



LUIGI D'ALPAOS

FATTI E MISFATTI DI IDRAULICA LAGUNARE

La laguna di Venezia dalla diversione dei fiumi
alle nuove opere alle bocche di porto



Istituto Veneto
di Scienze Lettere
ed Arti

L'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, che trova la sua lontana origine nel Reale Istituto Nazionale, voluto da Napoleone per l'Italia all'inizio del XIX secolo, sull'esempio dell'Institut de France, venne poi rifondato con l'attuale denominazione nel 1838 dall'Imperatore d'Austria Ferdinando I. Con l'unione del Veneto al Regno d'Italia, l'Istituto fu riconosciuto di interesse nazionale assieme alle principali accademie degli stati preunitari, anche se la sua maggior attenzione ha continuato ad essere rivolta alla vita culturale e scientifica delle Venezie. La sua configurazione è quella di un'Accademia scientifica, i cui membri sono eletti dall'Assemblea dei soci effettivi, pur venendo la nomina formalizzata con decreto ministeriale.

L'Istituto pubblica gli «Atti», rivista trimestrale distinta in due classi: quella di scienze morali, lettere ed arti e quella di scienze fisiche, matematiche e naturali. Pubblica altresì le «Memorie», pure suddivise nelle due menzionate classi, per studi monografici riconosciuti di particolare rilevanza scientifica e culturale da apposite commissioni di esperti. Pubblica infine collane specializzate come anche gli atti dei convegni, delle scuole di specializzazione e dei seminari da esso promossi.



Istituto Veneto
di Scienze Lettere
ed Arti

MEMORIE
CLASSE DI SCIENZE FISICHE, MATEMATICHE E NATURALI

Volume XLIV

Memoria presentata dal socio effettivo Andrea Rinaldo
nell'adunanza ordinaria del 28 febbraio 2009

ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI

LUIGI D'ALPAOS

FATTI E MISFATTI
DI IDRAULICA LAGUNARE

LA LAGUNA DI VENEZIA
DALLA DIVERSIONE DEI FIUMI
ALLE NUOVE OPERE ALLE BOCCHE DI PORTO

VENEZIA
2010

ISSN 1122-3642
ISBN 978-88-95996-21-9

© Copyright Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti – Venezia

30124 Venezia – Campo S. Stefano 2945
Tel. 0412407711 – Telefax 0415210598
ivsla@istitutoveneto.it
www.istitutoveneto.it

Direttore responsabile: LEOPOLDO MAZZAROLLI
Autorizzazione del Tribunale di Venezia n. 544 del 3.12.1974

INDICE

| | | |
|--|------|-----|
| 1. Introduzione | Pag. | 3 |
| 2. Genesi ed evoluzione della laguna nel Primo Millennio | » | 13 |
| 3. La diversione dei fiumi | » | 27 |
| 4. La costruzione dei moli alle bocche | » | 65 |
| 5. Lo scavo dei grandi canali navigabili | » | 85 |
| 6. Le nuove opere alle bocche | » | 97 |
| 7. Gli effetti idraulici delle opere realizzate negli ultimi due secoli. | » | 111 |
| 8. Il ruolo idraulico delle valli da pesca | » | 165 |
| 9. Gli effetti idraulici delle nuove opere alle bocche. | » | 193 |
| 10. Sulle cause del degrado morfologico del bacino lagunare. | » | 231 |
| 11. Su alcuni possibili interventi di riequilibrio morfologico della laguna | » | 275 |
| 12. Un ultimo pensiero | » | 319 |
| Bibliografia | » | 323 |

FATTI E MISFATTI
DI IDRAULICA LAGUNARE
LA LAGUNA DI VENEZIA
DALLA DIVERSIONE DEI FIUMI
ALLE NUOVE OPERE ALLE BOCCHE DI PORTO

*A
Maria Giulia,
Chiara e Andrea
e alle amatissime Benedetta e Diletta*

Nel dare alle stampe questo volume è doveroso da parte mia ringraziare innanzitutto il Comune di Venezia, non solo per il sostegno finanziario fornito allo sviluppo delle più recenti ricerche, alle quali sono riconducibili non pochi dei risultati qui illustrati, ma soprattutto per aver dato fiducia, diversamente da altri, ai ricercatori del Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova, a cui mi onoro di appartenere, e per aver creduto nel loro valore scientifico e nella loro indipendenza di giudizio.

Per l'illustrazione di molti degli aspetti esaminati, prezioso è stato il contributo dei miei più giovani colleghi, che assieme a me hanno coltivato in questi anni l'interesse verso i problemi dell'idraulica lagunare, in generale, e quelli specifici della laguna di Venezia, in particolare.

Fra tutti sento di dover ringraziare in modo particolare Andrea Defina, mio primo collaboratore, assieme al quale ho condiviso l'interesse per molte delle ricerche qui riprese nei risultati e il cui aiuto non mi è mai mancato nel rinnovare e aggiornare costantemente i modelli matematici realizzati, che sono stati strumenti insostituibili di queste mie attività e hanno consentito di far sentire, in campo scientifico e non, la voce dei ricercatori del Dipartimento IMAGE su argomenti tanto appassionanti.

Sempre ricche di stimoli sono state le osservazioni che ho ricevuto da Stefano Lanzoni nelle molte discussioni e negli scambi di opinione intorno agli argomenti di morfodinamica lagunare, coltivati insieme in questi anni che hanno visto crescere e consolidarsi all'interno del nostro Dipartimento l'interesse per gli studi sull'evoluzione morfologica dei bacini a marea.

