

## Comportamento geodinamico della Diga di Vodo di Cadore

*(The geodinamical behaviour of the Dam of Vodo di Cadore)*

P. F. BIAGI

Ricevuto il 20 Settembre 1970

RIASSUNTO. — Dall'esame delle registrazioni clinografiche ottenute dal Giugno 1967 al Dicembre 1969, presso la piccola diga di Vodo, situata sul torrente Boite, affluente di destra del Piave, è emerso un importante fatto nuovo nell'ambito della microdinamica delle dighe e cioè che per l'insorgere dell'onda diurna in modo sensibile non è sempre necessario che una delle pareti della diga si trovi a temperatura pressoché costante. Se ne è precisato qui, su base sperimentale, il campo di validità.

Si è poi studiata la forma d'onda, in alcuni mesi, apparentemente nuova della componente sinistra destra e la si è collegata alle zone della diga illuminate dal sole nelle varie ore del giorno.

Infine si è cercato di spiegare un singolare dualismo che appariva nella componente sinistra destra per quanto concerne gli spostamenti lunghi, derivanti dalle variazioni di temperatura media.

SUMMARY. — The analysis of the clinographic recordings obtained from June 1967 to December 1969, in the little dam of Vodo, situated on the Boite river, right tributary of the Piave, revealed an important new fact about the dynamics of the dams: it is not necessary that one of the sides of the dam have a constant temperature to cause the arising of the day-waves. We proved here on experimental basis, when it is valid.

Then, we studied, during some months, the wave — apparently new — of the left-right component: its shape is due to the sides of the dam lighted with the sun in the different hours of the day.

Lastly, we tried to explain the unusual dualism appearing in the left-right component, as regards the long displacements depending on the variations of the average temperature.

La diga di Vodo è una diga di piccole dimensioni (altezza max 42 m) situata sul torrente Boite, affluente di destra del Piave, nei pressi di Vodo di Cadore (Fig. 1).

In questa diga è in funzione una coppia di fotoclinografi, uno per la registrazione di micromovimenti in direzione monte valle e l'altro per la registrazione a 90°, tangenzialmente all'asse della diga, situati alla quota coronamento, in corrispondenza della luce centrale del ponte.

L'esame delle registrazioni clinografiche, ottenute dal Giugno 1967 al Dicembre 1969, ha permesso di definire in modo esauriente l'origine dei micromovimenti che interessano la diga.

In primo luogo si è avuto modo di constatare che non si hanno micromovimenti dovuti alle variazioni d'invaso. Di solito, in direzione monte valle, gli sbarramenti risentono della spinta di pressione dovuta alle variazioni del livello idrico. Si è però chiarito, in un precedente scritto, che alla quota coronamento queste azioni non hanno ragione d'essere; i risultati ottenuti presso la diga di Vodo, confermano quindi, vieppiù quanto è stato già rilevato.

L'unica azione dovuta all'invaso può essere riscontrata nel fatto che, a bacino vuoto, la diga è più sensibile (in modo appariscente in direzione monte-valle) all'azione dell'insolazione (vedere punto seguente) di quanto non lo sia a bacino pieno. La Fig. 2 serve da esempio. Questo è in disaccordo col fatto, rilevato altrove, che per l'insorgere dell'onda diurna in modo sensibile è necessario che una delle pareti della diga si trovi a temperatura pressoché costante (è chiaro che, a bacino pieno, la parete a monte della diga ha temperatura poco variabile).

Senza nulla togliere alla veridicità inconfutabile di questo principio, lo studio attuale ha permesso di definirne un limite: esso vale cioè solo per dighe di grandi dimensioni. Per una diga come quella di Vodo, piccola e non strutturata a conci, l'insorgere dell'onda diurna prescinde dalla condizione limitativa che una parete dello sbarramento si trovi a temperatura pressoché costante così che, a bacino vuoto, mancando la spinta di pressione della massa d'acqua che ne limita l'elasticità, la diga è più sensibile alle azioni termiche, almeno in direzione monte-valle.

Passiamo ad un altro punto.

È noto dagli studi eseguiti presso altre dighe che l'insolazione è causa di micromovimenti. L'oscillazione diurna, nota sotto il nome di onda diurna, è particolarmente appariscente nella diga di Vodo. Se si considerano le Figure da 3 a 14, che riproducono i clinogrammi ottenuti



Fig. 1 - Diga di Vodo vista da valle.



Fig. 2 - Diga di Vodo - Luglio 1967 - Si hanno esempi evidenti di onde diurne dopo lo svuotamento del bacino. L'oscillazione diurna in direzione sinistra-destra non mostra variazioni appariscenti. L'onda diurna della componente monte-valle risulta più ampia a bacino vuoto, pur essendo le escursioni termiche dello stesso ordine di quelle a bacino pieno.

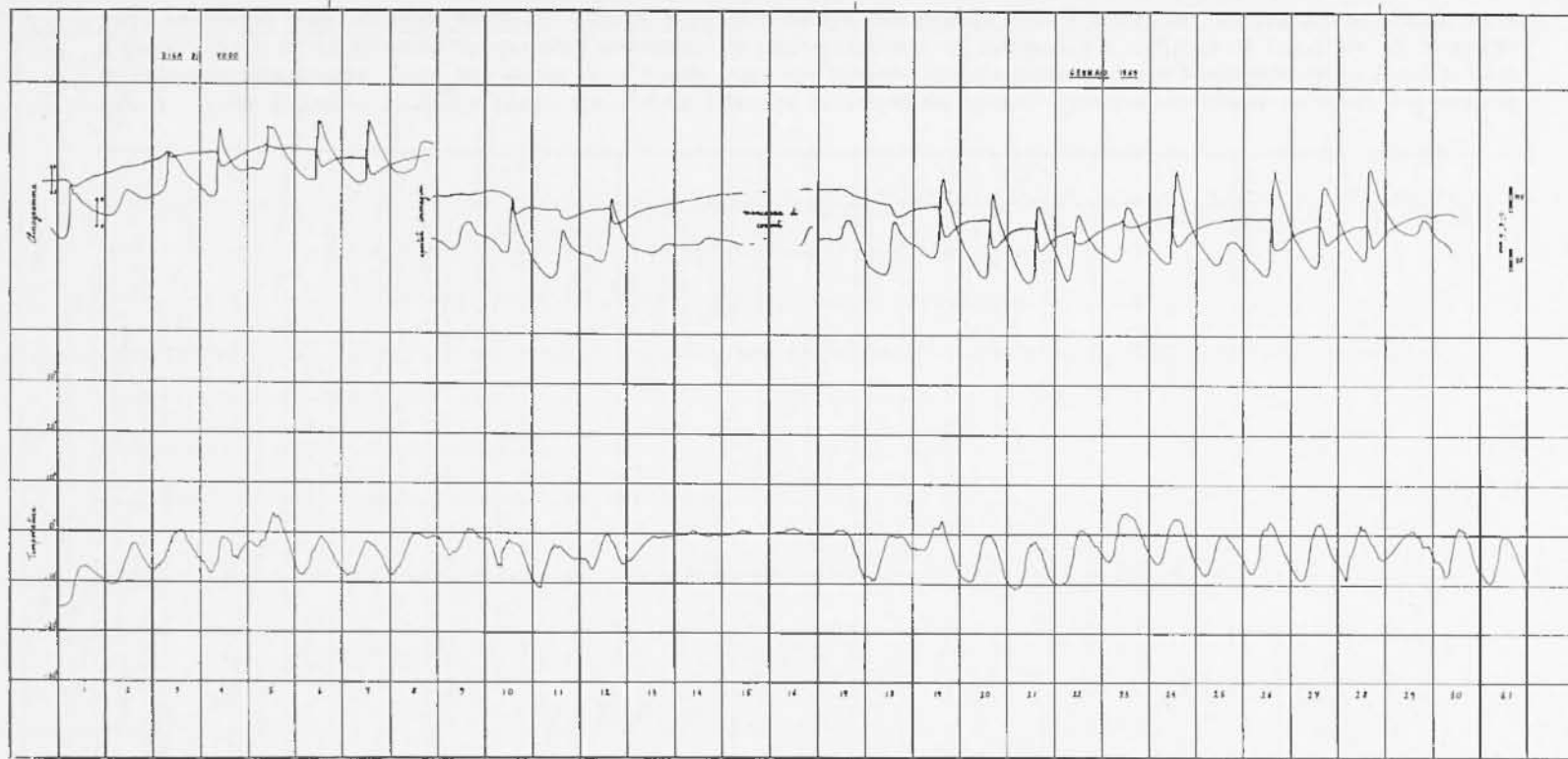


Fig. 3 - Diga di Vodo - Gennaio 1969 - L'azione dell'insolazione è evidente in entrambi i clinogrammi. La componente monte-valle rispecchia sostanzialmente l'andamento della temperatura. La componente sinistra-destra presenta onde diurne a sinistra, mentre le variazioni della temperatura media dell'aria portano la diga a destra per riscaldamento, si veda ad esempio la risposta all'aumento termico dall'1 al 5.

