

**ESTRATTO**

---

# **PORTI MARE TERRITORIO**



**RIVISTA DI INFORMAZIONI MARITTIME**

---

# Considerazioni in margine all'evoluzione del litorale dell'Alto Adriatico

Giuseppe Matteotti - Piero Ruol

---

Dall'esame di un caso particolarmente significativo, la conferma della necessità di un sintesi fra teoria ed esperienza alla base di qualsiasi intervento di riequilibrio costiero

---

## 1. Considerazioni introduttive

Il problema dell'equilibrio costiero italiano, che è stato sollevato in maniera massiccia nel 1970 della Commissione Ministeriale insediata *ad hoc*, è entrato oggi nel vivo, per il forte incremento dei fenomeni erosivi in atto e per il conseguente moltiplicarsi di studi e di interventi di difesa.

Da questi si possono pertanto trarre utili ed interessanti osservazioni che pongono anche in evidenza — fra l'altro — perplessità e difficoltà di congruenza fra previsioni di studio e progettuali, da una parte, e comportamento della realtà costiera, dall'altra. Non è difficile notare, infatti, come molto spesso il mare contraddica lo studioso ed il tecnico: l'uno quando si cimenta a penetrare le leggi della sua dinamica e l'altro quando, con lo scopo di difendere il litorale da fenomeni prevalentemente erosivi, progetta vincoli vari alla sua azione distruttrice.

Al Congresso Italiano di Idraulica e Costruzioni Idrauliche a Pavia del 1984, veniva raccomandato (Matteotti)

l'approccio con i problemi costieri mediante atteggiamento sperimentale piuttosto che speculativo. Si avanzano pure non poche perplessità per il moltiplicarsi di studi teorici, allo scopo di impostare metodologie aventi, tutte, la pretesa di conoscere il mare, spesse volte ricalcando metodi stranieri che trovano riscontro in mari per lo più completamente diversi dal Mare Adriatico, mare chiuso a *fetch* limitato. Basti pensare all'Oceano Pacifico o all'Oceano Atlantico (per i quali sono stati concepiti i metodi più noti) con *fetches* di parecchie migliaia di miglia e di contro, per l'Italia, all'Alto Adriatico o meglio a quella specie di *cul de sac* che ha larghezza di qualche decina di miglia e fondali massimi di circa 40 m.

Recentemente solo Tosi ha proposto un esame originale della realtà dei mari italiani con una metodologia basata sulla conoscenza e sull'analisi retrospettiva delle condizioni climatiche dei vari paraggi sotto esame. Analisi e metodi che non abbiano invece una verifica completa e seria dei nostri mari chiusi, lasciano evidentemente il tempo che trovano.

Un'altra difficoltà insorge, infine, quando si deve correlare il risultato di uno studio meteomarinico con i criteri progettuali di una qualsiasi opera marittima, in particolare con una di difesa litoranea. Troppo volte si resta di fronte ad uno studio ponderoso che appare rispondere a criteri scientifici, ma che rimane invece nell'ambito di una ginnastica culturale; mentre l'opera di difesa, che dovrebbe discendere dall'applicazione dei risultati di quello studio, ne rimane staccata e ricalca tipologie strutturali e costruttive solite, copiate da opere esistenti, secondo criteri talvolta discutibili.

Il fatto è che i criteri progettuali devono essere, prima di tutto, il frutto di una intuizione propria del tecnico, con capacità di sintesi fra ciò che gli offre la scienza e la sua esperienza. Scrive il Bascom che questa capacità viene coltivata solo camminando molto lungo le varie spiagge e cercando di capire, con molta umiltà, il fenomeno di interazione fra moto ondoso e litorale dalla osservazione diretta anche dei più semplici fatti.

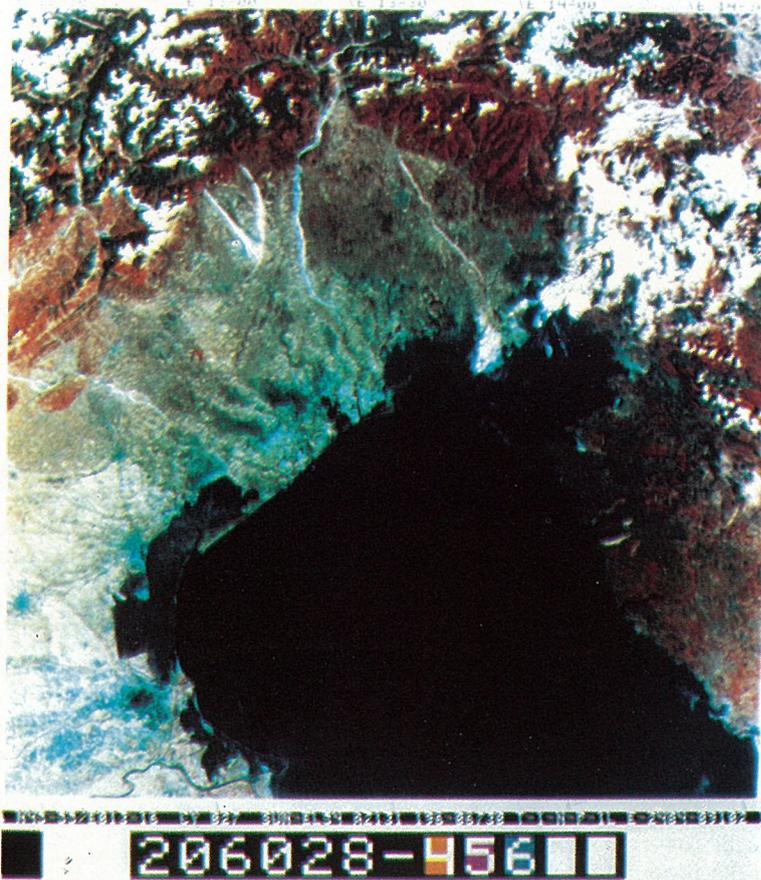


Figura 1. *Panoramica del litorale dell'Alto Adriatico in una ripresa dal Satellite Landsat 2. (Immagine di sintesi delle bande 4-5-6, cortesemente fornita dall'Istituto per lo studio della dinamica delle grandi masse - C.N.R., Venezia).*

Questa nota vuole essere informata da questo spirito. Ed in questo senso la costa dell'Alto Adriatico, su cui insiste un cospicuo numero di foci di importanti fiumi, può rappresentare una palestra di apprendistato fra le più interessanti, utile per approfondire la nostra scienza o, meglio, conoscenza delle mutue leggi che regolano i rapporti fra il mare e le coste.

