

CARATTERISTICHE MAREOGRAFICHE A DIGA SUD  
LIDO - VENEZIA E QUALCHE CORRELAZIONE CON I  
LIVELLI MARINI ECCEZIONALI NEL BACINO DI S. MARCO

LUIGI PAVANELLO

Presidente del Magistrato alle Acque

PREMESSA

È naturale che il tema del simposio mi porti a considerare l'aumento del livello marino, dovuto a particolari condizioni meteorologiche locali, a Venezia, per le conseguenze ed i riflessi che detto aumento può avere sulla laguna e sulla città stessa.

In questa breve memoria che non voglio considerare un vero e proprio studio, bensì una esposizione di dati, esamino un lungo periodo del livello medio del mare rilevato a Diga Sud Lido mettendolo in relazione con quegli elementi, rilevati, che evidentemente ne influenzano il normale andamento.

Ritengo altresì risulti utile il mettere a disposizione di persone altamente qualificate negli studi in parola, un corredo prezioso di dati, raccolti alla stazione mareografica di Diga Sud Lido.

STAZIONE MAREOGRAFICA DI DIGA SUD LIDO

La stazione mareografica, funzionante dal 1913, è situata quasi all'estremità della Diga Sud del canale-porto del Lido ed il pozzetto di rilievo dell'onda di marea è posto esternamente alla diga e quindi in mare aperto.

La stazione è collegata alla rete altimetrica dello Stato ed il suo caposaldo interno ha quota 1..5816 riferita al medio mare 1897.

### PROPAGAZIONE DELLA MAREA IN ADRIATICO

Può essere utile ricordare che la marea nell'Adriatico si propaga con moto circolare salendo dal Gargano sino a Trieste, lungo la costa Dalmata con direzione Sud Nord; prosegue per

#### DIAGRAMMA CONTEMPORANEO DI MAREA

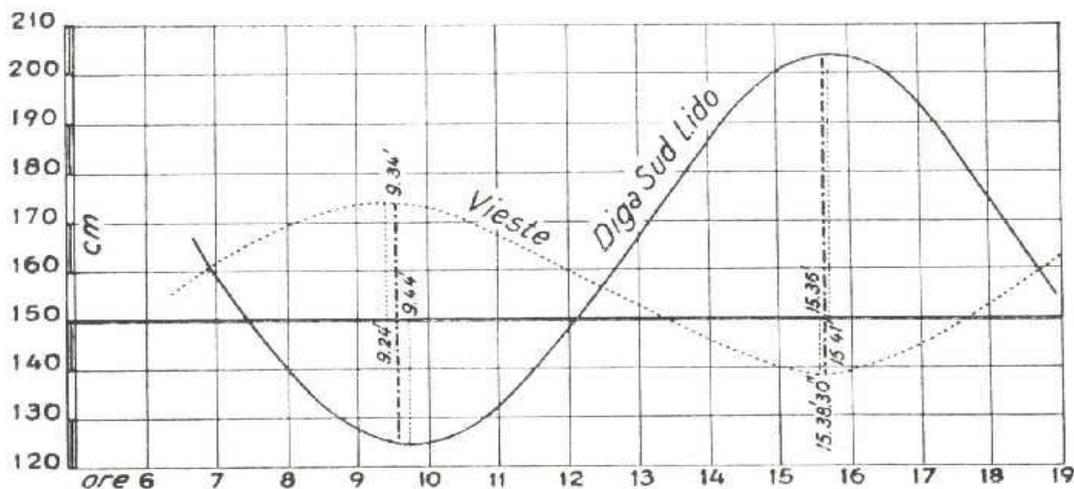


Fig.1

Grado e quindi in senso contrario verso Lignano Venezia, Chioggia, Ancona per unirsi dopo 12 ore 24 minuti, al Gargano con la successiva alta marea proveniente dal mare Jonio e riprendere il percorso dianzi menzionato.

La marea astronomica il cui andamento viene previsto, per ogni località, può subire, sui valori calcolati, significativi scostamenti in più o in meno, dovuti all'influenza degli elementi meteorologici locali del momento, quali il vento, la pressione, la temperatura ed, in minor misura, alle conseguenze

dei fenomeni provocati dagli elementi meteorologici stessi, verificatesi in zone del retroterra, interessanti la parte di mare che si considera e la cui influenza si ripercuote sul livello stesso; nel caso particolare, gli apporti idrici dei fiumi sfocianti nel golfo di Venezia.

## FENOMENI POSTI IN RELAZIONE

Nei grafici che seguiranno si mettono in relazione, per un periodo di 40 anni e precisamente dal 1921 al 1960, i livelli medi del mare con tutti quei fenomeni per i quali si posseggono dati e che certamente contribuiscono a modificare l'andamento astronomico della marea.

Vengono quindi presi in esame, più dettagliatamente, i due anni 1921 e 1960 che rappresentano i valori estremi sempre riferiti all'anno, dell'accennato periodo.

