

PROPAGAZIONE DELLA MAREA NELLA LAGUNA DI VENEZIA

SILVIO POLLI

1. *Premesse.* — La laguna di Venezia si estende lungo una fascia costiera leggermente arcuata per una lunghezza di 50 km e con una larghezza media di circa 12 km. Verso il mare è limitata da un cordone litoraneo nel quale si aprono tre bocche o porti-canale. Mediante questi la laguna comunica con il mare. Esternamente al cordone litoraneo, nel mare aperto, l'onda di marea si propaga da NNE a SSW senza notevoli ritardi, in modo che essa si presenta alle tre bocche quasi contemporaneamente. All'imbocco del porto canale di Chioggia vi arriva 4 minuti dopo il transito davanti a quello del Lido.

Attraverso i tre porti-canale la marea si espande nella laguna diramandosi lungo i numerosi canali. Questi sono in parte sempre sommersi e in parte coperti dall'acqua solo durante le alte maree. Le sezioni dei canali decrescono allontanandosi dalle bocche. Il canale-porto di Lido è largo 800 m ed ha una profondità media di 8 m, quello di Malamocco ha una larghezza di 420 m e fondali medi di 12 m e quello di Chioggia è largo 500 m e profondo in media 7. Alle loro estremità, ai margini della laguna, le sezioni dei canali arrivano a qualche m² e anche meno. La lunghezza di alcuni di questi canali supera i 20 km. Essi determinano allora forti ritardi di fase e notevoli riduzioni di ampiezze.

La propagazione della marea avviene essenzialmente lungo i canali, i vasti e bassi fondali della laguna viva e morta smorzano rapidamente il moto di propagazione. Durante il flusso l'acqua dilaga dai canali nelle zone lagunari, elevandone il livello, in epoca di sizigie, dai 40 agli 80 cm. Estese zone che rimangono scoperte durante le basse maree vengono allora sommerse. La forma del bacino varia notevolmente e periodicamente.

Durante il riflusso l'acqua affluita si ritira nei canali, e, lungo questi, al mare. La propagazione della marea nella laguna risulta dunque un fenomeno complesso. I fattori principali che lo determinano sono: la lunghezza, la sezione, la tortuosità, la natura del fondo e

l'intreccio dei canali. Il fatto che molto spesso il canale, pur avendo un letto proprio, manca di sponde solide (in quanto scorre nelle acque lagunari) complica maggiormente la ricerca.

Elementi fondamentali per la conoscenza e per ogni studio delle maree, sia di una regione marina che lagunare, sono le *costanti armoniche* delle maree determinate per un numero sufficientemente grande di siti. Perciò, prima di passare a sviluppi dimostrativi, relativi al comportamento delle maree, occorre eseguire il calcolo delle costanti armoniche. Queste sono state da noi calcolate per 12 località della laguna. Esse, assieme a quelle di altre 6 stazioni precedentemente determinate da altri autori, costituiscono un complesso di analisi corrispondenti a 18 località lagunari. Questi dati, se anche possono essere pochi per uno studio esauriente e dettagliato del fenomeno, danno già una visione generale delle condizioni mareografiche lagunari. Per i siti esaminati le maree risultano invece precisate in ogni particolare.

In questo lavoro si presentano: tutte le costanti armoniche e non armoniche sinora determinate per la laguna; le linee di uguale media altezza delle alte maree sizigiali tracciate di 5 in 5 cm; le linee di uguale stabilimento del porto di 30 in 30 minuti; le linee di uguale situazione locale della componente semidiurna principale M_2 di 10 in 10 gradi.

Il calcolo delle costanti armoniche per 12 località ha richiesto notevole impiego di lavoro e di tempo. Esso è stato eseguito presso l'Istituto Talassografico di Trieste e ultimamente presso la Sezione Mareografica del Centro Studi Talassografici del C.N.R. Quest'ultimo ha contribuito notevolmente alla ricerca col mettere a disposizione sia un calcolatore che due macchine calcolatrici. Si ringrazia il Direttore dell'Istituto e del Centro Studi, prof. F. Vercelli, che agevolò in tutti i modi queste ricerche.

2. — *Le Stazioni mareografiche.* — L'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia cura la sistemazione e la manutenzione di tutti i mareografi della laguna. Per le principali stazioni esso elabora i dati delle alte e delle basse maree e li pubblica nel « Bollettino Mensile » e negli « Annali Idrologici ». I mareogrammi sono poi conservati nell'archivio dell'Ufficio. Per i nostri calcoli sono stati messi a disposizione i diagrammi originali e di ciò siamo grati al Direttore ing. L. Vollo. Lo stesso Ufficio ha provveduto al collegamento delle

piastrine dei mareografi con i capisaldi della rete altimetrica dello Stato.

Nella zona lagunare hanno funzionato successivamente oltre una cinquantina di mareografi. Alcuni per necessità di carattere generale, altri per ricerche particolari occorrenti al Magistrato alle Acque. Dei principali di essi, e precisamente per 18 stazioni, sono state determinate le costanti armoniche e non armoniche delle maree. È in corso il calcolo per un altro gruppo di stazioni interne.

Nella tabella I sono elencate le stazioni considerate in questo lavoro, ordinate secondo la latitudine decrescente. Le loro coordinate geografiche sono state determinate dalle carte alle scale 1:25000 e 1:100000 dell'Istituto Geografico Militare, secondo le indicazioni sulle posizioni delle stazioni avute dall'Ufficio Idrografico. Le longitudini sono riferite al meridiano di Greenwich, per averle rispetto a quello di M. Mario (Roma) basta togliere da esse l'angolo di $12^{\circ} 27' 08''$, valore da noi usato nella trasformazione. Nella colonna « N. mesi » è indicato il periodo di registrazione analizzato nel calcolo delle costanti armoniche. La colonna successiva dà il corrispondente anno. I due casi degli anni 1923-24 si riferiscono all'intervallo costituito dall'ultimo trimestre del 1923 e dal primo trimestre 1924. Quando di una determinazione di costanti armoniche esista una pubblicazione, questa si troverà indicata nella bibliografia sotto il nome dell'autore.

Nella tabella II è indicato il tipo di mareografo in funzione all'epoca della determinazione delle costanti, il suo rapporto di riduzione, lo scorrimento del foglio in mm per ora ed alcuni cenni sulla posizione dello strumento.

