Aspetti geodinamici della diga dell'Ambiesta

P. Caloi

Ricevuto l'11 Marzo 1964

Riassunto. — Si esamina un anno di registrazioni clinografiche, ottenute nel *concio* centrale della diga dell'Ambiesta, affluente di destra del Tagliamento, presso Tolmezzo. Si riassumono gli aspetti dinamici fondamentali, che caratterizzano un anno normale di interazione fra lo sbarramento e le cause perturbanti, con particolare riguardo alle variazioni di livello del bacino idrico (invaso), della temperatura dell'aria e della insolazione. Si accenna inoltre alle influenze stagionali sull'andamento della verticale apparente della diga, quale vengono rivelate dalle registrazioni di due coppie di clinografi, sistemate in roccia, ai lati della diga, alla quota del *coronamento*. Si accenna infine alle variazioni, nel tempo, delle caratteristiche elastiche del calcestruzzo, come vengono chiaramente indicate dalle registrazioni clinografiche di anno in anno.

Summary. — We analyse a year of clinographic recordings obtained in the central cut stone of the dam of the Ambiesta, right tributary of the Tagliamento, near Tolmezzo. The paper resumes the fundamental dynamic aspects which are peculiar to a normal year of interaction between the barrage and the perturbing causes, with particular regard to the level variation of the basin (invaded), of the temperature and the insolation. We also mention the season influences on the behaviour of the apparent vertical of the recordings of two couples of clinographs, set in the rock on the dam sides, at the raffarel altitude. Moreover we report the variations, in time, of the elastic features of the beton as they are clearly shown by the clinographic recordings, year by year.

Ricerche particolari, sismico-clinografiche, sono state — e sono tuttora — dedicate [1] alla diga sull'Ambiesta, affluente di destra del fiume Tagliamento, nei pressi di Tolmezzo.

Si tratta di una diga di media altezza — concio centrale di 56 m —, costruita verso il 1955. Le indagini condotte nella zona d'imposta, non si sono limitate alle caratteristiche elastiche della roccia, ma sono state estese anche alle condizioni di equilibrio tettonico delle stratificazioni

superficiali. Costruita la diga, il controllo è stato esteso anche al calcestruzzo, sia disponendo tre coppie di clinografi a quote diverse, sul concio centrale, e due coppie in roccia ai lati del coronamento, sia eseguendo periodiche indagini vibrografiche sulla roccia e sul calcestruzzo.

I risultati finora raggiunti — di cui è detto, più partitamente, in pubblicazioni separate —, riguardano sopra tutto:

I – Comportamento della diga alle azioni provenienti dall'invaso, e dalle sue variazioni.

II – Comportamento della diga all'azione termica, diurna e stagionale.

III – Variazione nel tempo dell'azione termica d'insolazione diurna e sua relazione con la variazione della rigidità del calcestruzzo.

Per quanto concerne il punto I, come si è ottenuto per altre dighe, anche nella diga dell'Ambiesta l'effetto delle variazioni dell'invaso si manifesta dal coronamento alla base della diga, come se il mezzo fosse rigido. Durante la maggior parte dell'anno ciò non appare molto distintamente, in quanto — specie per quanto afferisce al coronamento e, sotto certi aspetti, al tampone — è prevalente l'azione dell'insolazione termica. Il fatto però si rende manifesto nei mesi invernali, in cui si va attenuando — per quindi annullarsi — l'effetto dell'onda diurna, con particolare riguardo alla base del concio centrale.

Sempre con riferimento all'invaso va sottolineata, per quasta diga, una particolarità, già messa in evidenza altrove (3). Quando l'invaso supera un certo limite, la rotazione verso valle viene sovrastata, con particolare riguardo al coronamento, dal raddrizzamento che subisce la parte superiore del manufatto, come conseguenza di una maggiore flessione nei confronti del coronamento stesso.

Passiamo al punto II.

L'azione flettente dell'onda diurna, come avviene per altre dighe, diminuisce dal coronamento alla base del concio, dove questi confina col tampone ad agisce quasi esclusivamente sulla componente vallemonte. Mediamente, in questa — come in altre dighe — l'andamento della flessione dal coronamento alla base del concio centrale è rappresentato dalla Fig. 3, dove M rappresenta il coronamento e O il tampone; alla base del concio, la flessione è pressochè nulla (4).

Il tampone ha un comportamento a sè; l'onda diurna si manifestava qui su entrambe le componenti — sebbene, in modo preponderante e, a prima vista, inesplicabile, sulla componente destra-sinistra. Va però

Fig. 1 – Diga dell'Ambiesta, vista da valle. Nel concio centrale funzionano tre coppie di olinografi. La coppia del coronamento è sistemata nel cunicolo, in corrispondenza della luce centrale del ponte. Le altre due coppie sono sistemate alla base del concio (q. 437) e sul tampone, un metro sotto (q. 436), nella casetta custodia riprodotta nella Fig. 2.

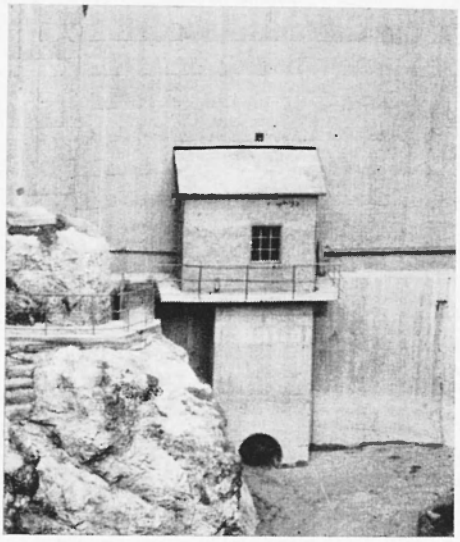

Fig. 2 – Casetta custodia dei clinografi alla base del concio centrale e sul tampone.

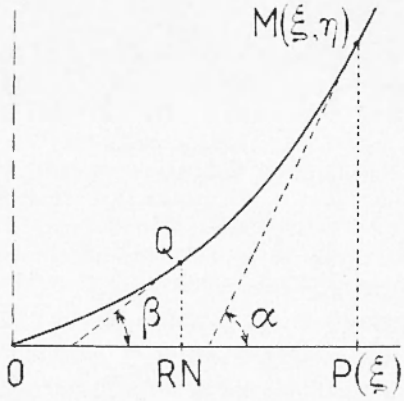

Fig 3

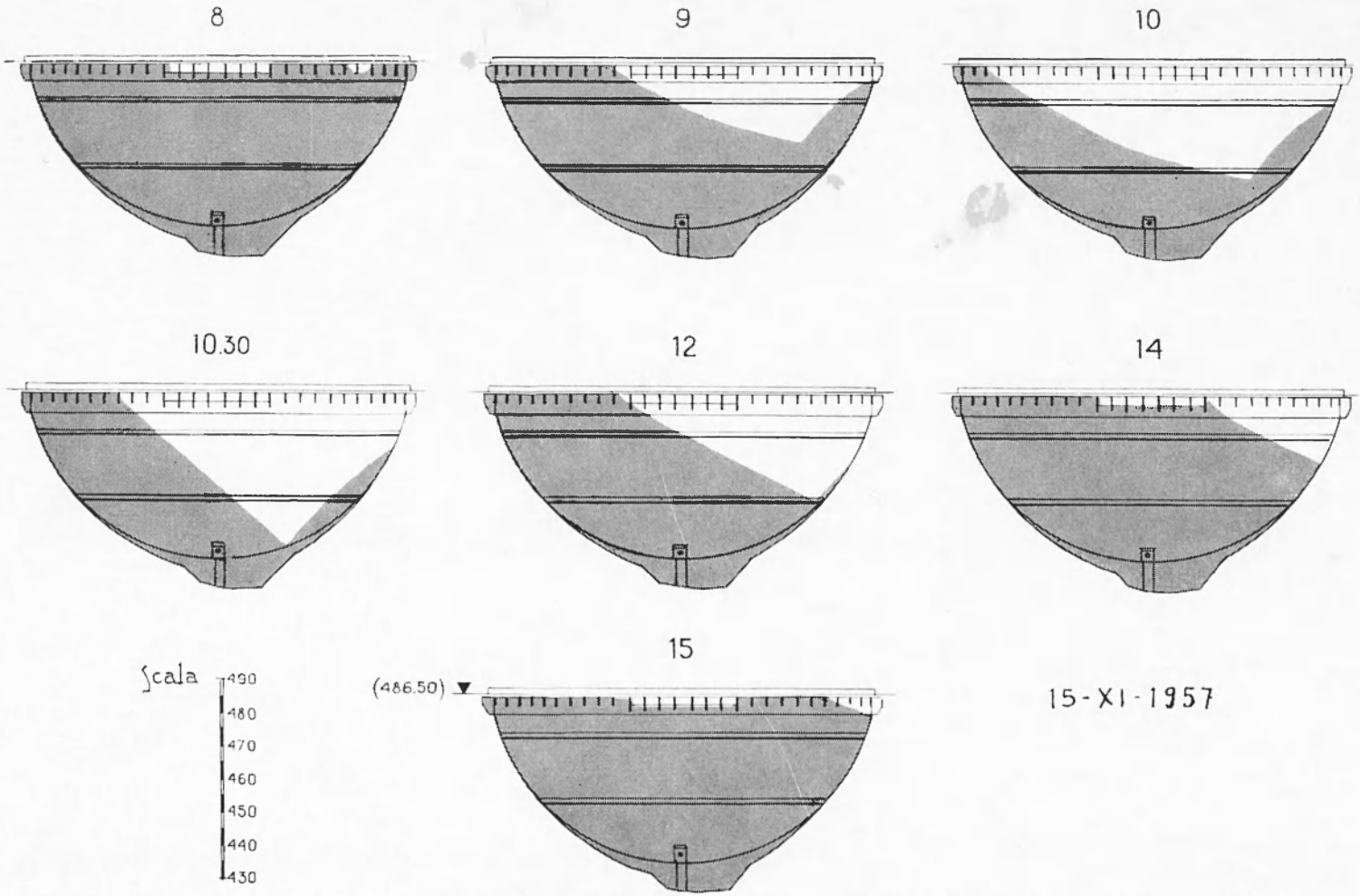

Fig. 4 – Diga dell'Ambiesta: zone illuminate dal sole in alcune ore del giorno (15 Novembre 1957, secondo Giovanni De Vido).

