

**Interpretazione geodinamica delle registrazioni  
clinografiche ottenute presso la diga di Pontesei  
(Val Zoldana).**

*(Geodynamical interpretations of the clinographic recordings obtained  
near the dam of Pontesei, Val Zoldana)*

P. F. BIAGI (\*)

Ricevuto il 20 Settembre 1972

**RIASSUNTO.** — Si espongono i risultati dell'esame delle registrazioni clinografiche ottenute nel concio centrale della diga di Pontesei dal 1967 ai giorni nostri.

Dato che, in questo sbarramento, le variazioni di livello del bacino idrico sono evanescenti come causa perturbante, i risultati raggiunti riguardano la risposta al solo effetto termico, chiarendo in modo esauriente tutti gli aspetti dinamici, sia diurni che stagionali, che caratterizzano l'interazione fra lo sbarramento e la causa perturbante.

Si parla inoltre dei microsismi che sono presenti, anche se non ben definiti, nelle registrazioni clinografiche, accennando alle loro probabili origini. Si discute, per alcuni di essi, l'effetto di convogliamento (concentrazione di energia dal basso all'alto che si traduce in un aumento degli spostamenti associati alle onde elastiche) e se ne valuta l'entità.

**SUMMARY.** — Here are the results of the analysis of the clinographic recordings obtained, from 1967 to nowadays, in the central slab of Pontesei dam.

As, in this dam, the variations in the level of the hydric basin don't cause any perturbation, the results only interest the reply to the thermic effect, and they explain exhaustively all the dynamic aspects, diurnal and seasonal, characterizing the interaction between the barrage and the perturbation.

---

(\*) Assistente presso l'Istituto di Fisica, Università di Roma.

Then we consider the probable origin of the microseisms appearing, even if in a vague shape, in the clinographic registration. For some of them we study the "conveyance effect" (concentration of energy from low to high turning in an increase of the displacements associated with the elastic waves) and, finally, we estimate their values.

La diga di Pontesei è uno sbarramento di media altezza — concio centrale di circa 80 m — sul corso del torrente Maè, nei pressi di Belluno.

Dal 1958 (a quattro anni di distanza dall'inizio della sua attività) la sua funzione nel contesto elettrico è stata interrotta a causa del verificarsi di frequenti frane in spalla sinistra.

Passati alcuni anni, si è iniziato uno studio sistematico dei micro-movimenti del manufatto disponendo tre coppie di clinografi a quote diverse [Coronam.  $\equiv$  q. 798 m — Piastra e tampone  $\equiv$  q. 725,8 (una solidale con la base del concio, l'altra che poggia sul tampone)] sul concio centrale.

I risultati raggiunti riguardano:

1) Comportamento della diga in tutti i suoi aspetti all'azione termica, diurna e stagionale;

2) Studio della microsismicità rilevata per quanto concerne l'origine e la propagazione dei microsismi lungo i conci della diga.

Per quanto concerne il primo punto voglio precisare quanto segue: in una diga si hanno principalmente due cause di perturbazione; una proveniente dal bacino idrico per le più o meno rapide variazioni di livello, l'altra di origine meteorologica e più particolarmente termica. Nella diga di Pontesei la prima causa di perturbazione è evanescente a causa dell'interruzione del funzionamento dello sbarramento rilevato all'inizio di questa nota — il livello del bacino idrico infatti resta pressoché costante (tranne poche eccezioni) o subisce piccole variazioni regolari del tutto trascurabili come effetti di perturbazione per la diga (fig. 1).

Si può quindi asserire che l'azione termica è l'unica causa delle variazioni di inclinazione che risultano nelle registrazioni clinografiche esaminate (Tavole I, II, III e IV).

Riguardo al punto 2 mi sembra doveroso mettere in evidenza che presso la diga di Pontesei non è in funzione alcuna stazione sismica per il rilevamento dei microsismi, sì che il mio studio in proposito non può essere completo e per questo si rimanda ad altre pubblicazioni

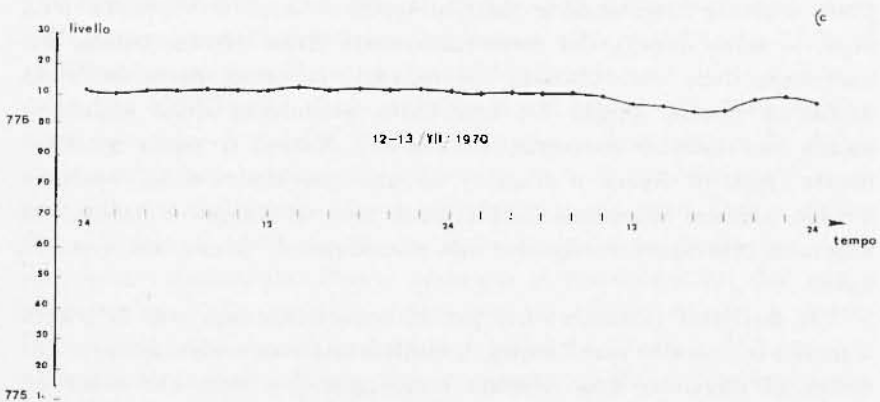
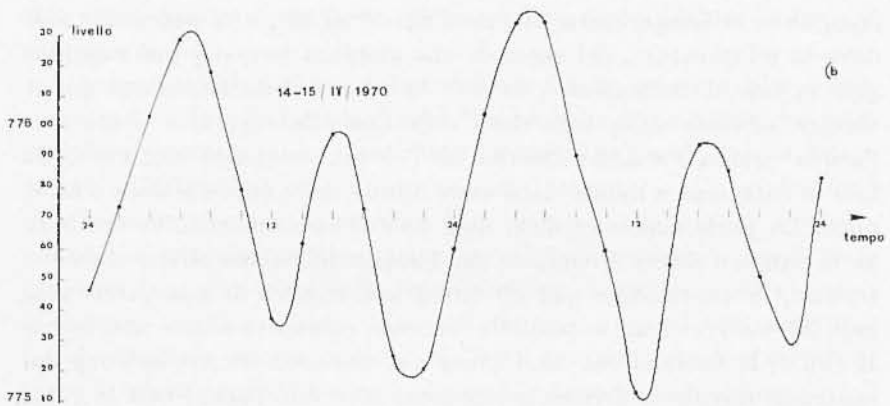
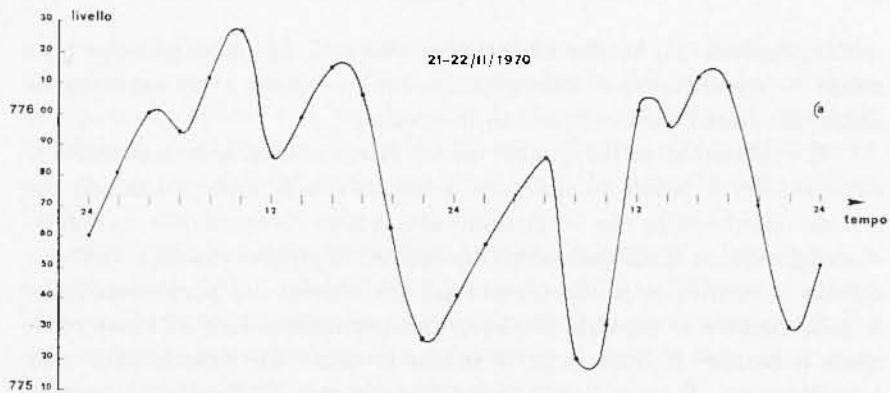


Fig. 1 - Esempi di variazioni del livello del bacino idrico della diga di Pontesci lungo l'arco di 48 ore. Nel caso c) il livello resta pressoché immutato, nei casi a) e b) le variazioni non superano il metro di entità.

sull'argomento. Lo studio clinografico eseguito mi ha comunque permesso — come mostrerò dettagliatamente in seguito — di evidenziare alcuni fenomeni particolarmente interessanti.

E veniamo al primo punto: da un primo esame delle registrazioni clinografiche è palese la diversità esistente fra le onde diurne in direzione monte-valle che compaiono alla quota coronamento da quelle omologhe che si hanno alle altre due quote: dopo una rapida e violenta caduta a monte, le prime presentano un ritorno del pari consistente a valle mentre le seconde rivelano una persistente fase di lenta rotazione a monte. È bene chiarire subito le cause che determinano una tale diversità. È noto (1, 2, 3) che generalmente l'onda diurna presentata da una diga è dovuta alle tensioni che nascono dal contrasto termico esistente fra la parete a monte, a contatto con l'acqua del lago, dove la temperatura ha valori dai 4° ai 10°, e la parete a valle, dove la temperatura, nel corso di una giornata limpida, può raggiungere in fase d'insolazione i 30°-40°. Orbene, questa situazione qui si verifica soltanto dalla base della diga fino alla superficie libera dell'acqua (quota variabile intorno ai 775 m), rendendo ragione della fase di rotazione a monte delle onde diurne delle quote piastra e tampone. La parte superiore della diga fino al coronamento, invece, non ha la parete a monte a contatto con l'acqua del bacino idrico, e, poiché trattasi, in questa diga (per gli ormai noti motivi) di una parete alta ben 25 metri circa, è possibile un suo comportamento autonomo. È così; le tensioni che sono causa qui dell'onda diurna nascono dal contrasto dovuto a diversa insolazione delle due pareti; così la rotazione a valle ad insolazione perdurante, che appare nelle onde diurne della quota coronamento, è da attribuirsi al fatto che il sole da valle passa a monte invertendo le tensioni agenti sulla parte superiore della diga — fatto questo, del resto confermato dalla diversa entità, nei vari mesi, delle due rotazioni che formano la prima parte dell'onda diurna a questa quota. Da una netta prevalenza della caduta a monte nei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo, si passa gradatamente (mesi di Aprile e Maggio) ad una prevalenza della rotazione a valle (almeno nei giorni limpidi) nei mesi di Giugno e Luglio, per ritornare bruscamente (Agosto) alla situazione di prima nei restanti mesi.

È doveroso precisare che, per la zona della diga con la parete a monte a contatto con l'acqua, il contrasto termico sarà sempre tendente ad esercitare una torsione verso monte — cosa che come ho detto si osserva nelle registrazioni — anche quando il sole passa da

questa parte dato che non provoca che una lenta diminuzione della temperatura della parete a valle, fermo restando il divario con l'altra. Il concio sottoposto così dal basso e dall'alto a tensioni contrastanti si flette (ai due estremi) concorde all'una e all'altra causa perturbante con fulcro che dovrebbe trovarsi poco sotto la superficie libera dell'acqua.

Si noti che nei mesi di Gennaio e Febbraio, come è palese, la causa inferiore vien meno, quando il sole passa a monte. Ebbene in questi mesi a tal punto, mentre alla quota coronamento c'è il ritorno a valle, seppur breve, alle quote piastra e tamponi si osserva una totale staticità. Questo a conferma dell'autonomia suddetta.

Riprendiamo il filo principale del discorso.

Con la scomparsa del sole il calcestruzzo si contrae determinando alle quote piastra e tamponi, nelle relative onde diurne, la fase di ritorno a valle.

Ancora interessante è la situazione che si presenta alla quota coronamento dove la fase di ritorno è ora a valle ora a monte. La spiegazione è presto data: ad insolazione ultimata, la parete che ha scorso di più sull'altra è quella maggiormente interessata alla contrazione (intesa come richiamo elastico) e può essere quella a valle o quella a monte a seconda che la rotazione a valle ad insolazione perdurante sia stata maggiore o no della iniziale caduta a monte. Così nei mesi di Giugno, Luglio e Agosto (si ricordi quanto in precedenza osservato) l'onda diurna a questa quota presenterà generalmente la fase di ritorno a monte, mentre nei restanti mesi la presenterà a valle.

Passiamo ora a considerare la situazione in direzione sinistra-destra.

È noto (4.) che è l'asimmetria di una diga all'insolazione la causa della componente di rotazione tangenziale all'asse della diga. Poiché qui l'insolazione da valle agisce in maniera ponderante sul lato sinistro della diga è chiaro che 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. Questa è la situazione che si presenta alle quote piastra e tamponi; l'onda diurna che si rivela al coronamento è ancora dissimile da quella che si ha alle quote sottostanti. Ferme restando le considerazioni del punto precedente, c'è da precisare che la fase di rapido ritorno a destra (mentre alle altre quote perdura la rotazione a sinistra), che appunto caratterizza le onde diurne del coronamento, sta a significare che, quando il sole passa a monte della diga, la situazione di asimmetrico

effetto s'inverte, cosa del resto ovvia tenendo presente il cammino del sole all'orizzonte.

Da monte l'insolazione agisce, quindi, in modo ponderante sul lato destro della diga. Anzi, prima ancora di investire, da tal verso, l'intera zona dello sbarramento sopra il livello dell'acqua del bacino, investe questo lato. Quest'ultima constatazione è dimostrata dal fatto che osservando attentamente le onde diurne della quota coronamento si nota un anticipo (variabile) della fase di ritorno, ad insolazione perdurante, dell'onda in sinistra-destra rispetto alla stessa fase di quella in monte-valle. La diversità nella durata dell'insolazione, che consegue all'anticipo ora menzionato, è anche causa del fatto che questa fase di ritorno in direzione sinistra-destra è (tranne che nei mesi propriamente invernali) di entità superiore alla fase di primitiva caduta a sinistra anche quando così non è per le corrispondenti rotazioni in direzione monte-valle (cfr. le Tavole I e II).

In conseguenza di ciò anche la fase di contrazione ad insolazione ultimata è quasi sempre verso sinistra.

E veniamo ora ad indagare sulle onde diurne delle quote piastra e tampone.

Quello che ha attirato subito la mia attenzione è la maggiorazione in ampiezza che tali onde presentano sia in direzione sinistra-destra che in direzione monte-valle dalla quota tampone a quella piastra.

