

LE TAVOLE ANNUALI DI MAREA PER VENEZIA

MARCO CORDELLA*, LUCIA ZAMPATO**, FRANCA PASTORE**,
ALBERTO TOMASIN***, PAOLO CANESTRELLI**, MAURIZIO FERLA*

Nota presentata dal socio effettivo Alessandro Marani
nell'adunanza ordinaria del 23 ottobre 2010

1. *Introduzione*

Il fenomeno mareale ha un grande impatto sulla città di Venezia, è noto da sempre ai suoi abitanti ed è parte integrante della vita cittadina.

La conoscenza della marea astronomica costituisce una necessità fondamentale non solo per chi si occupa di aspetti strettamente scientifici, quali le analisi di serie storiche di dati climatici o le previsioni a breve termine di eventi meteo-marini intensi, ma anche per chi vive quotidianamente in città, per chi pesca in laguna, per chi naviga o gareggia con le imbarcazioni tipiche veneziane, per chi si occupa di trasporti acquei o di manutenzione urbana.

La diffusione a stampa delle curve di marea astronomica per Venezia risale all'inizio degli anni '20 del secolo scorso ed è stata storicamente curata dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, affiancato a partire dagli anni '70 dall'Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse (ISDGM) del CNR di Venezia. A partire dal 1982 è iniziata formalmente una collaborazione tra gli

* ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Servizio Laguna di Venezia.

** ICPSM Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia.

*** CNR-ISMAR Istituto di scienze Marine, Sezione di Venezia - Università Ca' Foscari.

istituti veneziani attualmente denominati: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) - Servizio Laguna di Venezia, Istituto di Scienze Marine (ISMAR) del CNR di Venezia e Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (ICPSM) del Comune di Venezia. La collaborazione è finalizzata al calcolo delle previsioni di marea astronomica per l'anno successivo e alla loro pubblicazione e diffusione. Vengono calcolati i livelli di marea nella stazione di Punta Salute, nel centro storico di Venezia, e le correnti di marea alla bocca di porto di Lido.

Lo sforzo congiunto di queste istituzioni è teso a produrre delle previsioni sempre più accurate, sempre più aderenti ad una realtà ambientale in continuo mutamento, nel contesto dei cambiamenti climatici in corso e delle modifiche morfologiche che attendono la laguna di Venezia e i suoi ingressi a mare nel prossimo futuro.

La marea astronomica viene dedotta attraverso il metodo delle componenti armoniche, utilizzando estese serie storiche di dati osservati. Per quanto riguarda le tavole di altezza della marea stessa, un punto cruciale nel calcolo è la definizione del valore medio: le componenti oscillanti (armoniche) tendono ad una media nulla se si considerano lunghi periodi, e rimane così, nello sviluppo che sarà esplicitato, un valore definito come A_0 , sopra e sotto il quale si manifestano le oscillazioni. Esso non va confuso con lo zero della scala mareografica (pur essendovi legato e della cui origine si parlerà in seguito), ma costituisce invece il valor medio che ci si attende, sulla base di recenti osservazioni, per evitare un errore sistematico nelle proiezioni. Proprio a questo scopo, nel corso del XX secolo, le previsioni di marea astronomica a Venezia sono state effettuate con livelli di riferimento A_0 via via crescenti, in modo da riprodurre l'aumento osservato del livello del mare.

Questo lavoro si propone di documentare la storia delle diverse scelte di A_0 operate dall'inizio del XX secolo ad oggi (le curve di marea recuperate partono dal 1923) dalle istituzioni incaricate di prevedere la marea astronomica a Venezia. Lo stimolo alla realizzazione di tale resoconto viene dalla recente modifica del livello di riferimento, portato al valore $A_0 = 26$ cm, media dei valori di livello medio osservato a Venezia nel periodo 1999-2008, utilizzato per le previsioni di marea astronomica a partire dal 2010. Il valore $A_0 = 23$ cm

utilizzato in precedenza, dal 1982 al 2009, appariva non più adeguato alle osservazioni più recenti.

Nel paragrafo 1 sono riportate alcune nozioni sulla marea astronomica e sulle procedure per la sua previsione a Venezia. L'evoluzione del livello medio del mare a Venezia è descritta nel paragrafo 2. Il paragrafo 3 documenta le variazioni nelle scelte del livello di riferimento A_0 utilizzato nelle previsioni di marea astronomica. Nel paragrafo successivo sono riportate alcune osservazioni conclusive.

