

ASPETTI SULL'IDRODINAMICA...

Da tempo la laguna di Venezia è soggetta a intensi processi erosivi che stanno profondamente modificando le forme più caratteristiche della sua morfologia. Si tratta di processi evidenziati in modo complessivo dalla drastica riduzione delle superfici di barena, da una parte, e dall'approfondimento generalizzato dei suoi fondali, soprattutto nella laguna centrale e meridionale.

Le cause di tali fenomeni sono da ricercare nell'accresciuta intensità del moto ondoso comunque generato (onde da vento, onde prodotte dai battelli in navigazione) e negli interventi dell'uomo sulla laguna, in particolare la costruzione dei moli alle bocche di porto e lo scavo dei grandi canali navigabili. Tra tutti lo scavo del canale Malamocco-Marghera, come è stato evidenziato sia dai confronti batimetrici fra i diversi rilievi topografici disponibili, sia dalle indagini teoriche condotte con sofisticati modelli matematici.

Le conseguenze sono drammatiche non solo a danno dei fondali lagunari, progressivamente erosi, ma anche sulla rete dei canali cittadini, sulle strutture dei suoi edifici storici e delle sue fondamenta.

Maggiori profondità dei fondali rispetto al passato hanno apprezzabilmente accresciuto l'altezza del moto ondoso da vento e quindi l'energia trasportata dalle onde. Di conseguenza si è accentuata la sollecitazione sulle strutture (fondali ed edifici) che sono destinate ad assorbire e a dissipare l'energia delle onde generate dal vento.

Le indagini di confronto tra la laguna attuale e le lagune del passato, i cui risultati sono apparsi recentemente su alcune delle più importanti riviste internazionali, dimostrano inequivocabilmente come per lo stato attuale l'intensità dei processi erosivi si sia apprezzabilmente accresciuta.

Pesantemente negative per i fenomeni erosivi anche le conseguenze del moto ondoso generato dai natanti in navigazione. Per alcuni battelli tipici della laguna si è dimostrato come il parametro fondamentale che controlla l'altezza delle onde generate dipenda dalle velocità di navigazione con una potenza della velocità stessa che varia con la forma della chiglia ma che risulta quasi sempre superiore a 1.2-1.5. Di qui la necessità, volendo contenere l'altezza delle onde generate e quindi i danni a carico dei fondali e degli edifici, di ridurre drasticamente la velocità di percorrenza dei canali, in particolare dei rii cittadini.

Purtroppo nessuna decisione in tal senso è stata presa e nessun controllo sistematico per il rispetto dei limiti di velocità dei natanti è stato messo in atto dal governo della città.

Quanto alle grandi navi e ai canali navigabili, i danni sui fondali lagunari sono stati ripetutamente evidenziati e sono dimostrabili senza tema di smentite dal confronto fra il rilievo batimetrico del 1972 e quello attuale.

Relativamente alla grandi navi che percorrono canali semi-confinati quali sono quelli navigabili della laguna, in particolare quelli artificiali, ad esse si deve guardare non solo con riferimento al moto ondoso generato, ma anche considerando le correnti indotte dal dislocamento di importanti volumi d'acqua da parte delle carene immerse, di sezione confrontabile con quella dei canali stessi.

Le onde generate in prossimità della nave possono essere di altezza non rilevante. Propagandosi lateralmente sui bassifondi lagunari, tuttavia, tali onde tendono a diventare sempre più ripide

fino anche a frangere, come dimostra l'esperienza. Le correnti indotte dal dislocamento di grandi volumi d'acqua sollecitano a loro volta i bassifondi adiacenti ai canali percorsi, sovrapponendo i loro effetti a quelli delle onde e contribuendo a risospingere i sedimenti dal fondo. Questi sedimenti solo in minima parte hanno modo di ridepositarsi sui bassifondi dai quali sono stati risospesi. Per la maggior parte essi sono presi dalle correnti indotte dalla navigazione che si aprono davanti alla prua e si richiudono a poppa della nave, facendo depositare il materiale risospeso nei canali stessi.

Gli effetti dell'interazione correnti - moto ondoso - fondali mobilitabili sono, alla luce di queste brevi considerazioni, assolutamente negativi per la morfologia lagunare e per la salvaguardia del suo ambiente.

