

Le sesse (seiches) dell'Adriatico

S. POLLI

1. - PREMESSE

Il mare Adriatico, come ogni bacino acqueo, è soggetto ad oscillazioni libere, aventi periodi determinati, dipendenti dalla forma del bacino e dal modo di oscillazione. Il fenomeno si genera quando una causa, generalmente meteorica, produce un temporaneo dislivello in una zona del mare. Il ristabilimento dell'equilibrio avviene mediante una successione di oscillazioni che gradualmente si smorzano. Queste fluttuazioni sono dette anche sesse (seiches, free oscillations, Eigenschwingungen) perchè sotto tale nome furono per la prima volta osservate e studiate nei grandi laghi svizzeri.

Nell'Adriatico l'oscillazione principale avviene longitudinalmente, l'acqua cioè oscilla attorno ad una linea nodale, trasversale all'asse del bacino. Sono possibili oscillazioni con la linea nodale all'estremità aperta del mare, con il nodo al centro, con più linee nodali ed anche oscillazioni trasversali.

Lo studio delle sesse può essere considerato sotto diversi aspetti che, pur essendo strettamente collegati tra di loro, possono essere esaminati anche separatamente. I principali sono:

- a) determinazione empirica delle sesse dalle registrazioni del movimento verticale del livello acqueo;
- b) determinazione teorica delle sesse date le dimensioni del bacino;
- c) determinazione delle cause che producono le sesse.

Il primo problema presenta la difficoltà di dover isolare le singole sesse dalle oscillazioni di marea, dalle altre sesse e dalle fluttuazioni accidentali. I ricercatori che sinora si occuparono di esso si limitarono ad esaminare direttamente i mareogrammi o ad

esaminare la curva-differenza fra la curva mareografica reale e quella teorica. In questo caso, se la sessa appare pura e bene sviluppata, si può ricavare il periodo, in modo però approssimato ed incerto. Occorre notare che per il Mare Adriatico le due sesse principali hanno periodi molto prossimi a quelli delle maree, e ciò rende la separazione delle oscillazioni maggiormente difficile. Di questo primo problema si occupò particolarmente il Kesslitz sulla base dei mareogrammi di Pola e di Ragusa.

Il secondo problema è stato trattato e sviluppato da diversi autori con vari procedimenti teorici, che hanno portato a risultati ben concordanti tra loro e con le determinazioni mareografiche. Per l'Adriatico si occuparono della questione il Defant ed altri autori indicati nella bibliografia.

Il terzo problema non è stato ancora trattato direttamente. Esso richiede un lungo e complesso lavoro, dapprima di analisi delle sesse e degli elementi meteorici che possono produrle, poi di correlazione tra singola causa e singolo effetto ed infine un lavoro di sintesi tra le varie cause considerate contemporaneamente e gli effetti risultanti. Oltre alla difficoltà dovuta alla complessità del problema, occorre disporre di molto materiale mareografico e meteorologico, il quale sinora è insufficiente, specialmente per quanto riguarda le registrazioni mareografiche. Della questione si è occupato soprattutto il Kesslitz, senza arrivare però a risultati conclusivi.

2. - PROPOSITO

In questa nota considereremo solamente il primo dei tre problemi indicati, cioè quello della determinazione dei periodi e delle ampiezze delle singole sesse sulla base delle registrazioni mareografiche. Di queste con-