Ho allora iniziato un paziente lavoro di misura, considerando anche le onde della quota coronamento, alla cui influenza sulla diversità notata davvo particolare importanza. I risultati raggiunti sono raccolti nella tabella 1.

Nelle figg. 2 e 3 è riportato l'andamento, ricavato dai dati della tabella, della differenza fra le ampiezze, rispettivamente in direzione monte-valle e sinistra-destra, delle onde diurne delle quote tampone e piastra nei vari mesi.

Soffermandoci sulla spezzata relativa alla direzione monte-valle (fig. 2) si osserva come la diversità in ampiezza riesce massima nei mesi di Maggio, Giugno e Luglio, mentre tende ad estinguersi nei mesi invernali (Novembre, Dicembre e Gennaio). Dalla tabella 1 si rileva che, proprio da Maggio a Luglio, il ritorno a valle della parte superiore della diga (quota coronamento) susseguente al passaggio del sole da valle a monte, è particolarmente intenso e duraturo rispetto alla primitiva rotazione a monte mentre, negli altri mesi, la situazione va via via invertendosi.

Tabella 1

1970 giorni	quota tampone		quota piastra		quota coronamento	
	ampiezza in sec. d'arco monte-val.   sinist.-dest.		ampiezza in sec. d'arco monte-val.   sinist.-dest.		ampiezza in sec. d'arco monte-val.   sinist.-dest.	
21 I	2,2	2,3	1,8	0,9	1,6	1,3
25 I	3,0	3,2	2,4	1,2	1,4	0,8
12 II	4,0	4,0	3,0	0,9	+1,8	-8,2 +3,0 -3,0
17 II	4,9	5,2	3,9	1,8	- - -	- - -
17 III	5,4	4,7	4,2	2,2	+1,6	-5,0 +1,9 -2,4
21 III	5,0	5,0	4,2	2,4	- - -	- - -
15 IV	4,3	3,4	3,3	1,8	+1,0	-7,0 +1,5 -3,2
23 IV	4,1	3,4	2,7	1,5	- - -	- - -
19 V	5,0	4,0 *	3,0	2,5	+1,3	-1,7 +2,6 -5,0
25 V	7,9	8,0	5,0	2,0	+1,2	-1,4 +1,5 -5,2
5 VI	7,0	7,7	5,2	2,5	+1,0	-4,6 +1,0 -2,6
21 VI	7,6	7,0	5,5	4,4	+1,0	-1,7 +1,0 -6,0
9 VII	5,5	4,0	4,0	2,9	+7,0	-4,6 +0,8 -1,8
23 VII	8,8	8,9	6,9	4,0	+8,5	-10,4 +1,3 -4,0
7 VIII	6,8	7,0	6,0	2,9	+9,2	-11 +1,0 -4,0
22 VIII	3,7	3,9	3,4	2,0	+1,0	-7,0 +1,0 -2,6
10 IX	5,5	5,5	4,0	2,5	+11,8	-5,0 +1,3 -2,0
21 IX	5,8	5,8	4,2	1,8	+15,5	-4,7 +2,1 -2,3
10 X	4,7	5,5	3,4	1,0	+20,9	-6,3 +2,3 -1,8
22 X	4,4	3,5	3,4	0	- - -	- - -
10 XI	3,5	4,0	2,8	0,8	manca le registrazioni	
25 XI	2,0	2,1	2,0	0		
15 XII	1,5	1,7	1,1	0	+8,7	-2,4 0

Tabella delle ampiezze delle onde diurne rilevate alle quote coronamento, piastra e tampone rispettivamente in direzione monte-valle e sinistra-destra. I due valori (positivo e negativo) che compaiono quasi sempre nei dati relativi alla quota coronamento si riferiscono il positivo alla fase di iniziale caduta a monte (sinistra) e il negativo alla successiva fase di ritorno a valle (destra) che caratterizzano le onde diurne a questa quota. I dati contrassegnati da asterisco rappresentano una situazione anomala rispetto al contesto generale del mese cui si riferiscono.

A questo punto la conclusione è ormai ovvia: responsabile dell'attenuazione lungo buona parte dell'anno (esclusi i mesi invernali) dell'onda diurna dal tampone alla piastra è l'azione flettente, già in precedenza notata, della parte superiore della diga (non a contatto con l'acqua del bacino) che si manifesta ad insolazione perdurante e che è contraria a quella (dovuta al contrasto termico) che comanda la parte sottostante della diga. Essa, infatti, fa sentire la sua azione fino alla quota piastra attenuandone, in misura proporzionale alla sua intensità, il movimento di rotazione a monte che ivi si è innestato, del pari con il tampone; qui però l'effetto contrastante non arriva.

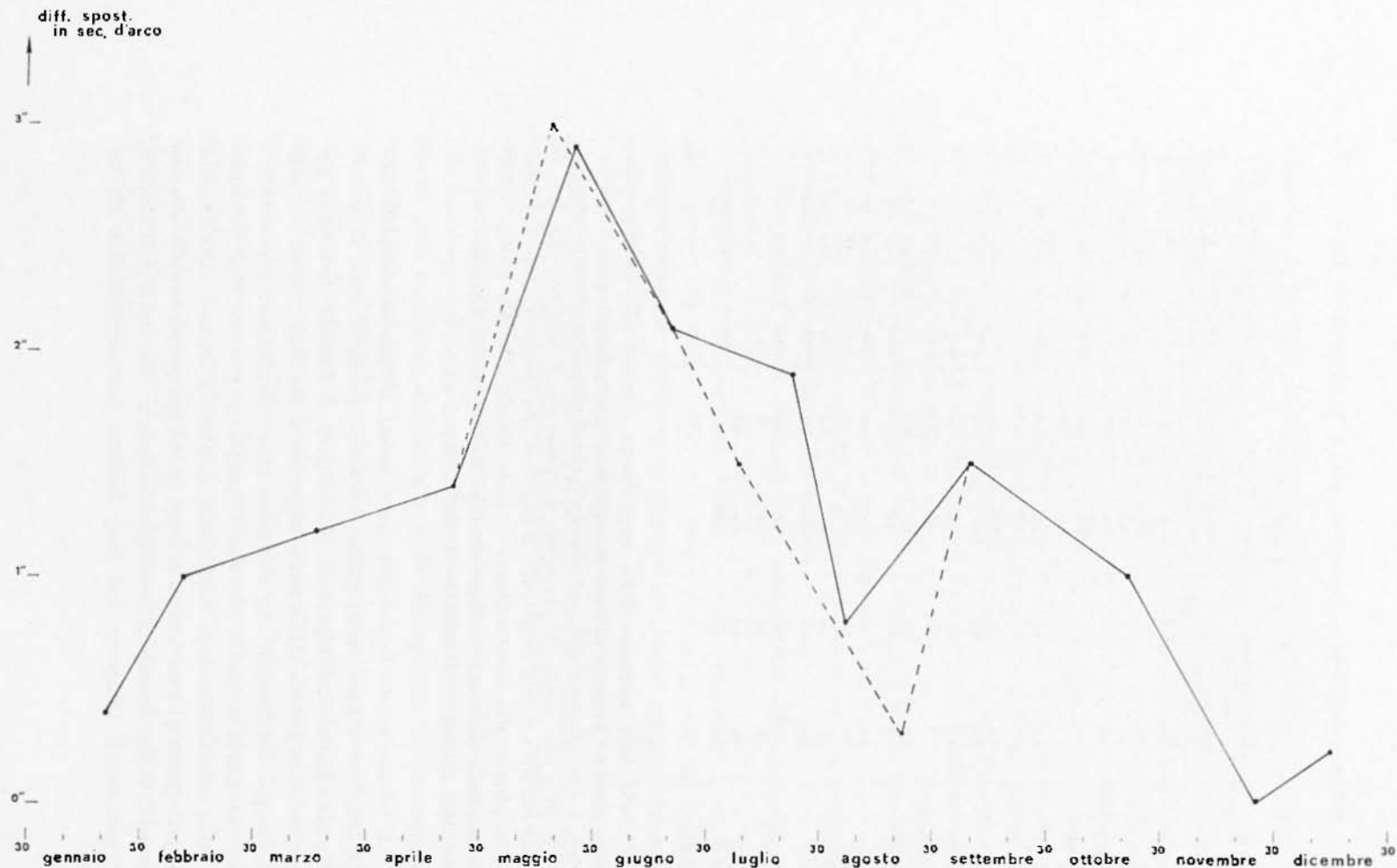


Fig. 2 - Grafico della differenza in ampiezza fra l'onda diurna in direzione monte-valle alla quota tampona e la corrispondente alla quota piastra, rispetto ai vari mesi dell'anno. Il grafico è stato derivato dai dati della tabella 1. La spezzata a tratti (che non muta sostanzialmente l'andamento di quella in continuo) è stata tracciata unendo punti che corrispondono ad un valore della differenza in ampiezza abbastanza diverso da quello ottenuto nell'altro giorno tabulato dello stesso mese (che corrisponde alla situazione apparentemente più normale nel contesto del mese stesso).



A prima vista potrà sembrare difficile ammettere un'indipendenza riguardo all'azione dell'effetto contrastante di cui su, fra il tampone e le basi dei conci sovrastanti, che risultano, all'atto pratico, formare un unico blocco. Non va però dimenticato che il tampone è effettivamente separato dalle basi dei conci da una superficie di discontinuità meccanica. Orbene, è proprio questa che rende possibile l'indipendenza in questione.

Nei mesi invernali, l'azione contrastante proveniente dall'alto, ad insolazione a monte, non trova esplicazione alla quota piastra per la mancanza (come abbiamo già osservato) della rotazione, dovuta al contrasto termico, della parte inferiore della diga; così le onde diurne alla quota tampone e piastra, hanno circa la stessa entità. Il fatto poi che l'onda diurna alla quota piastra, in questa fase, sia del tutto identica a quella della quota tampone senza presentare minimamente un ritorno a valle, come sarebbe ovvio per le affermazioni precedenti, trova questa spiegazione: la superficie di discontinuità succitata si congela ed ivi non possono più aver sede quei movimenti infinitesimi che, logicamente, conseguono a rotazioni di diversa entità fra il tampone e le basi dei conci sovrastanti, sì che il basso diga reagisce come un tutto unico.

La stessa cosa dovrebbe verificarsi ad Agosto (mese in cui il valore della differenza in ampiezza raggiunge le punte invernali); il grande calore fonde la superficie di discontinuità e l'azione, ora attenuante, dell'alto diga agisce su tutto il blocco inferiore.

La situazione che si presenta in direzione sinistra-destra (fig. 3) si discosta dalla precedente per i valori molto più elevati che presenta la differenza fra le ampiezze delle onde diurne alle due quote, sia in inverno che in estate. Ferme restando le considerazioni del punto precedente, quanto ora osservato trova la sua spiegazione in due cause ben distinte:

a) la prima è che l'azione contrastante proveniente dall'alto diga, nei giorni limpidi, è sempre (eccetto Dicembre e Gennaio) di notevole durata e quindi intensità — si ricordi quanto in precedenza osservato — di conseguenza esercita nei vari mesi dell'anno una violenta azione attenuante alla quota piastra, facilitata in questo, anche dal fatto che trattandosi di azione trasversale alla diga non trova contrasto a propagare la sua azione là dove la diga è a contatto con l'acqua, dall'effetto di pressione idrica, come invece è in direzione monte-valle. Tutto questo rende anche ragione della grande differenza tra i valori normali e anormali, che risulta in fig. 3.

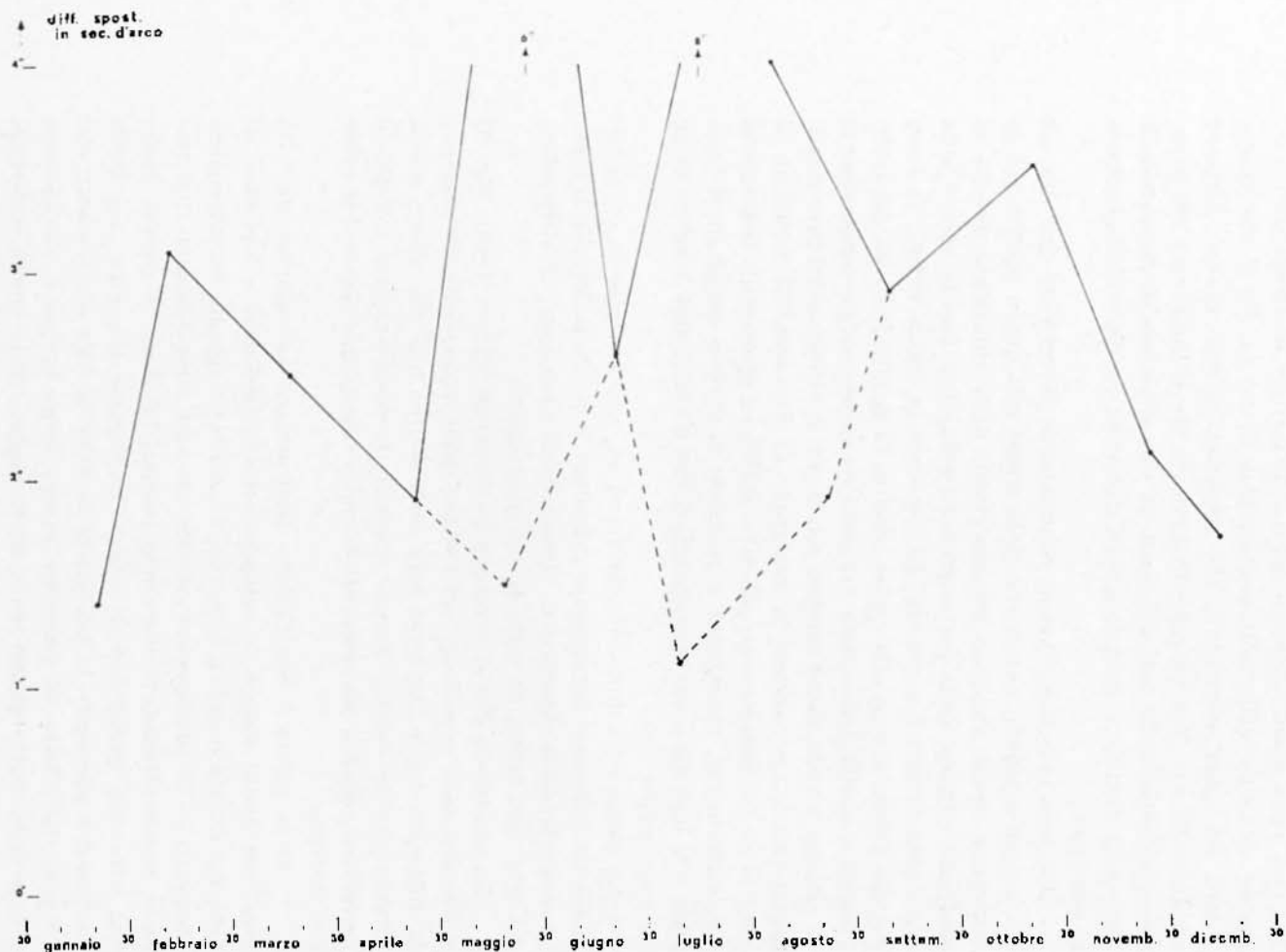


Fig. 3 - Grafico della differenza in ampiezza fra l'onda diurna in direzione sinistra-destra alla quota tampona e la corrispondente alla quota piastra, rispetto ai vari mesi dell'anno. Il grafico è stato derivato dai dati della tabella 1. La spezzata a tratti è stata tracciata in base alle stesse considerazioni di quella di fig. 2.