1. *La marea astronomica*

Le maree sono state definite come «movimenti periodici della superficie del mare, che sono direttamente correlati in ampiezza e fase ad alcune forze geofisiche» (Pugh, 1987). La forza dominante è il campo gravitazionale alla superficie terrestre, generato dal sistema terra-sole-luna. Altre forze sono legate ai fenomeni meteorologici (tipicamente irregolari nel tempo, come le oscillazioni nella pressione atmosferica) come pure a piccoli movimenti della superficie solida del pianeta (maree terrestri) che producono piccole variazioni del livello marino. La risposta degli oceani a queste forzanti è molto complicata, non essendo immediata ma ritardata dall'inerzia e influenzata da molteplici fattori, come la profondità, la morfologia costiera, l'attrito sul fondale marino. Nel caso dell'Adriatico le maree sono generate solo in minor parte, circa il 3-6% secondo Mosetti (1959), dalla diretta influenza dei corpi celesti. L'effetto dominante è invece quello dovuto alle oscillazioni mareali del Mediterraneo, che si propagano attraverso il Canale d'Otranto e inducono la marea nel Mare Adriatico.

Un metodo usato frequentemente per la previsione della marea astronomica in una certa località, è l'analisi per componenti armoniche. Questa si basa sull'assunzione che $y(t)$, l'altezza di marea al tempo t , possa essere rappresentata da una somma del tipo:

$$y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \cos(\sigma_n t - \kappa_n) \quad (1)$$

dove A_n è l'ampiezza, σ_n la frequenza angolare, κ_n il ritardo di fase della componente n . A_0 è il valore medio, principale argomento del presente studio. Le frequenze angolari σ_n , calcolate attraverso la teoria a partire dai periodi dei moti celesti, sono assunte come costanti note. L'ampiezza e la fase di ciascuna componente in una particolare località, dette costanti armoniche, possono essere calcolate analizzando, ad esempio col metodo dei minimi quadrati, estese serie storiche di dati di livello del mare.

Nel caso di Venezia questo è realizzato attraverso il software Polifemo (Tomasin, 2005) sviluppato presso ISMAR-CNR. Polifemo si basa sull'espansione di Doodson (1921) e minimizza una funzione costo, data dalla somma dei quadrati delle differenze tra le osservazioni e una funzione teorica. Tale funzione è proprio la marea, cioè la somma delle componenti sinusoidali riportate nell'espressione (1) in cui le frequenze angolari σ_n sono note, mentre le costanti armoniche A_n e κ_n sono le incognite. Il metodo dei minimi quadrati presenta il vantaggio di poter essere applicato anche a serie di dati non complete o con frequenza non costante, ad esempio a registrazioni di massimi e minimi di livello.

È stato evidenziato da tempo, vedi ad esempio Defant (1960), che nel caso dell'Adriatico sono sufficienti sette componenti mareali per il calcolo pratico della marea astronomica: quattro semi-diurne (M2, S2, N2, K2) e tre diurne (K1, O1, P1). Una ulteriore componente diurna (S1), con ampiezza di poco superiore al centimetro, può essere inclusa per Venezia. Utilizzando un maggior numero di componenti armoniche si ottengono variazioni nel livello calcolato, che sono trascurabili rispetto agli errori di misura dei dati di livello (circa 1 cm). Il nome, il periodo e la frequenza angolare delle otto componenti mareali sono riportati nella tabella seguente. Sono presentati anche i valori delle costanti armoniche A e κ per Venezia, Punta Salute, calcolati a partire dai dati osservati di livello del mare nel periodo 1999-2008 (Comune di Venezia, ISPRA, ISMAR-CNR, 2009).

Bisogna notare che la fase, essendo un ritardo rispetto ad un istante fissato, può essere calcolata secondo diverse convenzioni: nell'espressione 1 e in Tabella 1 essa è indicata con κ e, per ciascuna componente, rappresenta il ritardo del massimo di marea rispetto al passaggio della luna, o dell'astro di riferimento, sul meridiano della

Tabella 1 - Caratteristiche delle 8 componenti armoniche usate per l'Adriatico.
Le costanti armoniche A e κ sono date per Venezia-Punta Salute.

	nome	vel. astron.	periodo (h)	ω (°/h)	A(cm)	κ (°)
semidiurne	M_2	2T-2s+2h	12,432	28,9841042	$24,84 \pm 0,07$	$308,0 \pm 0,2$
	S_2	2T	12,000	30,000000	$14,50 \pm 0,07$	$317,7 \pm 0,3$
	N_2	2T-3s+2h+p	12,658	28,4397295	$4,08 \pm 0,07$	$307,4 \pm 1,0$
	K_2	2T+2h	11,976	30,0821373	$4,27 \pm 0,06$	$311,1 \pm 0,8$
diurne	K_1	T+h	23,928	15,0410686	$17,78 \pm 0,06$	$86,4 \pm 0,2$
	O_1	T-2s+h	25,824	13,9430356	$5,20 \pm 0,06$	$75,5 \pm 0,7$
	P_1	T-h	24,072	14,9589314	$5,75 \pm 0,07$	$83,1 \pm 0,7$
	S_1	T+Z	24,000	15,0000020	$1,46 \pm 0,07$	$274,9 \pm 2,7$

Velocità angolari astronomiche di base ω (°/h):

T = rotazione della Terra attorno al suo asse = 15°/h

h = rivoluzione della Terra attorno al Sole = 0,04106864 °/h

s = rivoluzione della Luna attorno alla Terra = 0,54901653 °/h

p = precessione del perigeo lunare = 0,00464183 °/h

N = precessione del piano orbitale della Luna = -0,00220641 °/h

Z = precessione del perigeo solare = 0,00000197 °/h

località considerata. In letteratura la fase viene a volte indicata con il simbolo g e rappresenta il ritardo del massimo di marea rispetto al passaggio della luna sul meridiano di Greenwich. Nel software Polifemo viene invece utilizzata una convenzione più comoda per i calcoli: i valori di fase rappresentano ritardi rispetto ad uno zero temporale fissato (inizio dell'anno 1900).