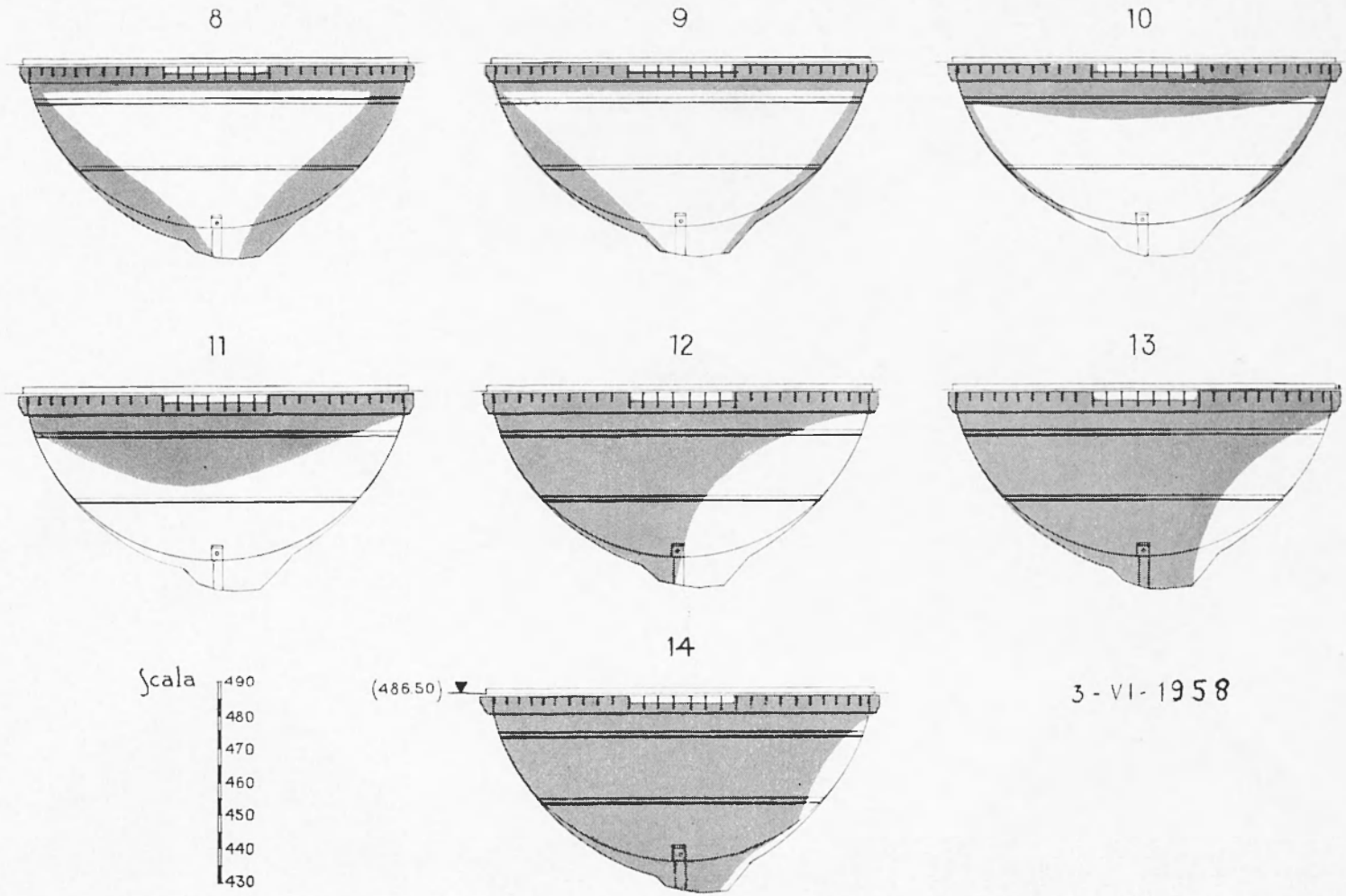

Fig. 5 – Diga dell'Ambiesta: zone illuminate dal sole in alcune ore del giorno (3 Giugno 1958, secondo Giovanni De Vido).

fatta una precisazione. La componente valle-monte non va più attribuita alla dilatazione trasversa del concio: si è visto, infatti, che tale causa diminuisce di efficienza dal coronamento verso la base del concio, dove praticamente si annulla. Essa deriva invece dall'allungamento del concio sovrastante per ditalazione, e poiché il riscaldamento cresce verso l'alto della diga, ciò provoca un innalzamento del centro di gravità del concio stesso, con conseguente « caduta » verso monte; in fase di raffreddamento, si verificherà il fenomeno contrario. L'asimmetria della diga all'insolazione è invece la causa della notevole componente a novanta gradi (sinistra-destra), tangenziale all'asse della diga. Poiché l'insolazione agisce, in maniera preponderante, sul lato sinistro della diga (Figg. 4-5), riesce massima la sua azione — in fase positiva — verso tale lato, mentre durante la notte la contrazione del calcestruzzo riporterà la verticale apparente verso destra.

Ciò spiega in modo chiaro, la presenza di un'ampia onda diurna sul tampone, sulla componente destra-sinistra, *un solo metro* sotto la postazione rigidamente connessa alla base del concio centrale, dove l'onda diurna è pressochè nulla, come risulta dalle Figg. da 8 a 15. La componente valle-monte registra ivi soltanto le variazioni di flessione associate alle variazioni d'invaso (le quali hanno pure, generalmente, periodicità diurna, e provocano movimenti largamente in fase con quelli d'origine termica, coi quali, ad ogni modo, non vanno confusi), che non impressionano affatto (o in modo trascurabile) la componente tangenziale spalla-spalla la quale — come si è visto — un metro più sotto è fortemente influenzata dall'asimmetrica azione dinamica dell'insolazione.

Quanto è stato detto, vale naturalmente durante i mesi in cui l'azione dell'insolazione riesce efficace. A partire dal Novembre e fino alla fine di Febbraio, tale azione riesce pressochè nulla (come presso altre dighe) e l'onda diurna effettivamente scompare, anche in quota. Di conseguenza, scompare pure il singolare fenomeno d'asimmetria dinamica diurna, di cui il tampone è sede negli altri mesi, e che ricompare chiaramente, invece, verso la fine di Febbraio (Fig. 7).

A prima vista, potrà sembrare difficile ammettere un'indipendenza di movimento fra il tampone e le basi dei conci sovrastanti, che risultano, all'atto pratico, formare un unico blocco. Non va però dimenticato che i movimenti in questione sono in realtà *micromovimenti*, e che il tampone è effettivamente separato dalle basi dei conci da superficie di discontinuità meccanica, che rendono possibili tali movimenti infinitesimi. Quando questi moti divengono finiti, la diga torna a reagire come un tutto unico (almeno, in prima approssimazione).

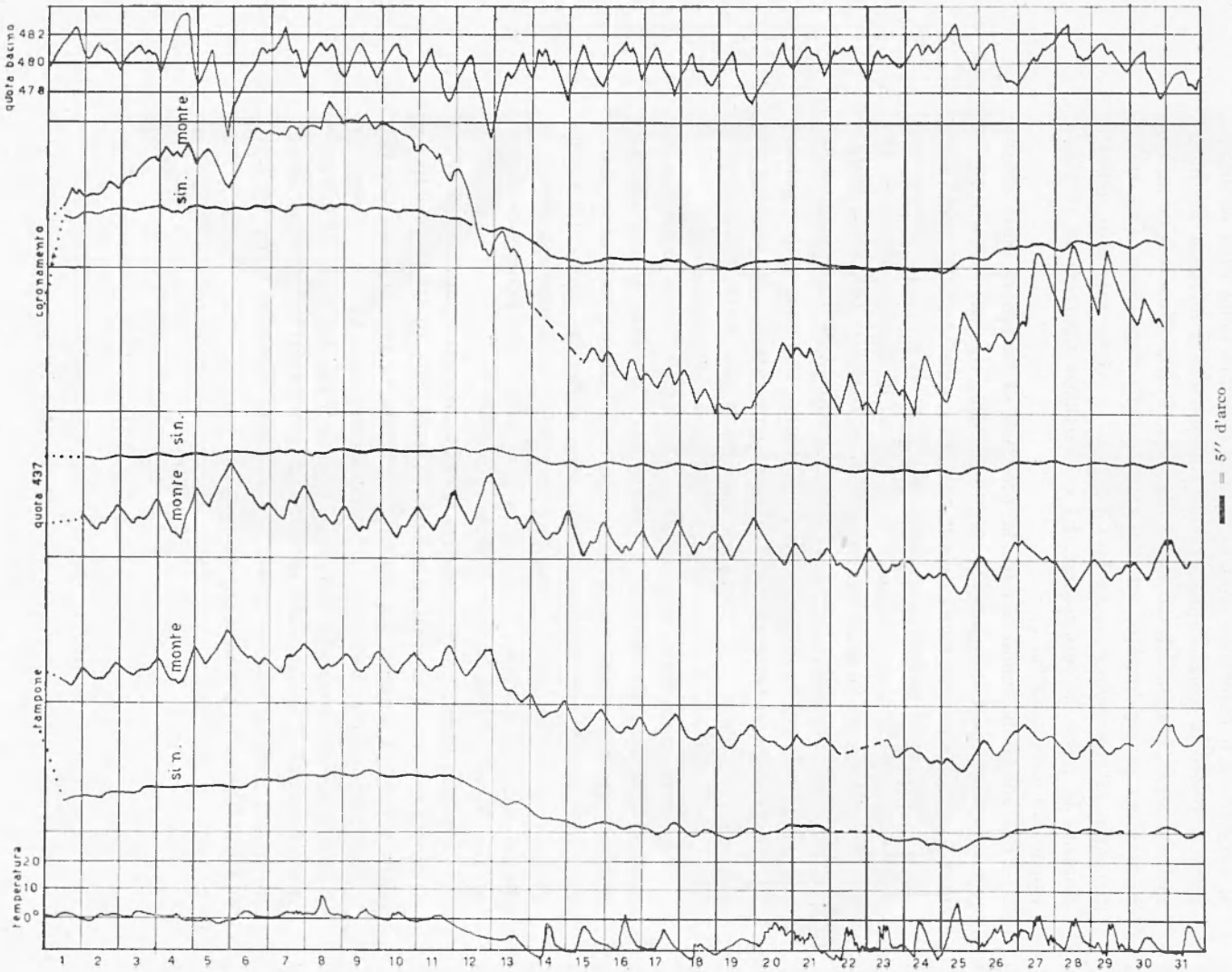

Fig. 6 – Diga Ambiesta: *Gennaio 1963* – – I clinografi del coronamento subiscono le massime sollecitazioni, seppure nettamente prevalenti sulla comp. valle-monte. Su tale comp. si sommano le perturbazioni per variazione dell'invaso e della temperatura. In questo mese sono prevalenti quelle per raffreddamento, che portano la diga a valle e a sinistra. Alla base del concio centrale (q. 437) e sul tampone (un metro sotto) agiscono, in questo mese, quasi esclusivamente le variazioni dell'invaso (comp. valle-monte). Va inoltre sottolineato che l'esistenza della superficie di discontinuità meccanica fra concio e tampone è sufficiente ad attenuare il micromovimento flettente, nel passaggio dall'uno all'altro. L'attenuazione è dell'ordine del 20%.

L'azione dell'insolazione, in Gennaio, è trascurabile, come prova la comp. sin.-destra del tampone.