b) la seconda causa della diversità in oggetto è la diversa costituzione della roccia di tenuta dal fondo valle alla spalla: roccia intatta ed elastica al fondo, friabile (come dimostrano le frane menzionate all'inizio di questa nota) e anelastica in spalla (essenzialmente in quella sinistra) sì che gli stessi micromovimenti in direzione sinistra-destra dovuti ad uguale causa, cioè al contrasto termico derivato dall'asimmetria dell'insolazione, si presentano alle quote tampone e piastra di diversa entità (maggiorati ovviamente al tampone).

Questi fatti trovano riscontro anche nell'osservazione seguente: le ampiezze delle onde diurne, alla quota tampone, in direzione monte-valle e in direzione sinistra-destra (come è evidente dai dati tabulati) sono nei vari mesi circa della stessa entità (conseguenza del fatto che il sole investe sempre la base diga con un'inclinazione rispetto all'asse della stessa di circa  $45^\circ$ ), mentre alla quota piastra l'intensità dell'onda in direzione monte-valle è quasi sempre superiore alla corrispondente ampiezza nella direzione tangenziale. La cosa risulta evidente anche dalle risultanti del moto del tampone e della piastra eseguite (cfr. gli esempi delle figg. 4 e 5): l'angolo  $i$  (fig. 4) nelle ellissi traiettorie del moto del tampone ha sempre un valore assai prossimo ai  $45^\circ$ , mentre nel caso della fig. 5 (risultanti del moto della piastra) resta minore di  $45^\circ$  [se  $a$  e  $b$  sono le ampiezze dei moti componenti, rispettivamente in direzione sinistra-destra e monte-valle, poiché  $a/b = \tan i$ , per  $a \geq b$  è  $i \geq 45^\circ$  (3)].

Particolarmente interessante è stato poi lo studio delle variazioni d'inclinazione a lungo periodo che sono legate alle variazioni di temperatura media. In genere (1,2,5) un aumento di temperatura media determina flessioni lunghe della diga verso monte e verso sinistra, il fenomeno contrario verificandosi per diminuzione di temperatura. Ebbene, questa situazione è rispecchiata fedelmente solo alla quota tampone. Si osservi all'uopo la fig. 6a che si riferisce alle registrazioni clinografiche ottenute a detta quota nel periodo dal 5 Giugno al 28 Maggio 1971.

Il diagramma costituisce la risultante delle registrazioni ottenute contemporaneamente dalle due componenti clinografiche. In Giugno, e cioè in fase di aumento termico, si ha una flessione pressoché continua verso monte e sinistra, segue in Luglio e Agosto un periodo di relativa stasi con piccoli moti contrastanti. Dal 9 Settembre il movimento inizia una decisa tendenza valle-destra, interrotta da qualche parziale ritorno in senso contrario (in questo periodo la temperatura è in netta

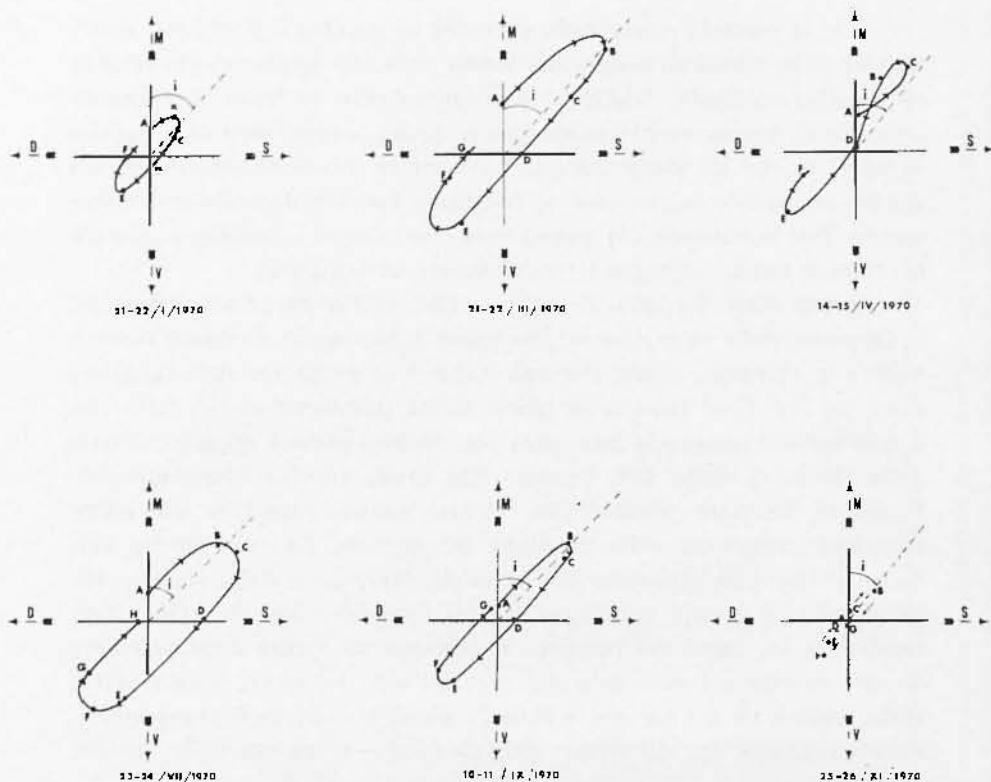


Fig. 4 - Diga di Pontesei - Esempi di composizione dei movimenti diurni a quota tampone. L'inclinazione dell'asse dell'ellisse non va praticamente mutando lungo l'arco dell'anno (1970) e l'angolo  $i$  ha un valore assai prossimo ai  $45^\circ$ .

diminuzione). La flessione suddetta prosegue fino a Dicembre; da questo momento si hanno movimenti sempre piccoli, ora in un senso ora in un altro, caratteristici di un periodo di stabilità. Da Marzo a Maggio il movimento angolare, per effetto di un continuo aumento termico, prende decisa direzione verso monte e verso sinistra e riporta il tampone pressappoco nella posizione iniziale. È questa, per inciso, un'altra prova del fatto che il sole investe la diga a  $45^\circ$  rispetto all'asse, sì da rendere uguale la sua azione in direzione monte-valle e sinistra-destra.

Riprendiamo ora l'analisi delle variazioni d'inclinazione a lungo periodo: alla quota coronamento esse si presentano ora concordi ora contrarie a quelle osservate alla quota tampone. Si pensi che il contrasto termico che determina le variazioni d'inclinazione della parte supe-

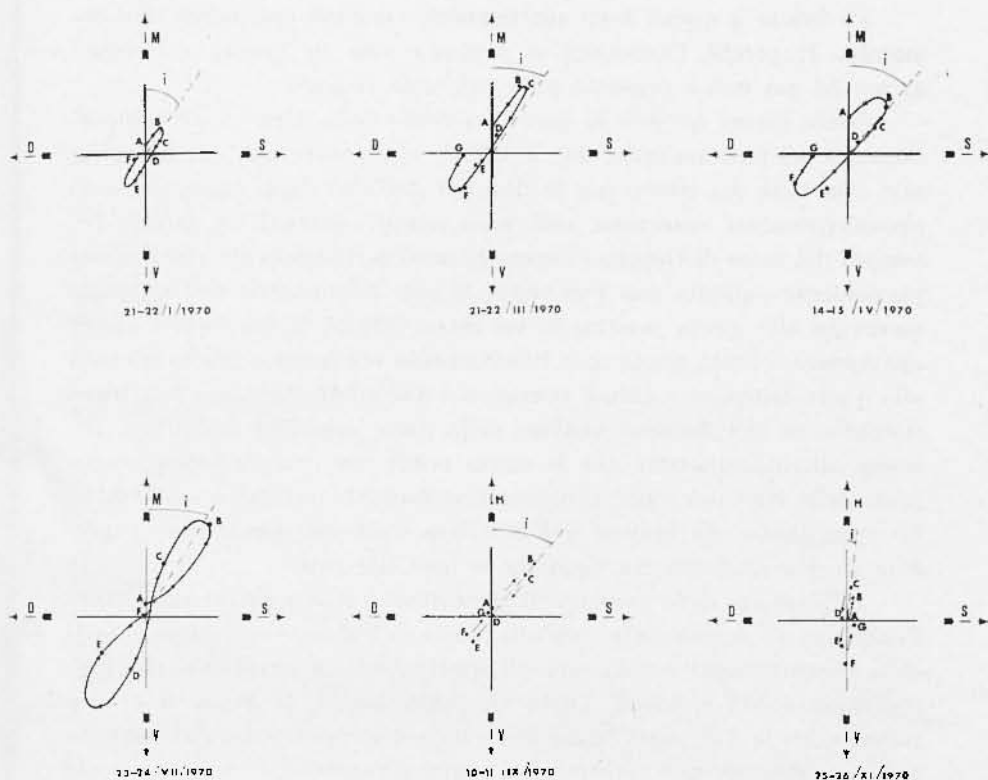


Fig. 5 - Diga di Pontesei - Esempi di composizione dei movimenti diurni a quota piastra. L'angolo  $i$  ha un valore minore di  $45^\circ$  a testimonianza del prevalere della componente monte-valle sulla componente sinistra-destra.

riore della diga (non a diretto contatto con l'acqua del bacino), proviene dalla differenza di temperatura che esiste fra le pareti a valle e a monte per diverso incameramento del calore solare. Allora l'osservazione precedente è ovvia non appena si tiene conto dei fattori casuali e stagionali che influiscono sul verso di questa differenza (esistenza o meno del sole per tutto l'arco di un giorno, ecc.). Inoltre, c'è pure l'influenza della fase di richiamo elastico ad insolazione ultimata, già osservata giornalmente.

La situazione che si presenta poi alla quota piastra è particolarmente interessante. Il diagramma ottenuto (fig. 6b) mostra, senza ombra di dubbio, l'esistenza di movimenti anomali in direzione sinistra-destra (flessioni a destra a seguito di aumenti termici e viceversa).

Di fronte a questi fatti sperimentali vengono spontanee due domande: 1) perché l'anomalia si presenta solo in questa direzione? 2) perché poi non è presente pure nell'onda diurna?

Senza meno, quando la parte superiore della diga ha un comportamento del pari anomalo, non è difficile ammettere una sua influenza fino alla base dei concii; ma le flessioni dell'alto diga, come abbiamo precedentemente osservato, non sono sempre anomali ed inoltre l'esempio del mese di Giugno (Tavola I) mostra chiaramente che l'azione proveniente dall'alto non può essere la sola responsabile dell'anomalia osservata alla quota piastra; in tal mese, infatti, la flessione a destra che appare a detta quota (che è nettamente contraria a quella rilevata alla quota tampone e quindi comandata dall'effetto termico) non trova riscontro in una flessione analoga della parte superiore della diga. Bisogna allora ammettere che la causa prima del comportamento anomalo della base dei concii, proviene direttamente dal basso — e così è. La spiegazione sta proprio nell'esistenza della già menzionata superficie di discontinuità fra tampone e base dei concii.

Nell'ambito delle oscillazioni giornaliere è molto giusto ammettere l'esistenza di scorrimento dell'una parte sull'altra — trattasi infatti di micromovimenti — ma, per gli spostamenti in questione, che raggiungono entità notevoli, anche in pochi giorni, la forza di attrito radente fra le due parti (tampone e base dei concii) è troppo forte da poter permettere uno scorrimento e così il tampone trascina la parte sovrastante della diga, costringendola, di conseguenza, a flettersi in direzione opposta.

