

**ATTILIO ADAMI\***LE IDEE GIUSTE. LA VALIDITÀ DEI MODELLI IDRODINAMICI  
PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA\*\***PREMESSA. AUTO DA FÈ**

Mi si chiede di dimostrare la fondatezza e la credibilità dei mezzi matematici usati dal Consorzio Venezia Nuova nella stesura dei suoi progetti, con particolare riferimento ai modelli idrodinamici dell'intera laguna.

La risposta può essere molto semplice, nel senso che si può invocare il fatto che i modelli usati sono stati forniti da enti di ricerca molti prestigiosi o da *softwarehouse* molto serie, che la loro struttura è stata presentata e discussa in occasione di molti congressi internazionali, durante i quali nessuno ha trovato nulla da ridire. Si può, ancora, far notare che questi modelli sono gli stessi che vengono estesamente impiegati in tutto il mondo nei problemi delle cosiddette "onde lunghe", accettati da tutti: sia da tecnici, per risolvere problemi applicati, sia da studiosi, nell'esame di fenomeni di carattere teorico. Si può, infine, aggiungere che i risultati che i modelli hanno fornito sono sempre apparsi in ottimo accordo con i dati di campagna disponibili, per cui oggi essi, accanto alla validità in generale, aggiungono la credibilità data dalle ormai numerose tarature.

Per esperienza già acquisita so però perfettamente che queste argomentazioni, che hanno efficacia in tutto il mondo, perdono la loro credibilità nell'ambiente veneziano dove il normale scetticismo dei non addetti ai lavori si tinge in questo caso di radicalismo massimalista, fino a respingere queste prove, chiedendone sempre di nuove e più evidenti.

Anche questo è un aspetto dell'unicità del problema veneziano!

Mi chiedo soltanto se questi "massimalisti" veneziani siano così attenti in ogni occasione: per esempio, resta una mia curiosità sapere come essi si comportino di fronte a un qualsiasi esame medico. Se sono coerenti, prima di farsi un'ecografia o una TAC, dovrebbero pretendere dal sanitario una spiegazione chiara e attendibile sulla metodologia adottata e sul macchinario impiegato, in mancanza della quale essi rifiutano la prestazione.

Ho la sensazione che, se questo è il loro atteggiamento, le apparecchiature per ecografia e per TAC siano assai poco usate nel territorio veneziano.

Dato che le prove "globali" e "dall'esterno", che abbiamo citato, non hanno efficacia, tenterò una spiegazione più approfondita che richiede però un'introduzione, sia pure elementare, di meccanica dei fluidi che può apparire inutile agli esperti e oscura ai meno esperti. Per evitare il tedio della sua lettura, si autorizza, anzi si consiglia di saltare il successivo capitolo.

\* *Professore ordinario di Misure idrauliche presso l'Università di Padova*

\*\* *La tesi confutata nell'articolo è quella di quanti sostengono che il rischio che Venezia venga sommersa dal mare esiste, ma che il pericolo può venire sventato con interventi sulla morfologia lagunare. Poiché si considera tale questione di grande interesse e rilievo, pubblicheremo in queste pagine ogni contributo che ci verrà inviato in merito*

**LE LEGGI DI MOTO DEI FLUIDI****La condizione dinamica  
e quella cinematica**

Le leggi che regolano il moto dei fluidi sono concettualmente due: una dinamica, che deriva dalla prima legge di Newton, e una cinematica. La condizione dinamica impone che in ogni punto del campo di moto e in ogni istante vi sia un perfetto equilibrio dinamico, cioè che le forze (il peso, quelle dovute alla pressione e agli sforzi tangenziali viscosi e turbolenti) eguaglino l'effetto dell'accelerazione (temporale e convettiva). La condizione cinematica esprime semplicemente il concetto che, nel caso di fluido incomprimibile (come l'acqua, almeno per i nostri scopi), la quantità d'acqua che arriva in un punto qualsiasi deve sempre essere uguale alla quantità che se ne va, dato che non vi può essere accumulo di materia.