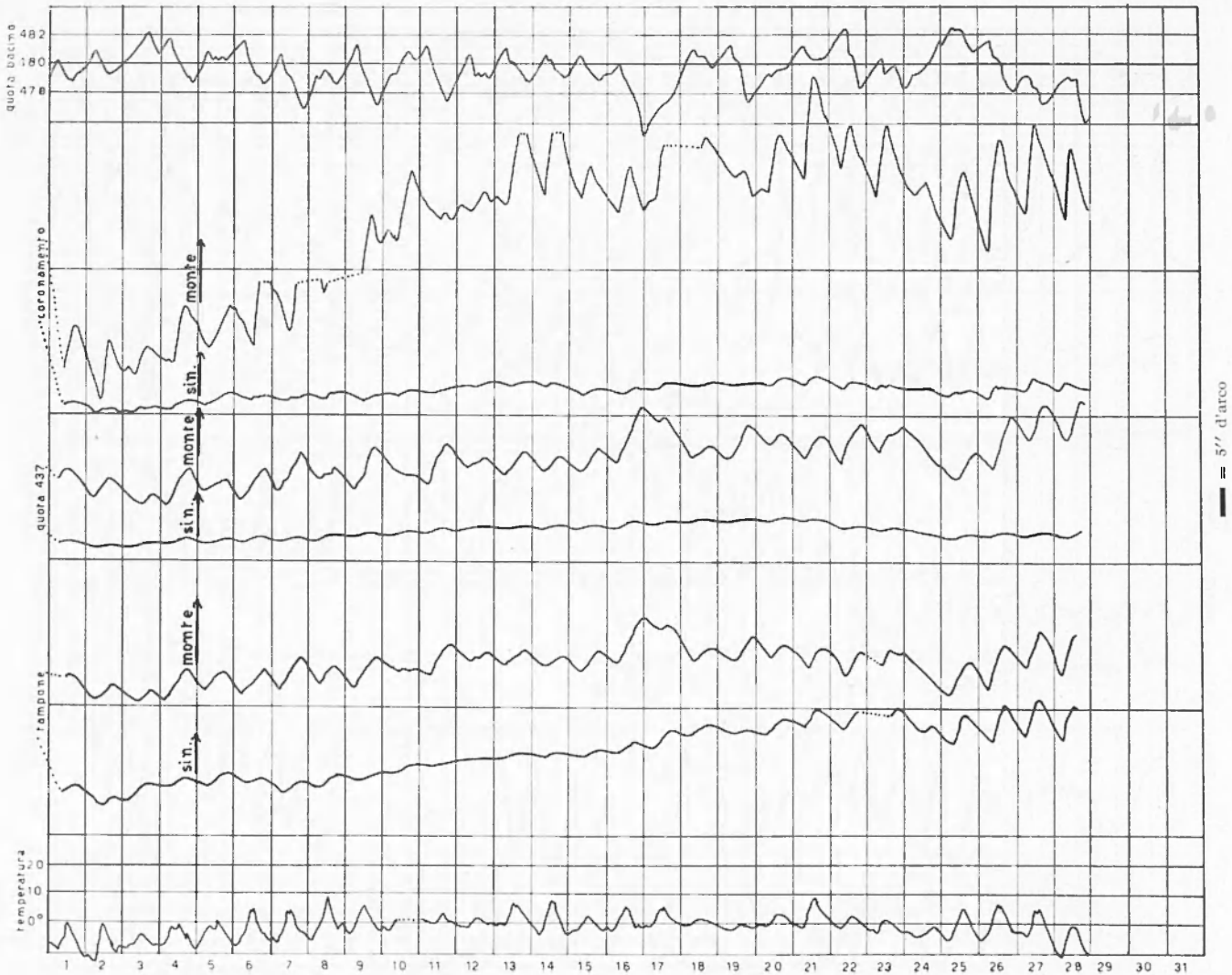

Fig. 7 – Diga Ambiesta: *Febbraio 1963* — Il graduale aumento della temperatura media dell'aria, provoca l'inversione del movimento di rotazione della diga, che ora tende verso monte, con ampiezza accentuata nel coronamento (comp. valle-monte). Le componenti valle-monte a quota 437 e 436 (tampone), rispecchiano, sostanzialmente, l'andamento dell'invaso. L'azione asimmetrica dell'insolazione comincia a farsi sentire sulla comp. destra-sinistra del tampone, dove, verso la fine del mese, riappare netta l'onda diurna (gia evidente sulla comp. valle-monte del coronamento).

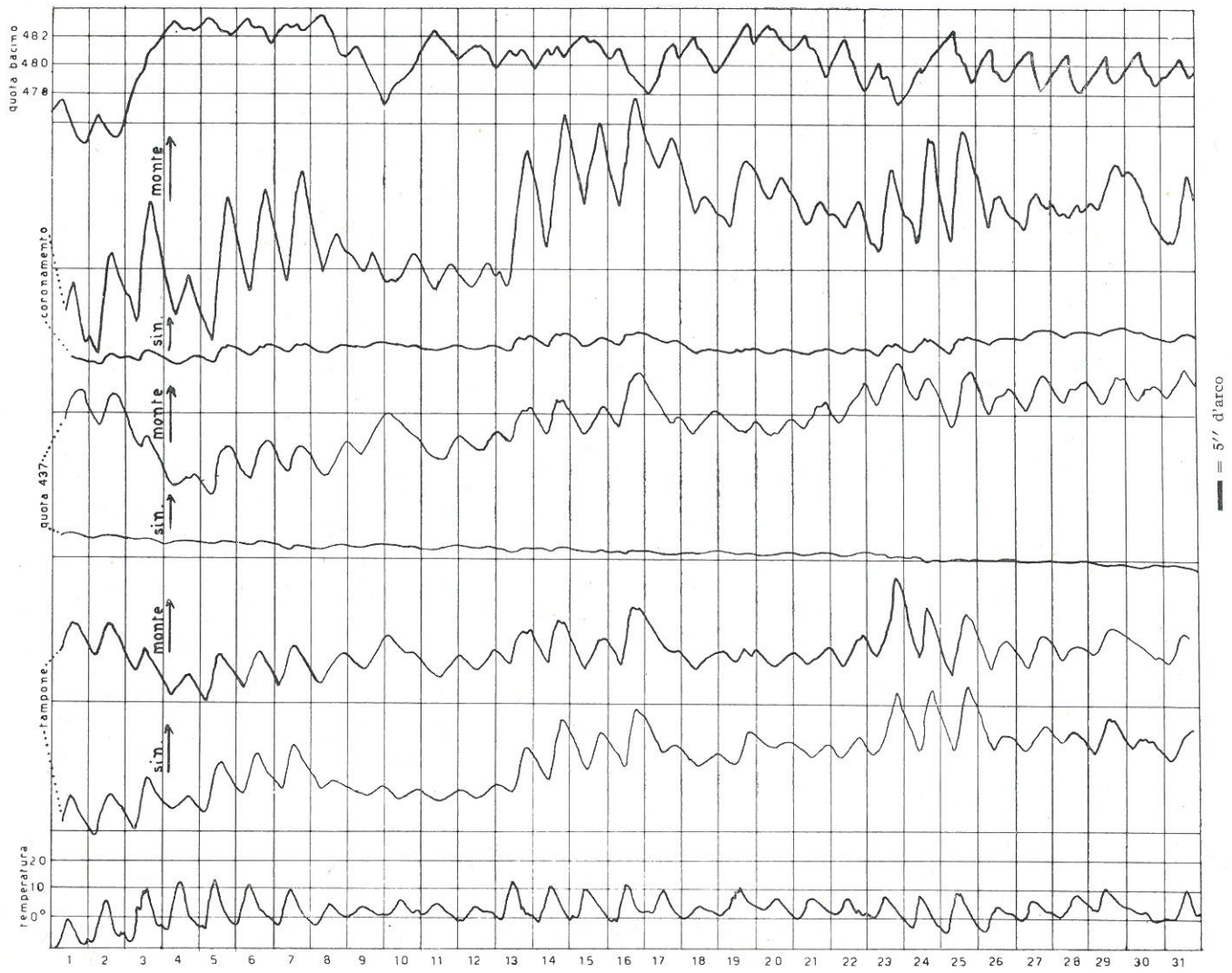

Fig. 8 – Diga Ambiesta: *Marzo 1963* — L'insolazione agisce ormai efficacemente su tutta la diga: sulla componente valle-monte, con ampiezza decrescente dal coronamento al tampone; e sulla componente destra-sinistra, in modo vistoso solo sul tampone, per il più volte accennato effetto d'asimmetria d'insolazione. Sulle commopenti valle-monte è pure manifesto l'effetto delle variazioni di livello nel lago.

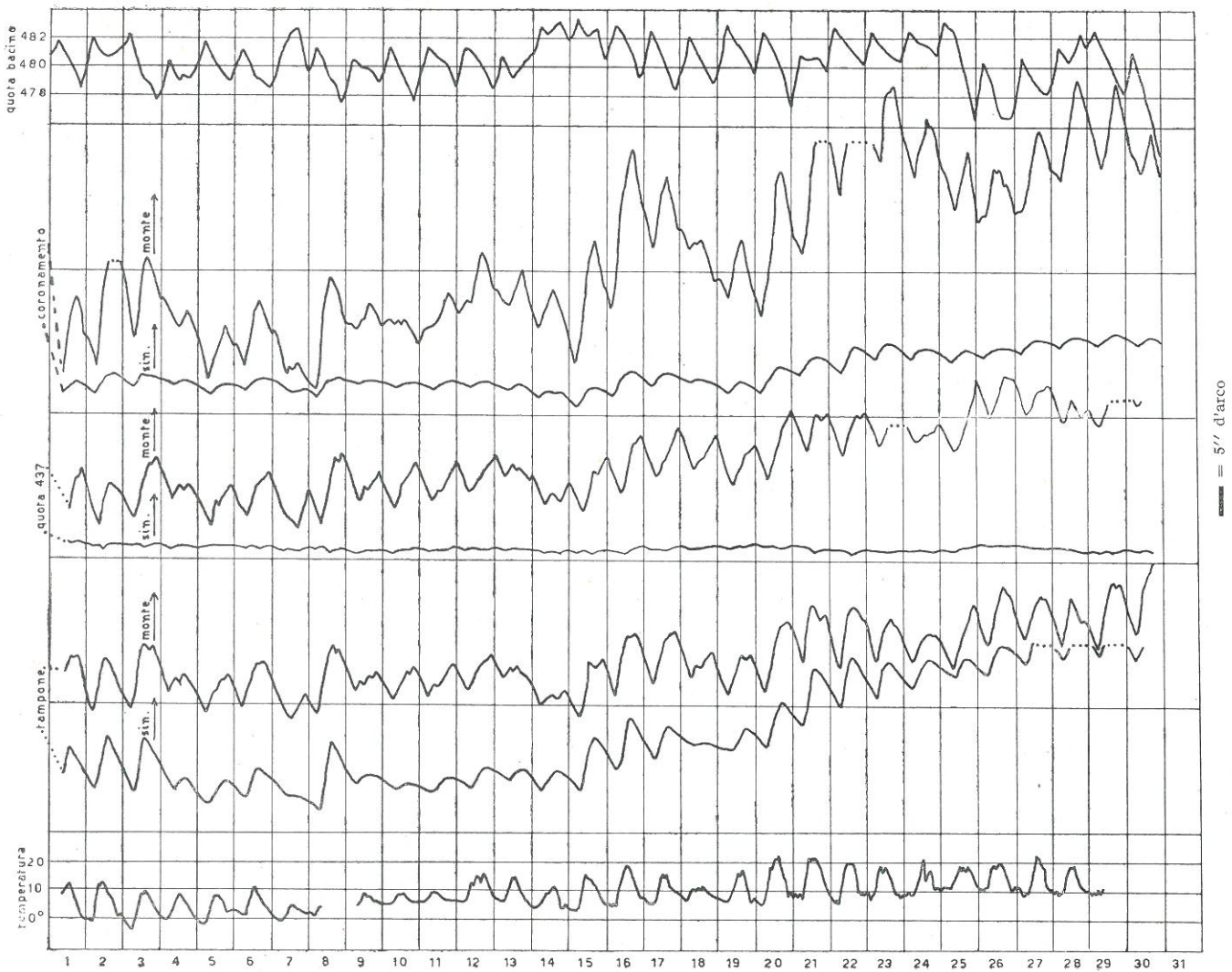

Fig. 9 – Diga Ambiesta: *Aprile 1963* — Il sensibile aumento della temperatura, verificatosi nella seconda metà del mese, fa ruotare a monte (e a sinistra) la diga in modo evidente. Si noti come l'effetto dell'asimmetria d'insolazione sia manifesto *solo* sulla comp. destra-sinistra del tampone; un metro più in su, alla base del concio, è invece praticamente inesistente.

