

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

# RENDICONTI

---

PIETRO CALOI, MARCELLO MIGANI

**Micromovimenti nella Centrale di Somplago, presso la faglia del Lago di Cavazzo, I. Micromovimenti comunque legati all'attività della Centrale, alla pressione atmosferica o d'origine astronomica**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 58 (1975), n.6, p. 911–918.*  
Accademia Nazionale dei Lincei

[<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1975\\_8\\_58\\_6\\_911\\_0>](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1975_8_58_6_911_0)

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

---

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

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



**Geofisica.** — *Micromovimenti nella Centrale di Somplago, presso la faglia del Lago di Cavazzo. I. Micromovimenti comunque legati all'attività della Centrale, alla pressione atmosferica o d'origine astronomica.* Nota di PIETRO CALOI e MARCELLO MIGANI, presentata (\*) dal Socio P. CALOI.

SUMMARY. — On hints at micromovements, caused in the power station of Somplago (Udine) by the penstock and by the oscillations of water in the surger chamber: the former concerning almost exclusively the vertical component, the second in the form of ample tilting with an average period of 2,5<sup>m</sup>. Other micromovements are caused by transit of microbarometrical perturbations on the overhanging mountain and further ones are of astronomical origin, particularly wide the semi-diurnal wave, associated to the lunisolar attraction.

The movements are facilitated by the degree of freedom, permitted by the immediate closeness of the Cavazzo lake fault.

#### I. PERTURBAZIONI COLLEGATE CON L'AVVIO DELLE TURBINE NELLA CENTRALE DI SOMPLAGO

Nei pressi di «LP<sub>2</sub>» (figg. 1, 2) ha funzionato, per oltre un decennio, una stazione sismica «Girlanda», a breve periodo ed ingrandimento elettromagnetico. Alle normali registrazioni di questa stazione — utilizzate in numerose ricerche —, quasi giornalmente si sono frammiste registrazioni legate al funzionamento della Centrale. Le più vistose si sono rivelate quelle associate all'azione del pozzo condotte forzate (fig. 1). All'avvio delle turbine, la componente verticale della stazione sismica ha sempre prontamente risposto, nei modi più diversi. Nella Tav. II si riportano 5 casi. Nel 1°, dalle 7 e 10 alle 7 e 33 circa del 24 gennaio 1972, in corrispondenza dell'avvio delle turbine, la componente verticale della stazione sismica reagisce con gruppi di oscillazioni con periodo di 1,5 sec circa, con spostamenti massimi (dalla linea di quiete) di 8 micron circa. A partire dalle 7 e 33, e per la durata di poco più di un'ora, la perturbazione continua sotto forma di traccia.

Nell'esempio 2° (del 1° febbraio '72), l'impatto dell'acqua delle condotte forzate con le turbine, provoca perturbazioni nella componente verticale che si esauriscono, nella parte più vistosa, in circa tre minuti, proseguendo poi per un'ora sotto forma di tracce. Questa volta però il ritmo, imposto alla componente verticale, è molto più lento e si manifesta con periodi 2-3-4 e 5,5 sec, i massimi spostamenti, in senso verticale, essendo stati di 3-4,5-6-8,5 micron, rispettivamente.

Una risposta, quindi, nettamente distinta da quella del primo caso.

(\*) Nella seduta dell'11 giugno 1975.