## 2. Generalità sul litorale dell'Alto Adriatico

Il litorale dell'Alto Adriatico si può considerare come corrispondente al tratto di costa che corre tra la foce del Tagliamento e la foce di Po di Maistra, con uno sviluppo di circa 130 km. Una panoramica ripresa dal Satellite Landsat 2, orbitante alla quota di 900 km ne offre un inquadramento generale (fig. 1).

Quest'area è tipicamente caratterizzata da insediamenti urbanistici e balneari distribuiti sulla fascia costiera, che hanno sostituito quasi completamente le antiche dune.

### 2.1. Caratteristiche geografiche

Sotto il profilo morfologico, il litorale è caratterizzato da una costa continua bassa e sabbiosa<sup>1</sup>, frequentemente tagliata da bocche lagunari e foci fluviali che ne interrompono la continuità. A partire da Nord le principali discontinuità sono rappresentate da: Fiume Tagliamento (con portata media 91 mc/sec.), Fiume Piave (87 mc/sec.), Bocca di Lido, Bocca di Malamocco, Bocca di Chioggia, Fiume Brenta (101 mc/sec.), Fiume Adige (240 mc/sec.), i vari rami del Delta del Po (globalmente oltre 1.500 mc/sec.); di minore importanza possono considerarsi le foci del Livenza e del Sile.

La fascia litoranea emersa, quella che volgarmente viene chiamata spiaggia, nel tratto compreso tra il Tagliamento e l'Adige, misura dai 40 agli 80 m; mentre nell'area del Delta vi è difficoltà a quantificare tale parametro, per la notevole irregolarità della linea di costa.

Il profilo del litorale, che è caratterizzato da più ordini di barre sommerse, si dispone molto dolcemente con pendenze medie di 1:200, talché l'isobata — 10 viene a trovarsi ad una distanza variabile tra i 1.000 e i 3.000 m dalla linea del litorale.

### 2.2. Caratteristiche del mare

L'orientamento e l'esposizione della linea di costa in esame sono piuttosto vari: come conseguenza, i mari che investono il litorale, pur appartenendo solo al I ed al II quadrante, possono sviluppare energie molto diverse in dipendenza dell'area geografica che determina una maggiore o minore intensità di frequenza. Basti notare la variabilità dei settori di traversia da Nord a Sud, che consentono una incidenza dei mari diversa da paraggio a paraggio (fig. 2).

I venti predominanti sono sempre la Bora (da Nord-Nord Est) e lo Scirocco (da Sud Est). Il primo ha frequenza ed intensità più elevate rispetto al secondo; tuttavia le caratteristiche del moto ondoso, da essi generato, individuano una prevalenza di energia proveniente da Sud Est; ciò è dovuto al fatto che il *fetch* per tale direzione è notevolmente superiore a quello relativo al vento di Nord Est. Per esempio il *fetch* geometrico calcolato di fronte a Venezia è pari a 50 NM per il mare di Bora, mentre può raggiungere oltre 400 NM per il mare di Scirocco.

Da queste osservazioni, più che altro qualitative, si può avere la percezione della variabilità del mare e della sua energia, che torna utile per le applicazioni pratiche. Queste mutazioni interessano un sistema di correnti litoranee che variano il loro modulo e direzione, con capacità diverse di trasporto solido.

Queste grandezze per l'Alto Adriatico sono state ripetutamente studiate, si che è possibile indicare il campo significativo delle correnti prodotte dal moto ondoso, caratterizzato da un andamento generale anti-orario con modifiche però indotte dalla morfologia costiera, dalle foci, dalle bocche lagunari e della cuspidè deltizia del Po.

Il movimento principale, per effetto della dinamica generale dell'Alto Adriatico, sulla fascia attiva della spiaggia (che è compresa fra la quota + 1 e la batimetrica — 3) viene indicata nella fig. 3.

Tuttavia l'energia del mare e la connessa capacità di trasporto netta è fortemente esuberante rispetto all'apporto solido dei fiumi che riesce ancora a giungere in mare attraverso le foci, dopo una serie di ostacoli e di prelievi lungo la loro asta. Questa differenza negativa, sommata ad altre cause come l'influsso esercitato dalle opere aggettanti in mare, produce un generale squilibrio nell'evoluzione di tutto il litorale, con fenomeni scompensati di erosione e ripascimento, che in definitiva, però, producono un continuo arretramento medio della linea del litorale. L'arretramento generale, poi, è stato aiutato ed è aiutato, anche se ora in misura ridotta, da un lento fenomeno di subsidenza che è piuttosto importante nel tratto meridionale del litorale a Sud della Laguna di Venezia.

Le cause più importanti di questo sono legate agli emungimenti di falda acquifera ed in passato (per l'area fra Adige e Delta) metaniferi. Si valuta che Venezia, per esempio, negli ultimi 60 anni si sia abbassata rispetto al livello medio del mare di circa 25 cm.

## 3. Evoluzione del litorale. Principali interventi. Osservazioni

Ciò che ha complicato e messo in crisi il sistema litoraneo veneto è senza dubbio l'opera dell'uomo.

Senza parlare dei molteplici interventi effettuati sui bacini imbriferi nel loro complesso, l'intensa urbanizzazione turistica delle spiagge, avvenuta senza una preventiva valutazione dei regimi litoranei, ha introdotto massicciamente un fenomeno di erosione a vantaggio del mare che ha ridotto le fasce di spiaggia emersa.

Lungo la maggior parte del litorale in esame l'intervento umano ha distrutto le dune di sabbia e con esse la riserva di sabbia da cui, generalmente, i litorali vengono alimentati durante le mareggiate più violente e più distruttive. Conseguentemente il litorale veneto oggi risulta interessato da molteplici opere di difesa, parallele o perpendicolari alla costa, che coprono circa il 60% del suo sviluppo.

Così, via via nel tempo, murazzi, argini, scogliere, pennelli hanno costellato la fascia costiera sempre con lo scopo di proteggere il litorale, anche

<sup>1</sup> I sedimenti sono rappresentati da sabbia media ( $D_{50} = 0.12 \pm 0.18$  mm) fino ai fondali —3, da sabbia fine ( $D_{50} = 0.09 \pm 0.12$  mm) fino a —8 e da limi successivamente. La maggior concentrazione di sabbia si ha nelle aree adiacenti alle foci di fronte alle quali vi è invece una maggior percentuale di limi.

