

Ulteriori indagini sul comportamento geodinamico della diga dell'Ambiesta

(Further researches into the geodinamical behaviour of the dam of Ambiesta)

P. F. BIAGI

Ricevuto il 10 Gennaio 1970

SUMMARY. — The analysis of 5 years (1964-1968) of clinographic recordings obtained in the dam of the Ambiesta, right tributary of the Tagliamento, near Tolmezzo revealed new facts about the movements of the barrage: 1) The top doesn't correspond at all to the variations in the level of the hydric basin, hence the dam, according to the hydrodynamic laws, acts as an elastic medium fixed at its extremities. 2) In the months of spring and summer, the clinogram, in the shoulder-shoulder direction, at the dam altitude, presents a clear reversal of the direction according to the thermic effect. We can explain this reversal by observing that the asymmetry of the insolation, at the tampon altitude and at the top altitude, varies in quantity in inverse proportion. 3) From March to August, in the mountain-valley direction the amplitudes of the displacements, depending on the variations of atmospheric temperature and insolation, show a characteristic reversal at the dam altitude and at the tampon altitude.

We can certainly attribute the causes to the different direction of incidence of light rays and we indicate two hypotheses which could be the cause.

RIASSUNTO. — L'esame di 5 anni (1964-1968) di registrazioni clinografiche ottenute presso la diga dell'Ambiesta, affluente di destra del Tagliamento, presso Tolmezzo, ha messo in luce i seguenti fatti nuovi, nell'ambito dei micromovimenti dello sbarramento: 1) Il coronamento non risponde quasi affatto alle variazioni di livello del bacino idrico, per cui la diga, in accordo con le leggi dell'idrodinamica si comporta come un mezzo elastico vincolato ai due estremi. 2) Nei mesi estivi e primaverili, il clinogramma, in direzione spalla-spalla, alla quota diga presenta una netta inversione in direzione rispetto all'effetto termico. La spiegazione che se ne dà è legata all'osservazione che l'asimmetria dell'insolazione alle quote tampone e coronamento varia d'entità in modo opposto. 3) In direzione monte-valle, le ampiezze degli spostamenti, legati alle variazioni della temperatura dell'aria

e dell'insolazione, presentano una caratteristica inversione, alle quote diga e tampono, dal mese di Marzo al mese di Agosto.

Si rileva come le cause sono senz'altro da attribuirsi alla diversa direzione d'incidenza dei raggi luminosi e si accenna a due ipotesi che ne potrebbero essere causa.

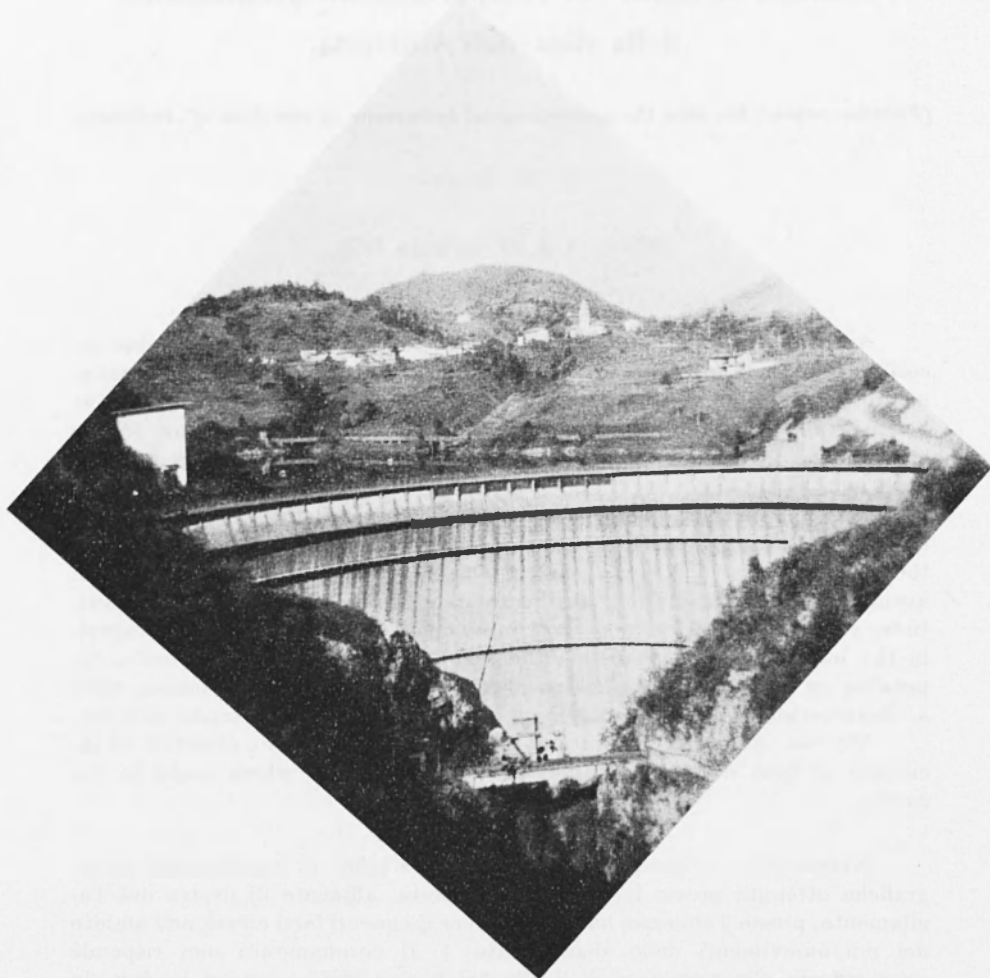


Fig. 1 - Diga dell'Ambiesta, vista da valle.

È stato preso in esame un periodo di cinque anni (1964-1968) di registrazioni clinografiche, ottenute nel conoio centrale della Diga dell'Ambiesta, affluente di destra del Tagliamento, presso Tolmezzo.

In questa diga sono in funzione tre coppie di clinografi: due sono a distanza minore di 1 metro, una sulla verticale dell'altra; senonché mentre una è solidale con la base del concio centrale, l'altra poggia sul tampone (Fig. 2); la terza è sistemata nel cunicolo sottostante il coronamento, in corrispondenza della luce centrale del ponte.

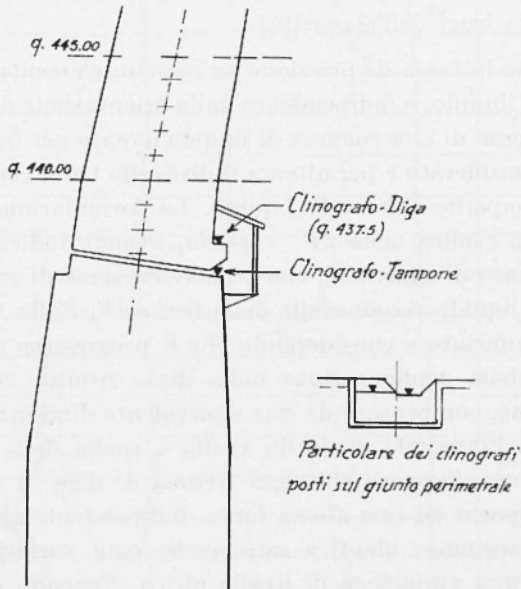


Fig. 2 - Diga dell'Ambiesta: sezione di parte del concio centrale, con postazione del clinografo-diga (q. 437,5) e del clinografo-tampone.

L'interpretazione dei clinogrammi ha esaurientemente chiarito gli aspetti dinamici fondamentali, altrove già esaminati per sommi capi, che caratterizzano un anno normale di interazione fra lo sbarramento e le cause perturbanti, cioè le variazioni di livello del bacino idrico (invaso), la temperatura dell'aria e l'insolazione.

Per quanto concerne gli aspetti dinamici legati alle azioni provenienti dalle variazioni dell'invaso, i risultati raggiunti si possono riassumere come segue: l'effetto delle variazioni dell'invaso, che agiscono esclusivamente in direzione monte-valle, si manifesta dal coronamento alla base della diga, come se il mezzo fosse elastico. Più particolar-

mente l'azione flettente dell'invaso (variazioni di vaso) risulta praticamente nulla al coronamento e alla base della diga, raggiunge la sua maggiore entità alla base dei conci, dove questi confinano col tampone, per diminuire 1 metro sotto di circa il 20%.

Mi limito a riportare gli esempi delle Figure da 3 a 6.

L'interpretazione di questi risultati è legata ai principi della statica dei fluidi e alle leggi dell'elasticità.

È noto che la forza di pressione su ciascun elemento di superficie immerso in un liquido, è indipendente dalla orientazione della superficie ed è data dal peso di una colonna di liquido avente per base l'elemento di superficie considerato e per altezza il dislivello tra il centro di questa superficie e la superficie libera del liquido. La formulazione matematica del principio si esplica nella $dF = \rho g h d\sigma$, avendo indicato con $d\sigma$ il generico elemento di superficie, con g l'accelerazione di gravità e con ρ la densità del liquido responsabile della forza dF . Sulla base del principio dianzi enunciato e considerando che il progressivo aumento di h , tenuto conto della configurazione della diga, risulta, con sufficiente approssimazione, compensato da una equivalente diminuzione della superficie σ (σ è l'integrale di $d\sigma$ da spalla a spalla della diga ad uno stesso h), si può affermare che ogni striscia di diga di altezza infinitesima è sottoposta ad una stessa forza, indipendentemente dalla sua quota. Di conseguenza identica sarà anche ogni variazione di forza, provocata da una variazione di livello idrico. Tenendo ora conto del fatto che il tampone per le sue fondamenta ed il coronamento per uno speciale rinforzo di costruzione possono ritenersi come vincolati e se si ricorda l'esistenza della superficie di discontinuità fra la base dei conci ed il tampone, appare chiaro come il nostro problema si possa ricondurre allo studio delle reazioni elastiche di una sbarra vincolata ad un estremo, soggetta ad una forza flettente costante in ogni punto. È ora noto che una tal sbarra, per l'effetto dei momenti della forza agente, che raggiungono la loro maggiore entità all'estremo libero, si inflette di entità progressivamente crescenti verso questo estremo. Se ora si considera che le due sbarre, che corrispondono nella nostra schematizzazione alla diga, sono una più lunga e l'altra più corta (la prima rappresenta infatti la porzione di diga che va dal coronamento alla base dei conci e la seconda corrisponde al tampone) appare chiaro il comportamento osservato e cioè che la diga presenta l'elongazione di risposta maggiore a quota diga, una minore a quota tampone ed una pressochè nulla alla quota coronamento (e alla quota zero). Si po-