Alcune considerazioni sulla velocità della corrente nei canali di Venezia

Da qualche anno a questa parte, dopo l'inizio dei lavori alle bocche, sono segnalate da più parti importanti modificazioni degli assetti delle correnti intorno alla città e lungo alcuni dei suoi rii. Purtroppo né il concessionario dei lavori (Consorzio Venezia Nuova) né tantomeno il suo controllore (?) deputato (Magistrato alle Acque) hanno ritenuto di dover intraprendere osservazioni sistematiche al riguardo. Osservazioni e misure sporadiche di corrente evidenziano, tuttavia, la consistenza del problema. Si registrano in particolare importanti passaggi d'acqua, diretti da sud verso nord in caso di flusso di marea entrante, al di sotto dei ponti translagunari. Si tratta di correnti che non erano osservate prima con la stessa intensità.

Si riscontrano inoltre cambiamenti di direzione delle correnti nei rii del sestiere di Cannaregio, i quali sembrano confermare spostamenti di partiacque fra il bacino del Lido e quello di Malamocco, a seguito delle nuove opere alle bocche. Misure di portata nel nodo fra Canal Grande e Canale di Cannaregio effettuate nel novembre 2011, vedi Figg. 1-2 sotto riportate, e osservazioni in genere sul comportamento delle correnti in altri canali limitrofi, documentano modificazioni locali del giro delle correnti, che sollecitano i fondali a ridosso delle singolarità presenti sui muri degli edifici con effetti da valutare, ma sicuramente non positivi.

Cfr. ad esempio filmati relativi a velocità nel rio di San Marcuola a Venezia.

<https://youtu.be/2CGlzZfjFCg>

<https://youtu.be/1cNj0Fpyzfo>

https://youtu.be/5RgXSNObz_k

<https://youtu.be/4DeBQPnvJHM>

Nelle figure citate, in particolare, è messo in evidenza che in situazione di marea entrante il Canale di Cannaregio è alimentato dal Canal Grande con flusso proveniente sia da Rialto sia dalla Stazione Ferroviaria. In situazione di marea uscente, il flusso proveniente dal Canale di Cannaregio si suddivide nelle due direzioni, una verso Rialto e l'altra verso la Stazione Ferroviaria. Nel Canale di Cannaregio, di conseguenza, fluiscono portate maggiori rispetto a quelle dei due rami del Canal Grande, con velocità della corrente che non sono proporzionate rispetto alle modeste dimensioni del canale stesso. Il getto che si forma in occasione del massimo riflusso nel punto di immissione in Canal Grande, in particolare, è ben avvertibile da chi percorre quest'ultimo canale con piccole imbarcazioni a remi, che sono improvvisamente deviate rispetto al loro percorso.



Fig. 1 - Misure di portata nel nodo Canal Grande-Canale di Cannaregio nei pressi della chiesa di S.Geremia effettuate il giorno 26/11/2011 nella fase di marea crescente fra le ore 8.57 e le ore 9.06. Nelle tre sezioni del nodo le misure non sono contemporanee, ragione per cui la continuità non può essere rigorosamente rispettata.



Fig. 2 - Misure di portata nel nodo Canal Grande-Canale di Cannaregio nei pressi della chiesa di San Geremia effettuate il giorno 26/11/2011 nella fase di marea calante fra le ore 15.06 e le ore 15.17. Nelle tre sezioni del nodo le misure non sono contemporanee, ragione per cui la continuità non può essere rigorosamente rispettata.

La situazione sinteticamente descritta non era di certo quella riscontrata all'epoca dei "Rilievi contemporanei di velocità della corrente di marea nei canali della Giudecca, Fondamenta Nuove, Canal Grande ed in alcuni rii interni della Città" eseguiti da Livio Dorigo nel maggio 1962. Nella Fig. 3, tratta dalla pubblicazione che illustra i dati raccolti, si osserva che il flusso nel Canale di Cannaregio e nel Canale Grande all'altezza di Piazzale Roma (rispettivamente stazz. 33 e 40) è concorde, diversamente da quanto si osserva oggi.