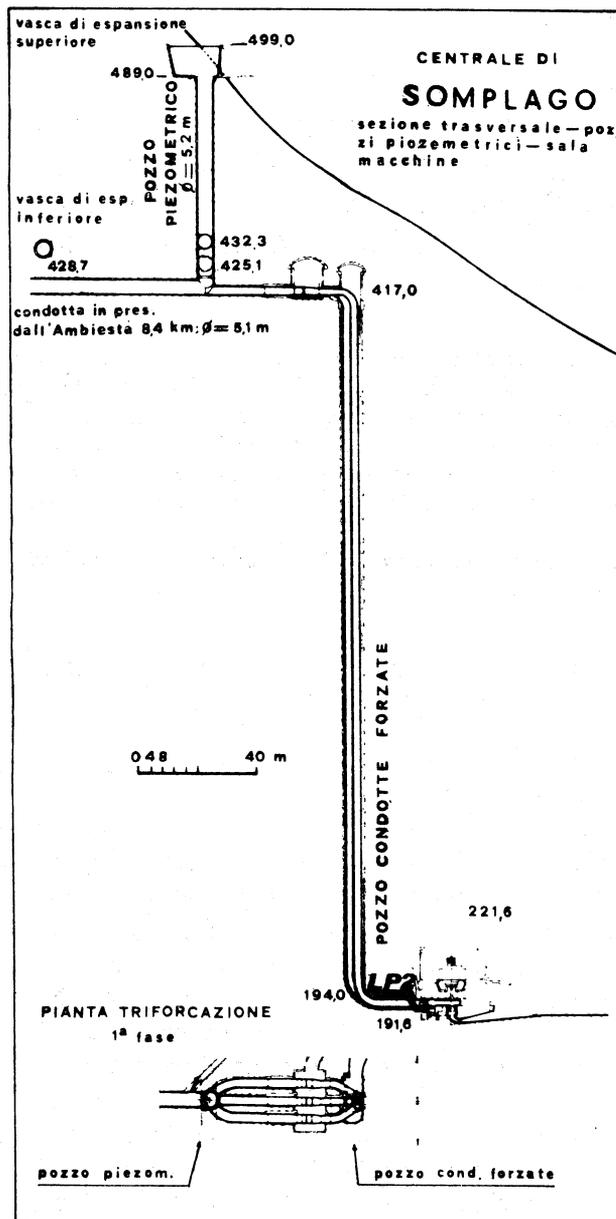


Fig. 1. - Pozzo piezometrico, pozzo condotte forzate, ecc. della Centrale « Enel » di Somplago.

Nel terzo caso (del 6 febbraio '72; dopo le 7 e 30) l'impatto dell'acqua con le turbine provoca gruppi di tre oscillazioni, di 1,7 sec l'una, separate da perturbazioni di più lunga durata; il tutto si esaurisce in circa 9 minuti, mentre le susseguenti tracce non durano più di tre quarti d'ora. I massimi spostamenti verticali sono dell'ordine di 5 micron.

Il quarto caso (del 24 febbraio '72; dopo le 6 e 50) mostra ancora un altro tipo di reazione – per la durata di 8 minuti circa – da parte della componente verticale; sono oscillazioni di una certa regolarità, con periodi varianti da 4 a 4,5 a 5 sec, con spostamenti reali dell'ordine di 8 micron.

## CENTRALE DI SOMPLAGO

Pianta a quota 202

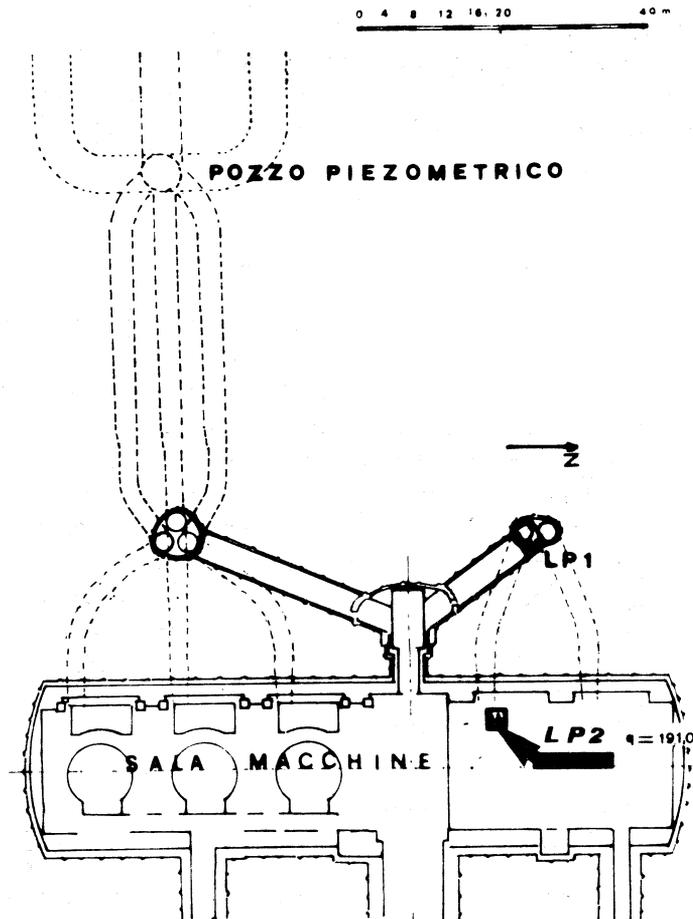


Fig. 2. - «LP<sub>2</sub>», stazione clino-sismografica, che ha fornito le registrazioni di cui alle Tavv. III e IV; «LP<sub>1</sub>», stazione clinografica con filo di sospensione di 136 metri (esempio di registrazione alla Tav. V).