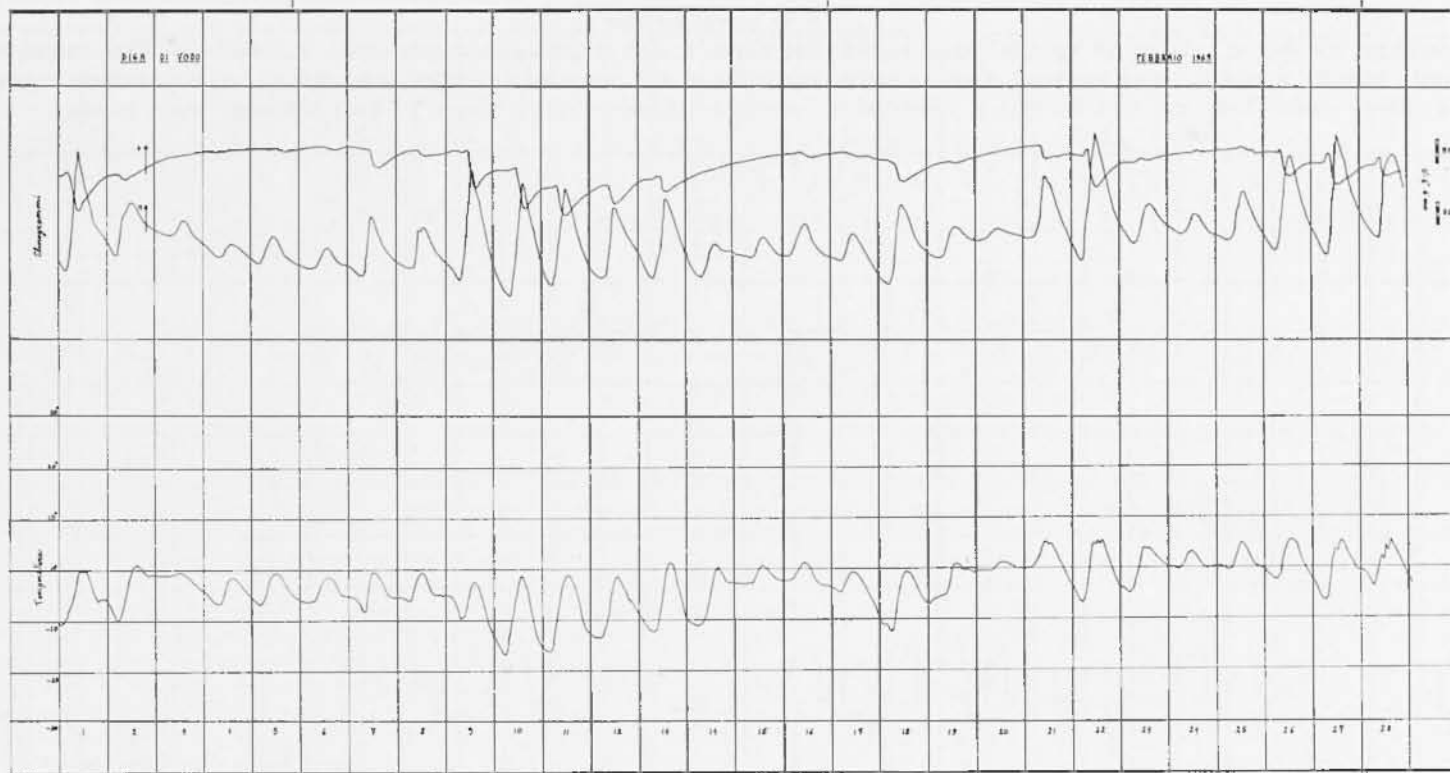


Fig. 4 - Diga di Vodo - Febbraio 1969 - Per quanto riguarda le variazioni diurne, l'insolazione agisce in modo più vistoso in direzione monte-valle. Nelle pur scarse onde diurne della componente sinistra-destra fa già la sua comparsa un picco iniziale a destra, che si andrà accentuando nei mesi successivi. Le lente variazioni di temperatura dell'aria si riflettono in analoghe lente variazioni della verticale apparente; quelle della componente monte-valle sono a monte per riscaldamento, quelle della componente sinistra-destra in corrispondenza, sono ora a destra ora a sinistra.



Fig. 5 - Diga di Vodo - Marzo 1969 - L'iniziale rotazione a destra nelle onde diurne della componente sinistra-destra è, in questo mese, ben netta. Notevole il parallelismo fra l'andamento termico e le variazioni della verticale apparente della componente monte-valle. Le variazioni a lungo periodo della componente sinistra-destra sono incerte per quanto concerne il verso.