Fra i vari fenomeni meteorologici presi in considerazione sono stati inclusi gli apporti idrici scolanti nell'alto Adriatico, i quali comprendono

- le acque scaricate in mare dai fiumi, dal Po al Quieto e misurate generalmente alla chiusura del bacino montano;
- le acque dei bacini prealpini non misurati <sup>(1)</sup> ;
- le acque defluenti dalle pianure <sup>(1)</sup> ;
- le acque direttamente precipitate nella zona di mare interessata <sup>(1)</sup>;
- vengono trascurate le acque sotterranee, non avendo elementi per poterne calcolare con discreta approssimazione il contributo.

Si tratta di una massa d'acqua cospicua distribuita in modo difforme durante l'anno e che si può immaginare, in alcune circostanze e, per determinati intervalli di tempo, immagazzinata nel Golfo di Venezia sino ad una linea ideale che congiunge, attraverso l'Adriatico, il Po di Goro col capo Promontore comprendente un'area di circa 10.000  $km^2$ .

Non è nota la legge secondo la quale tali acque si propaghino e si estendano sul mare per defluire poi verso il basso Adriatico.

---

<sup>1</sup> Per gli apporti dei quali non si possiedono misure dirette l'entità è stata calcolata adottando opportuni coefficienti ottenuti per raffronto con elementi noti.

In mancanza di una più esatta conoscenza si è cercato di trarre una spiegazione di come avviene la distribuzione delle acque meteoriche dal meccanismo del mare, ritenendo che il ritmico avvicinarsi delle alte e basse maree con le risultanti pendenze, debba contribuire a regolare il convogliamento delle acque dolci verso il mare Jonio.

Allo scopo di esaminare tale fenomeno, vengono riportati alla figura 2 i diagrammi contemporanei di marea registrati a Venezia e a Vieste durante la marea di sizigia del 4-5 maggio 1936 e ricavate, dagli stessi, le pendenze dello specchio marino tra le due località, nei momenti dell'alta e bassa marea di Venezia e ad ogni ora fra tali estremi.

#### PROFILO LONGITUDINALE

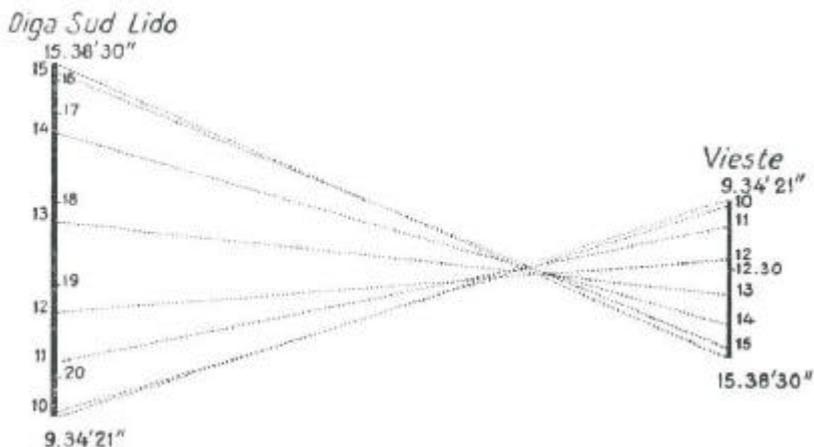


Fig. 2

Dai profili così ottenuti, rappresentati alla figura 2, risulta che alle alte e basse di Venezia corrispondono, coll'anticipo di circa un'ora, le basse e alte a Vieste e che la differenza di livello relativa ammonta in tali momenti a circa 60 cm.

Dall'esame dei profili appare infatti come le acque dolci affluite e raccolte sulla superficie del Golfo, dalle ore 7 alle ore 12,30 circa, vengono riversate verso sud nel periodo di alta marea dalle ore 12,30 alle ore 18,30 circa.