Faccio notare che la condizione cinematica si traduce in un'equazione (equazione di continuità) e che, in pratica, la condizione dinamica si traduce in tre differenti equazioni, dato che l'equilibrio va calcolato secondo le tre coordinate spaziali.

**Le leggi del moto sono  
descritte da equazioni  
differenziali**

Il problema così posto è determinato, dato che al sistema di quattro equazioni cui si è pervenuti corrispondono quattro incognite da calcolare (le tre componenti della velocità ed il valore della pressione nel punto). La soluzione del problema è, però, resa materialmente impossibile dal fatto che si dovrebbero considerare contemporaneamente queste equazioni scritte per tutti i punti del campo di moto, che sono in numero infinito, tenendo anche presente che ogni punto è influenzato da quelli vicini, poiché il fluido ha un comportamento omogeneo e continuo. Le sole condizioni sicure che possiamo conoscere a priori sono quelle poste al contorno del campo di moto; per esempio, nei moti a pelo libero siamo sicuri che sulla superficie dell'acqua la pressione è costantemente pari alla pressione atmosferica.

Questa situazione porta al fatto che le leggi del moto, di cui si è detto, non siano descrivibili mediante delle semplici equazioni algebriche (come quelle che tutti studiano a partire dalle medie), ma siano del tipo differenziale, in cui compaiono non solo il valore delle grandezze incognite, ma anche la loro variazione nel tempo e nello spazio.

La teoria delle equazioni differenziali è tema di assai difficile divulgazione: basti dire che la loro soluzione è senza dubbio uno degli argomenti più ardui e ancora attuale, dopo oltre un secolo di studi.

Se si aggiunge il fatto che le equazioni differenziali della meccanica dei fluidi sono anche di tipo particolarmente complesso, dato che in esse appaiono in modo rilevante dei termini non lineari, si capisce perché la soluzione analitica (cioè per via matematica) dei fenomeni idraulici è stata possibile solo in casi particolari, laddove si potevano semplificare le equazioni, fino a renderle risolvibili con i metodi e le conoscenze di cui si disponeva.

Questo è il motivo per il quale il metodo sperimentale ha avuto così grande fortuna in idraulica, fino ad arrivare a un ampio e generalizzato impiego del modello fisico che è, in pratica, un'installazione sperimentale dedicata a un singolo problema applicato.

Questo spiega anche la nascita e il prosperare dei grandi laboratori esistenti in molti paesi, anche con centinaia di addetti, con dimensioni del tutto sconosciute in altre branche della fisica applicata.

Nel campo della ricerca teorica, invece, si è avuto un proliferare di studi che prendono in esame un fenomeno particolare, per il quale viene fornita un'interpretazione specifica, al fine di semplificarne al massimo le equazioni.

Il caso della marea è uno di questi, dato che essa si presenta come un'onda con un periodo molto lungo (minimo 12 ore) e con una velocità di propagazione che, in dipendenza del fondale su cui si propaga, ha valori che variano da circa 10 km/h per fondali dell'ordine del metro a circa 100 km/h, per fondali dell'ordine di 100 m. Il lungo periodo e la notevole velocità di propagazione fanno sì che l'onda di marea sia la più lunga che si conosca, potendo superare anche abbondantemente il centinaio di chilometri.

Se a questo si aggiunge che l'escursione di livello è molto modesta (a Venezia è circa un metro) appare chiaro come l'onda di marea presenti delle curvature piccolissime, tali da poter essere trascurate. In questa ipotesi si può dimostrare (ma è anche intuibile) che il moto lungo la verticale sia nullo e che quindi la velocità abbia solo due componenti spaziali e che l'effetto della pressione combinato con la forza peso resti invariato.