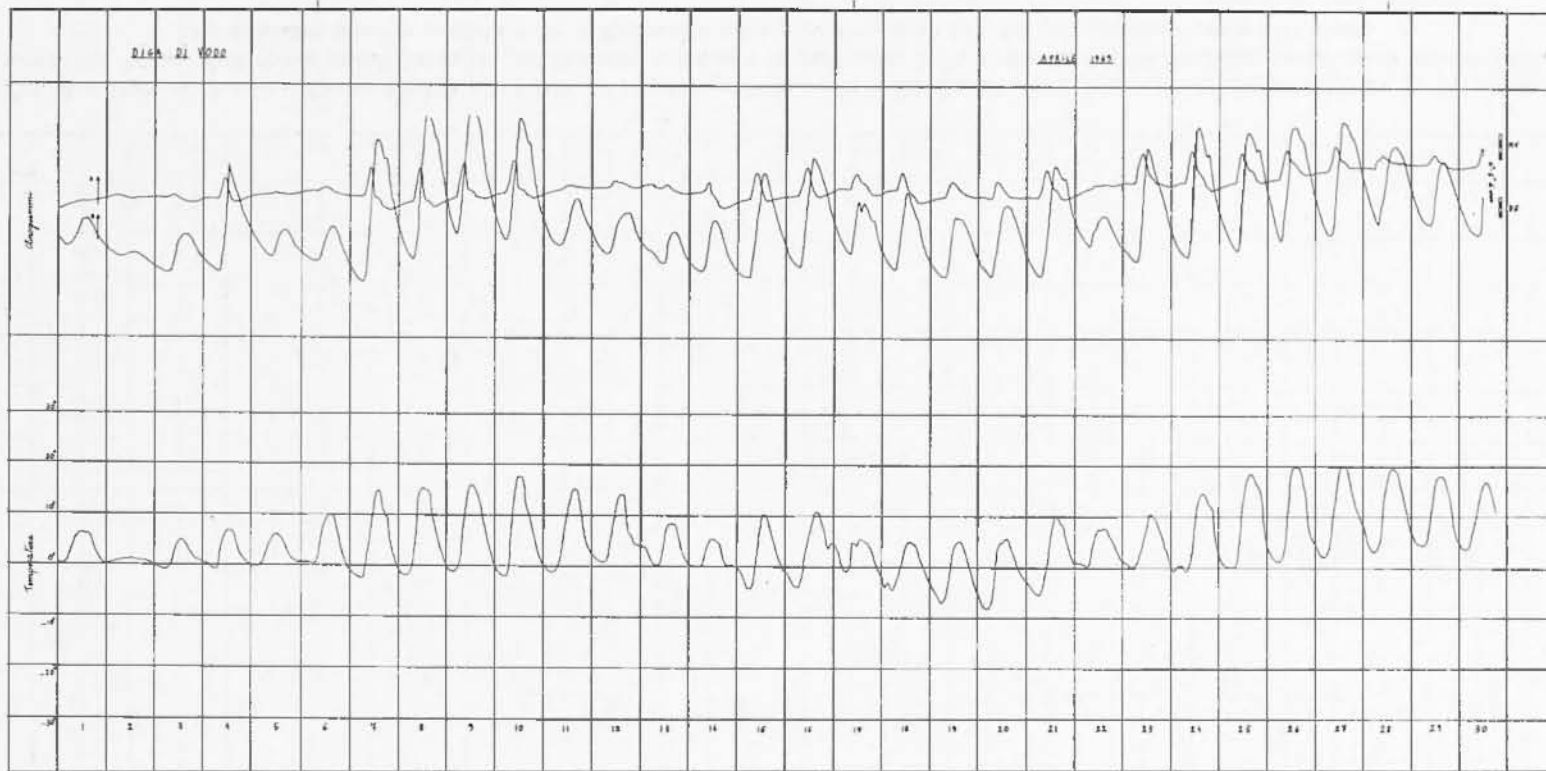


Fig. 6 - Diga di Vodo - Aprile 1969 - Le onde diurne della componente sinistra-destra cominciano a presentare una ulteriore rotazione a sinistra nelle prime ore di diminuzione termica; l'iniziale variazione dell'inclinazione a destra è vieppiù accentuata rispetto a quella del mese precedente. Il verso della risposta a lunga durata, nella componente sinistra-destra, non è legato in modo univoco alle variazioni della temperatura media.



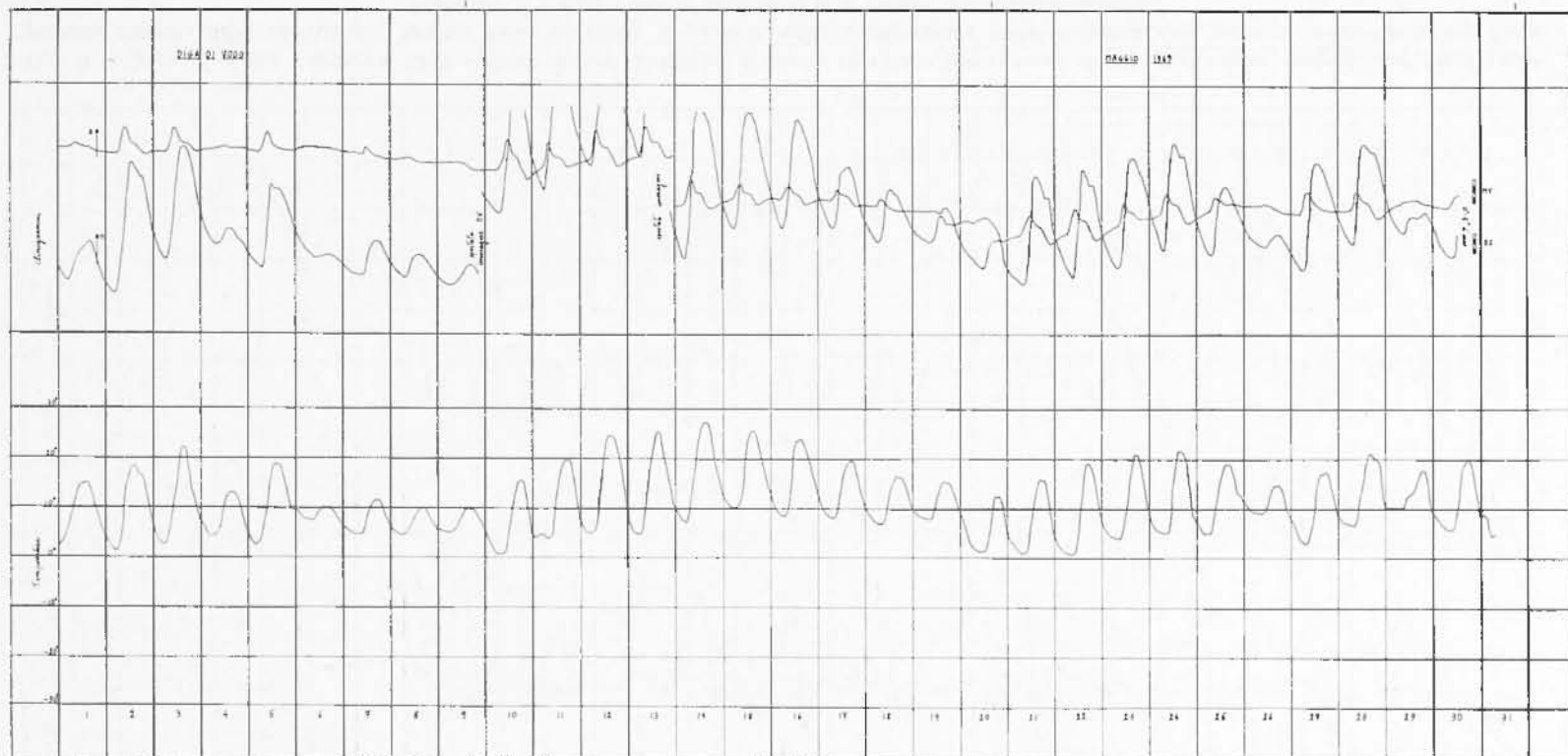


Fig. 7 - Diga di Vodo - Maggio 1969 - Presenza, nell'onda diurna della componente sinistra-destra, di un picco iniziale di rotazione a destra e di una coda a sinistra all'inizio della fase discendente della temperatura. Notte onde diurne nel clinogramma monte-valle. Contrasti accentuati in ambo le componenti dovuti alle variazioni della temperatura dell'aria, che, in questo mese, provocano variazioni d'inclinazione a destra e a monte, per riscaldamento.