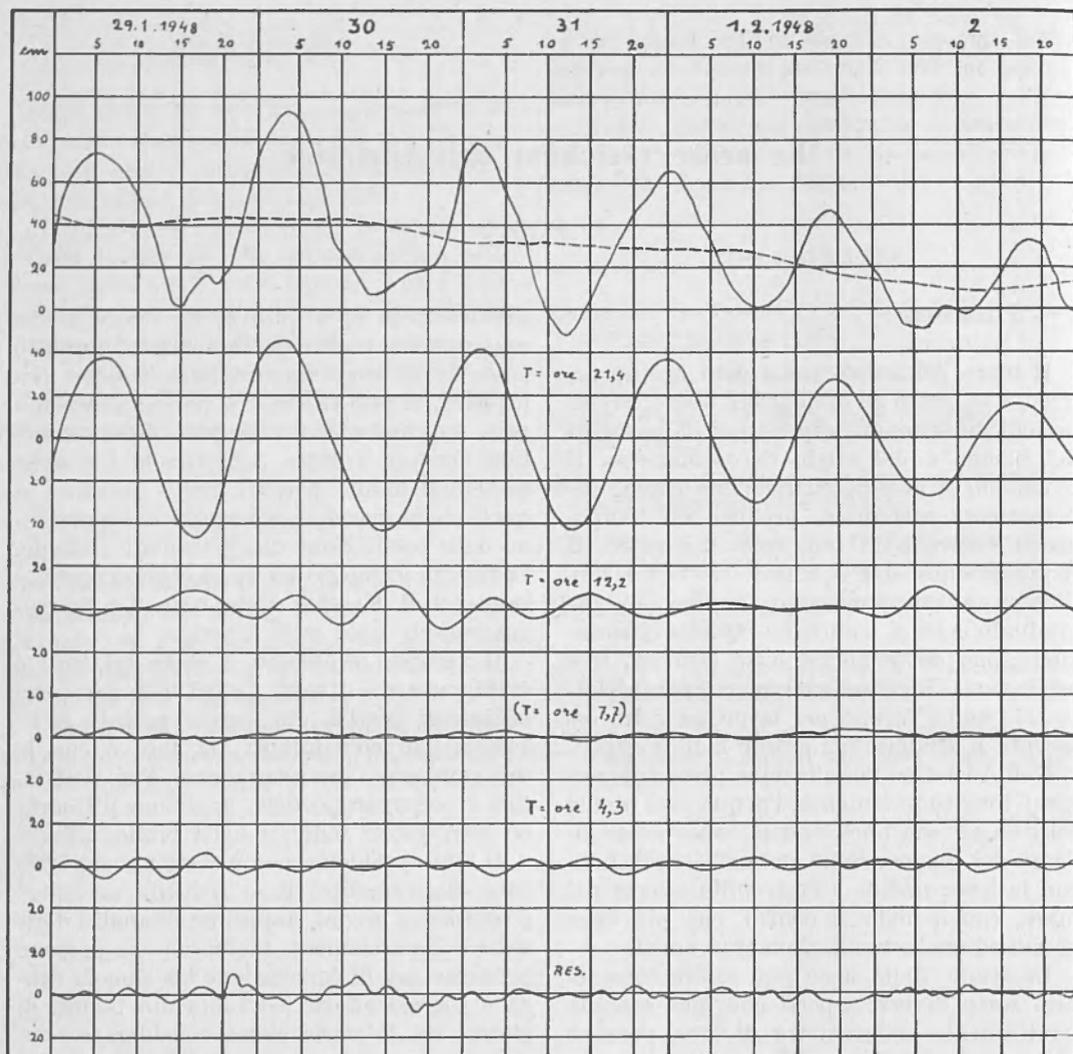


Fig. 1. - Analisi periodale della curva differenza tra marea reale e calcolata, relativa al porto di Trieste, per il periodo 29 gennaio-2 febbraio 1948. (Non appare apprezzabile in questo intervallo di tempo nè la sessa di ore 7,7 nè quella di ore 4,3).

sidereremo solamente quelle ottenute a Trieste; si noti che questo porto si trova proprio all'estremità longitudinale chiusa del bacino Adriatico, dove le sesse assumono la massima ampiezza, cioè nelle condizioni più favorevoli per eseguire la ricerca ora esposta.

3. - PROCEDIMENTO

Il metodo adottato consiste essenzialmente nell'applicare alla curva mareografica due

successivi procedimenti selettivi, in maniera da ottenere separate dalle maree e separate fra di loro tutte le sesse presenti in un dato intervallo di tempo. Questa doppia selezione è necessaria sia perchè, come già si disse, i periodi delle due principali sesse adriatiche sono molto prossimi a quelli delle maree diurne e semidiurne, per cui risulta molto difficile distinguere sul mareogramma le sesse; sia perchè le varie sesse risultano sovrapposte, componendosi in una curva complessa.