Si arriva, quindi, a un sistema di equazioni differenziali più semplici che è stato proposto più di cento anni fa dal francese de Saint Venant. In esse, la semplificazione più evidente è che le equazioni si riducono a tre (due dinamiche e una cinematica). Nel caso in cui si sappia a priori la direzione della velocità (come nei canali e nei fiumi), si ottiene un'ulteriore riduzione, dato che si ha una sola equazione dinamica oltre alla solita cinematica. Ho fatto questa specificazione perché i due casi sono alla base dei modelli matematici di tipo bidimensionale o unidimensionale della laguna, cui arriveremo tra poco.

La semplificazione apportata dalle equazioni di de Saint Venant, sebbene notevole, non si è rivelata sufficiente, dato che la soluzione si presentava ancora impossibile nella maggior parte dei casi. E' nata da questo un'ampissima serie di studi e di tentativi per rendere ancora più semplici le equazioni del moto.

Le semplificazioni più applicate sono due; la prima ipotizza che la batimetria vari nello spazio molto lentamente, così che anche le variazioni spaziali della velocità siano così piccole da poter essere trascurate.

In questa ipotesi le cosiddette accelerazioni convettive diventano nulle e nelle equazioni dinamiche spariscono dei termini difficili a trattarsi per la

## **Il metodo sperimentale e gli studi semplificati**

## **L'analisi di un fenomeno. Il caso della marea**

## **La semplificazione di de Saint Venant**

loro non linearità, dato che in essi vi compare una velocità al quadrato.

La seconda semplificazione assume che l'escursione di marea sia piccola, se raffrontata al valore medio del fondale; questa ipotesi consente di eliminare la non linearità nei termini della condizione cinematica, dove compare il prodotto della profondità per una velocità.

Anche con queste severe semplificazioni il problema non è di facile soluzione, per cui esso è stato risolto solo per casi particolarmente semplici, come quello di un canale a sezione costante soggetto alla marea.

**Perché le ipotesi  
semplificative  
non valgono per Venezia**

Voglio specificare, inoltre, che queste ipotesi semplificative vanno particolarmente bene in ambiente marino, dove appunto si trovano fondali elevati che variano lentamente. Esse invece non sono assolutamente accettabili per la laguna di Venezia, dove i fondali passano in breve spazio da alcuni metri a qualche decimetro e la marea ha escursioni circa uguali, se non maggiori, di quelle dei fondali.

**Lo studio di G. Supino**

Proprio l'assunzione di queste due ipotesi, assieme a quella ancora inaccettabile di viscosità nulla del fluido, sono alla base dei risultati non corretti ottenuti da G. Supino in uno studio della propagazione della marea in una laguna quadrata con un canale profondo al centro, presentata al cosiddetto "Comitatone", alla fine degli anni '60. Forse a causa della personalità di Supino, i difetti di questo studio, che ha indicato in modo errato la possibilità di laminare le acque alte con interventi, anche limitati, sulla sola morfologia, furono segnalati soltanto da J. Dronkers e C. Datei in una comunicazione all'Istituto Veneto di Lettere Scienze e Arti.

Mentre le critiche di questi due studiosi vennero del tutto ignorate, lo studio ebbe vasta eco in certa parte della pubblica opinione veneziana e ancora oggi esso viene assunto come punto di partenza per successive elucubrazioni che, partendo da presupposti errati, arrivano a conclusioni fallaci. Ho la convinzione che tutti i modelli matematici successivi siano stati contestati proprio perché, deludendo le aspettative, hanno negato la validità dei risultati ottenuti da Supino.

**L'ipotesi statica**

Ma torniamo alle possibili semplificazioni delle equazioni del moto. Una semplificazione che ha avuto molta fortuna è la cosiddetta ipotesi statica. Come si è detto, l'onda di marea è molto lunga; se essa è molto più lunga delle dimensioni del campo di moto in studio, non si sbaglia di molto nell'assumere che la superficie dell'acqua oscilli nel tempo, mantenendosi orizzontale nello spazio. Questa ipotesi equivale a dire che l'onda è infinitamente lunga o che la sua velocità di propagazione è infinita. In questa situazione le equazioni subiscono una drastica riduzione, dato che spariscono tutti i termini che rappresentano le accelerazioni.

