124		29 24ca	176		04 14 09.0
125		49 18.5	177		22 31.0
126		59 21.5	178		30 57.5
127		20 07 20ca	179		39 07.5
128		30 58.5	180		47 45ca
129		21 05 41.5	181		54 43ca
130		{ 21 21 46.2	182		05 48 13ca
131	{ 47.5	183	06 02 04ca		
132	22 38.0	184	07 31ca		
133	{ 21 33 17.6	185	25 57.0		
134	{ 17.65	186	26 18ca		
135	46 47.5	187	58 10.0		
136	52 28.0	188	07 20 16.0		
137	22 00 53.0	189	24 07.5		
138	02 30.0	190	31 33.5		
139	03 40.0	191	08 21 47.0		
140	15 05ca	192	55 13.0		
141	15 12ca	193	{ 08 58 40.1		
142	28 25.0	194	{ 40.2		
143	{ 22 44 08.5	195	09 19 36ca		
144	{ 08.6	196	11 28 07ca		
145	54 57.5	197	12 01 34ca		
146	55 10ca	198	09 07.5ca		
147	23 06 42ca	199	12 43ca		
148	26 03.0	200	21 05ca		
149	28 40.0	201	27 52ca		
150	40 21.0	202	29 56ca		
151	26-XII-1970	00 16 28.0	203	30 32ca	
152		27 25.0	204	{ 12 33 13.7	
153		30 18ca	205	{ 13.8	

Segue elenco

N.	Data	h m s	N.	Data	h m s
206	26-XII-1970	12 34 43ca	258	26-XII-1970	16 50 10.7
207		36 08ca	259		10.8
208		44 34ca	260		57 14.5
209		46 47ca	261		57 36.5
210		51 10ca	262		17 02 11ca
211		13 01 25ca	263		02 33ca
212			21 09ca		264
213		28 05ca	265		10 05.5
214		33 34ca	266		14 38.5
215		36 36ca	267		25 37ca
216		37 16ca	268		30 47.0
217		39 14ca	269		{ 17 48 17.8
218		39 53ca	270		
219		41 17ca	271		51 40ca
220		42 20ca	272		57 47.6
221		43 08ca	273		18 06 00.8
222		47 19ca	274		
223		48 09ca	275		10 48ca
224		48 34ca	276		13 28ca
225		51 21ca	277		18 38ca
226		14 09 06ca	278		35 27ca
227			26 07ca		279
228		31 34ca	280		40 48ca
229		37 09ca	281		{ 19 44 40.0
230		43 12ca	282		
231		50 55ca	283		{ 19 47 40.7
232		57 12ca	284		
233	57 14.5ca	285	{ 19 51 10.3		
234	15 03 57ca	286		10.35	
235		{ 15 08 03.0	287	20 01 25ca	
236	03.5	288	25 35ca		
237	{ 15 12 40.5	289	38 41.6		
238		40.55	290	48 57.6	
239	14 55ca	291	21 54 21.5		
240	24 06,2	292	27-XII-1970		
241	16 02 03.1	293		00 39 05ca	
242		05 28ca		294	01 26 45ca
243	08 56.1	295		{ 01 27 23.1	
244	09 03.4	296			25.6
245	13 38.1	297		48 42ca	
246	{ 16 13 45.8	298		51 15ca	
247		45.85		299	02 13 57ca
248	17 33ca	300		16 49ca	
249	17 39ca	301		20 04ca	
250	20 27ca	302		38 24ca	
251	25 08ca	303		03 02 05ca	
252	28 31ca	304		26 45.0	
253	{ 16 31 11.6	305		32 04.6	
254		11.8		306	33 27.5
255	{ 16 38 09.1	307		52 00ca	
256		09.15		308	04 01 46ca
257	49 07ca	309		11 31.6	
				33 22ca	