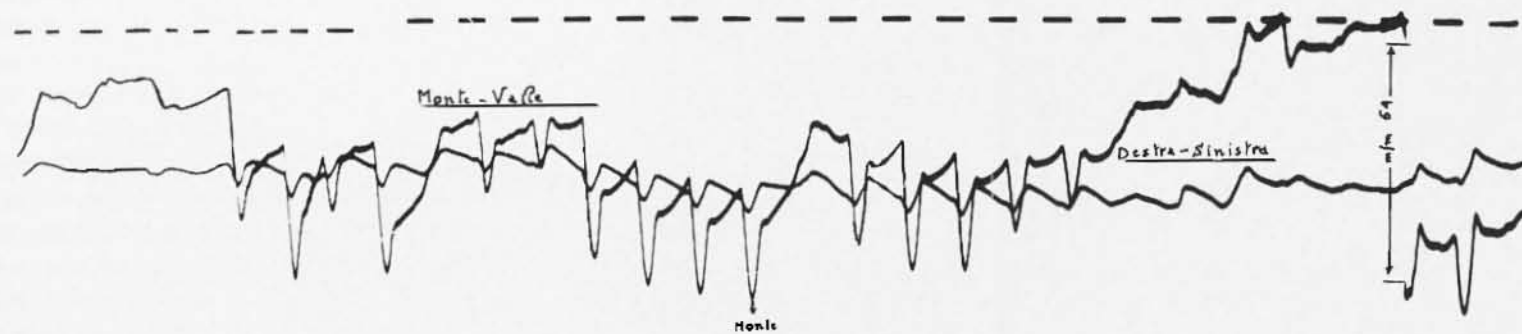
È chiaro poi che in direzione monte-valle l'azione di trascinamento non ha senso perché i movimenti sono perpendicolari (e non paralleli come in direzione sinistra-destra) alla superficie di contatto.

Solo così i quesiti posti in precedenza trovano un'esauriente spiegazione.

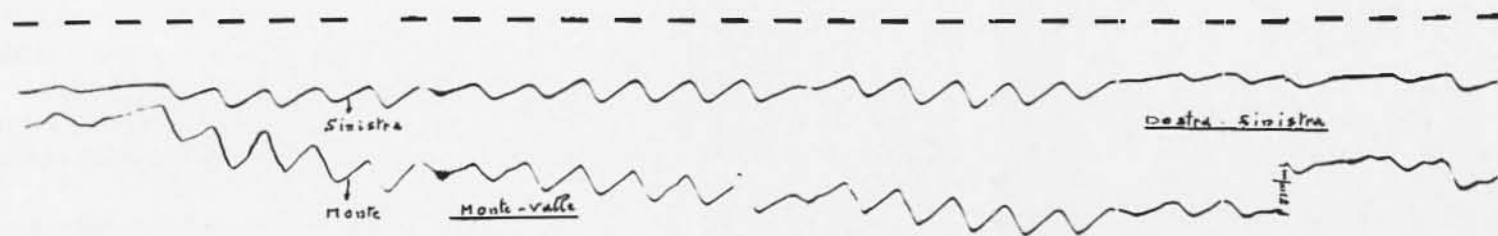
È veniamo al secondo punto.

L'esame dei clinogrammi ottenuti dal 1967 ai giorni nostri ha rivelato la presenza di numerosi microsismi di diverse caratteristiche. Il gruppo maggiore è di quelli che rivelano un'agitazione piccolissima, irregolare ed intermittente, riflesso di una vibrazione che agita la struttura rocciosa della zona: è quella che si chiama «inquietudine sismica» (7) e che è caratteristica dell'instabilità tettonica di una zona sismica come è quella che accoglie la diga. Numerosi esempi di questi microsismi (caratterizzati da un'inquietudine clinografica simultanea) si hanno nelle Tavole I, II, III e IV e in fig. 7.

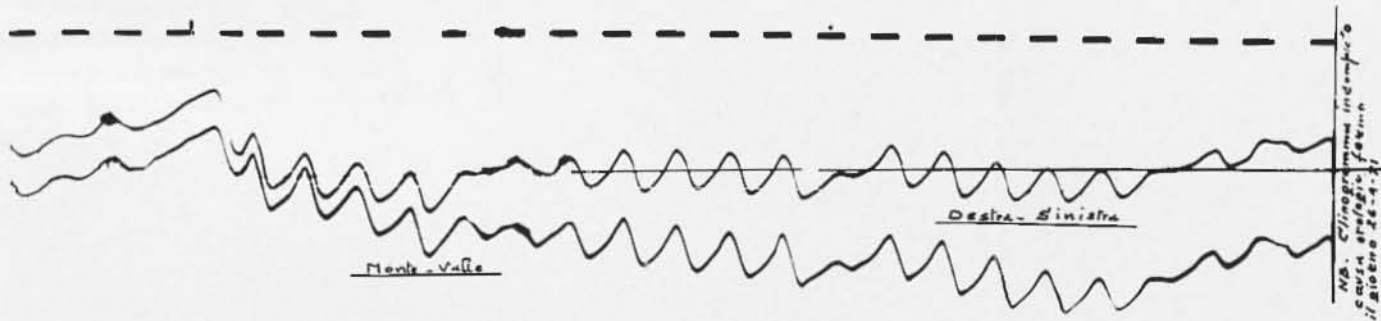




coronamento



piastra



tampone

aprile 1971



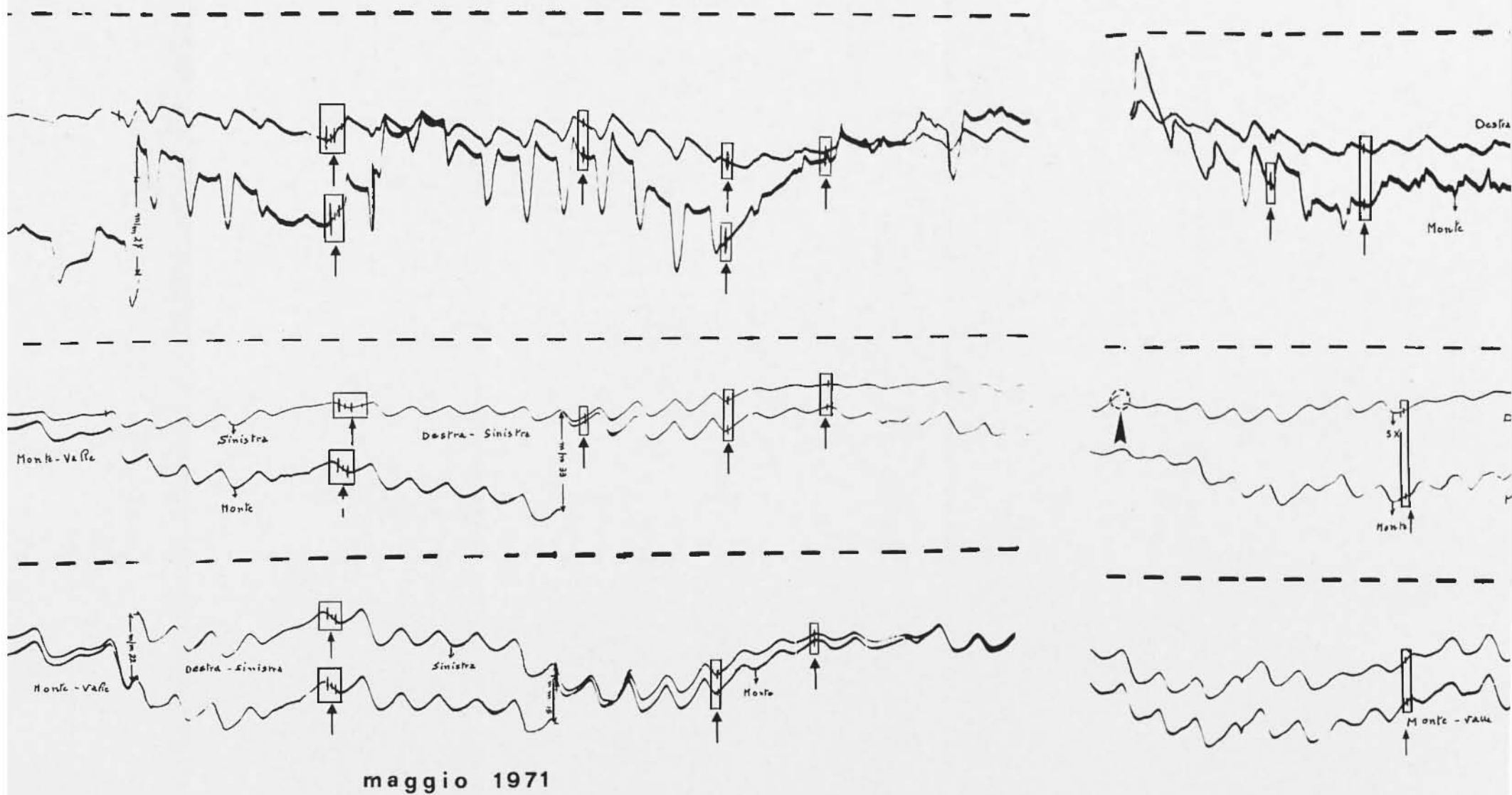
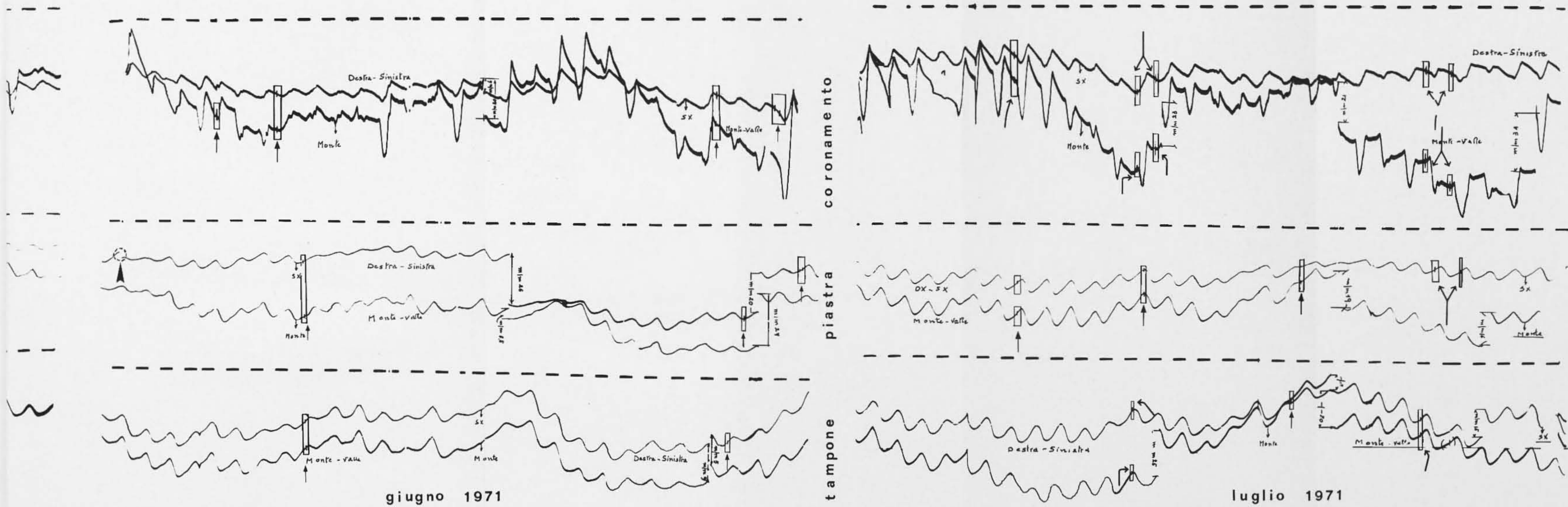


Fig. 7 - Esempi di microsismi dovuti a inquietudine sismica registrati a Pontesei dall'Aprile al Luglio 1971. Come si vede, al periodo iniziale (Aprile) succede, nel periodo seguente, una brusca ripresa talvolta a carattere convulsivo. I microsismi che si hanno alle quote piastra appaiono molto meno sviluppati degli analoghi presenti alla quota coronamento. Il fatto che talvolta non appare un'inquietudine simultanea è legato alla diversa definizione fotografica dei clinogrammi ottenuti.



registrati a Pontesei dall'Aprile al Luglio 1971. Come si vede, al periodo di stasi talvolta a carattere convulsivo. I microsismi che si hanno alle quote tampone e alla quota coronamento. Il fatto che talvolta non appare un'inquietudine clinografica a definizione fotografica dei clinogrammi ottenuti.

L'inquietudine sismica, come si vede negli esempi ora citati, è caratterizzata da periodi di stasi interrotti da brusche riprese in cui la verticale apparente del luogo subisce piccole e frequenti variazioni talvolta a carattere convulsivo a testimonianza di una divergenza interna di tensioni nella zona sottostante, che tende a ricondurla verso nuove forme d'equilibrio.

Meno frequenti, ma del pari presenti, sono dei microsismi che si protraggono per alcuni giorni, di piccola ampiezza e breve periodo. Particolarmente evidenti sono quelli che si sono avuti verso la metà del mese di Gennaio 1969 (fig. 8).

Alla luce di studi recenti (\*), ritengo che detti microsismi possano essere interpretati come oscillazioni che investono alcune zone italiane a seguito dell'interazione con le acque dei mari, di vaste aree depressionarie e cicloniche ivi in transito. Dato che il periodo dei microsismi presenti nelle registrazioni clinografiche in oggetto si dovrebbe aggirare sugli 8 sec (che è il periodo proprio dei clinografi) ritengo poi che detti microsismi possano essere di provenienza atlantica; questi hanno infatti periodi di 7-9 sec e vengono dovunque registrati in Europa, anche a parecchie migliaia di chilometri di distanza dalle zone origine. E una conferma di ciò si ha osservando la fig. 9 che mostra la presenza, proprio verso la metà del Gennaio 1969, di una depressione nell'Atlantico settentrionale in prossimità delle coste europee.