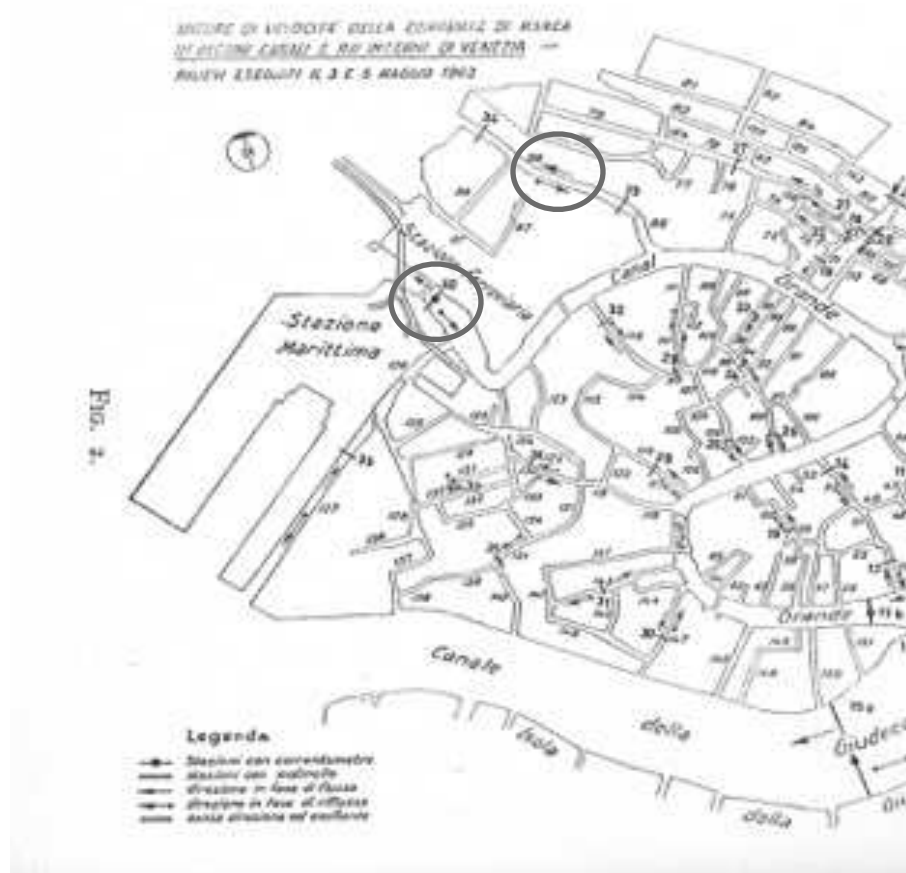


Fig. 3 - Rilievi contemporanei di velocità della corrente di marea nei canali della Giudecca, Fondamenta Nuove, Canal Grande ed in alcuni rii interni della Città. Istituto Veneto - Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti - Venezia 1966.

Negli anni '90, il fenomeno dell'inversione del flusso nel tratto di Canal Grande tra San Geremia e il Tronchetto era stato comunque già notato. Nel rapporto sulle "Misure correntometriche in Canal Grande (14 gennaio - 1 febbraio 1991) del CNR, si afferma che in fase di marea calante, la corrente nei pressi della Stazione Ferroviaria è diretta verso il Tronchetto, a differenza della corrente rilevata nelle altre due postazioni (nei pressi di S. Angelo e di S. Maria del Giglio) che segnalano, invece, un flusso diretto verso S. Marco.

Si ha ragione di credere che tale fenomeno si sia aggravato, come si è detto, soprattutto nel corso degli ultimi dieci anni, anche se non si ha modo di ricostruirne oggettivamente la tendenza per mancanza di dati.

Sarebbe, quindi, quanto mai auspicabile che i fenomeni sopracitati, inversione dei flussi e incrementi delle velocità della corrente, venissero monitorati attraverso estese e sistematiche campagne con rilievi contemporanei di portata e di livello, per aver una conferma sperimentale dell'entità del fenomeno.

E' da considerare, infatti, che un'accresciuta intensità della corrente contro le fondamenta e i muri degli edifici può favorire a sua volta, tanto quanto il moto ondoso provocato dalle imbarcazioni, un degrado generalizzato delle strutture . Muri e fondamenta non sono, infatti, impermeabili e l'innescò di fenomeni di pompaggio attraverso le sconnessioni esistenti comportano a lungo andare l'asportazione dei sedimenti più fini dall'interno degli edifici verso l'esterno nei canali e la formazione di cavità e vuoti, più o meno grandi, che inducono la possibilità di crolli.

Analisi delle registrazioni dei livelli di marea dal 1989 al 2014

Le modificazioni del regime delle correnti di marea che sembrano essersi verificate in laguna ed in particolare nell'intorno del Centro Storico dopo l'inizio dei lavori alle bocche richiederebbero di essere verificate e monitorate mediante apposite campagne di rilievi correntometrici.

