

Termologia del lago di Bracciano: onde interne (*)

PIETRO CALOI

1. — In precedenti lavori, sono stati portati alcuni contributi (^{1,2,3}) alla conoscenza dei moti liberi e forzati del lago di Bracciano, preso nel suo insieme, considerato cioè come bacino oscillante nella sua interezza.

Si è provato come i valori trovati per via teorica trovino ottimo accordo nelle osservazioni, sia per le oscillazioni libere simmetriche che per quelle asimmetriche.

Elaborando le registrazioni di oscillazioni libere, ottenute in diverse epoche sul lago di Bracciano, avevo constatato l'esistenza, durante i mesi estivi da Agosto ad Ottobre, di oscillazioni lunghissime, con un periodo approssimativo di sei ore.

Ho eseguito opportune riduzioni (nell'asse dei tempi) di alcuni tratti di registrazione, relative ai mesi estivi del 1956.

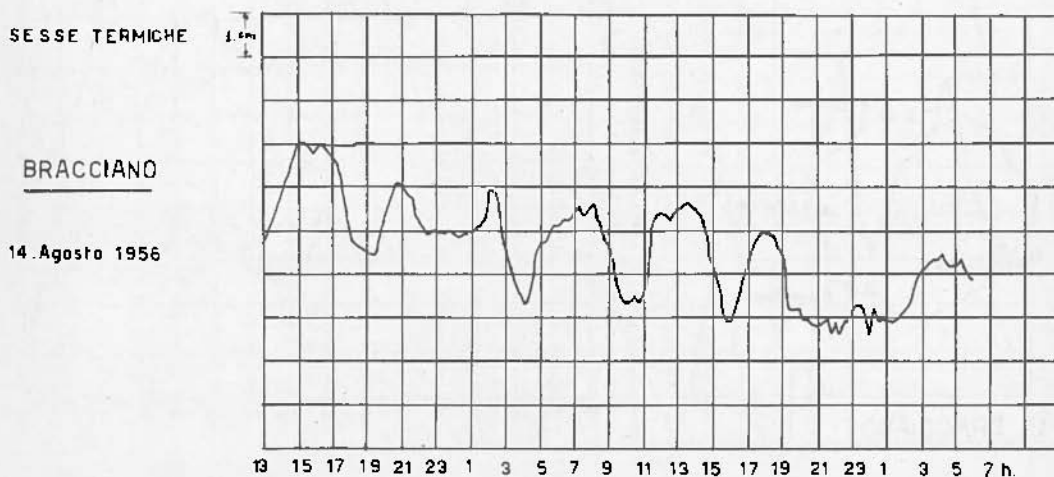


Fig. 1. — Riduzione di registrazioni da limnografo non filtrato: chiari esempi di onde interne uninodali, con una binodale e perturbazioni per sesse ordinarie.

Fra l'altro, è risultato che l'oscillazione libera di massimo periodo è l'uninodale asimmetrica di $8^m, 3$.

Si è visto inoltre che, in condizioni barometriche particolari, si possono formare oscillazioni forzate di vario periodo, con valori che possono raggiungere la mezz'ora, e di ampiezze talvolta notevoli, oscillazioni che però si smorzano e si annullano rapidamente.

Poichè i limnografi, destinati in quell'epoca alla registrazione delle onde libere del lago, come si è visto, di periodi relativamente piccoli, erano poco filtrati, le oscillazioni di lunghissimo periodo sono più o meno alterate da sovrapposte oscillazioni a breve periodo. Ad ogni modo, ciò malgrado, dalla fig. 1, appare chiaro l'insorgere di ampie oscillazioni — sia pure molto deformate — di un periodo medio di 6^h . Nella fig. 2, le

(*) Questo lavoro è stato condotto con contributi del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

SESSE TERMICHE

BRACCIANO

15 Agosto 1956

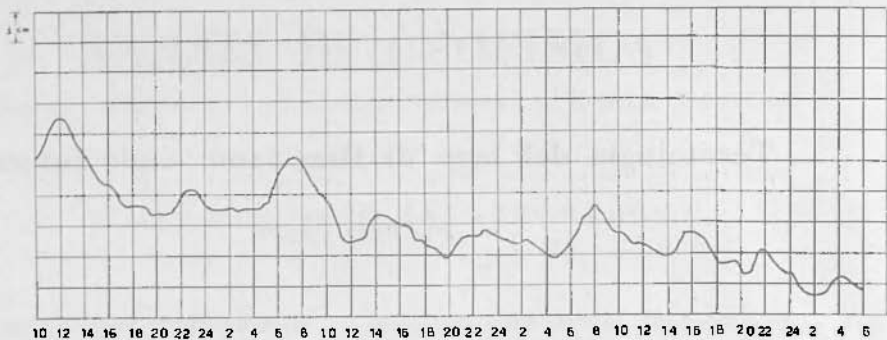


Fig. 2. - Nuovi esempi a Bracciano.

SESSE TERMICHE



L. BRACCIANO

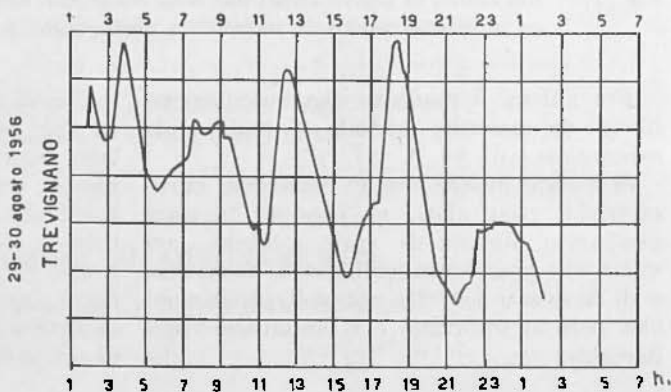
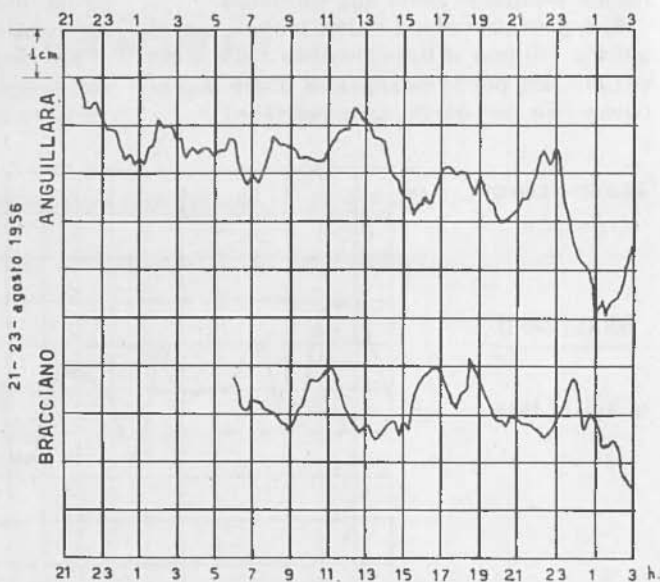


Fig. 3. - Riduzione da limnogrammi non filtrati: onde interne a Anguillara, Bracciano e Trevignano.

SESSE TERMICHE

TREVIGNANO

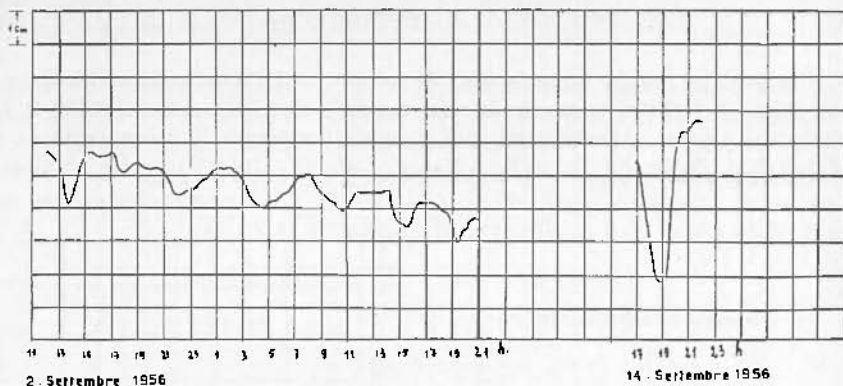


Fig. 4. - Chiari esempi onde interne uninodali a Trevignano.

SESSE TERMICHE



L. BRACCIANO

dal 14 SETTEMBRE 1956 h.17

al 15 h.23

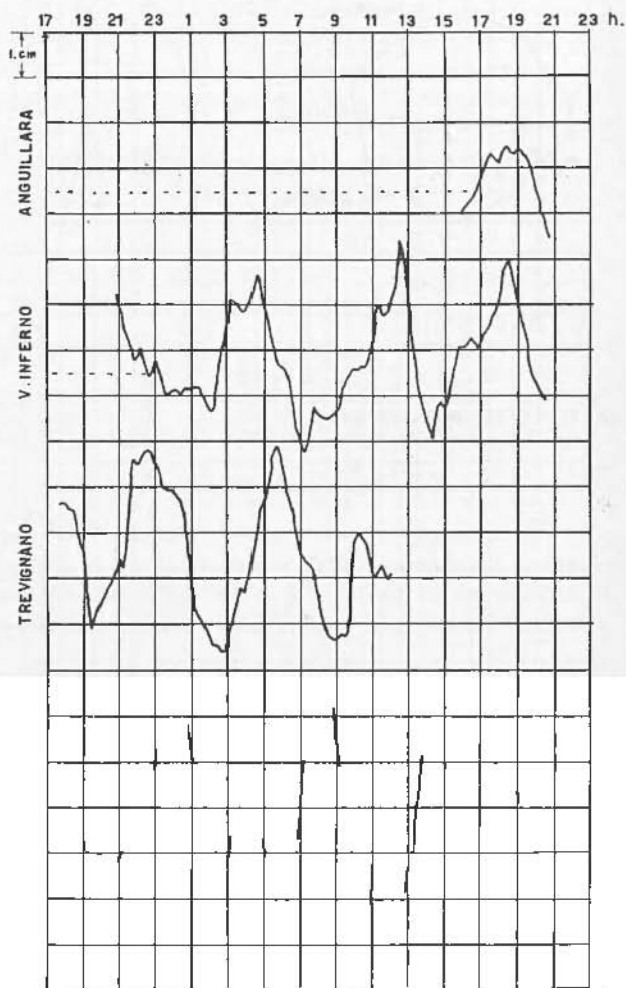


Fig. 5. - Onde interne nel lago di Bracciano, tratte dalla riduzione di registrazioni, in quattro stazioni, di limnografi per sesse ordinarie; particolarmente ampia l'onda interna uninodale, che si presenta in opposizione di fase a Bracciano e a Valle dell'Inferno.

oscillazioni in parola appaiono di minor ampiezza e isolate, come se la causa perturbante agisse ad intervalli, più o meno distanziati. Nella fig. 3, a Bracciano e ad

Di particolare interesse sono le registrazioni ottenute il 14 e il 15 Settembre nelle stazioni linnografiche in funzione sul lago di Bracciano. Le oscillazioni con periodo