L'ipotesi statica, per la sua estrema semplicità, ha avuto sempre molta fortuna: tra l'altro, è stata utilizzata nel secolo scorso per fissare la distanza tra le dighe alle bocche della laguna e ha giustificato la costruzione del canale Malamocco-Marghera con la bonifica delle casse di colmata.

Per la sua facilità di comprensione è stata assunta, anche se in forma inconscia, dagli antichi idraulici veneti quando dissero che "gran laguna fa gran porto". In realtà, il famoso assioma è vero solo parzialmente dato che, come è stato ampiamente illustrato da diversi studiosi, esso è valido finché la laguna è lunga meno di un quarto della lunghezza dell'onda di marea; per dimensioni maggiori, un aumento della laguna fa addirittura diminuire la corrente alla bocca.

L'ipotesi statica è quasi certamente alla base della pretesa che l'apertura delle valli da pesca sia in grado di laminare l'acqua alta: faccio presente al riguardo che questa pretesa non è stata mai, ripeto mai, corredata da un qualsiasi calcolo idraulico da parte dei suoi sostenitori e questa è un'altra caratteristica di quanti credono ostinatamente a una tesi solamente enunciata e costantemente negata da tutti i calcoli.

**"Gran laguna fa gran porto". Un assioma vero solo in parte**

**L'apertura delle valli da pesca è ininfluente**

## NUOVI MODELLI E ANTICHI IDRAULICI

Credo di aver dimostrato a sufficienza le difficoltà della soluzione analitica delle equazioni delle onde lunghe e che le soluzioni trovate per questa via sono così semplificate da risultare poco approssimate se non, a volte, addirittura errate. Ritengo pertanto di poter dire, anche col rischio di apparire saccente e antipatico, che fino a pochi anni fa, fino all'avvento dei mezzi di calcolo automatico, nessuno degli idraulici delle passate generazioni ha conosciuto bene l'idrodinamica della laguna di Venezia.

Infatti solo l'avvento dei calcolatori di grandi capacità ha permesso di risolvere per via numerica le equazioni del moto della laguna, consentendo di costruire i cosiddetti modelli matematici, e di avere una visione completa dei vari problemi.

Cosa ci sia alla base di un modello matematico è abbastanza facile da dire, meno facile da fare. Invece di considerare un campo di moto composto da infiniti punti di volume nullo (che è il cosiddetto "continuo"), si passa a uno schema in cui i punti vengono materializzati in celle, che hanno dimensioni sensibili, per cui il campo di moto è occupato da un numero finito di celle.

In questa ipotesi, scrivendo le condizioni dinamiche e quella cinematica del moto (di cui si è detto) per ogni cella (anziché per ogni punto) si arriva a

**Gli antichi idraulici avevano antichi mezzi**

**Avvento dei calcolatori e modelli matematici**

un sistema di un numero finito di equazioni la cui soluzione ora è possibile, anche se complessa.

Certamente il passaggio dal continuo al discontinuo è una “violenza” alle equazioni che sarà tanto minore quanto più piccole sono le dimensioni che si assegnano alla cella elementare. Per tanto, in via generale, un modello sarà tanto più “buono” quanto più la griglia dei punti è fitta e si adatta alla morfologia della laguna.

In effetti, nei modelli matematici, accanto a questo tipo di “violenza” ce n’è un’altra che è imposta dal fatto che noi sappiamo risolvere soltanto i sistemi di equazioni lineari, per cui in qualche modo si devono linearizzare tutti i termini che compaiono nelle equazioni. Inizialmente, i modelli matematici hanno risolto il problema trascurando i termini non lineari, soffrendo però degli stessi limiti che avevano le soluzioni analitiche trovate nelle stesse condizioni, per cui, in particolare, si sono rivelati poco adatti all’idrodinamica della laguna di Venezia.

Successivamente, si sono inventati dei modi di scrivere le equazioni che evitano i termini quadratici; per esempio, invece di scrivere il quadrato di una velocità incognita si può scrivere il prodotto di questa velocità per la velocità nello stesso punto nell’istante precedente, che è già stata calcolata.