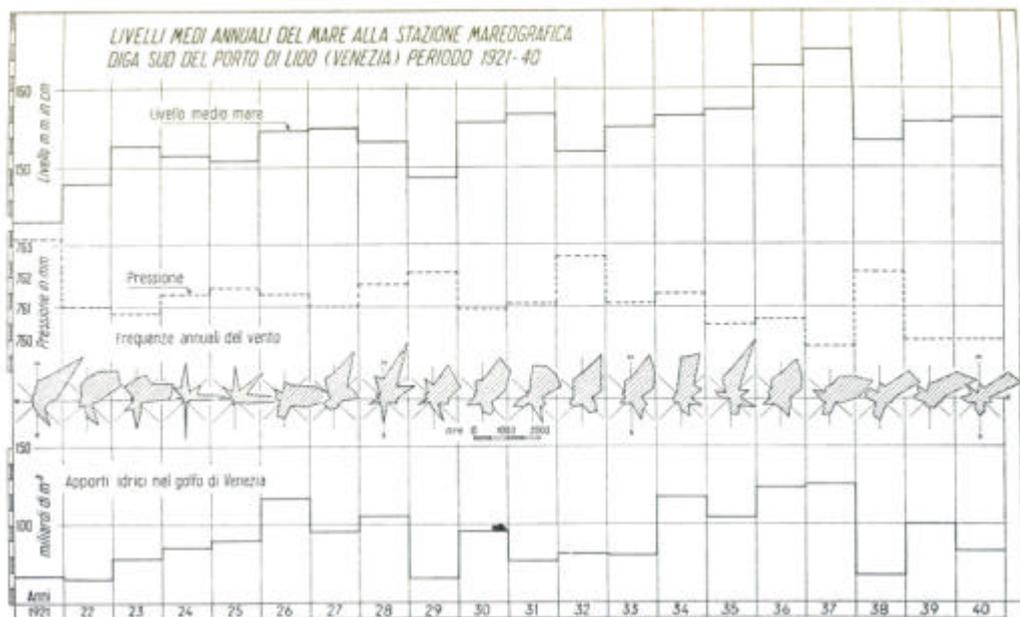


Fig.3

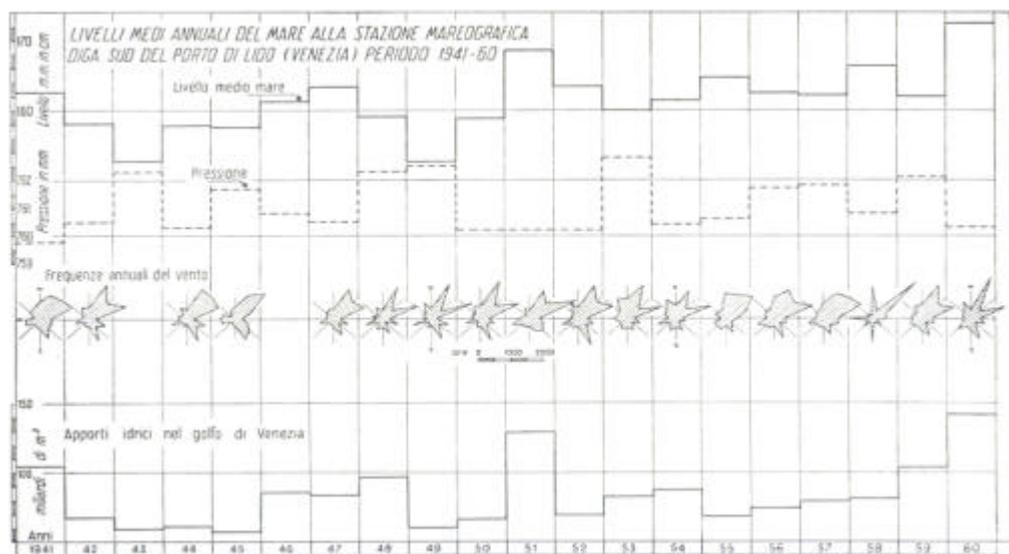


Fig. 3a

La lama d'acqua dolce, che essendo più leggera dell'acqua marina galleggia sulla superficie del Golfo per l'intervallo di circa 6 ore, ha per un anno medio una altezza di circa 3 mm.

In periodi di piena, però, essa è maggiore e durante le piene del novembre 1928 essa risulterebbe di circa 30 mm. Se si considera che il forte volume di piena del Po si dirige dalle foci verso l'Istria, formando un gran pennello liquido ed arginando le acque di piena scaricate dagli altri fiumi, si deve ritenere che la lama d'acqua dolce potrà in tali casi arrivare ad altezze superiori.

Non si può dimenticare, inoltre, l'influenza dei fattori fisici e chimici del Golfo di Venezia e conseguentemente la influenza anche della temperatura e della evaporazione, nonché della salinità dell'acqua negli andamenti dei livelli marini, elementi per i quali non si è in possesso di dati.

Allo scopo di esaminare l'influenza degli elementi meteorologici principali, vengono rappresentati alle figure 3 e 3a i valori medi annui del livello medio del mare e della pressione a Diga Sud Lido, nonché gli apporti totali nel Golfo di Venezia e le rose del vento registrato all'osservatorio di S. Nicolò di Lido.

Dall'esame dei grafici risulta evidente come gli andamenti dei livelli medi annui del mare siano influenzati dagli elementi meteorologici, la cui concomitanza può sensibilmente variarli.

Il minimo livello medio annuo del mare, nel quarantennio 1921-1960, è stato registrato nel 1921 con cm 143,0 <sup>(1)</sup> in corrispondenza alla massima pressione atmosferica media annua di mm 763,2 ed inoltre in presenza di un modesto volume d'acqua di apporto idrico annuo di 67 miliardi di  $m^3$  che, seppure non rappresenti il minimo volume assoluto del quarantennio, ne risulta, però, uno dei minimi verificatisi.

Il massimo livello medio annuo del mare risulta, invece, nel 1960 con cm 172,4, in corrispondenza di una pressione media annua di mm 760,3 molto vicina alla minima pressione media annua registrata (mm 759,7 nel 1937) ed al massimo apporto idrico annuo di  $m^3$  141 miliardi.

---

<sup>1</sup> Tutti i valori relativi ai livelli del mare che compaiono nella presente relazione sono riferiti al piano fondamentale dell' Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, che è posto a cm 150 sotto lo zero della rete altimetrica fondamentale dello Stato (corrispondente all'anno 1897 Anno centrale del periodo 1884-1909 di osservazioni mareometriche).