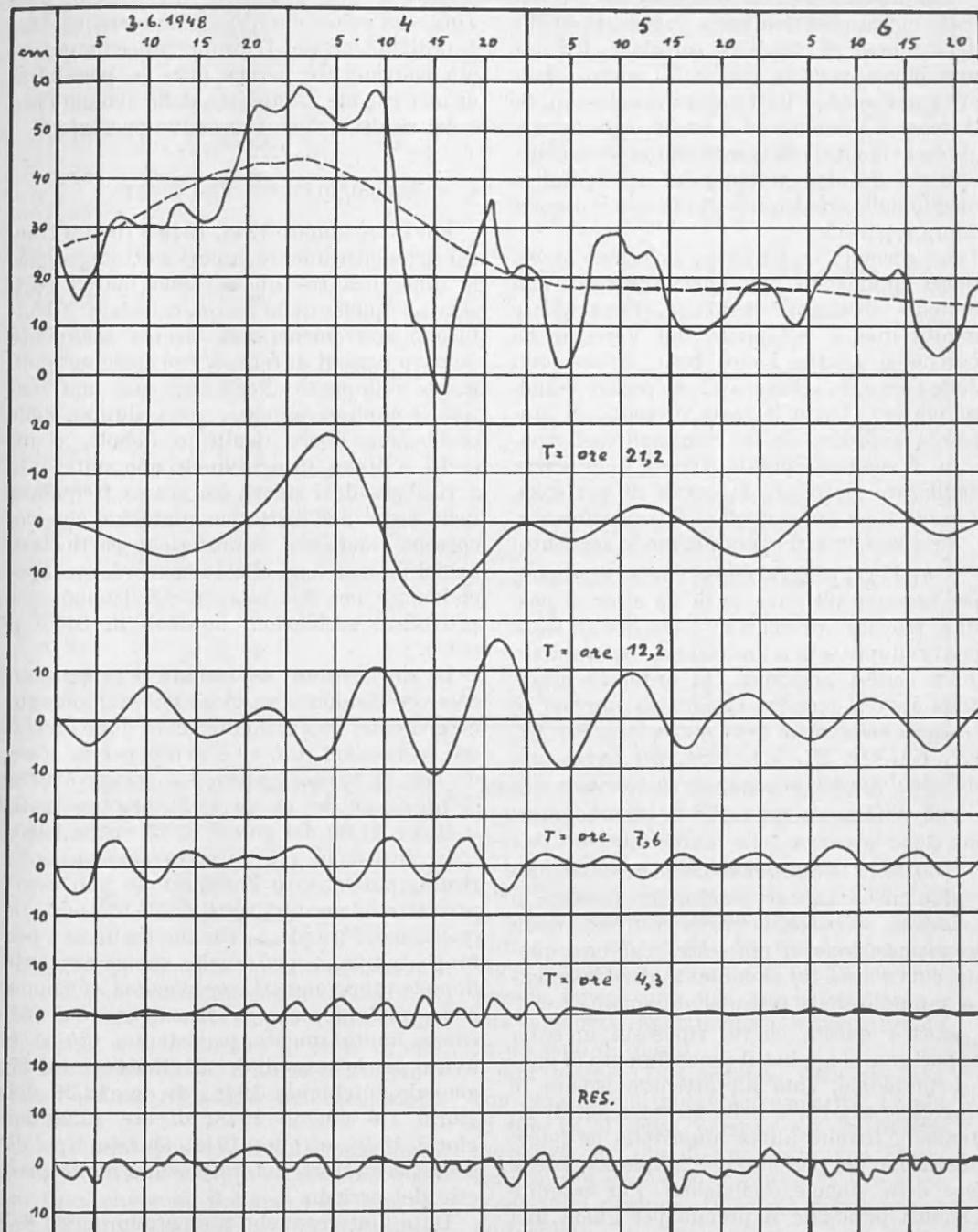


Fig. 2. - Analisi periodale della curva differenza tra marea reale e calcolata, relativa al porto di Trieste per il periodo 3-6 giugno 1948. (Risultano evidenti tutti i tipi di sesse).

La prima selezione consiste nel togliere dalla curva effettivamente registrata quella della marea teorica, cioè calcolata. Rimane una curva residua che è la somma delle eventuali sesse e fluttuazioni accidentali. Se la sessa è presente ed è unica, essa appare allora evidente; ma spesso risulta fortemente alterata da altre fluttuazioni accidentali o meglio dalla coesistenza di più sesse; occorre allora separarle.