Il 5° caso, nell'avviamento, presenta le più ridotte perturbazioni per la componente verticale, sia in ampiezza che in durata (23 aprile '72; dalle 6 e 30 alle 6 e 37), con periodi da 1,5 a 2 sec e spostamenti dell'ordine di 1 micron e mezzo. In questo caso, viceversa, la perturbazione della componente verticale, provocata dal lavoro delle turbine sotto forma di traccia, dura parecchie ore.

Le registrazioni della componente verticale provano quindi che l'impatto fra l'acqua delle condotte forzate e le turbine può verificarsi in modi diversi; non si spiegherebbe altrimenti il diverso aspetto della reazione del sismografo ai singoli casi. Inoltre, più ampia è la reazione iniziale sismografica, più ridotta nel tempo è la durata della perturbazione, sotto forma di traccia.

Va infine sottolineato un altro fatto: le due componenti orizzontali della terna «Girlanda» - di sensibilità comparabile a quella della componente verticale - non accusano perturbazioni apprezzabili in relazione all'avviamento delle turbine, se non sotto forma di traccia. Poiché la stazione sismica dista 55 m circa dalle turbine, se ne può concludere che la base della centrale reagisce all'impatto delle acque provenienti dalle condotte forzate, solo secondo la componente verticale, quasi fosse rigida, ed agisce nel suo movimento, a mò di stantuffo ad asse verticale.

## 2. OSCILLAZIONI DEL POZZO PIEZOMETRICO

Nella parte alta della fig. 1, sulla sinistra, è rappresentato l'ultimo tratto della condotta in pressione, del diametro di m 5,1, che conduce l'acqua prelevata dal lago di Verzegnis (formato dallo sbarramento del fiume Ambiesta), posto a circa km 8,4 di distanza. Gli è connesso il sovrastante pozzo piezometrico, del diametro di m 5,2, alto circa 69 metri e terminante nella vasca di espansione superiore, fra quota 489 e quota 499.

Il pozzo d'immissione dell'acqua dell'Ambiesta, la condotta in pressione e il pozzo piezometrico, formano una sorta di tubo, con un corpo centrale e due braccia verticali agli estremi, in cui l'acqua può oscillare.

Vediamo di calcolare il periodo-base di questo sistema oscillante.

Supponiamo che il sistema in questione, sia costituito da un tubo, a sezione costante. Sia  $2l$  il dislivello fra gli estremi del liquido nei due rami verticali del tubo. Sotto l'influenza del peso del liquido di altezza  $2l$ , la colonna verrà animata da un movimento oscillatorio.

Se  $R$  è il diametro interno del tubo e  $L$  la lunghezza totale della colonna liquida, misurata secondo il suo asse, la sua massa sarà  $\frac{\rho}{g} \pi R^2 L$ , dove  $\rho$  esprime il peso specifico. Se  $x$  è il dislivello ad un tempo  $t$ , prescindendo dall'attrito sviluppato dal movimento del liquido contro le pareti del tubo, l'equazione del moto della colonna sarà

$$\frac{\rho}{g} \pi R^2 L \frac{d^2 x}{dt^2} = - \rho \pi R^2 2x,$$

cioè

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{2g}{L} x = 0.$$

Poiché, per  $t = 0$ , è

$$x = l \quad ; \quad \frac{dx}{dt} = 0,$$

dall'integrale generale

$$x = A \cos \sqrt{\frac{2g}{L}} t + B \sin \sqrt{\frac{2g}{L}} t,$$

conseguo

$$x = l \cos \sqrt{\frac{2g}{L}} t \quad ; \quad \frac{dx}{dt} = -l \sqrt{\frac{2g}{L}} \sin \sqrt{\frac{2g}{L}} t.$$