In via preliminare, peraltro, alcune interessanti valutazioni possono essere ottenute anche dall'analisi delle registrazioni delle stazioni della Rete Mareografica della Laguna di Venezia, gestita da ISPRA, Servizio Laguna di Venezia. I livelli di marea, infatti, costituiscono la principale "forzante" delle correnti lagunari, per cui le variazioni di ampiezza e di fase delle oscillazioni del livello nelle diverse stazioni della rete possono essere indicatori attendibili, sia pure per via indiretta, delle variazioni intervenute ed in atto sul regime delle correnti lagunari.

A tale scopo sono state prese in esame le elaborazioni effettuate da ISPRA, Servizio Laguna di Venezia, sui dati relativi ad una serie di stazioni ubicate alle bocche di Porto e nella laguna, per il periodo che va dal 1989 al 2014¹. Le elaborazioni fornite sono preliminari e fanno parte di un'attività di analisi e di reporting svolta da ISPRA sul monitoraggio dell'andamento delle maree e del livello medio del mare (ISPRA - Annuario dei dati Ambientali: <http://annuario.isprambiente.it/ada/scheda/5767/13>, <http://annuario.isprambiente.it/ada/scheda/5766/13>)

Le elaborazioni suddette forniscono, anno per anno e per ogni stazione, le cosiddette "costanti armoniche" della marea, ossia i parametri che quantificano le diverse componenti della marea astronomica. Le variazioni nel tempo delle costanti armoniche sono particolarmente importanti perché indicano modifiche al regime delle maree legate non a fenomeni climatici transitori ma a cambiamenti di carattere più ampio, come possono essere le modifiche dell'assetto morfologico del bacino lagunare.

Sulla base della costanti armoniche è possibile determinare, anno per anno:

- la variazione dell'ampiezza media dell'oscillazione della marea in un generico punto della laguna

¹ Si ringrazia il dott. Marco Cordella di ISPRA - Servizio Laguna di Venezia, per aver messo gentilmente a disposizione i dati qui utilizzati.

- la variazione del ritardo di fase con cui la marea si presenta in tale punto rispetto al mare o rispetto ad altri punti del bacino

Nel caso in esame sono state prese in considerazione le stazioni ubicate alle 3 Bocche di Porto (Chioggia, Malamocco e Lido) e 7 stazioni ubicate nella laguna centrale ed in particolare in prossimità del Centro Storico (Fig. 4).

Il grafico di Fig. 5 riporta per tali stazioni l'andamento dell'ampiezza della marea astronomica nel periodo che va dal 1989 al 2014. I dati sono stati ottenuti sommando le ampiezze delle 7 componenti principali della marea.

Pur essendo l'andamento delle curve piuttosto irregolare e segnato da alcuni dati mancanti, dal grafico si possono comunque trarre alcune valutazioni che, sia pure con carattere preliminare, sembrano significative.

Si nota in particolare che la tendenza generale è quella di una sostanziale uniformità dei dati per il periodo 1989-2002, mentre a partire all'incirca dall'anno 2003 si assiste ad una progressiva diminuzione dell'ampiezza dell'onda di marea per tutte le stazioni esaminate, ad esclusione di quelle ubicate alle Bocche di Porto (curve tratteggiate in Figura 5). Questo risultato suggerisce che negli ultimi anni l'oscillazione della marea all'interno della laguna ha subito una certa attenuazione. Questo effetto è in accordo con il fatto che le opere alle Bocche hanno presumibilmente incrementato le resistenze idrauliche che la marea incontra nel superamento delle Bocche stesse come conseguenza dell'inserimento di opere fisse.

Il grafico di Figura 6 riporta, per le medesime stazioni e per il medesimo intervallo temporale, il ritardo di fase della marea astronomica rispetto al mare. I dati sono stati ottenuti calcolando, per ciascuna annata, la media delle fasi di ciascuna componente pesate in base all'ampiezza della componente stessa. Anche in questo caso i dati mettono in evidenza alcuni aspetti particolarmente interessanti.

Si nota che l'andamento delle curve resta sostanzialmente uniforme per gli anni che vanno dal 1989 al 2002, mentre all'incirca a partire ancora dal 2003 i ritardi di fase rispetto al mare tendono progressivamente ad aumentare. Questa tendenza riguarda tutte le stazioni considerate, ad eccezione di quelle alle Bocche di Porto (linee tratteggiate), i cui ritardi di fase restano sostanzialmente stabili intorno allo zero. Se ne conclude, come nel caso precedente, che la propagazione della marea dal mare verso l'interno della laguna sembra essersi in qualche modo modificata negli ultimi anni. I maggiori ritardi interni rispetto al mare sembrerebbero anche in questo caso essere riconducibili alle maggiori resistenze idrauliche che la corrente oggi incontra nel superamento delle Bocche, rispetto alla situazione degli ultimi anni del secolo scorso.