La seconda e definitiva selezione si ottiene applicando alla curva-differenza un metodo di analisi periodale. Conveniente risulta quello sviluppato dal Vercelli, sia perchè si adatta molto bene ai caratteri delle curve da selezionare, sia perchè è molto pratico. Tutte le sesse presenti, di ampiezza apprezzabile, ne risultano così separate. È evidente che la somma delle curve analizzate riproduce la curva di partenza, e in ciò si ha un controllo del procedimento.

Praticamente si opera nel modo seguente:

a) Per il periodo che si vuole esaminare, per esempio un anno (e in un anno si possono trovare appena due o tre casi di sesse ben sviluppate), si calcolano, col metodo della sintesi armonica, le ordinate orarie della marea teorica. Occorrono almeno le costanti armoniche delle maree M₂, S₂, N₂, K₂, K₁, O₁, P₁, M₄, MS₄, per avere una sufficientemente precisa marea teorica.

b) Si traccia sul foglio del mareogramma reale la curva della marea teorica.

c) Si fa la differenza tra le ordinate delle due curve. La curva-differenze metterà in evidenza, se esiste, la curva risultante dalla sovrapposizione di più sesse. Talvolta questa curva avrà un andamento corrispondente a quello della sessa predominante.

d) A questa curva, riportata in scala opportuna, si applica il procedimento di analisi periodale, sino ad ottenere isolate le singole sesse, tutte nella stessa scala di riduzione. Risulta allora immediata la determinazione del periodo, dell'ampiezza e della fase delle singole oscillazioni. Per eseguire l'analisi periodale si prenda per guida una delle chiare pubblicazioni del Vercelli indicate nella bibliografia.

e) Nello svolgimento del lavoro si può procedere graficamente, operando cioè sulle varie curve tracciate in scala conveniente;

oppure si può procedere col calcolo, operando sui valori numerici delle corrispondenti ordinate orarie. Il primo procedimento è più conveniente perchè offre la possibilità di una visione immediata dello svolgimento e dei risultati delle successive operazioni.

4. - ESPOSIZIONE DEI RISULTATI

Per le tre annate 1948, 1949 e 1950 si tracciò sistematicamente la curva ottenuta quale differenza tra quella della marea registrata e quella della marea calcolata. Risultarono convenienti alla ricerca solamente quattro periodi di tempo, con sesse notevolmente sviluppate. Negli altri casi, una ventina complessivamente, lo sviluppo delle oscillazioni libere risultò o debole, o incerto, o breve, in ogni modo non sufficiente a ricavare dati sicuri. La scarsa frequenza delle sesse nell'Adriatico dimostra che occorrono condizioni atmosferiche particolari, azioni intense e ad effetto concordante, specialmente nei due estremi del bacino, per provocare oscillazioni notevoli in tutto il mare.

Le singole sesse selezionate si presentano come oscillazioni sinusoidali che si smorzano, in generale, rapidamente, cioè dopo due o tre oscillazioni. Ciò si è avuto per la sessa di ore 21,20 dei giorni 3-4 giugno 1948; di ore 21,50 dei giorni 18-22 ottobre 1949; e di ore 21,00 dei giorni 15-17 aprile 1950.

In situazioni più rare, lo smorzamento risulta più lento e l'oscillazione può comprendere anche una serie di 10-15 onde. In questi casi l'ampiezza rimane inalterata per lungo tempo, e può anche subire aumenti dopo le prime onde. Le oscillazioni appaiono come onde forzate in risonanza con una causa limitatamente persistente. Ciò si è avuto per le sesse di ore 21,36 dei giorni 27 gennaio-8 febbraio 1948; di ore 12,20 dei giorni 1-6 giugno 1948; di ore 12,20 dei giorni 18-23 ottobre 1949. Questo tipo di sesse permettono determinazioni molto precise del periodo.

Dato l'interesse che presentano questi diversi casi si è ritenuto opportuno specificarli singolarmente.