Il periodo del moto oscillatorio è quindi

$$(1) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{2g}}.$$

Consideriamo ora il caso di un tubo di sezione  $s$  e di lunghezza  $L_1$ , congiungente agli estremi due serbatoi verticali di sezione  $S$ . Per uno spostamento  $dx$ , il lavoro della forza  $p \cdot 2 Sx$  sarà  $-p \cdot 2 Sx \cdot dx$ . Se  $H$  è l'altezza dell'acqua nei due serbatoi laterali, questo lavoro farà aumentare la forza viva della massa, contenuta nei due serbatoi, di  $\frac{p}{g} SVdV \times 2H$ , dove  $V$  indica la velocità nei serbatoi; mentre la forza viva dell'acqua contenuta nel tubo di collegamento aumenterà di  $\frac{p}{g} sv dv \cdot L_1$ , dove  $v$  rappresenta la velocità nel tubo. Vale evidentemente la relazione

$$(2) \quad SV = sv.$$

Dal teorema delle forze vive, avremo

$$(3) \quad -pS \cdot 2x dx = \frac{p}{g} SV \cdot 2V \cdot dV \cdot H + \frac{p}{g} sL_1 v dv.$$

Tenendo conto della (2), la (3) diviene

$$(4) \quad -x dx = \frac{VdV}{g} \left( H + \frac{1}{2} \frac{S}{s} L_1 \right),$$

da cui, integrando,

$$C - \frac{x^2}{2} = \frac{V^2}{2g} \left( H + \frac{1}{2} \frac{S}{s} L_1 \right).$$

Per  $t = 0$ ,  $x = h$ ,  $V = 0$  è  $C = \frac{1}{2} h^2$ ; è quindi

$$\frac{1}{2} (h^2 - x^2) = \frac{1}{2} \frac{V^2}{g} \left( H + \frac{1}{2} \frac{S}{s} L_1 \right).$$

Ma  $V = \frac{dx}{dt}$ ; dalla (4) si trae allora

$$\frac{d^2x}{dt^2} = - \frac{gx}{H + \frac{1}{2} \frac{S}{s} L_1}.$$

Fatto

$$(5) \quad \lambda = H + \frac{1}{2} \frac{S}{s} L_1,$$

l'equazione del moto dell'acqua nei serbatoi, prescindendo dall'attrito, prende la forma

$$(6) \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{g}{\lambda} x = 0.$$

L'integrale generale della (6) è

$$x = A \cos \sqrt{\frac{g}{\lambda}} t + B \sin \sqrt{\frac{g}{\lambda}} t;$$

e quindi

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{g}{\lambda}} \left( -A \sin \sqrt{\frac{g}{\lambda}} t + B \cos \sqrt{\frac{g}{\lambda}} t \right).$$

Per  $t = 0$ ,  $\frac{dx}{dt} = 0$ ,  $x = h$ ; ne segue

$$A = h, \quad B = 0.$$

Pertanto, ricordando la (5), possiamo scrivere

$$x = h \cos \sqrt{\frac{g}{H + \frac{SL_1}{2s}}} \cdot t$$

e il periodo d'oscillazione diviene

$$(7) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{2H + \frac{S}{s} L_1}{2g}}.$$

Nel caso  $S = s$ , dall'essere  $L = 2H + L_1$ , si ricade nella (1).

Ritenendo valida una tale schematizzazione per il sistema Ambiesta-Somplago, poiché  $2H = 136$  m,  $L_1 = 8430$  m,  $S = 86,54$  mq,  $s = 83,27$  mq (e quindi  $S/s = 1,04$ ), si ottiene per il periodo d'oscillazione il valore

$$T = 134 \text{ sec.}$$

Il periodo di  $2^m 14^s$ , così ottenuto per le oscillazioni a pieno pozzo piezometrico, è da ritenersi approssimato per difetto, avendo trascurato l'effetto frenante dell'attrito.

È chiaro che il periodo si riduce per escursioni dell'acqua inferiori all'altezza del pozzo piezometrico, mentre va oltre i  $2^m 14^s$ , quando l'acqua dilaga nella vasca d'espansione superiore. Pertanto, il valore

$$T = 2,3^m$$

può ritenersi il periodo *medio* d'oscillazione dell'acqua nei serbatoi.

Ed è quello che l'osservazione dimostra. Nella Tav. III sono riportati soltanto alcuni esempi delle oscillazioni del pozzo piezometrico, registrate in «LP<sub>2</sub>» (fig. 2). Fra essi, risultano oscillazioni limitate all'intero pozzo piezometrico; altre, con periodi dell'ordine di 2<sup>m</sup>,5 - e più - provocate da colonne d'acqua che hanno invaso la vasca d'espansione superiore (e sono quelle che resistono più a lungo); altre, infine, che hanno interessato solo un tratto del pozzo piezometrico (e si presentano generalmente come semplici elongazioni).

