

VARIAZIONI DELLE COSTANTI ARMONICHE DELLE MAREE COL LIVELLO DEL MARE

SILVIO POLLI

Premesse. — L'oscillazione della marea può essere considerata quale somma di oscillazioni elementari sinusoidali. Le più importanti di queste sono la componente lunare semidiurna principale M2, la solare semidiurna principale S2, la lunisolare declinazionale diurna K1, la lunare diurna principale O1, la solare diurna principale P1 e la lunare semidiurna ellittica maggiore N2. Per caratterizzare la marea in un dato posto si determinano le *costanti armoniche* delle maree componenti. Esse sono i valori delle *semiampiezze* H (in cm) delle singole onde componenti e le corrispondenti *situazioni vere o assolute* γ (in gradi), che rappresentano il ritardo dell'alta marea rispetto al passaggio al meridiano di Greenwich dell'astro che produce quella marea. Invece della situazione vera γ si usa, per maggior comodità, la *situazione adattata* g , cioè riferita al meridiano sul quale è regolata l'ora locale.

La marea si sviluppa in ciascun mare e in ogni suo punto con caratteri diversi che dipendono dalla forma del bacino che lo contiene. I valori delle costanti armoniche delle costituenti la marea mentre risultano diversi da luogo a luogo si mantengono, per uno stesso posto, costanti col tempo. Vi è una stretta ma complessa dipendenza tra il valore delle costanti armoniche delle maree in un punto del bacino e la forma dello stesso. Una variazione anche minima di questo si riflette immediatamente sui valori di quelle. Inversamente, una variazione delle costanti armoniche denota un'alterazione nello spazio acqueo influente su quel punto. Tutto ciò supponendo costanti le cause astronomiche che generano le maree.

La forma spaziale di un mare varia col tempo soprattutto in quanto varia il suo livello medio. Questo può subire aumenti o abbassamenti che da un anno all'altro possono essere di qualche cm.

In questa nota si metterà in evidenza come variazioni di pochi cm nell'altezza del livello medio dei mari Adriatico, Tirreno e Ionio comportino corrispondenti variazioni nei valori delle costanti armo-

niche delle maree. La correlazione è particolarmente notevole per i valori del ritardo di fase. Ad un livello marino più alto corrisponde un maggiore ritardo di fase, aumentano cioè i valori delle situazioni. L'influenza sulle ampiezze, per la piccola variazione della massa acqua, risulta invece meno apprezzabile.

Materiale utilizzato. — Le costanti armoniche delle maree di una località si calcolano applicando l'analisi armonica alla curva di marea registrata da un mareografo. Il lavoro d'analisi è molto lungo e, dato che la variazione delle costanti è minima col tempo, viene eseguito per ciascun porto una volta sola.

Per l'Adriatico solamente Trieste dispone di più serie di analisi annue delle maree; tutte le altre stazioni hanno al massimo analisi di un anno. Per le coste italiane del Tirreno solamente Imperia, Civitavecchia, Napoli e Palermo dispongono ciascuna di più di una analisi annua. Dello Ionio è stato possibile prendere in considerazione la sola stazione di Catania. L'esame pertanto si limiterà a queste 6 stazioni. Dato però il carattere e la evidenza della relazione, questi casi risultano sufficienti a mettere in rilievo non solo il fenomeno di dipendenza ma anche il suo ordine di grandezza.

A Trieste lo strumento registratore è un mareografo Seibt-Fuess, con un rapporto di riduzione 1:10 ed uno scorrimento del foglio di 30 mm per ora. È sistemato all'estremità nord del molo Sartorio, nell'interno del porto di Trieste. Le sue coordinate geografiche sono: lat. $45^{\circ} 38' 50''.5$ N; long. $13^{\circ} 45' 30''.5$ E Greenwich. Sono state analizzate le registrazioni mareografiche degli anni completi 1905, 1911, 1921, 1931, 1941 e 1951.