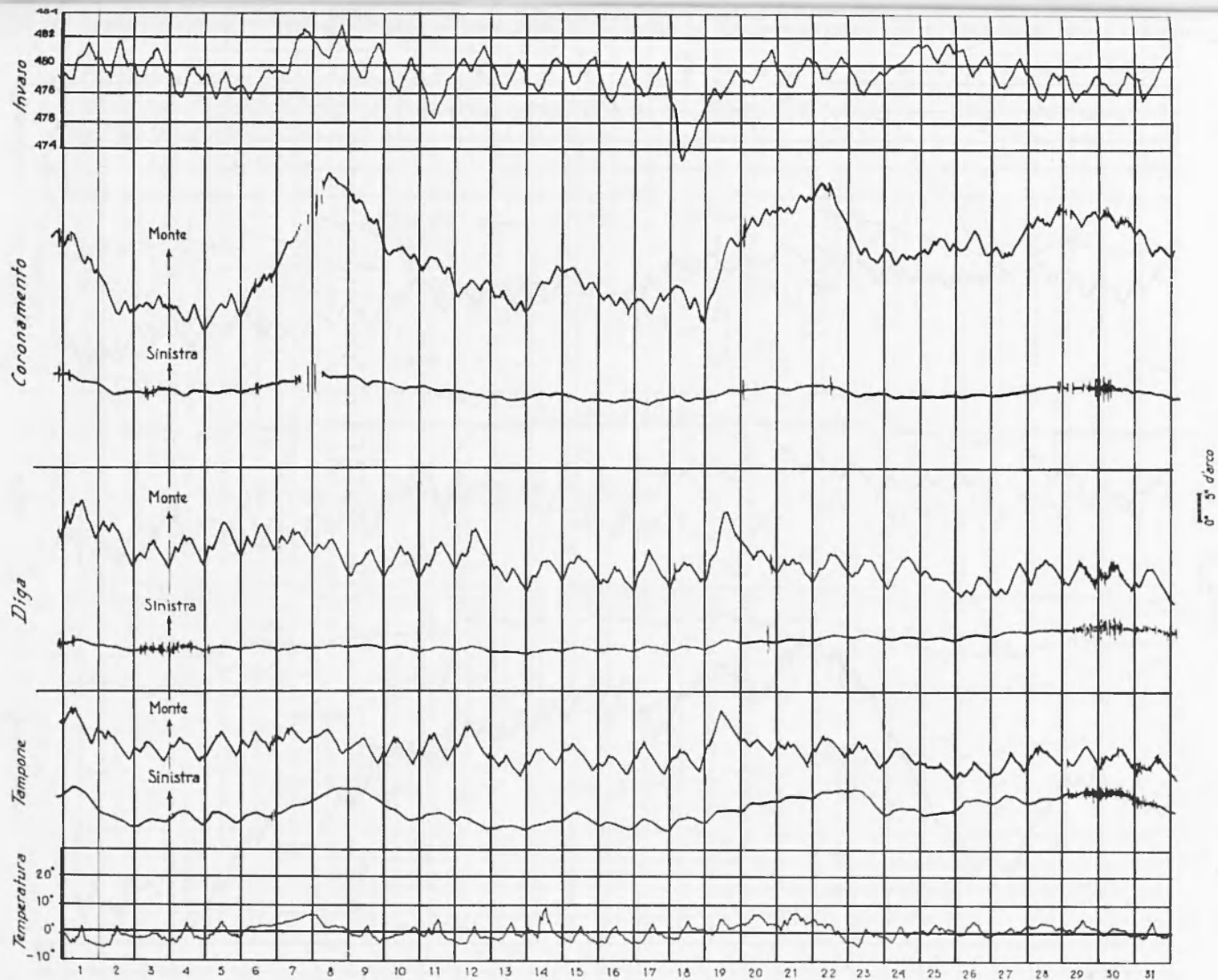


Fig. 3 - Diga Ambiesta - Dicembre 1965 - Alla base del concio centrale (q 437) e alla quota tampone (un metro sotto) si rileva una fedele corrispondenza fra andamento dell'invaso e componente clinografica valle-monte, con sollecitazioni maggiori, seppur di poco, alla quota superiore. Sulla componente clinografica valle-monte della quota coronamento, l'azione dell'invaso appare trascurabile; risulta invece sensibile l'azione della temperatura dell'aria sia giornalmente che a lunga durata. Il diagramma dell'invaso è da vedersi spostato tutto a destra del lettore di circa un giorno.

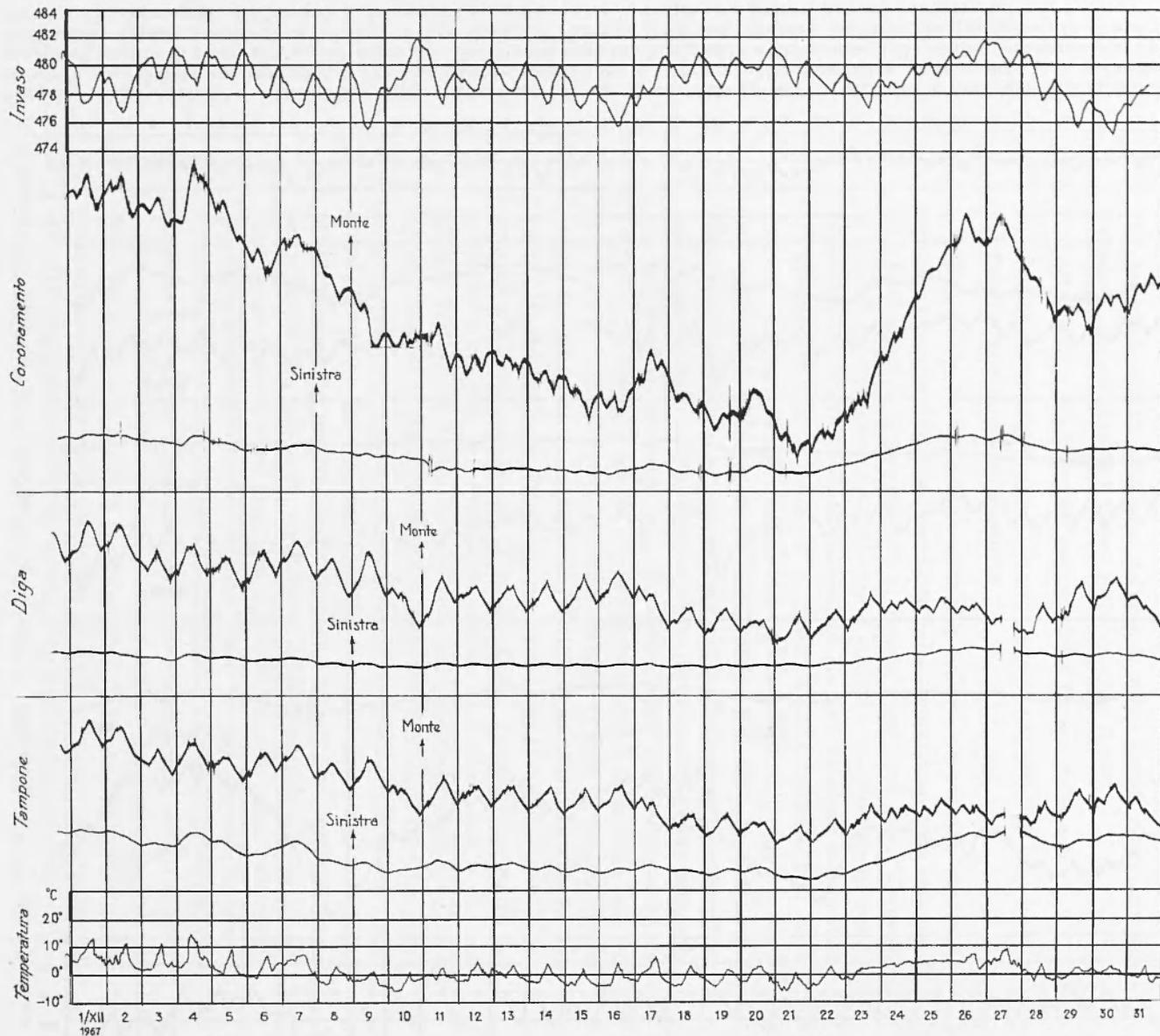


Fig. 4 - Diga Ambiesta - Dicembre 1967 - Osservazioni analoghe a quelle riportate per il Dicembre 1965: variazioni della verticale sulla componente valle-monte a quota 437 e 436, particolarmente legate all'invaso e lievemente accentuate alla quota superiore - azione prevalente della temperatura sulla stessa componente alla quota coronamento.

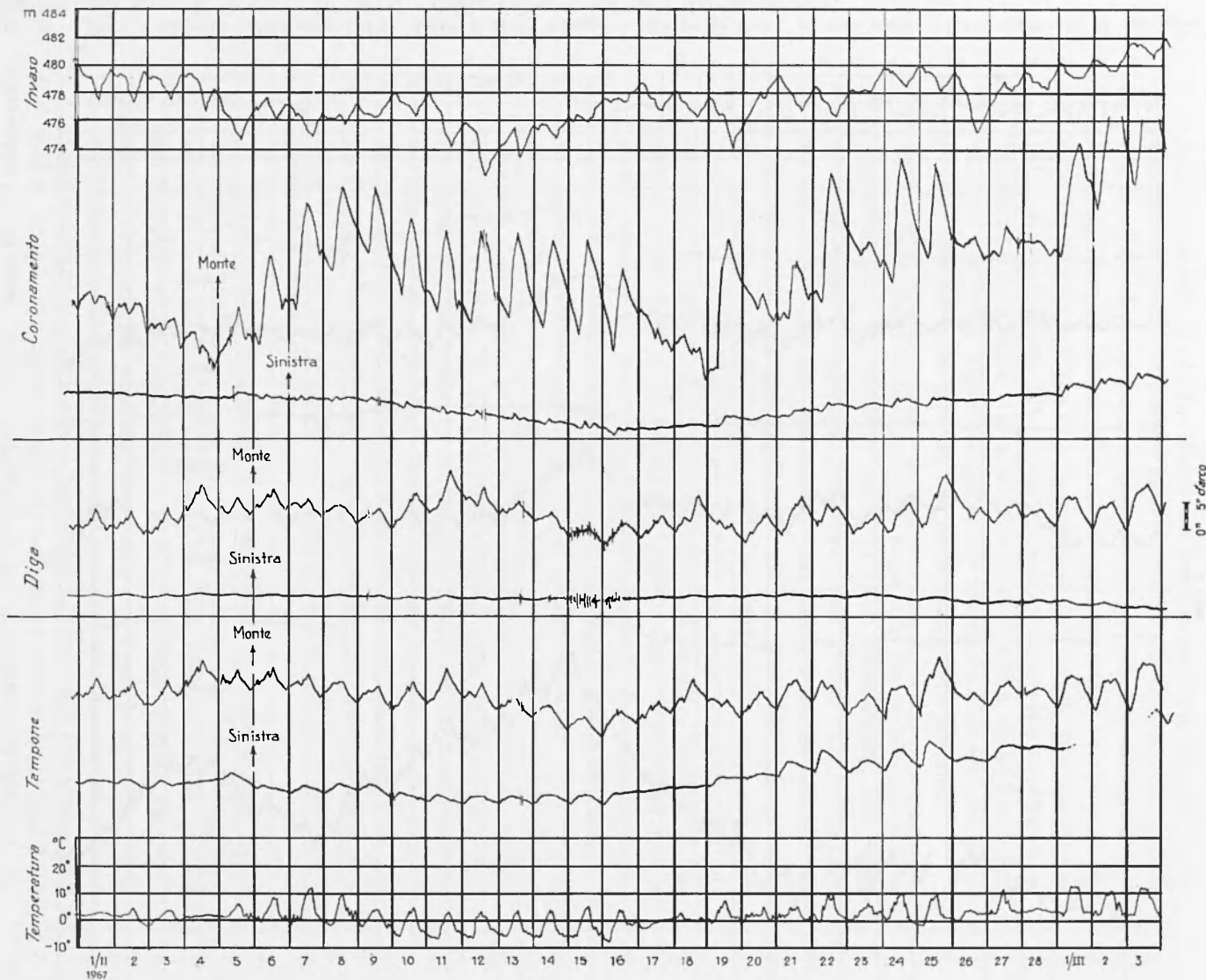


Fig. 5 - Diga Ambiesta - Febbraio 1967 - Quello che si è detto per gli esempi precedenti vale sostanzialmente anche qui. Si noti l'insorgere di ampie onde diurne nella componente valle-monte del coronamento, con l'apparire di escursioni termiche sufficientemente forti. Il diagramma è da vedersi spostato tutto a sinistra del lettore di circa un giorno.