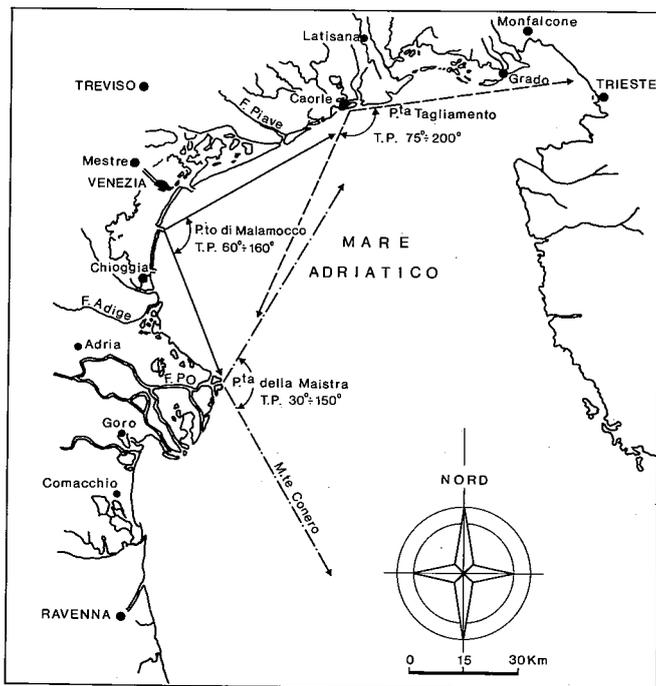


Figura 2. Settori di traversia principali di alcune località dell'Alto Adriatico.

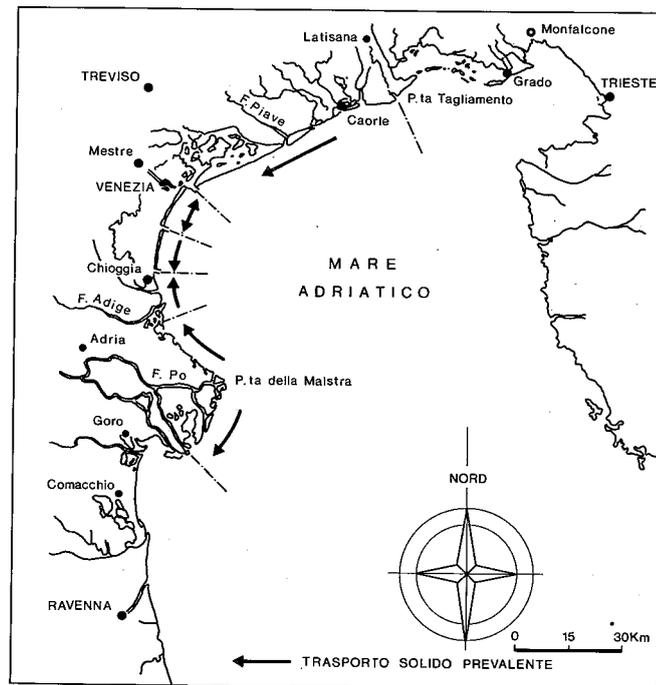


Figura 3. Direzione del trasporto solido prevalente.

se il loro inserimento (che non sempre è stato progettato razionalmente) ha diffuso uno stato di continuato e generale squilibrio.

Il litorale in esame compreso tra la foce del Tagliamento ed il Delta del Po può essere suddiviso in zone, ognuna con caratteri morfologici uniformi tanto da considerarle indipendenti, nel senso che non appaiono apprezzabili trasferimenti reciproci di sabbia.

A grandi linee è possibile suddividere il litorale secondo quattro unità fisiografiche: la prima si estende dalla foce del Tagliamento alla diga Nord del porto di Lido; la seconda comprende i Lidi Veneziani, confinati fra la diga Sud di Lido e la diga Nord del porto di Chioggia; la terza si estende dalla diga Sud di Chioggia fino ad oltre la foce dell'Adige; l'ultima comprende l'intero Delta del Po.

Nei paragrafi seguenti verranno esaminati questi paraggi e gli interventi artificiali realizzati a difesa degli stessi, cercando di commentare e valutare le cause che hanno condotto alle recenti evoluzioni dei corrispondenti litorali.

### 3.1. Il litorale da Foce Tagliamento a Porto di Lido

La fascia litoranea, di circa 60 km di sviluppo, è caratterizzata e modellata dalle foci del Tagliamento, del Livenza, del Piave e del Sile, che tuttavia oggi convogliano al mare un apporto solido annuo inferiore a quello movimentato dall'energia del mare, calcolata per lo stesso ciclo temporale.

L'afflusso dei sedimenti proviene quasi esclusivamente dai fiumi Tagliamento e Piave ed il successivo trasporto litoraneo netto è orientato verso Ovest seguendo il prevalente flusso di energia annuo.

L'evoluzione delle foci naturali e la sistemazione artificiale delle stesse oltre alle varie difese litoranee hanno prodotto erosione prevalente, lungo il lido di Jesolo, e, invece, ripascimento costante, nel tratto meridionale del litorale del Cavallino. Il tratto più tormentoso appare senz'altro quello corrispondente al lido di Jesolo compreso fra le foci del Piave e del Sile, le quali hanno subito profonde modifiche morfologiche negli ultimi secoli per cause sia naturali che artificiali.

È pertanto importante ripercorrere le vicende di queste foci perché ad esse è legata l'evoluzione del litorale di Jesolo. Soprattutto è interessante seguire il Piave che costituisce preponderante fonte di apporto solido per il ripascimento della spiaggia.

Il fiume Piave ha imposto il suo attuale sbocco a mare, nella zona di Cortellazzo, circa 3 secoli fa, durante l'inverno del 1693, a seguito di un evento naturale: la rotta della Landrona. Precedentemente la Repubblica di Venezia aveva tentato a lungo di regolare l'apporto di foce del Piave al fine di proteggere la Laguna di Venezia dalle esondazioni del fiume e dai conseguenti insabbiamenti derivati dal suo apporto solido allora molto sensibile.

Tuttavia anche se lo sbocco del Piave si è attestato da quell'epoca a Cortellazzo, la sua area, più strettamente di foce, ha conosciuto notevoli variazioni ed è interessante seguire sulla fig. 4 l'evoluzione morfologica dell'ultimo cinquantennio, che va dal 1934 al 1985.