Il terzo e ultimo tipo di microsismi presente è poi di particolare importanza. Trattasi di spostamenti secchi e locali (cioè non si presentano a tutte le quote) in direzione monte-valle o sinistra-destra. Un esempio particolarmente evidente si ha nel Dicembre 1970 (Tavola III); altri esempi sono riportati in fig. 10. Essi rivelano spostamenti improvvisi e permanenti, seppur di piccolissima entità, della roccia di tenuta alle varie quote. Si osservi, ad esempio, quanto è avvenuto nel Dicembre 1970: la componente sinistra-destra, alla quota tampone, rivela un'improvvisa e istantanea caduta a sinistra; alla quota piastra la stessa variazione d'inclinazione è di circa tre volte più piccola. Evidentemente la roccia di imposta del tampone ha comandato lo spostamento e la superficie di discontinuità fra esso e la base dei conci, ha provocato l'attenuazione notata.

Ma da cosa può essere stata provocata la caduta a sinistra della culla di base del manufatto?

Senza dubbio trattasi di un movimento di assestamento, sulla cui origine deve avere influito il lento ma incessante logorio della roccia di imposta in spalla sinistra (dove sono avvenute le frane menzionate

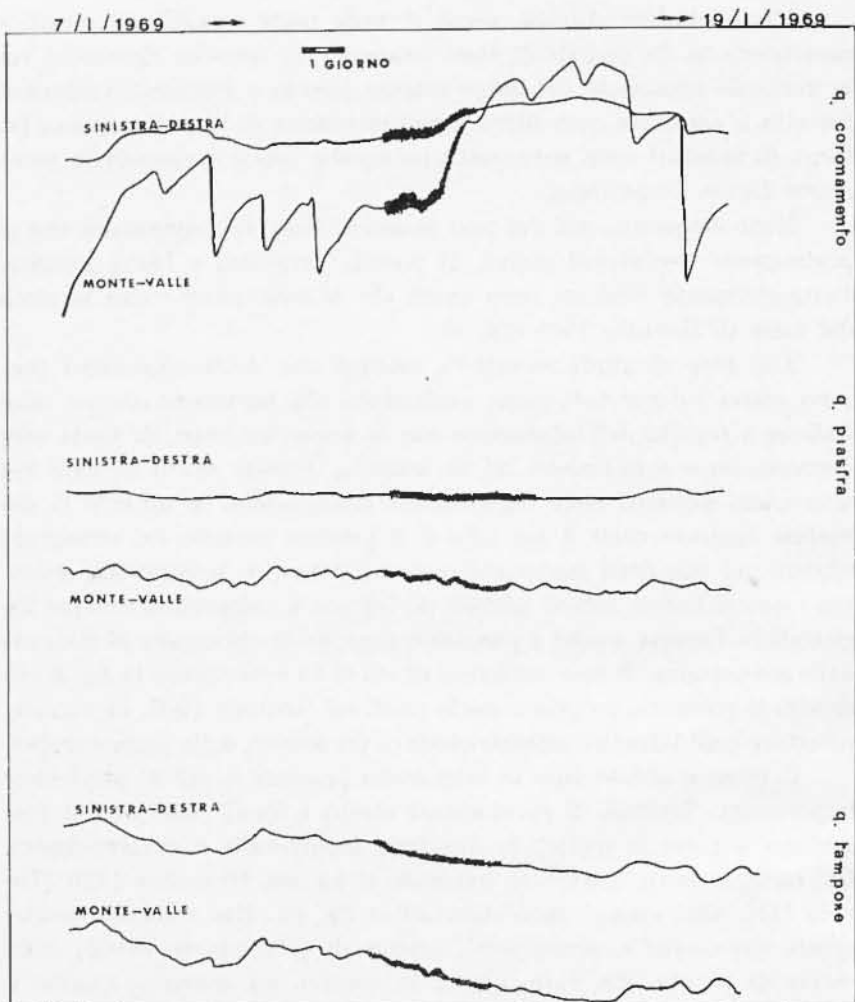


Fig. 8 - Esempio di microsismi (che si protraggono per un paio di giorni) di origine meteorologica.

all'inizio di questa nota). Infatti, a seguito di detto logorio, il fondo valle si trova a sostenere l'enorme massa della diga non più saldamente ancorata in spalla sinistra, e dal contrasto che ne deriva la culla di base si assesta con brusche rotture verso posizioni di equilibrio più stabili.

Sui microsismi degli ultimi due tipi le informazioni clinografiche non mi hanno permesso di ricavare di più. Per quanto riguarda invece

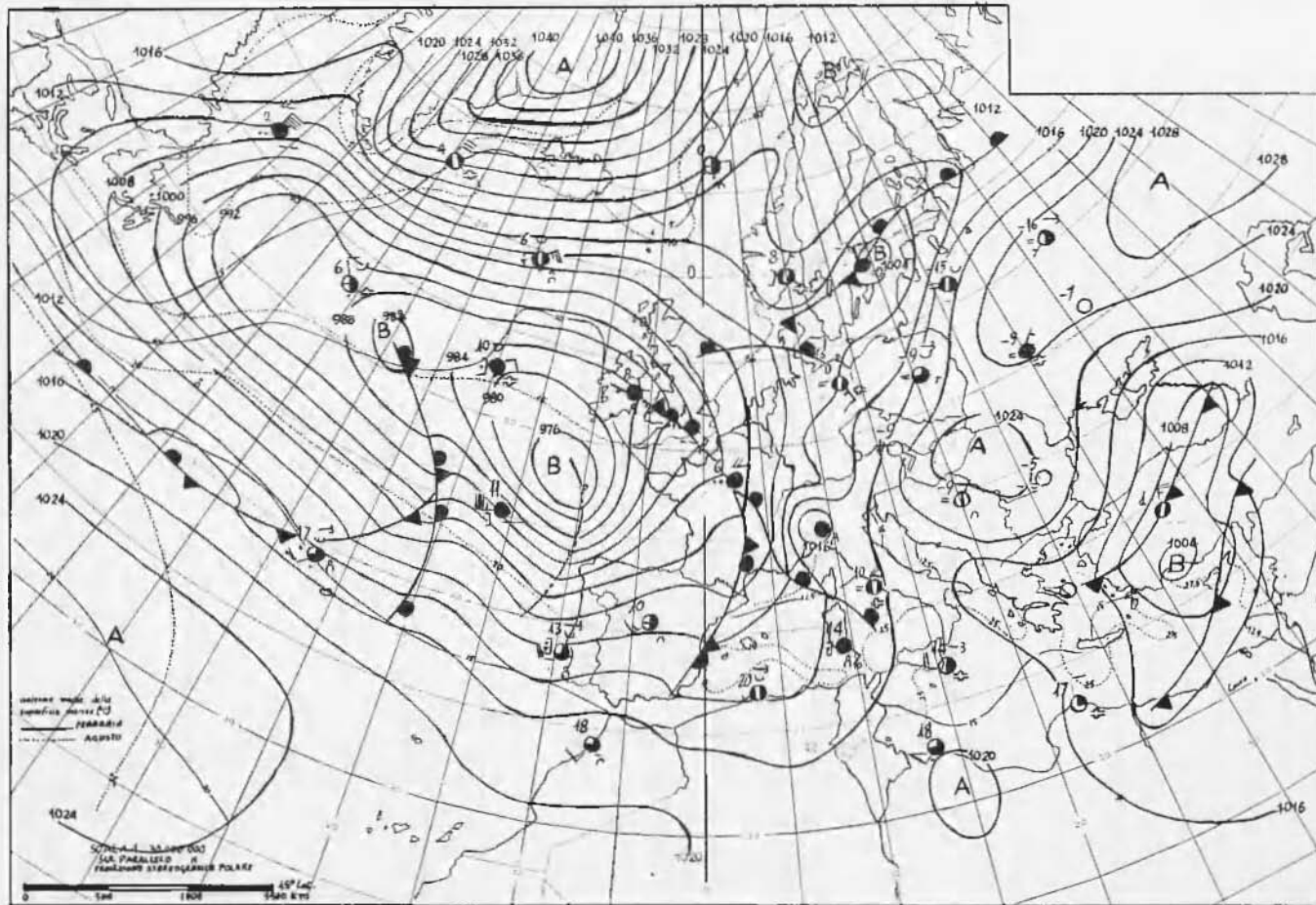


Fig. 9 - Situazione meteorologica sull'Atlantico nord-orientale e sull'Europa alle ore 12 del 12 Gennaio 1969 (dal Bollettino meteorologico quotidiano dell'Aeronautica Militare).

i microsismi dovuti all'inquietudine sismica ho potuto ottenere un altro dato sperimentale di notevole interesse.

Le oscillazioni di questo tipo provengono senza meno dal fondo valle e si propagano su per il concio della diga (esse sono infatti presenti alle tre quote di osservazione clinografica). Ebbene, le ampiezze relative devono allora presentarsi ampliate dalla base del tampone al coronamento per effetto del trasferimento dell'energia elastica lungo un concio, noto sotto il nome di *effetto di convogliamento*.

Così è a vista d'occhio. La cosa merita però un esame più approfondito. È noto (\*) che se indichiamo col  $l_1$  e  $l_2$  gli spessori del concio alle quote  $q_1$  e  $q_2$  e con  $a_1$  e  $a_2$  le ampiezze delle oscillazioni rispettivamente osservate alle due quote, si ha:

$$\frac{a_2}{a_1} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}$$

(è d'uopo non tener conto dell'effetto di superficie (\*) dato che i clinografi della quota coronamento sono posti al disotto del piano stradale).

Nella diga di Pontesei si hanno per gli spessori del concio alle quote coronamento e piastra i valori  $l_1$  (coronamento) = 2,4 m e  $l_2$  (piastra) = 8,2 m. Dunque ci si aspetta per il rapporto fra le ampiezze alle due quote un valore dell'ordine di 0,5.

Nella seguente tabella sono riportati alcuni valori di  $a_1$  e  $a_2$  ricavati, nel Maggio e Luglio 1971 (fig. 7) e il loro rapporto.

Tabella 2

$a_2$ ampiezza del microsisma in sec. d'arco alla quota piastra	$a_1$ ampiezza del microsisma in sec. d'arco alla quota coronamento	$a_2/a_1$
1.07	3.80	0.28
7.70	9.30	0.83
1.05	1.96	0.54
1.57	1.80	0.87

Ebbene, la media dei rapporti ottenuti è dell'ordine di 0,5, precisamente uguale a 0,63; risultato davvero eccellente, attesa l'approssimazione che ci si deve aspettare per le molteplici cause d'errore esistenti.