Va sottolineato il fatto che l'oscillazione del pozzo piezometrico è particolarmente sensibile nella direzione NS: sulla componente EW essa appare di ampiezza molto limitata. Per esempio, la risultante del movimento, quale è registrato dalle due componenti fra il 43° e il 45° minuto del 4 maggio 1971 (Tav. III), si riassume in un'ellisse, con l'asse maggiore in direzione N 15° W-S 15° E: è questa, pertanto, la direzione d'oscillazione della parte di montagna, interessata al movimento.

E ciò si spiega. Il pozzo piezometrico è stato ricavato in una specie di sperone, che si discosta poco dalla direzione EW: lo spessore di roccia risulta quindi ridotto nella direzione prossima a NS: di qui il più agevole cedimento, durante le oscillazioni del pozzo piezometrico, in tale direzione.

3. Oltre ai movimenti legati al funzionamento della Centrale - di cui ai nn. 1, 2 - le stazioni sismo-clino-estensimetriche sistemate alla base della gran caverna, registrano interventi perturbanti di altre forze esterne, d'origine meteorologica od astronomica.

Per quanto riguarda le prime, ci limitiamo a riportare le perturbazioni sismografiche (su pseudo periodi fra 1 e 3 minuti) dovute al transito su Somplago di microperturbazioni della pressione, di cui al microbarogramma (Tav. IV). Tali microperturbazioni flottavano sopra una media pressione quasi costante in superficie, risultando associate ad un centro di bassa pressione in quota (Tav. IV, in basso, a sinistra).

Ma di perturbazioni siffatte se ne verificano di ben più vistose, e di esse è detto in un lavoro a parte [1].

Con riferimento alle perturbazioni di origine astronomica, diremo che esse furono messe in evidenza particolarmente durante il periodo di funzionamento dell'«LP<sub>1</sub>» (attualmente fuori funzione). Esse, generalmente, si presentano con l'aspetto proprio della Tav. V. Va subito chiarito che un'indagine accurata sull'azione di perturbazioni locali, ha permesso di escludere che esse (nel loro periodo portante) siano dovute a variazioni di temperatura dell'aria, o di pressione atmosferica, o di variazioni di livello del vicino lago di Cavazzo. Solo la marea di Grado presenta andamento conforme, sia pure con qualche - del resto spiegabile - sfasamento.

L'onda portante della Tav. V è quindi l'onda semidiurna associata all'attrazione lunisolare. Tutta la congerie di sovrapposte, talvolta amplissime perturbazioni - sui più svariati pseudo periodi - in parte provengono dalla citata attività della Centrale e in parte (la più vistosa) da micromovimenti

della faglia, sul bordo occidentale della quale la Centrale di Somplago è stata ricavata.

Perturbazioni d'origine astronomica vengono pure registrate dall'estensimetro ivi sistemato [2]; ma di esse sarà detto in seguito.

Ci proponiamo di riferire, in un prossimo lavoro, sulle più vistose perturbazioni clino-estensimetriche, che vengono registrate presso la faglia del lago di Cavazzo; perturbazioni di carattere essenzialmente tettonico.