Nella fig. 1 le 18 stazioni mareografiche sono indicate con gli stessi numeri progressivi della tabella I. Sono state marcate le arterie principali lungo le quali la marea si propaga dalle bocche alle singole stazioni.

Il mareografo di Porto Piave Vecchia è situato fuori della laguna, sulla sponda destra della Piave Vecchia, poco a valle del ponte, circa a 1,5 km dalla foce. Non è in comunicazione con la laguna, risente pertanto solamente della marea che si propaga attraverso la foce. La vicina stazione mareografica di Cavallino è situata invece nella laguna. L'onda di marea vi perviene attraverso il Canale-Porto di Lido, percorrendo i canali Tre Porti e di Pordelio, dopo 16 km di percorso lagunare. Non è in libera comunicazione con la Piave Vecchia, ma un sistema di due porte automatiche permette che una parte dell'acqua

lagunare si scarichi nel fiume. Ciò però non altera in modo apprezzabile il regime mareografico delle due stazioni.

I porti-canali di Lido, Malamocco e di Chioggia hanno ciascuno

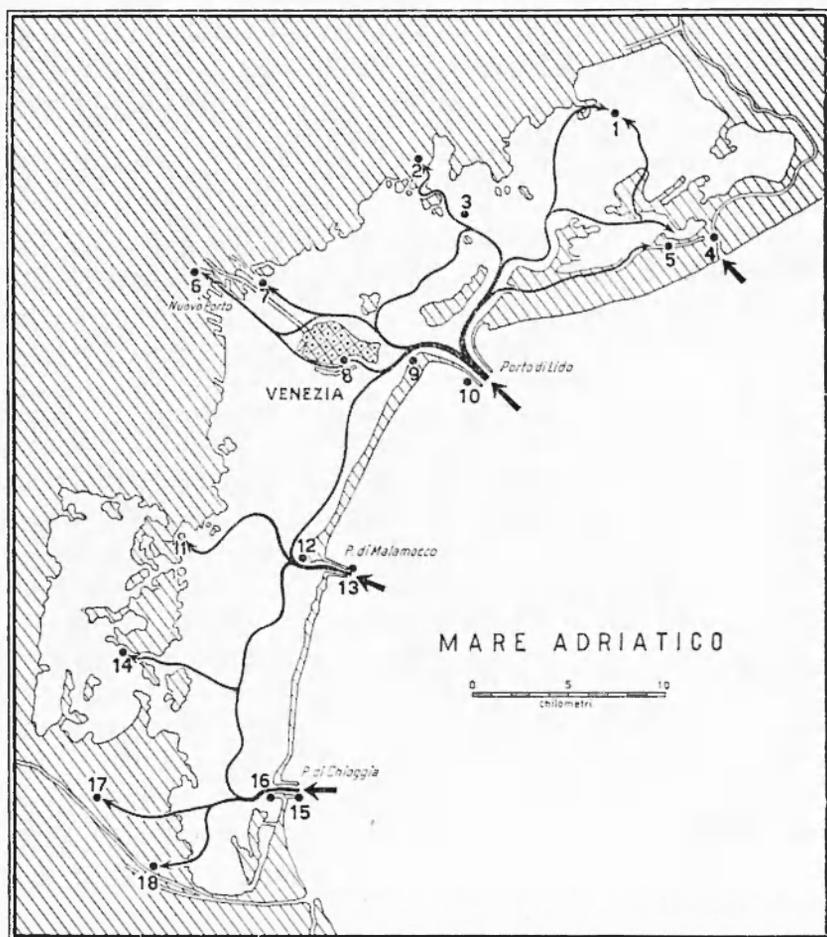


Fig. 1 - Arterie principali di propagazione della marea dalle bocche alle stazioni mareografiche

due mareografi, uno sulla diga della bocca esterna, nel mare libero, e l'altro alla bocca interna, nella laguna. Questa disposizione è necessaria perché, come si vedrà più avanti, la marea, nell'attraversamento dei porti-canale, subisce una riduzione di ampiezza e un notevole ritardo nella propagazione.

I percorsi, per le stazioni più interne, si aggirano sui 15-20 km.

TABELLA I

Stazioni mareografiche della laguna di Venezia per le quali sono state determinate le costanti armoniche.

N°	Località	Latitud. Nord	Longit. E. Greenw.	N° mesi	Anno	Autore
1	Valle Doga	45°32'41"	12°30'53"	3	1940	S. Polli
2	Paliaga	31 40	23 22	3	1939	S. Polli
3	Torcello	29 40	25 18	3	1939	S. Polli
4	P. Piave Vecchia	29 23	34 43	3	1939	S. Polli
5	Cavallino	29 07	32 58	6	1939	S. Polli
6	Porto Marghera II	28 22	14 21	12	1940	S. Polli
7	S. Giuliano	27 56	17 00	6	1912	Comm. Mareogr.
8	Punta Salute	25 50	20 10	6	1918	Comm. Mareogr.
9	S. Nicolò Lido	25 50	22 58	6	1914	F. Vercelli
9'	S. Nicolò Lido	25 50	22 58	6	1923/24	G. Crestani
10	Diga Sud Lido	25 05	25 33	6	1923	F. Vercelli
10'	Diga Sud Lido	25 05	25 33	6	1923/24	G. Crestani
11	Torson di Sotto	20 55	13 44	3	1938	S. Polli
12	Faro Rocchetta	20 20	18 33	3	1939	S. Polli
13	Malanocco Diga N.	20 03	20 31	12	1912	Comm. Mareogr.
14	Millecampi	17 47	11 18	4	1938	S. Polli
15	Chioggia Diga S.	13 50	18 38	3	1937	S. Polli
16	Chioggia S. Felice	13 41	17 13	6	1918	Comm. Mareogr.
17	Conche	13 38	09 36	12	1934	S. Polli
18	Botte Trezze	11 48	12 12	12	1940	S. Polli

Vi sono 20 km per la stazione di Valle Dogà, 18 km per le stazioni di Porto Marghera II e Millecampi, 16 km per Cavallino e per Paliaga, 15 km per S. Giuliano. Percorsi un po' minori si hanno per le altre stazioni: Torcello e Torson di Sotto 12 km, Conche 11 km, Botte Trezze 10 km e Punta Salute 9 km.