Nella seguente tabella presentiamo i risultati delle analisi ottenuti per ognuno dei quattro intervalli di tempo considerato. Il

Periodo ore	Errore medio	Num. onde	Amp. cm	Intervallo di tempo
21,36	± 0,67	12	94	26.I - 8.II 1948
12,19	0,23	13	20	30.I - 6.II »
7,68	0,30	12	12	28.I - 5.II »
4,25	—	3	10	27.I »
21,20	—	1	32	3 - 4.VI 1948
12,20	0,32	10	28	1 - 6.VI 1948
7,61	0,14	10	9	1 - 6.VI »
4,30	—	4	7	3 - 4.VI »
21,50	—	3	11	18 - 22.X 1949
12,20	0,16	10	22	18 - 23.X »
7,60	0,36	3	8	18 - 19.X »
4,10	—	7	6	20 - 21.X »
21,00	—	2	20	15 - 17.IV 1950
12,17	0,28	3	18	15 - 17.IV »
7,33	0,24	7	11	15 - 18.IV »
4,25	—	4	10	15 - 16.IV »

periodo è dato in ore e centesimi di ora; nei casi più significativi si è calcolato l'errore medio.

$$E_m = \pm \sqrt{\frac{\sum s^2}{n-1}}$$

di ogni gruppo di onde della sessa selezionata: s è lo scostamento della media aritmetica dei periodi delle singole onde di una stessa sessa; n è il numero di onde di ciascuna sessa selezionata. L'ampiezza in cm è quella massima registrata nell'oscillazione completa.

In ciascun intervallo di tempo considerato sono state trovate sempre oscillazioni dello stesso tipo, che sono apparse però con caratteri di ampiezza, persistenza e smorzamento diversi.

Nei giorni 26 gennaio-8 febbraio 1948 predomina per ampiezza e persistenza l'oscillazione di ore 21,36. Essa assume la massima ampiezza nei giorni 26-31, si smorza poi

progressivamente. Deboli e meno regolari appaiono l'onda di ore 12,19 e le altre di periodi minori.

La settimana 1-6 giugno 1948 è invece caratterizzata dalle sesse di ore 12,20 e di ore 7,61; che persistono ampie per tutto l'intervallo di tempo, decrescendo appena verso il giorno 8. La sessa di ore 21,20 comprende invece una sola ampia oscillazione che si smorza rapidamente e irregolarmente in un paio di giorni.

Nei giorni 17-24 ottobre 1949 prevale, con carattere di notevole regolarità, l'onda di ore 12,20. Essa persiste con inalterata ampiezza per più di una settimana smorzandosi appena verso il giorno 25. Le altre oscillazioni risultano tutte più deboli e meno regolari.

L'intervallo 14-19 aprile 1950 è caratterizzato da un ampio sviluppo iniziale di tutti i quattro tipi di sesse, che vanno poi progressivamente smorzandosi. Nel giorno 16 le oscillazioni subiscono un nuovo rin-