Va da sé che anche queste linearizzazioni sono “violenze” fatte alle equazioni e per contenere gli errori introdotti in questo modo sono state proposte molte soluzioni, tanto che sull’argomento esiste ormai una vasta letteratura. La bontà di un modello matematico è anche legata alla particolare soluzione adottata in questo campo ed è per questo che il Consorzio, quando ha dovuto acquisirli, si è interessato a quelli più noti e collaudati in materia lagunare.

### **Il primo modello della laguna**

Il primo tipo di modello matematico della laguna di Venezia, messo a punto dall’Istituto di Idraulica di Padova all’inizio degli anni ’70, ha schematizzato il campo di moto in una rete di canali con accanto delle zone a basso fondale che funzionavano come golene fluviali. Lo schema è stato suggerito dalla morfologia stessa della laguna e ha la semplificazione di eliminare, come detto, un’equazione, dato che si fissa a priori la direzione della velocità. In questo modello, la cella elementare viene a coincidere con il singolo tronco di canale considerato. E’ questo il modello unidimensionale che è stato alla base di moltissimi studi eseguiti, promossi allora dal famoso “Comitatone”. In una sua versione più complessa, esso è stato ampiamente usato anche dal Consorzio Venezia Nuova nelle sue prime elaborazioni.

### **Modelli sempre più elaborati**

Si è poi passati a modelli in cui la cella elementare ha forma planimetrica quadrata o triangolare; il Consorzio Venezia Nuova ha usato estesamente un modello messo a punto dal Danish Hydraulic Institute (DHI), che lo commer-

cia estesamente col nome di MIKE 21, la cui cella elementare ha 300 m di lato e un altro modello, messo a punto dal prof. L. D'Alpaos dell'Università di Padova, nel quale le celle elementari hanno forma planimetrica triangolare e dimensioni medie di 10 ha ciascuna. In particolare, il modello MIKE 21 ha conosciuto moltissime applicazioni in tutto il mondo, con risultati accettati universalmente.

Attualmente è alle prime applicazioni un modello, messo a punto dal prof. V. Casulli dell'Università di Trento, in cui le celle hanno base quadrata di 50 m di lato. La novità di questo modello è che le celle, già di dimensioni ridotte, possono essere tagliate in diversi strati, così che il modello risulta essere quasi-tridimensionale. Questo modello è stato ampiamente verificato (oggi si dice "validato") in diversi casi di onde lunghe negli USA.

In generale, tutte le ipotesi di interventi sulla laguna sono state esaminate sui diversi modelli, con risultati praticamente coincidenti, come ci si attendeva.

Al riguardo mi sia consentita un'osservazione che deriva dagli ormai molti anni di uso di questi svariati modelli. I calcoli eseguiti hanno dimostrato che la distribuzione dei livelli di marea in laguna è fortemente condizionata dai parametri fisici, tal che l'effetto delle diverse semplificazioni introdotte dai modelli è sempre molto modesto, per cui i diversi schemi di calcolo, anche se alcuni rozzi e altri raffinati, forniscono risultati molto prossimi tra di loro, per quel che riguarda, appunto, i livelli.

In questo senso sono convinto che di fronte ai fenomeni di acqua alta l'inefficacia dell'apertura delle valli da pesca, anche se accompagnata alla riduzione dei fondali alle bocche, emerga da qualsiasi schema di calcolo che almeno meriti questo nome.

Solo per ricordarlo ancora una volta, dal 1984 ai giorni nostri il Consorzio Venezia Nuova ha eseguito più volte delle simulazioni sui modelli matematici, esaminando svariate possibili ipotesi di sistemazione della laguna. Fra queste, naturalmente, vi furono anche quelle supportate dagli avversari delle opere alle bocche e cioè l'apertura delle valli da pesca, accompagnata dalla riduzione dei fondali alle bocche, assieme al tombamento del canale Malamocco-Marghera che verrebbe sostituito, per il traffico navale, con una ricalibratura del canale Fisolo.