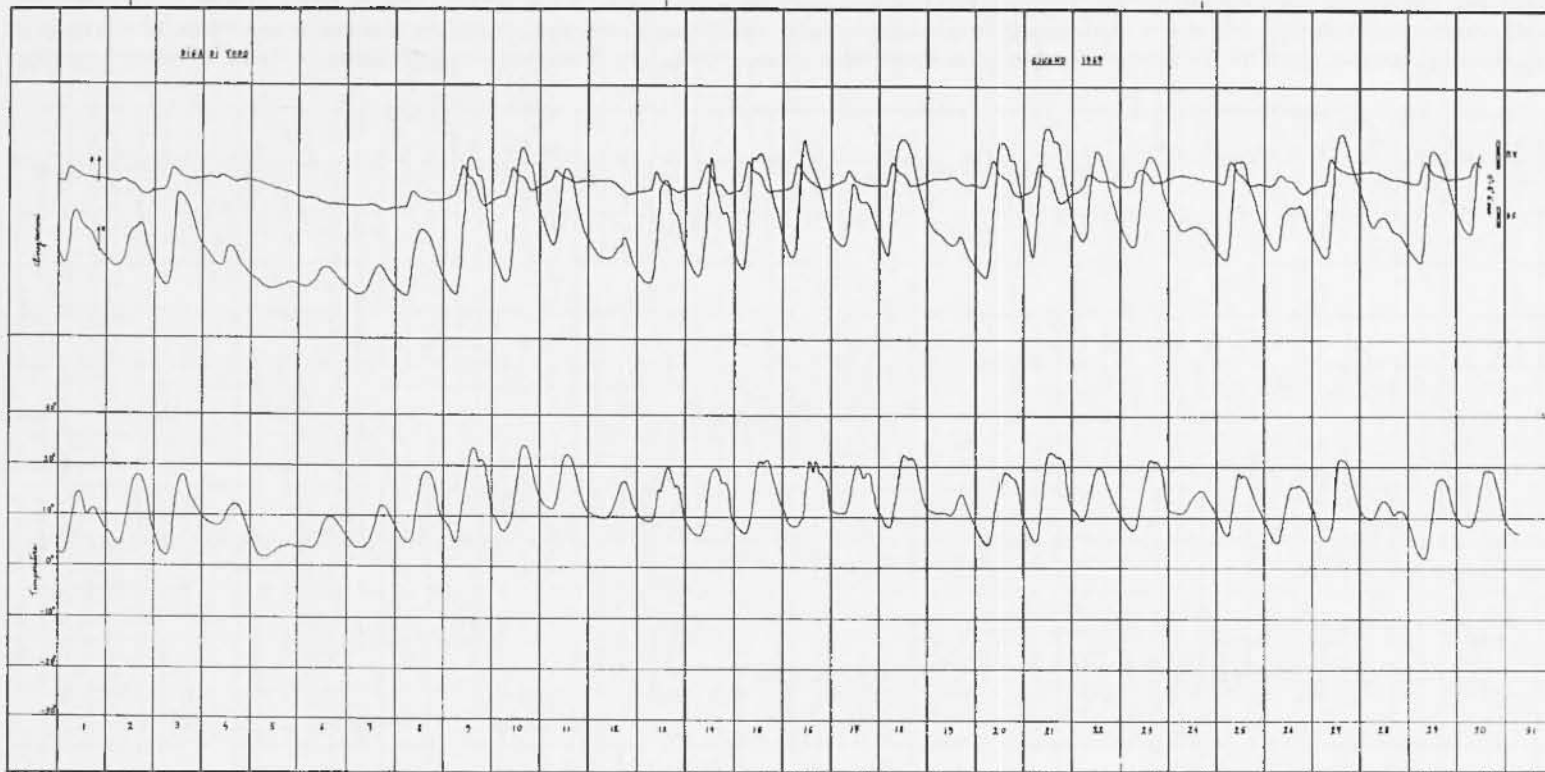


Fig. 8 - Diga di Vodo - Giugno 1969 - Osservazioni analoghe a quelle riportate per il mese di Maggio; ampie onde diurne nella componente monte-valle; oscillazioni diurne della verticale apparente nella componente sinistra-destra con picco e coda; variazioni della verticale a lungo periodo a destra e a monte per riscaldamento.



Fig. 9 - Diga di Vodo - Luglio 1969 - Le variazioni d'inclinazione a lungo periodo nella componente sinistra-destra sono generalmente a destra per riscaldamento. E anomala la situazione nei giorni 9-10. Per il resto osservazioni analoghe a quelle fatte per Giugno.

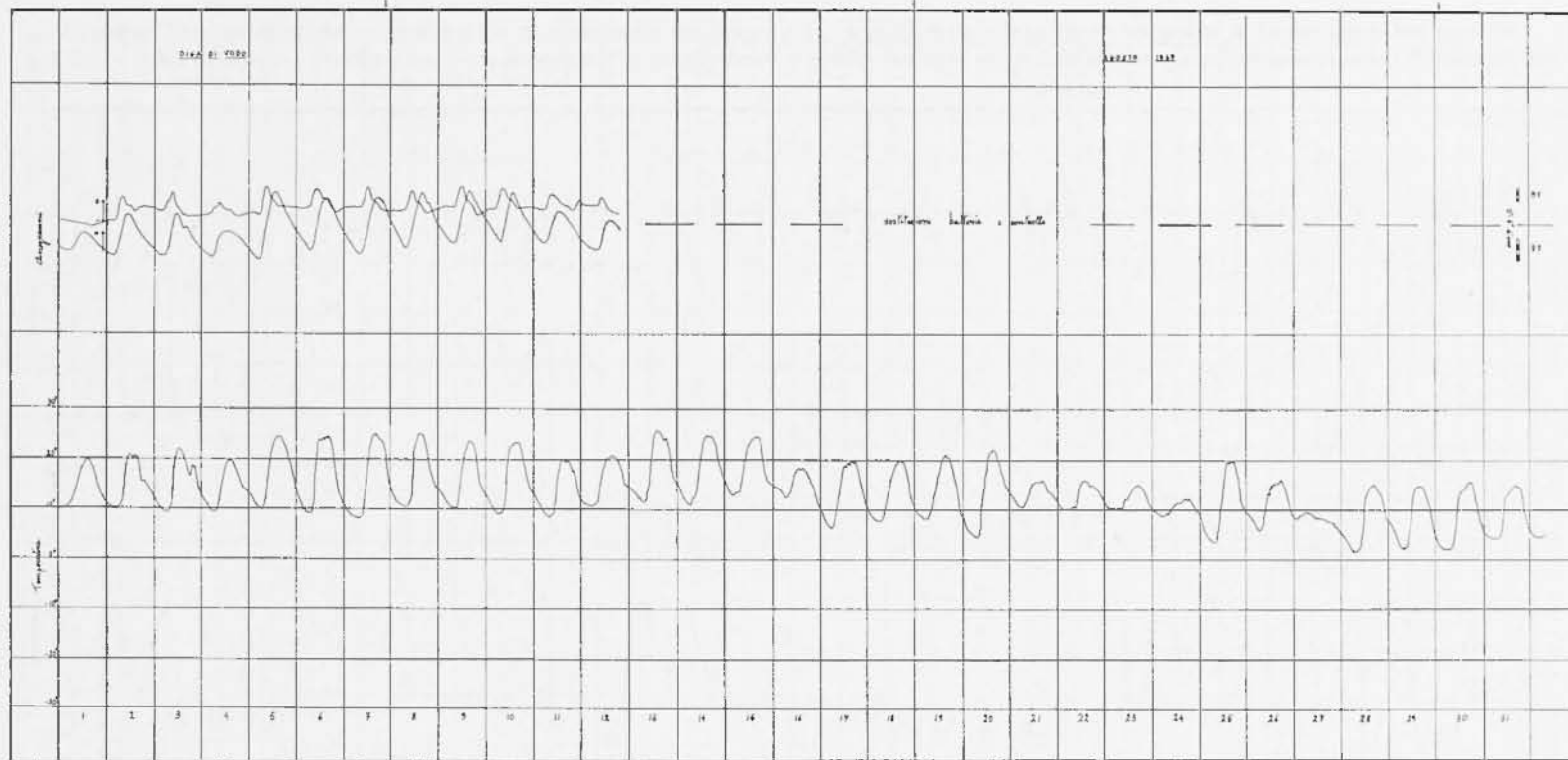


Fig. 10 - Diga di Vodo - Agosto 1969 - Scarse considerazioni data l'incompletezza dei climogrammi; le onde diurne della componente sinistra-destra presentano i caratteri in precedenza più volte rilevati; le onde diurne della componente monte-valle sono meno ampie di quelle del mese di Luglio, pur con escursioni termiche comparabili. Va però notato che la corrispondenza tra mm e secondi d'arco varia da mese a mese.