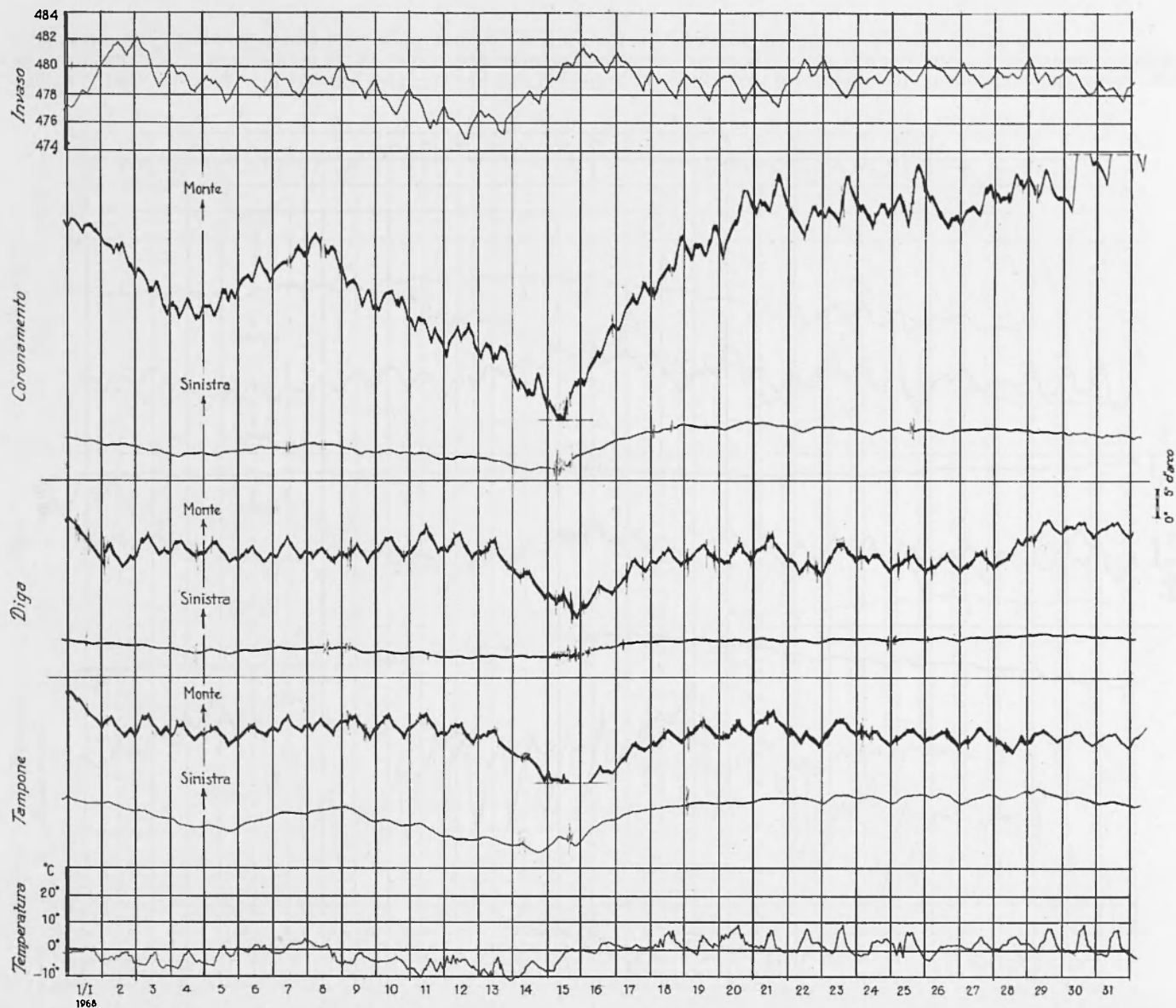


Fig. 6 - Diga Ambiesta - Gennaio 1968 - Osservazioni analoghe alle precedenti. Si noti come i fatti osservati si rendono manifesti nel mese di Gennaio, in cui si annulla l'effetto dell'onda diurna termica.

trebbe obiettare che le due sbarre che rappresentano la diga non hanno un estremo libero, in quanto la superficie di discontinuità fra la base dei conci ed il tampone non può essere considerata libera. Il vero è che la forza di attrito che contrasta la massima elongazione alla base dei conci e la forza di trascinamento che esalta, in egual misura, l'elongazione massima alla quota tampone, forze che risultano vitali per l'indennità della diga stessa, diminuiscono l'entità della diversità di reazione alle quote diga e tampone, alle variazioni d'invaso, ma niente tolgono alla teoria su esposta, che resta valida nella sostanza.

In precedenti pubblicazioni è stato riferito, a più riprese, sul comportamento del tampone nella direzione spalla-spalla, alle azioni termiche diurne e stagionali. In questa sede ritengo utile soffermarmi sul comportamento dell'intero sbarramento alle azioni termiche diurne e mensili, nella direzione spalla-spalla. Se si osservano i clinogrammi delle Figure da 7 a 11, essi indicano chiaramente che, alle quote tampone e coronamento, l'azione della temperatura dell'aria riesce massima, in fase positiva, sul lato sinistro della diga, mentre, in fase negativa, la verticale apparente si sposta verso destra. Sin qui la novità consiste nell'aver messo esplicitamente in luce che il coronamento ha un comportamento del tutto analogo a quello del tampone, per quanto concerne la risposta alle azioni termiche in direzione spalla-spalla. Il fatto veramente nuovo risiede però nella circostanza che alla quota diga, cioè alla base dei conci, la situazione appare del tutto invertita: in altri termini l'azione della temperatura riesce massima, in fase positiva, sul lato di destra ed, in fase negativa, sul lato sinistro della diga. Questo vale per i mesi in cui l'azione dell'insolazione riesce sufficientemente efficace. Nei mesi invernali alla quota diga non si rilevano variazioni della verticale apparente o si riscontrano piccole inclinazioni, concordi con quelle della quota tampone e coronamento.

Si può rendere ragione dei fatti osservati, se si ammette che l'azione asimmetrica dell'insolazione, che è notoriamente la causa degli spostamenti in direzione spalla-spalla, agisca con efficacia esclusivamente sul tampone e sul coronamento e se si tiene conto inoltre del fatto che detta azione, nei mesi estivi e primaverili, è particolarmente attiva sul tampone ed in misura minore sul coronamento, mentre nei restanti mesi dell'anno la sua entità è pressoché la stessa alle due quote, con punte maggiori al coronamento. Si vedano gli esempi delle Fig. 12 e 13. In tal modo i conci della diga sono stimolati, agli estremi, da

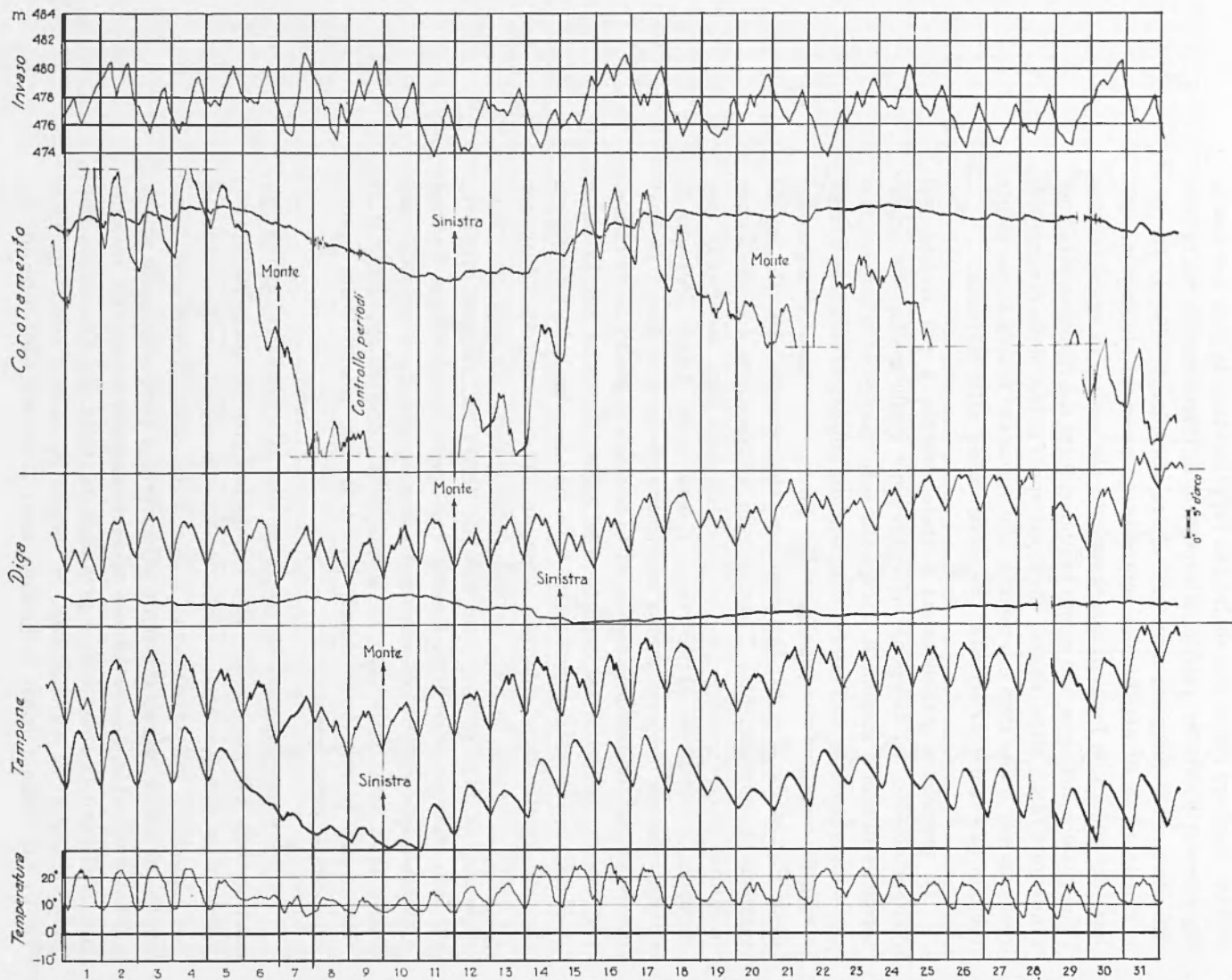


Fig. 7 - Diga Ambiesta - Maggio 1966 - Lungo l'arco del mese le componenti spalla-spalla a quota tampone e coronamento rispecchiano, sostanzialmente, l'andamento della temperatura media dell'aria, mentre la componente a quota diga rivela un netto andamento in opposizione di fase.