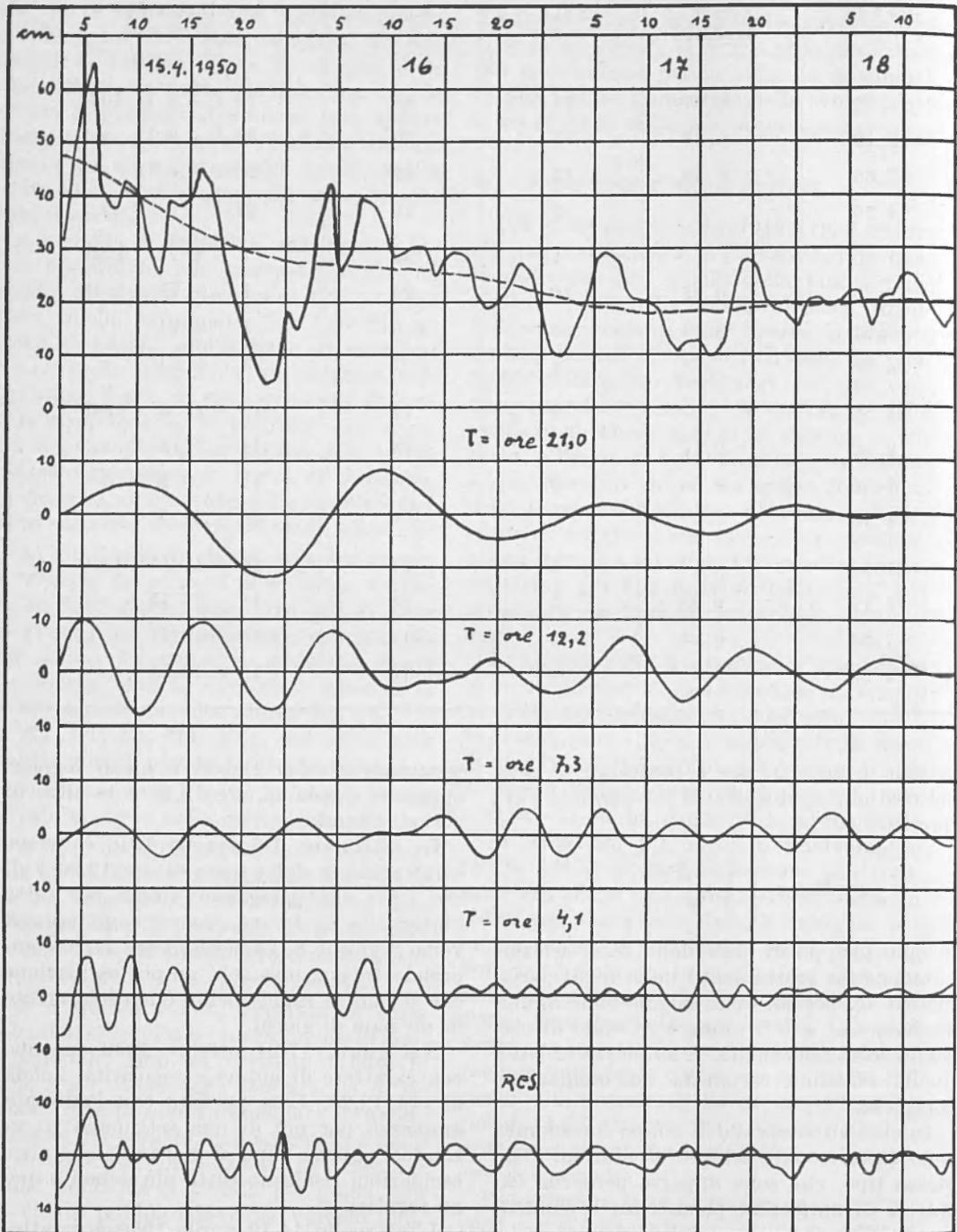


Fig. 3. - Analisi periodale della curva differenza tra marea reale e calcolata, relativa al porto di Trieste, per il periodo 15-18 aprile 1950. (Risultano evidenti tutti i tipi di sesse).

forzo, e ciò avviene quasi contemporaneamente per tutte le quattro sesse.

Nelle seguenti due tabelline presentiamo i periodi ottenuti per ogni tipo di sessa e la loro media ponderata, cioè la media aritmetica dei periodi di tutte le singole onde dei quattro casi considerati. Nella parentesi è indicato il numero di onde considerate in ciascuna sessa.

PERIODI MEDI E MEDIE PONDERATE
(in ore e centesimi di ora)

21,36 (12)	12,19 (13)	7,68 (12)	4,25 (3)
21,20 (1)	12,20 (10)	7,61 (10)	4,30 (4)
21,50 (3)	12,20 (10)	7,60 (3)	4,10 (7)
21,00 (2)	12,17 (3)	7,33 (7)	4,25 (4)
21,33 (18)	12,19 (36)	7,57 (32)	4,20 (18)

PERIODI MEDI E MEDIE PONDERATE
(in ore e minuti).

h	m	h	m	h	m	h	m
21	22	12	11	7	41	4	15
21	22	12	12	7	37	4	18
21	30	12	12	7	36	4	06
21	00	12	10	7	20	4	15
21	20	12	11	7	34	4	12

Queste sono le sesse registrate nel triennio 1948-1950 nel porto di Trieste; altri tipi di oscillazioni non risultano in modo chiaro o apprezzabile.