A Imperia il mareografo è del tipo Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia. Ha un rapporto di riduzione 1:5 ed uno scorrimento del foglio di 15 mm per ora. È situato nell'interno del Porto Maurizio presso la Capitaneria. Le sue coordinate geografiche sono: lat. $43^{\circ} 52',7$ N; long. $08^{\circ} 01',4$ E Greenwich. Le analisi sono state dedotte dai due periodi di luglio 1951-marzo 1952 e aprile 1952-gennaio 1953.

A Civitavecchia il mareografo, del tipo come il precedente, è sistemato nell'interno del porto, nella Darsena Romana. Le sue coordinate geografiche sono: lat. $42^{\circ} 05'$ N; long. $11^{\circ} 48'$ E Greenwich. Le tre serie di costanti armoniche sono state dedotte dai periodi: giugno-dicembre 1951; gennaio-dicembre 1952; gennaio-agosto 1953.

Napoli ha il mareografo, di tipo e caratteristiche come i due precedenti, sistemato nel porto nell'interno del molo a martello. Le sue coordinate sono: lat. $40^{\circ} 50' N$; long. $14^{\circ} 16' E$ Greenwich. I due periodi considerati comprendono gli anni 1951 e 1952 completi.

A Palermo, lo stesso modello di mareografo è situato nell'interno del porto, al lato ovest del Molo Nord. Le sue coordinate sono: lat. $38^{\circ} 08',0 N$; long. $13^{\circ} 22',5 E$ Greenwich. Le tre serie di analisi armoniche comprendono i periodi febbraio-dicembre 1951; gennaio-aprile 1952 e marzo-luglio 1953.

A Catania il mareografo è di tipo settimanale, con un rapporto di riduzione 1:5 e uno scorrimento del foglio di 72 mm per 24 ore. È situato nell'interno del porto al lato ovest del molo sporgente centrale. Le sue coordinate sono: lat. $37^{\circ} 29',9 N$; long. $15^{\circ} 05',8 E$ Greenwich. I due periodi analizzati comprendono i due anni completi 1950 e 1951.

Procedimento. — Sono stati utilizzati i mareogrammi dei periodi sopra indicati in quanto essi erano gli unici regolari e attualmente disponibili presso il Centro di Studi Talassografici.

Per il calcolo delle costanti armoniche si è adottato il metodo elaborato da A. T. Doodson per successioni continue di valori orari estesi a 696 ore (29 giorni). Il calcolo separato per periodi di 29 giorni è necessario quando non si disponga di serie semestrali o annue di mareogrammi. Esso è pure conveniente per la possibilità di controllare la omogeneità e la regolarità della serie esaminata e delle corrispondenti costanti armoniche. Infatti, scostamenti forti nei valori successivi delle singole costanti indicano o errori di calcolo o irregolarità nel funzionamento dello strumento. Il tempo adottato è quello medio dell'Europa Centrale (T.M.E.C.). La situazione adottata g è riferita allo stesso meridiano.

I livelli medi marini corrispondono agli stessi intervalli delle analisi e risultano dedotti quale media di tutte le altezze orarie comprese nei periodi stessi.

I valori indicati nelle tabelle aumentano verso l'alto e sono riferiti a determinati piani locali collegati con le piastrine dei mareografi. Non è stato possibile riferirli alla rete altimetrica nazionale per mancanza dei dati di collegamento con i caposaldi della stessa.

La tab. I presenta, per le stazioni mareografiche considerate, le situazioni adattate g in gradi sessagesimali per le componenti più importanti della marea e i corrispondenti livelli medi. Per ciascun anno

indicato si è pure dato il numero dei mesi analizzati. Le altezze dei livelli medi sono misurate in cm. La tab. 2 dà invece i valori delle semiampiezze H delle stesse componenti e i relativi livelli medi.