Nelle stazioni principali furono sistemati i mareografi del tipo « M 450 ». Hanno un rapporto di riduzione 1:5 ed uno scorrimento del diagramma di 15 mm per ora. Essi consentono buone letture sia per le altezze di marea che per i tempi. Sono in funzione nelle stazioni di Cavallino, Porto Marghera II, Punta Salute, S. Nicolò Lido, Diga Sud Lido e Faro Rocchetta.

Nelle stazioni di minore importanza sono stati sistemati i mareografi settimanali del tipo « Richard », con un rapporto di riduzione 1:10 ed uno scorrimento del foglio di 2 mm per ora. Si prestano meno bene alle letture orarie per la minore precisione che si può avere nella determinazione del tempo. Essi sono in funzione o funzionavano nelle stazioni di Valle Dogà, Paliaga, Porto di Piave Vecchia, Torson di Sotto, Millecampi, Conche e Botte Trezze. A Chioggia Diga Sud vi è un mareografo del tipo « G 44 », con rapporto di riduzione 1:10 e uno scorrimento di 3 mm per ora. A Torcello è sistemato un mareografo « Richard » avente un rapporto di riduzione di 1:20 ed un movimento di 2 mm per ora. Le registrazioni di questo tipo di strumento sono appena sufficienti per una buona determinazione delle costanti armoniche delle maree. Altri dati e maggiori precisazioni sui mareografi considerati si potranno trovare nei lavori indicati nella bibliografia.

3. *Le costanti armoniche.* — Nelle tabelle III, IV e V si presentano le costanti armoniche delle maree per le 18 località considerate. Le *semiampiezze* H sono date in cm; le *situazioni adattate* g e le *situazioni vere o locali* z in gradi sessagesimali. Per il passaggio dall'una all'altra delle due situazioni si usò la relazione:

$$z = g + (p \lambda^{\circ} - n^{\circ} \Lambda^h),$$

dove: p = suffisso dell'onda, λ° = longitudine da Greenwich, n° = velocità oraria dell'onda, Λ^h = longitudine in ore del meridiano sul quale è regolato l'orologio.

4. *Esame critico delle costanti armoniche.* — Le determinazioni più antiche delle costanti armoniche riguardano le stazioni di

TABELLA II — Strumenti e situazioni dell'impianto.

N°	Località	Mareografo	Rid.	mm h	Situazione all'epoca della deduzione per il calcolo
1	Valle Dogà	Richard	1/10	2	Casone omon., 3 m dalla banchina.
2	Paliaga	Richard	1/10	2	Alla foce del fiume Dese.
3	Torcello	Richard	1/20	2	A pochi m dalla banchina.
4	P. Piave Vecchia	Richard	1/10	2	Sponda destra, a valle del ponte.
5	Cavallino	M. 450	1/5	15	Nel c. Pordelio, presso la piazza.
6	Porto Marghera II	M. 450	1/5	15	Can. ind. W, darsena terminale.
7	S. Giuliano	Norm. Lag.	1/5	15	Di fianco al pontone dei vaporini.
8	Punta Salute	Norm. Lag.	1/5	15	Nella impalcatura del traghetto.
9	S. Nicolò Lido	Norm. Lag.	1/5	15	Presso magaz. Draga Venezia.
10	Diga Sud Lido	Thomson	1/5	15	All'esterno, 350 m dall'estremità.
11	Torson di Sotto	Richard	1/10	2	Casone omon., 3 m dalla banchina.
12	Faro Rocchetta	M. 450	1/5	15	P. Alberoni, Diga N, presso faro.
13	Malamocco Diga N.	Norm. Lag.	1/5	15	Sulla estremità della diga N.
14	Millecampi	Richard	1/10	2	Casone omon., 3 m dalla banchina.
15	Chioggia Diga S.	G. 44	1/10	3	All'estremo della Diga Sud.
16	Chioggia S. Felice	Norm. Lag.	1/5	15	Ad W del forte omonimo.
17	Conche	Richard	1/10	2	Nel canale, 1500 m prima di Conche.
18	Botte Trezze	Richard	1/10	2	Nel canale presso il magaz. idraul.

Mestre S. Giuliano e Malamocco Diga Nord. Sono state determinate nel 1912 dalla Commissione Mareografica del Comitato Talassografico Italiano, sotto la direzione del prof. G. P. Magrini; per S. Giuliano

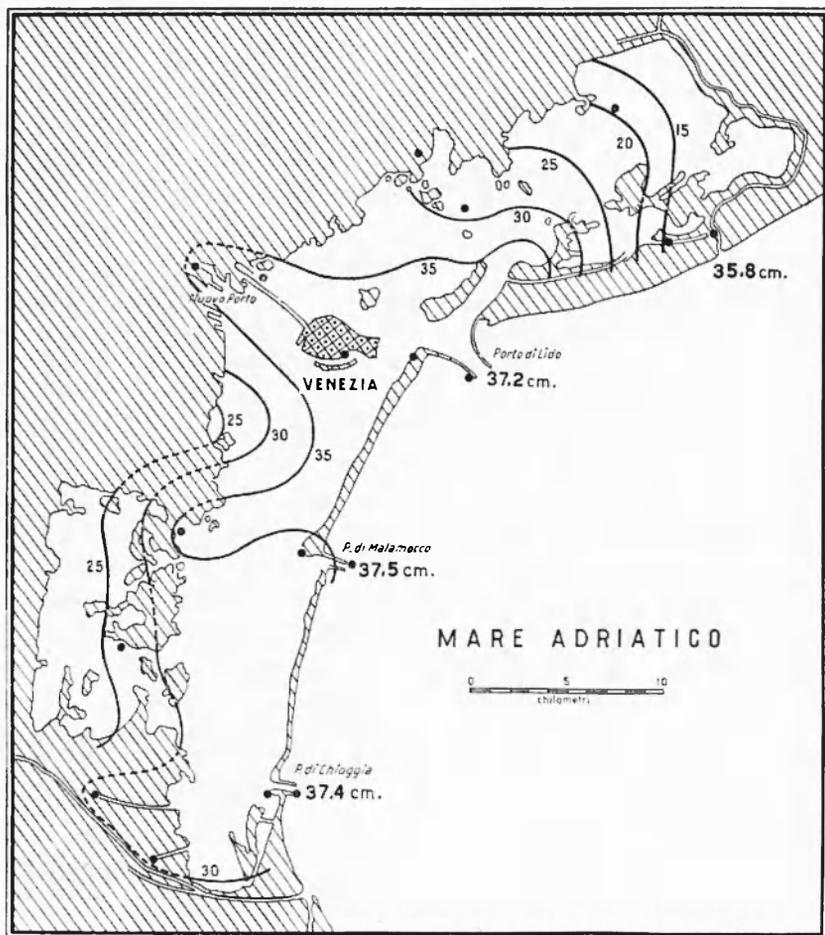


Fig. 2 - Linee di uguali medie altezze ($HM. + HS_2$) delle alte maree sizigiali.