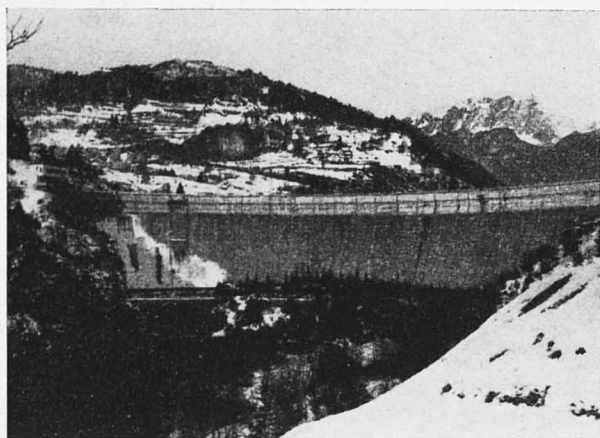
Segue elenco

N.	Data	h	m	s	N.	Data	h	m	s
310	27-XII-1970	38	04	ca	332	27-XII-1970	08	52	22.5
311		48	43.5		333		09	07	39ca
312		05	05	10.5	334		24	13.5	
313		22	55ca		335		36	39.5	
314		32	56ca		336		10	00	21.5
315		06	14	13ca	337		11	53	22ca
316		28	18ca		338		12	10	17.5
317		31	08ca		339		23	22ca	
318		32	52ca		340		35	43ca	
319		50	45ca		341		58	13.5	
320		56	07ca		342		13	00	12.5
321		07	01	44ca	343		17	28ca	
322		06	58ca		344		17	34.5	
323		11	06.5		345		27	19ca	
324		18	53ca		346		52	20ca	
325		23	17.5		347		14	19	34ca
326		29	38.5		348		57	19.5	
327		31	15ca		349		15	08	44.5
328		08	05	29.5	350		30	29ca	
329		07	16ca		351		16	51	03.5
330		08	43ca		352		17	24	49ca
331		40	25ca		353		10	43ca	

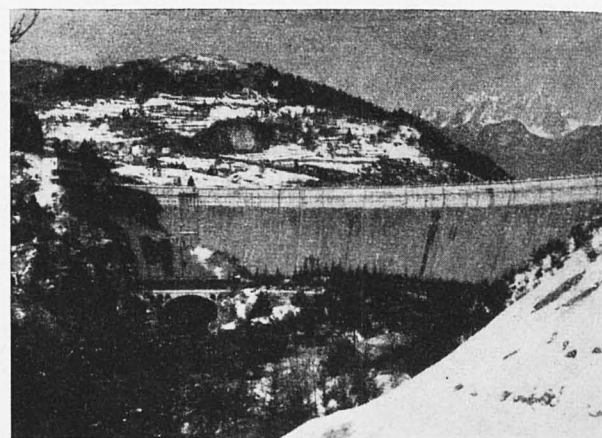
4. — A prescindere dalla base dello sbarramento, che è particolarmente (se non esclusivamente) sensibile alle variazioni dell'invaso, il ciclo delle flessioni di una grande diga — a parità di altre condizioni — è quindi regolato dall'andamento delle stagioni e, in modo particolare, dal comportamento anomalo dell'acqua, nei confronti delle variazioni della temperatura.

Sostanzialmente, può essere così riassunto. Consideriamo una diga (nel caso specifico, la diga di Pieve di Cadore) con l'annesso bacino idrico a livello normale. Ad una certa data dei primi mesi dell'anno (che a seconda dell'andamento stagionale, può coincidere col mese di Febbraio o di Marzo), l'acqua e l'aria vengono a trovarsi ad una temperatura media pressoché uguale. A partire da questa data, procedendo verso la primavera, l'aria comincia a riscaldarsi più dell'acqua. È noto, infatti, che l'acqua ha il calore specifico più grande di tutte le sostanze conosciute; per cui, il suo riscaldamento avviene con molta lentezza, anche nei confronti del sistema roccioso, sopportante la diga. Pertanto, l'aumento del divario fra la temperatura media dell'aria

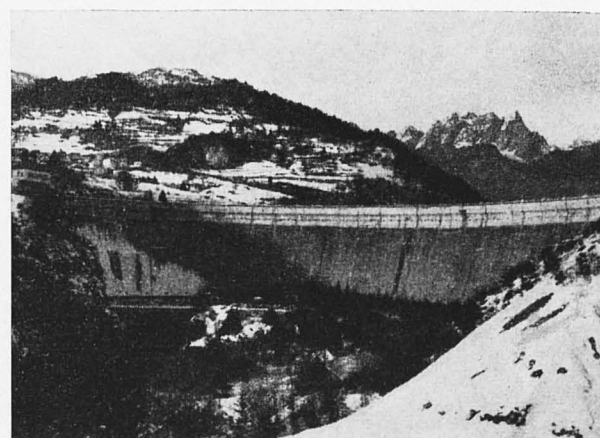
DIGA DI PIEVE DI CADORE - Andamento dell'insolazione in anni, mesi, giorni ed ore diverse.
DAM OF PIEVE DI CADORE - Behaviour of the insolation during different years, months, days and hours.