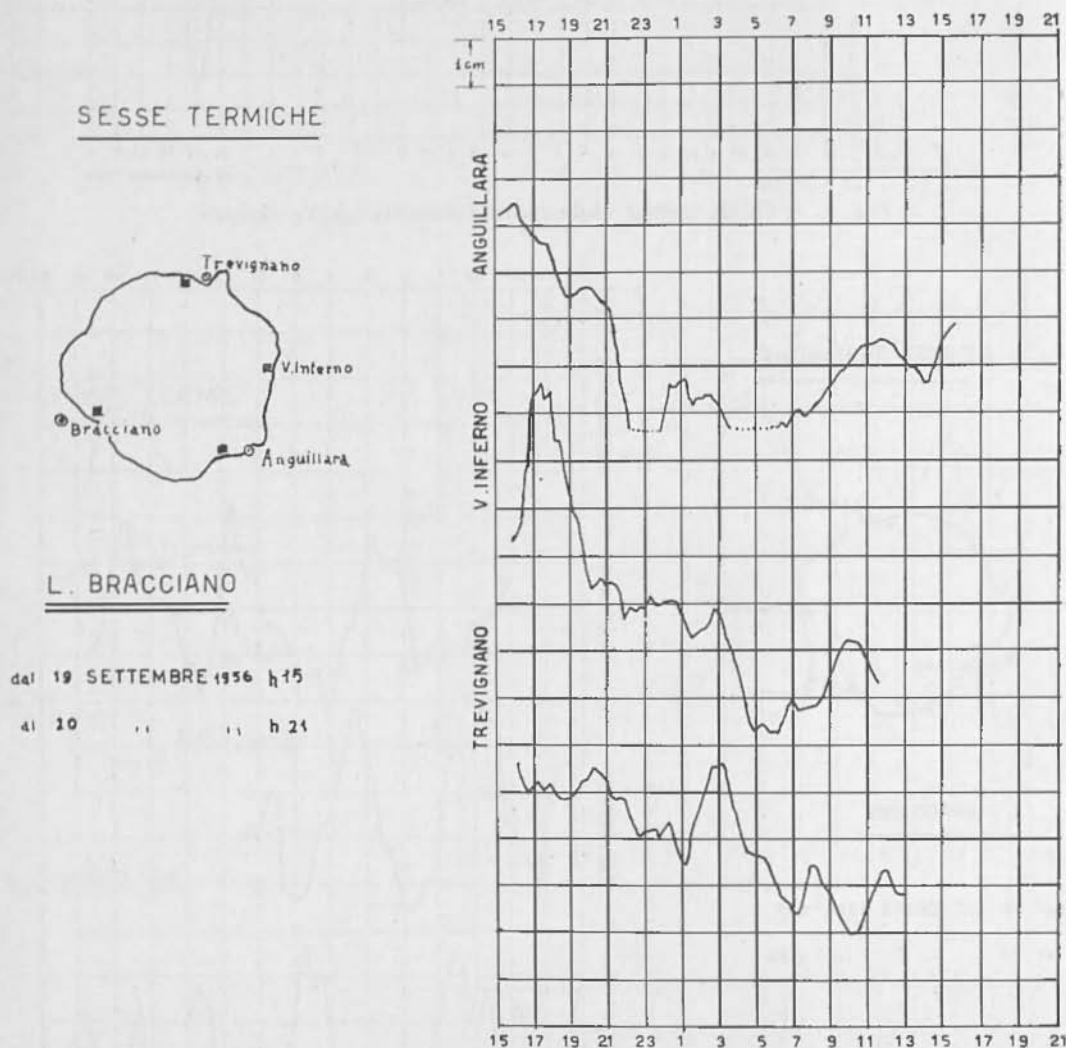


Fig. 6. — Esempi molto perturbati, con livello del lago in diminuzione.

Anguillara, appaiono perturbatissime e si presentano in opposizione di fase; nettissimo, nella stessa figura, l'esempio registrato a Trevignano dal 29 al 30 Agosto. Altri chiari esempi di oscillazioni con periodo dell'ordine di 6^h si ebbero a Trevignano il 2 Settembre 1956 e, amplissimo, il 14 Settembre (fig. 4).

di 6^h circa appaiono ampie su tutto il lago: esse si presentano in fase a Valle dell'Inferno e ad Anguillara, che sono invece in opposizione di fase con Bracciano e, prevalentemente, anche con Trevignano. Si tratta indubbiamente di onde stazionarie uniodali — o, comunque, di nodalità dispari —. Nel caso specifico, insorgono a gruppi sepa-

rati, un gruppo nascendo mentre il precedente è ancora in registrazione. Fra le oscillazioni sovrapposte, di diversa natura, figurano sicuramente anche delle armoniche, come quelle che si presentano verso le 5 del 14 Settembre.

2. - Il periodo delle oscillazioni osservate — così discosto dal periodo dell'oscillazione libera fondamentale (1, 2) —, indicava chiaramente trattarsi di oscillazioni di natura diversa da quelle libere ordinarie (sesse ordinarie). D'altronde, la loro persistenza, nei

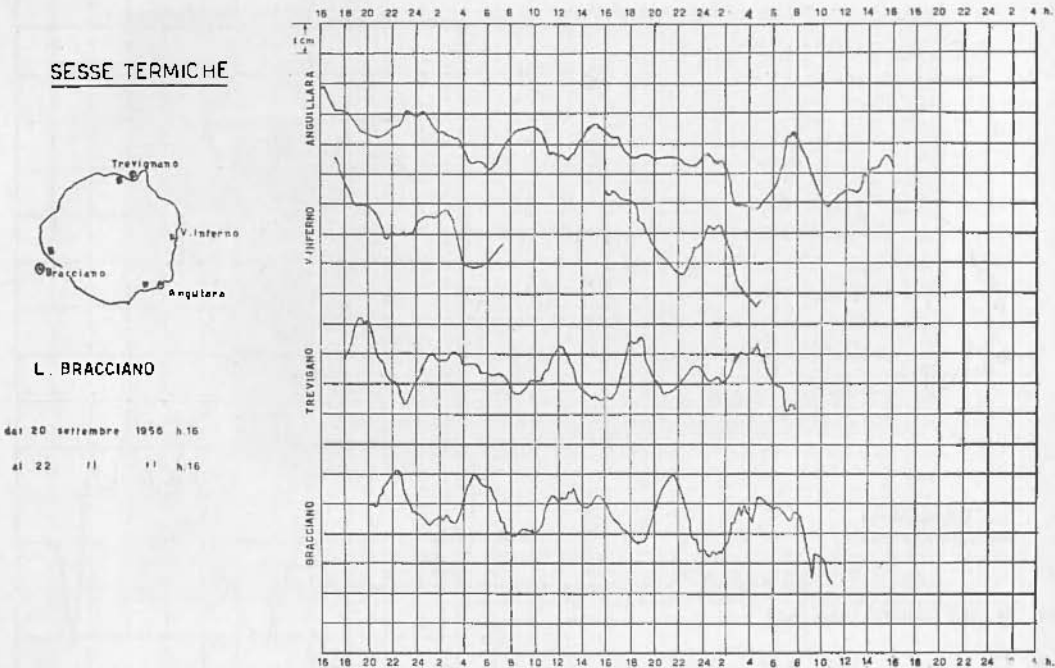


Fig. 7. - Onde interne nel lago di Bracciano, come da riduzione delle registrazioni ordinarie in quattro stazioni limnografiche. Le uninodali si presentano in opposizione di fase nelle coppie di stazioni Bracciano-Valle dell'Inferno, Anguillara-Trevisignano.

Sebbene sembri avere prevalentemente la direzione NE-SW, l'uninodo compie rotazioni intorno al centro del lago, quasi questi avesse le funzioni di un punto anfidromico; ciò appare chiaro dalle figure precedenti, come dalla fig. 6, e forse più ancora dalla fig. 7.

La fig. 8 prova l'esistenza di una varietà di altre oscillazioni che, pur non essendo del tipo ora esaminato, e nemmeno sesse ordinarie, tengono in ogni modo mosso il lago durante intere giornate. Non è escluso che parecchie di esse risultino essere particolari tipi di onde progressive.

mesi della tarda estate e del primo autunno, permetteva di escludere di poterle identificare con oscillazioni forzate dell'intera massa del lago, provocate da cause accidentali (2).

Ritenni doversi trattare di *onde interne* (sesse termiche), sia pure di ampiezza e in sequenze eccezionali.

Non restava che la prova diretta.

Si doveva provare che si formassero — nei mesi estivi — autunnali — delle condizioni necessarie per l'insorgenza di tali oscillazioni. In altri termini, bisognava provare l'esistenza — in detti mesi — dello strato termico di salto e quindi di una superficie di

discontinuità termica, ad una profondità tale, e con tali caratteristiche, da giustificare l'insorgere delle osservate oscillazioni, di quel determinato periodo, sotto l'azione di cause perturbanti.

ghe sul lago, per il conseguimento dello scopo.

Almeno in un primo tempo, ho preferito ricorrere ad uno strumento, forse meno preciso, ma in compenso di uso più agevole e

SESSE TERMICHE



L. BRACCIANO

dal 24 SETTEMBRE 1956 h. 15

al 25 " " h. 21

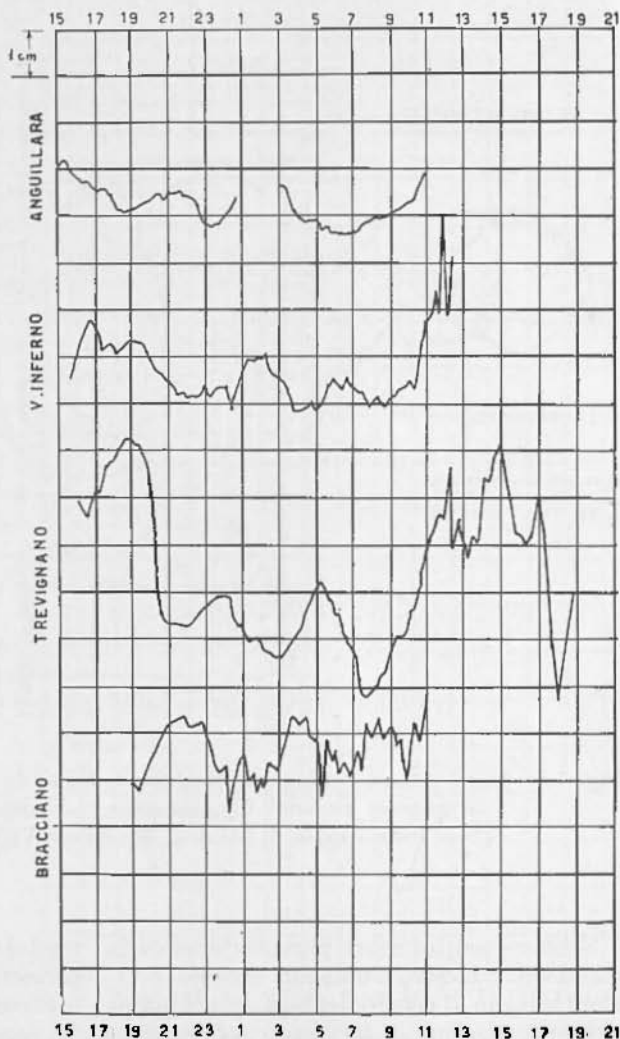


Fig. 8. - Registrazioni molto perturbate.

Necessitava pertanto una lunga serie di misure termometriche, nelle acque del lago, per profondità diverse e in diverse stagioni dell'anno.

I termometri a rovesciamento, che conducono ad osservazioni di grande precisione, avrebbero richiesto permanenze troppo lun-

che permette altresì la registrazione della temperatura e della pressione, corrispondenti alla profondità raggiunta.

A questo scopo, feci costruire nel 1952, dall'Askania Werke di Berlino-Kiel, un apparecchio per la misura e la registrazione della pressione dell'acqua mediante un tubo

Bourdon per profondità fino a 300 metri, con contemporanea registrazione della temperatura mediante una lamina bimetallica.

L'apparecchio può essere ancorato stabilmente, oppure incorporato in un involucro di protezione, trascicabile.

a tempo, incorporato nell'orologeria (12). In tal modo, mediante la staffa battente, vengono premuti i martelli prismatici del tubo Bourdon e della lamina bimetallica sul listello d'arresto, incorporato nell'apparecchio registratore. Sulla carta cerata,

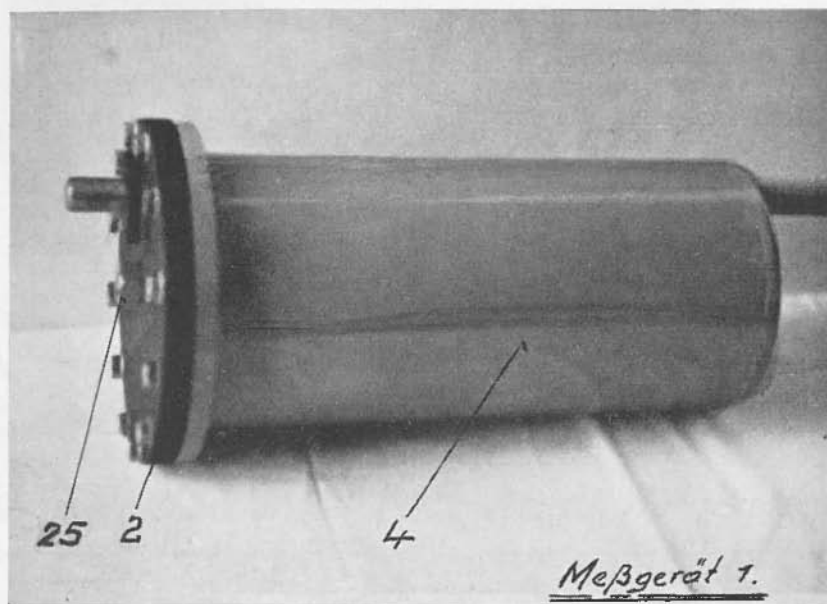


Fig. 9.