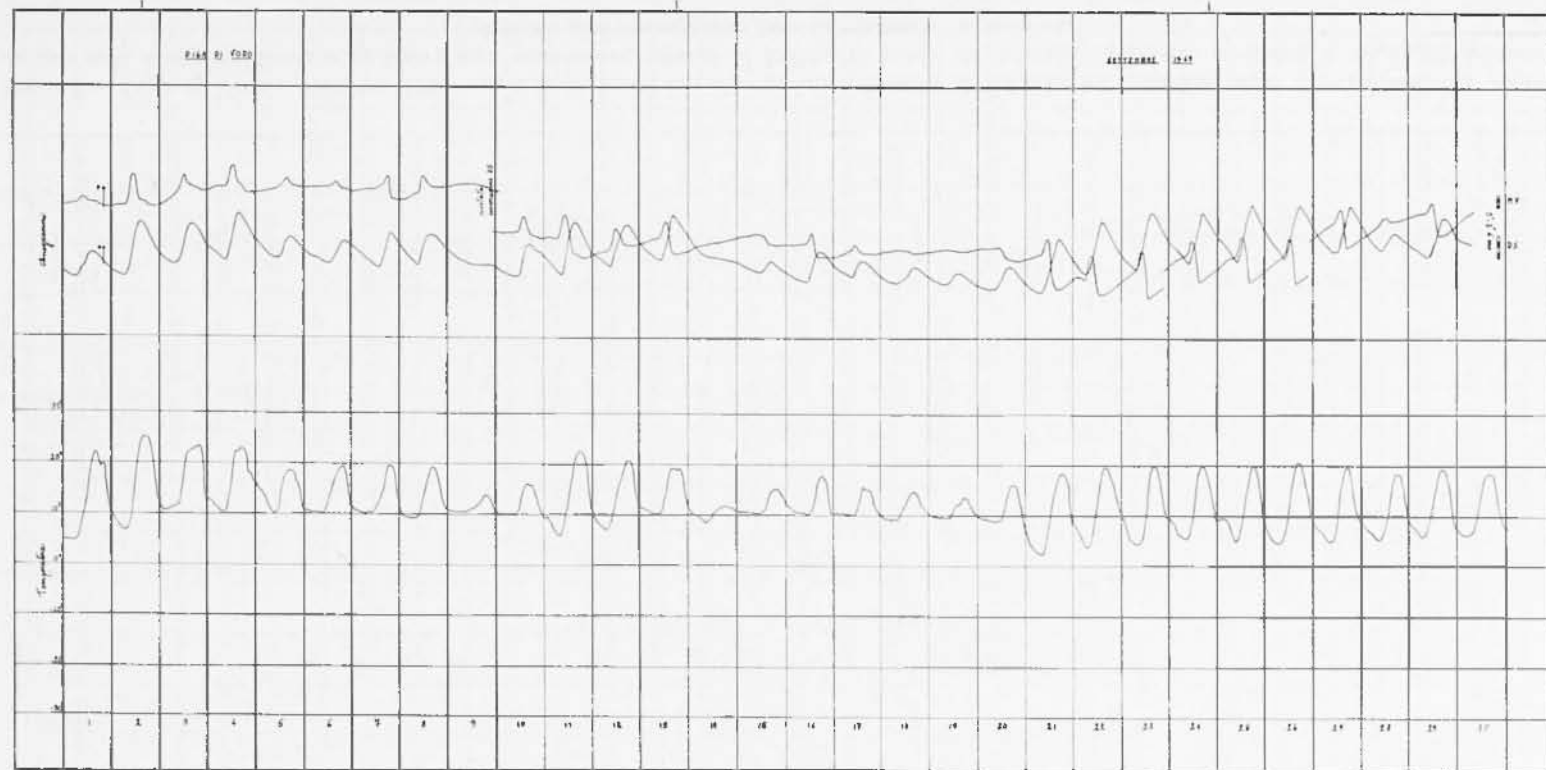


Fig. 11 - Diga di Vodo - Settembre 1969 - Le onde diurne della componente sinistra-destra, nella seconda metà del mese, non presentano più la coda; inoltre, lungo l'arco del mese, il picco iniziale di rotazione a destra va perdendo di entità. Le variazioni d'inclinazione a lunga durata sono prevalentemente a sinistra in seguito ad un riscaldamento; anomala la torsione a destra a seguito dell'aumento termico nei primi giorni del mese. La componente monte-valle si presenta, al solito, in perfetto parallelismo con l'andamento termico, sia a breve che a lungo periodo.

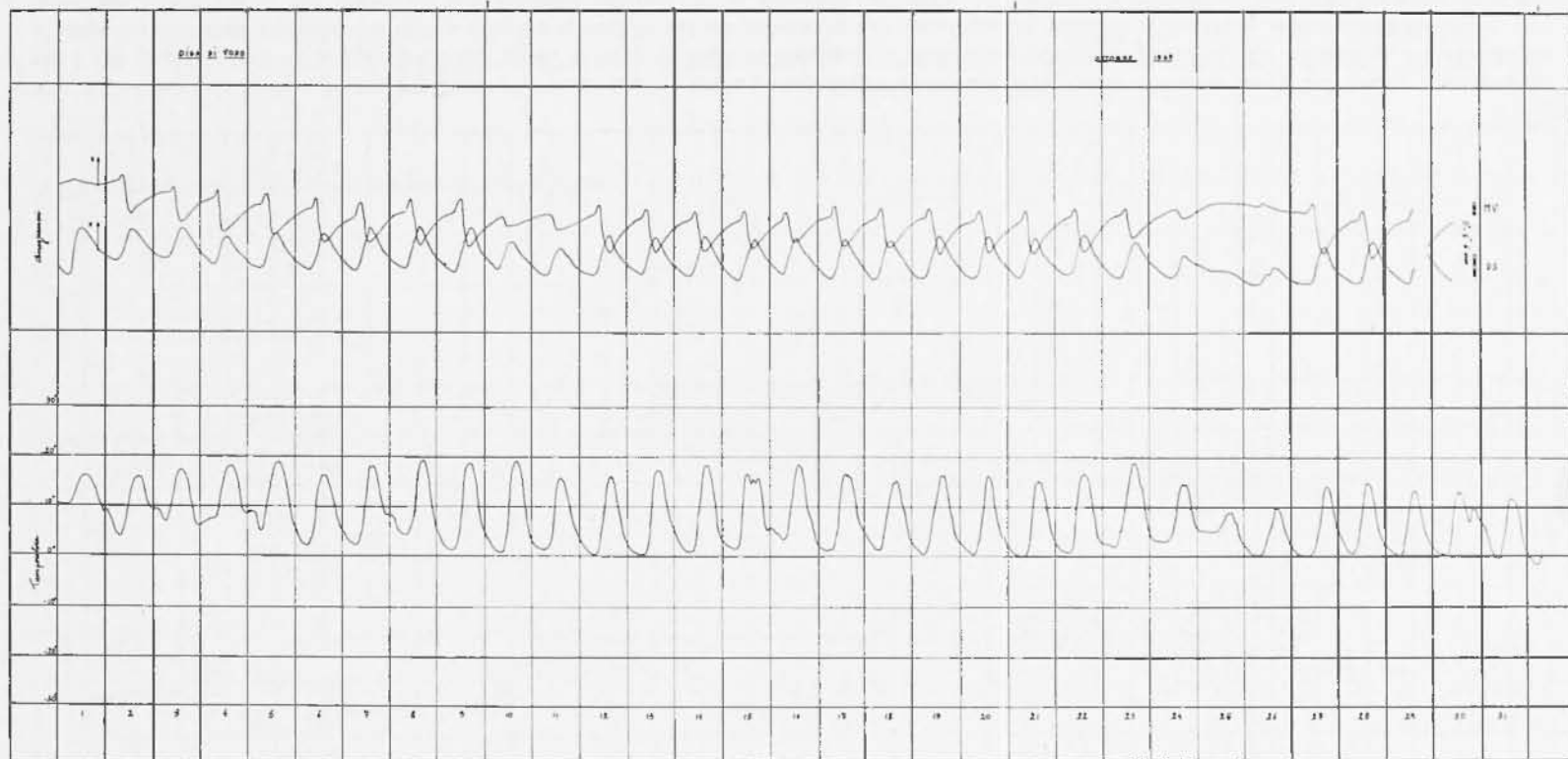


Fig. 12 - Diga di Vodo - Ottobre 1969 - Scarsi contrasti nei clinogrammi, essendo il diagramma termico poco frastagliato. Le onde diurne della componente sinistra-destra non presentano affatto la coda; il picco di iniziale rotazione a destra è alquanto piccolo rispetto alla susseguente fase di rotazione a sinistra.