La foce, dalla posizione iniziale diretta verso Est-Nord Est e parallela alla costa, si è accorciata aprendosi ver-

FOCE FIUME PIAVE

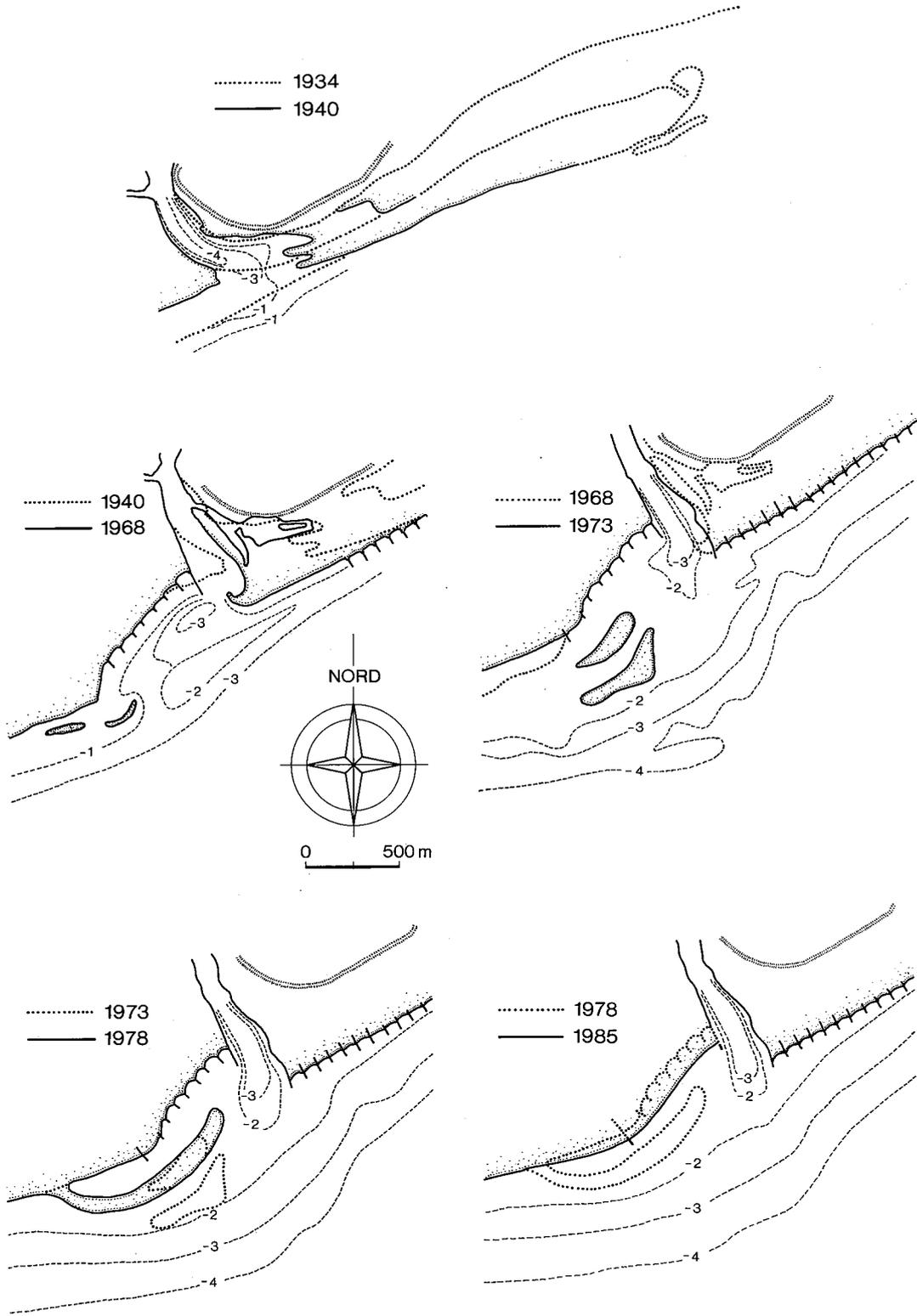


Figura 4. Evoluzione della foce del Fiume Piave dal 1934 al 1985.

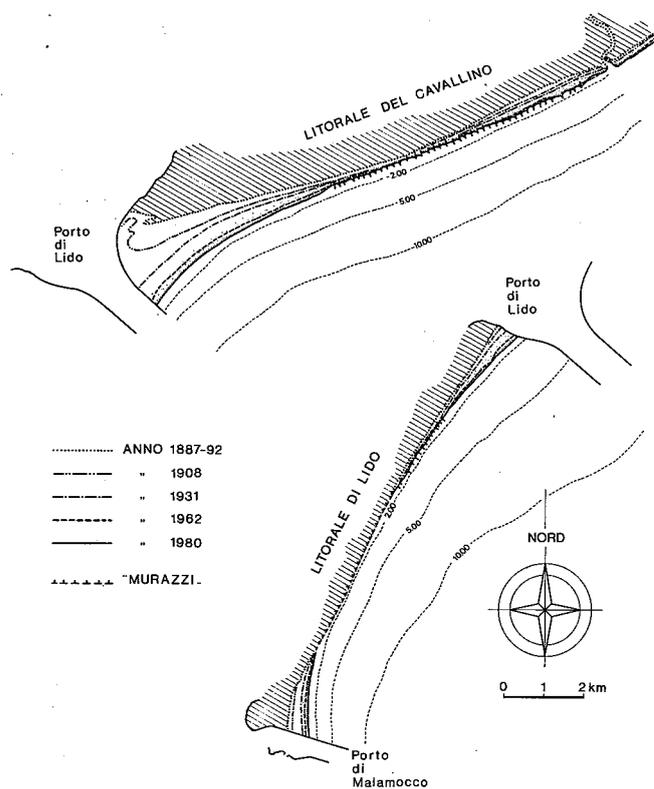


Figura 5. Evoluzione dei litorali di Cavallino e di Lido.

so Sud Est con vicissitudini pilotate dall'intervento umano. L'abbandono del troncone, diretto verso Est-Nord Est, è avvenuto in seguito alla rotta del 1935, durante la quale il fiume sfondò il cordone sabbioso di destra, creando una nuova foce in posizione centrale, con un sensibile accorciamento dell'asta terminale. Come relitto della precedente foce rimane oggi il « Morto », in sinistra Piave. Dopo la rotta del 1935, il fiume continuò a modificare l'apparato di foce volgendo progressivamente verso Occidente ed alimentando il cordone sabbioso situato ora in sinistra.

Lo sviluppo del cordone sabbioso si è andato evolvendo nel tempo, in modo vivace, erodendo l'area destra di foce ed imponendo interventi di difesa con pennelli sul lato destro della foce per tentare di bloccare la continua erosione della linea di litorale.

Dopo il 1973, bloccato il lato sinistro con un molo ed una serie di pennelli, si è formato un accumulo sabbioso verso Sud Ovest distante dalla linea

di litorale fra 50 e 250 m, che emergeva per circa 1.200 m di lunghezza e per un'ampiezza variabile tra 100 e 200 m.

L'estremità occidentale di questo cordone nel 1978 si era saldata alla spiaggia emersa, anche in seguito ad interventi artificiali di spianamento della fascia litoranea a cavallo della linea zero, provocando difficoltà e disagi per le attività turistiche e balneari. Molto recentemente si sono eseguiti trasferimenti di sabbia che hanno eliminato la lingua portando il materiale a ripascere la spiaggia in destra, invano difesa dai pennelli.