Ebbene, tutti i calcoli eseguiti mostrano che l'effetto globale nel centro storico di Venezia di questo "pacchetto" di modifiche è ancora molto, ma molto, modesto, dell'ordine dei pochi centimetri di riduzione dei livelli, in misura insomma del tutto insufficiente a risolvere i problemi della città.

Nei riguardi dei modelli matematici vorrei terminare con un appello che è quasi una sfida: che i fautori di questi interventi abbandonino il campo delle asserzioni apodittiche e indimostrate e accettino il responso di un calcolo,

### **I risultati coincidono**

**L'apertura delle valli,  
la riduzione dei fondali  
alle bocche,  
il tombamento  
del canale dei petroli.  
Anche insieme valgono  
pochi centimetri**

## RIDUZIONE DEI MASSIMI LIVELLI DI MAREA IN LAGUNA. LA SCARSA EFFICACIA DEGLI INTERVENTI SULLA MORFOLOGIA SECONDO I MODELLI IDRODINAMICI\*

### Premessa

Parte dell'opinione pubblica ritiene che la realizzazione di opere di regolazione della marea alle bocche di porto non sia necessaria in quanto una sufficiente riduzione dei massimi livelli nei centri abitati lagunari potrebbe essere ottenuta anche con interventi di tipo morfologico, ovvero:

- riduzione dei fondali delle bocche lagunari;
- tombamento del canale dei petroli;
- apertura delle valli da pesca;
- ricostruzione di velme e barene.

Il Consorzio Venezia Nuova ha sempre eseguito numerosissime analisi idrodinamiche con diversi modelli matematici per misurare gli effetti degli interventi volti a ridurre i livelli di marea a Venezia e nei centri urbani lagunari. Tutti gli interventi proposti, prima citati, sono in particolare già stati verificati separatamente in termini di effetti sui livelli a Venezia (Punta della Salute).

Nessuno di essi, preso singolarmente, è stato giudicato utile per risolvere il problema delle acque alte in laguna. Si è ritenuto opportuno, allora, verificare se la realizzazione complessiva di tutti gli interventi potesse, invece, risultare significativa per l'abbattimento dei livelli in corrispondenza dei centri abitati.

L'analisi è stata svolta con modello bidimensionale agli elementi finiti per differenti maree.

### Gli interventi studiati

Le simulazioni sono state svolte confrontando la situazione attuale della laguna con una configurazione in cui siano stati realizzati, insieme, i seguenti interventi:

- riduzione delle attuali profondità dei fondali alle bocche di porto: Lido, da -11 a -10 m; Malamocco, da -15,50 a -12 m; Chioggia, da -11 a -9 m.
- tombamento del canale dei Petroli ed escavo di un nuovo canale alla quota -12 m sulle tracce del canale Fisolo;
- apertura di tutte le valli da pesca, eliminando integralmente gli argini a prescindere dagli effetti sulla vallicoltura;
- realizzazione di interventi morfologici (ricostruzione di velme e barene) previsti nello specifico progetto di massima elaborato dal Consorzio Venezia Nuova.

La profondità scelta per i fondali delle bocche e per il fondale del Fisolo tengono conto dell'esigenza di mantenere la navigazione commerciale ai porti di Venezia e di Chioggia.

L'analisi degli effetti di tutti gli interventi è stata svolta simulando diverse condizioni di marea per

poter avere una visione completa di quanto si ridurrebbero i livelli massimi di marea a Venezia, Chioggia, Murano, Burano in funzione di diverse situazioni di livelli massimi e di diverse velocità di crescita della marea, indicata di seguito col termine di gradiente.