LIVELLI MEDI MENSILI DEL MARE ALLA STAZIONE MAREOGRAFICA  
DIGA SUD DEL PORTO DI LIDO (VENEZIA) ANNO 1921

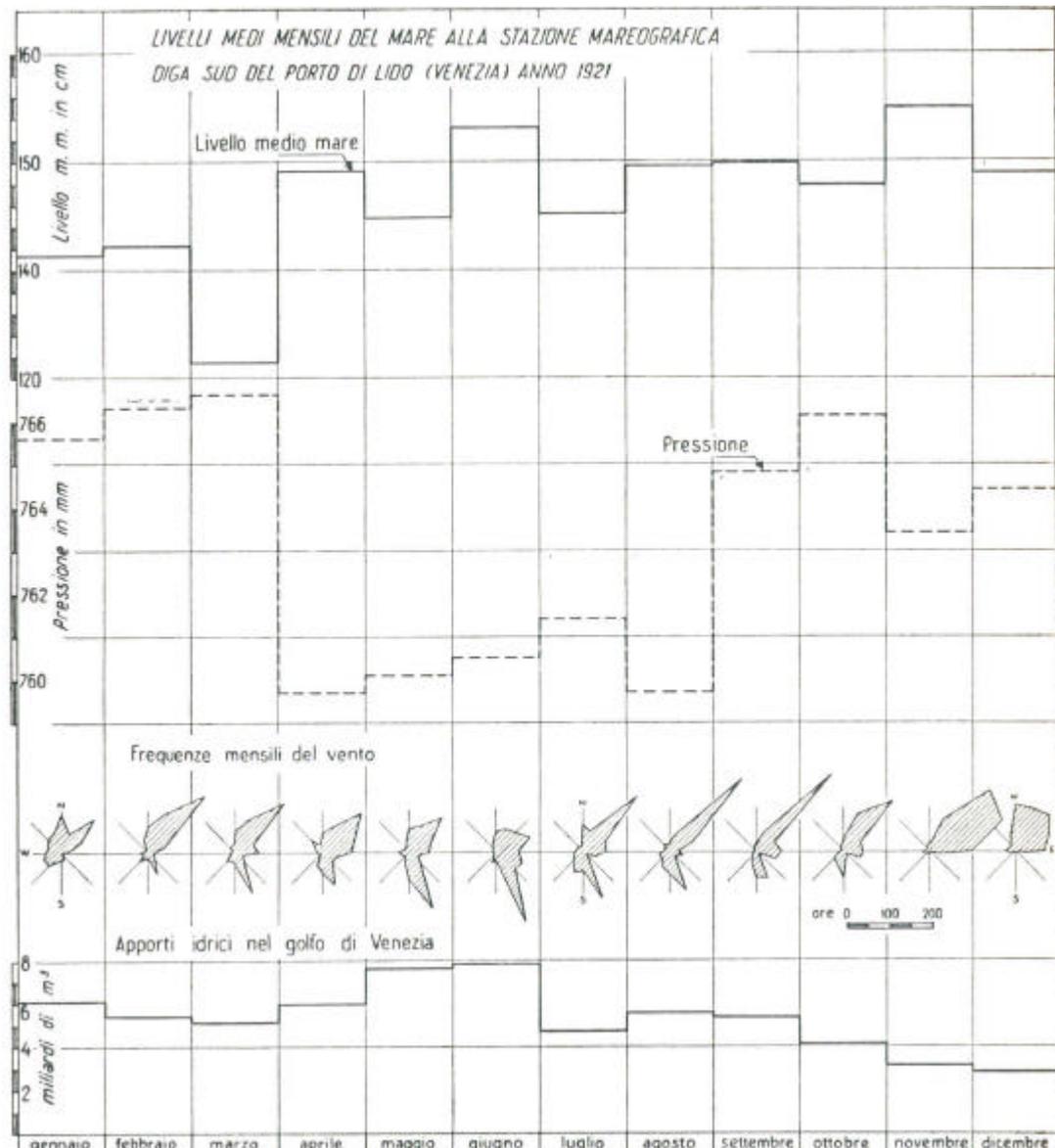


Fig. 4

Anche l'andamento degli altri livelli medi annui dimostrano come la concomitanza dei vari elementi meteorologici influiscano sull'andamento stesso.

Le rose delle frequenze annue dei venti riprodotte nei grafici dimostrano come i venti predominanti a Venezia siano quelli del I e II quadrante. È noto che i venti del I quadrante innalzano il livello medio del mare lungo la costa veneta e dato il loro evidente predominio, si può dire che i livelli del mare a Diga Sud Lido sono quasi sempre superiori a quelli dovuti all'attrazione degli astri, anche in modo notevole, per l'azione del vento.

Il vento di scirocco (II quadrante) ha una minore frequenza dei venti del I quadrante e la sua influenza è pertanto notevole solo per piccoli periodi. È bene notare, però, che quasi tutte le maree eccezionali sono state precedute da vento di scirocco, per cui si può affermare che esso innalzi il livello marino in misura maggiore del vento di bora, anche se ciò non risulti dalle rose dei venti. È bene anche ricordare che durante maree eccezionali, mentre a Venezia spira vento dal I quadrante, all'imboccatura del mare Adriatico spesso spira vento dal II quadrante.