Il fiume Sile ha avuto vicissitudini strettamente legate al Piave. In passato il Piave riversava le proprie acque in Sile con notevole apporto solido, tanto che la Repubblica di Venezia realizzò una variazione d'alveo dalla Laguna, per impedirne l'insabbiamento, alla foce del Piave Vecchia, usata da questo fiume prima del Taglio del Re.

Il Sile tuttavia è un corso d'acqua chiara di risorgiva che di per sé non ha trasporto solido, ma con l'assetto dei

due fiumi, dopo i massicci interventi della Serenissima Repubblica, si erano formate le condizioni per la formazione di abbondanti depositi sabbiosi attorno alle foci. Questi hanno costituito fino in tempi recenti un efficace sistema difensivo contro le mareggiate; l'intervento umano successivo, in specie dopo la seconda guerra mondiale, con riduzione drastica dell'apporto solido del Piave, e la morfologia costiera hanno favorito un fenomeno contrario, con erosione della foce e dei litorali di Jesolo e del Cavallino, che hanno immediatamente richiesto un'opera di difesa (fig. 5).

Sempre la morfologia e l'orientamento della costa associate all'opera dell'uomo determinano invece l'accumulo di sabbia a ridosso della diga Nord di Lido; per cui, a partire da questa e per un tratto di oltre 2,5 km a ritroso, si ha ripascimento costante con un avanzamento della linea di litorale che ha raggiunto, a partire dal 1887, il valore vistoso di 2.000 m (fig. 5). Questo forte avanzamento ha spinto la spiaggia emersa verso la testata del molo, tanto che la sabbia riesce oggi ad aggirarla provocando insabbiamenti sulla bocca. Questo fenomeno, che richiede un continuo dragaggio di manutenzione, è in realtà più complesso perché è legato anche alla eccessiva larghezza della Bocca di Lido ed alle correnti di marea che si instaurano attraverso di essa.

### 3.2. I Lidi Veneziani

Il litorale corrispondente ai Lidi Veneziani sviluppa globalmente un'estensione di 23 km e può essere considerato un sistema chiuso agli apporti solidi esterni. La sabbia presente pertanto segue il gioco delle correnti del moto ondoso secondo il flusso fondamentale, indicato in fig. 3. I singoli grani denotano l'usura per rotolamento, che segue un percorso Nord Sud con continui trasferimenti della sabbia in un senso e nell'altro. Il materiale, così, riduce la propria granulometria e sperimenta una perdita progressiva della frazione più fine verso il largo, in occasione delle mareggiate più sensibili, che non viene più recuperata.

In particolare, il Lido di Venezia sperimenta uno spagliamento dei sedimenti dal centro verso i moli di Porto di Lido e di Porto di Malamocco, nelle

cui adiacenze si ha ripascimento, che bilancia in parte l'erosione centrale. Questa è combattuta sia con la presenza di pennelli di fronte all'area sede delle attività balneari, e sia con i tipici « murazzi ». Questo rivestimento fissa bensì la linea del litorale, ma favorisce una erosione della spiaggia sommersa che oggi appare preoccupante.

La situazione del Lido di Pellestrina (fig. 6) è in certo qual modo più precaria e causa di una erosione generalizzata, difesa da una linea continua di « murazzi » (fig. 7). Solo nella sacca a ridosso della diga del Porto di Chioggia si accumula sabbia per effetto del flusso di energia prevalente, come è già stato notato.

In questo litorale sono da far notare due singolarità, che hanno talvolta tratto in inganno i tecnici con richiesta di difese concettualmente improprie.

Subito a destra del Porto di Malamocco sono stati ubicati alcuni pennelli in serie per frenare l'erosione sommersa ai piedi dei murazzi, e quindi con lo scopo di intrappolare la sabbia in forza del funzionamento classico di questo tipo di difesa. In questo senso i pennelli hanno avuto un comportamento apparentemente soddisfacente, mentre l'assenza di trasporto litoraneo dall'esterno logicamente lo doveva escludere. In realtà le lunate classiche sopraflutto delle opere sono state determinate fondamentalmente dal materiale dragato all'interno della Laguna, scaricato dalle bottoline subito fuori della testata della Diga Sud di Malamocco anziché al largo, come prescriveva il Capitolato.

Il tratto convesso (verso mare) della linea dei murazzi a Caroman, costruito affrettatamente per chiudere una improvvisa falla sul cordone litoraneo, rappresenta un'opera contraria alla logica del mare. Infatti la convessità concentra energia di moto ondoso anziché divergerla come accade con l'andamento concavo naturale; si è valutato un flusso di energia medio di 25 KW/m in corrispondenza di Caroman contro 1,5 KW/m nel restante tratto concavo. Ciò ha portato ad una forte erosione del profilo della spiaggia esterna ai murazzi con la perdita di acclività graduale, per cui i fondali di fronte ai murazzi sono notevolmente aumentati consentendo alle mareggiate di raggiungere direttamente la difesa radente

senza la consueta attenuazione, con incremento delle sollecitazioni distruttrici.

### 3.3. Il litorale da Porto di Chioggia alla foce Adige

La diga Sud del Porto di Chioggia e le foci del Brenta e dell'Adige determinano l'evoluzione del litorale.

Il breve tratto rappresentato dal lido di Sottomarina-Chioggia è continuamente alimentato dal flusso prevalente di energia, che da Punta della Maistra va verso Nord. L'avanzamento del litorale, che dalla foce Brenta alla diga Sud di Sottomarina misura circa 2.5 km, è costante e ha raggiunto un'ampiezza di circa 500 m a partire dal 1887. La diga ha completamente ribaltato l'evoluzione precedente la costruzione dell'imboccatura, tanto che le opere radenti del tipo murazzo, realizzate dai veneziani nel XVIII secolo per ovviare ad un fenomeno inverso rispetto a quello odierno, son state inglobate dalla fascia di spiaggia emersa.

La morfologia della foce del Fiume Adige è caratterizzata da una situazione complessa (fig. 8), conseguente alla divaricazione dell'alveo, dapprima secondo due rami e più esternamente, subito a valle della località Porto Fossonne, secondo tre rami che consentono tutti una qualche attività di deflusso.

Una tale situazione sta ad indicare una sensibile attività del fiume, con

trasporto solido di una certa entità, nonostante che anche l'Adige debba lamentare negli ultimi venti anni una notevole riduzione delle portate solide, specie per cause antropiche.