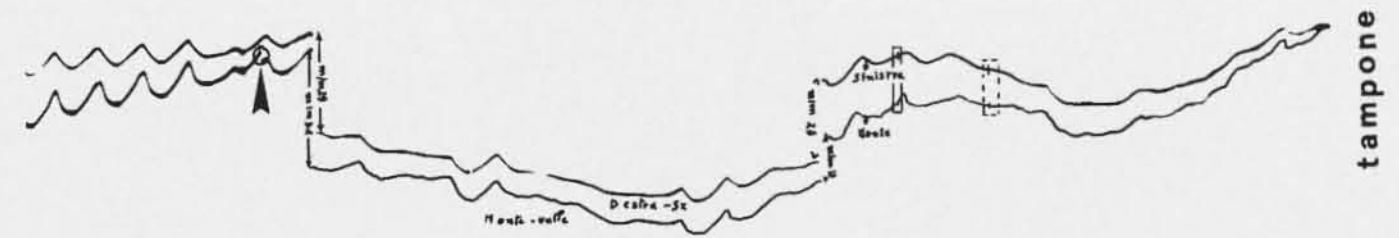
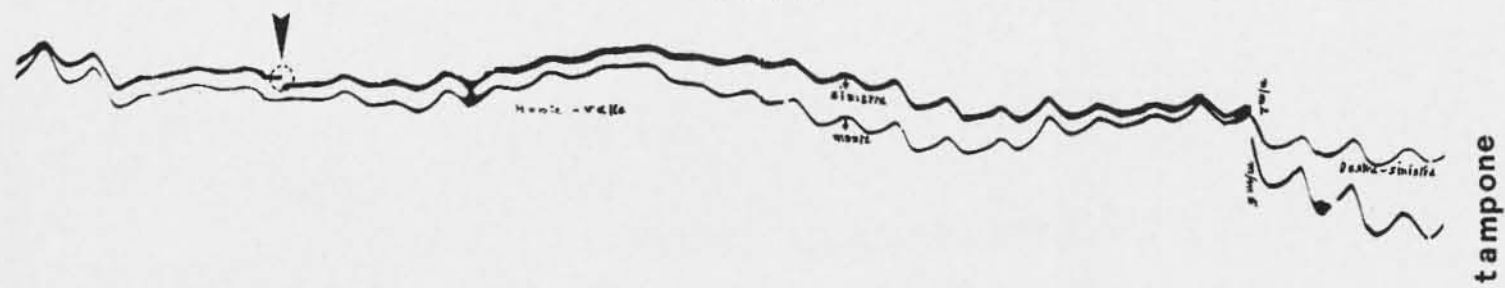
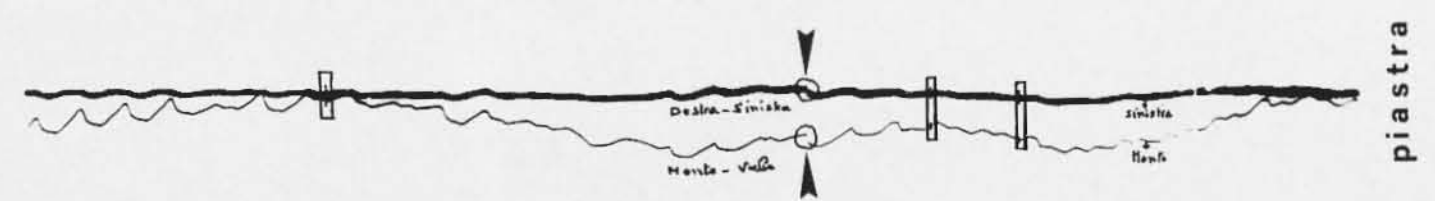
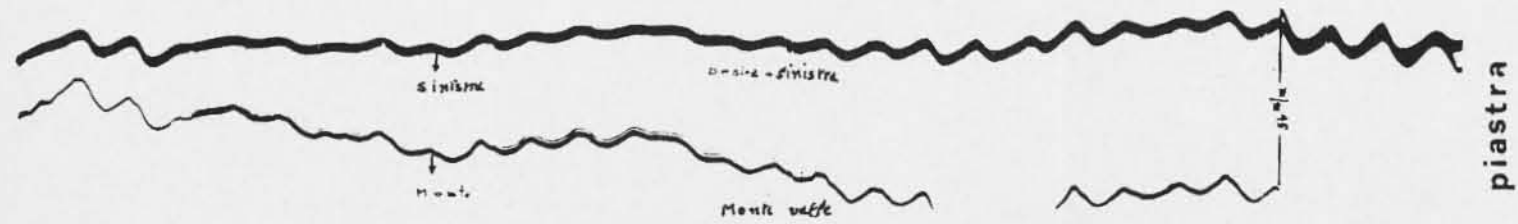
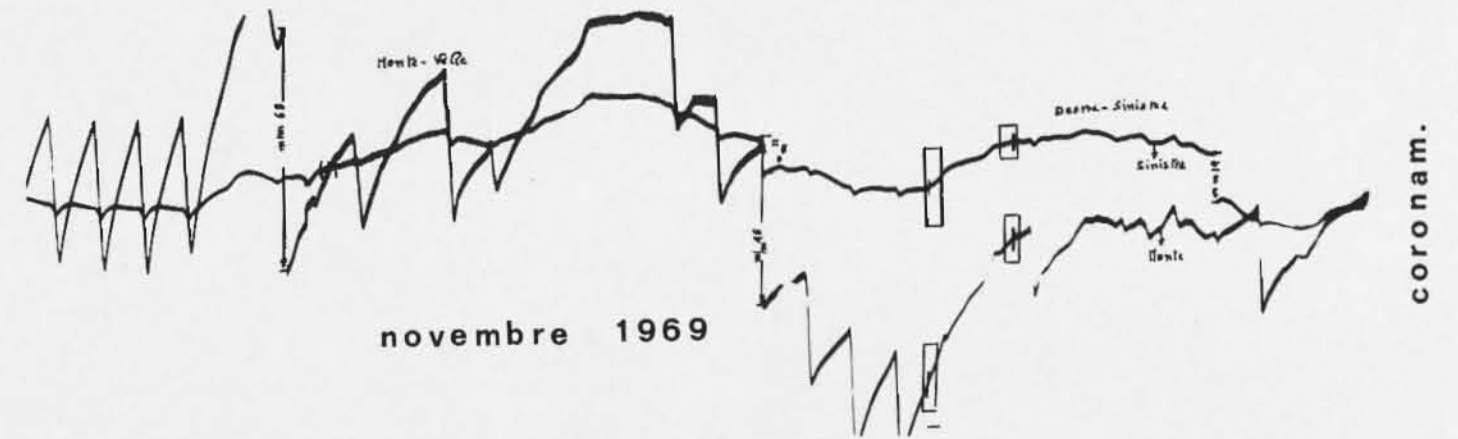
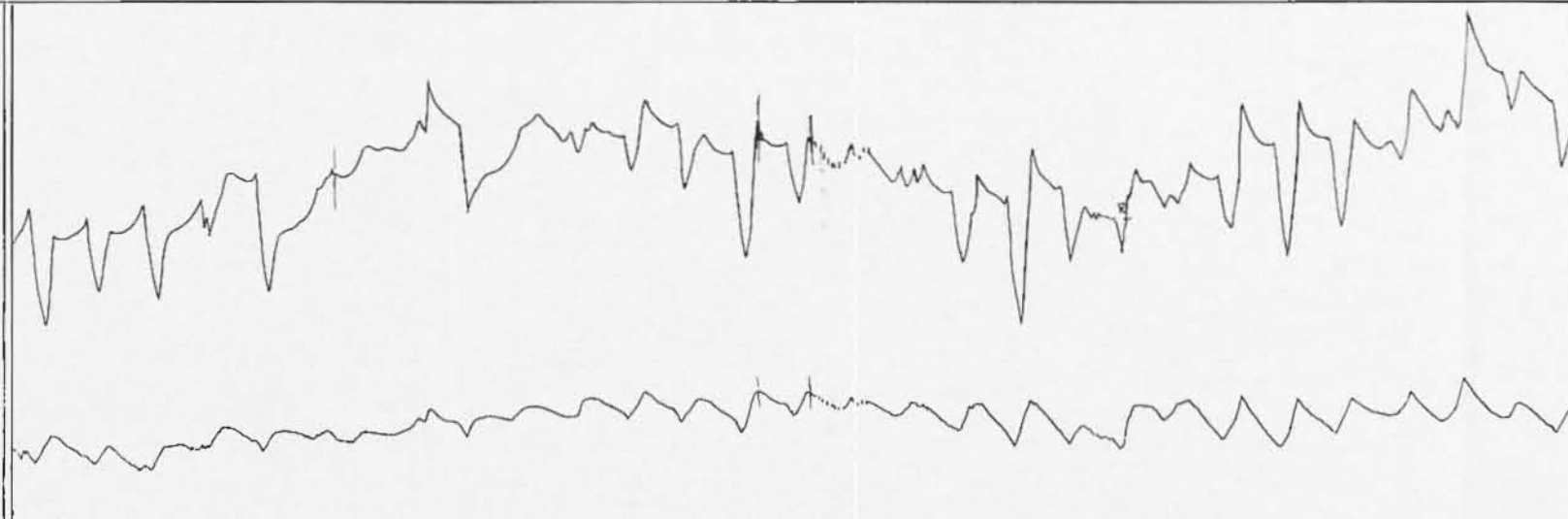
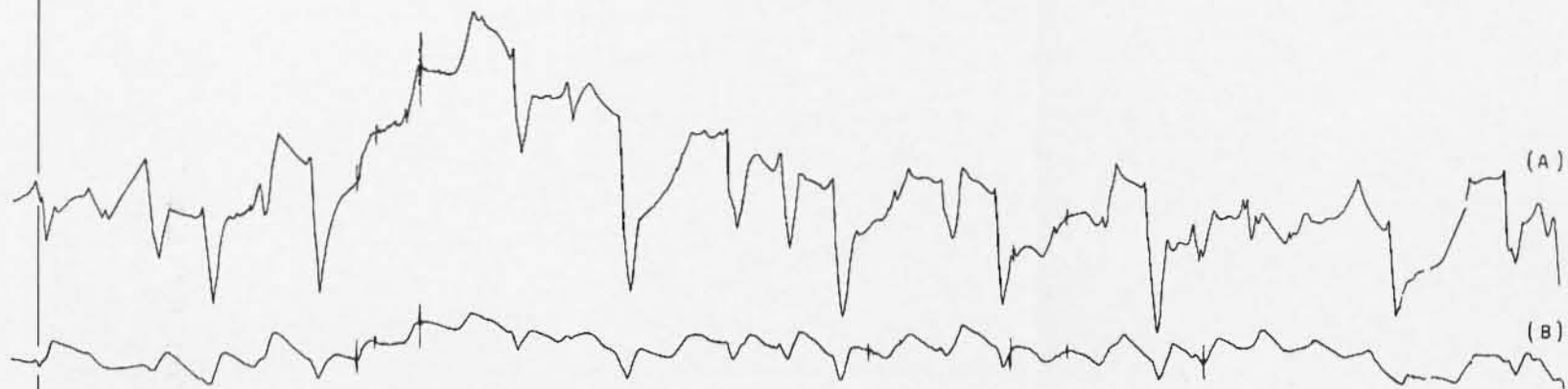


Fig. 10 - Esempi di brusche variazioni d'inclinazione dovute a movimenti d'assestamento della roccia culla del manufatto. Gli spostamenti risultano localizzati ora ad una quota ora a un'altra e talvolta anche in una sola direzione. Un esempio di brusca variazione a sinistra si osserva anche nel Giugno 1971 alla quota piastra (fig. 7).

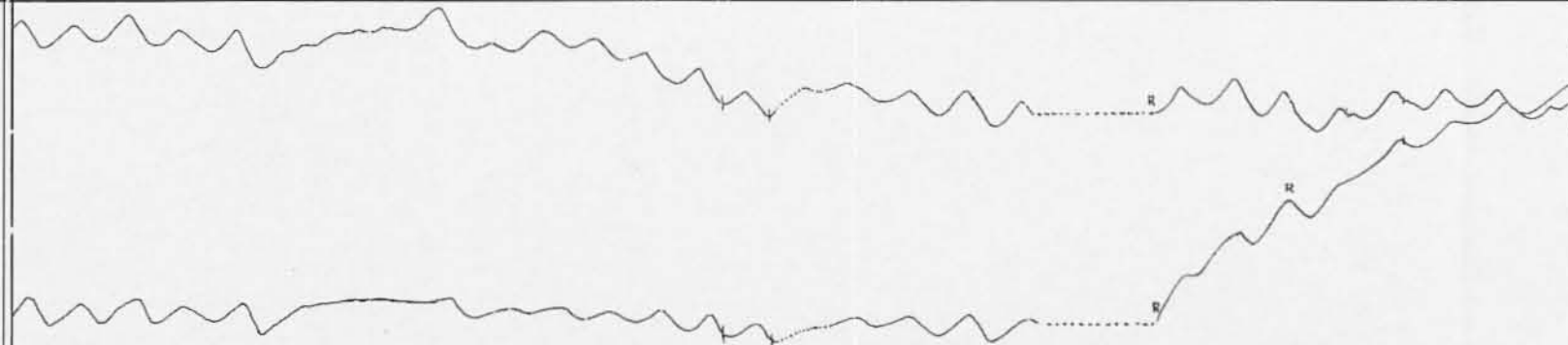
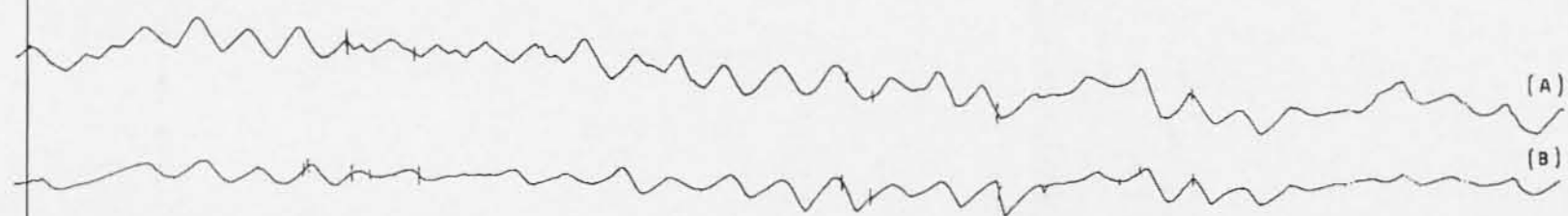
TAVOLA I

DIGA DI PONTESEI - ANNO 1970 - COMPONENTE: VALLE - MONTE (A) ↓ V-D  
1 giorno = 12 mm COMPONENTE: DESTRA - SINISTRA (B) |

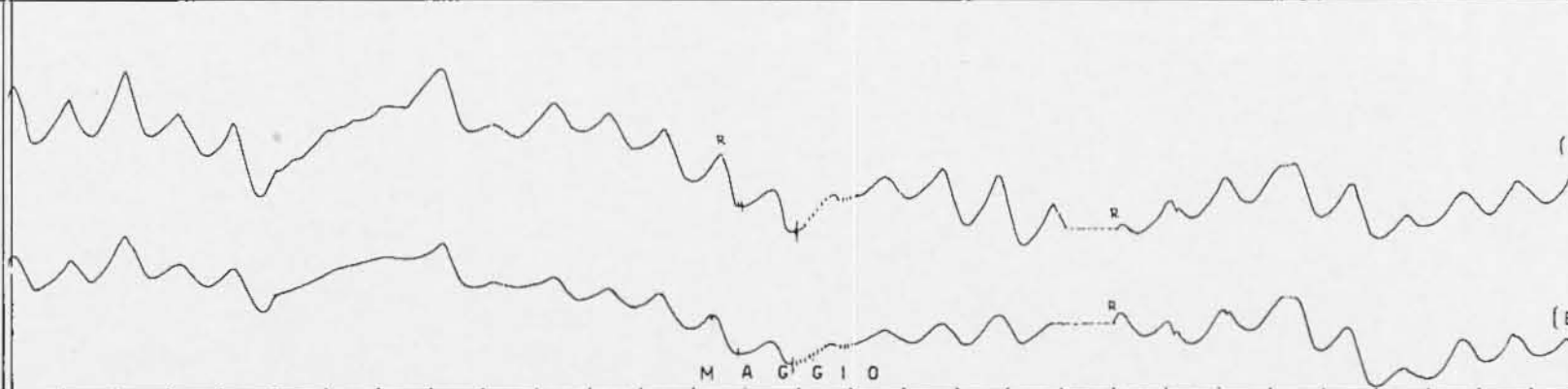
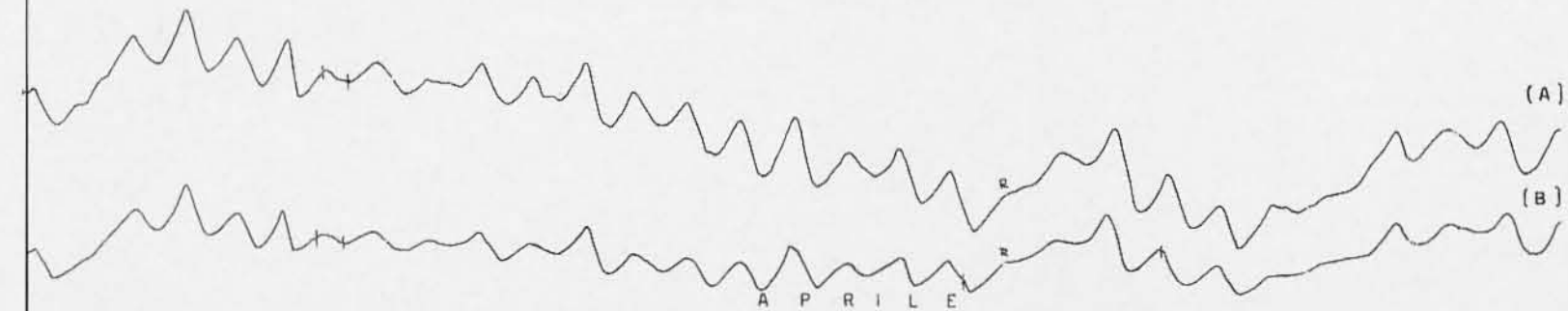
CORONAMENTO