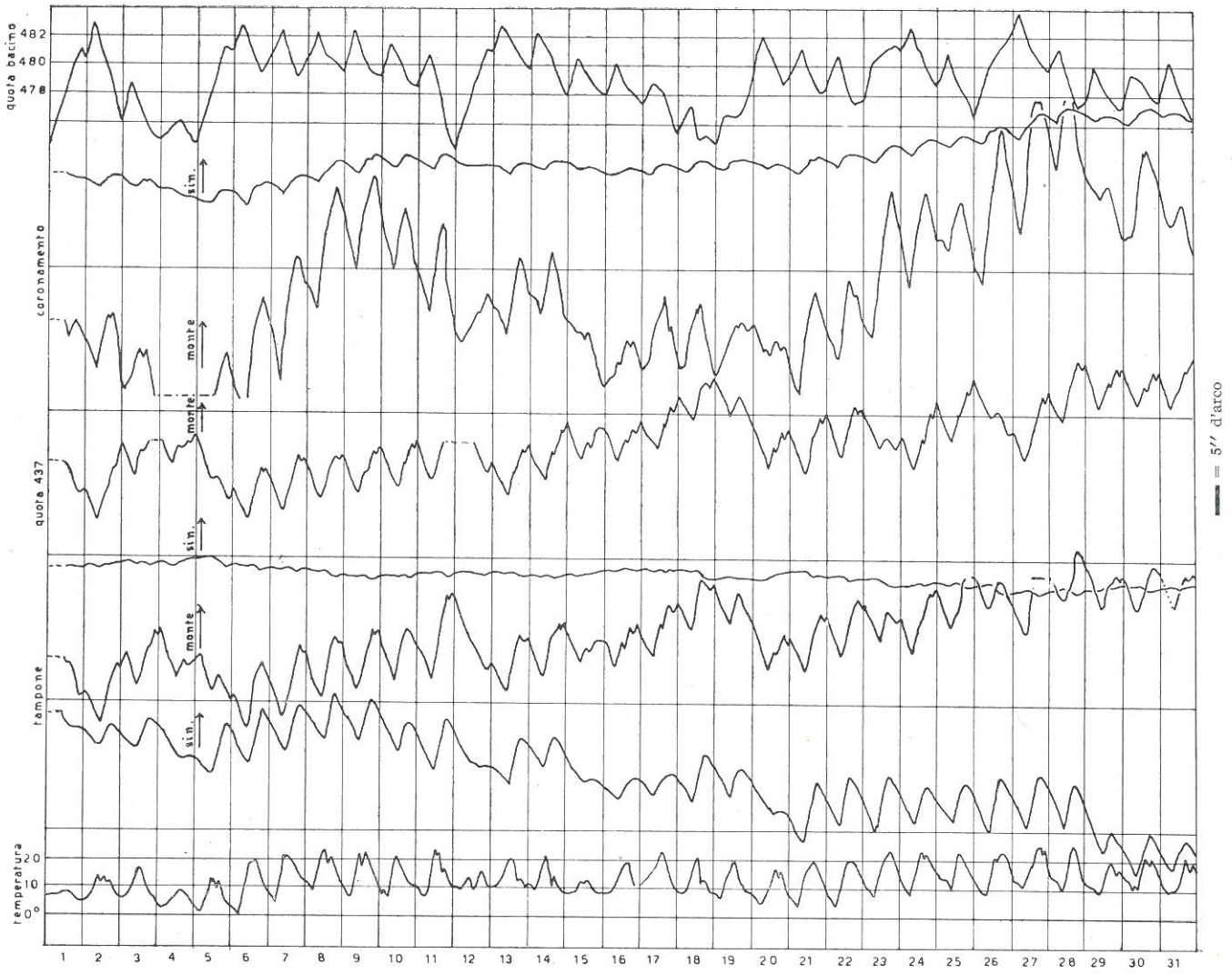

Fig. 10 – Diga Ambiesta: *Maggio 1963* — La comp. valle-monte del coronamento risente, come al solito, dell'azione combinata della temperatura e dell'invaso. Poichè, in questo mese, l'insolazione riesce di particolare efficacia (tanto da influenzare, nella variazione diurna, anche la componente sinistra-destra), i suoi contrasti con l'andamento dell'invaso, si tramutano in un clinogramma tormentato. La variazione diurna dell'invaso si verifica inoltre così da sommare la sua azione a quella dell'onda diurna (della quale risulta pressochè in fase), ciò che si traduce in una variazione diurna della verticale apparente particolarmente ampia. Alla base del concio (dove l'azione termica diurna è molto ridotta), il clinogramma valle-monte è quasi tutto dovuto alle variazioni dell'invaso. Sul tampone, il lieve prevalere della comp. valle-monte (nei confronti di quella a 1 metro sopra) è dovuta alla sovrapposizione dell'onda termica diurna a quella dell'invaso. L'asimmetria d'insolazione riesce particolarmente netta sulla comp. sinistra-destra del tampone.

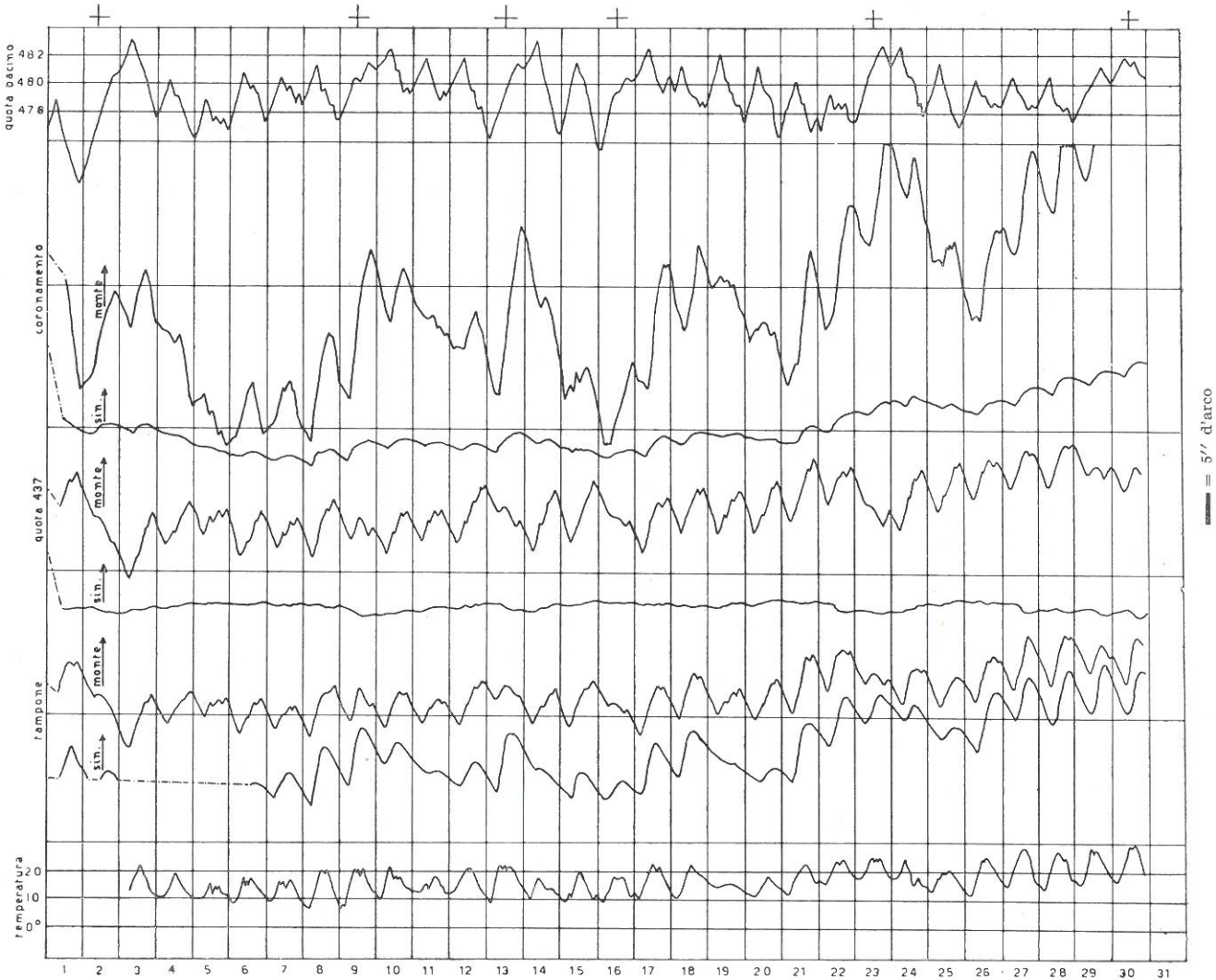

Fig. 11 – Diga Ambiesta: *Giugno 1963* — La comp. vallemonte del coronamento è, come di consueto, la più contrastata, in quanto la somma delle azioni dell'invaso e della temperatura, si verifica in una posizione — quella del coronamento — dove la loro efficacia è massima. Sulla componente a 90°, naturalmente, i movimenti sono molto più ridotti. Si noti il parallelismo marcatissimo fra le componenti vallemonte alla base del concio centrale (q. 437) e, un metro più sotto, sul tampone. Si è già spiegata la lieve riduzione che subisce, su quest'ultimo, l'effetto dell'invaso. L'accentuazione delle ampiezze verso la fine del mese è da attribuire alla maggiore escursione delle variazioni termiche diurne, che — come si è detto — si manifestano maggiormente sul tampone. Si osservi invece — ancora una volta — il contrastante comportamento delle comp. sinistra-destra alla base del concio centrale e (un metro sotto) sul tampone: alla limitatissima attività della prima, fa riscontro, sulla seconda, l'oscillazione diurna della verticale apparente, legata all'asimmetria della insolazione.