Le carte I.G.M., che sono state messe a confronto a partire dal 1897 fino al 1984, offrono una lettura esaustiva dell'evoluzione della foce dell'Adige (fig. 8) in quanto abbracciano un lasso di tempo in cui si sono effettuati i maggiori interventi dell'uomo e si è prodotta una completa casistica di eventi. È nella seconda metà di questo secolo che la foce dell'Adige perviene ad una forma più semplificata adattandosi, nella forma, più al tipo a marea, con qualche carattere secondario di parvenza a delta (presenza di cinque isolette nell'alveo). Negli ultimi 15 anni si può notare che la sponda sinistra dell'Adige è caratterizzata da una certa stabilità con tendenza al ripascimento, mentre continua l'evoltersi del lobo destro di foce, il cui litorale assume orientamento Nord Sud.

Esso è interessato da un processo erosivo che ne riduce progressivamente la spiaggia emersa fino quasi alla sua demolizione. Una recentissima difesa mediante una coronella di scogliera con convessità esterna ha peggiorato la situazione, approfondendo i fondali di fronte per un processo analogo — sebbene in scala ridotta — a quello di Caroman (par. 3.2.).

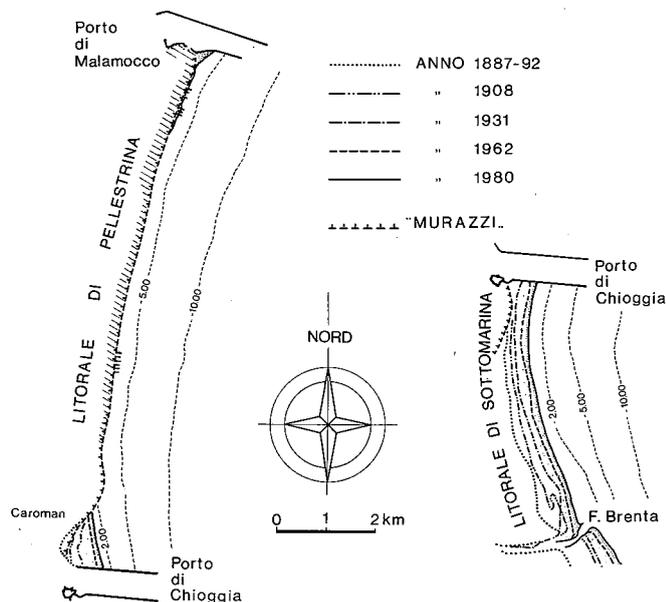


Figura 6. Evoluzione dei litorali di Pellestrina e di Sottomarina.

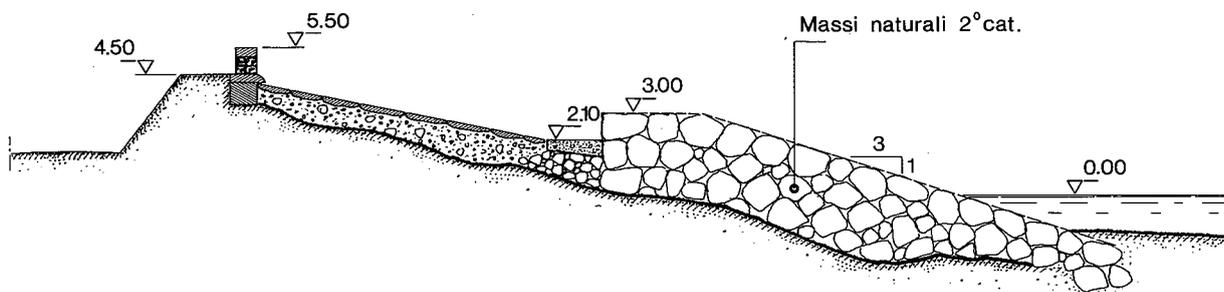


Figura 7. Sezione tipo dei « murazzi » a Pellestrina (stato attuale).

Una valutazione dell'energia del moto ondoso in corrispondenza della foce, secondo un'espressione proporzionale a  $H^2 \cdot T$  pone in evidenza un vettore caratteristico da Sud-Sud Est per tutto il litorale.

Un calcolo di trasporto solido conseguente conduce ad un valore netto verso Nord di  $3,7 \cdot 10^5$  mc/anno che deriva dalla somma algebrica di un valore lordo verso Nord di  $8,2 \cdot 10^5$  e di uno verso Sud di  $3,7 \cdot 10^5$ . Ciò sta ad indicare che la sabbia portata al mare dall'Adige viene scagliata dal moto ondoso sia a destra che a sinistra della foce, a seconda del mare di Bora o di Scirocco; ma la sabbia depositata a destra, cioè a Sud, viene ripresa successivamente e trasportata a Nord ponendo in definitiva in erosione il litorale meridionale. La presenza di sabbia della medesima natura e granulometria ( $D_{50} = 0,3$  mm) a Nord ed a Sud ed i fenomeni erosivi a Sud e di ripascimento a Nord trovano una apprezzabile corrispondenza con il regime del mare.

Per quanto riguarda l'effettivo apporto solido scaricato dall'Adige, si è stimato che questo è rappresentato da un trasporto di fondo per rotolamento compreso fra  $20$  a  $60 \cdot 10^3$  tonn/anno e da uno in sospensione di circa  $18 \cdot 10^4$ , di cui però la massima parte va sicuramente dispersa al largo. Questa quantità è di molto inferiore a quella potenziale netta mossa dal mare, ma è comunque tale da assicurare una notevole dinamica del litorale di fronte alla foce Adige, che può spiegare l'attuale evoluzione.

### 3.4. Il Delta del Po

La cuspidè del delta del fiume Po è sicuramente la zona più singolare del litorale adriatico analizzato: si alternano

infatti continue aperture verso il mare, costituite da valli da pesca e da piccole lagune, e i vari rami che sfociano in mare. In questa zona si sono osservate evoluzioni fra le più complesse del litorale dell'Alto Adriatico che richiederebbero una trattazione a parte: si danno pertanto in questa sede alcune notizie fra le più generali.

Il trasporto solido litoraneo appare divergente rispetto al vertice del Delta, per cui il movimento dei sedimenti è diretto verso Nord nel lobo settentrionale e verso Sud nel lobo meridionale.

Tuttavia le vicende del Delta hanno conosciuto, negli ultimi tempi, alternanze di ripascimento e di erosione. Nel secolo scorso e nella prima metà del ventesimo si è registrato un generale fenomeno di accrescimento delle spiagge, che si è completamente rovesciato fra il 1950 ed il 1965 con un continuo arretramento della linea di riva, dovuto principalmente al noto fenomeno di subsidenza, legato all'estrazione massiccia di metano ed acqua dagli strati superiori del sottosuolo.