da un periodo di 6 mesi, per Malamocco da quello di un anno. Questi intervalli sono sufficienti per una buona determinazione delle costanti. Il metodo seguito è stato quello di Thomson-Darwin.

Per S. Giuliano sono state calcolate solamente 7 delle usuali 9 componenti. I corrispondenti valori delle ampiezze e delle situazioni si inquadrano bene con quelli delle altre stazioni. Non è possibile però

precisare maggiormente il confronto perché manca una stazione sufficientemente vicina ed avente analoghe condizioni di marea. Sarebbe quindi opportuno ricalcolare le costanti armoniche deducendole da un intervallo di tempo recente. Risulterebbero così complete, omogenee con le attuali e sarebbe facile verificare le eventuali variazioni avvenute nel quarantennio.

I valori corrispondenti alla stazione di Malamocco Diga Nord presentano invece una lieve discordanza con quelli di Porto Lido e Chioggia Diga Sud. Osservando le fig. 3 e 4 e tenendo presente che la marea si propaga lungo la costa da NNE verso SSW, risulta che i valori delle situazioni dovrebbero crescere nella stessa direzione e verso. I valori di Malamocco figurano invece leggermente più alti rispetto a quelli delle due altre bocche, sia nelle situazioni che nelle ampiezze. Lo scostamento è dell'ordine di una decina di minuti di tempo per la propagazione e di pochi mm nell'ampiezza. Potrebbe darsi che la piccola discordanza sia dovuta alle differenti epoche di calcolo. Converrebbe in ogni caso eseguire una nuova determinazione delle costanti armoniche anche per questa stazione.

Per Venezia Punta Salute e Chioggia S. Felice le costanti sono state dedotte da un semestre dell'anno 1918, mediante il procedimento già indicato. Si inseriscono bene nell'insieme delle altre costanti. Converrebbe ricalcolarle da un periodo recente di 12 mesi, per precisarle meglio, per completarle e per dedurre eventuali variazioni.

Per S. Nicolò Lido e Diga Sud Lido si hanno due determinazioni semestrali per ciascuna località, calcolate dai professori F. Vercelli e G. Crestanti nel 1914 e 1923-24. Concordano bene fra di loro e con le altre della rete. Data la loro importanza converrebbe eseguire una nuova determinazione deducendola da un recente periodo di 12 mesi. E ciò sia per completare il gruppo delle 9 costanti e sia per mettere in evidenza eventuali scostamenti dei valori primitivi.

Delle costanti sinora esaminate non furono pubblicati lavori specifici sulla loro determinazione. I soli dati pubblicati sono quelli della Commissione Mareografica che si trovano nei Verbali della stessa e nei Bollettini Mensili del Comitato Talassografico Italiano. Di tutte le altre stazioni (nn. 1-6, 11, 12, 14, 15, 17, 18 della tabella I) gli elementi delle analisi sono stati pubblicati nei lavori indicati nella bibliografia.

Il metodo adottato per queste determinazioni è stato quello elaborato da A. T. Doodson per l'Ammiragliato Inglese e pubblicato nella Parte III «The Admiralty Tides Tables». Dei tre procedimenti indi-

cati si seguì quello che si applica ad una successione continua di valori orari estesa a 696 ore (29 giorni). Il calcolo separato per ciascun periodo di 29 giorni è conveniente per diversi motivi. Oltre che per

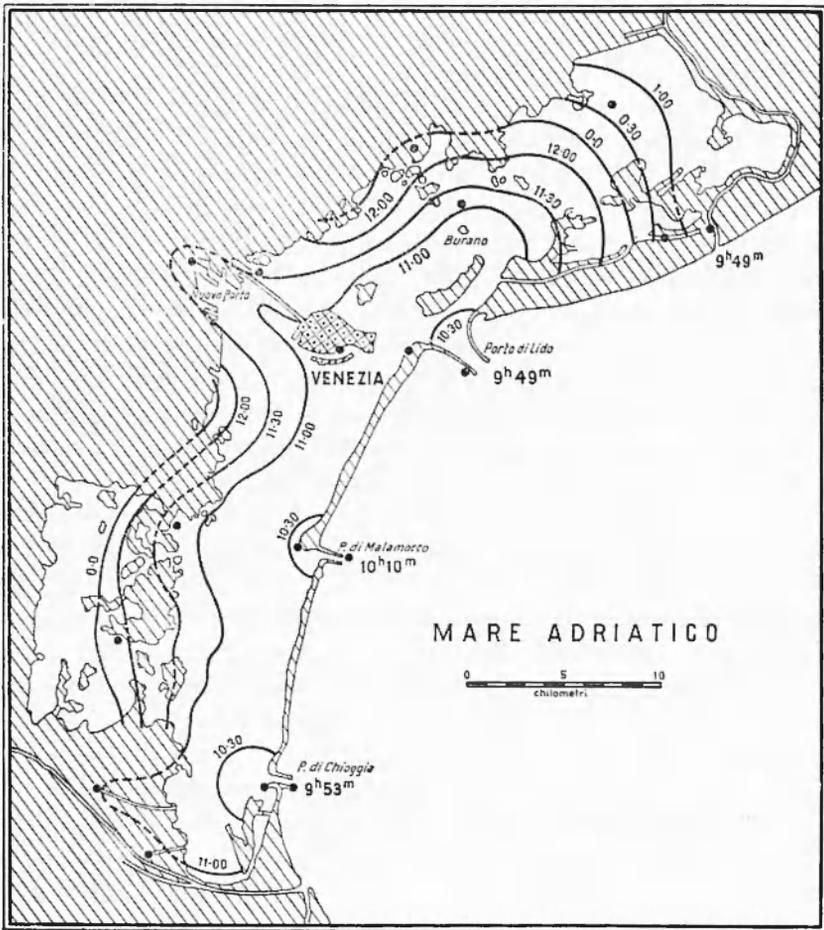


Fig. 3 - Linee di uguale stabilimento volgare del porto (HWF&C)