Non posso poi dimenticare il seppur breve tratto di strada che ho percorso con l'ing. Paolo Martini, Dottore di Ricerca in Idraulica, che sento di dover egualmente ricordare.

Un ringraziamento affettuoso va ai più giovani ricercatori che da poco ho avuto la fortuna di incontrare, Luca Carniello e Luana Stefanon, che con entusiasmo e competenza mi hanno sostenuto in questa fatica.

Dal profondo del cuore devo poi esprimere la mia gratitudine a Gianluigi Bugno, tecnico presso il Dipartimento IMAGE, che con grande dedizione ha curato le illustrazioni di questo libro.

Un sentito ringraziamento va, infine, all'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, che mi permette di pubblicare queste riflessioni sulla laguna di Venezia, e al collega e amico Andrea Rinaldo per il suo costante incoraggiamento e sostegno, che non mi sono mai mancati anche quando spirava forte il vento delle polemiche, coinvolgendomi.

Le figure 3.1, 3.9, 3.10, 5.1, presenti all'interno della pubblicazione, sono state eseguite dalla Sezione di fotoreproduzione dell'Archivio di Stato di Venezia su concessione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, concessione n. 31/2010.

1. INTRODUZIONE

Nel 452 d.C., un anno dopo la sconfitta subita ai Campi Catalauni a opera di Ezio e dei suoi eserciti, Attila, alla testa degli unni e di altre popolazioni barbariche sue alleate, rientrò in Italia dalle Alpi Giulie, invadendo il Friuli e riversandosi sulla pianura veneta. Nella sua travolgente avanzata verso occidente, il grande condottiero cinse d'assedio Aquileia, espugnandola, e occupò una dopo l'altra Padova, Vicenza, Verona, Brescia e Bergamo. Molti dei fuggiaschi di fronte alle orde guidate da Attila cercarono rifugio nelle paludi e negli acquitrini dell'area costiera, con il cui ambiente quelle popolazioni barbariche non avevano grande familiarità. Forse più secondo la leggenda che la storia, fu con l'arrivo di queste genti, in parte rimaste anche dopo il superamento dell'invasione, che si svilupparono nuovi insediamenti all'interno della laguna di Venezia, dove peraltro già in epoca romana erano presenti nella parte settentrionale centri di un qualche rilievo, come Ammiana, Altino e Torcello.

Circa un secolo più tardi, gli insediamenti lagunari ricevettero ulteriore impulso per l'arrivo di altri profughi, alcuni molto facoltosi, provenienti ancora dalle città della terra ferma investite questa volta dai longobardi di Alboino, che avevano invaso l'Italia entrando sempre dal Friuli ma attraverso la valle del Vipacco.

Ebbero così inizio le complesse vicende che nei secoli successivi dovevano portare alla nascita della città di Venezia e legare in modo indissolubile il destino della laguna a quello degli uomini che in essa avevano scelto di vivere.

A partire dal X secolo, a misura che l'importanza economica e militare dei centri lagunari andava crescendo, dapprima con timidi interventi, poi con opere sempre più incisive, l'uomo, spinto dalla necessità di dare risposta a problemi contingenti, ha tentato di influire sull'evoluzione della laguna, sovrapponendo la propria azione a quella dei proces-

si naturali, senza peraltro poter mai valutare le modificazioni prodotte sul regime idraulico della laguna dai suoi provvedimenti e prevedere le conseguenze che essi avrebbero avuto sul medio e sul lungo periodo.

Si può dire che questa sia stata una costante dell'azione dell'uomo e non solo in tempi in cui mancavano le capacità tecnico-scientifiche per formulare una qualche previsione sugli effetti degli interventi di volta in volta attuati, ma anche in epoche, come è la nostra, in cui le conoscenze fisiche e biologiche dell'ambiente lagunare si sono molto approfondite e un approccio sistemico ai problemi sarebbe una possibilità concreta.

L'opera dell'uomo all'interno della laguna si è andata particolarmente intensificando nel corso dell'Ottocento e del Novecento con opere sempre più importanti, dagli esiti in alcuni casi decisamente non positivi, al punto che non è fuor di luogo domandarsi se, dopo che la laguna era riuscita a sfuggire alla devastazione da parte delle popolazioni barbariche per il difficile rapporto di quelle genti con l'acqua, molti secoli più tardi essa non sia caduta metaforicamente nelle mani di nuovi e più pericolosi «barbari», di uomini animati da grande determinazione, ma forse poco saggi, che, come si vedrà, hanno inciso pesantemente sulla naturale evoluzione di un ambiente che era e resta unico nel suo genere e che solo per questo meriterebbe di essere salvaguardato.

La questione della difesa dell'ambiente lagunare si ripropone anche negli anni in cui viviamo, nei quali, di fronte alla necessità di intervenire per far fronte a problemi molto diversi da quelli del passato e non da tutti riconosciuti nella loro effettiva dimensione, l'azione dell'uomo si sta concretizzando con opere di grande impatto, per taluni aspetti irreversibili.