Dall'esame della figura 4 risulta che nel 1921 (minimo livello medio annuo del mare cm 143,00) il minimo livello medio mensile del mare viene registrato, a Diga Sud Lido, nel mese di marzo con cm 131,4 in corrispondenza della massima media mensile della pressione (mm 766,6) ed in presenza di un apporto idrico mensile di miliardi di m<sup>3</sup> 5,139 leggermente inferiore alla media mensile (5,417 miliardi di m<sup>3</sup>), nonchè con relativa poca frequenza di vento.

Il massimo livello medio mensile del mare sempre dell'anno 1921 viene registrato, invece, nel mese di novembre con cm 154,9, in corrispondenza di una elevata media mensile della pressione, (mm 763,4) di un apporto idrico mensile piuttosto basso, ma d'altra parte in presenza di grande frequenza di vento del I quadrante.

Il massimo livello medio annuo viene registrato nel 1960 con cm 172,4. I relativi livelli medi mensili del mare, le pressioni atmosferiche, le rose dei venti e gli apporti idrici mensili vengono rappresentati nella figura 5. Dall'esame del grafico, alla stessa figura, risulta che nel 1960 il minimo livello medio mensile del mare viene registrato a Diga Sud Lido nel mese di Aprile con cm 157,4 che sembrerebbe, per quanto riguarda la pressione

LIVELLI MEDI MENSILI DEL MARE ALLA STAZIONE MAREOGRAFICA  
DIGA SUD DEL PORTO DI LIDO (VENEZIA) ANNO 1960

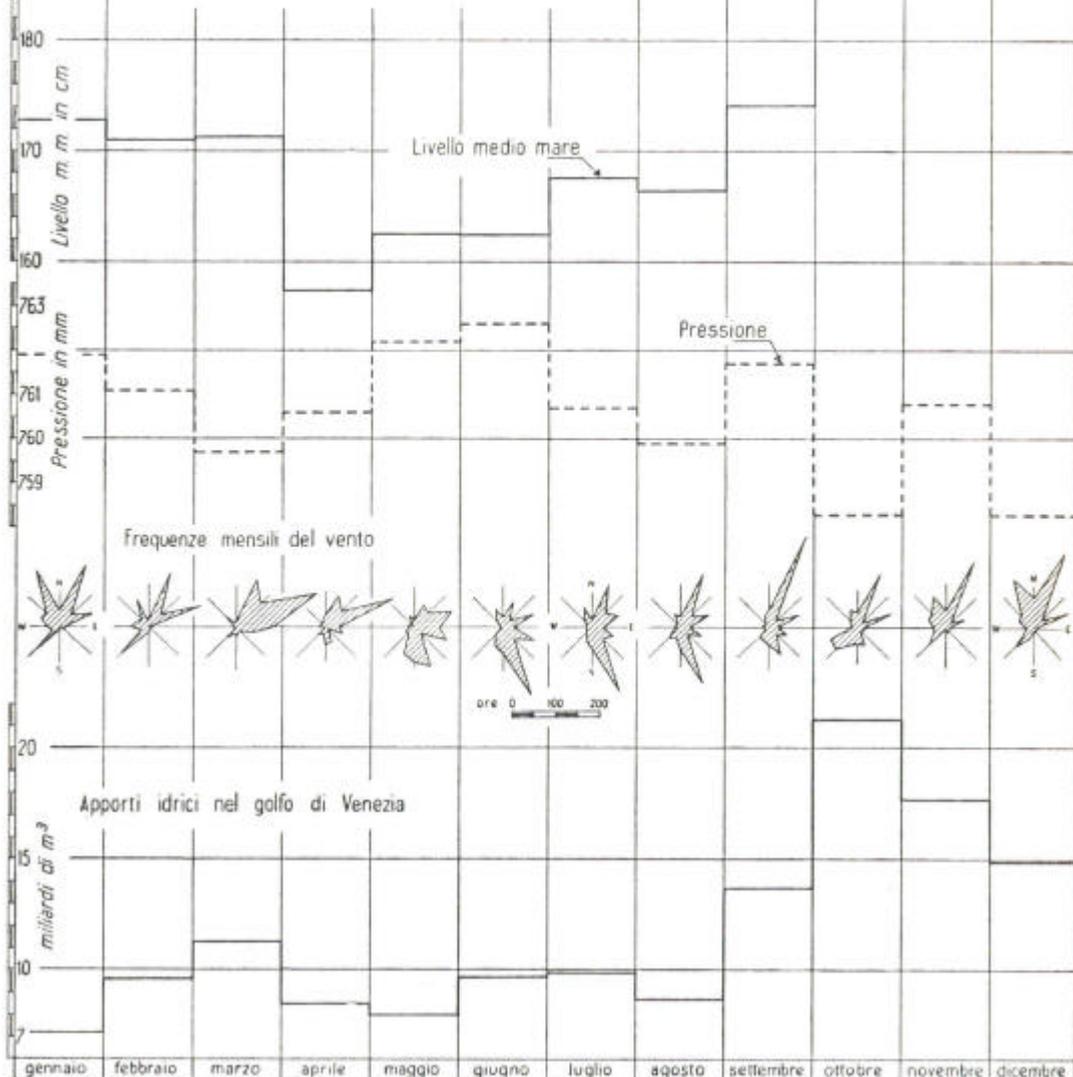


Fig.5.

atmosfera media di mm 760,6, non giustificato, se non si tenesse presente che parecchi valori riguardanti la direzione e velocità del vento sono stati interpolati, in quanto l'anemografo non ha funzionato per parecchi giorni del mese a causa di guasti meccanici.

