
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

PIETRO CALOI

Le onde interne del lago di Garda come effetto di interazione fra atmosfera ed idrosfera

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 34 (1963), n.2, p.
105–109.*

Accademia Nazionale dei Lincei

http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1963_8_34_2_105_0

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Geofisica. — *Le onde interne del lago di Garda come effetto di interazione fra atmosfera ed idrosfera.* Nota (*) del Corrisp. PIETRO CALOI.

1. Già nel 1947 davo notizia dell'esistenza, nel lago di Garda, di oscillazioni del livello delle acque, con caratteristiche tali da distinguerle nettamente dalle oscillazioni proprie dello stesso, la cui uninodale è, com'è noto, dell'ordine di 43 minuti primi. Le nuove oscillazioni, infatti, presentavano periodi straordinariamente lunghi, essendo frequenti i valori di 50 ore, pressoché continui quelli di 24 ore, cui si sovrappongono sovente periodi di 12 ore. Tali straordinarie oscillazioni — che presentano, non di rado, ampiezze superficiali di alcuni centimetri —, si presentano, quasi senza interruzione, da luglio a novembre.

Non mi fu difficile provare trattarsi di onde interne, legate alla particolare termologia del lago. In regime estivo, si forma uno strato superficiale, dello spessore medio di m. 20, nettamente separato dalla rimanente massa d'acqua. Questo strato mantiene una temperatura quasi uniforme, con acque relativamente calde e quindi poco dense. La zona di transizione fortemente stratificata, fra acque calde ed acque fredde sottostanti (zona del salto termico), presenta quindi le condizioni per divenir sede di onde interne, analoghe ai movimenti che possono verificarsi alla superficie di separazione di due mezzi liquidi non miscibili.

È appunto ciò che si verifica nel lago di Garda, durante i mesi estivo-autunnali, alla profondità di circa 20 m., quando qualche causa esterna induce perturbazioni sulla superficie esterna del lago o sul fondo. Un valore approssimativo dei periodi dei moti stazionari di detta superficie fu da me determinato nel modo seguente [1]. Siano ρ e h , ρ' e h' rispettivamente la densità e lo spessore degli strati inferiore e superiore di due mezzi fluidi non miscibili, sovrapposti ($\rho' < \rho$), contenuti in un canale parallelepipedo retto, di lunghezza L . Il periodo delle oscillazioni stazionarie che possono avere luogo sulla superficie limitante i due fluidi è dato da

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

dove n denota il numero dei nodi ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Nella Nota citata, è stata opportunamente trasformata la formula sopra scritta, allo scopo di ottenere un valore approssimato dell'uninodale delle onde interne, proprie del Garda. Sulla base delle osservazioni termologiche in precedenza eseguite, tenuto conto della profondità media del lago — e quin-

(*) Presentata nella seduta del 9 febbraio 1963.

di dei medî valori di h' e h -, della sua lunghezza e dei valori medî che ci si può aspettare per ρ e ρ' , si è ottenuto per l'uninodale interna del Garda il valore di 53^h circa. Nel lavoro più volte citato, ho provato che tale valore - nel caso del Garda - deve ritenersi di circa il 10% superiore a quello effettivo.

Pertanto, per l'uninodale interna del lago di Garda, il valore medio probabile è

$$T = 48^h.$$

La binodale, la trinodale, ..., hanno quindi valori medi dell'ordine di $24^h, 16^h, \dots$

Quelli riportati non sono, naturalmente, che risultati approssimativi. Solo con metodi di calcolo che tengano conto delle variazioni in larghezza e profondità del lago è possibile pervenire a valori più approssimati. In attesa che ciò possa essere realizzato, si possono senz'altro accettare i valori ottenuti come rispondenti, con approssimazione sufficiente, a quelli reali. D'altronde, in questi calcoli, ciò che più conta è l'ordine di grandezza degli elementi dinamici in considerazione; e le osservazioni provano chiaramente che tale ordine è rispettato.

2. Detto questo, restava da spiegare l'ampiezza e la persistenza inusitate delle onde interne del lago di Garda, con particolare riguardo alle binodali. Non bisogna dimenticare, a questo riguardo, che l'ampiezza delle onde interne decresce rapidamente come si procede dallo strato di discontinuità verso la superficie esterna (e verso il fondo), dove essa si riduce a circa $\frac{\rho - \rho'}{\rho'}$ del valore che assume per lo strato di salto. È questo uno dei motivi per cui raramente le onde interne danno registrazioni in superficie; e, quando vi pervengono, è sempre in modo accidentale e sporadico. Non è così per il Garda dove, nei mesi estivi e autunnali, la registrazione delle onde interne - particolarmente le binodali - avviene senza soluzione di continuità, con ampiezze talora cospicue.