L'assenza in tutti questi anni di un vero confronto tecnico sulle soluzioni individuate toglie agli interventi avviati la possibilità di un più ampio consenso, come invece sarebbe auspicabile. Tutto questo è motivo di grande preoccupazione, poiché il destino di Venezia, patrimonio dell'umanità intera, non può essere disgiunto dalla soluzione dei problemi di cui soffre oggi la laguna e le opere in corso di realizzazione per la difesa dalle «acque alte»¹ non sembrano in grado né di incidere

¹ Quando si parla di maree di «acqua alta» si intende convenzionalmente far riferimento agli eventi che superano con il loro livello al colmo gli 80 cm sullo zero mareografico di Punta della Salute, dando luogo all'allagamento delle zone altimetricamente più depresse della città, prima fra tutte Piazza S. Marco. Sempre convenzionalmente si classificano come «acque alte eccezionali» le maree il cui colmo supera il livello di 140 cm rispetto allo stesso zero mareografico. Gli eventi di marea con livello massimo compreso tra i due limiti indicati, che sono i più frequenti, sono invece catalogati come «acque medio-alte». Quanto allo zero

in modo significativo sulla salvaguardia della sua morfologia, né di innescare, come sarebbe invece auspicabile, una decisiva inversione di tendenza dei fenomeni che colpiscono l'intero bacino lagunare e lo stanno inesorabilmente trasformando in un braccio di mare.

Partendo da queste personali considerazioni, più volte ho tentato di riorganizzare e mettere insieme le molte riflessioni in campo idraulico che ho maturato nei lunghi anni in cui mi sono occupato della laguna di Venezia. Sempre, tuttavia, rileggendo dopo un po' di tempo le note e gli appunti che avevo predisposto, mi è sembrato che il mio contributo non fosse adeguato rispetto ai problemi che intendevo affrontare. Le idee, che pure nella mia mente mi sembravano ben delineate, non erano altrettanto chiaramente espresse, ragione per cui, insoddisfatto, abbandonavo il tentativo rimandandolo a un momento più propizio, di maggior ispirazione, nella speranza di un risultato migliore.

Sono così passati molti anni, pur restando sempre vivi dentro di me l'interesse e la passione verso i problemi dell'idraulica lagunare, in particolare verso gli aspetti che più da vicino riguardano la laguna di Venezia, che ho coltivato costantemente fin dai primi anni della mia vita universitaria.

Di qui la decisione di tentare per un'ultima volta con l'intenzione di fornire una testimonianza sulle questioni idrauliche veneziane, sicuramente opinabile essendo del tutto personale, stimolato anche dal fatto che dopo tanto discutere si è passati decisamente al «fare», come qualcuno orgogliosamente afferma, oltre che dall'esito non proprio felice di recenti vicende, che hanno definitivamente sbarrato la strada a una rivisitazione dei tormentati temi sulla difesa idraulica di Venezia e sulla salvaguardia della sua laguna, che pure pareva finalmente aprirsi con interessanti prospettive.

Mi sono inoltre convinto della inutilità della mia posizione defilata, che mi ha visto in questi anni scegliere di non intervenire mai pubblicamente nel merito delle questioni ingegneristiche che più direttamente riguardavano la soluzione proposta per il controllo delle alte maree in laguna.

Permangono dentro di me alcune perplessità non tanto sul provvedimento per la difesa dalle «acque alte» eccezionali, che non ha alterna-

mareografico di Punta della Salute, corrispondente al livello medio del mare di Venezia nel 1897, esso è posto 23.5 cm al di sotto del livello medio del mare di Genova del 1942, che è lo zero della rete altimetrica nazionale, al quale sono riferite le quote delle carte IGM e della Carta Tecnica Regionale.

tive rispetto a quella di separare temporaneamente la laguna dal mare o di sollevare adeguatamente il suolo dei centri urbani rispetto al livello delle acque, quanto piuttosto sulla mancanza di una visione di insieme dei problemi, che porta a disgiungere gli interventi alle bocche dal contesto più generale della salvaguardia lagunare.

La soluzione adottata per le opere alle bocche delineata dal progetto in corso di realizzazione presenta aspetti tecnologici e ingegneristici che destano in alcuni perplessità per quanto riguarda la capacità di conservare la loro efficacia in prospettiva e in particolare di non penalizzare la navigazione, se vi sarà un apprezzabile incremento dei livelli marini, come da molti paventato e dato ormai per più che probabile.

Considerare gli attuali problemi lagunari veneziani con il distacco di chi ha il privilegio, vivendo nel mondo della ricerca universitaria, di affrontare gli argomenti con la massima libertà, al servizio solo e soltanto della propria mente, mi ha tolto forse l'opportunità di condividere con altri le riflessioni e le valutazioni maturate in questi anni di studi sulla laguna di Venezia. Anche per questo, per quanto poco possa valere il mio tentativo nell'attuale momento, vorrei in ogni caso provare a riesaminare le più importanti vicende idrauliche della laguna, interpretandole alla luce delle moderne conoscenze scientifiche, cercando soprattutto di evidenziare, sulla base dei risultati resi disponibili dalle più recenti indagini, le conseguenze idrauliche dei grandi interventi del passato e di quelli ora in corso di attuazione.

Mi è sembrato innanzitutto che conoscere il comportamento della laguna nelle sue configurazioni del passato non dovesse essere considerato sfoggio di un'accademia fine a se stessa, ma fosse semmai un indispensabile punto di partenza per comprendere meglio i problemi attuali e l'origine di molti e diffusi luoghi comuni non sempre condivisibili, oltre che per progettare con maggiore sicurezza le opere destinate a modellare la laguna del futuro.