- Le maree esaminate sono state le seguenti:
- marea sinusoidale con escursione di 1,00 m, tipica delle sizigie e caratterizzata da un gradiente medio di 16 cm/h;
  - marea del 4 novembre del 1966 caratterizzata da un gradiente medio di circa 6 cm/h e livello massimo a Punta della Salute di 1,94 m;
  - marea del 22 dicembre 1979, caratterizzata da un gradiente medio di circa 26 cm/h che è il massimo valore per le maree che hanno superato la quota +1,00 m rispetto a Punta della Salute. Il livello massimo a Punta della Salute è stato di 1,57 m;
  - marea dell'8 dicembre 1992 caratterizzata da un gradiente medio di circa 10 cm/h e livello massimo a Punta della Salute di 1,42 m.

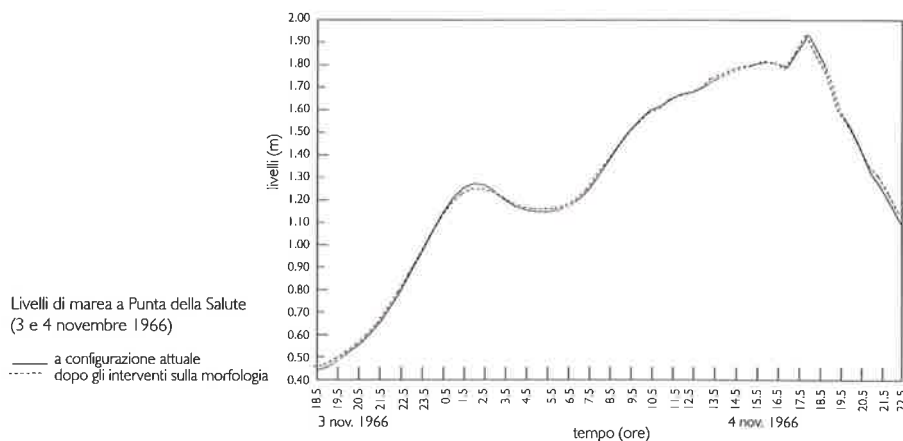
Osservando i valori riportati nella tabella si può concludere che, anche nell'ipotesi di realizzazione

contemporanea di tutti gli interventi, la variazione dei livelli nei centri abitati lagunari è sempre limitatissima e che tale variazione diminuisce al diminuire dei gradienti di marea indipendentemente dai livelli massimi di marea raggiunti.

La scarsa efficacia degli interventi sulla morfologia è visibile anche osservando il grafico che riporta la serie temporale dei livelli, relativi alla marea del 4 novembre 1966, calcolati a Punta della Salute, secondo la configurazione attuale della laguna e secondo quanto avverrebbe a configurazione modificata.

A Murano gli effetti degli interventi sono quasi uguali a quelli che si ottengono a Punta della Salute, mentre a Burano le riduzioni di livello che si ottengono sono leggermente superiori (circa -5 cm per le maree a gradiente più elevato). Ciò è dovuto principalmente al fatto che l'isola di Burano si trova in una zona più marginale che beneficia maggiormente dell'apertura delle valli da pesca.

\* Le simulazioni qui riportate sono state effettuate, dalla società Technital di Verona, con modello bidimensionale agli elementi finiti.



Riduzione dei massimi livelli di marea che si otterrebbe con interventi morfologici. Le maree sono elencate in ordine decrescente di gradiente

Marea	Gradiente medio (cm/h)	Frequenza superamento grad.	Venezia cm	Chioggia cm	Murano cm	Burano cm
22-12-1979	26	$3 \times 10^{-5}$	-3,0	-2,6	-2,0	-5,2
Sinusoidale	16	0,025	-2,8	-1,0	-2,4	-5,0
8-12-1992	10	0,40	-1,2	-0,7	-1,5	-4,0
4-11-1966	6	0,70	-0,6	-0,4	-0,9	-0,2



quale che sia, con l'unica condizione che tenga in qualche conto la natura propagatoria della marea.

## GLI STUDI STATISTICI

Mi sia permesso ora di aggiungere un corollario nei riguardi delle valutazioni statistiche che sono state eseguite sulla marea a Venezia.