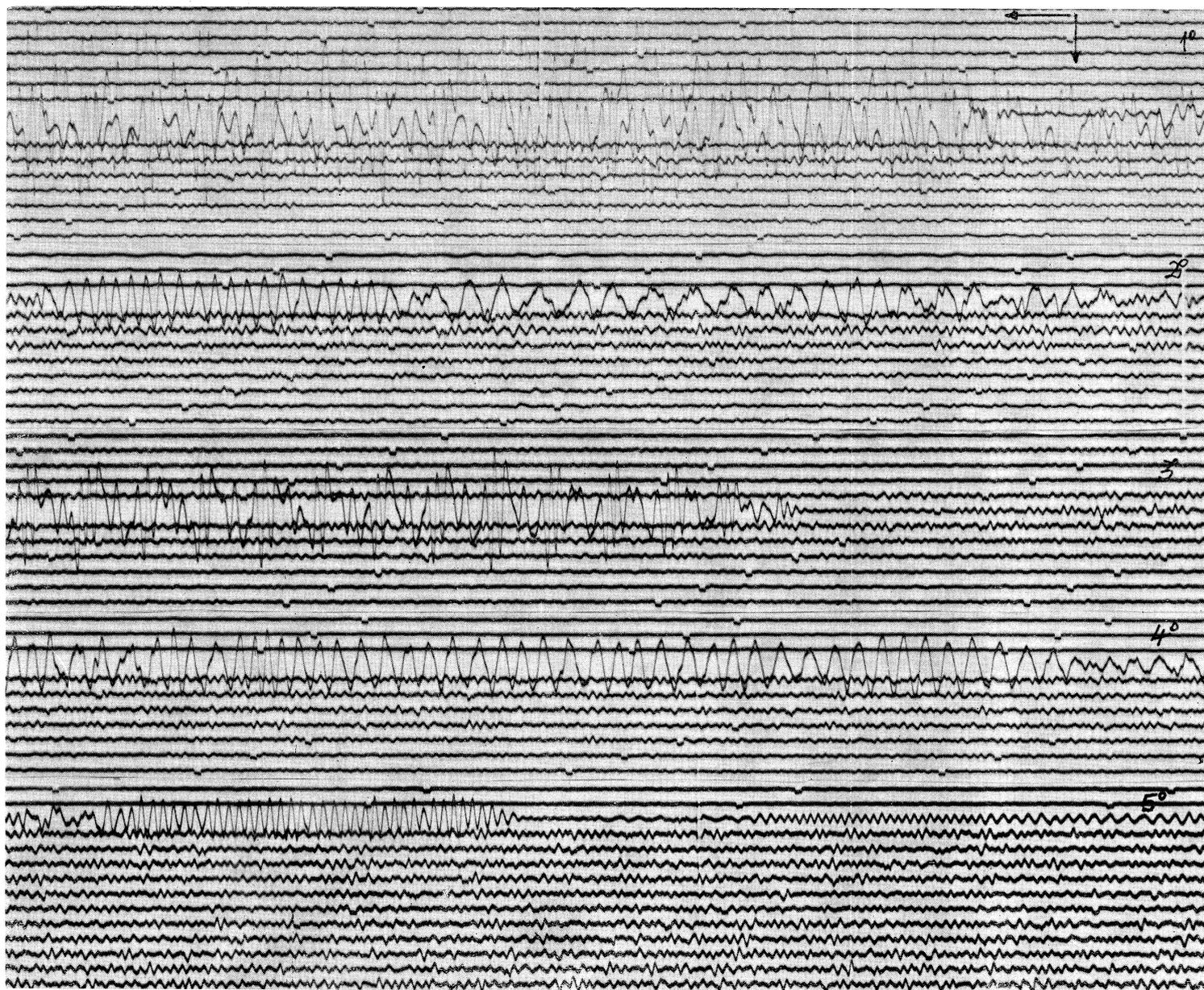
#### RICHIAMI BIBLIOGRAFICI

- [1] P. CALOI (1975) - *I micromovimenti di una faglia, come attenuazione della sismicità locale: variazioni della verticale a Somplago, associate al transito di variazioni bariche*, « Rend. Acc. Naz. dei Lincei », 58, 408-413.
- [2] M. MIGANI (1974) - *La stazione estensimetrica presso la Centrale di Somplago*, « Rend. Acc. Naz. dei Lincei », 57, 637-641.