Nel dettaglio, si può osservare che i maggiori incrementi del ritardo di fase si riscontrano per le stazioni di Faro Rocchetta e di Treporti, mentre incrementi sensibilmente inferiori sono segnalati per le stazioni di S. Nicolò e Punta della Salute.

Queste indicazioni sono particolarmente importanti perché sono proprio gli sfasamenti tra le oscillazioni del livello nei diversi punti del bacino che governano localmente l'intensità e la direzione delle correnti di marea. Poiché i dati qui presentati mostrano che le tendenze non sono omogenee per tutte le stazioni, si può ipotizzare che le variazioni osservate sul regime delle correnti a Venezia possano ricondursi ad una "mappa" degli sfasamenti tra gli specchi d'acqua che circondano la città che negli ultimi anni è andata modificandosi.

In buona sostanza i dati suggeriscono in primo luogo che, nella configurazione attuale delle bocche, pur sembrando nel complesso aumentata la resistenza idraulica delle Bocche di Porto,

possa essere stata maggiormente favorita la penetrazione delle correnti di marea dalla Bocca di Lido verso Venezia lungo il C. di S. Nicolò, rispetto alla direttrice che va verso la Laguna Nord lungo il C. di Treporti. In secondo luogo, poiché sembra essere sensibilmente incrementato il ritardo di fase tra la Bocca di Malamocco e il suo bacino interno (stazione Faro Rocchetta), viene da pensare che gli interventi alla Bocca di Malamocco possano aver aumentato le resistenze idrauliche di questa Bocca di porto in modo più rilevante rispetto a quanto possa essere accaduto per la Bocca di Lido. Se così fosse, ne risulterebbe modificato il ruolo reciproco delle Bocche nell'alimentazione dei rispettivi bacini di influenza ed in particolar modo della laguna centrale. Questi effetti potrebbero aver avuto delle ripercussioni sia sull'intensità delle correnti intorno a Venezia che sulla posizione della fascia di partiacque che separa i bacini di influenza di ciascuna bocca.

In conclusione si ritiene di ribadire il carattere del tutto preliminare delle osservazioni suesposte che richiederebbero, per essere meglio precisate e perfezionate, ulteriori e più accurate elaborazioni, estese anche ad altre stazioni della Rete Mareografica della Laguna di Venezia.

I dati mareografici, inoltre, pur assumendo un particolare valore soprattutto per il fatto di essere disponibili in serie storiche molto estese, non possono da soli fornire indicazioni quantitative ed esaustive sugli aspetti idrodinamici qui considerati. Valutazioni più precise si potrebbero probabilmente ottenere se a tali osservazioni si affiancassero indagini mirate sulle correnti di marea alle Bocche e nell'intorno del Centro Storico, consistenti in misure correntometriche affiancate da elaborazioni e simulazioni modellistiche.



Fig. 4 - Stazioni mareografiche considerate nell'analisi.