In questo mio tentativo spero di arrivare fino in fondo senza perdere la necessaria lucidità nell'analisi delle questioni da affrontare, pur nella consapevolezza che il mio lavoro soffrirà fatalmente di non poche lacune, poiché molte delle questioni che mi prefiggo di portare all'attenzione del lettore meriterebbero di essere più estesamente illustrate o di essere maggiormente approfondite.

Con questo modesto contributo voglio poi onorare la memoria di Augusto Ghetti, grande indimenticabile Maestro della scuola idraulica padovana, del quale ho avuto la fortuna di essere stato allievo e a fianco del quale è trascorso un lungo tratto della mia vita universitaria. Fu Ghetti ad avviarmi, nell'ormai lontano 1968, agli studi di idraulica lagu-

nare e alla loro modellazione matematica, coinvolgendomi nelle attività del famoso «Comitatone», ovvero della Commissione Interministeriale istituita dal governo italiano subito dopo la grande alluvione del novembre 1966, proprio per studiare i problemi della difesa di Venezia dalle «acque alte» e della salvaguardia della sua laguna. Sotto la Sua guida magistrale ho vissuto anni entusiasmanti, contribuendo assieme ad altri a fornire un primo significativo inquadramento dei complessi fenomeni collegati alla propagazione delle maree all'interno della laguna. In quegli anni, pur percorrendo solo i primi passi della mia carriera universitaria, ho sempre potuto manifestare apertamente le mie idee, stimolato in questo comportamento dal mio Maestro e dagli scambi sempre aperti di opinione e dai confronti quasi quotidiani sui problemi che assieme a Lui affrontavo.

Molti dei risultati allora ottenuti (Ghetti 1979) conservano ancor oggi la loro validità e testimoniano la corretta impostazione di quelle ricerche. Tanto più questa constatazione è importante se si considera che nelle numerose, spesso vivaci, polemiche in cui l'allora Istituto di Idraulica di Padova fu coinvolto, il tempo ha dato in molti casi ragione alle posizioni espresse dai suoi ricercatori.

In un momento come quello attuale in cui altre polemiche emergono, in alcuni casi coinvolgendomi direttamente, di fronte a una rappresentazione dei problemi idraulici veneziani a volte strumentale e alle continue esternazioni, categoriche quanto scientificamente inconsistenti, di alcuni prestigiosi esponenti politici² che pensano che nulla sia loro precluso, men che meno argomentare sui problemi dell'idraulica lagunare, ho ritenuto potesse essere di un qualche interesse riproporre, ampliandoli, gli argomenti trattati circa trent'anni fa da Ghetti in un suo articolo (Ghetti 1974). Arricchendo quel percorso, fondato sui pochi risultati delle primissime ricerche idrauliche condotte sulla laguna di Venezia, con la trattazione di nuovi aspetti e inquadrando i diversi problemi alla luce delle molte conoscenze acquisite negli anni

² Tra i molti, si segnala il governatore del Veneto Dott. Giancarlo Galan che parlando di Venezia e della sua laguna tende a fornire una visione forse troppo semplicistica dei problemi e non sembra vedere altro se non gli interventi alle bocche di porto. Il Governatore nella sua irruente dialettica non ama lavorare di fioretto, ma di sciabola, e con molto folclore inquadra quanti si permettono di eccepire o di segnalare per la laguna problemi diversi, non meno importanti di quello della difesa dalle «acque alte», secondo le categorie più strane. Così nelle ultime dichiarazioni, sollecitate dagli episodi di acqua alta del dicembre 2008, i presunti oppositori delle opere alle bocche sono *tout court* qualificati come «matti», espressione perentoria che ha il pregio dell'immediatezza e non ammette repliche.

successivi a quei lavori ancora meritevoli di essere ricordati, spero che il lettore possa quantomeno formarsi un'idea sulla complessità del sistema lagunare veneziano e sul suo non sempre positivo rapporto con l'uomo.

Parlando di Venezia, contrariamente a quello che generalmente si ritiene, il problema centrale da risolvere non è tanto la difesa della città dalle «acque alte», quanto piuttosto quello, molto più articolato e generale, di contemperare quell'esigenza indiscutibile con la salvaguardia della laguna. Solo la parte meno informata, o disinformata, dell'opinione pubblica può ritenere che l'unica questione da affrontare e risolvere sia la difesa dagli allagamenti dei centri storici lagunari. Questa è sicuramente l'idea di un gruppo di tecnici animati dal desiderio del fare a tutti i costi, forte dell'appoggio fideistico di una parte del mondo politico, in vero un po' sprovveduta quando discute e argomenta intorno al «problema Venezia» avventurandosi nell'annoso dibattito con motivazioni tecniche e storiche singolari³.

Percorrendo questa strada, accanto a un'analisi sugli interventi del passato, sarà inevitabile entrare nel merito delle opere in corso di realizzazione alle bocche di porto e soffermarsi su alcune delle criticità della soluzione adottata. Non per alimentare sterili polemiche, ma per fornire elementi di giudizio a chi volesse approfondire la tanto dibattuta questione della difesa idraulica di Venezia e della sua laguna.

Accompagnando il lettore lungo questo percorso storico-ingegneristico, spero che le mie argomentazioni non rivestano un interesse puramente accademico, lontano dai problemi pressanti che riguardano la laguna e dalle necessità di chi deve operare, non ultima la schiera di tecnici che si sta avvicinando al capezzale di Venezia.