Il fenomeno di subsidenza ed erosione è tuttora attuale, anche se di molto attenuato. L'abbassamento del suolo ha variato sensibilmente la pendenza di equilibrio del fiume nel tratto terminale, rallentando conseguentemente l'apporto solido a mare, fenomeno che, collegato alle sistemazioni a monte ed alle estrazioni di inerte, ha scompensato il normale regime litoraneo. La tendenza all'erosione delle spiagge di questi ultimi anni, così, ha causato un aumento dei fondali prospicienti il litorale e di conseguenza è venuto meno il potere protettivo dei cordoni litoranei di deposito e delle retrostanti lagune ad intensa vegetazione palustre.

Le aree litoranee più in crisi sono quelle prossime alle foci principali e sono influenzate dalla velocità di corrente di deflusso che interessa con valore decrescente rispettivamente i rami di Po di Pila, Po di Tolle, Po di Gnocca, Po di Goro; per cui si può comprendere anche il motivo secondo il quale le massime variazioni volumetriche delle spiagge hanno interessato prevalentemente il lobo meridionale del Delta Padano, dove appunto sfociano i rami predetti.

Conseguentemente all'incremento dei fenomeni di degrado, le opere di difesa hanno dovuto adeguare la loro struttura, passando dai piccoli arginelli del 1950, aventi lo scopo principale del solo contenimento delle maree, a rivestimenti radenti via via più imponenti, fino a giungere alle attuali difese, con caratteristiche di vere e proprie opere marittime (fig. 9).

### 4. Considerazioni conclusive

Le sistemazioni dei litorali ed in particolare delle foci, che rappresentano i riferimenti dei primi, presumono una conoscenza ingegneristica del loro comportamento reciproco col mare, che si acquista fondamentalmente attraverso l'osservazione. Vale a dire che la dinamica delle foci e dei litorali deve essere interpretata, sì, attraverso elaborazioni teoriche e numeriche, ma mediate dalle osservazioni disponibili con un notevole senso di intuizione riassunto dall'esperienza.

Non vi è niente infatti che può indurre in inganno quanto un atteggiamento troppo teorico il quale non riesce a pervenire ad una sintesi dell'effetto possibile generato dall'azione

FOCE FIUME ADIGE

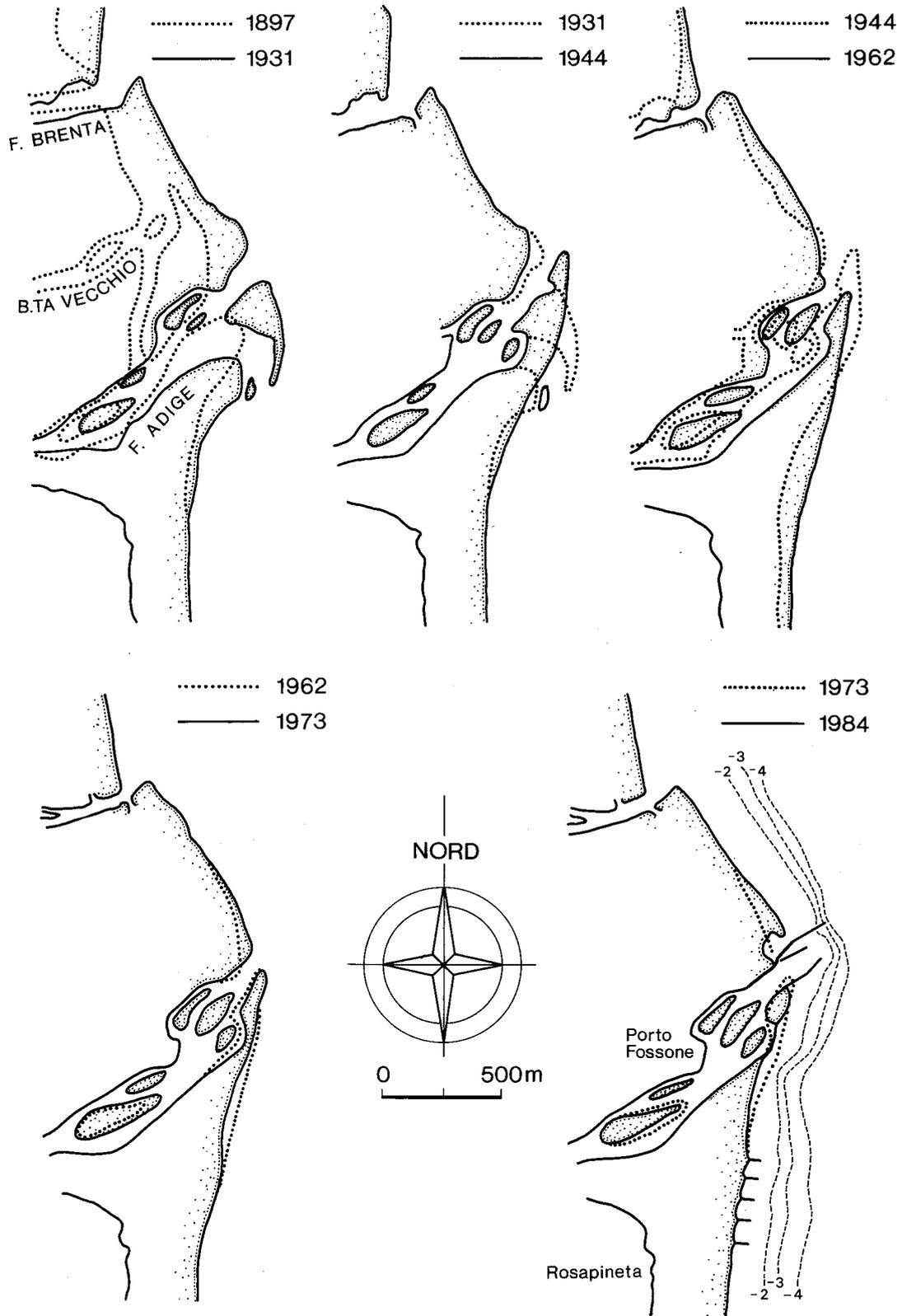


Figura 8. Evoluzione della foce del fiume Adige dal 1897 al 1984.