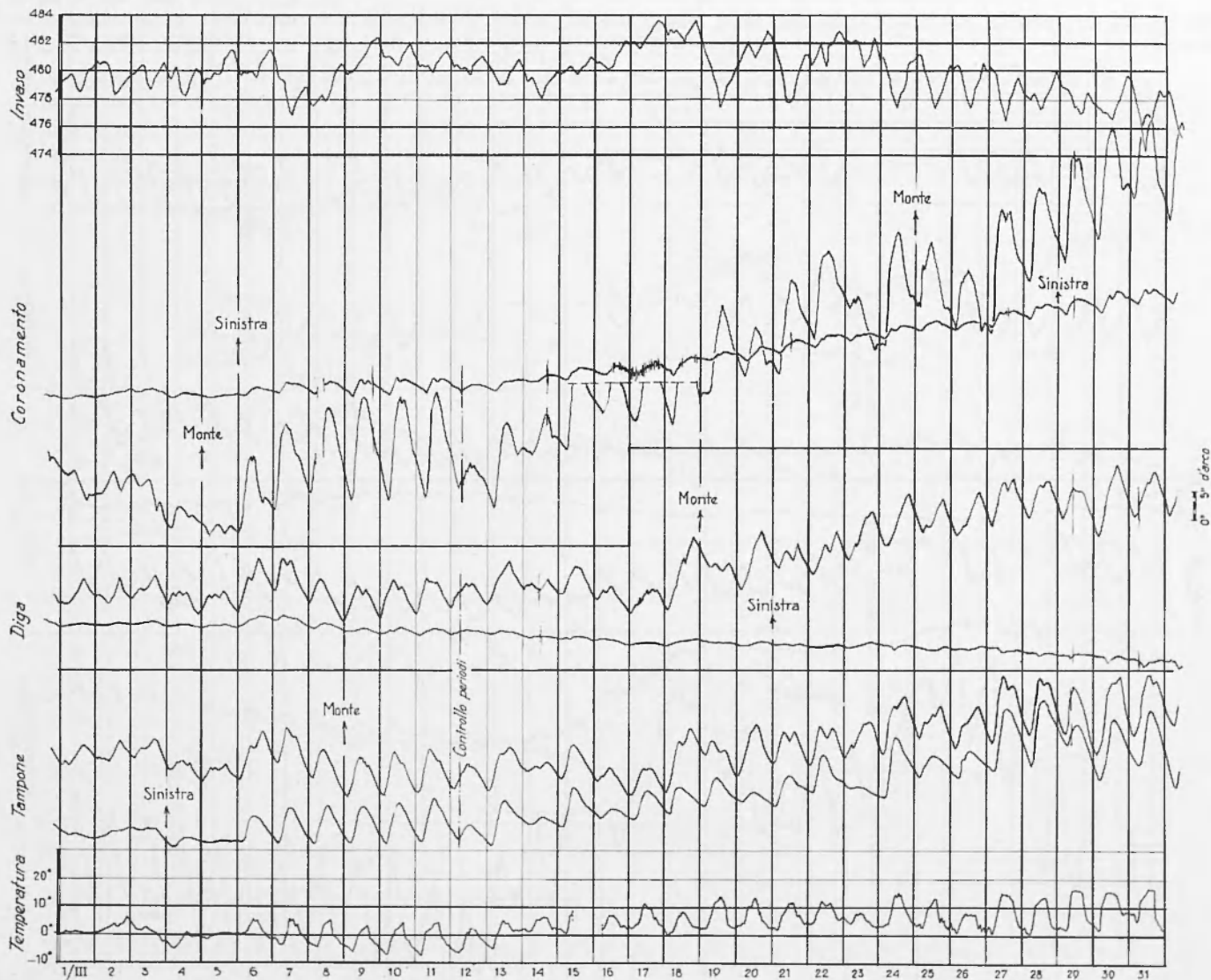


Fig. 8 - Diga Ambiesta - Marzo 1965 - Osservazioni analoghe a quelle riportate per il Maggio 1966; netta flessione della diga a sinistra, alle quote coronamento e tamponne, in seguito all'aumento della temperatura lungo l'arco del mese; la componente a quota diga, rivela invece una netta flessione a destra.

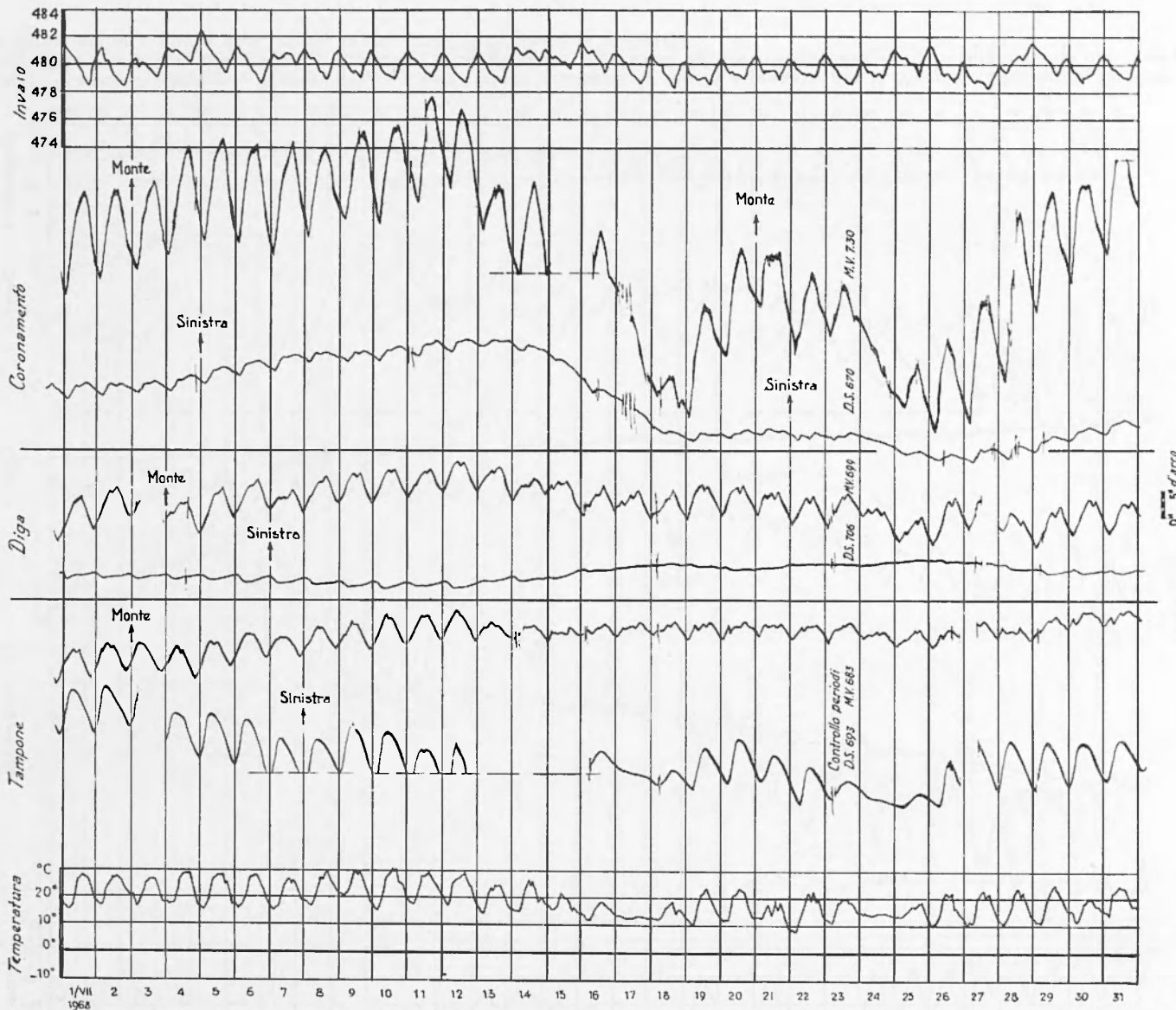


Fig. 9 - Diga Ambiesta - Luglio 1968 - Nonostante la componente della quota tampono sia disturbata nella prima metà del mese, il clinogramma è significativo perchè mostra che il fenomeno dell'opposizione di fase alla quota diga si ha anche per l'onda diurna.

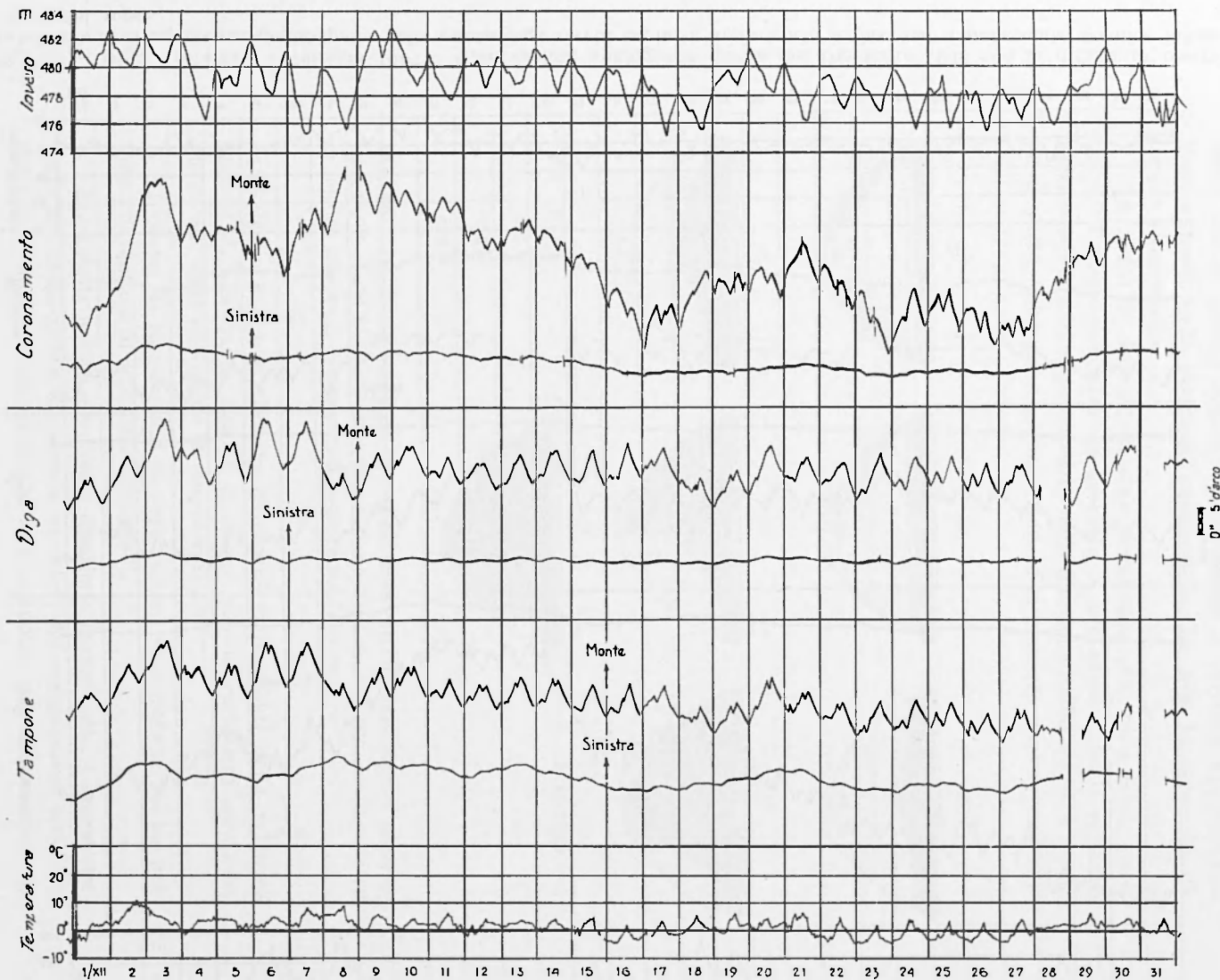


Fig. 10 - Diga Ambiesta - Dicembre 1966 - Le componenti spalla-spalla alle quote tampone e coronamento sono in fase con l'andamento della temperatura lungo l'arco del mese. La componente analoga, alla quota diga non mostra spostamenti apprezzabili.