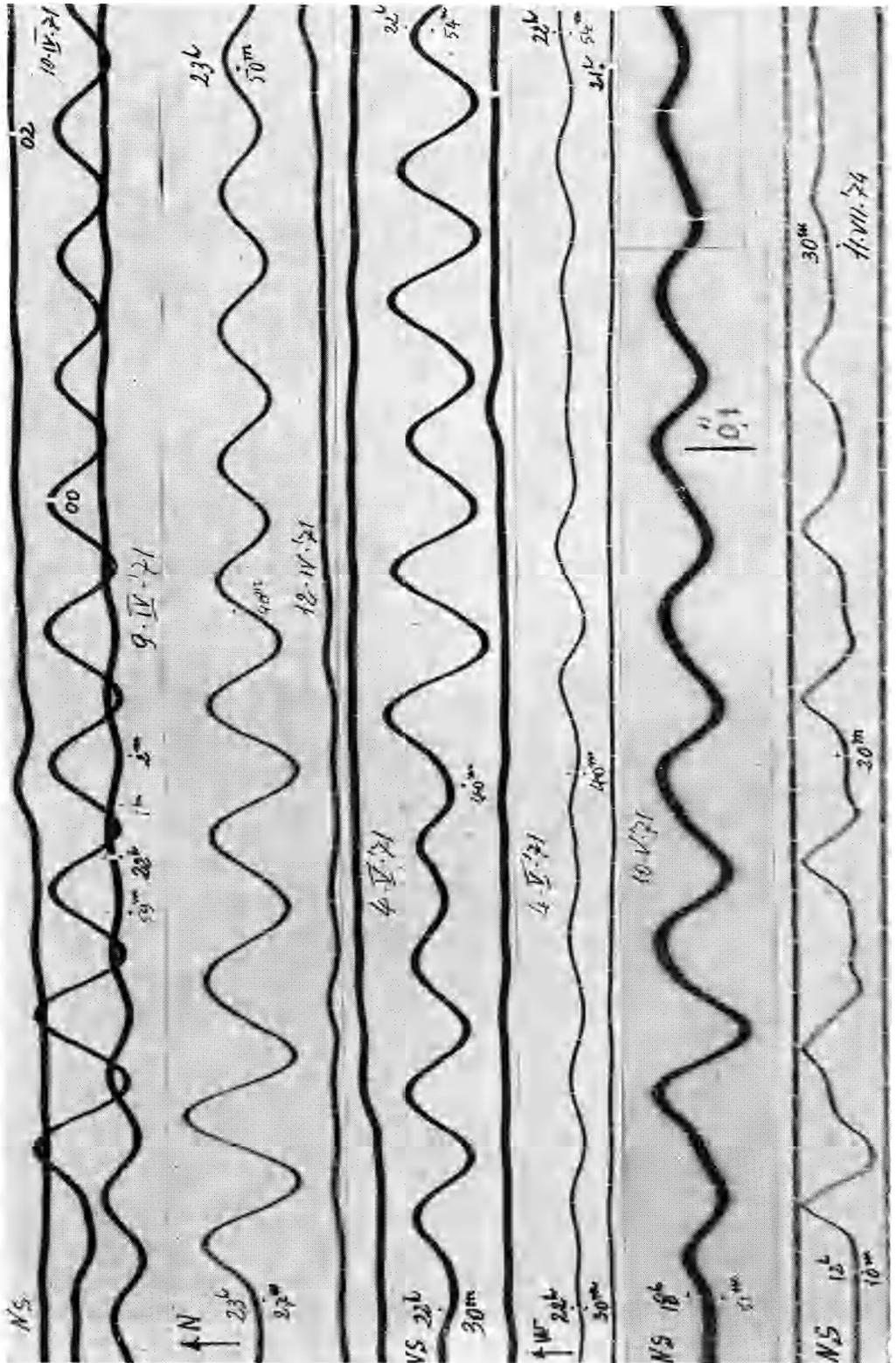
Strutture esterne della Centrale in roccia di Somplago. (La larga macchia bianca, in alto, a sinistra, corrisponde alla vasca d'espansione superiore del pozzo piezometrico; v. fig. 1).