Si compone (figg. 9, 10, 11) di un involucro cilindrico del diametro di cm 25, lungo cm 50 (4), di un coperchio (2) e di un basamento (3).

Il tubo Bourdon viene applicato al coperchio ed è intercambiabile per determinate profondità.

Sull'asse di misura del dispositivo di trasmissione del tubo Bourdon è applicato, mediante una vite di bloccaggio, l'indice con martelletto prismatico. Pure al coperchio è applicata la lamina bimetallica con martello prismatico.

Il magnete battente (10) è sistemato al disopra del tubo Bourdon: a distanza rispettivamente di 1 minuto oppure di 12 secondi, esso riceve — una volta avviato il registratore (15) — un impulso di corrente che viene da pile a secco, collegate in serie, mediante contatti di un dispositivo

che trovasi fra martello e listello d'arresto, si segna così un punto.

L'involucro di protezione trascicabile ha diametro di cm 50 e lunghezza di m 1. Il supporto cardanico dell'apparecchio di misura permette una sua posizione orizzontale, anche se l'involucro di protezione gira intorno al suo asse longitudinale.

Per quanto riguarda il rilevamento delle pressioni, a seconda delle profondità del lago in esame e degli scopi che si perseguono, sono a disposizione tre tubi Bourdon, con campi di misura di 300 metri, 100 metri e 20 metri rispettivamente.

La precisione assoluta è di circa 0,3% del relativo campo di misura del tubo Bourdon. La precisione relativa è maggiore, in modo che i valori di variazione di pressione d'acqua misurati, possono ritenersi praticamente esatti.

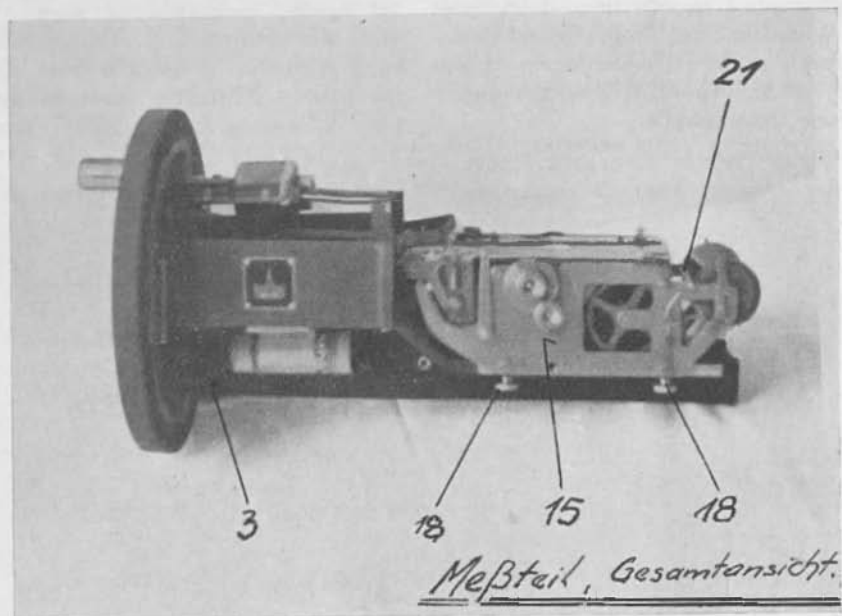


Fig. 10.

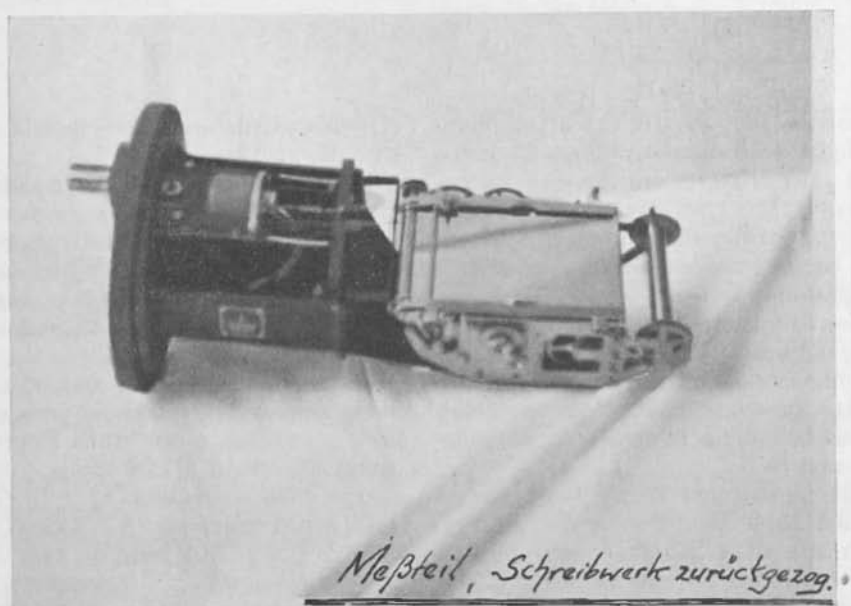


Fig. 11.

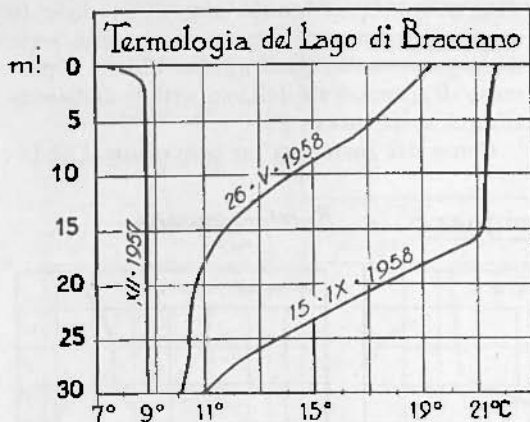


Fig. 12

Per quanto concerne l'apparecchio registratore, esso è corredato di due orologerie intercambiabili: una può consentire due avanzamenti diversi della carta, di 10 mm/ora o di 60 mm/ora, con intervallo di registrazione di 1 minuto e carica di 8 giorni; l'altra consente pure due velocità di avanzamento, di 120 mm/ora e di 1200 mm/ora rispettivamente, con registrazione ogni 12 sec e carica di 28 ore.

Il tubo Bourdon può essere tarato prima e dopo ogni misura, mediante una bilancia di pressione oppure con manometro di prova.

La lamina bimetallica può essere tarata con un termografo.

La determinazione dei valori assoluti del livello d'acqua viene ottenuta calcolando le correzioni per le variazioni termiche e barometriche.

Il campo di misura delle temperature è di circa 30 °C.

1 °C di variazione della temperatura, corrisponde a circa mm 0,6 di deviazione sulla carta cerata.

3. - Con l'apparecchio brevemente descritto nel paragrafo precedente, mi sono proposto di compiere un certo numero di

Lago di Bracciano - Trevignano - Batitermografia

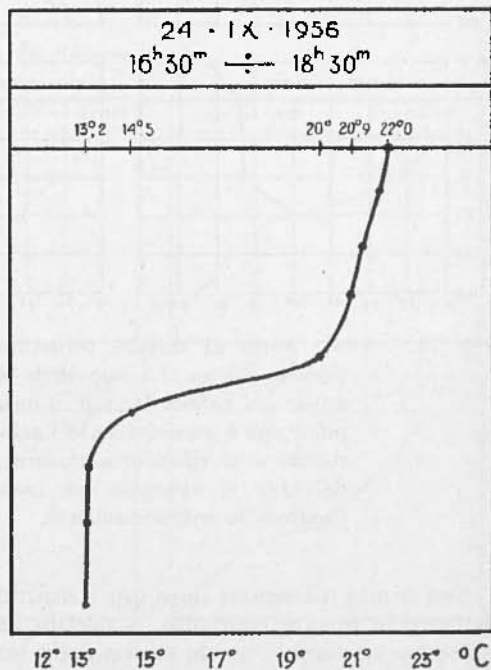
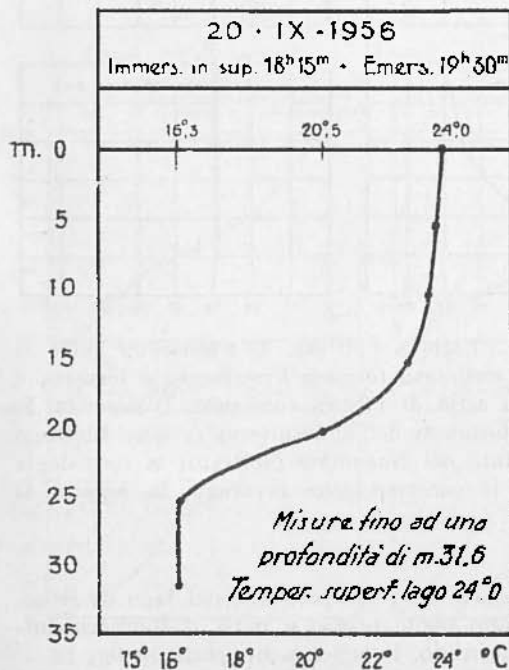


Fig. 13. - 1956: Prime esperienze batitermografiche nel lago di Bracciano: apparisce netto lo strato del salto termico a circa 16 metri di profondità.

osservazioni termiche nelle acque del lago, in epoche diverse, allo scopo di rivelare — se esisteva — il salto termico, necessario alla formazione della così detta superficie di discontinuità termica e, quindi, delle onde interne (sesse termiche).

diagrammi (ho ritenuto superfluo, dato lo scopo di questa ricerca, unire lunghe serie di numeri), dalle quali appare chiaro il processo di formazione della superficie di discontinuità sospettata.

Come del resto era da prevedere, l'anda-

Lago di Bracciano - Trevignano - Batitermografia

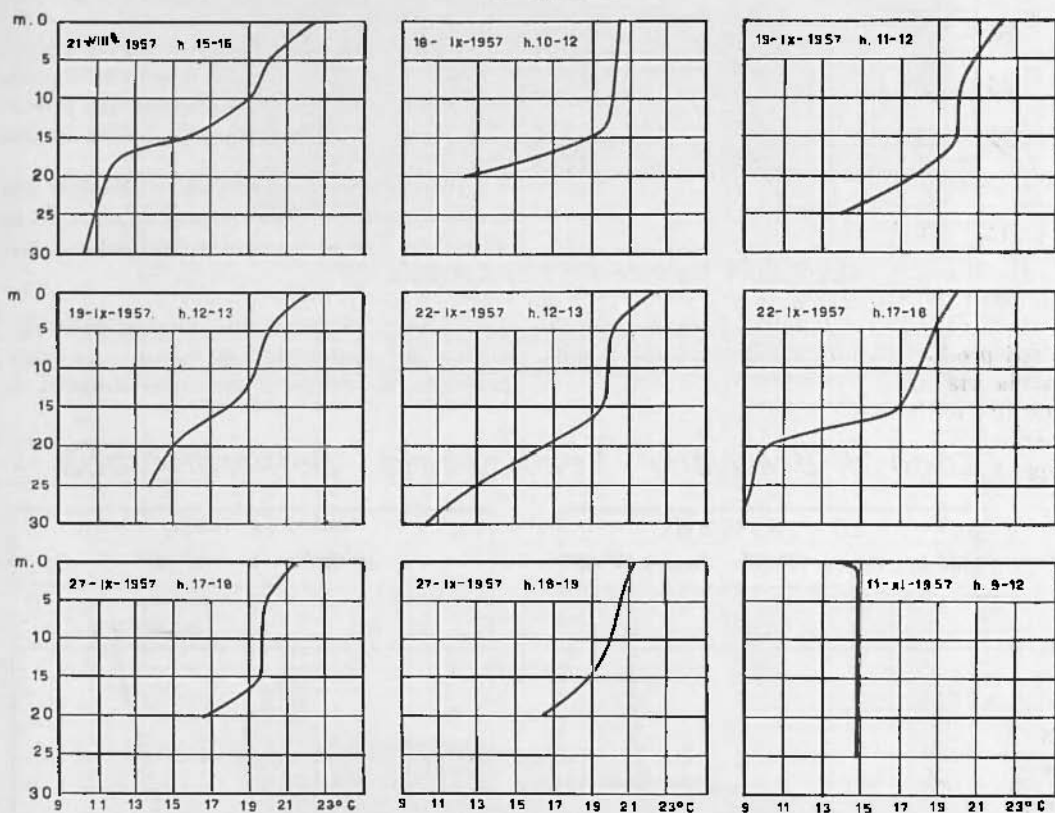


Fig. 14. — 1957: Serie di misure termometriche. Esclusa l'ultima, si riferiscono tutte al periodo estivo. La superficie di discontinuità termica è certamente formata e appare chiara in più d'una delle serie di misure compiute. D'altronde, in più d'una è pure evidente l'azione deformante dell'onda interna in atto. L'ultimo riquadro si riferisce a misure compiute nel Novembre inoltrato; la termologia del lago si appresta ad assumere le caratteristiche invernali, in seguito al progressivo raffreddamento.