PIASTRA

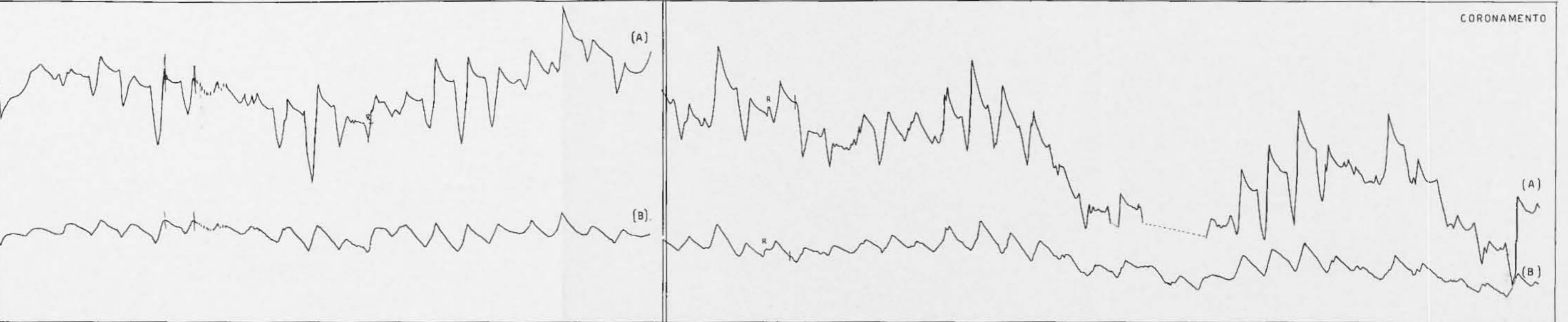


TAMPONE

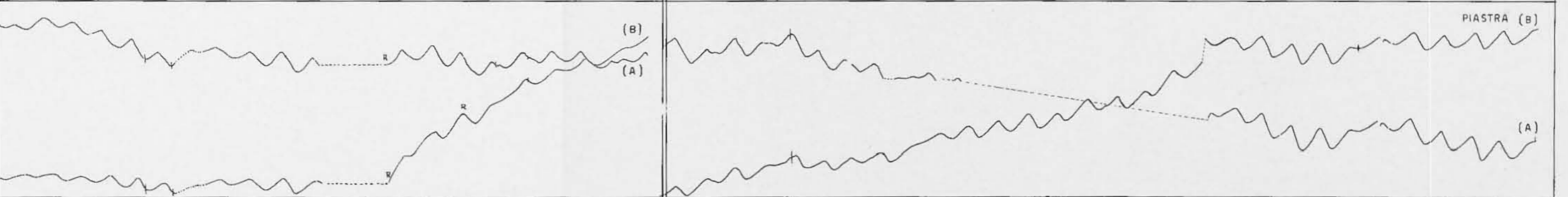




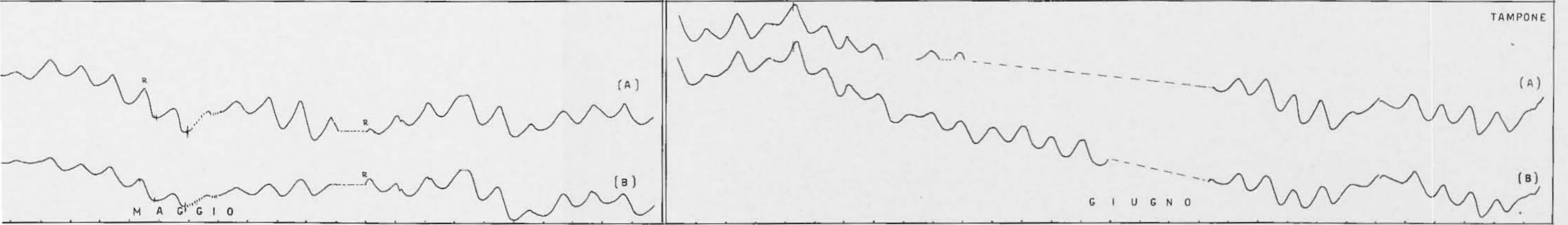
CORONAMENTO



PIASTRA (B)