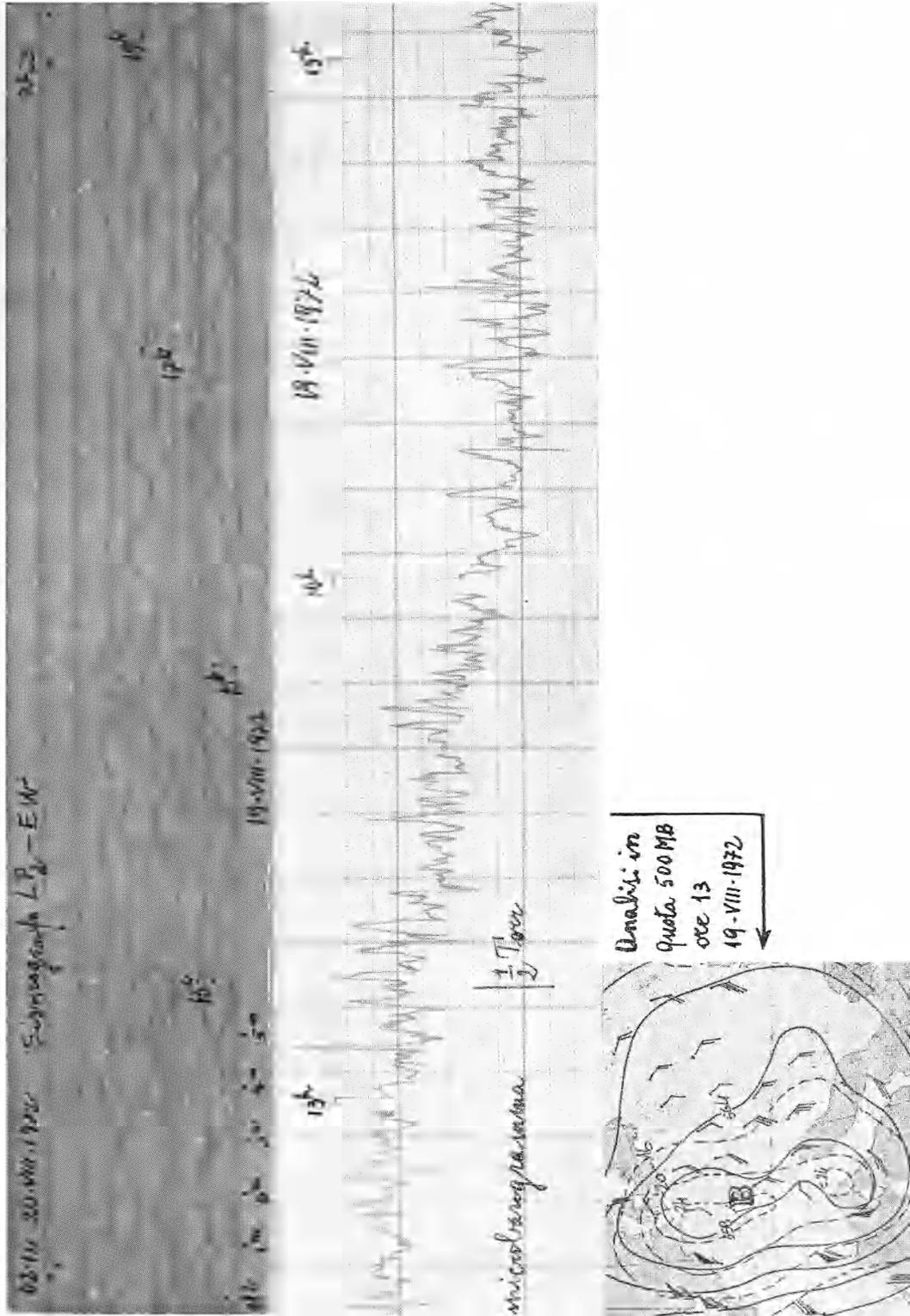


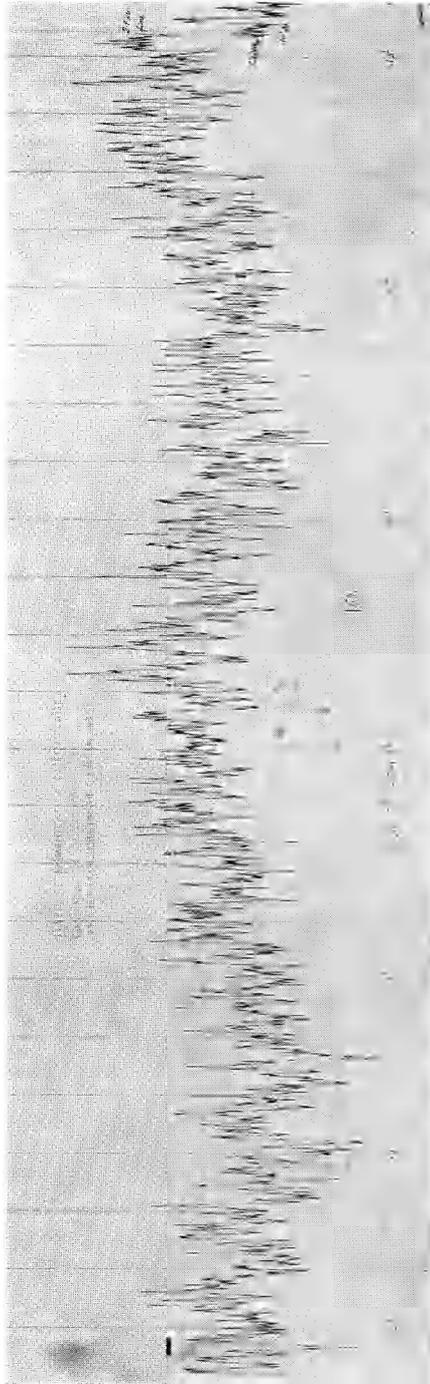
Oscillazioni, nel piano verticale, provocate alla base della Centrale dall'impatto dell'acqua delle condotte forzate con le turbine.





Ondulazioni destinate dalle oscillazioni dell'acqua nel pozzo piezometrico.





Semidiurne per attrazione lunolare, con sovrapposte perturbazioni diverse, in parte associate ai movimenti della faglia del lago di Cavazzo. (Ridotta a 1/4 dell'originale).