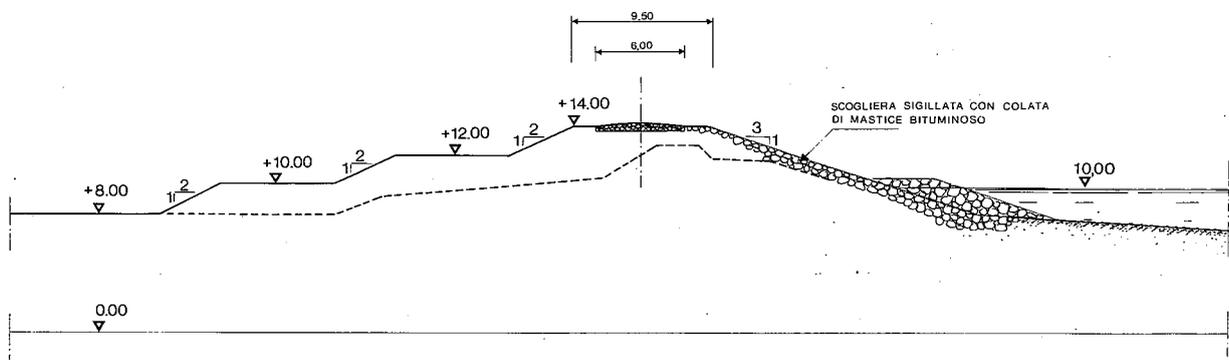


Figura 9. Sezione tipo di alcune difese a mare sul Delta del Po.

concomitante di vari parametri quali il livello del mare, l'energia del mare, il trasporto solido litoraneo, il regime e trasporto fluviali. L'irrigidimento con moli delle foci, ad esempio, ripropone un'attenta analisi di questo intervento e delle sue ripercussioni più o meno immediate.

I dati a disposizione possono individuare le grandezze di tali parametri singolarmente, ma la loro concatenazione e la comprensione della complessa influenza sull'evoluzione del litorale in seguito ad opere di difesa devono essere il frutto, ripetiamo, di un sapiente lavoro di sintesi.

Quanto poi alle opere di difesa realizzabili, nulla è più vero di quanto affermato da più esperti, e cioè che è molto meglio rimandare a domani tutto quello che si sarebbe forzati a fare oggi, in mancanza di una panoramica generale dei fenomeni. Purtroppo troppo spesso, incalzati da cadenze emotive di qualche evento eccezionale, si progettano opere in un tempo assai ristretto, ciò che certamente non conduce a soluzioni razionali. È sempre bene saper aspettare (eccetto in quei casi in cui veramente è necessario un'azione di tamponamento immediato) ed osservare il riequilibrio che, molto più sapientemente di noi, la natura tende ad indurre, anche in carenza di alcuni elementi, per poter trovare così interventi che possano adeguarsi il più possibile a questa azione.

### Bibliografia

E. BARONCINI ed Altri, *Sull'evoluzione dei litorali antistanti la Laguna*

*di Venezia*, Conv. di Studi « Laguna, fiumi, lidi; cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia », 10-12 giugno 1983, II, 10, Venezia, pp. 1-29;

W. BASCOM, *Onde e spiagge. Dinamica della superficie marina*, Zanichelli, Bologna 1965;

A. BRAMBATI ed Altri, *Indagini sedimentologiche sulla spiaggia sottomarina dell'Adriatico Settentrionale tra i Fiumi Brenta e Tagliamento*, Boll. Soc. Geol. It., 96, 1977, pp. 69-87;

A. BRAMBATI ed Altri, *Stato delle conoscenze dei litorali dell'Alto Adriatico e criteri di intervento per la loro difesa*, Mem. Soc. Geol. It., 19, 1978, pp. 389-398;

L. CAROBENE ed Altri, *Zonizzazione delle spiagge dell'Alto Adriatico mediante analisi di parametri morfologici e sedimentologici*, Mem. Soc. Geol. It., 19, 1978, pp. 315-320;

P. COLOMBO, *Osservazioni sul regime di alcuni tratti del litorale occidentale dell'Alto Adriatico*, in « Scritti in onore del Prof. G. Ferro », Soc. Coop. Tip., Padova 1970, pp. 23-62;

G.C. CORTEMIGLIA ed Altri, *Effects of Harbour Structures on Shoreline Variation Along the Coast of Italy*, Bull. de l'Ass. de Congrès de Navigat., II, 1981, 39, pp. 10-36;

R. DAL CIN-U. SIMEONI, *Variazioni volumetriche del Delta Padano nell'ultimo secolo, distribuzione dei sedimenti nei rami deltizi e caratteri granulometrici dei materiali cavati nel basso Po*,

II Conv. di Idraulica Padana, 15-16 giugno 1984, Padova, pp. 253-279;

R. DAL CIN, *I litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta: caratteri tessiturali e dispersione dei sedimenti, cause dell'arretramento e previsioni sull'evoluzione futura*, Boll. Soc. Geol. It., 102, 1983, pp. 9-56;

DAL PRÀ-G. MATTEOTTI, *Studio della foce del Piave e del litorale di Jesolo*, Relazione a cura del Comune di Jesolo, 1978;

G. FERRO, *Difesa dal mare dei territori litoranei*, cap. VII Atti Comm. Interminist. Studio Sistemaz. Idraul. Difesa Suolo, Roma 1970;

G. GANDOLFI, *La utilizzazione dei dati petrografici nell'individuazione della dispersione dei sedimenti litorali*, Atti Conv. Conclus. del Progetto Finalizz. C.N.R. « Conservazione del Suolo », 9-10 giugno 1982, Roma, pp. 355-361;

P. GATTO, *Fenomeni di subsidenza*, Atti Conv. Conclus. del Progetto Finalizz. C.N.R. « Conservazione del Suolo », 9-10 giugno 1982, Roma, pp. 329-335;

G.B. LA MONICA-B. LANDINI, *Tendenze evolutive delle coste basse della Penisola italiana*, Atti XXIII Congr. Geografico It., vol. II, tomo III, 9-13 maggio 1983, Catania, pp. 209-217;

R. MAINARDI, *Difese dal mare nel Delta Padano. Criteri di progettazione e modalità esecutive*, Atti Conv. « Problemi Idraulici delle Venezia », ottobre 1969, Trieste, pp. 79-109;

G. MATTEOTTI, *Sull'evoluzione del litorale a Nord della Bocca di Lido*, Atti e Mem. dell'Accademia Patavina di SS.LL.AA., 1970, vol. LXXXII, parte II, pp. 367-381;

P. MAZZALAI, G. RICCERI E B. SCHREFLER, *Studio della subsidenza nel Delta Padano. I problemi della subsi-*

*denza nella polica del territorio e della difesa del suolo*, Pisa 1978, pp. 50-64;

R. TOSI, *Stone e Tirreno. Statistica delle onde estreme*, CLEUP, Padova 1984;

G.A. VENZO-A. BRAMBATI, *Evoluzione e difesa delle coste dell'Alto Adriati-*

*co da Venezia a Trieste*, « Riv. Ital. di Geotecnica », 1968, n. 3, pp. 1-9;

M. ZUNICA, *Le spiagge del Veneto*, Tip. Antoniana, Padova 1971;

M. ZUNICA, *Interventi sul territorio e dinamica delle coste*, Atti XXIII Congr. Geografico It., 1983.