Va ricordato, a questo punto, che un fenomeno analogo è stato - nel frattempo [2] - da me scoperto anche per il lago di Bracciano, dove durante l'estate e l'autunno, la superficie esterna è tenuta in movimento, in modo pressoché ininterrotto, al ritmo di oscillazioni aventi un periodo di 6 ore circa; oscillazioni che risultarono essere le uninodali interne del lago stesso. Allo scopo di spiegare tale persistenza, svolsi una semplice teoria [3], che, per quanto concerne lo spostamento verticale dell'onda, conduce alla formula

$$\eta = \frac{K}{c^2(m^2 - 1)} \left[\cos k(x - vt) - \right. \\ \left. - \frac{m}{\sin 2k\ell m} \{ \sin k(\ell + vt) \cos km(x - \ell) + \sin k(\ell - vt) \cos km(x + \ell) \} \right],$$

dove K è una costante, dipendente dagli spessori della stratificazione termica del lago, dalle loro densità medie e dall'ampiezza della causa perturbante,

$m = v/c$, essendo v la velocità dell'onda perturbante e c quella dell'onda lunga, indotta sulla superficie di discontinuità termica - e $k = \frac{2\pi}{v \cdot T}$, essendo T il periodo della causa perturbante. Si prova che η tende all'infinito quando $\sin 2 k l m \rightarrow 0$, cioè quando T tende a T_i , essendo T_i il periodo dell'onda interna.

In un primo momento, nel caso del lago di Bracciano, avevo considerato come causa perturbante la marea solida conseguente alla marea quarti-diurna del vicino Tirreno. Successivamente però sospettai, come cause perturbanti più probabili, le variazioni coperiodali sempre presenti nella curva barometrica registrata a Vigna di Valle. Tale ipotesi è senz'altro avvalorata nel caso del lago di Garda. Nei due brevi periodi di osservazione, che sono riuscito a compiere negli ultimi due anni, ho avuto chiara testimonianza della validità di tale conclusione.

Si vedano gli esempi riportati nella figura. In essi risulta netta la correlazione fra temperatura dell'aria, quale è registrata ad Arco, e l'onda binodale interna, nei suoi riflessi di superficie, quale viene registrata a Riva. Si noterà che l'una segue fedelmente l'andamento dell'altra. Naturalmente, la variazione diurna della temperatura non è la causa diretta del fenomeno. Come è noto, il periodo diurna della temperatura provoca infatti l'oscillazione diurna dell'atmosfera (che costituisce, per così dire, la nota fondamentale della curva diurna del barometro). Più in generale, ciascun periodo di temperatura genera un corrispondente periodo di pressione. Prescindendo dalle variazioni non periodiche di pressione, la curva diurna barometrica risulta dalla sovrapposizione di una oscillazione dell'atmosfera del periodo di 24 ore, prodotta dalla variazione diurna della temperatura, da considerarsi come nota fondamentale, da un'oscillazione semidiurna (particolarmente ampia nelle zone equatoriali), da considerarsi come un'armonica spontanea dell'onda o come un fenomeno di risonanza determinato da un'onda solare semidiurna di marea atmosferica, e da armoniche superiori (aventi cioè periodi di $1/3$, $1/4$, ... del periodo principale). L'onda fondamentale e le rispettive armoniche, possono essere effettivamente isolate con risonatori accordati ad esse. Nel caso specifico, le onde interne del lago di Garda agiscono da risonatori delle oscillazioni della pressione esterna, nel senso che a queste rispondono destandosi, e quindi rivelandole. Va infatti notato che, oltre all'onda di 24^h circa, insorgono spesso sensibili onde di 12^h circa.

L'uninodale del lago di Bracciano, risuona invece con la terza armonica dell'onda diurna, spesso presente nei barogrammi di Vigna di Valle.

Infine, l'insorgere dell'onda uninodale interna del Garda è rivelata dal rinforzo che subiscono due massimi non consecutivi della binodale e dall'appiattimento che si riscontra invece nel massimo intermedio (vedi figura).

Poiché il fenomeno è caratterizzato da notevoli variazioni di temperatura per un ampio spessore d'acqua, è da ritenere che ciò si rifletta sensibilmente nell'andamento della biologia del lago.