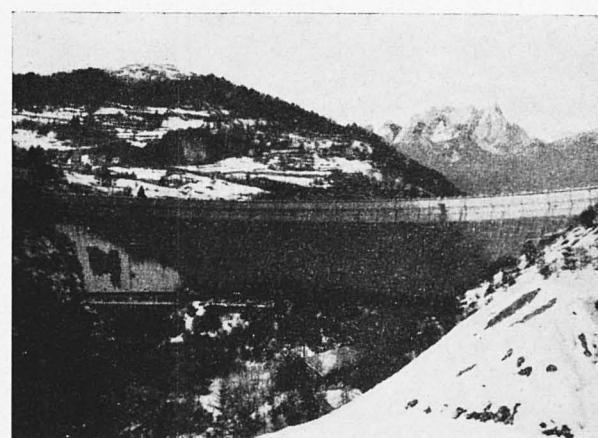
1a



1b



1c



1d

Foto 1a) - 1b) - 1c) - 1d): 10.I.1969 alle 11h40m, 12h, 14h, 15h.
Photo 1a) - 1b) - 1c) - 1d): 10.I.1969. Insolation at 11h40m, 12h, 14h, 15h.

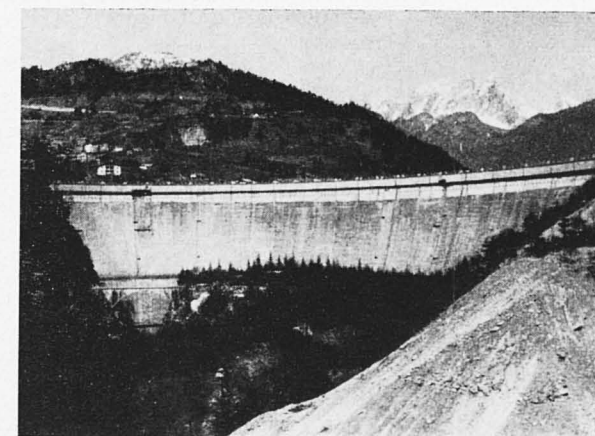


Foto 2: 9.IV.1969 alle 12h.
Photo 2: 9.IV.1969. Insolation at noon.

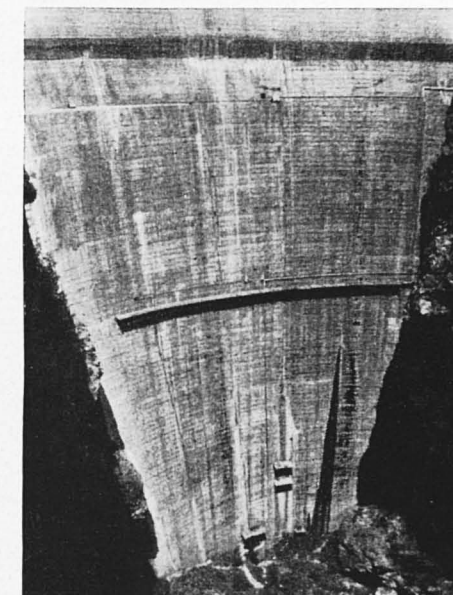
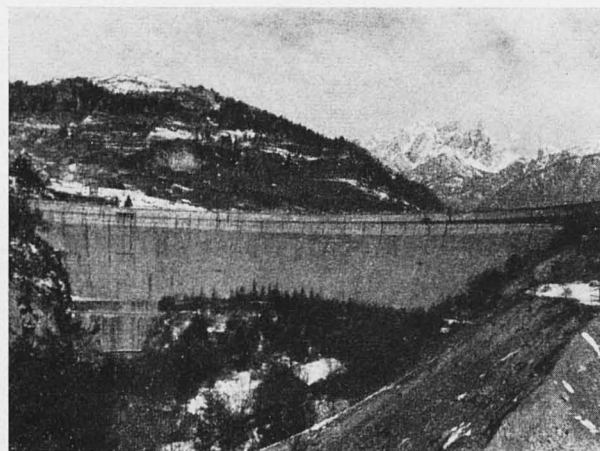
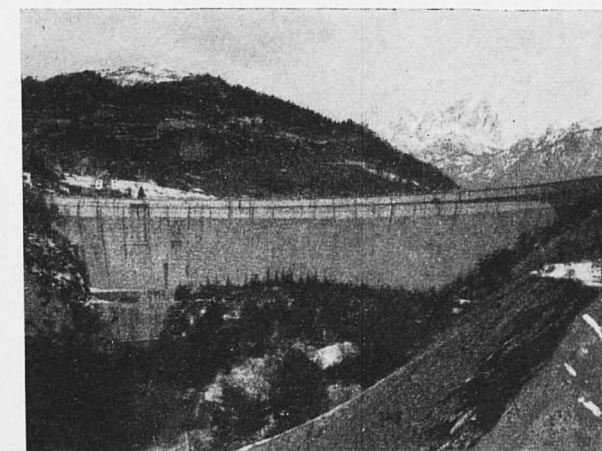