Una caratteristica importante del software Polifemo è la capacità di tener conto delle variazioni di lungo periodo delle costanti armoniche, quelle dovute cioè alle periodicità del perigeo e dei nodi

della Luna (rispettivamente 9 anni, correzione draconitica, e 18 anni, correzione anomalistica¹). La funzione teorica da ottimizzare comprende già la correzione di lungo periodo, cosicchè i risultati, cioè le costanti armoniche, sono indipendenti dal tempo. La correzione di lungo periodo viene nuovamente applicata quando, a partire dalle costanti armoniche, si calcola la marea astronomica prevista.

Oltre che per effetto dei moti siderali di lungo periodo, le costanti armoniche possono variare nel tempo anche a causa di modifiche morfologiche avvenute nelle vicinanze della località considerata: è tipico l'esempio di un porto in cui siano stati eseguiti lavori di scavo o costruzioni di barriere, che modifichino il contorno della costa. Questo comportamento è stato evidenziato anche per la Laguna di Venezia in uno studio degli anni '70 (Tomasin, 1974), in cui le costanti armoniche erano state calcolate per ciascun anno del periodo 1940-1973 a partire dai dati di livello osservato a Punta Salute. L'autore aveva evidenziato un aumento nei valori dell'ampiezza delle componenti M2 e S2 negli anni tra il 1960 e il 1970 e ipotizzava che questo fosse in relazione con alcuni interventi di modifica dell'ambiente lagunare, a partire dalla bocca di Malamocco, realizzati in quel periodo. In uno studio recente (Ferla et al., 2007) sono state calcolate le costanti armoniche in alcune stazioni della rete ISPRA nella Laguna di Venezia: gli autori, confrontando i tempi di ritardo nella propagazione della marea nelle diverse località con i valori ottenuti da Polli (1952) per la prima metà del XX secolo, suggeriscono che la Laguna stia gradualmente modificandosi passando da area di transizione ad ambiente marino. La scelta di calcolare le costanti armoniche per Venezia attraverso i dati osservati di un periodo vicino, gli anni 1999-2008, è necessaria per tener conto di questo tipo di variabilità.

Un'ultima osservazione riguarda il numero di costanti armoniche utilizzate. La limitazione a sette o otto componenti è suffragata dal fatto che, contrariamente a quanto accade ad esempio nel Mare del Nord, nell'Adriatico non sono stati finora osservati contributi dovuti alle interazioni non-lineari (si veda ad esempio Mosetti e Manca, 1972): in questo bacino le diverse componenti armoniche si sommano senza interferire.

¹ Vedi ad esempio Fresa (1933) e ampie citazioni reperibili in internet.

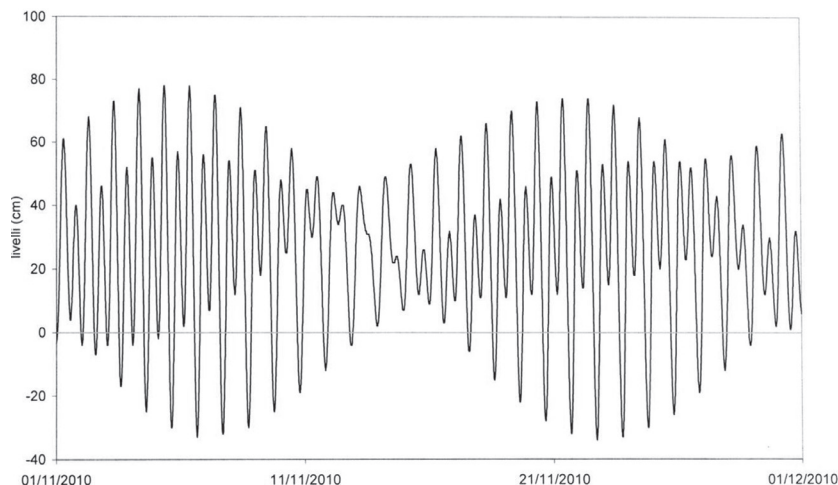


Fig. 1 - Marea astronomica calcolata per Novembre 2010 nella stazione di Punta Salute.