L'aumento della temperatura nella seconda metà del mese, determina un'ulteriore flessione della diga verso monte e verso sinistra.

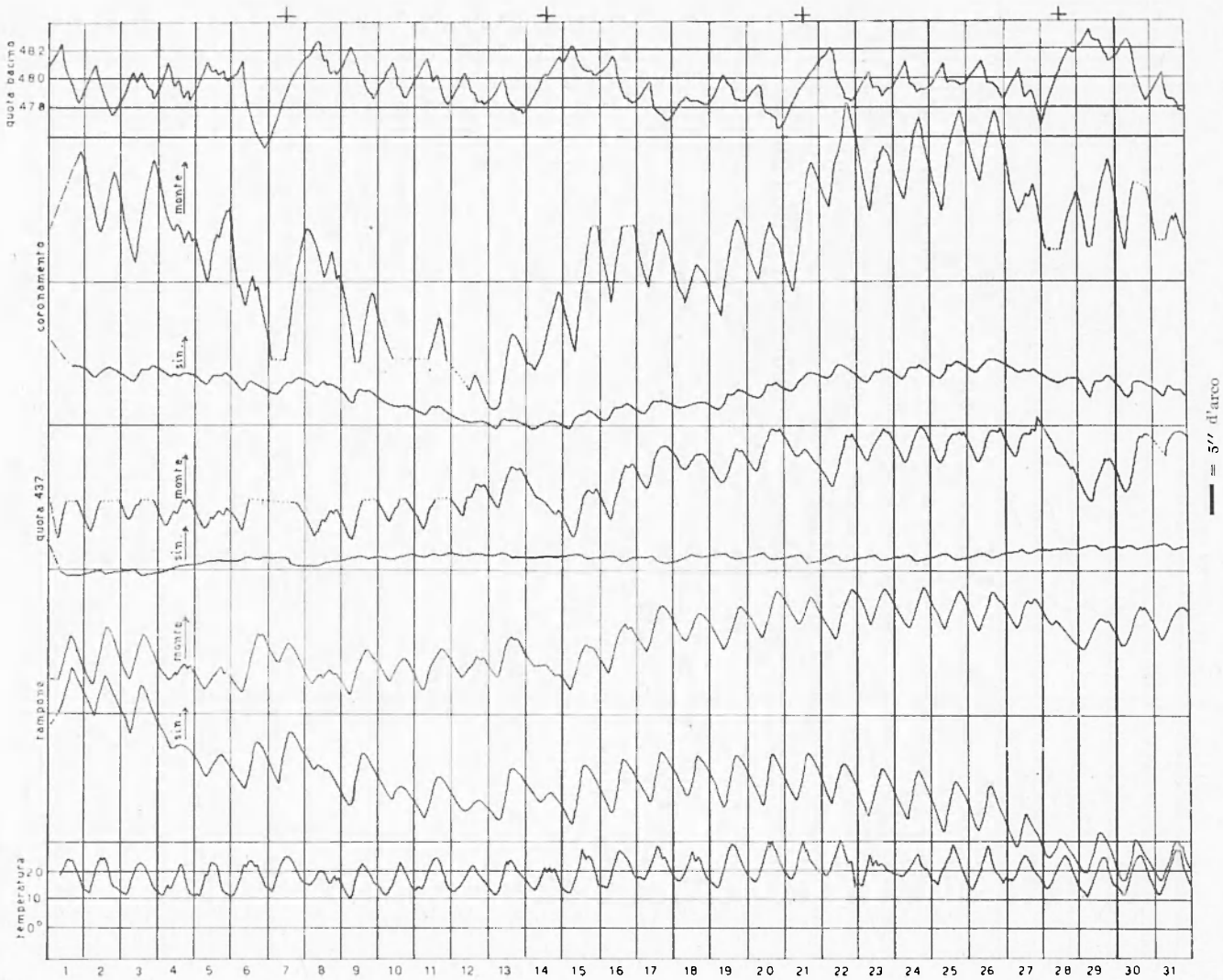

Fig. 12 – Diga Ambiesta: *Luglio 1963* — Osservazioni analoghe a quelle riportate per il mese di Giugno: ampie onde diurne nella comp. valle-monte del coronamento (mascheranti quelle dovute alle variazioni diurne dell'invaso): variazioni della verticale (anche diurne) sulla stessa comp. a q. 437 e 436 (tampone) particolarmente legate all'invaso; lieve accentuazione delle variazioni diurne in fase; ampie oscillazioni diurne della verticale apparente sulla comp. sinistra-destra del tampone, dovute all'asimmetria dell'insolazione, che sul tampone, si trasforma in asimmetria dinamica.

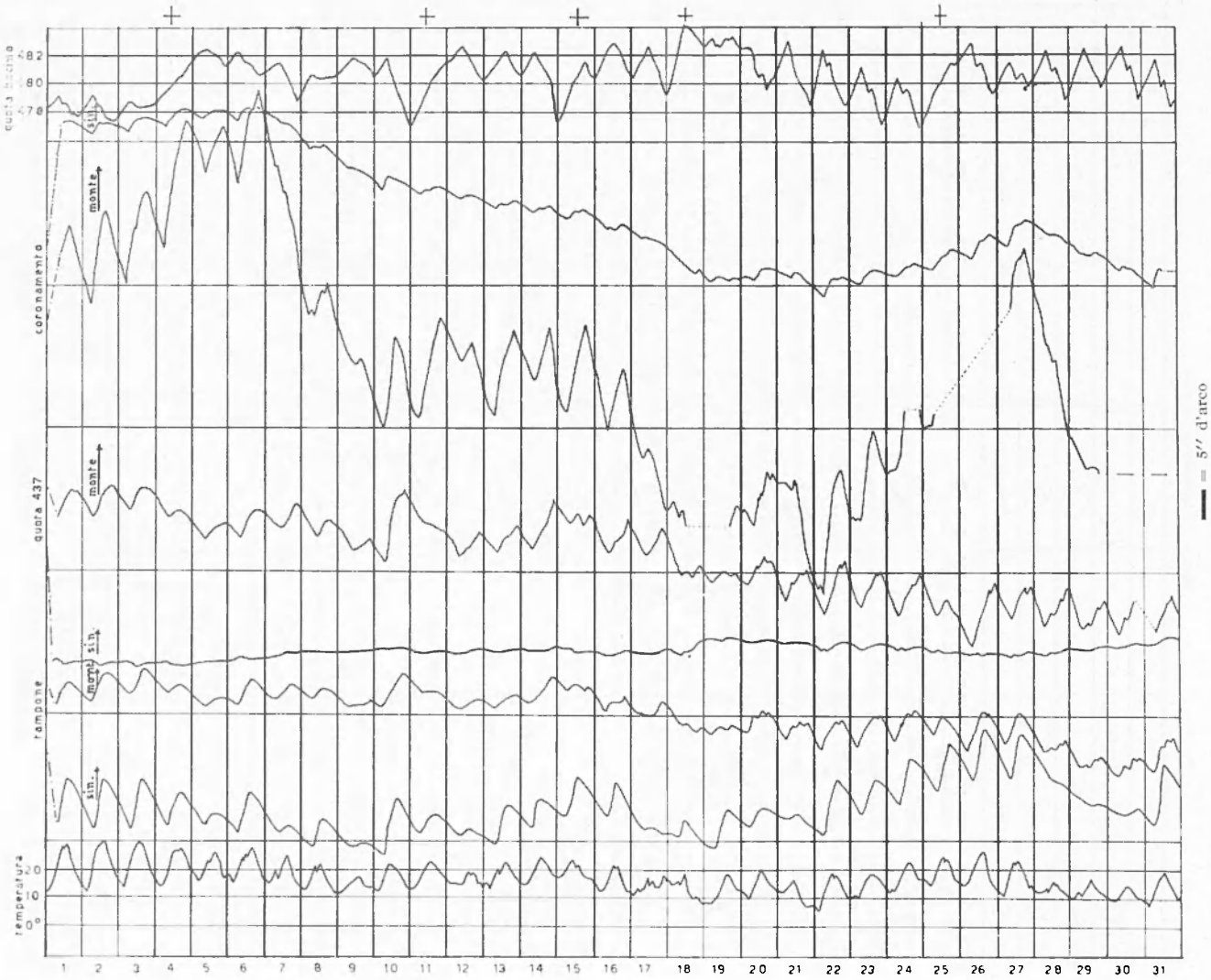

Fig. 13 – Diga Ambiesta: *Agosto 1963* — Forti contrasti, specie nelle registrazioni clinografiche del coronamento, dovute a sensibili variazioni nel livello delle acque del lago e della temperatura dell'aria.

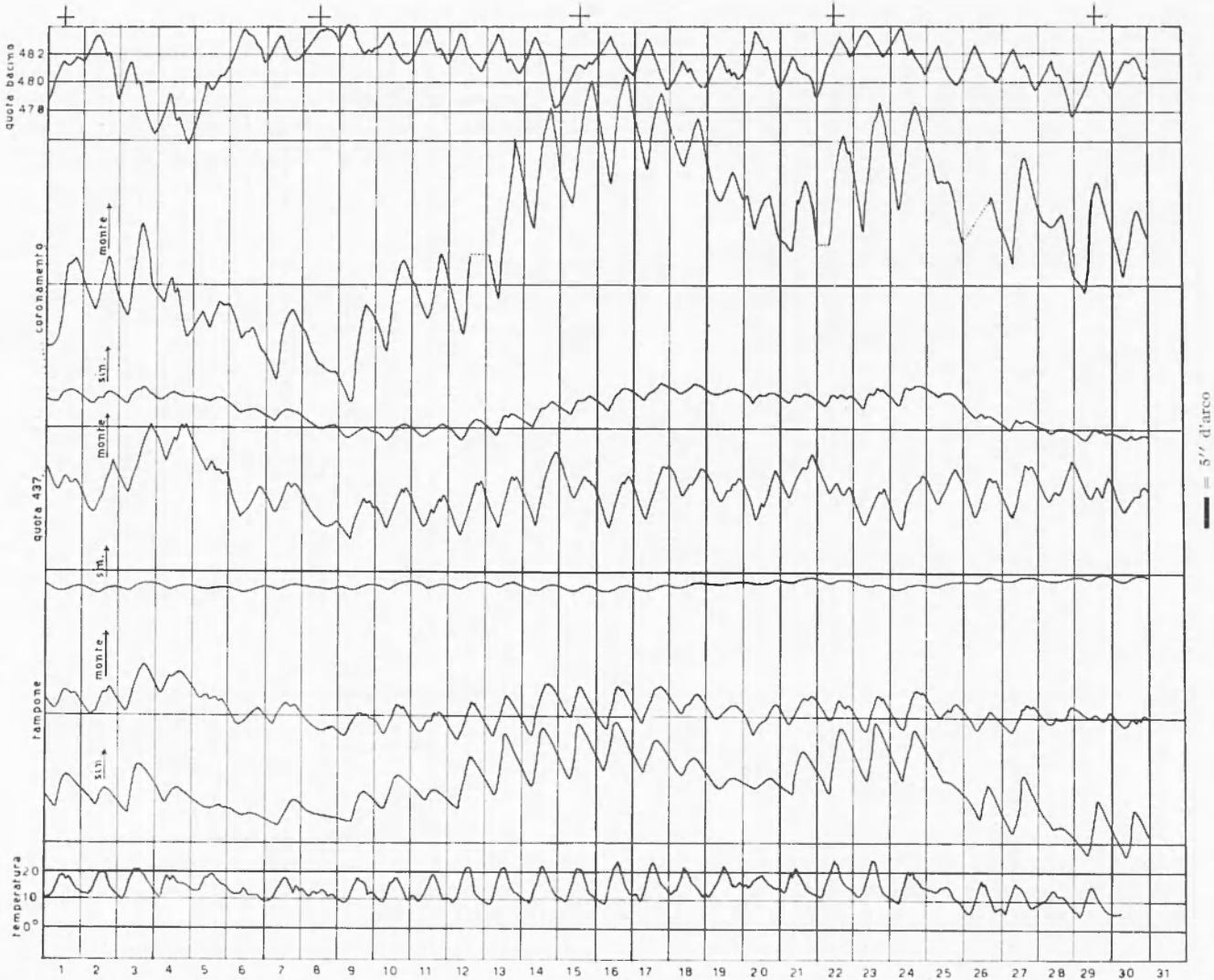

Fig. 14 – Diga Ambiesta: *Settembre 1963* — La diminuita azione dell'insolazione, fa sì che la comp. valle-monte dell'onda diurna alla base della diga riesca trascurabile, ciò che permette il prevalere della variazione diurna dell'invaso a q. 437 nei confronti del tampone, un metro più sotto, rimettendo in evidenza l'azione dissipatrice della superficie di discontinuità alla base del concio.