Il massimo livello medio mensile del mare viene invece registrato nel mese di ottobre con cm 190,5 in presenza della più bassa pressione atmosferica media mensile (mm 758,3), di una modesta frequenza ed intensità di vento del I e II quadrante e del maggiore apporto idrico mensile nel Golfo di Venezia (miliardi di m<sup>3</sup> 21,349).

Da quanto esposto risulta evidente che l'andamento delle maree reali è quindi strettamente legato al variare delle condizioni meteorologiche. Gli scostamenti più rilevanti, tra la marea registrata e la marea astronomica prevista, si hanno, naturalmente, quando gli effetti di tali influenze, che in qualche caso sono contrastanti, si sommano.

Tenendo presente che i massimi livelli di marea normalmente si verificano nei mesi da ottobre a gennaio, livelli che molto spesso sommergono vaste zone della città, ho ritenuto opportuno esaminare come detti livelli si propaghino dalla stazione mareografica di Diga Sud Lido al bacino di S. Marco.

Alla figura 6 vengono rappresentati i diagrammi contemporanei di due maree eccezionali, registrati ai mareografi di Diga Sud Lido - S. Nicolò di Lido e Punta della Salute.

Le maree prese in considerazione sono quelle del novembre 1951 e dell'ottobre 1960; la prima rappresenta il valore massimo, registrato a Punta della Salute con cm 301,0 (m 1,57 s. l. M. m.) il giorno 12 alle ore 8,05 e la seconda rappresenta una marea di poco inferiore alla precedente cm 295,0 (metri 1,45; s. l. M. m.), verificatasi il giorno 15 dell'ottobre 1960.

Da un esame dei diagrammi si rileva la successione della propagazione della marea all'interno della laguna sia nel tempo che nell'altezza. Da Diga Sud Lido a S. Nicolò di Lido, l'onda di marea si propaga, in media in 34' 20", mentre da S. Nicolò di Lido a Punta della Salute, la propagazione avviene in media in 22' 32". In totale da Diga Sud Lido a P. Salute circa 56' 52".

È da osservare inoltre che le registrazioni di marea, a Diga Sud Lido, sono alterate dal forte moto ondoso del mare aperto, per cui nel caso specifico della marea del 1951 non risulta il fenomeno dell'insaccamento

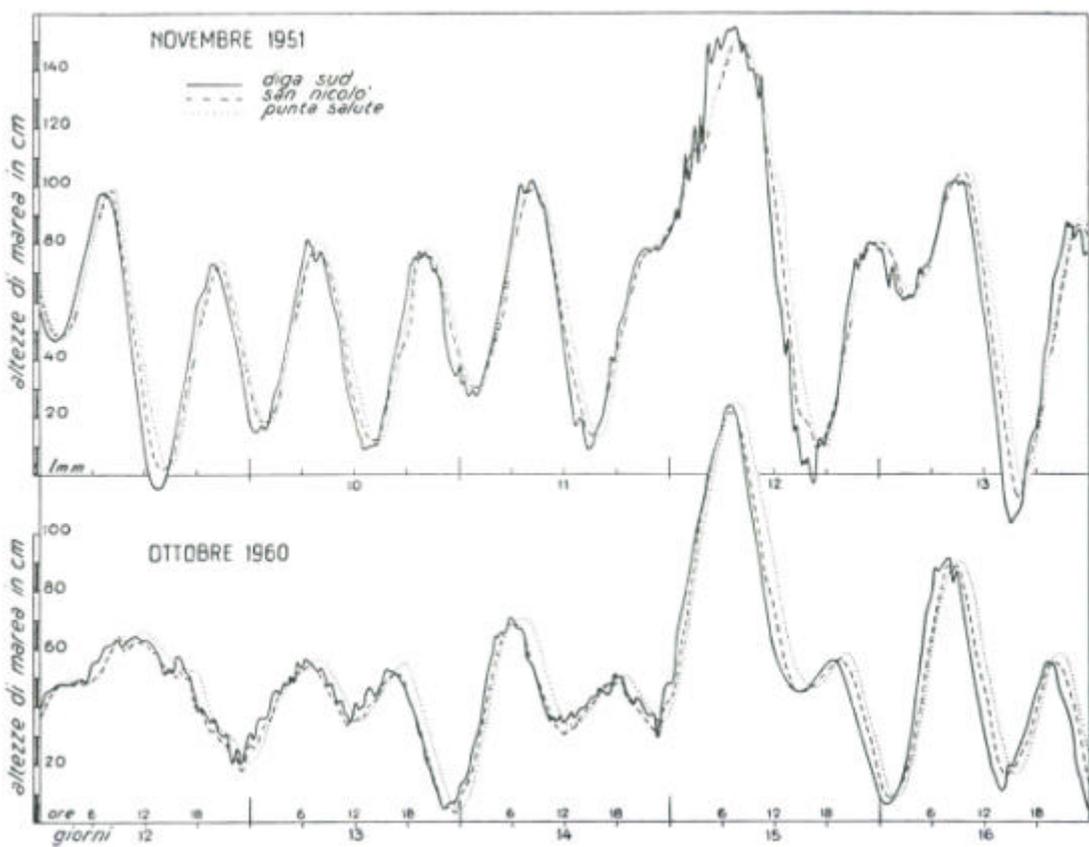


Fig. 6.

della marea all'interno della laguna, per il quale i livelli del mare a Punta della Salute sono superiori ai valori dei livelli del mare di Diga Sud Lido.