TAB. 1. — COSTANTI ARMONICHE DELLE MAREE E LIVELLI MEDI
VALORI DELLA SITUAZIONE ADATTATA g (in gradi)

STAZIONE	Anno	Mesi	M2	S2	N2	K1	O1	PI	L. M.
Trieste	1905	12	275	283	274	70	59	70	51,7
	1911	12	275	282	271	69	60	69	50,0
	1921	12	273	281	270	68	62	68	48,0
	1931	12	276	284	280	72	63	72	57,8
	1941	12	277	286	281	70	68	70	61,4
	1951	12	278	286	275	71	62	71	64,8
Imperia	1951	9	250	268	239	198	115	198	88,9
	1952	10	251	269	244	196	120	196	90,7
Civitavecchia	1951	6	258	281	245	202	120	202	80,0
	1952	12	259	279	248	201	118	201	80,8
	1953	6	258	281	244	203	106	203	78,9
Napoli	1951	12	268	288	251	217	129	217	27,9
	1952	12	269	289	254	217	135	217	30,2
Palermo	1951	9	262	286	246	209	127	209	17,1
	1952	4	262	284	249	211	122	211	14,6
	1953	4	258	283	243	202	116	202	7,8
Catania	1951	12	87	95	95	58	52	58	33,5
	1952	12	84	90	86	58	51	58	28,6

TAB. 2. — COSTANTI ARMONICHE DELLE MAREE E LIVELLI MEDI
VALORI DELLA SEMIAMPIEZZA H (in cm)

STAZIONE	Anno	Mesi	M2	S2	N2	K1	O1	PI	L. M.
Trieste	1905	12	26,5	16,0	4,5	18,8	6,0	6,2	51,7
	1911	12	26,3	16,3	4,8	18,3	5,2	6,0	50,0
	1921	12	26,2	15,7	4,7	18,5	5,5	6,1	48,0
	1931	12	26,9	15,9	4,6	18,9	5,2	6,2	57,8
	1941	12	26,9	15,9	4,5	19,0	5,7	6,4	61,4
	1951	12	26,9	16,3	4,5	18,2	5,8	6,0	64,8
Imperia	1951	9	8,0	3,2	1,6	3,6	1,6	1,2	88,9
	1952	10	8,0	3,1	1,6	3,5	1,7	1,2	90,7
Civitavecchia	1951	6	10,9	4,2	2,4	2,6	1,4	0,9	80,0
	1952	12	11,0	4,2	2,4	2,8	1,3	0,9	80,8
	1953	6	10,8	4,0	2,3	2,9	1,1	1,0	78,9
Napoli	1951	12	11,1	4,3	2,1	2,7	1,0	0,9	27,9
	1952	12	11,1	4,4	2,3	2,8	0,9	1,0	30,2
Palermo	1951	9	11,2	4,1	1,9	3,1	1,1	1,0	17,1
	1952	4	11,2	4,3	2,3	3,6	1,1	1,2	14,6
	1953	4	11,2	4,4	2,2	2,8	1,2	0,9	7,8
Catania	1951	12	6,6	3,4	1,1	1,8	1,2	0,6	33,5
	1952	12	6,4	3,5	1,2	1,8	1,2	0,6	28,6

Discussione e risultati. — Le tabelle 1 e 2 permettono un confronto immediato fra i valori delle costanti armoniche delle maree e quelli dei corrispondenti livelli medi. Ad un aumento di livello corrisponde un aumento delle costanti armoniche. Particolarmente evidente è la correlazione tra livelli medi e ritardi di fase. La dipendenza risulta più marcata per le componenti più ampie, come per la lunare semi-diurna principale M2, la solare semidiurna principale S2 e la lunisolare declinazionale diurna K1. La relazione appare più incerta per le altre costituenti, ma ciò è giustificato dall'esiguità delle loro ampiezze.

Per determinare anche quantitativamente la dipendenza fra le due grandezze, livello medio e ritardo di fase, sono stati calcolati i rapporti $\Delta g/\Delta L$ fra la variazione della situazione g e la corrispondente variazione del livello medio L . E ciò per ogni componente e per ogni località. I valori di questi rapporti figurano nella tab. 3. Essi danno pertanto l'aumento (diminuzione) in gradi della situazione g per l'aumento (diminuzione) del livello medio di 1 cm.