Sempre ampia persiste l'azione della dissimmetria d'insolazione (vedi comp. destra-sinistra del tampone).

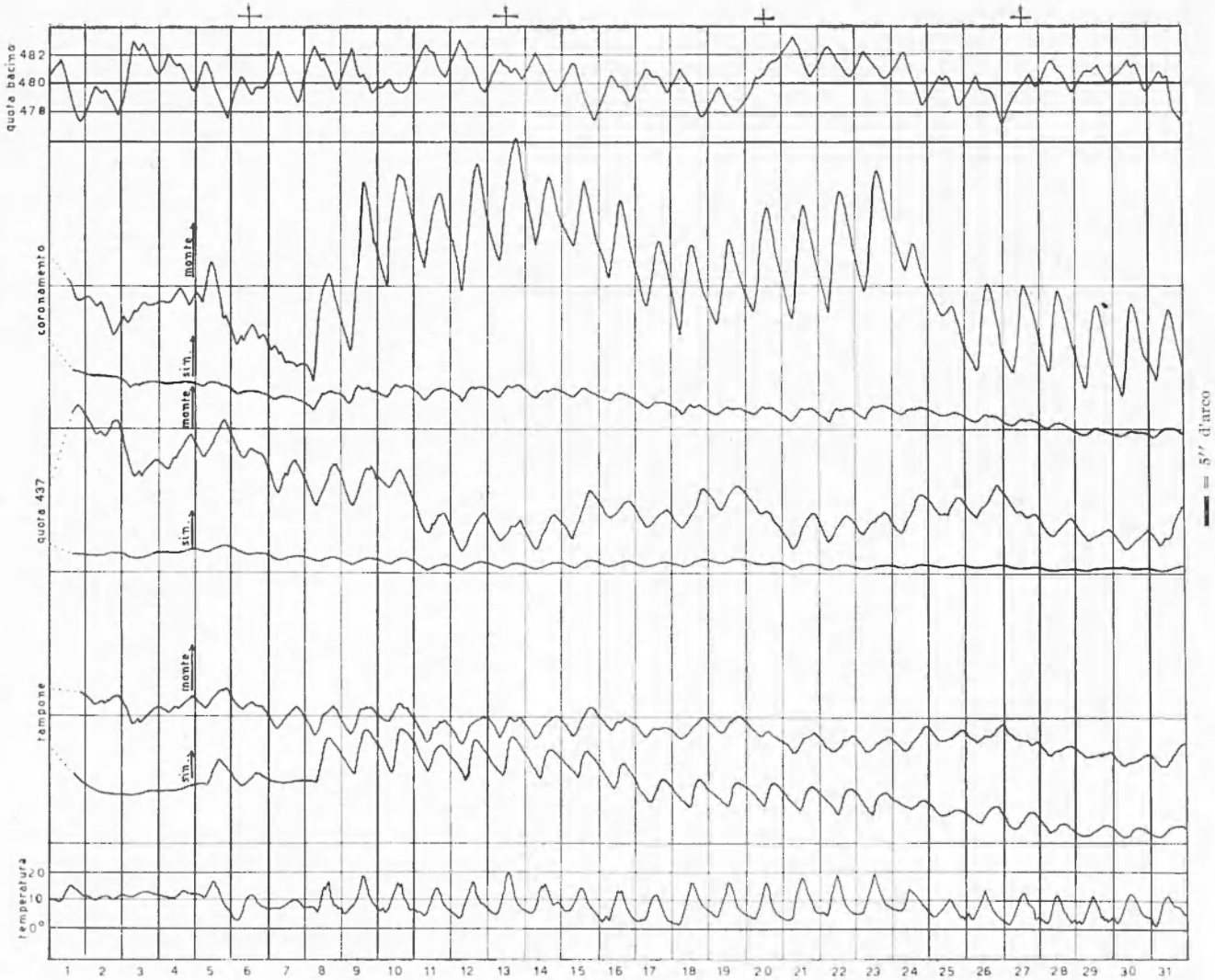

Fig. 15 – Diga Ambiesta: *Ottobre 1963* — Nel mese non ci sono forti variazioni dell'invaso intorno alla media e nemmeno la temperatura subisce forti variazioni, pur tendendo gradualmente a diminuire. Le variazioni diurne dell'invaso determinano alle quote 437 e 436 (tampone) le solite ondulazioni in perfetto parallelismo, più ridotte quelle sul tampone. Di notevole interesse si presenta, in questo mese, l'andamento dell'onda diurna: ampio nella seconda settimana del mese (col ritorno del bel tempo), essa tende gradatamente a diminuire con l'abbassarsi del sole all'orizzonte. Ciò si verifica contemporaneamente sia sulla comp. valle-monte nel coronamento, sia sulla comp. sinistra-destra del tampone (dovuta, come si è più volte osservato, all'asimmetria dell'insolazione). Verso la fine del mese, l'azione dell'insolazione si va estinguendo, provocando l'estinzione dell'onda diurna.

La progressiva diminuzione della temperatura dell'aria, determina il lento flettere della diga verso valle (il lieve ritorno verso monte, dal 20 a 25, del coronamento, va ascritto al comportamento anomalo della parte superiore della diga in una certa fase dell'invaso, di cui è detto nel testo).

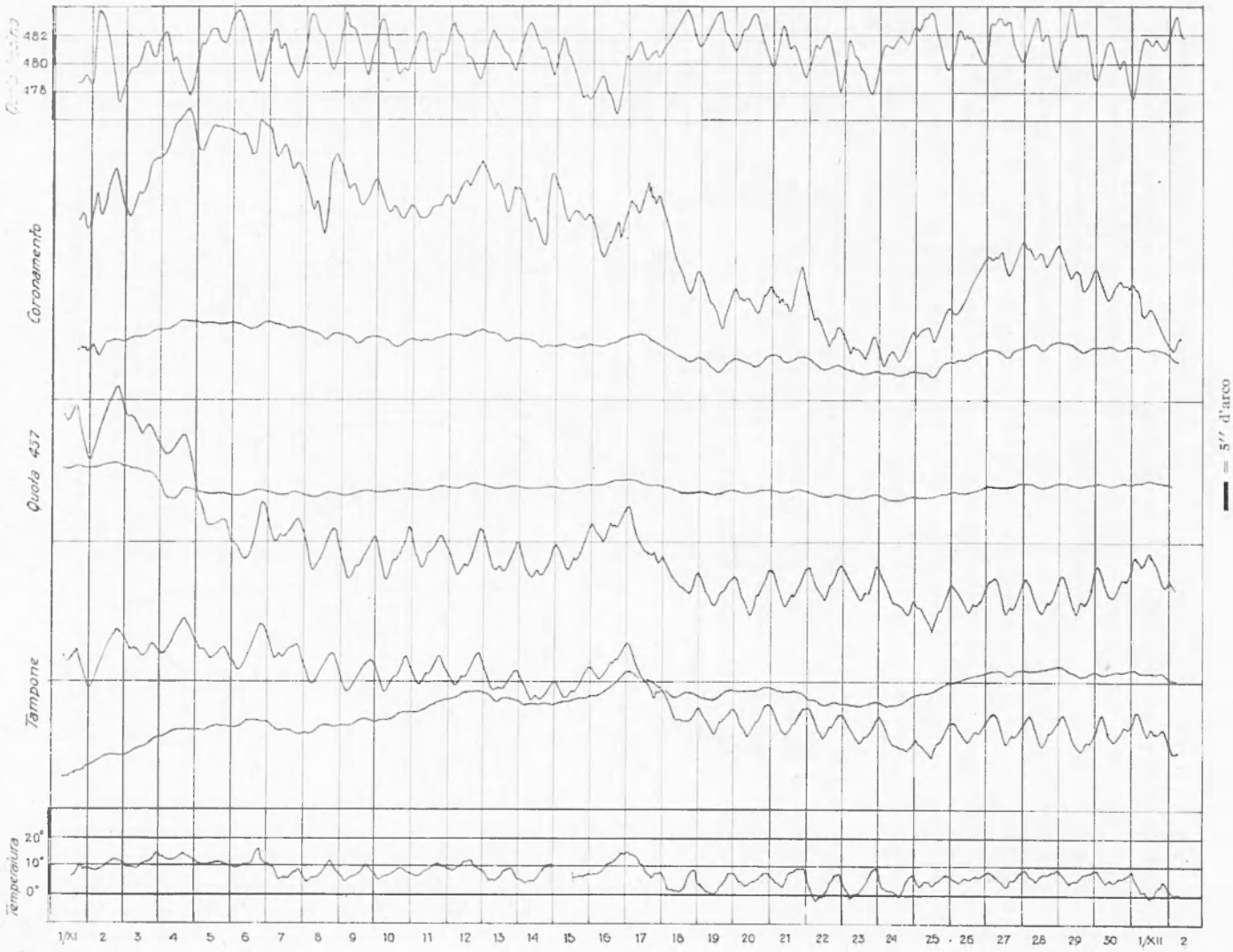

Fig. 16 – Diga Ambiesta: *Novembre 1963* — In questo mese l'insolazione è praticamente inefficace: si realizza pertanto la scomparsa della oscillazione diurna, nota sotto il nome di onda diurna, dal coronamento al tampone. I clinogrammi, per quanto riguarda le variazioni diurne o di minor periodo, sono pertanto legati alle variazioni dell'invaso. Vedansi le comp. valle-monte a quota 437 e 436 (tampone), quest'ultima con l'abituale riduzione per dissipazione sulla superficie limite del tampone. Le lente variazioni di temperatura dell'aria si riflettono in analoghe lente variazioni della verticale apparente, coperiodali. I clinogrammi mancano dei segni d'orientamento, che coincidono d'altronde con quelli dei mesi precedenti; ciò vale anche per la scala degli spostamenti.