La sessa di 21,33 ore dovrebbe corrispondere ad un'oscillazione del mare con nodo nello Stretto di Otranto o prossimo a questo; quella di 12,19 ore corrisponderebbe invece all'oscillazione con nodo verso il centro del bacino. Il periodo della sessa di 7,57 ore è circa di un terzo di quello dell'oscillazione fondamentale; potrebbe corrispondere ad una sessa binodale. Più complesso è invece il caso della sessa di 4,20 ore, in quanto che varie sono le ipotesi che si possono

fare su di essa: potrebbe essere una sessa trasversale, una oscillazione armonica di una delle due sesse principali.

Analisi di sesse adriatiche, simili a questa, ma eseguite in altri porti dell'Adriatico, sia nello Stretto d'Otranto che nella parte centrale, contribuirebbero certamente alla soluzione completa della conoscenza delle sesse effettive di questo mare.

Trieste, 2 novembre 1957

RIASSUNTO

Dai mareogrammi di Trieste si determina la curva-differenza tra la marea osservata e la marea calcolata. Questa curva è composta essenzialmente dalle sesse dell'Adriatico. Ad essa si applica l'analisi periodale del Vercelli. Risultano chiaramente selezionate le seguenti sesse: ore 21,33; ore 12,19; ore 7,57; ore 4,20.

ABSTRACT

From mareograms of Trieste, it may be determined the differential curve between the observed and the reckoned tide. Said curve is composed essentially of the seiches of the Adriatic sea. The Vercelli's periodical analysis may be indeed applied thereto. The following seiches have been selected clearly: 21.33 h. P. M., 12.19 hours, 7.57 h. A. M., 4.20 h. A. M.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) CALOI, P., *Sesse dell'alto Adriatico con particolare riguardo al Golfo di Trieste*. Comit. Talassogr. Ital., Memoria CXXLVII, Venezia, 1938.
- (²) DEFANT, A., *Über die Periodendauer der Eigenschwingungen des Adriatischen Meeres*. «Annalen der Hydrogr. und Marit. Meteor.», XXXIX, (März, 1911).
- (³) — W. v. KESSLITZ, *Die Gezeiten im Adriatischen Meere*. «Annalen der Hydrogr. und Marit. Meteor.», (April, 1914).
- (⁴) — *Neue Methode zur Ermittlung der Eigenschwingungen (Seiches) von abgeschlossenen Wassermassen (Seen, Buchten, usw)*. «Annalen der Hydrogr. und Marit. Meteor.», (Februar, 1918).

- (⁶) KESSLITZ, W., *Das Gezeitenphanomen im Hafen von Pola*. « Mitteil. aus dem Gebiete des Seewesens », Band 38, H. V-VI, Pola, 1910.
- (⁶) — *Das Gezeitenphanomen im Hafen von Ragusa*, « Mitteil. aus dem Gebiete des Seewesens », Pola, 1912.
- (⁷) — *Die Gezeitenerscheinungen in der Adria, I. Teil, die Beobachtungsergebnisse der Flutstationen*. « Denkschr. d. Akad. d. Wiss. in Wien », Bd. 96, Wien, 1919.
- (⁸) STERNECK, R., *Die Gezeitenerscheinungen in der Adria, 2. Teil*. « Denkschr. d. Akad. d. Wiss », Wien, 1919.
- (⁹) VERCELLI, F., *Sulla previsione dei termini di correzione nelle maree*, « Riv. Marittima » Febbraio, Roma, 1922.
- (¹⁰) — *Ciò che sappiamo delle maree dell'Adriatico*, « La Ricerca Scientifica », III, 9-10, Roma, 1932.
- (¹¹) — *Metodi pratici per l'analisi delle curve oscillanti*. « La Ricerca Scientifica », V, 7, (1934).
- (¹²) — *Schemi di calcolo per l'analisi dei diagrammi oscillanti*. « La Ricerca Scientifica » Serie II, VIII, II, 11-12, Roma, 1938.
- (¹³) — *Analizzatore meccanico delle curve oscillanti*. « Pontif. Accad. delle Scienze », Comm. III, 19, (1939).
- (¹⁴) — *Guida per l'analisi delle periodicità nei diagrammi oscillanti*. « Comit. Talassogr. Ital. », Mem. 285, Venezia, 1940.