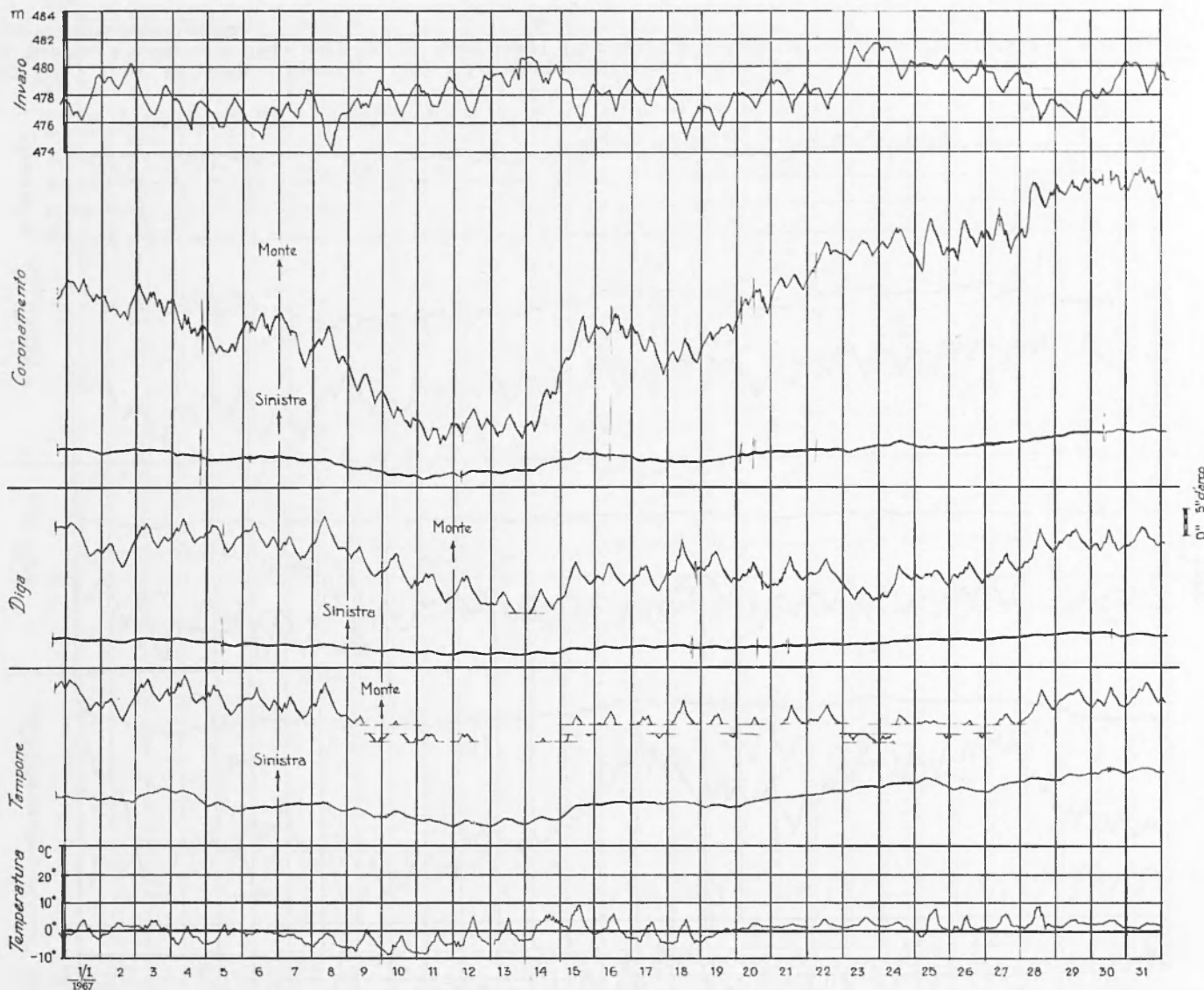


Fig. 11 - Diga Ambiesta - Gennaio 1967 - Osservazioni analoghe a quelle del Dicembre 1966 con la differenza osservabile che la componente spalla-spalla della quota diga rivela un lieve andamento in fase con l'andamento termico lungo l'arco del mese.

cause che se fossero isolate, sposterebbero la verticale apparente in versi opposti, nella direzione spalla-spalla. La Fig. 14 serve da ulteriore chiarimento.

In realtà le due azioni sono simultanee. Nei mesi caldi, però, prevale l'azione esercitata dal tampone e, alla quota diga, la verticale apparente varia in verso opposto, nella direzione spalla-spalla, a quello delle quote tampone e coronamento. Nei restanti mesi le azioni si

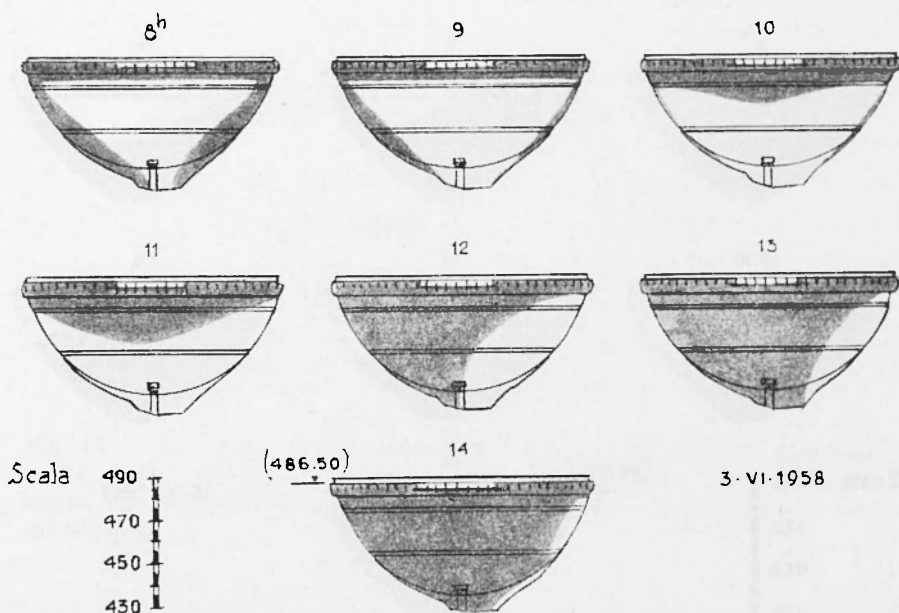


Fig. 12 - Diga dell'Ambiesta — Andamento dell'insolazione nei primi di Giugno (secondo G. De Vido): essa interessa principalmente il tampone ed in misura minore il coronamento, sempre sul lato sinistro.

equivalgono e non si rilevano pressoché spostamenti della verticale apparente, alla quota diga, o si hanno piccole variazioni concorde-mente alle altre due quote in considerazione.

L'esame di cinque anni di registrazioni clinografiche mi ha permesso di mettere in luce altri fatti nuovi.

Ho infatti notato che, nella direzione monte-valle, l'azione flet-vente dell'onda diurna diminuisce di entità dal coronamento alla base dei conci, dove questi confinano col tampone, per riaumentare un

metro sotto; questo si verifica dal mese in cui l'onda diurna fa la sua comparsa (Febbraio) fino al Maggio-Giugno; poi, l'entità dell'azione flettente dell'onda diurna, alle quote diga e tampone va, via via, invertendosi. Ad Agosto, generalmente, alla quota diga, si rileva un'onda diurna già nettamente maggiore della corrispondente alla quota tampone. Le Figure da 15 a 22 testimoniano quanto ora detto.

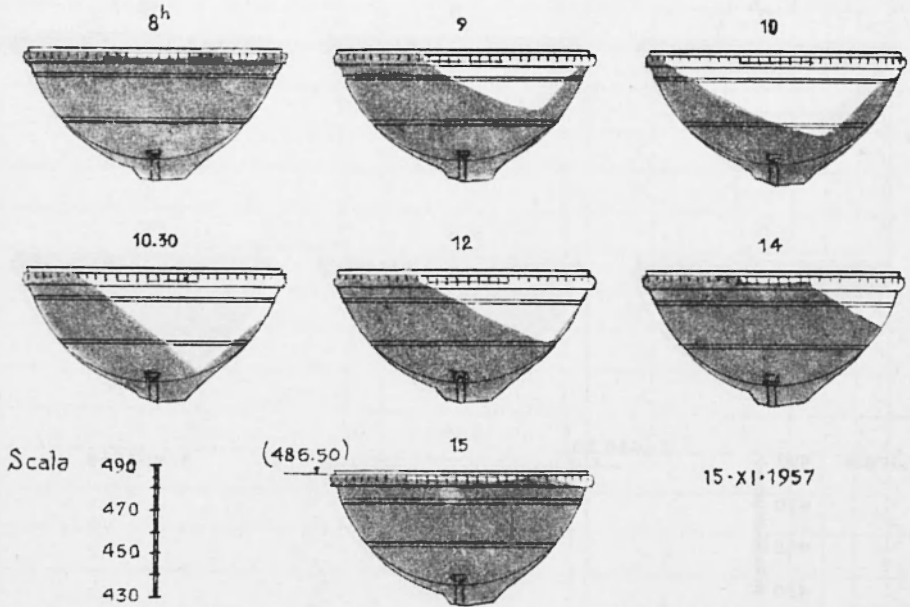


Fig. 13 - Diga dell'Ambiesta — Andamento dell'isolazione alla metà di Novembre (secondo G. De Vido); essa interessa principalmente il lato sinistro, alla quota coronamento.

Il comportamento osservato della diga, a prima vista inspiegabile, ha, in vero, una ben precisa ragion d'essere.

È noto che l'asimmetria dell'insolazione è la sola causa termica agente sul tampone. Allora essa determina le onde diurne che ivi compaiono sia in direzione spalla-spalla, che in direzione monte-valle. È noto altresì che, dal coronamento alla base dei conci, l'insolazione agisce di per sè, indipendentemente dal fenomeno dell'asimmetria. La dilatazione trasversa conseguente è così la sola responsabile dell'onda

diurna, in direzione monte-valle, che si rileva attenuata dal coronamento alla base dei conci. In realtà, come è stato precedentemente notato, l'asimmetria dell'insolazione si fa sentire anche alla quota coronamento, ma il contributo in direzione monte-valle si può, senza meno, trascurare rispetto agli effetti della dilatazione trasversa. Ora, com'è naturale, le onde diurne in direzione monte-valle, conseguenti all'effetto di dilatazione trasversa e alla contrazione susseguente del calcestruzzo, vanno aumentando d'intensità dal Febbraio all'Agosto.

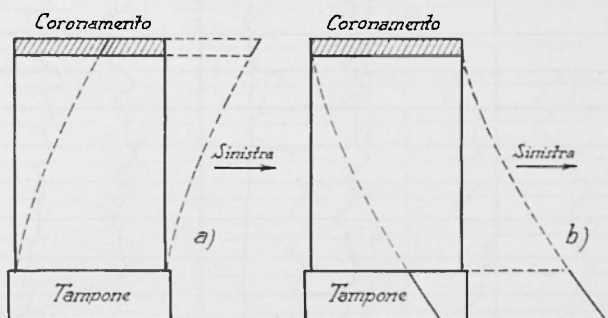


Fig. 14 - Sono illustrati gli spostamenti fittizi della diga, in direzione spalla-spalla, conseguenti ad un aumento di temperatura dell'aria, nella ipotesi che l'insolazione (asimmetrica) agisca solo sul coronamento a) o solo sul tampone b).