In Figura 1 è riportata la marea astronomica prevista per il mese di novembre 2010 nella stazione di Punta Salute. Si può notare l'alternanza dei cicli mareali di sizigia e quadratura: l'ampiezza dell'oscillazione varia con periodicità di circa quattordici giorni. La massima oscillazione (sizigia) avviene in condizioni di luna piena o luna nuova, quando luna, sole e terra si trovano in congiunzione e le forze gravitazionali si sommano costruttivamente. La minima oscillazione (quadratura) avviene durante il primo e l'ultimo quarto di luna, quando le forze gravitazionali interferiscono distruttivamente.

I valori di livello in Figura 1 sono relativi allo zero mareografico di Punta Salute del 1897, riferimento convenzionale utilizzato per le misure nella Laguna di Venezia. A causa di fenomeni come eustatismo e subsidenza, il livello medio osservato attualmente è circa 26 cm più alto di quello registrato nel 1897 (vedi paragrafo 2). Di conseguenza per calcolare la marea astronomica a Venezia, vedi espressione (1), è necessario aggiungere alla sommatoria delle componenti armoniche un termine A_0 che rappresenta il livello medio del mare rispetto al riferimento fissato. La marea rappresentata in Figura 1 è stata ottenuta con $A_0=26$ cm.

2. *La variazione del livello medio mare a Venezia*

L'inizio delle rilevazioni sistematiche dei livelli di marea a Venezia risale al 1872, per opera del Genio Civile. Da quell'anno, infatti, diventò operativo il primo mareografo ubicato nel centro storico di Venezia, nei pressi di campo S. Stefano, presso l'Istituto Veneto di Scienze Lettere e Arti. A seguire furono istituiti, nel 1888, un mareografo presso l'Arsenale e nel 1906 il primo mareografo presso Punta della Salute, lato Canal Grande. Dal 1923 è funzionante il mareografo di Punta Salute, sul lato del Canale della Giudecca, che costituisce ancora oggi il riferimento per il centro storico veneziano.

L'eredità del Genio Civile fu raccolta, a partire dal 1907, da parte dell'Ufficio Idrografico, quale sezione del Magistrato alle Acque dedicata alla raccolta metodica delle osservazioni idrografiche riguardanti i fiumi, la laguna e il mare. Fu quindi istituita una rete di mareografi, comprendenti anche quelli già in esercizio, sia all'interno della Laguna di Venezia (23 stazioni), sia nella Laguna di Marano-Grado (2 stazioni), sia sulle sponde orientali e occidentali del mare Adriatico (19 stazioni) (Magrini, 1909).

Le osservazioni sistematiche del livello di marea vengono utilizzate sia per la previsione e il monitoraggio di eventi a breve termine, quali gli eventi di acqua alta, sia per lo studio di eventi a lungo termine, quale la variazione relativa del livello medio del mare, sia per il calcolo della componente meteorologica della marea.

Il livello di marea rilevato a Venezia viene comunemente riferito ad un piano di riferimento convenzionale, ottenuto come la media di diversi anni di osservazioni mareografiche continuative, effettuate a cavallo tra il 1884 e il 1909, attribuito convenzionalmente al 1897 (Dorigo, 1961b) ed usualmente denominato Zero Mareografico di Punta Salute. Va osservato che il mantenimento di questo livello passa per un insieme di caposaldi altimetrici nelle vicinanze della punta stessa, oggetto di frequenti controlli. Il vantaggio di tale convenzione consiste nell'introdurre un piano di riferimento solidale col suolo veneziano, soggetto quindi agli stessi movimenti verticali del terreno. In particolare, se si ipotizza che non abbiano luogo abbassamenti differenziati nella città, un tale

riferimento assicura l'omogeneità delle misure nel tempo. Infatti a fronte di eventi di acqua alta della stessa entità in decenni diversi, la porzione di città storica allagata è la stessa, salvo ovviamente eventuali interventi locali di rialzo del selciato, o comunque anomale variazioni altimetriche locali. A variare è la frequenza del superamento di determinate soglie (Battistin e Canestrelli, 2006), per variazioni climatiche o altro, come dire: aumenta l'assillo delle acque alte. Precedentemente all'adozione dello Zero Mareografico di Punta Salute era utilizzato – sin dall'epoca della Serenissima – il Comune Marino (o Comune Alta Marea), identificato dalla linea scura che si crea sulle fondamenta delle rive e degli edifici, in corrispondenza della media delle acque alte. Appare evidente che tale riferimento – inizialmente considerato fisso – varia a seconda degli anni e di alcuni fattori locali in cui viene considerato (Rusconi, 1983). Il Comune Marino è rilevante ai fini della presente trattazione, in quanto i primi mareografi installati alla fine dell'800 (Santo Stefano, Arsenale), sono riferiti al Comune Marino del 1825. Nella documentazione consultata vengono descritte le procedure adottate per rendere omogenee le rilevazioni riferite al Comune Marino del 1825 con quelle dello Zero Mareografico di Punta Salute del 1897 (Dorigo, 1961b).