Non è mia intenzione dare qui i risultati di tutte le misure compiute, a partire dal 1956; anche perchè, per lo studio della termologia del lago, mi riservo di compiere indagini più sistematiche, con mezzi più idonei. Mi limito a riportare alcune serie di

mento della temperatura nel lago di Bracciano segue presso a poco, dall'inverno all'autunno, lo schema riportato in fig. 12.

Da valori pressochè costanti lungo la verticale, dei mesi invernali, la temperatura, nella primavera, comincia a crescere negli

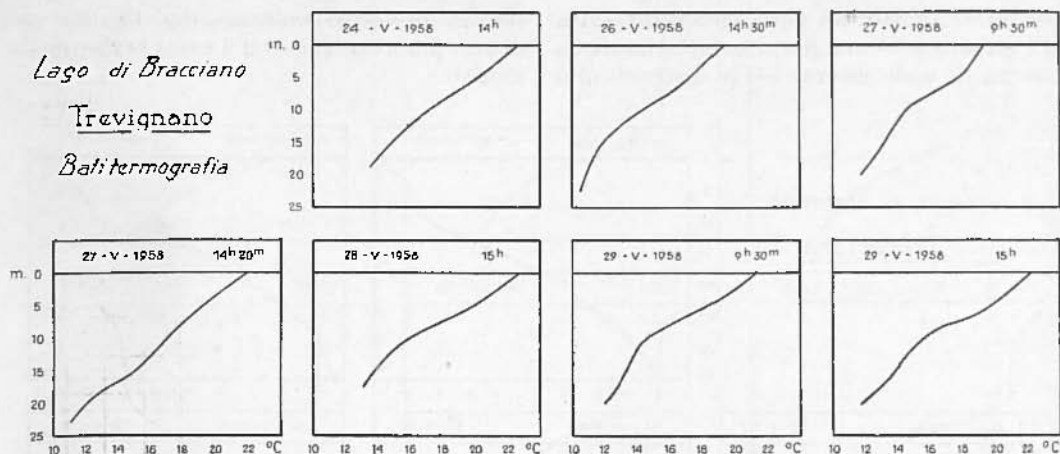


Fig. 15. - 1958: Serie di misure di fine Maggio. L'andamento della temperatura con la profondità sta rapidamente avvicinandosi al regime estivo.

strati prossimi alla superficie; l'aumento si fa via via più manifesto procedendo verso l'estate, e la temperatura assume un andamento del tipo di quello riprodotto nelle figg. 15, 16.

Alla fine di Luglio già si delinea, negli strati superficiali, la situazione termica da cui avrà origine lo strato di salto — e quindi la superficie di discontinuità. Quest'ultima già si presenta chiaramente nella seconda

Lago di Bracciano - Trevignano - Batitermografia

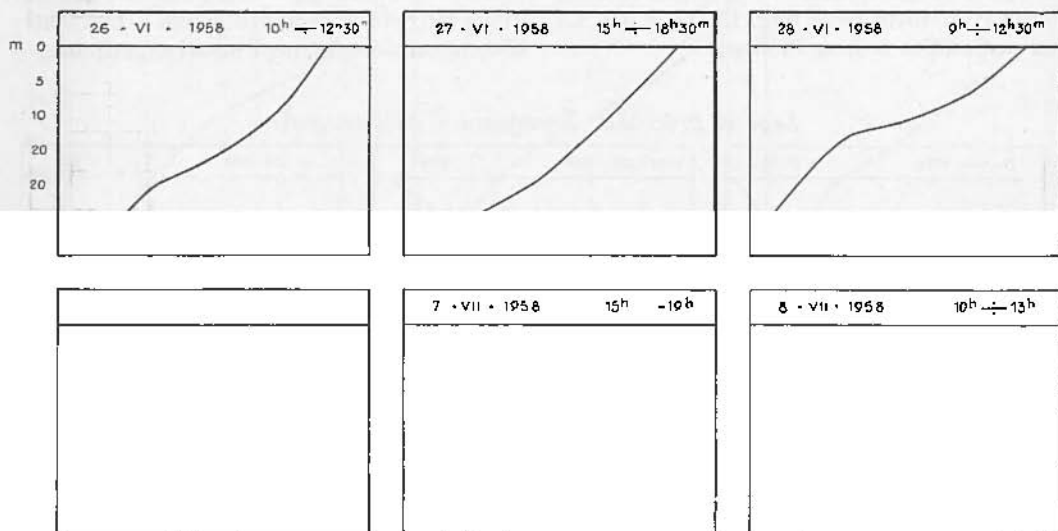
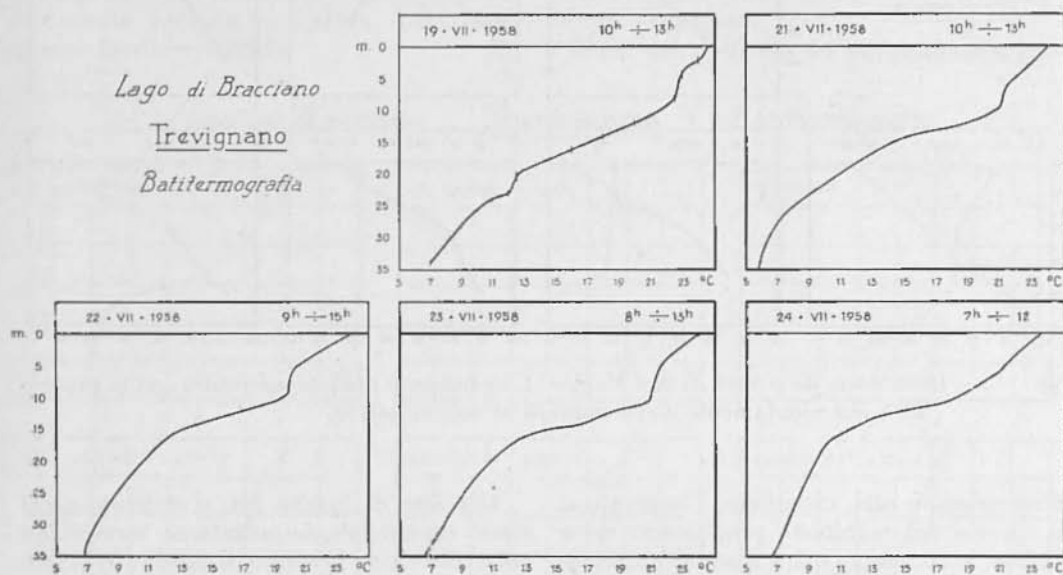


Fig. 16. - 1958: Serie di misure fine Giugno-principio Luglio. La zona del salto termico è già virtualmente formata, anche se ancora instabile e, comunque, alterata dalle onde interne.

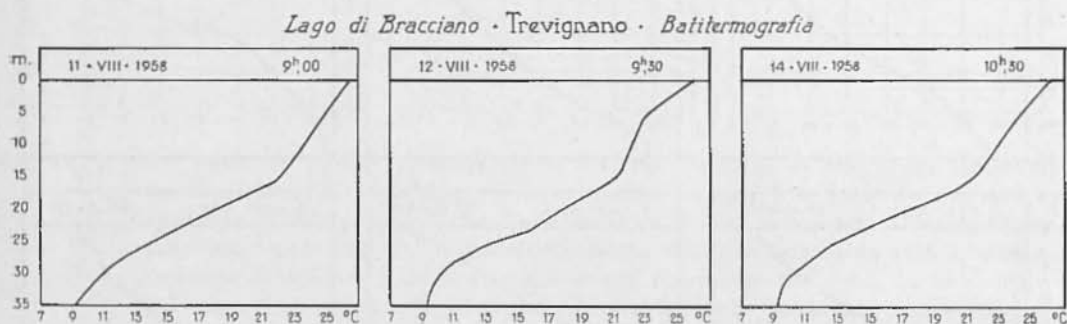
decade di Agosto, sia pure ancora instabile. In Settembre — nei giorni caratterizzati da assenza di onde interne — la discontinuità

tinuità pressochè scompare (fig. 14). Ne vedremo più avanti il — del resto evidente — motivo.



termica è in netto risalto, e si presenta nella forma riprodotta nelle figg. 13, 14 e 19. La sua profondità è di m 16 circa.

Col sopraggiungere dell'autunno, il graduale raffreddamento dell'acqua — più sensibile, naturalmente, negli strati superficiali —



Nei giorni in cui si formano oscillazioni interne, allora la distribuzione termica degli strati superficiali viene più o meno profondamente alterata e la superficie di discon-

tinuità termica è nettamente delineata. Nei giorni in cui si formano oscillazioni interne, allora la distribuzione termica degli strati superficiali viene più o meno profondamente alterata e la superficie di discon-

Lago di Bracciano - Trevignano - Batitermografia

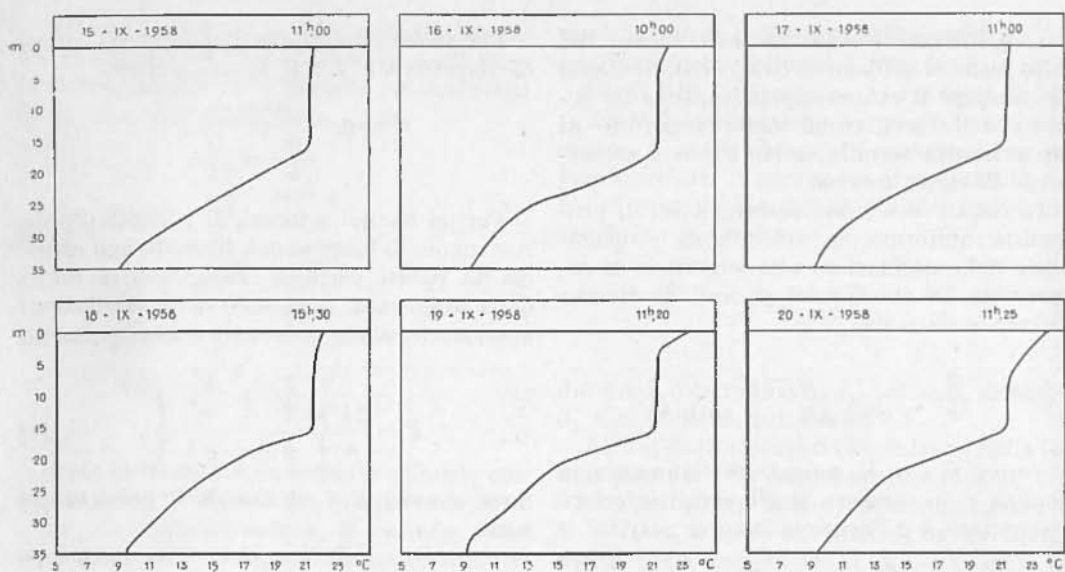


Fig. 19. - 1958: Dal 15 al 20 Settembre, la superficie di discontinuità termica, non perturbata da onde interne, si presenta nettissima alla profondità di 16 m circa.