E questo si riscontra alle quote coronamento e diga. Alla quota tampone, invece, le onde diurne, in direzione monte-valle, vanno diminuendo d'intensità nello stesso periodo. Gli esempi della Fig. 23 mostrano infatti chiaramente che le ellissi, risultanti del moto del tampone, hanno l'asse maggiore la cui inclinazione dal Maggio-Giugno all'Agosto è andata aumentando dai 30° - 50° ai 90° . Rimandando ad altri scritti per la spiegazione dettagliata, questo vuol dire che dal Maggio-Giugno all'Agosto l'effetto della asimmetria dell'insolazione va spostando la sua efficacia verso la direzione spalla-spalla. Quindi, ricordando quanto detto prima, segue che l'onda diurna, in direzione monte-valle, alla quota tampone va diminuendo d'intensità nel periodo precitato. Resta solo da capire il perchè dal Maggio-Giugno all'Agosto prevale l'efficacia della componente spalla-spalla. Questo è senz'altro da attribuire ad una delle seguenti due cause: 1) al moto di rivoluzione terrestre, che

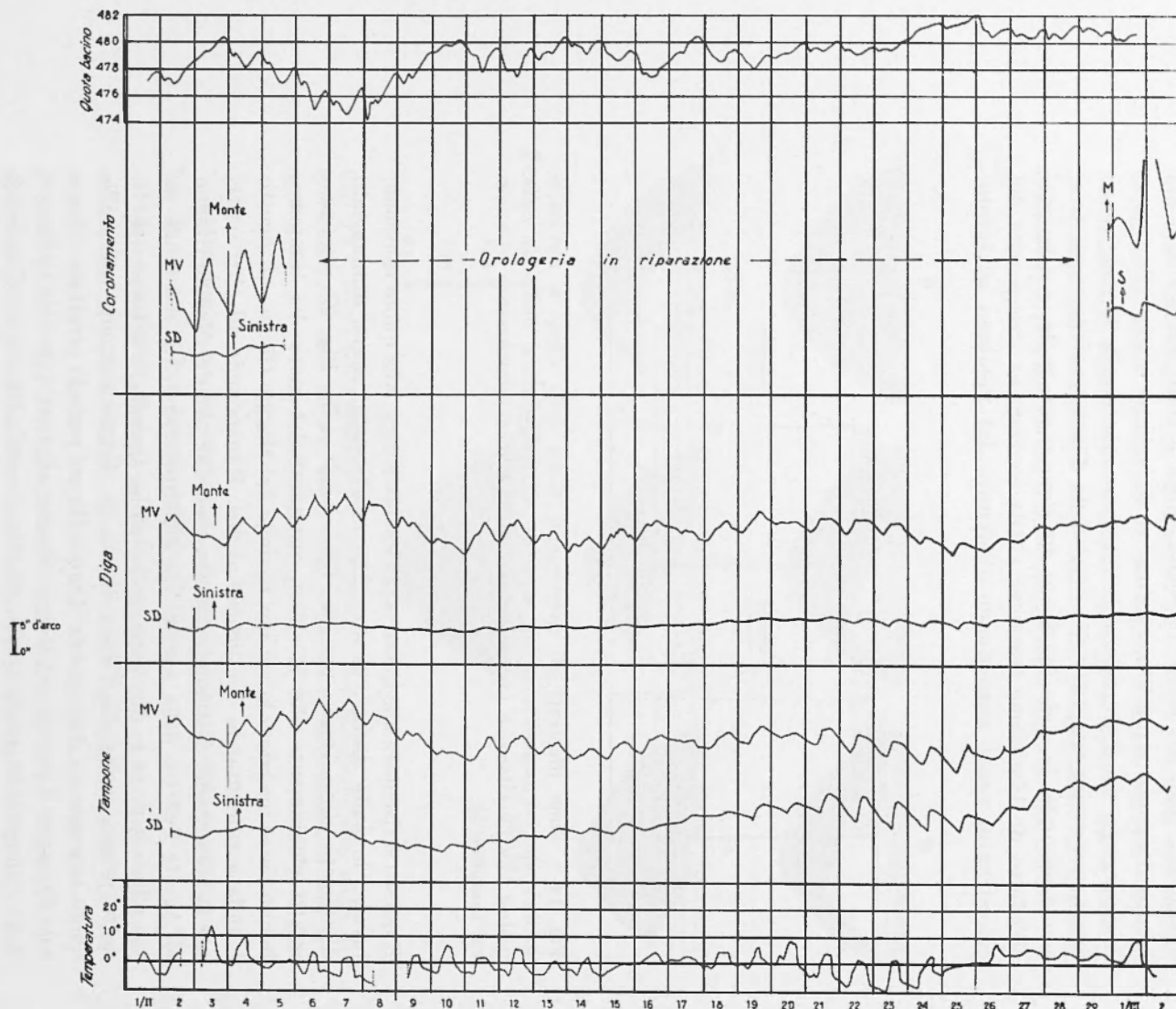


Fig. 15 - Diga Ambiesta - Febbraio 1964 - Lungo l'arco del mese le componenti valle-monte a quota 437 e 436 (tampone) rispecchiano, sostanzialmente, l'andamento dell'invaso. Dal 20 al 24 del mese, le onde diurne che compaiono sono però sensibilmente influenzate dalla temperatura. Esse sono maggiori alla quota 436.

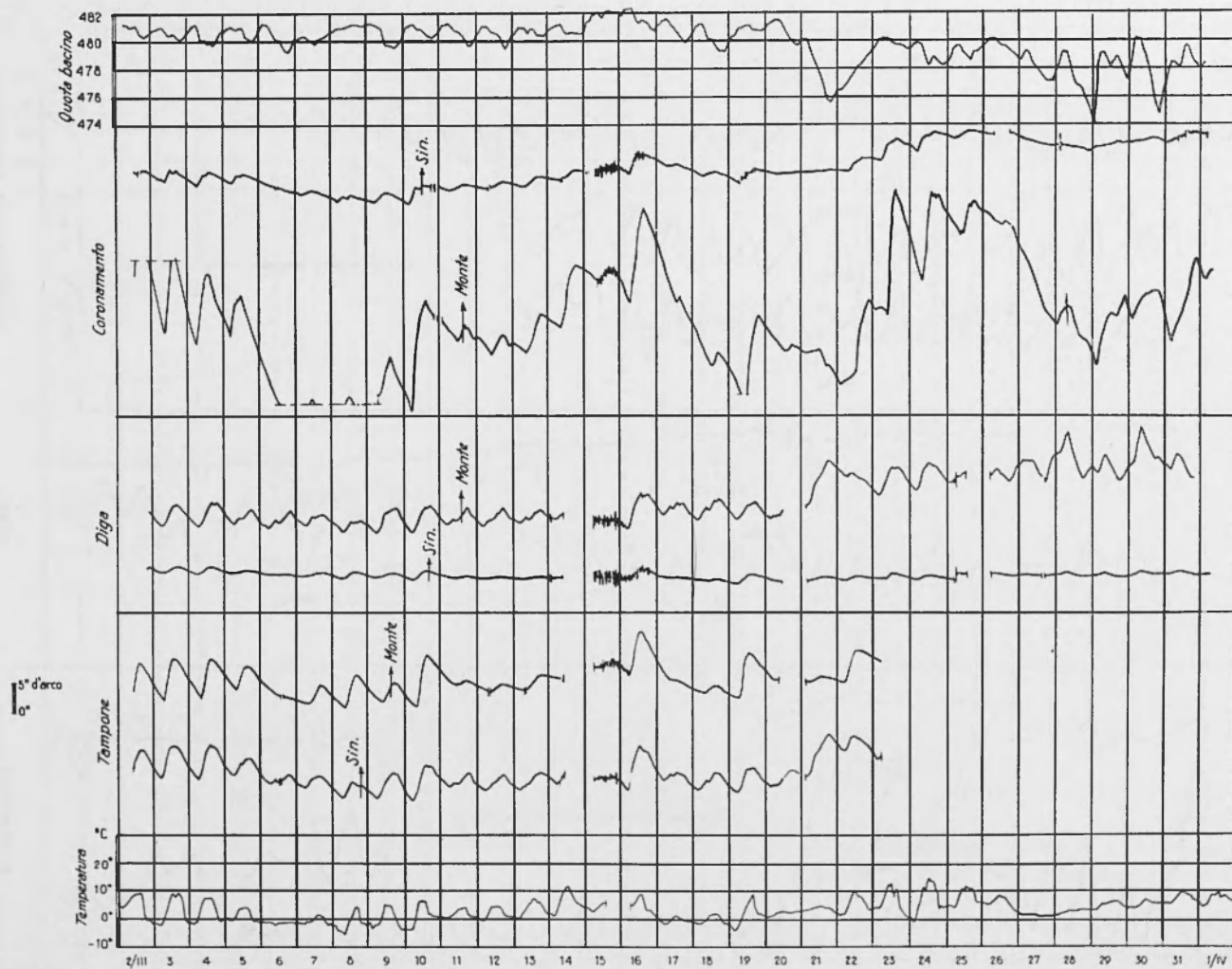


Fig. 16 - Diga Ambiesta - Marzo 1964 - Sulle componenti monte-valle, l'effetto termico sopravanza nettamente l'effetto delle variazioni di livello nel lago. Appare manifesto che l'ampiezza dell'onda diurna decresce dal coronamento alla base dei conci (quota diga) per riaumentare un metro sotto (quota tampone). È, del pari, manifesto che la componente valle-monte del coronamento risente pressoché esclusivamente delle azioni termiche, come già sottolineato in precedenza.