Foto 3: 10.VI.1969 alle 12h (Tampone)
Photo 3: 10.VI.1969. Insolation on the right side of the dam at noon.



4a

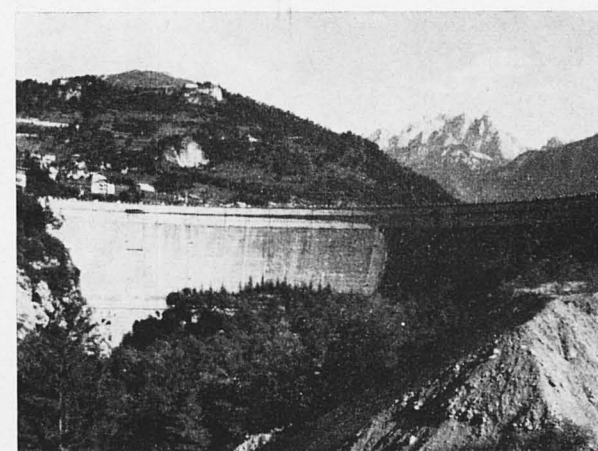


4b

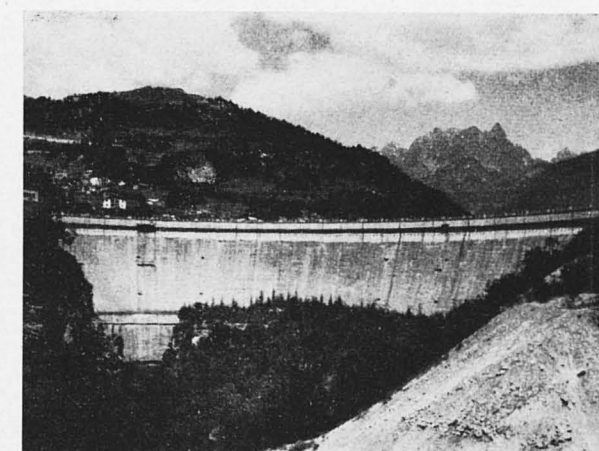


4c

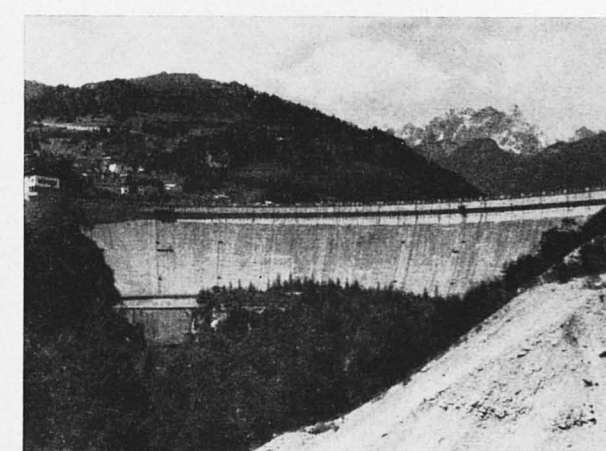
Foto 4a) - 4b) - 4c): 15.III.1970 alle 9h, 10h, 10h (Tampone)
Photo 4a) - 4b): 15.III.1970. Insolation at 9h, 10h.
Photo 4c) : Insolation at the 10h of the same day on the right side of the dam.