la praticità, sveltezza e continuità di controllo dei calcoli esso è molto utile perché permette di verificare immediatamente la regolarità e la omogeneità dei risultati della serie analizzata rispetto a quelli degli altri mesi. Infatti, scostamenti forti (per le componenti principali) fra i valori delle stesse costanti denotano errori di lettura o di calcolo oppure irregolarità nel funzionamento del mareografo.

Quali costanti armoniche del sito esaminato si considerano le

TABELLA III — Costanti armoniche delle maree. Le semiampiezze H in cm.

N°	Località	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₁	MS.
1	Valle Dogà . . .	14,3	6,6	2,5	1,8	12,7	3,5	4,2	0,5	0,8
2	Paliaga . . .	19,8	9,8	3,5	2,6	16,6	2,0	5,5	0,6	0,9
3	Torcello . . .	19,6	9,5	2,2	2,6	16,6	2,9	5,5	0,8	0,7
4	P. Piave Vecchia .	22,3	13,5	4,1	2,7	20,1	3,3	6,6	0,4	0,4
5	Cavallino . . .	10,7	5,2	2,1	1,4	12,9	2,7	4,3	0,4	0,5
6	Porto Marghera II.	24,7	14,1	4,4	3,8	18,6	5,5	6,1	0,9	1,1
7	S. Giuliano . . .	23,5	13,4	5,1	3,4	17,3	4,4	5,2	—	—
8	Punta Salute . . .	22,6	12,8	4,4	4,3	16,3	5,0	4,9	0,5	0,3
9	S. Nicolò Lido . .	21,4	12,6	2,9	3,8	16,3	5,3	5,0	—	—
9'	S. Nicolò Lido . .	21,9	12,7	2,7	3,7	15,8	5,3	4,6	—	—
10	Diga Sud Lido . .	23,4	13,8	3,8	5,3	16,0	5,2	4,3	—	—
10'	Diga Sud Lido . .	23,2	13,6	5,0	3,3	15,2	6,2	4,6	—	—
11	Torson di Sotto . .	20,8	11,9	3,4	3,2	17,0	3,0	5,6	1,0	1,0
12	Faro Rocchetta . .	21,4	12,3	3,9	3,3	17,4	5,1	5,7	1,0	1,1
13	Malamocco Diga N.	23,5	14,0	4,1	4,0	18,3	5,3	5,8	0,4	1,0
14	Millegampi . . .	16,9	9,5	3,1	2,6	16,7	4,0	5,5	0,5	0,7
15	Chioggia Diga S. .	23,3	14,1	3,7	3,7	18,2	6,0	6,0	0,3	0,3
16	Chioggia S. Felice .	22,6	12,2	2,7	4,0	16,0	4,6	9,4	—	—
17	Conche	21,2	12,2	3,1	3,3	16,0	4,4	5,3	0,7	0,9
18	Botte Trezze . . .	20,8	12,2	3,8	3,3	17,1	4,6	5,6	1,0	1,2

medie aritmetiche dei valori corrispondenti ai mesi analizzati. Per il *valore medio annuo* delle costanti si ottengono *errori medi*

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$$

che per le componenti principali sono dell'ordine del 3% per le semiampiezze H , c dell'ordine dell'1% per le situazioni g e z .

Le costanti armoniche delle stazioni ora considerate risultano in buon accordo fra loro e con quelle del gruppo precedente. Solamente i valori delle situazioni di Chioggia Diga Sud risultano leggermente inferiori a quelli di Lido Diga Sud e di Malamocco Diga Nord: contrariamente a quanto si dovrebbe avere basandosi sul verso di propagazione della marea. Ora, date le diverse epoche di deduzione, prima di cercare altre cause, bisognerebbe, come già si disse, eseguire una nuova analisi specialmente per Malamocco Diga Nord. In ogni caso, avendosi ricavate le costanti armoniche di Chioggia Diga Sud dalle registrazioni di soli tre mesi, converrebbe continuare il calcolo per altri 3 mesi; o meglio ancora, data l'importanza della stazione, analizzare un anno completo.

5. *Le costanti non armoniche.* — Dalle *costanti armoniche* presentate nelle tabelle III e V si calcolarono quelle *non armoniche* mediante le seguenti formule.

Età della marea semidiurna in giorni:

$$t_1 = \frac{zS_0 - zM_0}{24^{\circ}, 4}$$

Stabilimento medio del porto o intervallo medio delle alte maree (ingl. *mean high water interval*):

$$\text{IMAM (MHWI)} = \frac{z M_2}{29}$$

Tenendo conto della sovramarca M_4 di M_2 :

$$\text{IMAM (MHWI)} = \frac{z M_2}{29} \mp \frac{1}{29} \operatorname{arctg} \frac{2 H M_4 \operatorname{sen} (2z M_0 - z M_4)}{H \nu_0}$$

dove il segno — vale per le alte maree e quello + per le basse.

TABELLA IV — Costanti armoniche delle maree. Le situazioni adattate g^o. (Tempo medio Europa Centrale).