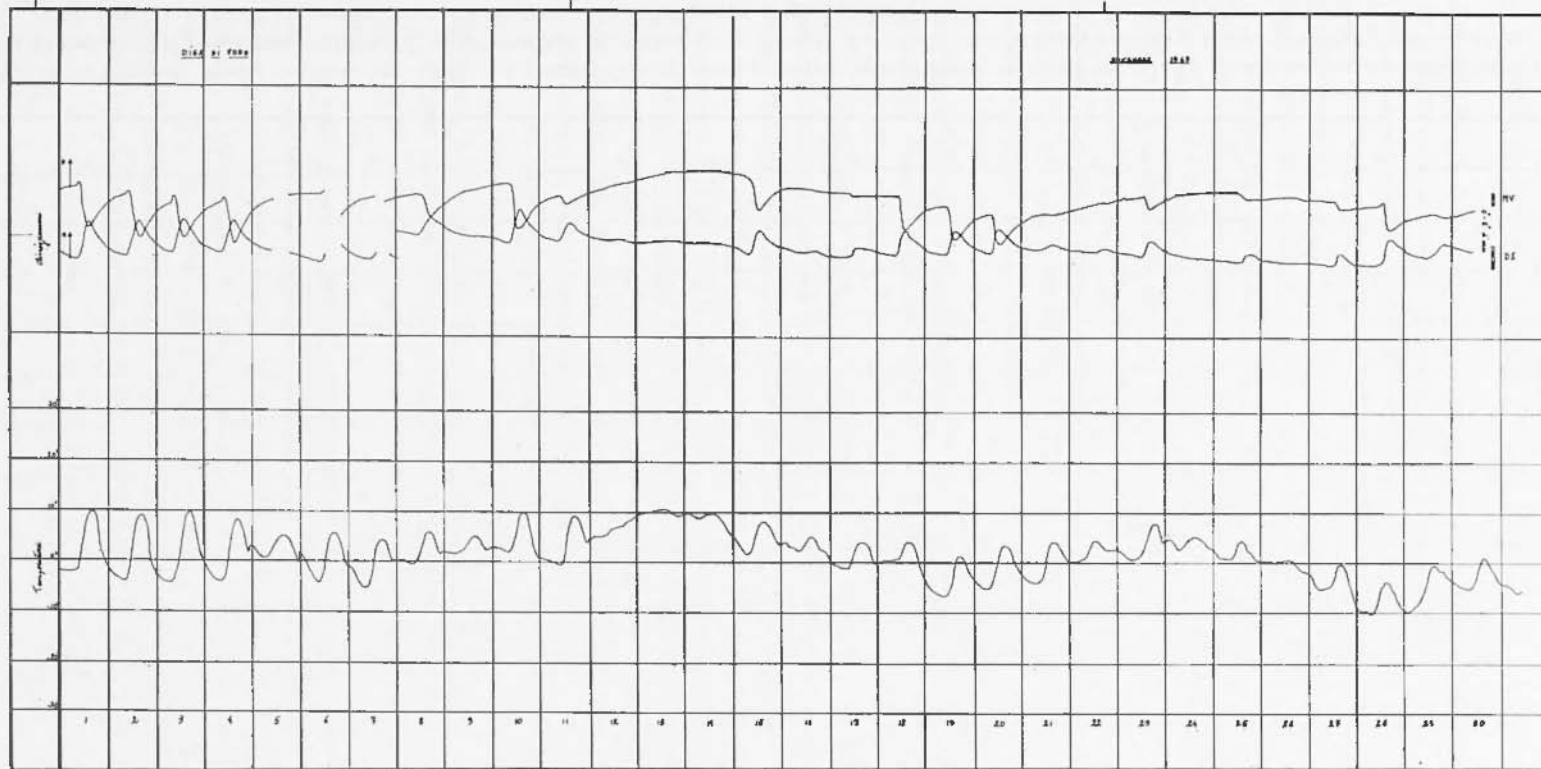


Fig. 13 - Diga di Vodo - Novembre 1969 - Le onde diurne sono presenti in modo netto, in entrambe le componenti, solo nei giorni di maggior escursione termica. L'oscillazione diurna della componente sinistra-destra, dopo i primi giorni del mese non presenta più il piccolo iniziale di rotazione a destra. Le variazioni di inclinazione a lungo periodo si presentano in modo nettamente anomalo nella componente monte-valle; si rilevano infatti flessioni a valle a seguito di un riscaldamento e a monte per raffreddamento. Nella componente sinistra-destra si hanno variazioni d'inclinazione a lungo periodo a destra per riscaldamento.

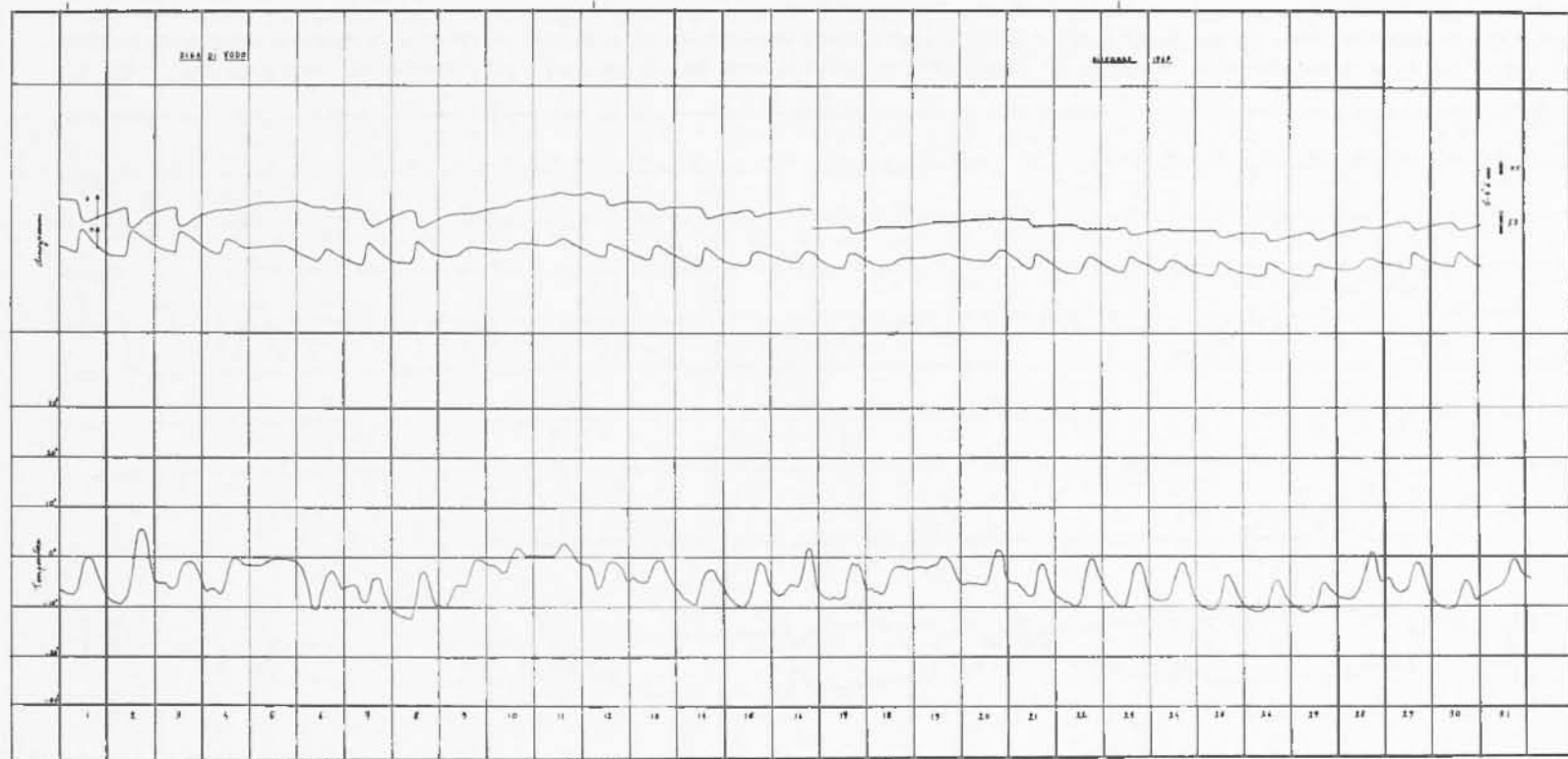


Fig. 14 - Diga di Vodo - Dicembre 1969 - Le onde diurne sono presenti in entrambe le componenti. Il clinogramma sinistra-destra non presenta nell'oscillazione diurna il picco iniziale di rotazione a destra. Le variazioni d'inclinazione a lungo periodo sono a destra e a monte per riscaldamento



durante tutto il 1969, si può infatti notare la presenza, in entrambe le componenti, di nette onde diurne, in tutti i mesi.

Le onde diurne in direzione monte-valle hanno la loro origine, come si è osservato per altre dighe, nella dilatazione e conseguente flessione verso monte dello sbarramento durante l'insolazione, il fenomeno contrario verificandosi ad insolazione ultimata.