## DISCUSSIONE

PADOAN: Riassumo brevemente le due memorie, del collega Pavanello e mia. Le riassumo in succinto anche perchè mi mancano le diapositive, quindi rimando per ogni dettaglio al testo, quale verrà pubblicato negli Atti.

Si tratta di due casi particolari: quello, di Pavanello studia le condizioni del mare alla Diga sud del Lido. In base alle osservazioni mareografiche medie si trova una relazione, abbastanza marcata, tra i livelli medi marini e le variazioni della pressione. A pressione alta-media corrisponde sempre un livello marino relativamente basso; a una pressione bassa-media, corrisponde un livello marino medio relativamente alto. Pavanello inoltre, ai fini della previsione dell'acqua alta nel Bacino di S. Marco, ha ricercato anche qual'è il tempo che intercorre tra la massima punta di marea alla diga Sud del Lido e quella nel Bacino di S. Marco. Questo tempo è all'incirca di 50', dei quali press'a poco 25 - la metà -tra la Diga Sud del Lido e San Nicolò, cioè lungo il percorso delle acque attraverso i canali maggiori della Laguna, e altri 25', fra S. Nicolò di Lido e il Bacino di S. Marco. Nella mia memoria, invece, vengono presi in considerazione due casi particolari, il primo tratta di una bassa marea prolungata e il secondo invece di una delle più alte maree che si sono registrate e anche delle più recenti.

Si è presa in considerazione la bassa marea, non perchè provochi gli stessi danni dell'alta, ma perchè la vita di Venezia è in stretta relazione con le condizioni di livello marino e quindi anche la bassa marea produce inconvenienti, sia per l'interruzione dei traffici lungo i canali interni della città, sia per l'accesso dei grossi natanti attraverso i canali principali, sia infine perchè, mancando il carico dell'acqua, le fondamenta in genere accusano notevoli cedimenti. Come del resto era logico attendersi, la bassa marea è in relazione a un periodo prolungato di alte pressioni e di vento debole in tutto il bacino Adriatico.

L'alta marea è quella del Novembre 1951, ed è in concomitanza con burrasche generali in tutto l'Adriatico, con forti piene di fiumi e con la nota rotta del Po a Occhiobello.

Questa alta marea si è avuta in concomitanza della permanenza in alta Italia di un centro ciclonico. La punta massima si è avuta quando il centro ciclonico ha sorvolato l' Adriatico. Durante questo breve periodo di poche ore, si è avuto anche un vento molto forte, che ha girato come sempre nei quadranti attorno ad Est. Dalla ricerca che si è fatta si è visto che lo studio di queste alte maree deve essere effettuato prendendo in esame non soltanto le condizioni della pressione e del velite locali ma anche quelle di tutto il bacino Adriatico.

Noi ci troviamo in una condizione che è molto più difficile di quella nella quale si trova l'Olanda e anche l'Estuario dell' Elba, perchè l'Adriatico bagna tre paesi: Italia, Grecia e Jugoslavia. Non sempre si possono avere a disposizione dati, altro che a distanza di anni dall'evento, e questo serve poco per le previsioni, naturalmente. Ad ogni snodo la Commissione dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, ha incaricato il Prof. Polli di svolgere opera presso i competenti istituti degli altri due Stati, in modo da vedere se si possa istituire un rapido collegamento elle possa servire per delle segnalazioni tempestive dei dati.

Questo per quanto riguarda l'organizzazione, che si è visto essere necessario estendere a tutto il bacino dell'Adriatico. Per quanto riguarda lo studio, io ho sentito con molto piacere delle ricerche che sono state effettuate in Paesi stranieri ed io mi auguro che ci possa essere d'ora sii poi la più stretta collaborazione fra gli studiosi stranieri e i nostri studiosi italiani, che pure si sono approfonditi sull'argomento.

Non siamo riusciti, per ora a trarre delle conclusioni, ma io credo che con l'estendersi e soprattutto con l'affinamento dello studio e con l'uso di macchine elettroniche si possa andare molto avanti e forse riuscire a ottenere dei dati che servano ai tecnici per arrivare, se non a delle previsioni a lunga scadenza, per lo meno ad una organizzazione di segnalazioni e di avvistamento.

Certo ogni problema, come diceva giustamente il collega che mi ha preceduto, non è mai identico ad altro similare. Per la città di Venezia, quello che costituisce il vero e proprio pericolo è la estrema punta dell'alta marea e si tratta di pochi centimetri, ed è su quei pochi centimetri che noi concentriamo i nostri sforzi ed i nostri studi.

A grandi linee, nell'intervallo - da un metro sopra il livello del mare a un metro e cinquanta, che è l'ultima acqua alta recentemente verificatasi - sussiste il pericolo.