N ^o	Località	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₁	MS ₁
1	Valle Dogà . . .	20	38	23	38	132	131	123	207	285
2	Paliaga	352	9	355	9	108	109	108	218	270
3	Torcello	325	336	347	336	95	81	95	47	43
4	P. Piave Vecchia .	286	294	291	294	75	65	75	229	268
5	Cavallino	19	31	23	31	137	140	137	157	208
6	Porto Marghera II .	324	336	322	336	97	87	97	122	142
7	S. Giuliano	336	345	325	351	96	91	103	—	—
8	Punta Salute	316	334	316	316	89	79	107	90	121
9	S. Nicolò Lido . . .	314	317	300	338	95	71	72	—	—
9'	S. Nicolò Lido . . .	314	316	297	332	90	75	75	—	—
10	Diga Sud Lido	288	293	299	281	79	70	56	—	—
10'	Diga Sud Lido	289	294	291	278	78	72	75	—	—
11	Torson di Sotto . . .	322	337	325	337	96	85	96	112	143
12	Faro Rocchetta . . .	304	313	298	313	78	62	78	325	323
13	Malamocco Diga N.	296	305	295	299	82	65	70	340	304
14	Millecampi	359	12	341	12	123	127	123	184	168
15	Chioggia Diga S. . .	287	295	274	295	74	70	74	258	254
16	Chioggia S. Felice .	303	314	313	311	88	73	62	—	—
17	Conche	321	332	335	332	96	84	96	101	117
18	Botte Trezze	324	337	323	337	99	91	99	76	92

Stabilimento volgare del porto o intervallo sizigiale della alta marea (ingl. *high water full and change*):

$$\text{ISAM (HWF\&C)} = \frac{\alpha M_2}{29} - \frac{1}{30} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{sen}(\alpha M_2 - \alpha S_2)}{\frac{HM_2}{HS_2} + \cos(\alpha M_2 - \alpha S_2)}$$

Media altezza delle alte maree sizigiali, MAMS (ingl. *mean high water spring*, MHWS), contata dal livello medio = $HM_2 + HS_2$.

Media altezza delle alte maree alle quadrature, MAMQ (ingl. *mean high water neap*, MHWN), contata dal livello medio = $HM_2 - HS_2$.

6. *Le linee di uguale ampiezza.* — Le linee della fig. 2 congiungono i punti della laguna nei quali le *medie altezze delle alte maree sizigiali* MAMS (ingl. *mean high water spring*, MAWS) assumono lo stesso valore. Congiungono cioè i punti nei quali la somma delle semiampiezze delle due componenti principali semidiurne, lunare e solare, ($HM_2 + HS_2$ della tabella VI), assumono lo stesso valore. Sono tracciate di 5 in 5 cm.

Le MAMS sono massime alle tre bocche ove si presentano con valori praticamente uguali. Esse diminuiscono molto lentamente nelle regioni interne centrali, alimentate da numerosi e vasti canali. In tutta la zona della città di Venezia e sino al Porto di Marghera, le semiampiezze decrescono verso l'interno dai 36 cm del Porto-Canale interno ai 35 cm circa della zona marginale, dunque di un paio di cm per l'ampiezza complessiva sizigiale.

Notevole è il fatto che la MAMS assume, rispetto a tutte le 18 stazioni considerate, il massimo valore di 38,7 cm, alla stazione di Porto Marghera II, cioè nella darsena terminale del canale industriale ovest che si addentra nella zona degli stabilimenti sino a 1 km a sud di Mestre. Il grosso canale con fondali quasi costanti, lungo 18,5 km, che dall'imbocco del Porto di Lido porta a questo sito, invece di smorzare la marea ne esalta leggermente l'effetto.

In tutti gli altri casi i canali diminuiscono rapidamente di larghezza e soprattutto di profondità. Prevale allora l'effetto dell'attrito e l'ampiezza della marea decresce rapidamente mentre aumenta lo sfasamento. Massimi smorzamenti e ritardi si hanno nell'estremo NE della laguna. Fra le località considerate la massima riduzione di ampiezza si registra a Cavallino. Dai 37,2 cm corrispondenti a Porto Lido si arriva al minimo di 15,9 cm. La lunghezza dei canali che congiungono i due siti è di 16 km, inferiore alle corrispondenti distanze di

altre stazioni (per es. Lido-P. Marghera, la cui distanza lungo i canali è di 18,5 km). Si ha però che la profondità del Canale Pordelio, che conduce a Cavallino, è molto piccola, poco più di 2 m; mentre

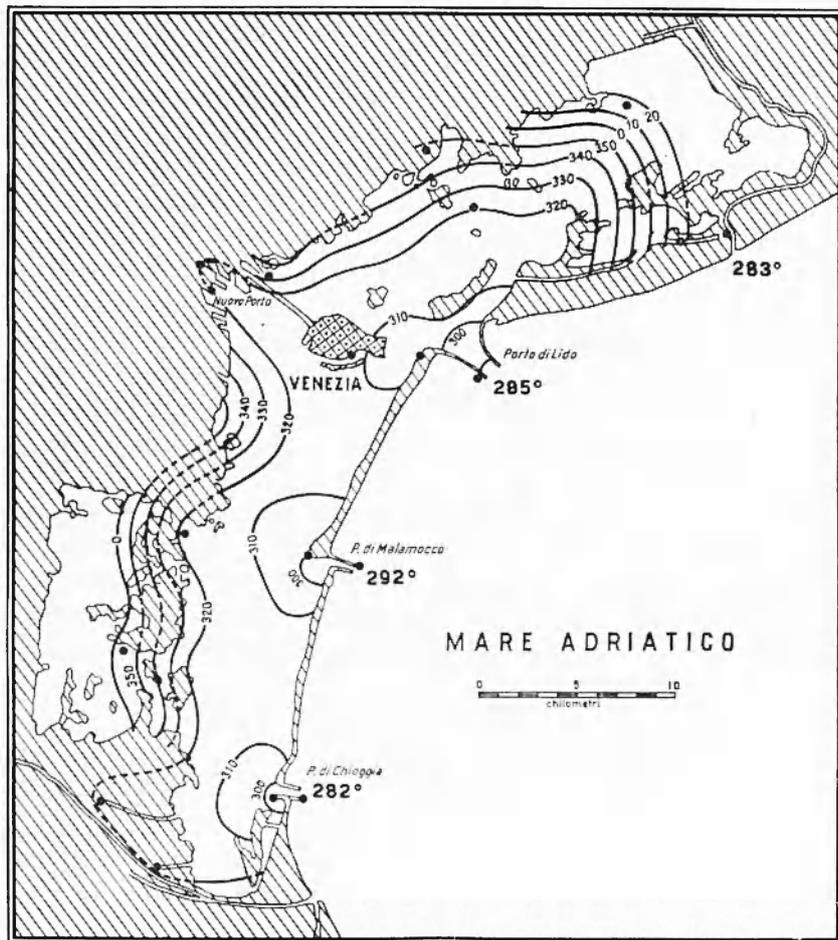


Fig. 4 - Linee di uguale situazione locale della componente lunare semidiurna principale M_2

a Porto Marghera le profondità dei canali sono di 9 m. Nelle zone marginali, come nelle valli di Ingrassahò e di Dragajesolo si dovrebbero avere valori di MAMS sui 10 cm e anche minori.