Una particolare attenzione meritano invece le onde diurne in direzione sinistra-destra. Nei mesi di Novembre, Dicembre e Gennaio esse rivelano una flessione verso sinistra durante l'insolazione ed una conseguente a destra nella fase di raffreddamento. Da Febbraio a Ottobre fa la sua comparsa un picco, via via crescente di entità, che rivela una flessione iniziale a destra mentre da Aprile ad Agosto viene registrata vieppiù una coda, sintomo di un'ulteriore flessione a sinistra ad insolazione apparentemente ultimata.

Le risultanti del moto della diga, soggetta agli effetti dell'insolazione, illustrano ancora meglio la situazione rilevata. Si osservino gli esempi della Fig. 15. Si noterà che le ellissi che ne conseguono hanno nei mesi di Gennaio e Novembre, l'asse maggiore diretto nel primo (e terzo) quadrante, e pressochè coincidente con la diagonale del rettangolo circoscritto, che ha per dimensioni le ampiezze dei moti componenti, mentre nei mesi di Aprile e Luglio le ellissi sono riferite agli assi coordinati. Questo vuol dire che la differenza di fase delle vibrazioni componenti è circa 0 nel primo caso e circa  $\pi/2$  nel secondo. Quello che provoca il passaggio della differenza di fase dei moti componenti dal valore 0 al valore  $\pi/2$  è appunto la comparsa, nella componente sinistra destra, del picco e della coda su citati. Nei mesi di Marzo e Settembre le ellissi traiettorie sono alquanto confuse, ma mettono in evidenza pur sempre la comparsa di uno sfasamento rispetto a quelle di Gennaio e Novembre, sfasamento che è provocato dalla comparsa, nella componente sinistra destra, del solo picco.

I fatti osservati trovano una loro spiegazione rigorosa, se si tiene conto delle zone interessate dall'insolazione nelle varie ore dei diversi mesi.

Le onde diurne della componente sinistra-destra nei mesi di Novembre, Dicembre e Gennaio sono così da attribuirsi all'asimmetria dell'insolazione, insolazione che in questi mesi indugia molto a lungo sul lato sinistro della diga, anche quando il lato destro è già in ombra (la situazione è identica a quella che si manifesta, lungo l'arco dell'anno interessato dall'insolazione, presso la diga dell'Ambiesta). Si vedano gli esempi della Fig. 16. Il picco dei mesi da Febbraio ad Ottobre trova invece la

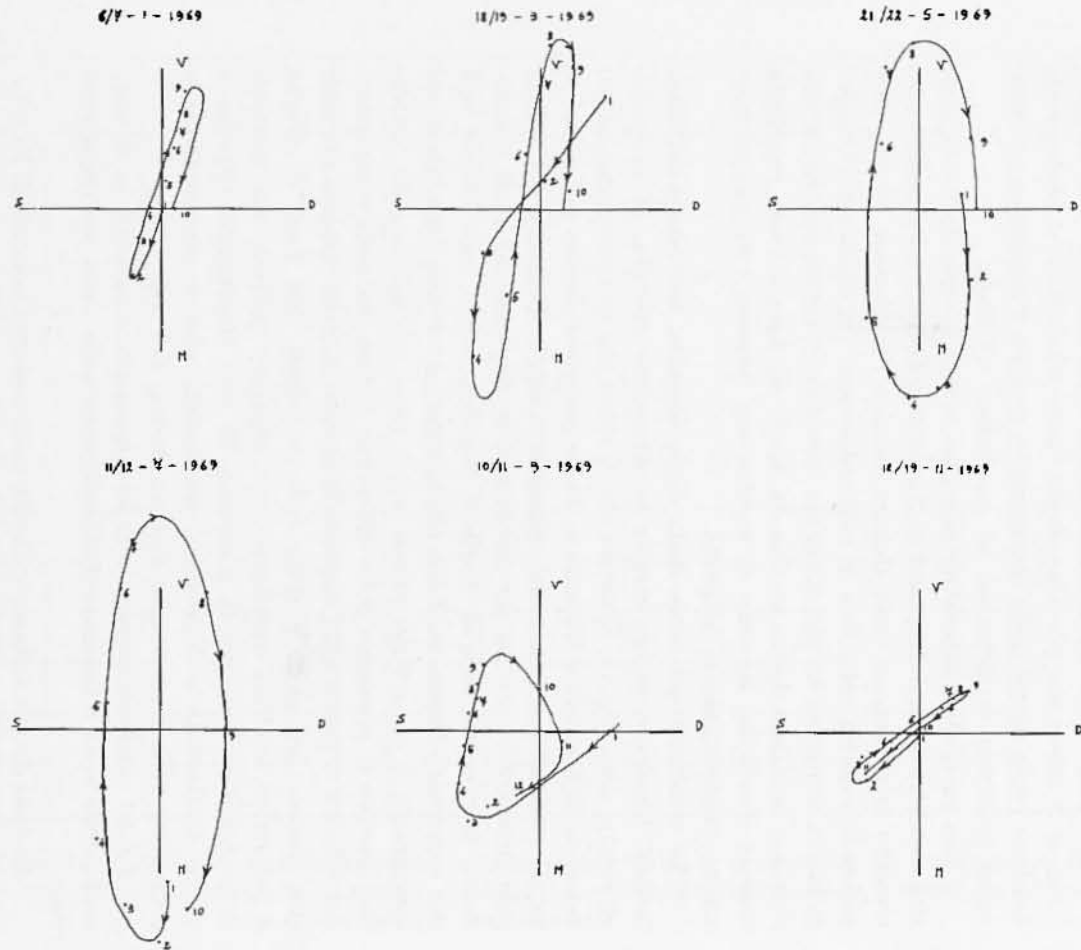


Fig. 15 - Diga di Vodo - Esempi di composizione dei movimenti diurni della diga.

sua ragion d'essere nel soffermarsi dell'insolazione, nella prime ore del giorno, sul lato destro della diga con una durata via via crescente (Fig. 17a). La dilatazione longitudinale conseguente determina la notata flessione della diga a destra.

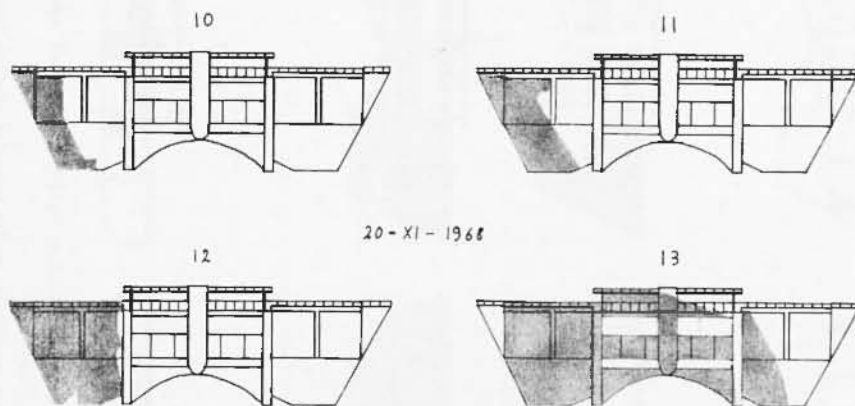


Fig. 16 - Diga di Vodo - Zone illuminate dal sole nelle ore del giorno interessato dall'insolazione (20 Novembre 1968 secondo l'autore).

Per quanto concerne la coda che appare da Aprile ad Agosto essa risulta collegata a quanto segue: l'insolazione, in questi mesi, inverte il suo raggio d'azione durante il giorno, l'insolazione passa cioè dalla parte della diga rivolta a valle alla parte della diga rivolta a monte. Essa indugia però sempre sul lato sinistro, come si può rilevare dagli esempi della Fig. 17b. Al momento dell'inversione suddetta inizia una ulteriore flessione a sinistra della diga, rappresentata dalla coda, che termina ad insolazione ultimata.

Si noti che quando l'insolazione passa a monte, si ha un ulteriore contributo alla flessione a valle della diga, oltre a quello causato dalla contrazione del calcestruzzo della parete a valle dello sbarramento.

E passiamo all'ultimo punto.

Le variazioni di temperatura media lungo l'arco di un mese sono causa di micromovimenti della diga. Un aumento di temperatura media determina flessioni lunghe della diga verso monte.