Le cause della variazione del livello marino sono essenzialmente due: la subsidenza – il fenomeno di compattamento verticale dei suoli – e l'eustatismo – il fenomeno di innalzamento dei mari dovuto a fenomeni di riscaldamento globale del pianeta, al conseguente scioglimento delle calotte polari e alle variazioni di temperatura e salinità delle masse oceaniche, che ne modificano la massa (Gambolati e Gatto, 1975; IPCC, 2007). In Figura 2 si riporta l'andamento del livello medio mare annuale a Venezia. La velocità di crescita del livello medio del mare è variata notevolmente nel corso dei 138 anni di osservazione. In particolare, è stata particolarmente rapida a cavallo tra la metà degli anni '20 e gli anni '60 del secolo scorso. Tale andamento è stato messo in correlazione con l'attività di emungimento delle acque di falda collegate alle attività industriali di Porto Marghera (Serandrei Barbero, 1972; Ministero dei LL.PP, 1971). A seguito del provvedimento di energica limitazione dell'estrazione, attuata all'inizio degli anni '70, tale crescita

si è sostanzialmente stabilizzata sino ai primi anni '90, quando è ripresa, essenzialmente per eustatismo (Carbognin et al., 2004).

Per quanto riguarda il periodo dal 1999 ad oggi, un comportamento simile si osserva anche in altre località del Mediterraneo centrale (vedi Figura 3). Il marcato innalzamento del livello medio del mare negli ultimi anni sembra essere localmente correlato alla contemporanea diminuzione del valor medio annuale della pressione atmosferica negli stessi siti del Mediterraneo centrale.

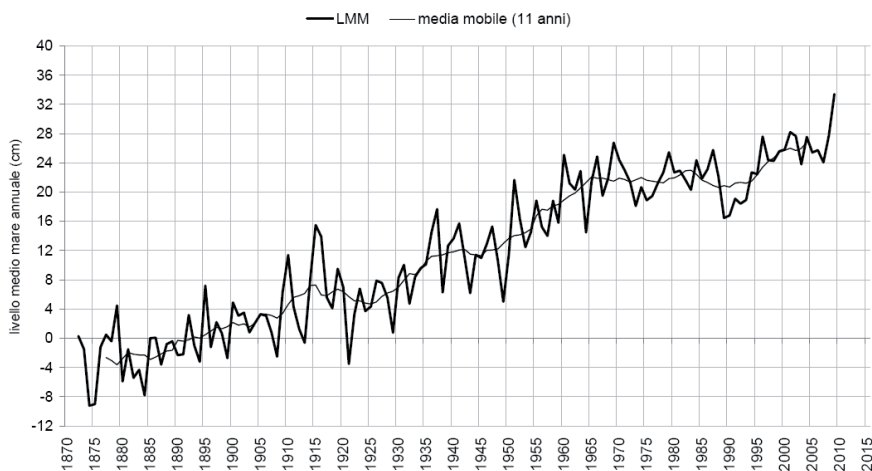


Fig. 2 - Livello medio mare annuale a Venezia, Punta Salute, nel periodo 1872-2009.

3. *L'archivio storico delle previsioni di marea astronomica*

A seguito di ricerche archivistiche presso la biblioteca ISPRA, è stata recuperata gran parte delle previsioni di marea astronomica per il bacino di San Marco a partire dal 1923. Come anticipato nelle sezioni precedenti, il suolo veneziano ha subito delle perdite significative di quota rispetto al medio mare nel tempo. Tale perdita di quota si è tradotta nella necessità di adattare via via i riferimenti per dare un senso pratico, immediatamente utilizzabile,

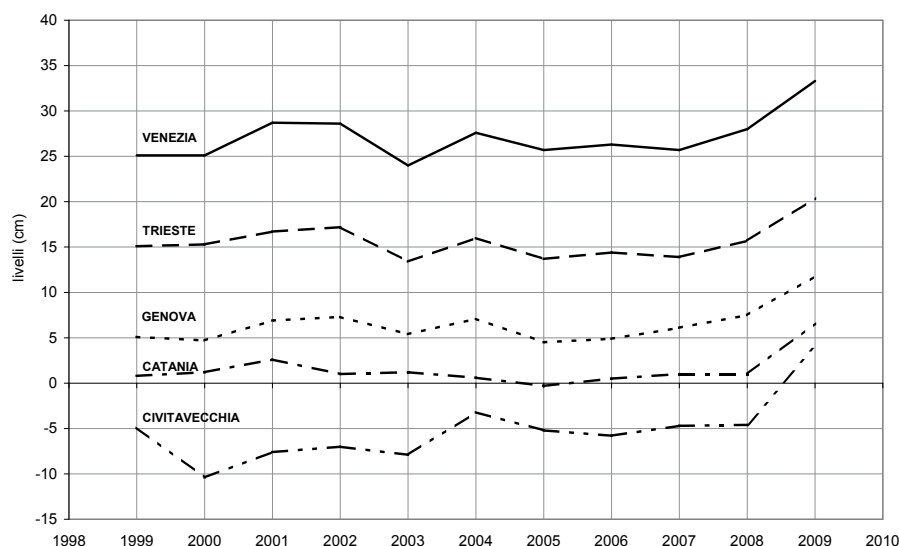


Fig. 3 - Livello medio mare annuale in alcune località del Mediterraneo centrale, periodo 1999-2009. Il riferimento è diverso, ma non la scala di variazione. Le stazioni di Venezia e Trieste hanno serie complete, le rimanenti possono avere dati mancanti inferiori al 6%. Fonte: ICPSM – Venezia, CNR-ISMAR, ISPRA.