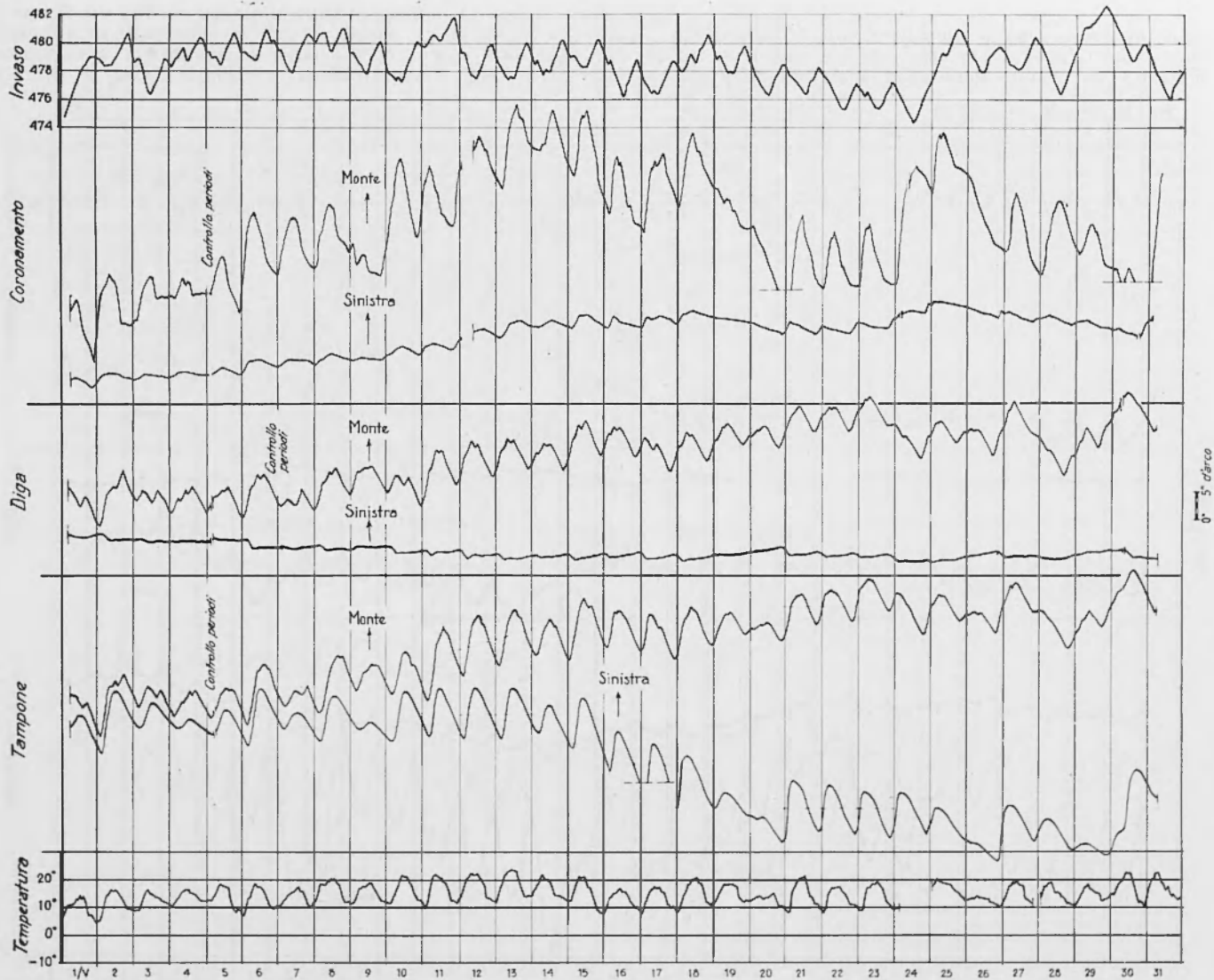


Fig. 18 - Diga Ambiesta - Maggio 1964 - Osservazioni analoghe a quelle riportate per i mesi precedenti. Le onde diurne della quota tampone (componente monte-valle) presentano ampiezze ancora nettamente superiori di quelle della componente analoga alla quota diga. Ad es. l'onda diurna del giorno 11, alla quota tampone vale $\sim 7''$ e alla quota diga $\sim 5''$.



Fig. 19 - Diga Ambiesta - Giugno 1964 - Ferma restando l'entità delle ampiezze delle onde diurne, in direzione monte-valle, alla quota coronamento, le onde diurne delle componenti analoghe, a quota diga e tampone, vanno uguagliandosi in ampiezza. Ad es. nel giorno 12, si rileva, alla quota 436 (tampone), una variazione d'inclinazione di $\sim 5''$ e alla quota appena superiore (diga) si hanno $4'' - 5''$.

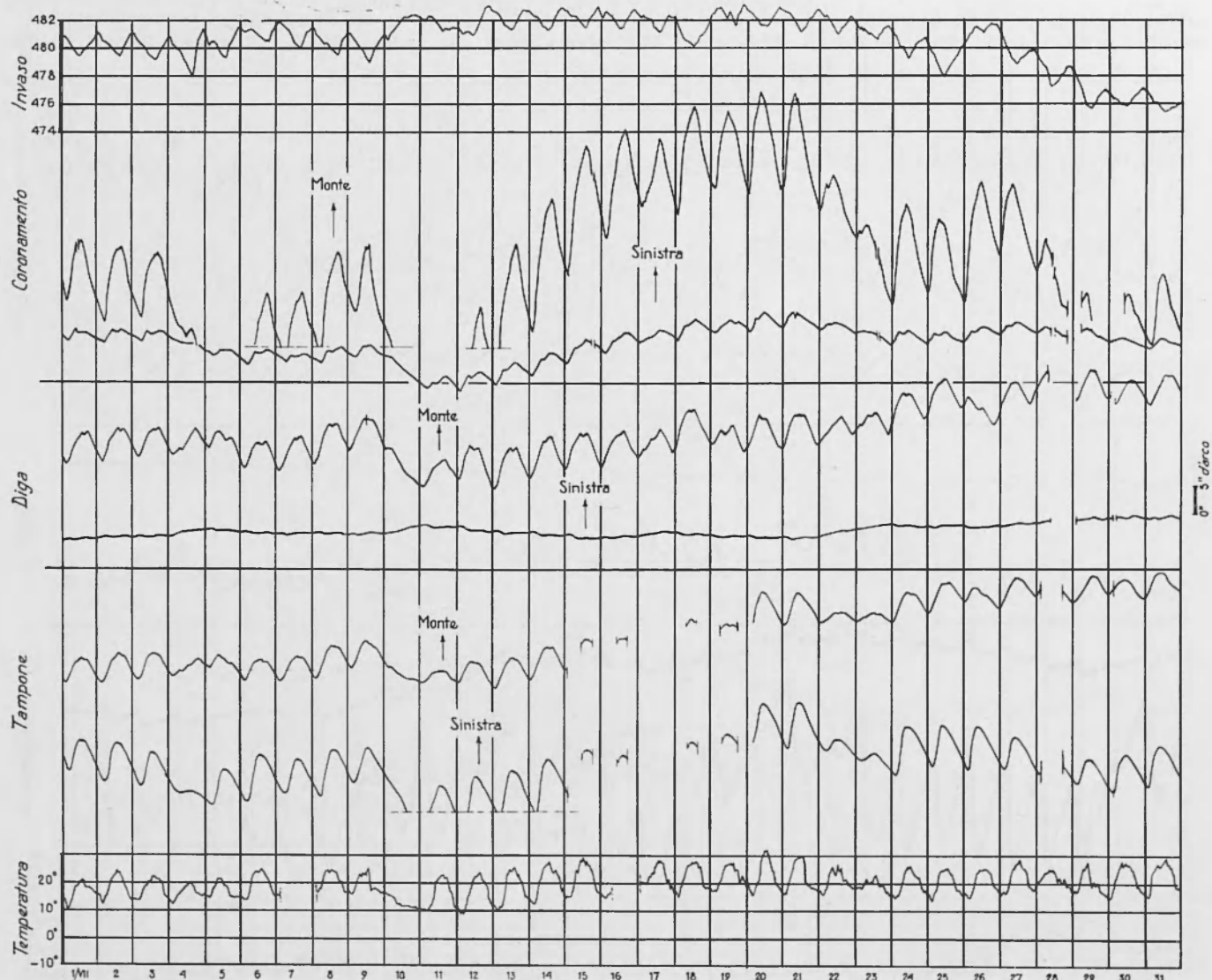
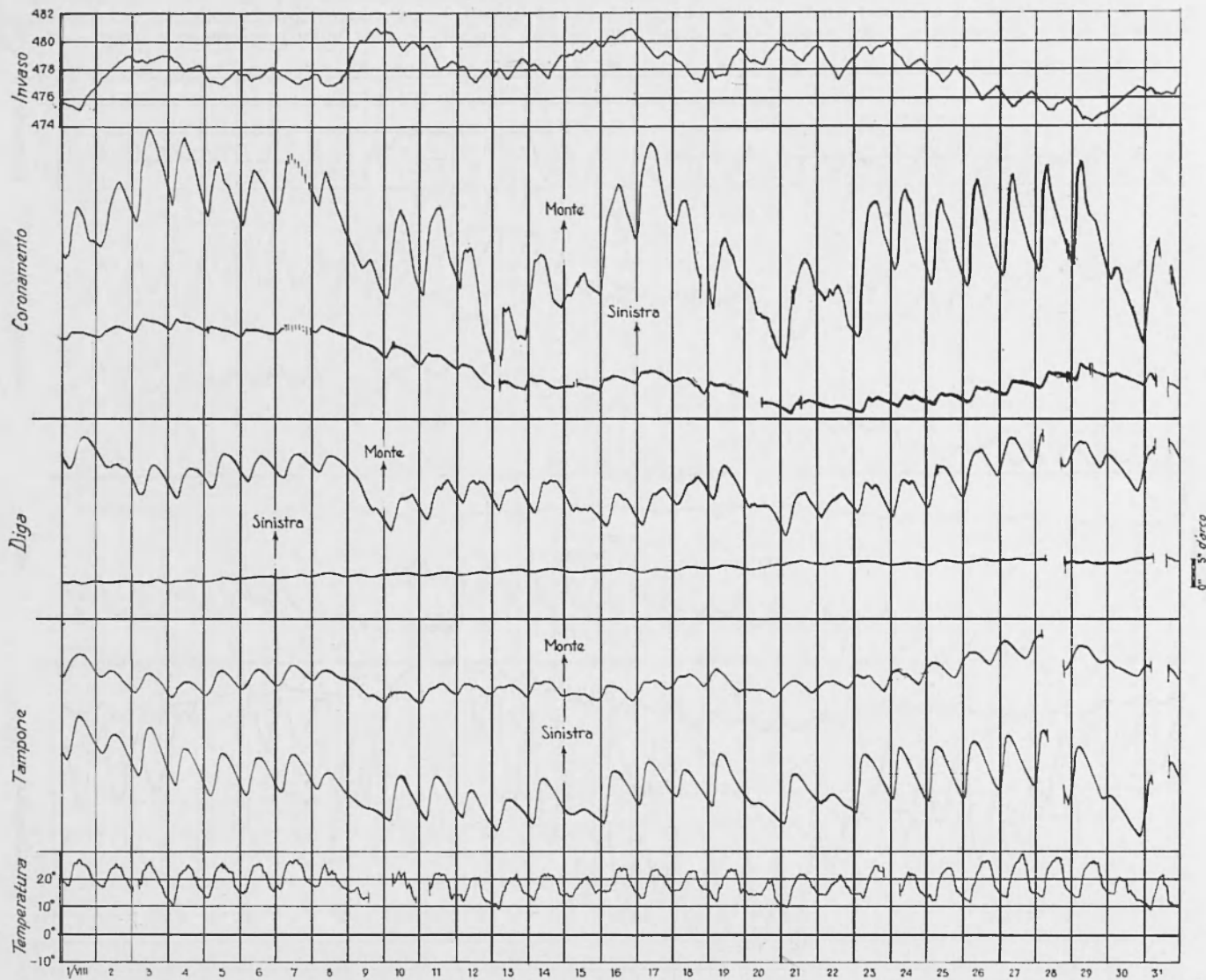


Fig. 20 - Diga Ambiesta - Luglio 1964 - Le onde diurne della componente monte-valle, a quota 437 e 436 (tampone) presentano già un'inversione di entità. Ad es. l'onda diurna del giorno 12 alla quota tampone ha un'ampiezza di $\sim 2''$ e alla quota diga di $\sim 3''$. Alla quota coronamento è viepiù manifesta l'azione pressoché esclusivamente termica.



D. S. d'Arco

Fig. 21 - Diga Ambiesta - Agosto 1964 - Le onde diurne delle componenti monte-valle, alle quote diga e tamponi si presentano ormai in una situazione esattamente opposta in entità di ampiezze di quella rilevata nel mese di Maggio. Ad es. nel giorno 22 si hanno ~ 3" alla quota diga e ~ 1" alla quota sottostante.