Lago di Bracciano - Trevignano - Batitermografia

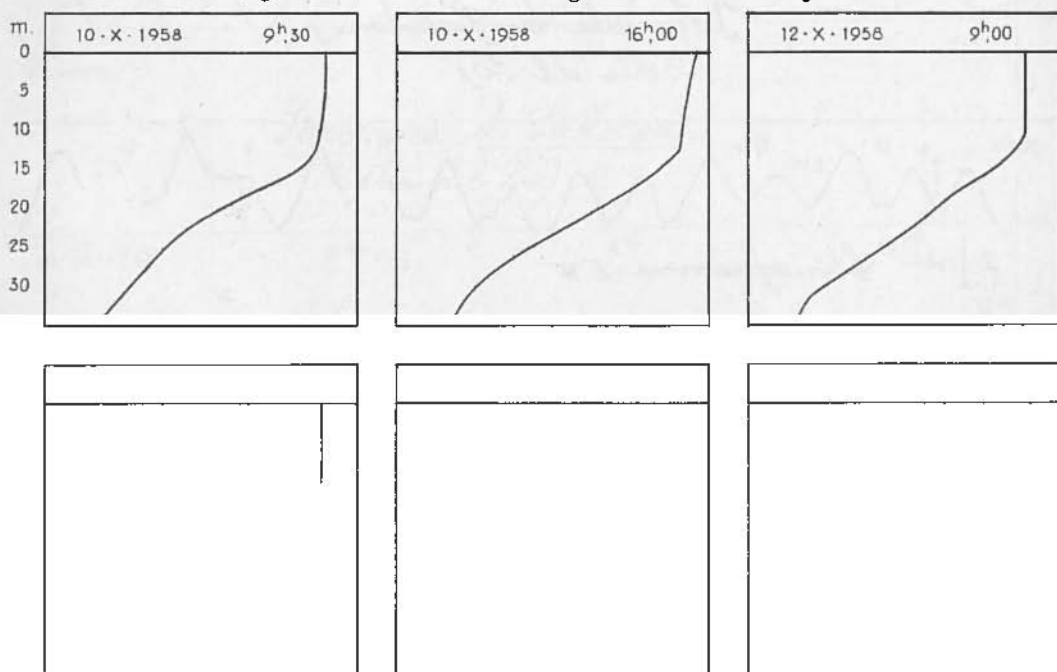


Fig. 20. - 1958: Dal 10 al 14 Ottobre la superficie di discontinuità è stata sorpresa nella sua fase di sollevamento, sotto l'azione delle onde interne.

4. - Provata l'esistenza dello strato del salto termico nel lago di Bracciano, vediamo di calcolare il valore approssimativo del periodo delle oscillazioni della superficie di discontinuità termica, sotto l'azione perturbante di cause esterne.

In canali di sezione rettangolare, di profondità uniforme, la velocità di propagazione delle oscillazioni alla superficie di separazione di due liquidi pesanti di diversa densità è data da

$$c^2 = \frac{g}{k} \frac{\rho - \rho'}{\rho \coth kh + \rho' \coth kh'}$$

dove ρ e h , ρ' e h' sono rispettivamente la densità e lo spessore degli strati inferiore e superiore, e g l'accelerazione di gravità.

Per onde di lunghezza d'onda ($2\pi/k$) grande rispetto a h' e a h , si può scrivere

$$c^2 = g \frac{\rho - \rho'}{\frac{\rho}{h} + \frac{\rho'}{h'}}$$

Per un bacino a forma di parallelepipedo rettangolo di lunghezza l , limitato agli estremi da pareti verticali, ortogonali al senso della lunghezza, il periodo delle oscillazioni stazionarie, di cui può essere sede, è pertanto

$$T = \frac{2l}{n} \left\{ \frac{\frac{\rho}{h} + \frac{\rho'}{h'}}{g(\rho - \rho')} \right\}^{1/2}, \quad [1]$$

dove n ($= 1, 2, \dots$) denota il numero dei nodi.

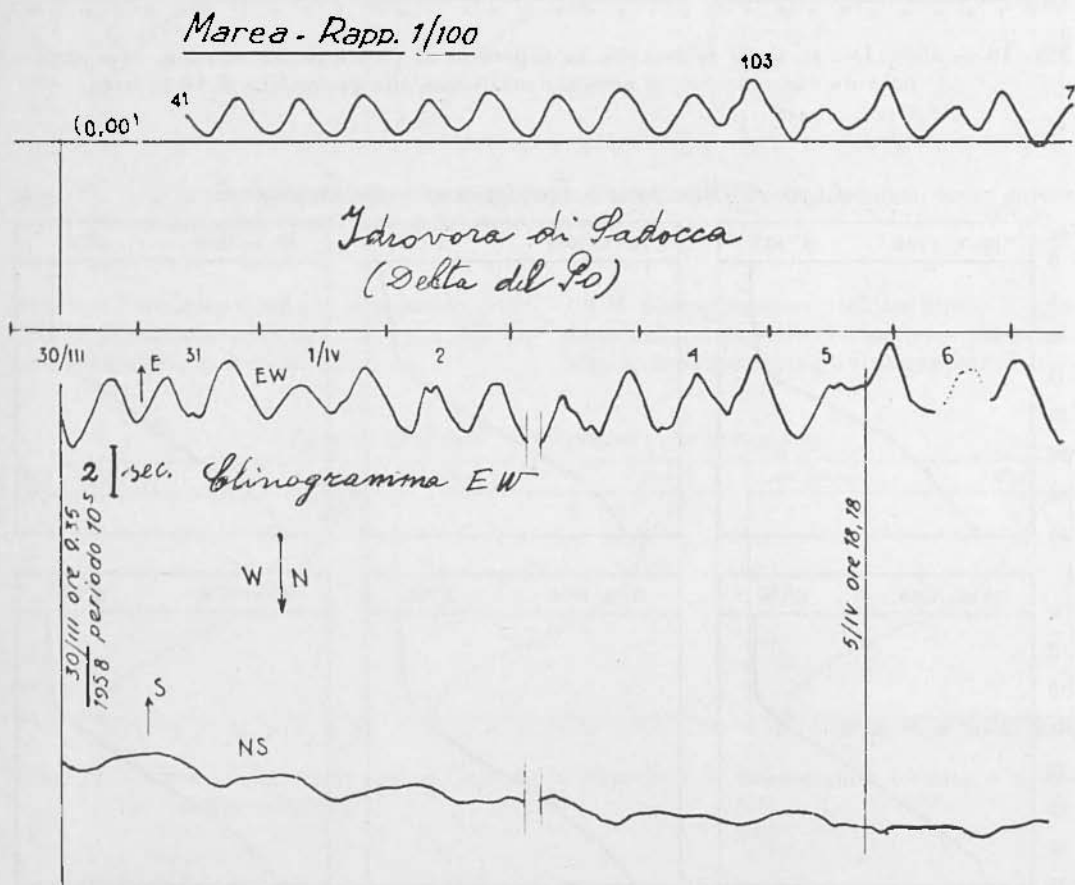


Fig. 21. - Marea solida (deviazione verticale apparente) registrata a Sadocca dalla comp. EW del clinografo ivi funzionante, in corrispondenza della marea liquida sopra riportata nel rapporto 1/100.

Nel caso in esame, la differenza di densità fra gli strati è dovuta alla differenza di temperatura; inoltre h' è piccolo nei confronti di h , così che ponendo

$$\frac{h'}{h} = \varepsilon,$$

si ha

$$T = \frac{2l}{n} \frac{1}{\sqrt{g h_0}}, \quad [2]$$

avendo posto

$$h_0 = \frac{h'(\varrho - \varrho')}{\varrho' + \varepsilon \varrho}. \quad [3]$$

Sotto la forma [2], la formola coincide con quella detta di Merian per le sesse ordinarie.

In via approssimativa, il periodo delle sesse interne di un lago di forma qualunque può quindi essere determinato con la [2],

dove in luogo della profondità effettiva va considerata la profondità ridotta [3].

Per il lago di Bracciano, la cui forma — in prima approssimazione — può ritenersi circolare, h' è sensibilmente costante. Per un lago circolare di raggio r e di profondità h_0 , e nel caso di lunghezze d'onda grandi rispetto ad h_0 , si ha

$$T = \frac{2\pi \cdot r}{x_i \sqrt{g h_0}}, \quad [4]$$

dove x_i è una radice di $J_1'(x) = 0$, essendo J_1 una funzione di Bessel.

Alcuni degli elementi che entrano nella [4] non possono che essere approssimativi. Ad ogni modo, con buona approssimazione, è $h' = 15 \text{ m}$, $h = 65 \text{ m}$. Inoltre, in corrispondenza della superficie di discontinuità, si può assumere $r = 3500 \text{ m}$. I valori medi

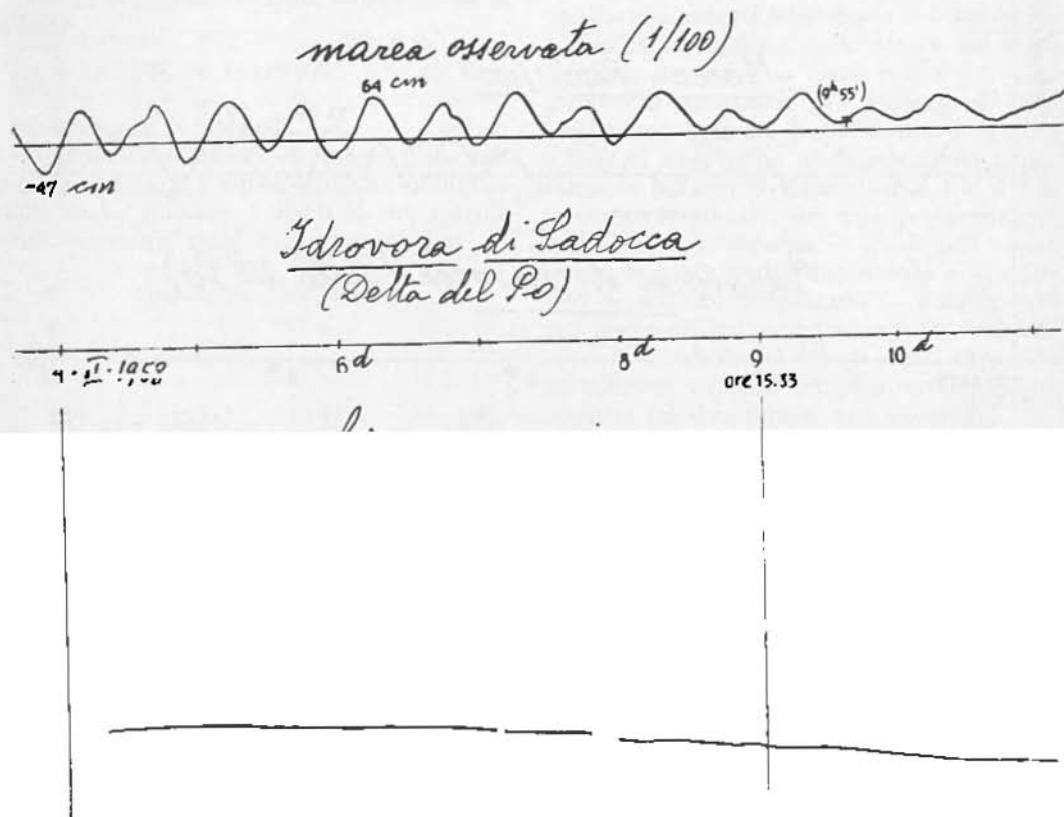


Fig. 22.

delle temperature osservate nei due strati, superiore ed inferiore, furono di 24° e 9° rispettivamente, ai quali corrispondono densità dell'ordine di $\rho = 0.997296$ e $\rho = 0.999781$.

Questi dati permettono di ottenere (fatto $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$) $\sqrt{gh_0} = 0.5603$.

Si sa che le radici di $J_1'(x) = 0$ sono, nell'ordine,

$$1.841; 5,33; 8,54; \dots$$

Al primo di questi valori, corrisponde — tenendo conto della [4] — per l'onda interna uninodale il valore di

$$T_0 = 6^h, 0.$$

In questi calcoli, naturalmente, quello che conta è l'ordine di grandezza dei valori per-

seguiti. Nel nostro caso, tale valore non potrebbe essere più significativo.

5. — La teoria prevede dunque un periodo di 6^h circa per l'onda interna uninodale del lago di Bracciano, quale conseguenza della sua particolare termologia estiva - autunnale.