Costoro si vantano della propria concretezza, contrapponendola come valore indiscriminatamente positivo alla costante, inammissibile, incertezza degli studiosi. L'osservazione non è priva di fondamento, poiché per chi vive nel mondo della ricerca il vero motore del progresso della conoscenza sono il dubbio e la consapevolezza che qualsiasi risul-

³ Nel passato spesso la stampa ha riportato le dichiarazioni con cui alcuni esponenti politici prendevano posizione sul problema. Fra tutte vale la pena ricordare, per la motivazione, quella di un ex ministro dei Lavori Pubblici convertitosi rispetto al suo scetticismo iniziale sulle opere di chiusura delle bocche di porto della laguna dopo un illuminante incontro esplicativo con i tecnici ai quali è affidata la realizzazione degli interventi per la difesa dalle «acque alte». L'episodio, fatte le debite proporzioni, richiama alla mente una conversione appena un po' più famosa avvenuta non lungo le calli di Venezia o le strade di Roma, ma sulla via di Damasco.

tato raggiunto, per quanto eccellente, è fatalmente destinato, in tempi più o meno brevi, a essere superato.

Ma è altrettanto inconfutabile che chi opera nel campo concreto dell'ingegneria e, come è il caso dei progettisti delle opere alle bocche della laguna, percorre nuove strade mai esplorate prima e, quindi, non confortate dai risultati di una consolidata esperienza, ponendosi sulla frontiera incerta che separa la ricerca dalle applicazioni avanzate, dovrebbe sentire forte dentro di sé la pericolosità del vivere solamente di certezze. Queste potrebbero dimostrarsi inconsistenti dal punto di vista tecnico, essendo tutte da verificare. In tali casi sottovalutare la critica o, peggio ancora, cercare a supporto delle proprie posizioni non il sostegno della scienza ma quello della cosiddetta «scienza amica» potrebbe riservare loro, e purtroppo anche a noi, amare sorprese.

Il tempo dirà da quale parte sta la ragione, se dalla parte dei fautori degli interventi in fase di attuazione per la difesa dalle «acque alte» o dalla parte di coloro che ravvisano la necessità di affrontare insieme le molte criticità del sistema lagunare e indicano per le opere previste incertezze di funzionamento delle parti mobili, costi di gestione e manutenzione gravati da forti indeterminazioni e, soprattutto, inadeguatezza rispetto ai più recenti scenari di evoluzione dell'eustatismo.

Sarà quello del tempo un giudizio senza appello, rispetto al quale difficilmente ci si potrà sottrarre. Così del resto è stato per i grandi interventi realizzati nel passato all'interno della laguna, che siamo oggi in grado di inquadrare nelle loro conseguenze positive e negative, sia attraverso lo studio delle modificazioni morfologiche subite dalla laguna dopo la loro realizzazione, ben documentate dai rilievi batimetrici disponibili per le diverse epoche, sia mediante l'analisi dei risultati forniti dai più recenti e avanzati modelli matematici, implementati per inquadrare i principali problemi di idrodinamica e morfodinamica lagunare.

Alla luce di tali considerazioni, spero che il mio contributo, basato sui risultati delle molte ricerche di idraulica lagunare condotte in questi anni soprattutto presso l'Università di Padova, conservi fondamentalmente un carattere divulgativo, in modo da favorire una più diffusa conoscenza dei problemi antichi e attuali della laguna di Venezia presso un pubblico più vasto, non necessariamente costituito da soli addetti ai lavori.

La speranza è che il lettore non sia tanto influenzato dalle mie convinzioni personali, ma abbia la possibilità, attraverso un'illustrazione ampia di dati e risultati, di valutare in autonomia la fondatezza delle diverse tesi che sulla difesa idraulica di Venezia e sulla salvaguardia della sua laguna si sono contrapposte nel passato e tutt'ora si contrappongono.

Dopo una sintetica quanto breve introduzione sulla genesi della laguna e sulla sua evoluzione nel Primo Millennio, limitata ad alcuni aspetti essenziali e funzionali ai ragionamenti successivi, si esamineranno con qualche dettaglio i provvedimenti adottati dalla Serenissima all'epoca della diversione dei fiumi, per fronteggiare i fenomeni di interrimento del bacino lagunare e per garantire l'agibilità ai fini della navigazione delle bocche di porto, valutandone le conseguenze.

Sarà questa una indispensabile premessa storica per poter inquadrare i grandi interventi realizzati dall'uomo nel XIX e nel XX secolo, sui quali ci si soffermerà in modo particolare e approfondito, supportando il ragionamento con gli strumenti scientifici della moderna ingegneria.

A partire dal primo rilievo topografico generale disponibile per la rete dei canali lagunari, con l'ausilio dei dati di campo raccolti in questi anni e utilizzando i risultati forniti dalla modellistica matematica applicata alle configurazioni batimetriche ricostruite partendo dai rilievi successivi, si forniranno gli elementi essenziali per descrivere il comportamento idraulico e morfodinamico della laguna e le modificazioni intervenute nel tempo.

Si illustreranno in primo luogo gli effetti e i problemi conseguenti alla realizzazione dei moli alle bocche di porto, attuati per consentire ai moderni battelli a vapore di entrare in laguna e raggiungere i porti interni.