Si osservi ancora il notevole decremento che subisce l'ampiezza della marea nella propagazione attraverso i tre porti canali di Lido, Malamocco e Chioggia. Sono lunghi, tra i due mareografi, km 3,5;

TABELLA V — Costanti armoniche delle maree. Le situazioni vere o locali α° . (Tempo medio locale).

N°	Località	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₁	MS ₁
1	Valle Dogà . . .	16	33	20	33	130	130	130	199	276
2	Paliaga	348	4	352	4	105	108	105	213	261
3	Torcello	321	331	343	331	92	79	93	38	33
4	P. Piave Vecchia .	283	289	288	289	72	64	72	221	260
5	Cavallino	15	26	20	26	134	139	136	149	200
6	Porto Marghera II .	320	331	318	331	94	85	94	113	132
7	S. Giuliano	331	340	320	346	93	89	100	—	—
8	Punta Salute . . .	311	326	311	311	86	77	104	110	—
9	S. Nicolò Lido . . .	309	312	295	333	92	68	69	—	—
9'	S. Nicolò Lido . . .	309	311	294	327	87	73	72	—	—
10	Diga Sud Lido . . .	283	288	294	276	76	67	53	—	—
10'	Diga Sud Lido . . .	285	289	288	273	75	70	72	—	—
11	Torson di Sotto . .	318	332	321	332	94	83	94	103	133
12	Faro Rocchetta . . .	300	308	294	308	76	61	76	316	314
13	Malamocco Diga N.	292	300	292	294	79	63	67	331	294
14	Millecampi	354	6	337	6	120	125	120	175	158
15	Chioggia Diga S. . .	282	290	270	290	72	68	72	249	245
16	Chioggia S. Felice .	298	309	308	306	85	71	59	—	—
17	Conche	316	326	331	326	93	82	93	92	107
18	Botte Trezze	319	331	319	330	96	89	96	67	82

2,5 e 2,0. Le corrispondenti diminuzioni dei valori di MAMS risultano di 2,6; 3,8 e 2,6 cm.

7. *Le linee di uguale stabilimento.* — Le linee della fig. 3 congiungono i punti nei quali lo *stabilimento volgare del porto* o *intervallo sizigiale dell'alta marea ISAM* (ingl. *high water full and change, HWF&C*) assume lo stesso valore (tabella VI). Sono tracciate di 30 in 30 minuti. Gli stabilimenti minimi si hanno alle tre bocche. Il passaggio attraverso queste produce ritardi che per i tre porti-canali di Lido, Malamocco e Chioggia risultano di 52, 19 e 32 minuti. Valori forti, data la brevità del percorso, ma giustificati dalla grande massa acqua che deve passare per essi, alternativamente, nell'intervallo di poche ore.

Il valore dello stabilimento aumenta gradualmente dall'interno delle bocche verso i margini lagunari. Nella zona centrale assume valori crescenti fra gli stabilimenti 10,30 e 11,00. Venezia e le isole principali sono comprese tra queste due linee. Oltre la regione centrale, dove non arrivano più le grosse arterie, i valori dell'ISAM aumentano rapidamente, assumendo, nelle valli marginali, valori di 3-4 ore maggiori di quelli che si hanno alle bocche. Nell'estremo NE, cioè nelle valli di Ingrassabò e Dragajesolo, il ritardo nella propagazione dovrebbe essere di 5 ore rispetto alle bocche e di 4 ore rispetto alla laguna centrale. Questi sono valori estrapolati dato che in quelle zone non vi sono stazioni mareografiche. Per le 18 località esaminate il massimo stabilimento corrisponde a Valle Dogà, con un ritardo rispetto a Venezia (Punta Salute) di 2^h 37^m e rispetto alla stazione di Lido Diga Sud di 3^h 42^m.

8. *Linee di uguale situazione locale.* — Le linee della fig. 4 congiungono i punti nei quali la *situazione vera o locale* della componente *lunare semidiurna principale M₂* assume lo stesso valore. Sono state ottenute partendo dai valori della colonna di M₂ della tabella V. Sono tracciate di 10° in 10°. Hanno andamento simile alle linee di uguale stabilimento di porto segnate nella fig. 3. Valgono pure per esse le stesse considerazioni. Curve analoghe si possono tracciare, con i dati della tabella. V, per le altre costituenti della marea.

Per la laguna assumono particolare interesse, specialmente da un punto di vista teorico, le linee corrispondenti alle componenti di *acqua bassa*: la *sovramarea lunare quartodiurna M₄* e l'*onda composta MS₄*. I relativi valori, essendo molto piccoli, non sono stati sempre calcolati

TABELLA VI

Costanti non armoniche delle stazioni della laguna di Venezia.

N°	Località	ISAM (MHWF&C)	HM ₂ +HS ₂ (MHWS)	HM ₂ -HS ₂ (MHWN)
1	Valle Dogà	0 ^b 43 ^m	20,9 cm	7,7 cm
2	Paliaga	12 10	29,6	10,0
3	Torcello	11 01	29,1	10,1
4	P. Piave Vecchia	9 49	35,8	8,8
5	Cavallino	0 38	15,9	5,5
6	Porto Marghera II	11 09	38,7	10,5
7	S. Giuliano	11 31	36,9	10,1
8	Punta Salute	10 54	35,4	9,8
9	S. Nicolò Lido	10 42	34,0	8,8
9'	S. Nicolò Lido	10 41	34,6	9,2
10	Diga Sud Lido	9 49	37,2	9,6
10'	Diga Sud Lido	9 53	36,8	9,6
11	Torson di Sotto	11 09	36,0	5,6
12	Faro Rocchetta	10 29	33,7	8,3
13	Malamocco Diga N.	10 10	37,5	9,5
14	Millecampi	12 15	26,4	7,4
15	Chioggia Diga S.	9 53	37,4	9,2
16	Chioggia S. Felice	10 25	34,8	10,4
17	Conche	11 01	33,4	9,0
18	Botte Trezze	11 13	33,0	8,6

nelle prime analisi. Mancando così dati sufficienti, non si è ritenuto opportuno né di tracciarle né di discuterle. Per eseguire un ricerca su questo particolare argomento bisognerebbe disporre di complete e omogenee analisi armoniche delle maree dei principali siti lagunari.