Gli esempi riportati nelle figg. 1-8, dedotti dalla riduzione delle registrazioni delle sesse ordinarie del lago, erano già di per sé significativi e costituivano un'ottima conferma dei valori ottenuti per via analitica.

Ho cercato però di ottenere la registrazione delle onde interne, il più possibile scevre dalle perturbazioni derivanti dalle oscillazioni libere ordinarie, a più breve periodo. Ciò comportava l'opportuno fil-

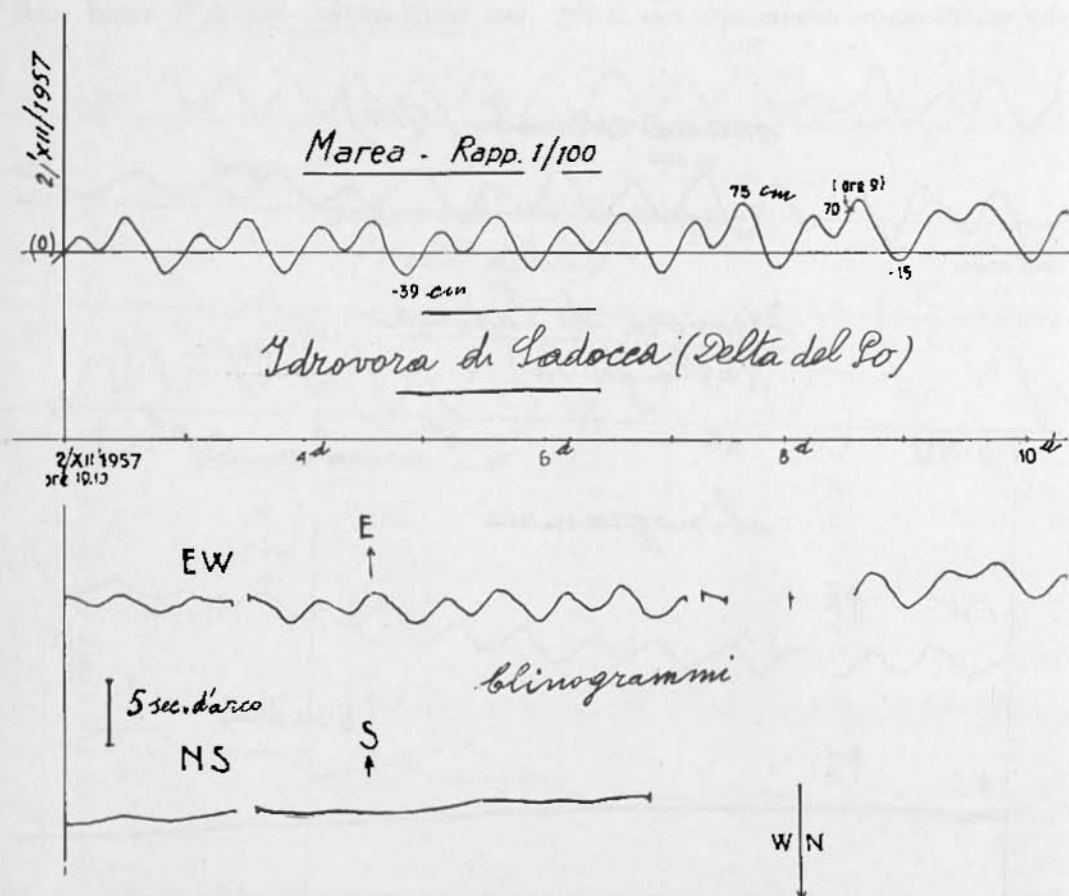


Fig. 23.

traggio dei limnografi che permettesse di eliminare le oscillazioni a breve periodo.

Si è ottenuto lo scopo valendoci dei principi stabiliti nel precedente lavoro, trattando della parte strumentale (2).

L'applicazione di un filtro ai limnografi provoca ritardo (τ) nella registrazione e smorzamento nell'ampiezza nel rapporto $\cos \omega \tau : 1$, essendo $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (T , periodo dell'oscillazione).

Si ha (2)

$$\frac{\tau}{T} = \frac{1}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{\omega}{k},$$

essendo

$$k = 2890 \frac{b^4}{l a^2},$$

dove l è la lunghezza del tubo adduttore, di diametro b , nel pozzetto cilindrico di diametro a .

Per la registrazione delle onde interne si è fatto

$$l = \text{cm } 400, \quad b = \text{cm } 0,3, \quad a = \text{cm } 6.$$

Consegue $k = 0,001626$.

Ho calcolato l'effetto di questo filtro sulle sesse ordinarie e sull'oscillazione uninodale delle onde interne. I risultati del calcolo sono contenuti nella seguente tabella:

| per $k = 0,001626$ | | | |
|--------------------|----------|---------------|--------------------|
| T sec | τ/T | τ sec | $\cos \omega \tau$ |
| 492 | ·2304 | 113 | ·126 |
| 330 | ·2364 | 78 | ·085 |
| 240 | ·2401 | 58 | ·062 |
| 21.600 | ·0282 | 609 | ·984 |

Appare chiara l'azione del filtro sulle oscillazioni ordinarie: esse vengono praticamente eliminate dalla registrazione. Infatti, già l'uninodale (492 sec) è ridotta di 12/100 circa; e quindi — data la sua piccola ampiezza — a non più di un paio di millimetri nelle sue più vistose manifestazioni. Scompaiono senz'altro la binodale (330^s) e l'uninodale simmetrica (240^s).

Al contrario, l'onda interna uninodale (21600^s = 6^h circa) viene riprodotta pressochè in vera grandezza (98/100), con un ritardo di circa 10^m (unica sensibile azione del filtro).

Il limnografo così modificato è rimasto in funzione per lunghi periodi, durante gli ultimi due anni. Le registrazioni avute non potevano essere più significative.

Nei mesi da Novembre a Giugno, si ebbero — negli intervalli di funzionamento dell'apparecchio — registrazioni di nessun rilievo, comunque non attribuibili a moti interni, di origine termica.

Nelle settimane di funzionamento delle stagioni estiva-autunnale si sono avute, invece, registrazioni di grandissimo interesse: a periodi di quiete, si sono alternati intervalli caratterizzati da oscillazioni veramente cospicue. Si vedano gli esempi riportati nelle Tavole da I a IV.

Stupisce la persistenza e l'ampiezza delle oscillazioni, aventi un periodo di 6 ore circa.

Con la formazione dello strato del salto termico, si creano — come si è visto — le condizioni necessarie per l'insorgere delle oscillazioni interne. Sulla causa di queste ultime ci riserviamo di ritornare più partitamente nel seguito della ricerca. Fin d'ora, possiamo osservare che una perturbazione della superficie esterna — quale può essere quella legata a vento improvviso o al transito di disturbi microbarici — è sufficiente per provocare un'oscillazione della «superficie» di discontinuità fra gli strati superiore ed inferiore a quello del salto termico, come avviene fra due liquidi non miscibili.

Questo però non spiega la persistenza delle onde interne, che durano settimane, e la loro ampiezza veramente eccezionale.

Va ricordato, a questo proposito, che l'ampiezza delle onde interne alla superficie esterna del mezzo è proporzionale alla differenza $\rho - \rho'$, sempre piccolissima. Wedderburn escludeva che esse potessero impressionare la superficie, tanto da negare che le lievi oscillazioni rilevate da Halbfasse nel Madusee fossero reali onde interne. In realtà, qualche sporadica registrazione di onde interne alla superficie esterna si è avuta in qualche lago giapponese, mentre ampie si manifestano nel lago di Garda (4).

Nel caso del lago di Bracciano, ritengo che la persistenza e l'ampiezza delle onde interne comporti l'esistenza di fenomeni di risonanza con la causa perturbante. E qui — dato il periodo proprio delle onde interne — viene spontaneo di pensare all'azione indiretta della marea.

L'attrazione diretta luni-solare, naturalmente, non può avere efficacia alcuna: solo nei massimi laghi della Terra, infatti, essa può destare movimenti piccolissimi, dell'ordine del millimetro.

La marea liquida può agire per via indiretta. La marea luni-solare semi-diurna è pressochè sempre presente nel Tirreno: la sua armonica superiore, avrebbe il periodo dell'onda interna del lago di Bracciano. Del resto, non è da escludere che possano verificarsi maree *quarto-diurne*, sia pure di piccola ampiezza, aventi appunto il periodo di 6^h.

L'azione sull'onda interna del lago di Bracciano può manifestarsi solo attraverso la crosta terrestre, sotto forma di marea solida.

Che la marea liquida possa trasformarsi in marea solida di ugual periodo è cosa nota. Nelle figg. 21, 22, 23, vengono riportati tratti di marea solida, che viene sistematicamente registrata presso l'idrovora di Sadocca (Delta del Po) in corrispondenza di quella liquida, da un fotoclinografo ivi funzionante dal Dicembre 1957.

È chiaro che l'onda solida si smorza rapidamente con la distanza; è pur vero però che, nei fenomeni di risonanza, l'ampiezza (intensità) della causa perturbante non ha influenza determinante, che è invece essenzialmente legata all'approssimazione dei periodi in giuoco ed è tanto maggiore quanto più il periodo della causa perturbante si approssima a quello del sistema oscillante.

RIASSUNTO

Sono proseguite le indagini, iniziate gli anni scorsi, sul lago di Bracciano, con particolare riguardo alla termologia del lago stesso. Attraverso le quattro stagioni, sono state compiute numerose serie di misure di temperatura, a diverse profondità, con un batitermografo

fatto espressamente costruire. Le misure ottenute hanno già consentito di delineare l'andamento della temperatura delle acque del lago durante l'anno e a dare conferma definitiva del formarsi, durante i mesi da Luglio a Novembre, dello strato del salto termico. La base di detto strato si comporta come superficie di discontinuità, che praticamente divide il lago, nei mesi accennati, in due parti non miscibili, di diversa densità. Ciò crea le condizioni fisiche necessarie e sufficienti all'insorgere delle così dette « onde interne » (sesse termiche), sotto l'azione di cause perturbanti esterne: la superficie di discontinuità diviene sede di moti stazionari, i cui periodi sono legati alle caratteristiche morfologiche e di densità del lago, di ampiezze molto spesso notevoli. Poichè tali onde si smorzano rapidissimamente verso la superficie esterna, era opinione diffusa che esse non potessero venir registrate in superficie, come onde idriche, se non sporadicamente. Nel lago di Bracciano, invece, vengono registrate in superficie lunghissime serie di oscillazioni, aventi un periodo proprio di 6 ore circa. La teoria ha provato che tali onde sono le fondamentali (uninodali) delle onde interne. Il fatto che esse vengano registrate, con inusitata ampiezza, durante intere settimane può forse essere attribuito ad un fenomeno di risonanza, quale potrebbe essere determinato da maree terrestri, conseguenti a maree quarto-diurne, o armoniche di semidiurne del vicino Tirreno.

ABSTRACT

The study of the lake of Bracciano and especially of its thermology, undertaken a few years ago, has been continued. The temperature of its water has been taken frequently at various depths utilizing a specially designed and built batithermograph.