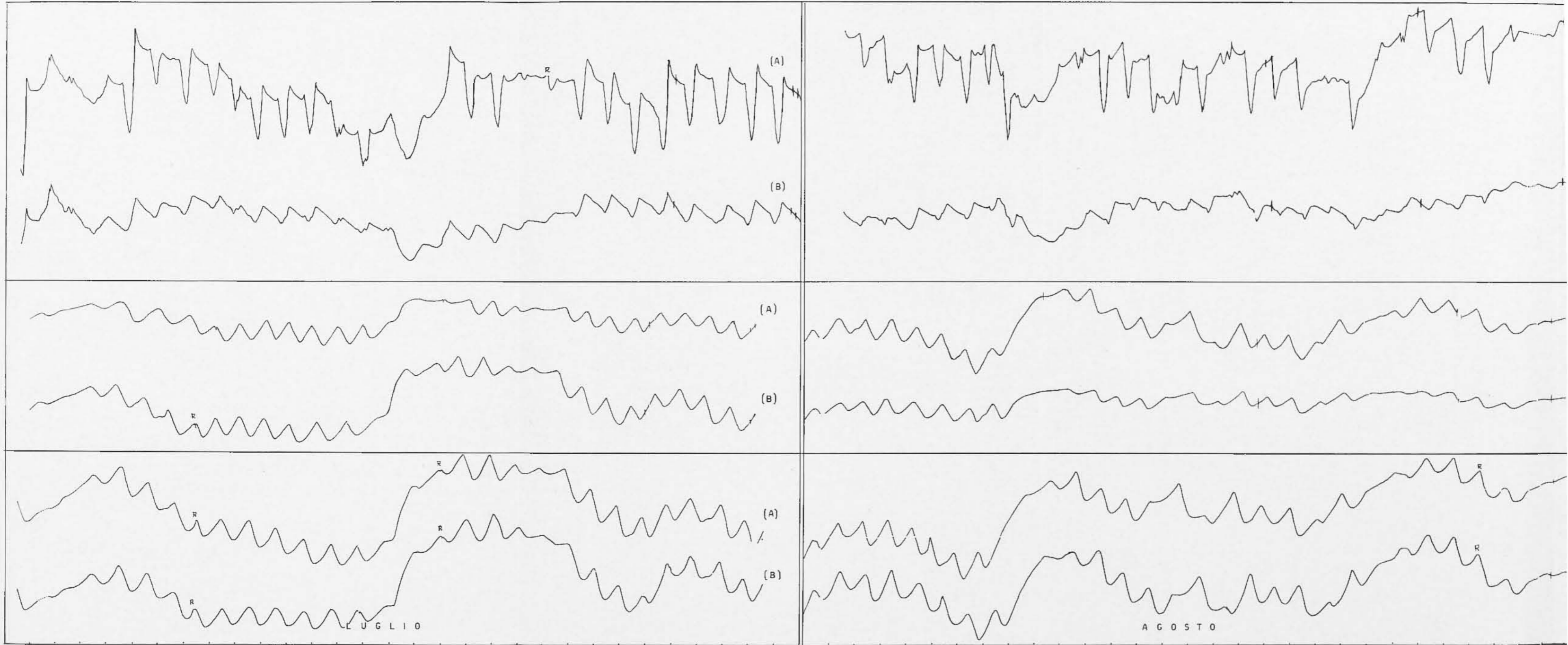


TAMPONE

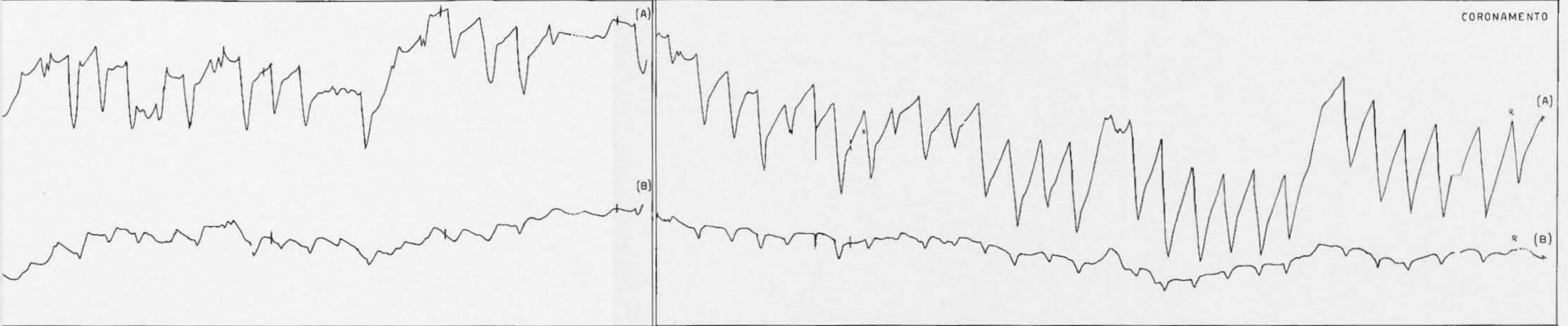


M A G G I O

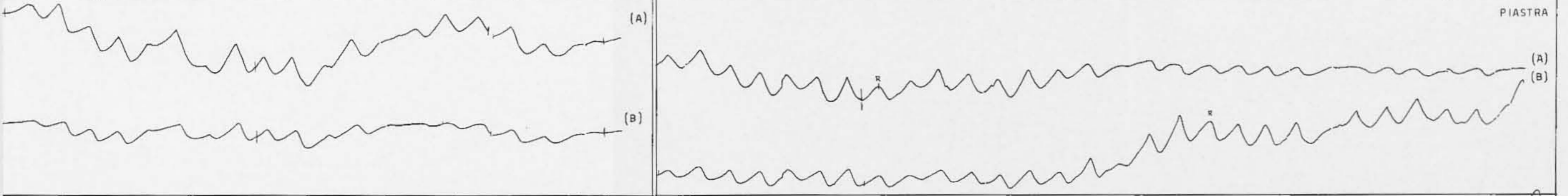
G I U G N O



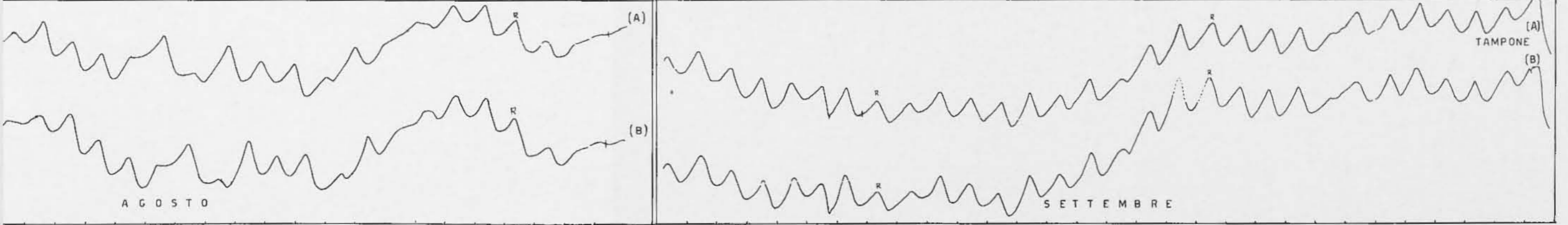
CORONAMENTO



PIASTRA



TAMPONE

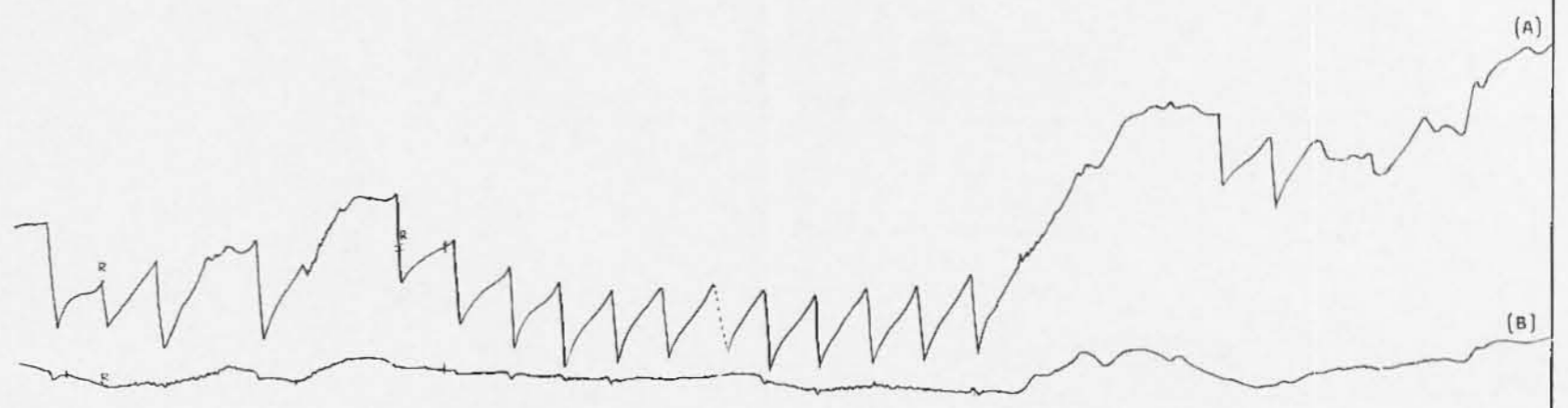


A G O S T O

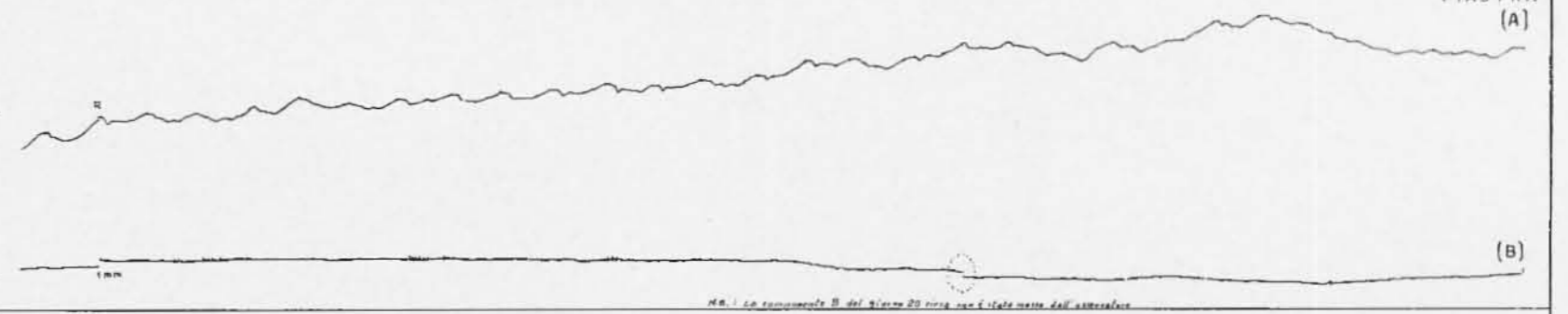
S E T T E M B R E



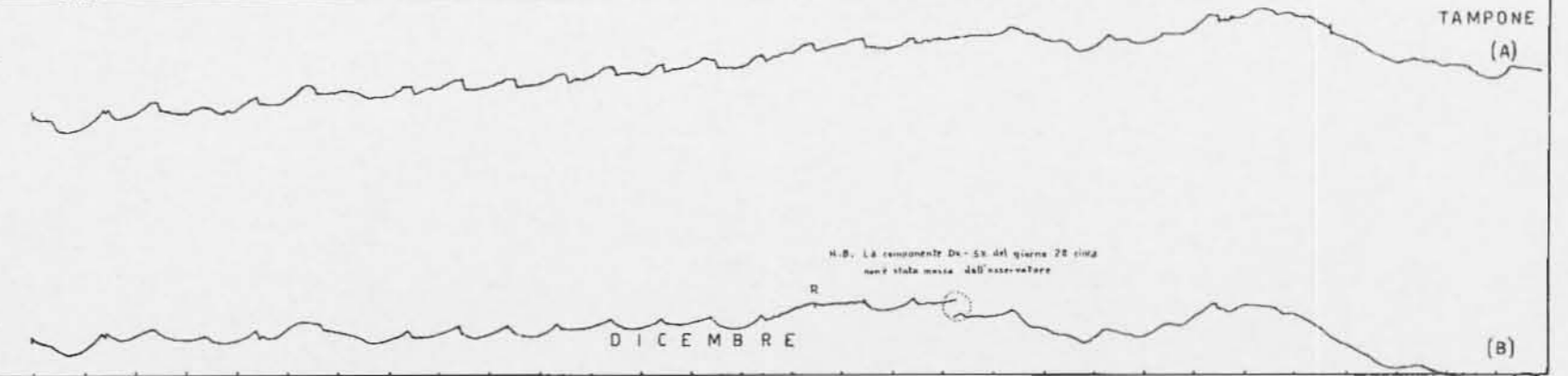
CORONAMENTO



PIASTRA (A)



TAMPONE (A)



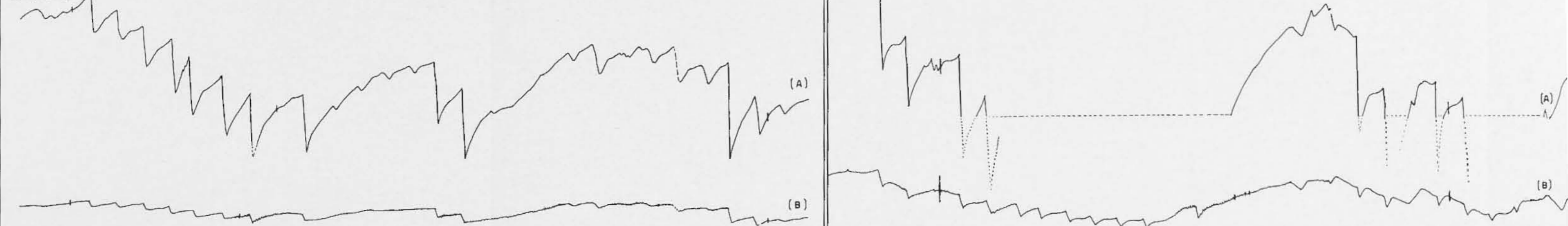
NOVEMBRE

DICEMBRE

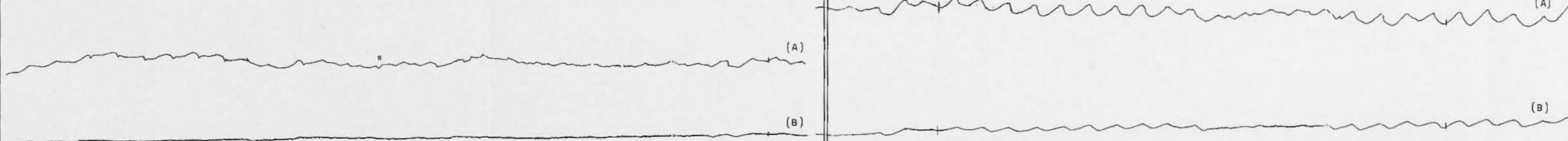
TAVOLA IV

DIGA DI PONTESEI - ANNO 1971 - COMPONENTE: VALLE-MONTE (A) ↑ V-D  
1 giorno = 12 mm COMPONENTE: DESTRA-SINISTRA (B) ↑

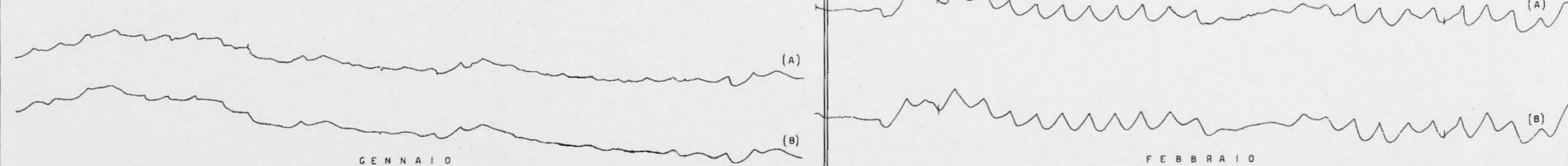
CORONAMENTO



PIASTRA



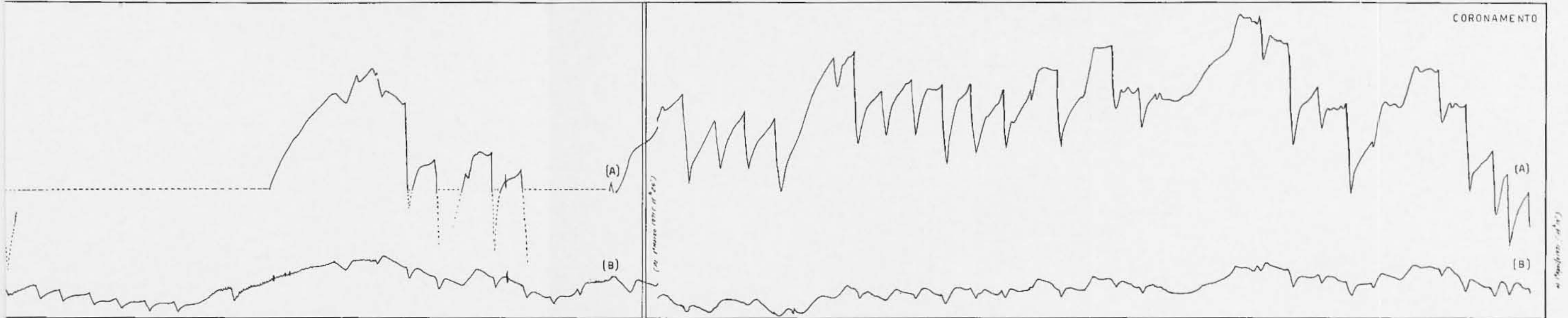
TAMPONE



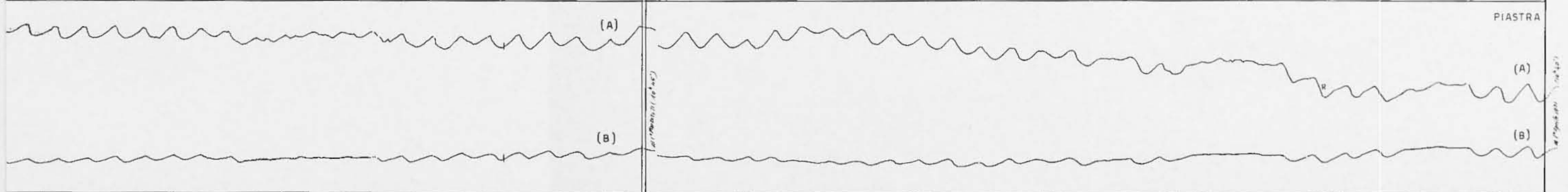
GENNAIO

FEBBRAIO

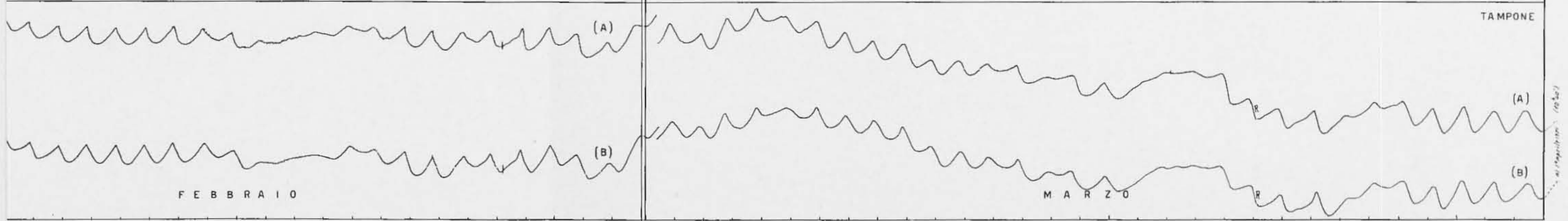
CORONAMENTO



PIASTRA



TAMPONE



F E B B R A I O

M A R Z O

## BIBLIOGRAFIA

- (<sup>1</sup>) BIAGI P. F., 1969. — *Ulteriori indagini sul comportamento geodinamico della diga dell'Ambiesta*. « Annali di Geofisica », XXII, 4.
  - (<sup>2</sup>) BIAGI P. F., 1970. — *Comportamento geodinamico della diga di Vodo di Cadore*. « Annali di Geofisica », XXIII, 2-3.
  - (<sup>3</sup>) CALOI P., 1962. — *Aspetti della dinamica delle rocce, calcestruzzo ed acque*. « Annali di Geofisica », XV, 2-3.
  - (<sup>4</sup>) CALOI P., 1964. — *Aspetti geodinamici della diga dell'Ambiesta*. « Annali di Geofisica », XVII, 3.
  - (<sup>5</sup>) CALOI P., 1952. — *Ricerche clinografiche presso la diga di Pieve di Cadore*. SADE, Ufficio Studi — Relazioni e studi, 12.
  - (<sup>6</sup>) CALOI P., 1970. — *Come la natura reagisce all'intervento dell'uomo — Responsabilità di chi provoca e di chi interpreta tali reazioni*. « Annali di Geofisica », XXIII, 4.
  - (<sup>7</sup>) CALOI P., 1962. — *Mouvements lents et imprévus dans la croûte terrestre et leurs relations réciproques*. « Scientia » — Janvier.
  - (<sup>8</sup>) CALOI P., MIGANI M., 1971. — *Microsismi da piccoli bacini chiusi da mari interni, da oceani*. « Annali di Geofisica », XXIV, 4.
  - (<sup>9</sup>) CALOI P., SPADEA M. C., 1969. — *Sulla risposta elastica delle dighe e sulla sua variazione nel tempo*. « Annali di Geofisica », XXII, 1.
-