alle previsioni. Dal 1923 al 1931 la marea astronomica è riferita al «livello medio mare, di 22 cm circa sotto il comune marino» (vedi Dicembre 1924). Il comune marino, o comune alta marea, è la media delle alte maree in un determinato periodo. Chiaramente, variando il periodo di osservazione varia anche il comune marino, come accuratamente documentato in Rusconi (1983). I mareografi veneziani, sin dal primo mareografo di Santo Stefano (1872), erano stati originariamente riferiti al Comune Marino del 1825 (Dorigo, 1961b). Successivamente, con l'introduzione dello zero della rete altimetrica dello stato (livello medio mare 1897), le misure dei primi mareografi (Santo Stefano, Arsenale) sono state convertite rispetto al nuovo riferimento adottato (Dorigo, 1961a). Anche nelle previsioni di marea astronomica si notano le variazioni dei riferimenti: una volta abbandonato il ri-

ferimento al Comune Marino, le previsioni sono riferite al «piano fondamentale della rete altimetrica italiana» (vedi Ottobre 1935). A partire dal gennaio del 1944, coerentemente con le variazioni significative del livello medio mare osservate, varia anche il livello A_0 a cui si riferisce la previsione della marea astronomica: «le altezze di marea sono riferite ad un livello medio che è di 12 cm circa superiore a quello della rete altimetrica dello stato». Il valore A_0 pari a +12 cm rimane fisso sino al gennaio 1962, quando A_0 deve essere aggiornato a +18 cm, complice il rapido aumento del livello medio mare, descritto precedentemente. Gli anni '70 sono testimoni di diversi cambiamenti, anche di segno opposto, del valore della quota di riferimento. Nel gennaio 1982 la situazione viene stabilizzata e si opera un ulteriore aggiustamento della quota A_0 , come riporta la didascalia: «Le altezze di marea sono espresse in centimetri, e sono riferite al piano fondamentale della rete altimetrica dello stato (1897) più basso di circa 23 cm sul l.m.m. attuale». Infine, a fronte di un ulteriore significativo aumento del livello medio del mare la quota A_0 è stata ulteriormente aggiornata nel gennaio 2010: «Le altezze di marea sono espresse in centimetri e sono riferite allo Zero Mareografico di Punta della Salute, più basso di circa 26 cm sul l.m.m. attuale».

Lo Zero Mareografico di Punta Salute (1897) assicura l'omogeneità delle misure in tutto l'arco temporale delle rilevazioni di marea a Venezia, essendo legato alla città stessa. La necessità di questi aggiustamenti periodici è resa evidente dalla figura 4, che riporta i valori di A_0 dall'inizio delle rilevazioni sistematiche di marea a Venezia. La variazione del valore di A_0 è così riassumibile: $A_0 = 0$ tra il 1923 e il 1944; $A_0 = 12$ a cavallo tra il 1945 e il 1962; $A_0 = 18$ dal 1963 al 1972; $A_0 = 20$ nel 1973; $A_0 = 23$ tra il 1974 e il 1976; $A_0 = 18$ tra il 1977 e il 1981; $A_0 = 23$ tra il 1982 e il 2009; $A_0 = 26$ a partire dall'anno 2010. Dai fascicoli degli anni '70 emerge la situazione più complessa: nel giro di pochi anni si vedono modificare più volte le quote di A_0 , a testimonianza di quanto l'evolversi della situazione in quegli anni fosse incerta. Non sono state rinvenute testimonianze di pubblicazione a stampa delle curve di marea precedenti al 1923. In figura 5 si riporta

un esempio di tavola di marea recuperata, riferita al dicembre del 1924. Altri esempi di tali tavole storiche saranno rese consultabili al sito <www.ispravenezia.it>.