RIVA DEL GARDA

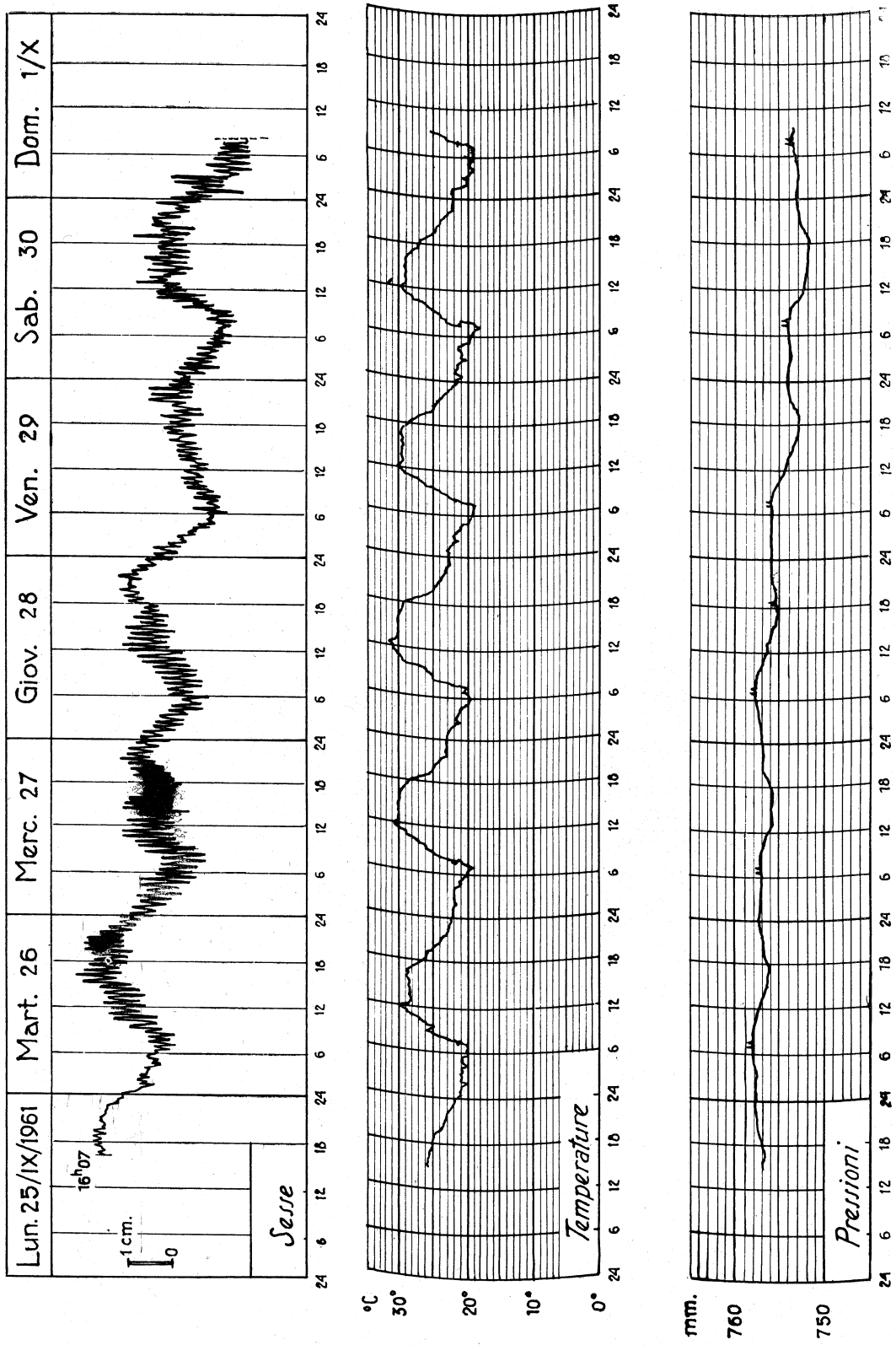


Fig. 1. — Registrazione di onde interne (sese) ottenute a Riva del Garda con limnografo di superficie (le oscillazioni rapide sovrapposte — di un periodo di 43^{ma} ca. — sono sese uninodali ordinarie). Le binodali hanno un periodo di 24^h circa e vengono originate dalle variazioni coperiali della pressione atmosferica, associate all'oscillazione diurna della temperatura dell'aria.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] P. CALOI, *Notevoli onde interne (sesse termiche), nel lago di Garda*, « Ricerca scientifica », A. XVII, 1 (1947).
- [2] P. CALOI, *Termologia del lago di Bracciano: onde interne*, « Annali di Geofisica », XII, 1 (1959).
- [3] P. CALOI, *Sulle onde interne del lago di Bracciano e sulle loro probabili cause*, « Acc. Naz. dei Lincei », Rend. Classe Scienze fis., mat. e nat.; ser. VIII, vol. XXX, fasc. 5 – Maggio 1961.