5a



5b



5c

Foto 5a) - 5b) - 5c): 11.VII.1970 alle 9h, 12h, 14h.
Photo 5a) - 5b) - 5c): 11.VII.1970. Insolation at 9h, 12h, 14h.

e quella dell'acqua, fa sì che la parete a valle della diga si riscaldi in maggior misura di quella a monte, immersa nel liquido, con la conseguenza di una flessione dello sbarramento verso monte, flessione che continua nei mesi successivi, mediamente fino a tutto Settembre. A questa lenta flessione verso monte, si sovrappone inoltre l'onda diurna, dovuta all'andamento dell'insolazione nelle 24 ore.

In tutti questi mesi l'acqua non ha fatto che immagazzinare calore, portandosi a temperature che, nello strato superficiale, possono raggiungere i 20 °C. Come lentamente è avvenuto l'accumulo di calore, altrettanto lentamente l'acqua lo restituisce all'intorno. Così, quando la temperatura esterna comincia a diminuire, in breve volger di tempo la temperatura media dell'aria scende ad un livello inferiore di quello dell'acqua del lago. *È a questo punto che la situazione termica delle pareti della diga, si inverte*: la parete a nord viene infatti a trovarsi a temperatura maggiore di quella a sud. Si inverte quindi anche il fenomeno di flessione, che d'ora in avanti si verifica verso valle. Con l'ulteriore diminuzione della temperatura verso lo zero, nell'acqua del bacino idrico inizia un ininterrotto rimescolamento: l'acqua di superficie, raffreddandosi, si appesantisce e scende di qualche metro, per essere sostituita da acqua più calda di quote inferiori. Se le condizioni esterne lo consentono, questo fenomeno può continuare fino al totale rimescolamento del lago, che verrà ad avere sul fondo temperature dell'ordine di 4 °C, alle quali — com'è noto — l'acqua ha la massima densità, e quindi il massimo peso specifico. Questa situazione ultima, presuppone all'esterno temperature nettamente sotto lo zero: di qui il formarsi di uno strato di ghiaccio alla superficie del lago, il continuare della flessione di tutta la diga verso valle — come è stato osservato al principio —; e, nel caso di gelo spinto, il verificarsi del fenomeno accennato di una parte della diga — quella di base — flettente verso monte, mentre la parte a quota superiore è sempre tesa in senso opposto. È in questa fase che il contrasto fra roccia e diga può tradursi — superato il limite di fermezza del mezzo — in centinaia di microscosse.

Naturalmente, quello esposto è l'andamento del fenomeno nei suoi aspetti più semplici, quando le grandezze in giuoco variano in uno stesso senso con uniformità. In effetti, si verificano complicazioni, legate a ritorni di stagione, ai quali è particolarmente sensibile la temperatura dell'aria; di qui, la pronta risposta dello sbarramento, sotto forma di inversioni di flessione, più o meno accentuati, più o meno lunghi, più o meno regolari, a seconda dell'andamento della

causa. Senza accennare, naturalmente, alla concomitante azione sulla valle nel suo complesso, nelle sue parti solide: la quale tende a restringersi, nella stagione calda, e ad allargarsi in quella fredda. Per tacere, infine, di tutti i contrasti, conseguenti alle variazioni, più o meno marcate, del livello dell'invaso.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CALOI P., 1953. - *Osservazioni sismiche e clinografiche presso grandi dighe di sbarramento*. « Annali di Geofisica », VI, 3.
- (2) CALOI P., 1962. - *La Geofisica e la grandi dighe*. « L'Energia Elettrica », XXXIX, 1.
- (3) CALOI P., 1962. - *Aspetti della dinamica di rocce, calcestruzzo ed acque*. « Annali di Geofisica », XV, 2-3. (Contiene un'ampia bibliografia su precedenti lavori dell'A. sull'argomento).
- (4) CALOI P., SPADEA M. C., 1966. - *Principali risultati conseguiti durante l'osservazione geodinamica, opportunamente estesa nel tempo, di grandi dighe di sbarramento, e loro giustificazioni teoriche*. « Annali di Geofisica », XIX, 3.
- (5) CALOI P., SPADEA M. C., 1969. - *Sulla risposta elastica delle dighe e sulla sua variazione del tempo*. « Annali di Geofisica », XXII, 1.
- (6) FUKUO Y., 1966. - *On the Rheological Behavior of Frozen Soil (Part I)*. « Bull. Disaster Prevention Res. Inst. », 15, part 3.
- (7) SCHEIDEGGER E. A., 1970. - *Theoretical Geomorphology*. Seconda Edizione riveduta. Springer-Verlag. Berlin, pp. 375-382.