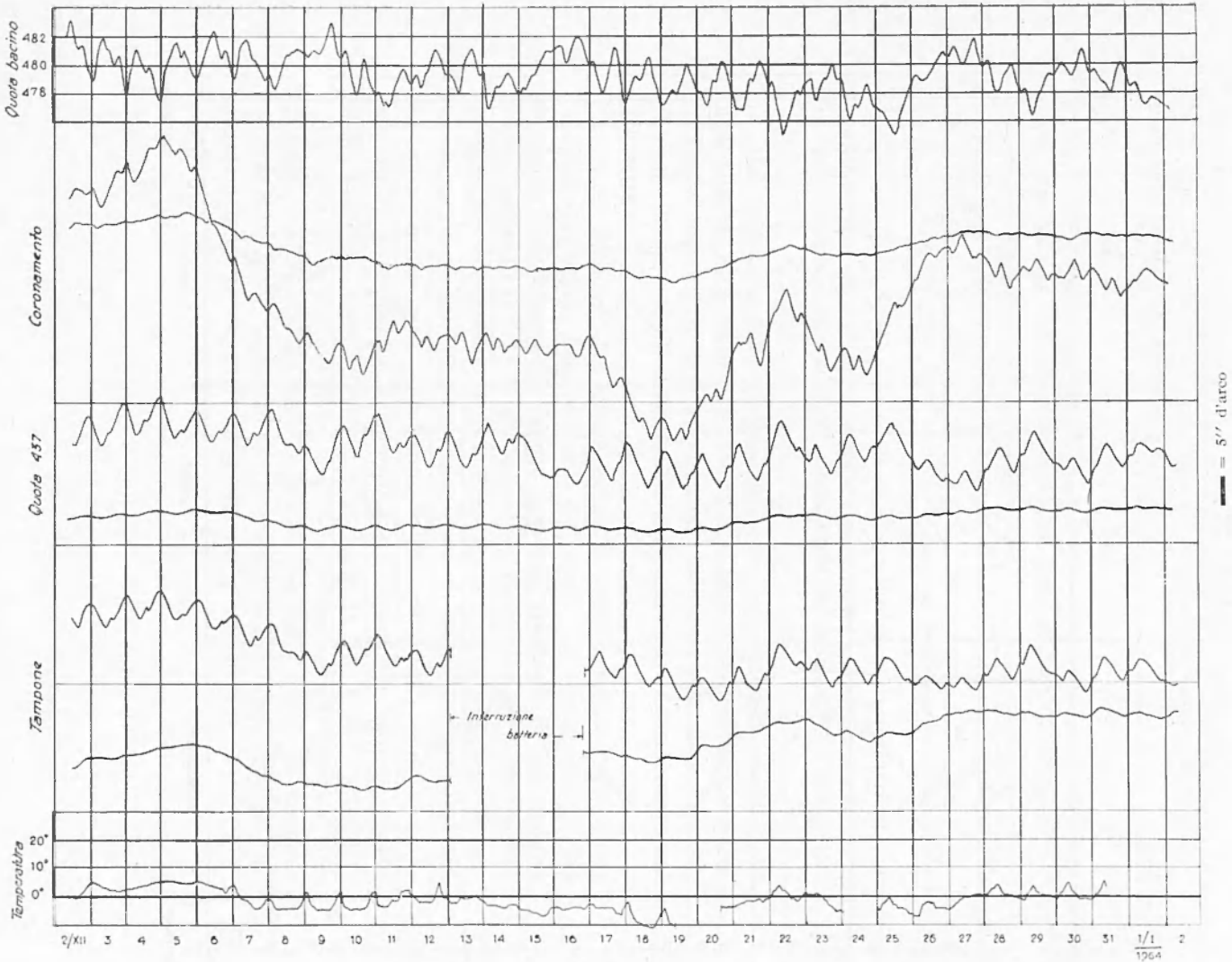

Fig. 17 – Diga Ambiesta: *Dicembre 1963* — Osservazioni analoghe a quelle fatte per Novembre: scomparsa dell'onda diurna; azione esclusiva dello invaso per le variazioni di breve periodo, invaso e temperatura per quelle a più lungo periodo, con ulteriore flessione della diga a valle per raffreddamento.

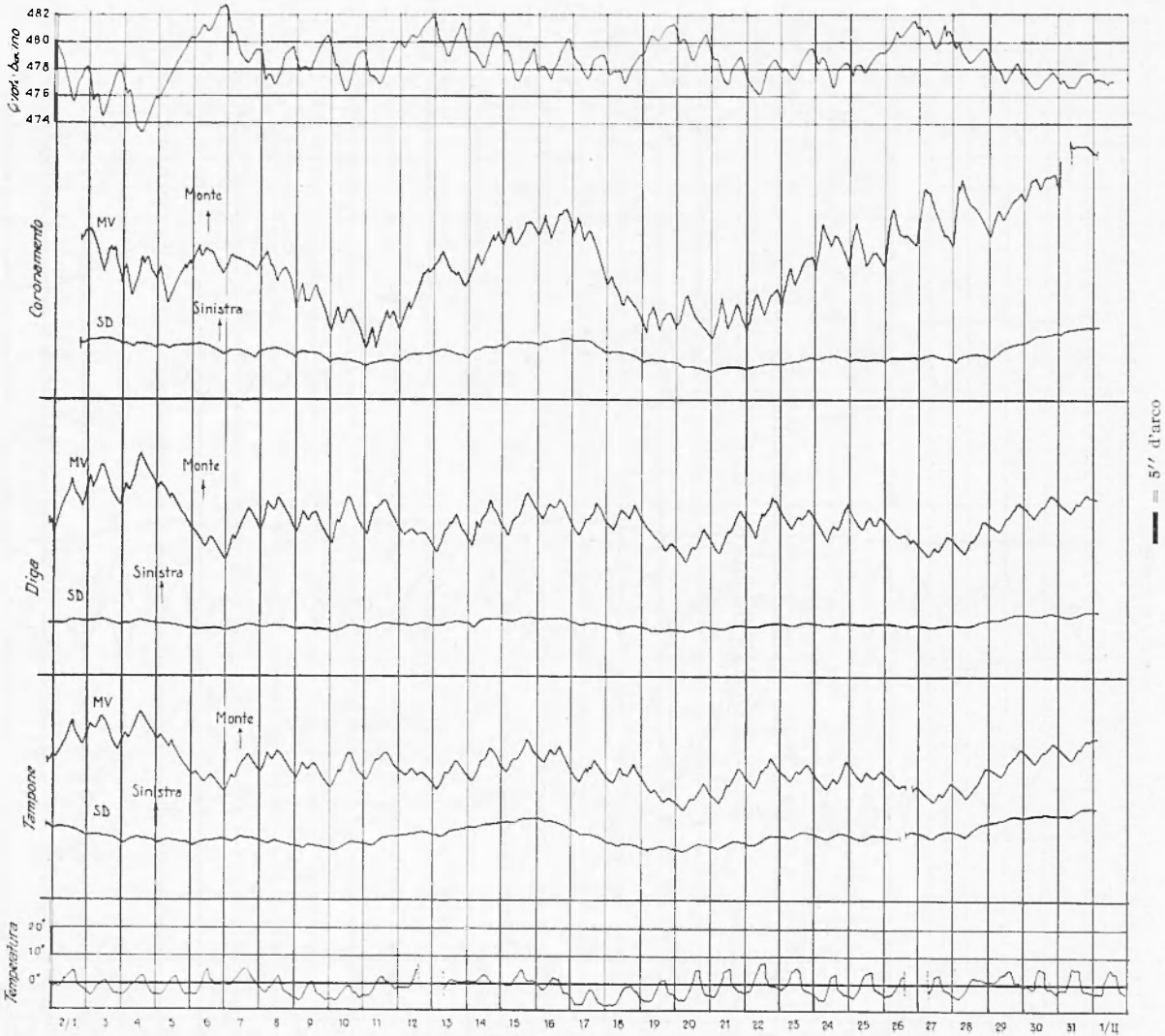

Fig. 18 — Diga Ambiesta: *Gennaio 1964* — Quello che si è detto per Novembre e Dicembre, vale sostanzialmente anche per Gennaio: per i motivi più volte esposti, solo le componenti valle-monte sono attive per le variazioni della verticale apparente, di periodicità uguale o minore a un giorno, attribuibili alle sole variazioni di livello nel bacino idrico. Manca l'onda diurna e solo le lente variazioni di temperatura dell'aria agiscono, in questo mese, sulla diga.

Venendo al punto III, possiamo osservare che i fenomeni accennati al punto II subiscono, a loro volta, variazioni non periodiche nel tempo, legate alle variazioni della natura intrinseca del calcestruzzo. Ciò si manifesta sia per decadimento dell'elasticità per trazione della roccia d'imposta continuamente sollecitata, sia per mutata rigidità del calcestruzzo. Ho già mostrato altrove come tale mutazione possa essere messa in evidenza dal controllo periodico delle frequenze libere dei conci della diga. Tale metodo ha già provato l'aumento della rigidità p. es. nella diga del Lumiei, ed è in corso di applicazione presso altre dighe, compresa quella dell'Ambiesta (Fig. 19).

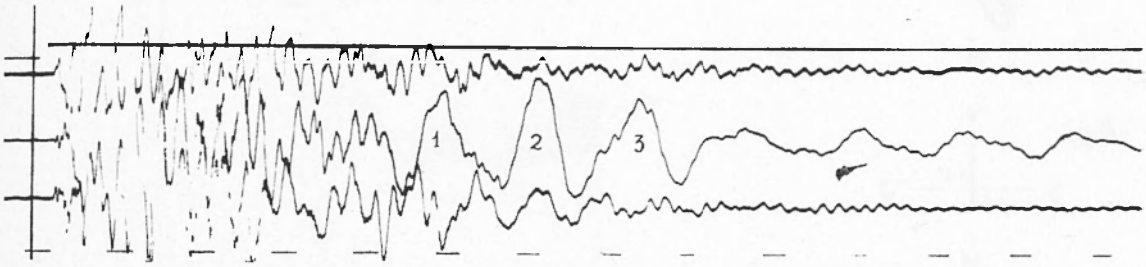

Fig. 19 – L'oscillazione 1-2, 2-3, sulla componente orizzontale valle-monte del vibrografo da la fondamentale trasversale del concio centrale (periodo $0^s,18$ circa).

La variazione della rigidità viene pure espressa dalle registrazioni clinografiche. Si è detto ([2,4,5]) dell'attenuazione e successiva scomparsa dell'onda diurna alla base di una diga, dalla sua ultimazione in poi. Ciò può essere senz'altro spiegato con il progressivo irrigidimento del calcestruzzo.