Caratteristico è inoltre il comportamento della componente sinistra-destra, in cui a seguito di un aumento termico si registrano flessioni lunghe, ora a destra ora a sinistra. Un attento esame chiarisce la situazione messa ora in evidenza.

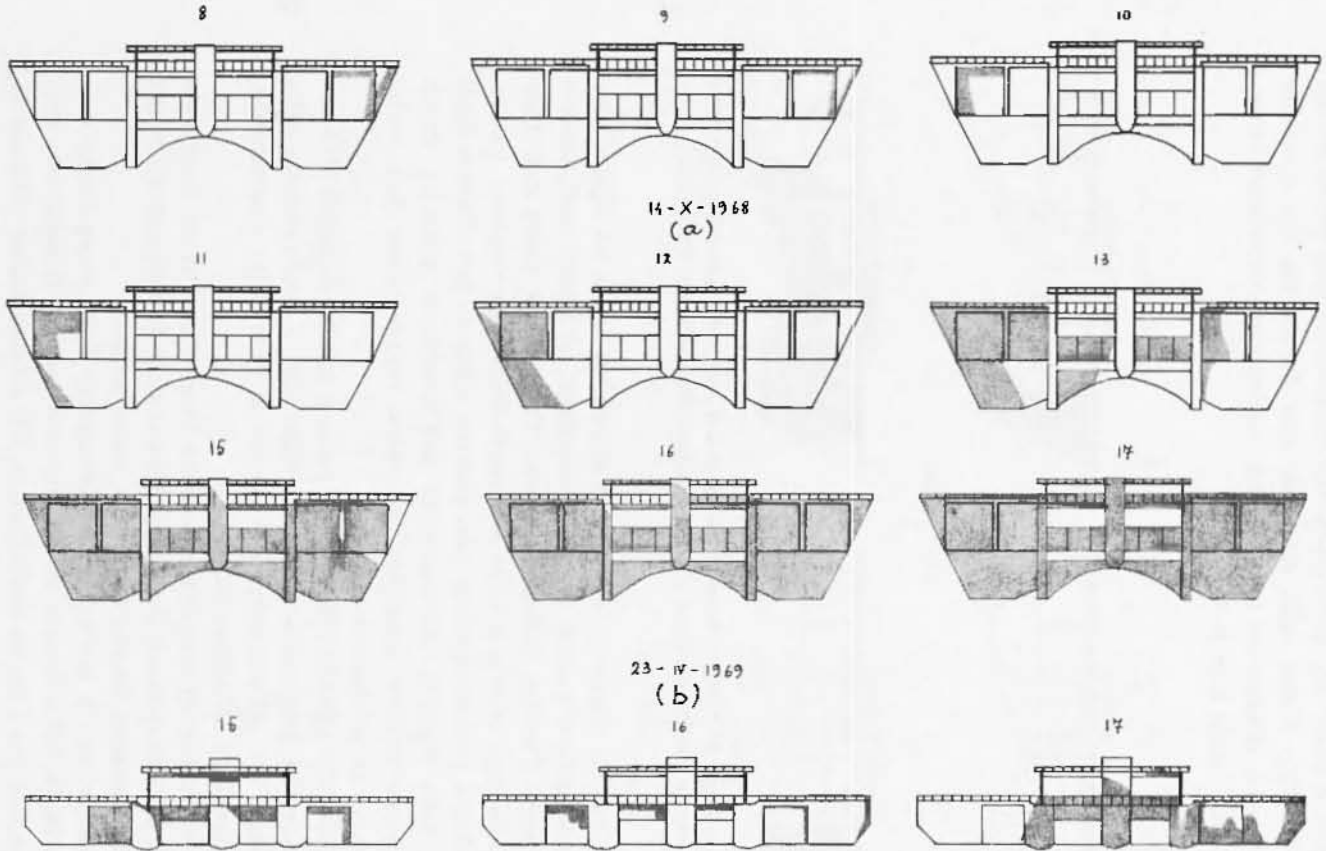


Fig. 17a - Diga di Vodo - Zone illuminate dal sole nelle ore del giorno interessate dall'insolazione (14 Ottobre 1968 secondo l'autore).

Fig. 17b - Diga di Vodo - Zone illuminate dal sole, a valle e a monte, nelle ore del giorno interessate dall'insolazione (23 Aprile 1969 secondo l'autore).

Si osservi la Fig. 18: al riscaldamento di cui in (a), la diga risponde con una flessione totale a sinistra (b) se la giornata è limpida, mentre se il sole si offusca nel pomeriggio si ha una contrazione della sbarramento ed una flessione totale a destra (c) (mancanza della seconda coda).

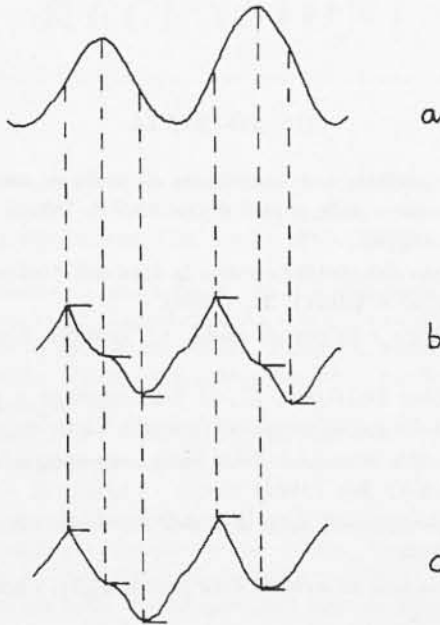


Fig. 18 - Diga di Vodo - a) esempio di aumento della temperatura media; b) risposta della componente sinistra-destra all'aumento di cui in a), nell'ipotesi (mesi da Aprile ad Agosto) che l'insolazione perduri anche quando il suo raggio d'azione passa dalla parte a monte della diga; c) risposta della componente sinistra-destra all'aumento di cui in a), nell'ipotesi che l'insolazione cessi di agire, passando a monte della diga.

La situazione illustrata non è invero generale: essa si adatta infatti ad una situazione particolare, nei mesi da Aprile ad Agosto. Ma il tipo di ragionamento è generale, nel senso che gli spostamenti a lunga durata della diga vengono ad essere legati alle condizioni meteorologiche nel corso dei giorni in cui si verificano variazioni di temperatura media; ciò spiega il singolare dualismo rilevato dai clinogrammi.

Ci si potrebbe chiedere il perché non si ha un fenomeno analogo sulla componente monte-valle. In effetti, in direzione monte-valle,

causa dei micromovimenti deve considerarsi la variazione della temperatura conseguente all'evolversi dell'insolazione, mentre in direzione sinistra-destra i contrasti che danno origine ai micromovimenti nascono dall'insolazione stessa, con la sua azione asimmetrica e questo spiega il perché solamente la componente sinistra-destra presenti delle variazioni d'inclinazione, strettamente legate al perdurare dell'insolazione durante il giorno.

#### BIBLIOGRAFIA

- CALOI P., *Come la Geofisica può contribuire ai problemi concernenti la costruzione e l'osservazione delle grandi dighe*. SADE, Ufficio Studi, « Relazione o Studi », 19, (1958).
- CALOI P., *Osservazioni clinografiche presso la diga dell'Ambiesta*. SADE, Ufficio Studi, « Relazioni o Studi », 21, (1959).
- CALOI P., *La Geofisica e le grandi dighe*. « L'Energia Elettrica », XXXIX, 1, (1962).
- CALOI P. - DE ROSSI DIAMANTI F., *Il fotoclinografo a pendolo orizzontale nella teoria e nella applicazione*. « L'energia Elettrica », XXXIII, (1956).
- CALOI P., *Aspetti della dinamica delle rocce, calcestruzzo ed acque*. « Annali di Geofisica » XV, 2-3, (1962).
- CALOI P., *Aspetti geodinamici della diga dell'Ambiesta*. « Annali di Geofisica », XVII, 2, (1964).
- CALOI P., *La geodinamica al servizio delle grandi dighe*. « Annali di Geofisica », XVII, 4, (1964).
- BIAGI P. F., *Ulteriori indagini sul comportamento geodinamico della diga dell'Ambiesta*. « Annali di Geofisica » XXII, 4, (1969).
-