È questo il problema posto agli studiosi italiani: vedere se si possono affinare i calcoli, in modo di procedere a degli studi un pò più particolareggiati di quelli che si sono eseguiti finora, per arrivare ad una previsione relativa a quelle alte maree. Dai dati sinora raccolti, non ci sentiamo di formulare delle proposte per una segnalazione regolare per Venezia, per ora almeno. Possiamo però in certa misura suggerire dei servizi di pre-allarme, e cioè possiamo dire ai giornali, alle autorità cittadine, quando determinate configurazioni isobariche, determinate condizioni di vento, possano dare origine alle altissime maree. Noi siamo arrivati a questo punto e certamente non ci fermeremo, come non si fermeranno gli studiosi della situazione del mare del Nord.

Quindi non mi resta altro che sollecitare tutti gli interessati di proseguire nella loro opera e di fare ancora dei passi in avanti, in modo da dare una risposta soddisfacente e conclusiva all'iniziativa congressuale.

**PRESIDENTE:** Ringrazio vivamente l' Ing. Padoan, che con la sua lunga esperienza ci ha portato delle informazioni molto utili. Certamente il problema a Venezia è molto più delicato che in altri luoghi.

**PADOAN :** Mi si permetta di fare una breve aggiunta. Siccome preoccupa in questa laguna anche l'abbassamento del sottosuolo, perchè siamo su terreni che sono molto cedevoli, la Commissione dell' Istituto Veneto si è preoccupata di questo fattore e recentemente sono state eseguite delle livellazioni che sono state poste in raffronto con quelle eseguite in precedenza.

Da queste misure si è rilevato in via preliminare che l'abbassamento medio è di circa 2 mm all'anno, 20 cm al secolo. A questo si aggiunge l'aumento medio del livello del mare, che è calcolato di 1 mm all'anno, 10 cm al secolo. Sono dati che preoccupano, questi, perchè Venezia è oramai in condizioni limite e quindi non si può più aspettare oltre misura. Bisognerà trovare le ragioni di questo abbassamento del suolo e farvi fronte. Tra queste ragioni una di quelle che è stata prospettata e della quale ho parlato ieri, è quella degli emungimenti delle falde artesiane; attingimenti che avvengono non soltanto nel territorio limitrofo a Venezia, ma anche in quello retrostante la terraferma, ed in misura molto sensibile.

Si tratta, dalle prime ricerche fatte, di qualche decina di metri cubi al secondo. Nel territorio lagunare, depauperando la falda artesiana, si ha certamente una diminuzione di carico piezometrico e tale diminuzione induce evidentemente un cedimento del sottosuolo che si aggiunge a tutte le altre condizioni sfavorevoli.

Dopo le molte induzioni che sono state fatte sull'argomento, la Commissione dell'Istituto Veneto coli le ricerche fatte ed in corso consentirà di giungere fra non molto a conclusioni basate su dati ed elementi di sicura fonte e ciò costituirà un motivo di benemeranza dell'Istituto stesso.

Desidero infine chiedere agli illustri colleghi stranieri se in altri territori vi sono casi analoghi e cioè di terreni, per esempio alla foce dell'Elba, che si trovino nelle nostre condizioni, con notevoli abbassamenti.

GROEN : As to the last question, if I understood it right, it was about the lowering of the mean level of the ground. We have the same thing along the North Sea. I do not believe the relative change of sea level and ground level is as large in the Netherlands as it is in Venice, but it is also some 15 cms in a century.

I might add a few more words on the first remark which the speaker made. I think the first thing that is needed for making forecasts of sea level is not an electronic computer, but wind forecasts, and if you have reliable wind forecasts for the Adriatic Sea, I think you could construct a technique, a method of predicting sea levels, if you found a young physicist who was willing to devote a year of his life, so to speak, to go into this problem and find, by theoretical methods and by empirical comparisons, the way to these predictions.

I think that although the circumstances in the Adriatic Sea are different from the North Sea, they are not more difficult than in the North Sea. So I think that if for the North Sea the problem of practical predictions has to a large extent been solved - not completely of course, but fairly satisfactorily - it should also be possible for the Adriatic Sea. Thank you.

HANSEN: The most important points I think have already been mentioned by Prof. Groen. But I would like to add that in the Adriatic Sea you are in a very- good position as you are able to set up a number of gauges starting in the Southern part of Italy along the Southern coast. You can install gauges at points about 100 kms apart and then you can get really good information - and it is not absolutely necessary (although it would be very nice) to have observations on the other side. Furthermore, there may be a grid of meteorological stations in the Mediterranean, and so far I have the feeling, a warning system in the Adria should be set up in the following way : All observations should be collected in a centre, where they are available to all scientists who are interested. In the Liverpool Tidal Institute

there has been established such a data centre collecting all storm-surge measurements around the whole North-Sea. Experiences should be exchanged and different methods should be tried.

In spite of the fact that the surge problem in the Adriatic Sea is up to a certain degree different from that in the North Sea, but more similar to the problems in the Baltic, the same methods seem to be applicable.

VOCE IN SALA : Ma ci sono i fenomeni delle sesse ! Sono variazioni di livello particolari.

HANSEN : Yes, that is a problem, but I think it is not so very difficult to take this into account. There have already been some investigations concerning the oscillations like seiches in lakes.