9. *Considerazioni generali.* — L'onda di marea si presenta quasi contemporaneamente alle tre bocche. Vi sono pochi minuti di ritardo nella propagazione da NNE a SSW. Le ampiezze possono considerarsi all'imbocco dei tre porti praticamente uguali, differendo tra di loro di pochi mm. Lungo i canali-porto si hanno notevoli diminuzioni di ampiezza e forti ritardi di propagazione. Nella laguna centrale, percorsa da numerosi e vasti canali, queste due ultime variazioni risultano molto meno ampie. Sono dell'ordine di pochi cm per le ampiezze e di $\frac{1}{2}$ ora per gli stabilimenti di porto. Nelle zone marginali, alimentate da canali poco profondi, rari, e che vanno morendo nelle valli, si ritorna nuovamente a rapidi decrementi di amplitudine e a forti ritardi. Ciò si osserva specialmente nella estremità NE della laguna.

Ogni restringimento, ma specialmente ogni diminuzione di profondità nei canali, smorza fortemente la propagazione della marea. Basta che un canale abbia per pochi km, talvolta anche meno di 5, fondali di 2-3 m, per ottenere sfasamenti di un'ora e diminuzioni di ampiezza del 30-40%. Ben diversamente si propaga la marea in un canale di sezione quasi costante, o anche leggermente decrescente, ma che termina improvvisamente con profondità e larghezza poco diverse di quelle intermedie. L'onda incanalandosi si esalta e pur subendo un ritardo nella propagazione mantiene o aumenta l'ampiezza. Ciò si osserva nella successione dei canali che conducono al Porto Industriale di Marghera. In questo sito, distante 18,5 km dall'imbocco del portocanale, le oscillazioni delle principali maree raggiungono aumenti dell'ordine del 5%.

Nella città di Venezia e nelle isole vicine, circondate e percorse da numerosi e profondi canali, tanto le ampiezze quanto i ritardi variano di poco fra loro, anche spostandosi verso l'interno lagunare: le prime diminuendo di pochi cm, i secondi aumentando di qualche decina di minuti. Le tabelle e le figure precisano quanto si è ora detto.

Questo lavoro è un primo saggio di ricerca sulla propagazione della marea nella laguna di Venezia basato esclusivamente sui valori delle costanti armoniche delle maree. La solidità dei dati di partenza, in senso di rigorosità, chiarezza e universalità, è indubbia. Per uno studio più completo e particolareggiato occorrerà disporre di costanti armoniche più omogenee, più complete e relative ad un maggior numero di località lagunari.

Trieste — Istituto Talassografico — Febbraio 1952. ()*

RIASSUNTO

Si presentano le costanti armoniche e non armoniche delle maree di 18 località della laguna di Venezia. Segue l'esame critico dei loro valori in relazione all'epoca dell'analisi e alla posizione della stazione. Sulla base di questi dati si tracciano, per la laguna di Venezia, le linee di uguale ampiezza (mean high water spring), di uguale stabilimento di porto (high water full and change) e, per la componente lunare

(*) Lavoro eseguito con il contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Centro di Studi Talassografici del C.N.R.

semidiurna principale M_2 , le linee di uguale situazione locale α . Ai margini lagunari l'ampiezza della marea risulta ridotta del 50% e più, il ritardo di fase arriva sino a 3-4 ore rispetto ai valori che si hanno all'imbocco dei porti-canali.

SUMMARY

In the article are expounded the harmonic and non-harmonic tidal constants for 18 different places of the Venetian Lagoon. This exposition is followed by critical remarks on their values in connection to the particular dates of the analysis and situation of the different stations. On the basis of these data, have been traced, for the Venetian Lagoon, the mean high water spring curves, the high water full & change curves, and, for the principal lunar semi-diurnal component M_2 , the equal local situation α . It results that, at the borders of the Lagoon, the mean high water spring curves, the high water full and the phase delay reaches the amount of 3 to 4 hours, in comparison to the values observed at the channel-harbour entrances.

BIBLIOGRAFIA

- COMM. MAREOGRAFICA IT.: *Verbali delle riunioni*. Venezia, febr. 1925.
- DOODSON A. T. - WARBURG H. D.: *The Admiralty Tides Tables*. Part. III. Instruc. and Tables. Hydrogr. Departm. London, 1936.
- MAGRINI G. P.: *Impianti mareografici eseguiti nella Laguna Veneta*. Ricerche lagunari. Pubbl. N. 9. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arte, Venezia, 1908.
- POLLI S.: *Costanti armoniche e non armoniche della marea di Valle Doga, nella laguna di Venezia*. Atti Ist. Veneto di Sc. lett. arte, Cl. sc. mat. nat., 1942-43, T. CII, P. II, 579-583.
- POLLI S.: *Il graduale aumento del livello del mare a Venezia, Trieste e Pola*. Geofisica pura e appl., IX (1946), 1-2, 30-36.
- POLLI S.: *Determinazione delle costanti armoniche e non armoniche delle maree per i porti di Belvedere, Cortelazzo, Faro Rocchetta e Chioggia*. Annali di Geofisica, II (1949), 3, 436-449.
- POLLI S.: *Costanti armoniche e non armoniche delle maree di 4 località della laguna di Venezia, (Paliaga, Torcello, Torson di Sotto, Millecampi)*. Arch. di Oceanogr. e Limnol., VII (1950), 1, 17-27.
- TENANI M.: *Maree e correnti di marea*. Ist. Idrogr. della Marina, 1935, 1940.
- VERCELLI F.: *Il mare, i laghi, i ghiacciai*. U.T.E.T., Torino, 1951.
- ZILLE G. G.: *Contributo sperimentale allo studio della propagazione della marea nella laguna di Venezia*. Arch. di Oceanogr. e Limn. II, 2-3, 1942.