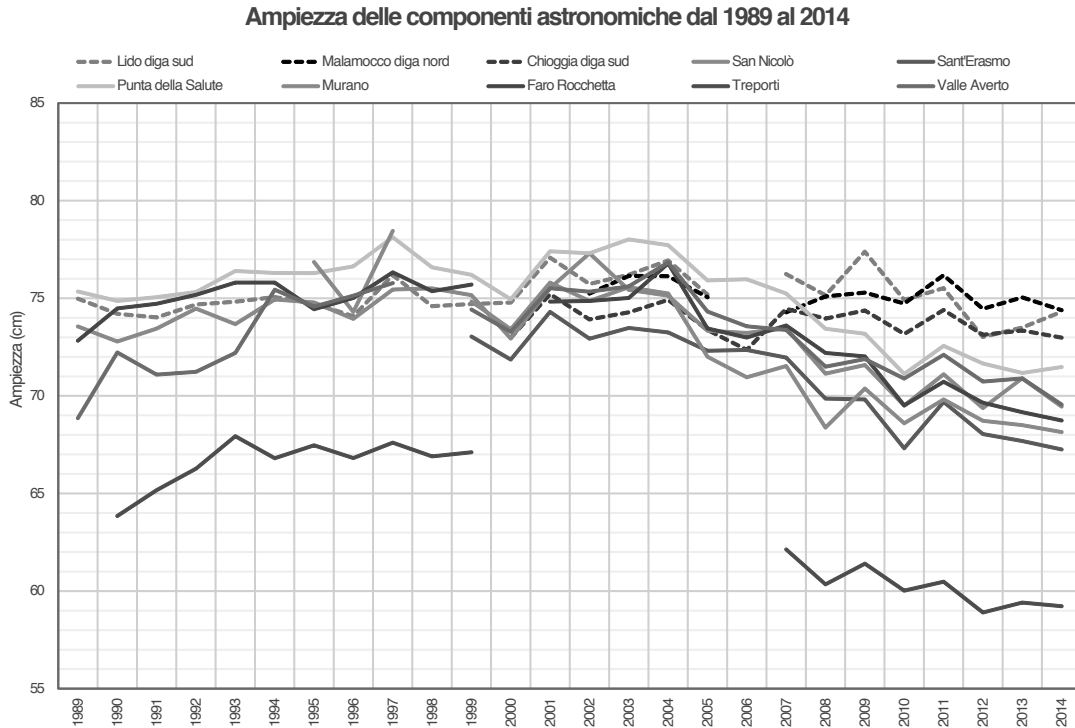


Fig. 5 - Ampiezza della marea astronomica per le stazioni considerate. I dati sono stati ottenuti sommando le ampiezze delle 7 componenti principali della marea astronomica (fonte: elaborazione dati ISPRA).

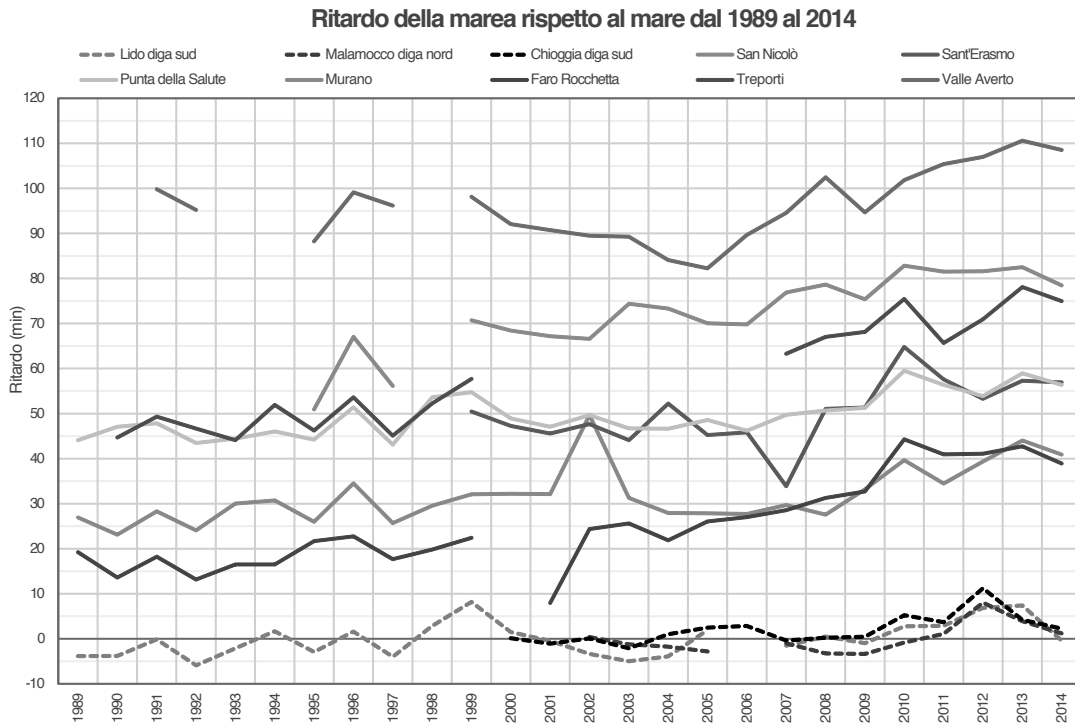


Fig. 6 - Ritardo della marea astronomica rispetto al mare per le stazioni considerate. I dati sono stati ottenuti calcolando la media delle fasi di ciascuna componente pesate in base all'ampiezza della componente stessa (fonte: elaborazione dati ISPRA).