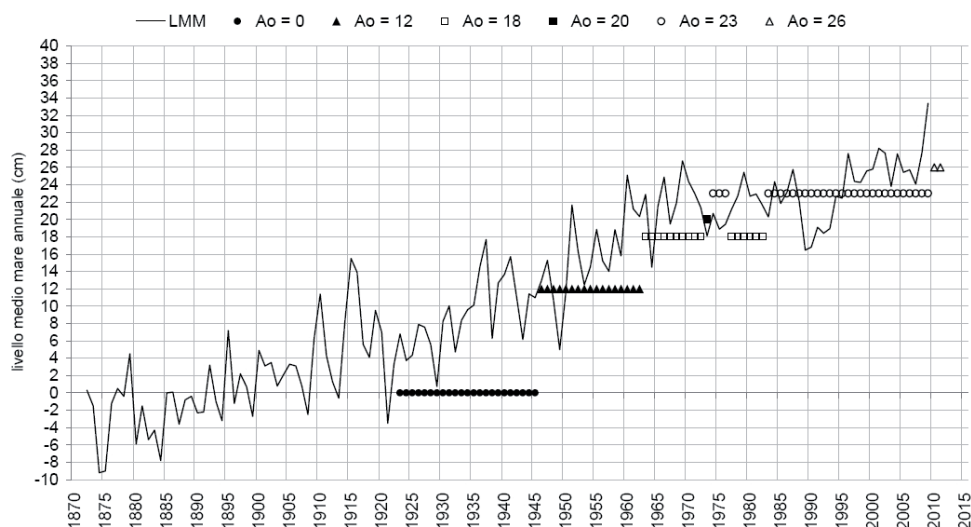


Fig. 4 - Variazione dei livelli di riferimento A_0 confrontati con il livello medio mare a Venezia.

Conclusioni

L'alternarsi delle maree non è immutabile come i moti astrali che le determinano: già la morfologia del percorso della grande onda d'acqua che va e che viene non è stabile per sempre, specie nel caso veneziano qui considerato (profondità, strettoie, ostacoli...). Più ampia, poi, è la variazione del livello medio che si osserva, in dipendenza sia di effetti di larga scala (osservabili anche in altre località marittime), sia della subsidenza, ossia dell'abbassamento del punto di osservazione. E questo per Venezia non è di poco conto, pensando sia a ciò che avviene per tutta la Pianura Padana, sia ai problemi dell'area lagunare, specialmente nei decenni recenti.

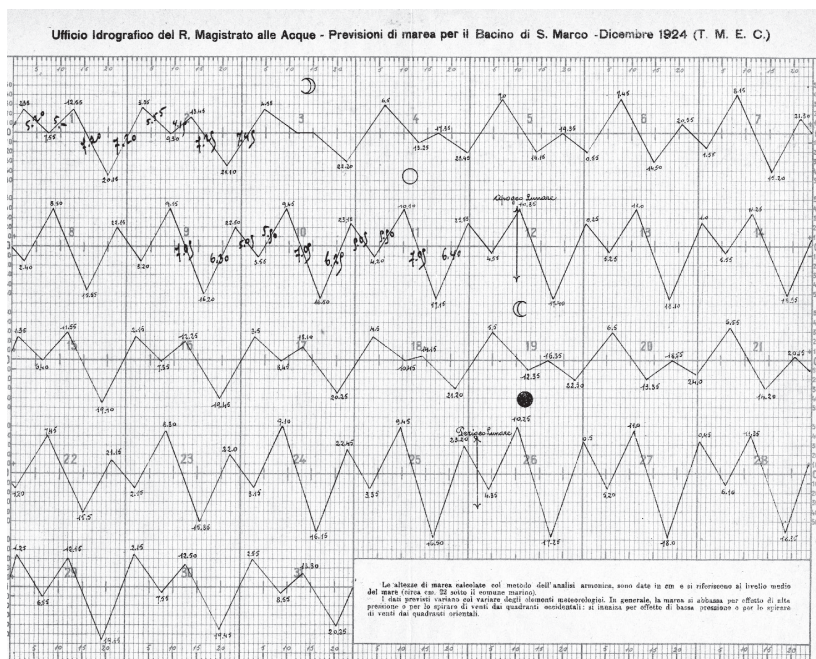


Fig. 5 - Esempio di tavola di marea riferita al dicembre 1924.

Le istituzioni che sorvegliano i fenomeni suddetti, dal punto di vista scientifico e da quello applicativo che tende a fornire previsioni adeguate circa il livello delle acque, devono anch'esse usare valori diversi, nei decenni. Nel presente lavoro sono documentate queste necessarie variazioni, espressamente nel valore medio attorno al quale si snodano le alte e basse maree, chiamato, in gergo matematico, A_0 .