Il primo studio, che io sappia, è stato fatto da me, prendendo lo spunto da un'idea dell'allora provveditore del porto di Venezia, ing. A. Toniolo. La mia nota è apparsa su un autorevole periodico, la "Rivista Italiana di Geofisica", nell'ormai lontano 1974; in esso si concludeva affermando che l'effetto dello scavo del canale Malamocco-Marghera aveva incrementato le escursioni di marea a Venezia in misura molto modesta, nell'ordine di qualche centimetro. Questo dato era in accordo con i risultati dei primi modelli matematici, confermati poi da tutti i calcoli successivi. Forse è superfluo ricordare come lo studio non abbia avuto nessuna eco al di fuori del normale ambiente accademico.

Qualche anno dopo, nel 1982, il dott. P. Pirazzoli ha pubblicato sulla rivista "Aria e Acqua" un altro studio statistico che arriva a risultati molto più "drammatici", poiché afferma che le più recenti trasformazioni morfologiche della laguna hanno provocato un aumento della marea a Venezia dell'ordine di 15 cm. E' ancora superfluo ricordare come questo studio abbia avuto una grande risonanza nell'ambiente veneziano, tanto da meritare di essere spesso citato come controparte di tutti i risultati ottenuti su modello matematico.

Devo osservare al riguardo che in tema di elaborazioni statistiche si possono fare errori clamorosi. E' noto, per esempio, che nel Nord Europa il clima rigido induce a privilegiare i rapporti sessuali durante i mesi estivi, più caldi, per cui le nascite dei bambini si concentrano all'inizio della primavera, giusto nel periodo del ritorno delle cicogne dalla migrazione invernale. Questa contemporaneità puramente casuale suggerì il nesso di causa-effetto che è alla base del dolce mito della cicogna che porta il bambino.

Un altro esempio, assai meno poetico, della possibile fallacia della statistica, se mal usata, fu portato, qualche anno fa, da Roberto Vacca in un libro di divulgazione matematica. Egli fece notare come si potesse porre una correlazione abbastanza stretta tra lo sviluppo del personal computer e quello dell'AIDS, dato che erano apparsi quasi contemporaneamente e avevano avuto entrambi una propagazione rapidissima, di tipo esponenziale; questo però non autorizza a dire che avere un pc faccia venire l'AIDS.

Come ho avuto occasione di spiegare recentemente al dott. Paolo Pirazzoli, la sua trattazione presenta dei grossi punti di dubbio che la inficiano, rendendone poco attendibili i risultati; sono a disposizione di chiunque sia interessato a conoscere i motivi di questo mio convincimento.

## Errori clamorosi. Storie di cicogne e di contagi

---

**ALTRE PROPOSTE ALTERNATIVE**

---

Per terminare questo lungo discorso, vorrei soffermarmi solo brevemente su tutte le altre proposte, alternative o aggiuntive all'apertura delle valli da pesca e alla riduzione dei fondali, che vengono avanzate da più parti. Le proposte sono numerose e, a volte, fantasiose: si va dall'allungamento dei moli alle bocche di porto, alla loro rotazione, alla costruzione di opere foranee, ecc.

**La fallacia dei sillogismi**

Secondo me, queste proposte nascono da un'intuizione errata, che poggia essenzialmente sul seguente sillogismo: le soluzioni di questo tipo si usano ovunque per attenuare il moto ondosso, la marea è un'onda, dunque queste opere attenuano la marea.

La fallacia del sillogismo scaturisce dal fatto che un ostacolo, per interferire nella propagazione di un'onda, deve essere "grande", nel senso che deve avere dimensioni pari a qualche volta la lunghezza dell'onda. Tanto per intenderci, la lunghezza delle onde delle mareggiate raggiunge il centinaio di metri, mentre le opere foranee sono lunghe qualche centinaia di metri (o meglio, qualche chilometro).

Nel caso della marea, l'onda è lunga decine, se non centinaia, di chilometri, per cui qualsiasi ostacolo tecnicamente proponibile avrebbe dimensioni piccolissime, tali "da fare un baffo" alla propagazione che si vuole contrastare.