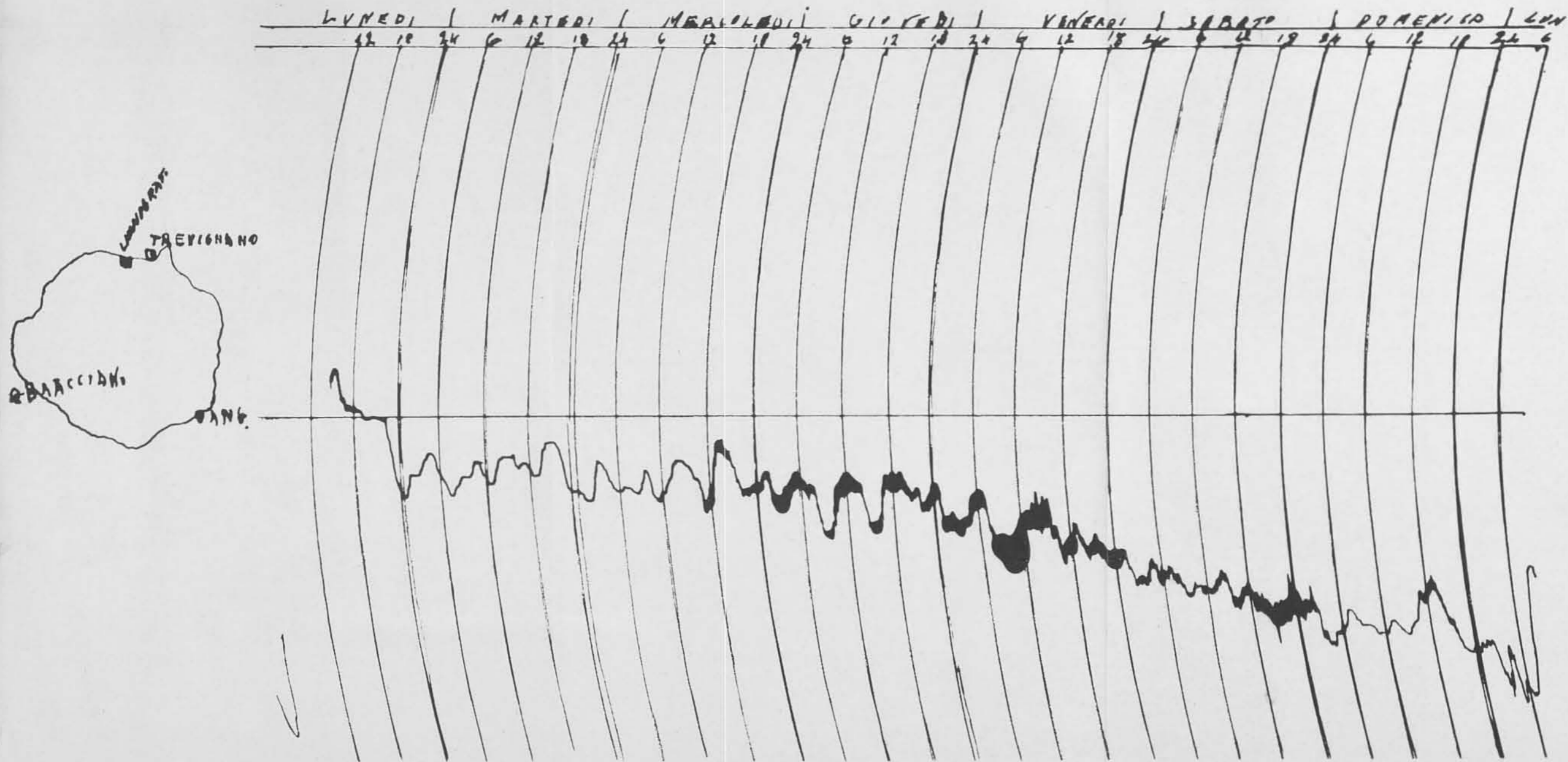
The data thus collected have already permitted to outline the trends of the temperature of the water of the lake during the year and to confirm the fact that, during the period from

July to November, a thermic-jump layer materializes in it. The base of this layer behaves like a discontinuity surface which practically divides the lake into two parts endowed with different density, which do not mix together. This creates physical conditions which are necessary and sufficient to create the so-called "internal waves". Owing to the effect of external perturbing causes, the discontinuity surface becomes the seat of stationary movements whose periods are linked with morphologic features and density of the lake and whose amplitude is often considerable. As such waves extinguish very rapidly towards the external surface, an opinion had spread that they could not be recorded at the surface as watery waves except in sporadic cases. In the lake of Bracciano, instead, very long series of oscillations with their own period of 6 hours have been recorded at the surface. A theory has proved that such waves are the fundamentals (uninodals) of internal waves.

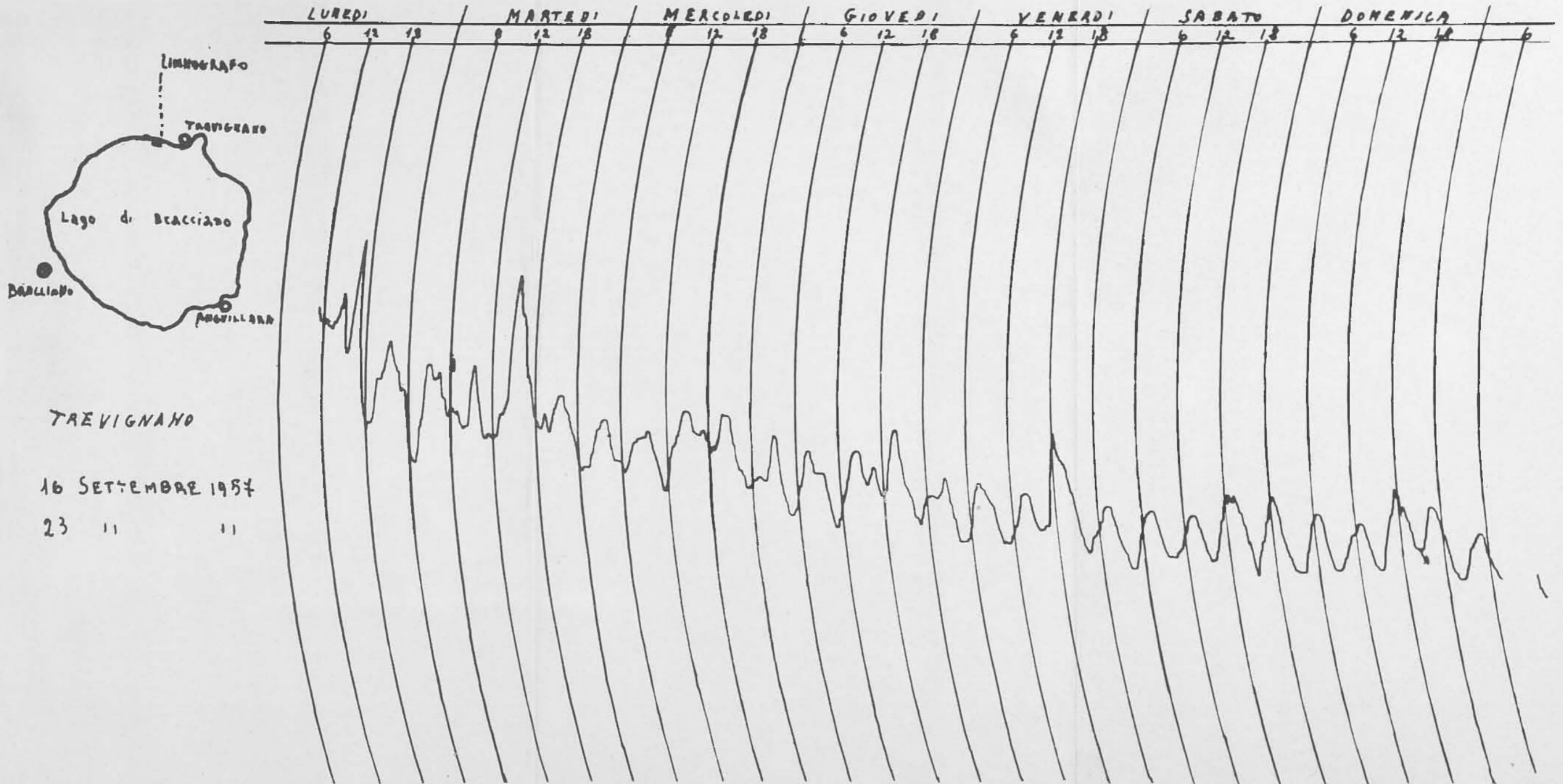
The fact that they are registered, with unusual amplitudes, during whole weeks, can be, probably, attributed to a resonance phenomena which could be caused by earth tides deriving from quarter-day tides or half-day harmonics of the nearby Tyrrhenian Sea.

BIBLIOGRAFIA

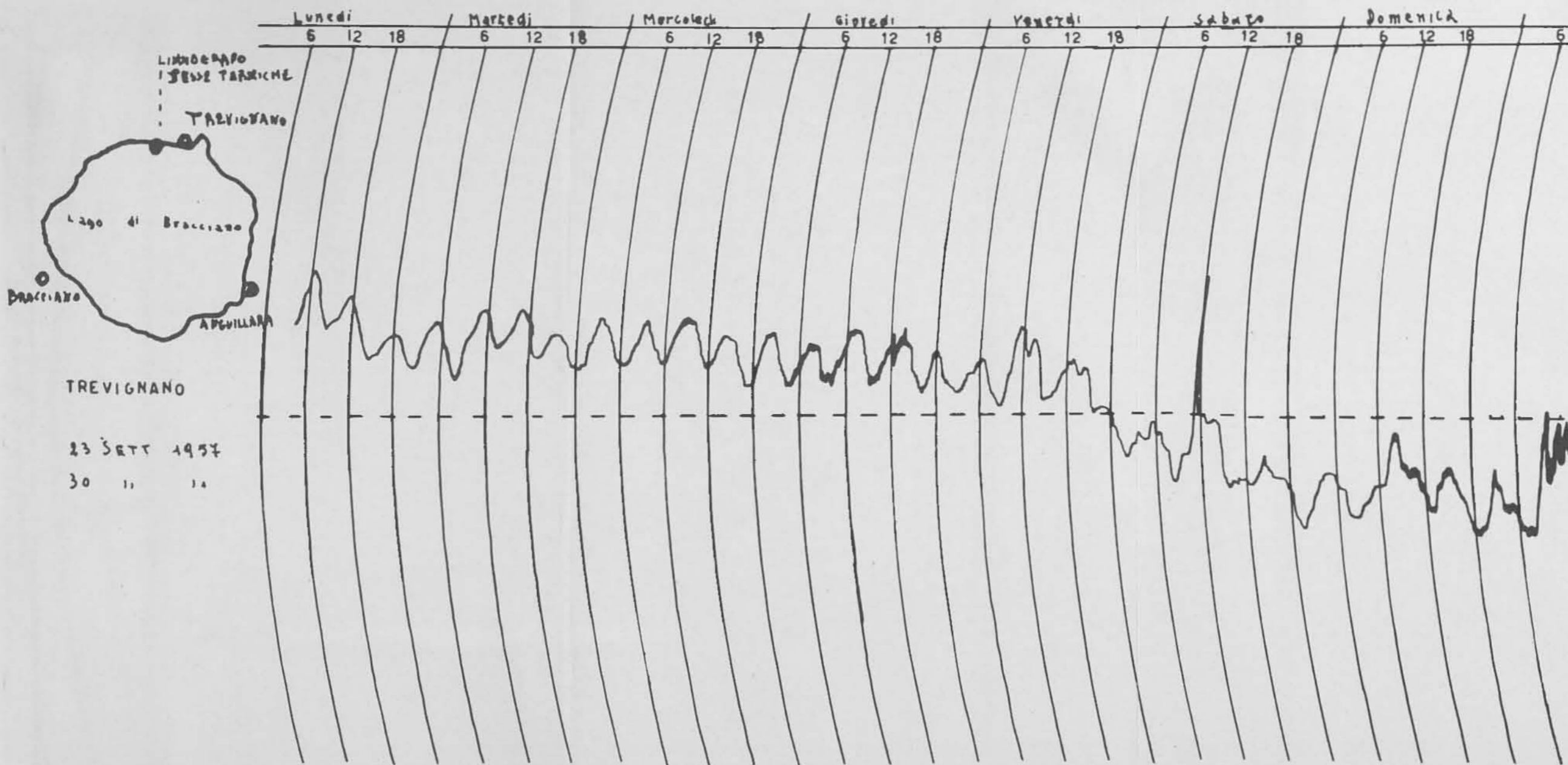
- (¹) CALOI P., *Sui possibili modi di oscillazione libera del lago di Bracciano*, « Ann. di Geofisica », III, 1 (1950).
- (²) CALOI P. e PERONACI F., *Oscillazioni libere e forzate del lago di Bracciano*, « Arch. di Oceanogr. e Linn. », Venezia, 1958.
- (³) CALOI P., *Oscillazioni libere del lago di Bracciano; loro caratteristiche, loro energia*, « Ann. di Geof. », XI, 1 (1958).
- (⁴) — *Notevoli onde interne (sesse termiche), nel lago di Garda*, « Ricerca scientifica », A. XVII, 1 (1947).