I fascicoli annuali delle previsioni di marea, che si avviano al secolo di vita, sono preziosi documenti storici; da alcuni decenni hanno radunato allo stesso tavolo, per la loro preparazione, le istituzioni sopra citate, il CNR, l'ICPSM e l'ISPRA, rafforzando la collaborazione nell'interesse di Venezia.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. Alessandro Marani per gli utili suggerimenti che hanno permesso di migliorare e arricchire il presente lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- Battistin D., Canestrelli P. (2006), *1872-2004 La serie storica delle maree a Venezia*, ICPSM - Comune di Venezia.
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L. (2004), *Eustacy and land subsidence in the Venice lagoon at the beginning of the new millennium*, Journal of Marine Systems 51, 345-353
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L. (2005), *Land Subsidence in the Venetian area: known and recent aspects*, Giornale di Geologia Applicata 1, 5-11
- Comune di Venezia-ICPSM, ISPRA, ISMAR-CNR (2009), *Previsioni delle altezze di marea per il bacino di San Marco e delle velocità di corrente per il Canal Porto di Lido-Laguna di Venezia. Valori astronomici 2010*, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- Defant A. (1960), *Physical oceanography*, Pergamon Press, New York, pp. 598.
- Doodson A.T. (1921), *The harmonic development of the tide-generating potential*, Proceedings of the Royal Society, A, 100, 305-329.
- Dorigo L. (1961a), *Note sulla carta della laguna*, in *Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia - Rapporti preliminari* - vol. I, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venezia
- Dorigo L. (1961b), *Le osservazioni mareografiche in laguna di Venezia*, in *Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia - Rapporti preliminari* - vol. I, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venezia
- Dorigo L. (1966), *Maree eccezionali registrate a Venezia Punta della Salute, periodo 1867-1964*, in *Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia - Rapporti e Studi* - vol. III, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venezia
- Gambolati G., Gatto P. (1975), *Simulazione della subsidenza di Venezia*, in *Venezia e i problemi dell'ambiente*, Il Mulino, Bologna.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), *The climate change 2007: the Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge (UK).
- Ferla M., Cordella M., Michielli L., Rusconi A. (2007), *Long term variations on sea level and tidal regime in the lagoon of Venice*, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 75, 214-222.
- Fresa A. (1933), *La Luna*, Hoepli, Milano.
- Magrini G.P. (1909), *Prima relazione del Direttore dell'Ufficio Idrografico*, Pubblicazione n.1 del R. Magistrato alle Acque, Venezia.
- Ministero dei Lavori Pubblici, Comitato per lo studio dei provvedimenti a difesa della città di Venezia e a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali (1971), *Relazione fra emungimenti ed abbassamenti del suolo*, Padova.
- Mosetti F. (1959), *Lo stato attuale delle conoscenze sulle maree dell'Adriatico*, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* - vol. I, 3-75.
- Mosetti F., Manca B. (1972), *New methods of tides and seiches analysis. Application to the Adriatic Sea*, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* - vol. XIV, n. 53-54, pp. 105-127.
- Polli S. (1952), *Propagazione della marea nella Laguna di Venezia*, *Annali di Geofisica* 5 (2), 273-292.
- Pugh D.T. (1987), *Tides, surges and mean sea level*, Wiley, New York, pp. 472.
- Rusconi A. (1983), *Il Comune Marino a Venezia - ricerche e ipotesi sulle sue variazioni altimetriche e sui fenomeni naturali che le determinano*, Ministero dei Lavori Pubblici - Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, Venezia.
- Seranderei Barbero R. (1972), *Indagine sullo sfruttamento artesiano nel comune di Venezia 1846-1970*, Consiglio Nazionale delle Ricerche - rapporto tecnico n. 31.
- Tomasin A. (1974), *Recent changes in the tidal regime in Venice*, *Rivista Italiana di Geofisica* 23 (5-6), 275-278.
- Tomasin A. (2005), *The software Polifemo for tidal analysis*, Technical Note 202, ISMAR-CNR, Venezia.

RIASSUNTO

Il livello oscillante delle acque lagunari influisce molto sulla mobilità, sulle attività economiche e in definitiva sulla vita di Venezia e dei centri limitrofi. La componente astronomica della marea, che può essere proiettata con ampio anticipo, da lungo tempo è resa nota dagli uffici competenti, ad uso della cittadinanza. Il dettaglio scientifico della suddetta attività, con accenni alle deviazioni di marea dovuti alle forzanti meteorologiche, è mostrato nel presente lavoro con la documentazione storica degli sforzi tesi all'adeguamento ad una realtà mutevole. In particolare, il livello medio attorno al quale si snoda l'oscillazione mareale è tenuto sotto controllo, e le scelte predittive adottate nei vari decenni, con maggiore o minore fortuna, sono mostrate in dettaglio. Non manca una certa apprensione per la crescita generalizzata dei livelli marini medi nell'Adriatico e nel Mediterraneo Centrale.

ABSTRACT

The water level in the Venice Lagoon, with its variability, strongly affects the people mobility, the economic activities and the everyday life of the city and the surrounding towns. The astronomic part of the level changes that can be predicted largely in advance is notified yearly to the population, since many decades ago. The scientific base for such activity is described in this work, with some detail for the tidal anomalies caused by atmospheric forcing. The historical development of the efforts to cope with a changing world is shown, and a particular interest is given to the mean level, around which the oscillations of the ordinary tide develop. The choices for its prediction adopted in the different decades, with more or less success, are given in detail. A certain concern appears in the most recent years due to a general mean sea-level rise in the Adriatic and in the Central Mediterranean.