Tab. 3. — VALORI DI $\Delta g/\Delta L$
AUMENTO. IN GRADI, DELLA SITUAZIONE g
PER L'AUMENTO DEL LIVELLO MEDIO DI 1 cm

STAZIONE	M2	S2	N2	K1	O1	P1
Trieste	0,3	0,3	0,4	0,3	0,1	0,3
Imperia	0,6	0,6	2,8	1,1	2,8	1,1
Civitavecchia	0,6	-1,2	2,3	-1,1	5,5	-1,1
Napoli	0,4	0,4	1,3	0,0	2,6	0,0
Palermo	0,3	0,4	0,0	0,4	1,3	0,4
Catania	0,6	1,0	1,8	0,0	0,2	0,0

Per Trieste la variazione della situazione è in media di 0,3 per 1 cm di dislivello. I valori dei rapporti corrispondenti alle varie componenti sono in buon accordo fra loro, e ciò dipende dal fatto che sono stati dedotti dal confronto di sei annate. Per il Tirreno i rapporti figurano leggermente più grandi. A Catania si hanno i valori più alti, raggiungono quasi l'unità, cioè ad 1 cm di dislivello corrisponde 1° di variazione della situazione. Per questi ultimi porti le irregolarità sono più notevoli, ma ciò è dovuto alla incompletezza ed alla insufficienza delle serie mareografiche disponibili, oltre che alle ampiezze più piccole delle maree.

Tab. 4. — VALORI DI $\Delta H / \Delta L$
 AUMENTO IN cm, DELL'AMPIEZZA H
 PER L'AUMENTO DEL LIVELLO MEDIO DI 1 cm

STAZIONE	M2	S2	N2	K1	O1	P1
Trieste	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Imperia	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,1	0,0
Civitavecchia	0,1	0,1	0,1	-0,2	0,2	0,0
Napoli	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
Palermo	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
Catania	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Presentiamo pure nella tab. 4 i valori dei rapporti $\Delta H / \Delta L$ fra la variazione dell'ampiezza H dell'onda componente e la corrispondente variazione del dislivello. Essi indicano l'aumento in cm dell'ampiezza della componente esaminata per 1 cm di aumento del livello medio. Data l'esiguità delle variazioni considerate i numeri stessi hanno valore solamente informativo. In ogni caso, per la componente predominante, risulta che ad un dislivello del mare di 1 cm corrisponde un aumento dell'ampiezza dell'onda di marea M2 di 1 mm.

Trieste — Istituto Talassografico — Maggio 1954.

RIASSUNTO

È messo in evidenza la variazione delle costanti armoniche delle maree di sei stazioni dell'Adriatico, Tirreno e Ionio in dipendenza della contemporanea variazione del medio livello marino. Aumenti o diminuzioni del livello medio di 1 cm producono aumenti o diminuzioni di quasi 1° nell'angolo della situazione (ritardo di fase) e di circa 1 mm nell'ampiezza (H) delle componenti principali della marea.

SUMMARY

The variation of the harmonic constants of the tides of six stations of the Adriatic, the Tyrrhenian, and the Ionian seas versus the dependence of the contemporary variations of the mean marine level.

Increases and decreases of almost 1° in the place angle (phase retard) and of about 1 mm in the amplitude (II) of the principal components of the tide have been found.

BIBLIOGRAFIA

- DOODSON A. T., WARRBURG H. D., *The Admiralty Tides Tables. Part. III, Instruc. and Tables.* Hydrogr. Departm. London 1936.
- POLLI S., *Oscillazione annua del Mare Mediterraneo.* Arch. di Oceanogr. e Limnol. vol. I, 1, Mem. 288 Comit. Talass. It., 1941.
- , *Il graduale aumento del livello del mare a Venezia, Trieste e Pola.* Geofisica pura e applicata, IX, 1-2, 1946, Milano.
- , *Analisi periodale delle serie dei livelli marini di Trieste e Venezia.* Geofisica pura e applicata, X (1947), 1-2, 29-40, 1 tab., 2 figg.
- , *Il graduale aumento del livello del mare lungo le coste italiane.* Geofisica pura e applicata, vol. 25, 123-139, 3 tab., Milano, 1953.
- , *L'attuale aumento del livello del mare lungo le coste del Mediterraneo.* Geofisica e Meteorologia, vol. 2, 1954, n. 1-2, 13-16, 1 fig., 2 tab.