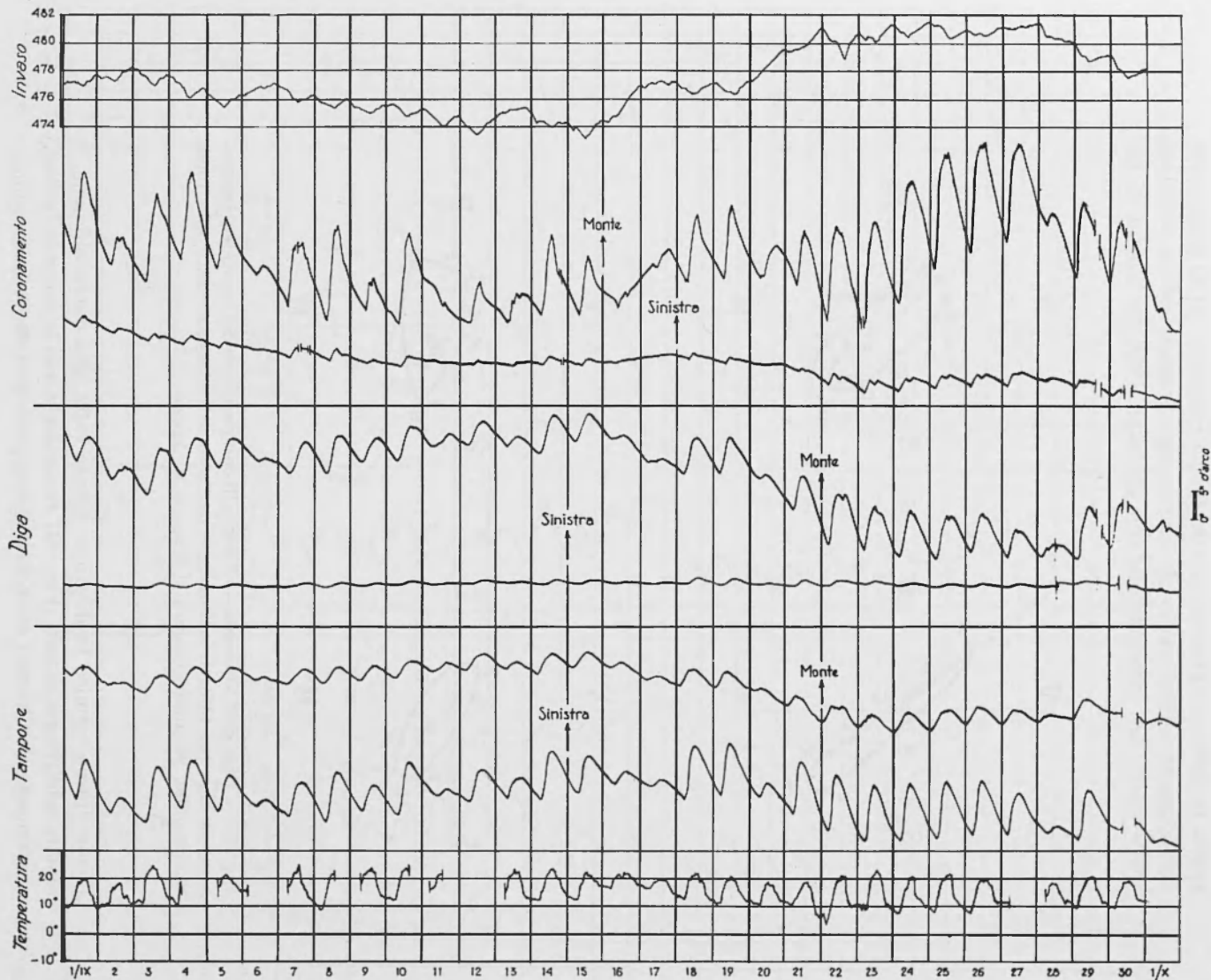


Fig. 22 - Diga Ambiesta - Settembre 1964 - La situazione rilevata nel mese di Agosto, per quanto concerne le ampiezze delle onde diurne delle componenti monte-valle, a quota 436 e 437, si riscontra qui viepiù esaltata nella diversità di entità.

sposta la direzione d'incidenza dell'energia raggiante; 2) al progressivo indebolimento della roccia di tenuta alle penetrazioni in direzione spalla-spalla. La constatazione che nell'anno 1968 dal Luglio in poi

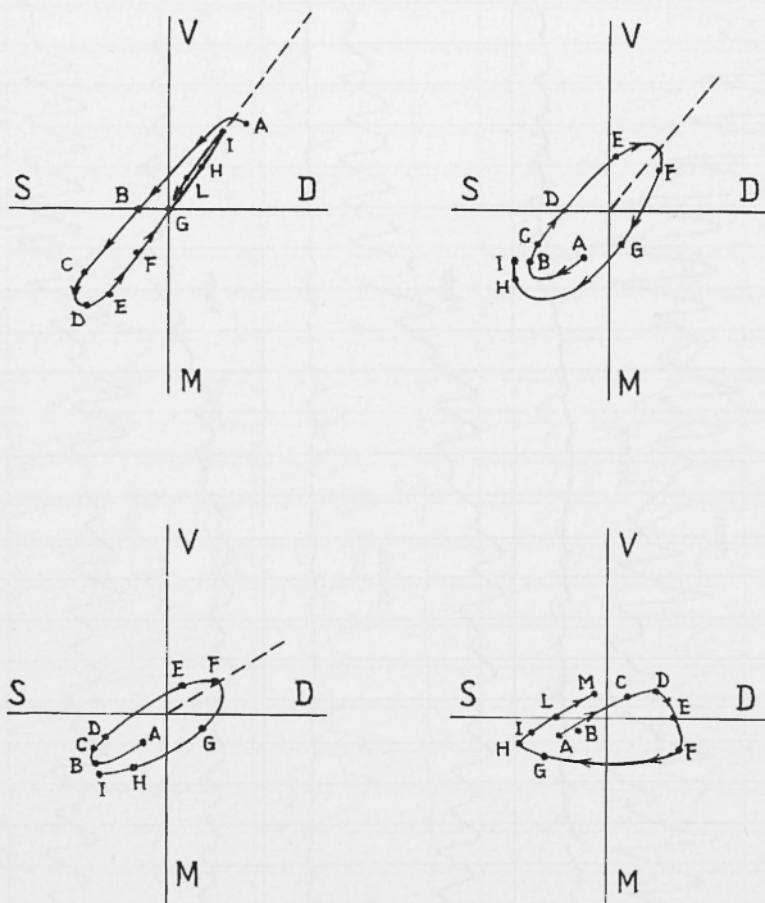


Fig. 23 - Diga dell'Ambiesta—Esempi di composizione dei movimenti diurni a quota diga (q. 436). L'inclinazione dell'asse dell'ellisse, rispetto alla linea monte-valle, va aumentando dal Maggio all'Agosto.

l'onda diurna termica in direzione monte-valle, alla quota tampone, è andata addirittura a zero (Fig. 24) fa optare verso la seconda ipotesi. Comunque solo ulteriori studi dettagliati possono definire la situazione.

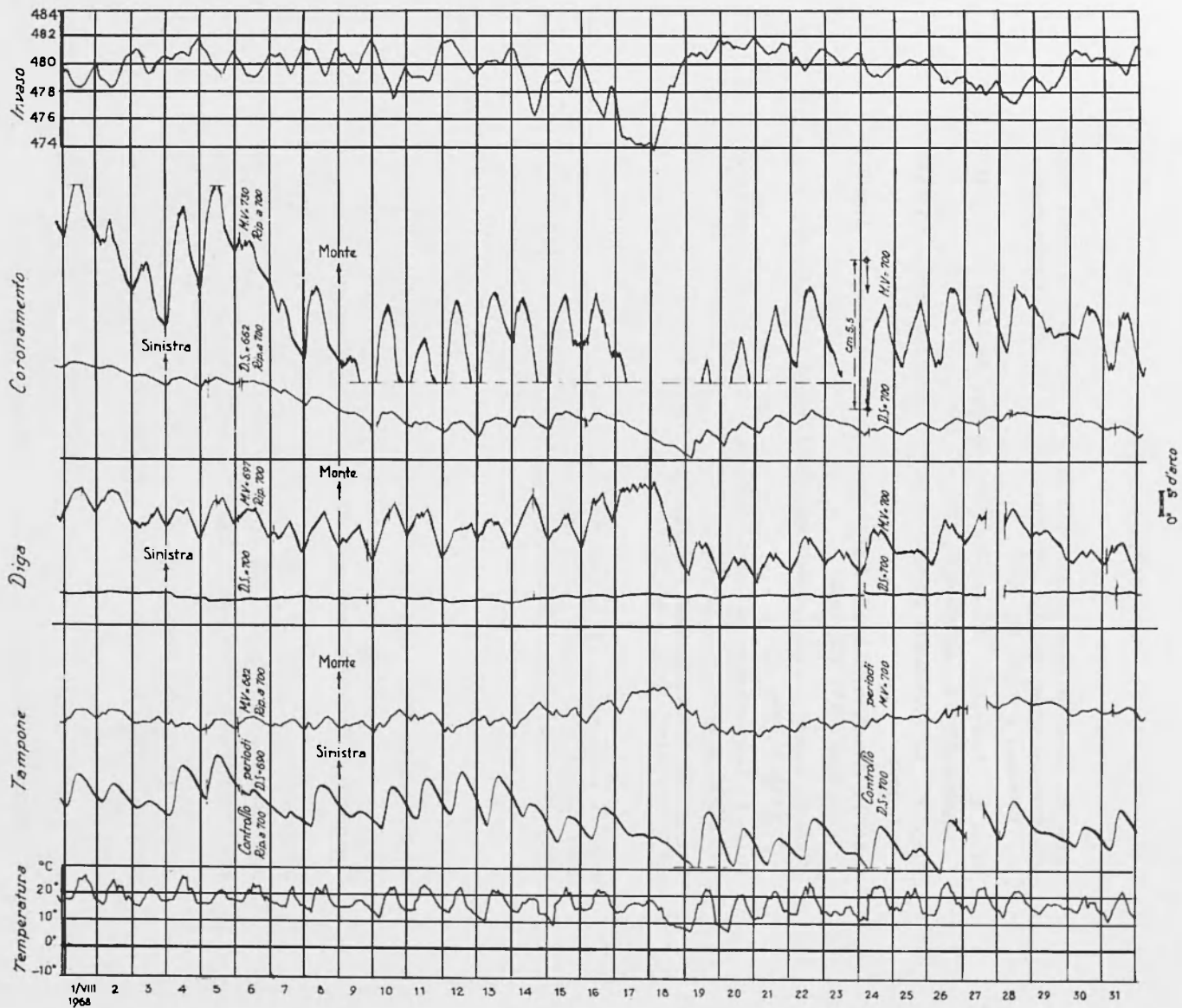


Fig. 24 - Diga Ambiesta - Agosto 1968 - Si noti come l'insolazione agisce efficacemente sulla componente monte-valle, a quota diga e coronamento. L'analogha componente, a quota tampone, non risente pressocché degli effetti termici — agiscono quasi esclusivamente le variazioni d'invaso.

BIBLIOGRAFIA

- CALOI P., *Come la Geofisica può contribuire ai problemi concernenti la costruzione e l'osservazione delle grandi dighe* — SADE, Ufficio Studi — Relazioni e Studi, **19**, 1958.
- CALOI P., *Osservazioni clinografiche presso la diga dell'Ambiesta* — SADE, Ufficio Studi — Relazioni e Studi, **21**, 1959.
- CALOI P., *La Geofisica e le grandi dighe*. « L'energia Elettrica », **XXXIX**, I, 1962.
- 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**, 3, 1964.
- CALOI P., *La geodinamica al servizio delle grandi dighe*. « Annali di Geofisica », **XVII**, 4, 1964.
- PERUCCA E., *Fisica generale e sperimentale*, Vol. I.
-