Ci si soffermerà, quindi, sulle conseguenze dello scavo dei grandi canali navigabili sul regime delle correnti di marea e sui processi di erosione dei fondali lagunari, esaminando in particolare il ruolo del tanto discusso canale Malamocco-Marghera.

Alcune considerazioni riguarderanno gli effetti idraulici e le possibili conseguenze morfologiche della realizzazione delle opere fisse alle bocche, ora in fase di compimento, destinate ad accogliere le paratoie mobili che permetteranno di intercludere la laguna rispetto al mare per fronteggiare il fenomeno delle «acque alte».

Un ampio capitolo sarà dedicato alla molto dibattuta questione delle valli da pesca e alla loro funzione idraulica, non sempre correttamente inquadrata. Partendo dalla situazione dettagliatamente illustrata da Antonio De Bernardi nel suo famoso censimento del 1843, si tenterà di ricostruire come si siano andate modificando nel tempo queste realtà, presenti in gran numero fin dai primi secoli del Secondo Millennio, ma il cui rapporto idraulico con la restante laguna è andato cambiando nel tempo.

Verranno, infine, esaminati nei loro effetti principali alcuni provvedimenti per tentare di contenere il degrado morfologico che si osserva all'interno della laguna.

L'intenzione vorrebbe essere soprattutto quella di aprire un confronto sul tema della salvaguardia della laguna, sperando che il dibattito non sia condizionato dai molti preconcetti sperimentati in questi anni sui provvedimenti per la difesa dalle «acque alte», esempio di dialogo tra sordi con un'unica costante posizione: quella di non sapere, o meglio di non volere, gli uni ascoltare le ragioni degli altri.

2. GENESI ED EVOLUZIONE DELLA LAGUNA NEL PRIMO MILLENNIO

Gli argomenti che saranno nel seguito sviluppati e approfonditi non richiedono di rifarsi alle origini della laguna di Venezia. Alcune informazioni sulla genesi delle lagune dell'Alto Adriatico e sui processi naturali che ne hanno influenzato l'evoluzione fino all'inizio del Secondo Millennio possono, tuttavia, essere utili per inquadrare in termini generali gli aspetti geografici che le hanno interessate e per comprendere meglio anche i problemi che oggi affliggono la laguna di Venezia, la maggiore e la più famosa tra quelle giunte sino a noi.

Alcuni autori, e tra questi Piero Leonardi (Leonardi 1960), sono concordi nel ritenere che le lagune dell'Alto Adriatico si siano venute formando nel tempo in una costa bassa, ricca di foci fluviali, interessata da importanti apporti di sedimenti e soggetta a un lento, continuo, processo di sommersione⁴ da parte delle acque marine. In queste condizioni di terre con ogni probabilità allagate periodicamente solamente dai più alti livelli di marea, ma abbondantemente scoperte durante le fasi di riflusso delle acque, l'azione delle correnti indotte dal mare ha potuto manifestarsi in modo incisivo, favorendo la nascita e lo sviluppo di una potente e articolata rete di canali, quale ancora si osserva.

Si tratta di meccanismi di evoluzione morfologica dei fondali che

⁴ Con questo termine si suole indicare l'effetto combinato dovuto all'innalzamento del livello medio del mare (eustatismo) e alla subsidenza del suolo. La subsidenza può essere determinata da naturali processi di consolidamento di livelli costituiti da materiali fini (limi e argille), ma anche da processi di compattazione degli stessi livelli per depressurizzazione delle falde, a causa di un eccessivo sfruttamento delle loro acque da parte dell'uomo. È quanto si è verificato a Venezia nel secolo appena trascorso quando, soprattutto per le necessità dello sviluppo industriale di Porto Marghera, si è fatto uso massiccio e indiscriminato di acque sotterranee, attingendo portate copiose dalle falde in pressione.

sembrano confermati da recenti analisi teoriche condotte con l'ausilio di un modello idrodinamico semplificato di un bacino a marea (D'Alpaos A. *et al.* 2005; D'Alpaos A. *et al.* 2006), oltre che da esperienze di laboratorio su di una laguna schematica (Stefanon *et al.* 2008; Stefanon *et al.* 2009) rivolte a indagare i processi che governano e controllano la nascita e lo sviluppo di una rete di canali a marea nelle diverse possibili condizioni, partendo da una configurazione iniziale di fondali completamente piatti. Le esperienze evidenziano che in una laguna la struttura di base della rete di canali che innerva bassifondi costituiti da materiali incoerenti, si forma in tempi relativamente rapidi, soprattutto se durante le fasi di marea discendente ampie superfici si scoprono, asciugandosi, e la corrente si concentra lungo poche direzioni, incidendole progressivamente. La conformazione morfologica di tali canali è fortemente condizionata dalle asimmetrie caratterizzanti la propagazione dell'onda di marea sui bassi fondali e dal grado di convergenza dei canali stessi (Lanzoni e Seminara 1998). L'evoluzione verso una condizione dinamicamente stabile del fondo è tanto più rapida quanto più il profilo iniziale di un generico canale si discosta da quello di equilibrio che, d'altra parte, tende a essere raggiunto asintoticamente, comportando nel ciclo di marea un trasporto di sedimenti nullo lungo tutto il canale in esame (Lanzoni e Seminara 2002).