A tale fenomeno, va pure associata la lenta variazione del piano di ondulazione diurna della verticale apparente, in corrispondenza del tampone della diga dell'Ambiesta. Il vettore risultante di tale ondulazione, negli anni 1957-58 ([3]), presentava un'inclinazione di 30-40° rispetto la direzione valle-monte. Tale inclinazione è andata gradatamente aumentando, tanto che nel 1962 essa è stata, in media, dell'ordine di 60°. Ciò sta a significare che — a parità di altre condizioni — è andata gradualmente aumentando la resistenza del mezzo alle flessioni causate dalle variazioni termiche, legate all'andamento diurno dell'insolazione. Attualmente, si può affermare che l'azione dinamica, determinata dall'asimmetria dell'insolazione, è la sola causa termica agente sul tampone e si esplica, quasi esclusivamente, sulle variazioni della verticale apparente da spalla destra a spalla sinistra e viceversa (Fig. 20).

Dell'azione stagionale si è riferito più volte [2,3,4,5]. Essa appare evidente anche ai margini della diga, sui clinografi sistemati fuori di essa, a testimonianza dell'influenza dell'ambiente sul comportamento della diga stessa.

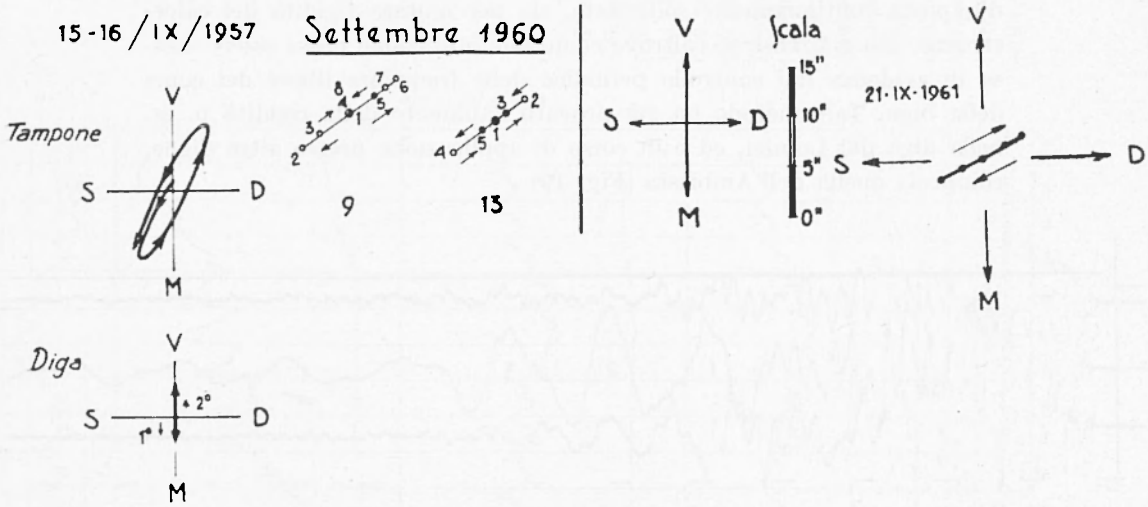

Fig. 20

Fra i clinografi funzionanti fuori della diga, rivestono particolare interesse, a questo riguardo, quelli sistemati in roccia ai lati del coronamento, una coppia in sponda sinistra ed una in sponda destra. Si è già accennato altrove sulle registrazioni di queste coppie di clinografi [3].

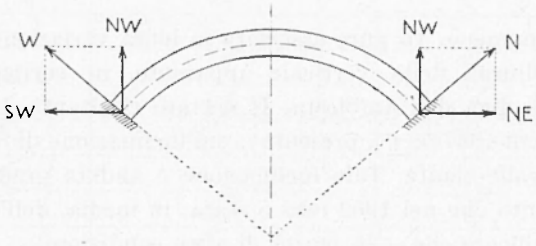

Fig. 21

Qui desidero soffermare l'attenzione sulle indicazioni che essi forniscono circa la stagionale interazione fra diga e roccia d'imposta.

Si vedano i clinogrammi ottenuti, nelle postazioni dette, nell'anno 1961. È facile l'interpretazione del movimento complessivo da essi

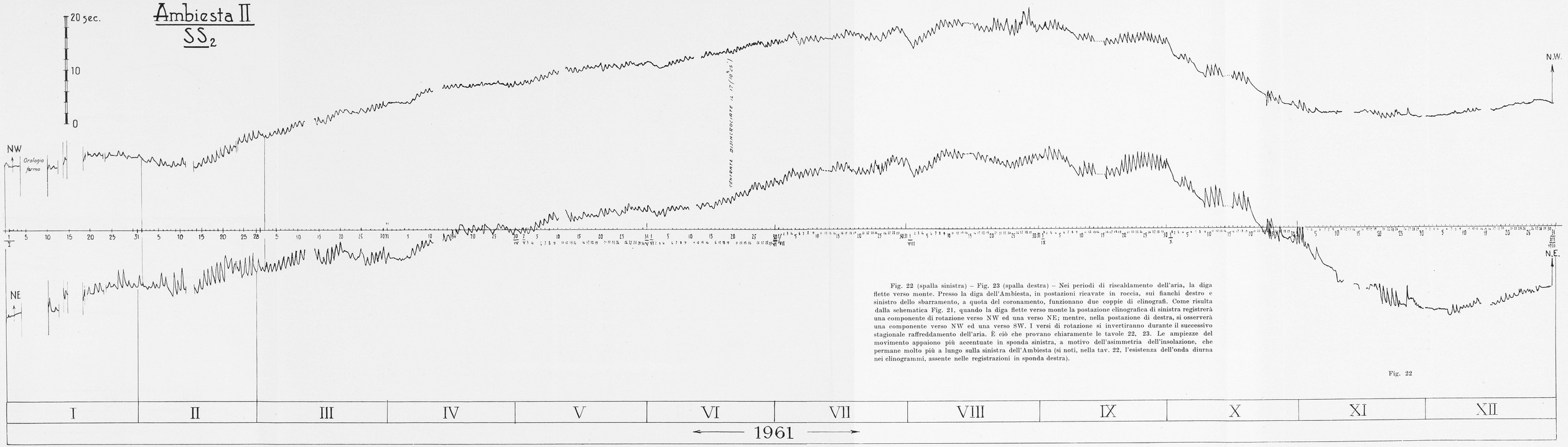

Fig. 22 (spalla sinistra) – Fig. 23 (spalla destra) – Nei periodi di riscaldamento dell'aria, la diga flette verso monte. Presso la diga dell'Ambiesta, in postazioni ricavate in roccia, sui fianchi destro e sinistro dello sbarramento, a quota del coronamento, funzionano due coppie di clinografi. Come risulta dalla schematica Fig. 21, quando la diga flette verso monte la postazione clinografica di sinistra registrerà una componente di rotazione verso NW ed una verso NE; mentre, nella postazione di destra, si osserverà una componente verso NW ed una verso SW. I versi di rotazione si invertiranno durante il successivo stagionale raffreddamento dell'aria. È ciò che provano chiaramente le tavole 22, 23. Le ampiezze del movimento appaiono più accentuate in sponda sinistra, a motivo dell'asimmetria dell'insolazione, che permane molto più a lungo sulla sinistra dell'Ambiesta (si noti, nella tav. 22, l'esistenza dell'onda diurna nei clinogrammi, assente nelle registrazioni in sponda destra).

Fig. 22

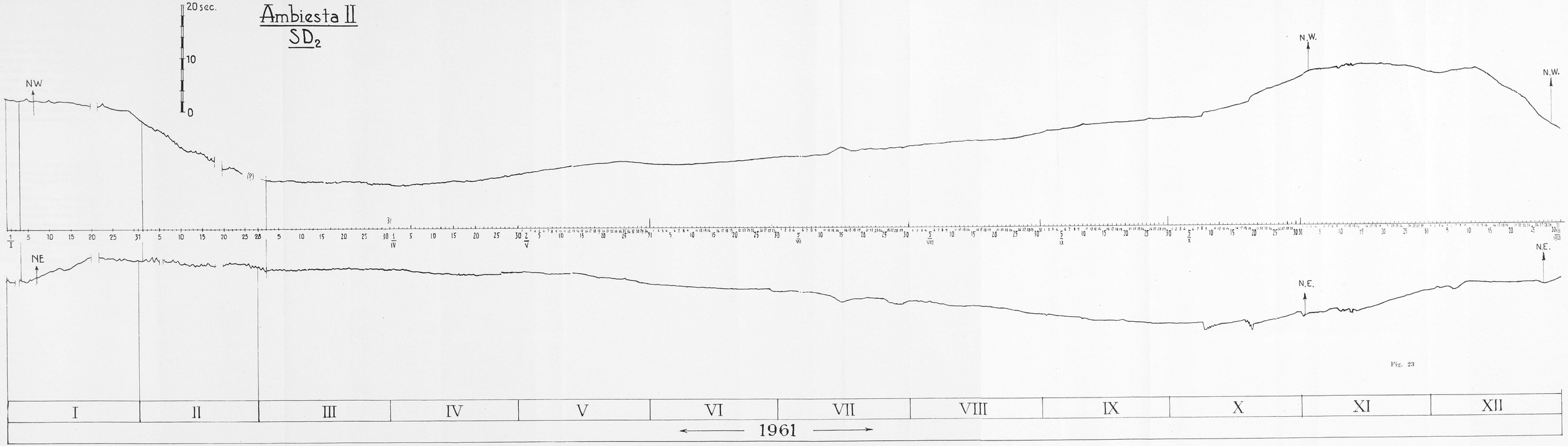
20 sec.
10
0
Ambiesta II
SD2
NW
NE
N.W.
N.E.
(?)
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI
XII
1961

Fig. 23

indicato. Quando la diga subisce l'effetto della temperatura crescente dell'aria, nel passaggio dall'inverno alla primavera e, quindi, all'estate, essa viene obbligata a spostarsi verso monte. Mediamente (prescindendo da altre cause di perturbazione) nelle postazioni in sinistra dovranno aversi variazioni angolari verso NW e NE e, in destra, ancora verso NW e, invece, verso SW per l'altra componente (Fig. 21). È quello che sostanzialmente si verifica, come è provato dalle Figg. 22, 23. Quando dall'estate si passa gradualmente all'autunno e, quindi all'inverno, il movimento, naturalmente, si inverte.

BIBLIOGRAFIA

(1) P. Caloi, *About some Phenomena preceding and following the seismic Movements in the Zone characterized by high Seismicity*, « Contributions in Geophysics in Honor of Beno Gutenberg ». Pergamon Press, London, 1958.

(2) P. Caloi, *Come la Geofisica può contribuire ai problemi concernenti la costruzione e l'osservazione delle grandi dighe*. SADE, Ufficio Studi – Relazioni e Studi, 19, 1958.

(3) P. Caloi, *Osservazioni clinografiche presso la diga dell'Ambiesta*. SADE – Ufficio Studi, Relazioni e studi, 21, 1959.

(4) P. Caloi, *La Geofisica e le grandi dighe*. « L'Energia Elettrica », **XXXIX**, 1, (1962).

(5) P. Caloi, *Aspetti della dinamica di rocce, calcestruzzo ed acque*. « Annali di Geofisica », **XV**, 2-3, 1962.