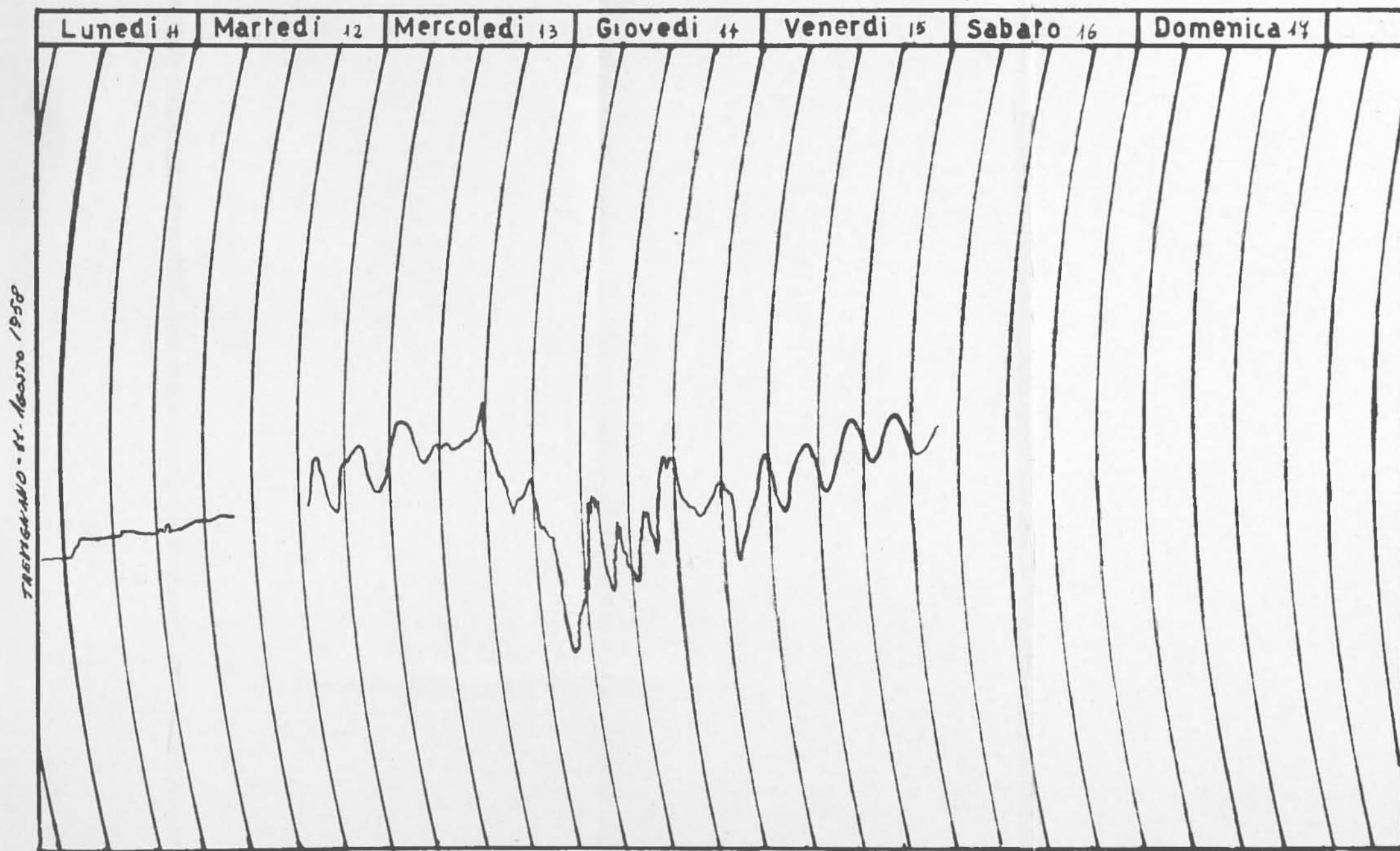
Registrazioni in superficie di onde interne, a carattere non continuativo.



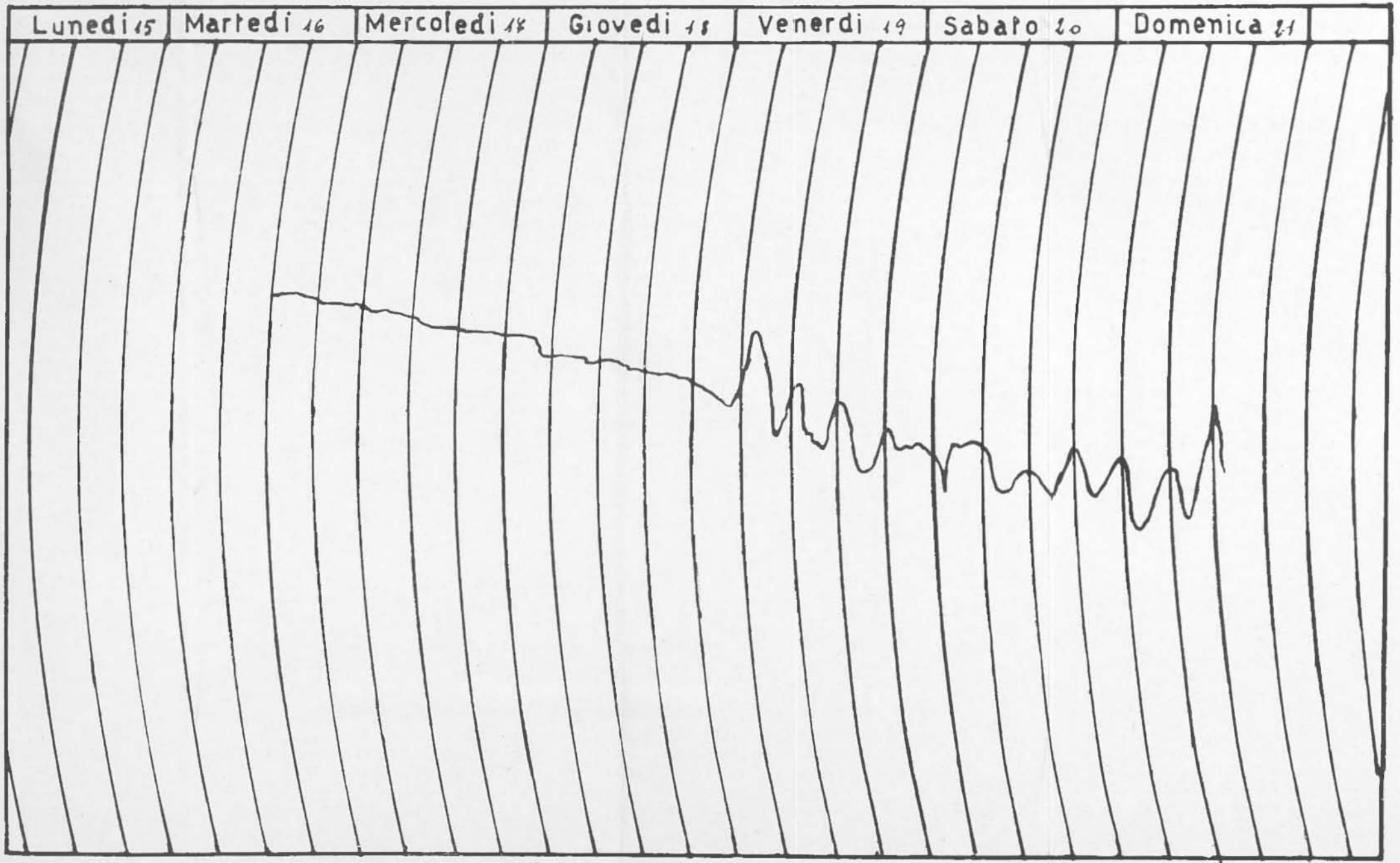
Lunga serie di onde interne con periodo dell'ordine di 6^h, registrate in superficie a Trevignano (in alcuni tratti, vi è sovrapposizione di binodali).



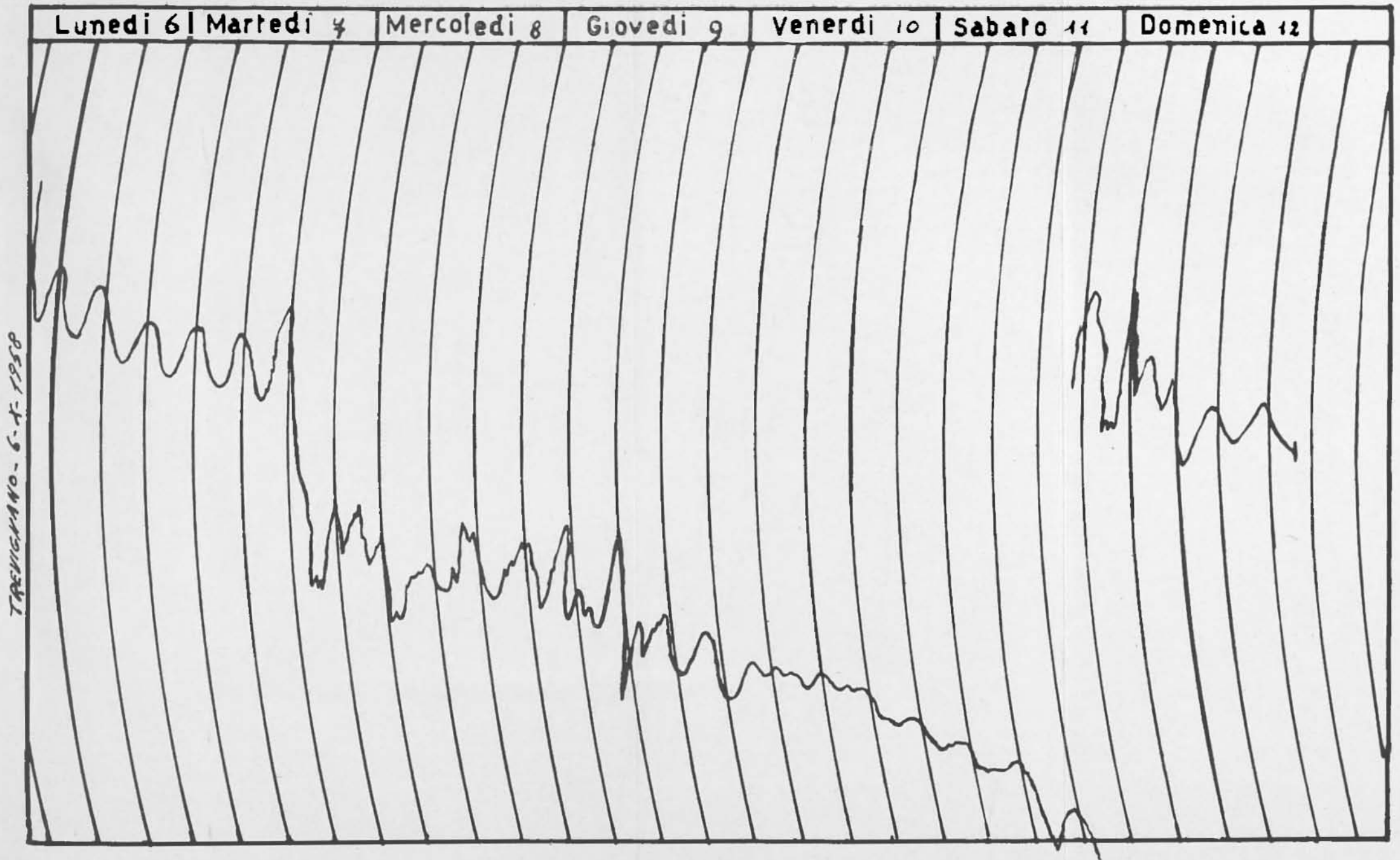
Notevole serie di onde interne uninodali, quasi pure, registrate in superficie a Trevignano.



Dopo un periodo di relativa calma, la superficie interna di discontinuità termica (strato del salto termico) si rimette in oscillazione: inizialmente, oltre ad onde uninodali, insorgono anche onde binodali; poi la serie uninodale continua quasi pura.



Ad un periodo di quiete per la superficie del salto termico, segue (come per la Tav. IV) una perturbazione, caratterizzata da oscillazioni uninodali (6^h ca.).



Il lago è stato sorpreso in una sequenza di ampie oscillazioni interne, regolarissime (6^h di periodo ca.); seguono perturbazioni di altro periodo, mentre il livello del lago è in forte diminuzione (Registrazioni limnografiche superficiali).