Lo sprofondamento del suolo, che di questi tempi rappresenta un pericolo per la laguna, in epoche passate sarebbe stato pertanto tra le cause principali che hanno contribuito alla sua stessa formazione e, quindi, anche alla nascita di Venezia in quanto rifugio delle popolazioni venete, prima contro le invasioni barbariche, poi contro gli attacchi provenienti dalla terraferma.

La validità dell'ipotesi e l'importanza in epoca preistorica e storica dei fenomeni di subsidenza e di innalzamento del livello medio del mare sono testimoniati dal ritrovamento in scavi eseguiti all'interno della laguna di numerosi reperti di antiche civiltà. Al riguardo si segnala che resti di presenze preistoriche sono stati rinvenuti entro livelli del sottosuolo posti a quote inferiori di 4-6 m rispetto al comune marino⁵,

⁵ Il *comune marino* (C.M.) o più opportunamente la *comune alta marea* (C.A.M.) è la quota corrispondente al livello medio delle *alte maree* che si registra in una località. All'interno del bacino lagunare il *comune marino* varia perciò da punto a punto e corrisponde indicativamente al limite superiore dell'impronta verde-nerastra lasciata dall'alternarsi delle maree sulla muratura degli edifici prospicienti la laguna e i suoi canali. Anticamente nella città di Venezia e nell'estuario lagunare, ritenendosi erroneamente invariabile questo livello, il *comune marino* veniva individuato con un tratto orizzontale sovrastato da una C. Controlli

mentre reperti di origine romana sono stati ritrovati a 1.5-3.0 m al di sotto dell'attuale livello del suolo. Infine la pavimentazione stradale dell'antica Riva degli Schiavoni, costruita nel XIII secolo, si colloca a una profondità inferiore di circa 0.8 m rispetto alla quota della pavimentazione attuale.

Alla luce di queste brevi considerazioni, è quindi quanto mai probabile (Leonardi 1960) che in epoca protostorica la zona lagunare potesse essere completamente emersa e che solo recentemente, in termini geologici, il mare l'abbia invasa, penetrandovi attraverso il cordone di dune litoranee (i lidi) che la marginava, superandolo in corrispondenza delle sue parti più depresse e sommergendo quasi completamente i cordoni più interni, dei quali gli attuali isolotti lagunari rappresenterebbero ciò che rimane delle parti più elevate. Questa dinamica evolutiva dell'area lagunare veneta sarebbe confermata in termini qualitativi da quanto si conosce per le lagune di Comacchio e dai risultati delle indagini che hanno portato all'individuazione della città greco-etrusca di Spina, la quale nell'antichità ebbe il ruolo di tramite fra oriente e occidente più tardi assunto da Venezia.

Sempre volendo individuare la genesi delle lagune dell'Alto Adriatico, dinamiche evolutive un po' diverse rispetto a quelle sinteticamente delineate dovrebbero ipotizzarsi seguendo le più moderne interpretazioni dei processi che governano la formazione e l'evoluzione degli ambienti costieri di transizione fra terra e mare. I lidi delle lagune adriatiche, che le marginano rispetto al mare, sarebbero, infatti, ciò che resta delle antiche barriere di sabbia che si sarebbero formate di fronte alle foci dei fiumi, come conseguenza del deposito di sedimenti trasportati in abbondanza e dell'incontro fra correnti costiere e correnti fluviali (Seminara *et al.* 2001). Disponendosi ad una certa distanza dalla linea di riva con andamento sub-parallelo alla costa, queste barriere, rese discontinue dalla presenza di passaggi di collegamento con il mare incisi dall'azione erosiva delle correnti di marea, configurano un ambiente costiero morfologicamente articolato, ma generalmente poco profondo e apprezzabilmente influenzato nella sua risposta bio-morfodinamica anche dai fenomeni di sommersione.

recenti, eseguiti per quotare rispetto ai più moderni riferimenti mareografici (di solito il livello medio del mare) il limite del *comune marino* indicato dai segnali ancora reperibili sulle murature veneziane, permettono di individuare i valori di questa grandezza e le sue variazioni in funzione del sito considerato (Rusconi 1983). Molti autori si sono occupati del problema e pongono generalmente il *comune marino* al di sopra del livello medio del mare di 22-28 cm circa.

Quanto alle cause naturali della sommersione dell'area costiera dell'Alto Adriatico (Leonardi 1969), esse sono innanzitutto riconducibili alla subsidenza del suolo, conseguente alla compattazione di materiali alluvionali e marini fini di deposizione geologica relativamente recente, la cui potenza complessiva nella bassa pianura padano-veneta, secondo sondaggi profondi eseguiti per la ricerca di idrocarburi, raggiunge in taluni casi i 6000 m di spessore. Sugli accennati processi di consolidamento della serie sedimentaria cenozoica e neozoica⁶ secondo Giovanbattista Dal Piaz (Dal Piaz 1959) si sarebbero sovrapposti in epoca pliocenica e quaternaria non meno importanti fenomeni tettonici, attraverso flessure e stiramenti passanti spesso a vere e proprie faglie⁷, talvolta molto profonde, a carico del basamento roccioso della stessa pianura.

Non meno importanti per i fenomeni di sommersione sono stati gli effetti dovuti alle variazioni del livello medio del mare, legate al cambiamento del rapporto tra il volume delle acque marine e oceaniche e quello delle masse di ghiaccio delle calotte polari (in particolare della calotta antartica, essendo quella artica costituita da masse ghiacciate galleggianti per la maggior parte già immerse in acqua), della Groenlandia e delle altre terre circumpolari nonché dei ghiacciai delle maggiori catene montuose.

A parità di altre condizioni, come è noto, un aumento delle masse di ghiaccio nelle parti emerse del globo comporta una riduzione del livello medio dei mari, mentre una loro diminuzione produce l'effetto opposto. L'entità del fenomeno in epoca geologica è stata impressionante. Basti ricordare che durante la glaciazione würmiana⁸, l'ultima dell'era quaternaria, secondo molti studiosi il livello dell'Adriatico si sarebbe abbassato di circa 100 m, spostando la linea di costa settentrionale di questo mare verso Ancona.

Importanti effetti dovuti all'eustatismo glaciale con apprezzabili variazioni del livello medio del mare si sono avuti, tuttavia, anche in epoca storica. Nell'ultimo secolo, per restare ai tempi a noi più vicini, secondo

⁶ L'era neozoica o quaternaria è l'era geologica più recente e si estende da 1.8 milioni di anni fa fino a oggi. Essa è stata preceduta dall'era cenozoica o terziaria, che viene fatta risalire fino a 68 milioni di anni fa.

⁷ Con questo termine si intende indicare una frattura (o una zona di frattura) tra due masse rocciose avvenuta nel passato a seguito di un dislocamento relativo delle masse stesse. Una flessura invece è una piega degli strati rocciosi.

⁸ La glaciazione würmiana, iniziata circa 110000 anni fa, fu la quarta e ultima glaciazione dell'era quaternaria. Terminata circa 10000 anni fa, la glaciazione würmiana ha interessato in pieno la vita dell'uomo sulla terra e fu caratterizzata da fortissime variazioni climatiche, che hanno profondamente inciso sulla preistoria della civiltà umana.

i dati mareografici registrati a Punta della Salute e a Trieste il livello medio del mare nell'Alto Adriatico si è incrementato per eustatismo di circa 11 cm (Battistin e Canestrelli 2006), mentre la sommersione nel territorio lagunare, ovvero l'effetto congiunto di eustatismo e subsidenza, deducibile dalle stesse osservazioni, sarebbe stata pari a poco meno di 25 cm. Relativamente a tale fenomeno, sono da segnalare le preoccupanti previsioni sull'innalzamento del livello medio del mare nei prossimi cento anni, per i riflessi concreti sulla funzionalità delle opere che si intendono realizzare per la difesa dalle «acque alte» e per la loro rispondenza con riferimento agli obiettivi indicati a sostegno della soluzione proposta. Le stime di autorevoli organismi internazionali come l'International Panel on Climate Change (IPCC) indicano, infatti, incrementi compresi in un intervallo che varia tra i 9 cm, nella più ottimistica delle ipotesi, e gli 88 cm, nella più severa delle previsioni (IPCC 2001).

Le accennate variazioni di quota legate ai fenomeni di sommersione, che da sempre affliggono l'area costiera veneziana, hanno costantemente influito sui rapporti fra terre emerse e mare, rendendo quanto mai arduo qualsiasi tentativo di ricostruire in modo soddisfacente alcune caratteristiche morfologiche della laguna di Venezia nei secoli a noi più lontani e di spiegare in quale misura esse si siano andate modificando dal punto di vista geografico. Indirettamente qualche indicazione può essere tratta dalla letteratura storica, che, pur con ampi margini di incertezza, permette di formarsi un'idea sulle condizioni locali di alcune parti della laguna e sull'evoluzione dello stato generale di tutta la fascia costiera veneta.

In epoca romana gli specchi d'acqua costieri dell'Alto Adriatico, indicati da Plinio con il nome di «sette mari», si estendevano senza soluzione di continuità da Ravenna a Grado. Come ricorda Cassiodoro in una sua lettera con cui sollecita l'invio di rifornimenti alla fortezza di Ravenna (Lane 1973), essi erano abitati da barcajoli dediti alla pesca, al lavoro per l'estrazione del sale e al trasporto di merci per canali interni, particolarmente in direzione appunto di Ravenna, in quei tempi una delle più importanti città dell'Italia settentrionale.

Questa condizione, che si era mantenuta a lungo, incominciò a modificarsi a seguito dell'alluvione catastrofica dell'Adige (nel 589 secondo le cronache di Paolo Diacono), che sconvolse l'idrografia del basso Veneto, ma soprattutto dopo che il Po, rompendo a Ficarolo nel 1152, si aprì una nuova strada verso il mare lungo il ramo minore di Fornaci, che sarebbe diventato il Po Grande e più tardi ancora il Po di Venezia, abbandonando il vecchio alveo in direzione di Ferrara dal quale prendevano origine il Po di Volano e il Po di Primaro.

A seguito degli esiti della rotta di Ficarolo, non efficacemente contrastata dai ferraresi nelle sue fasi iniziali, e, qualche secolo più tardi, dell'apertura del famoso Taglio di Porto Viro a opera dei veneziani (1604), ebbero inizio l'attuale corso del grande fiume e la costruzione del suo nuovo imponente delta (Fig. 2.1), che in qualche modo veniva a separare dal punto di vista morfologico il destino delle lagune venete da quello degli altri bacini costieri più prossimi a Ravenna.

Furono questi gli eventi straordinari che, contrariamente a quanto era avvenuto in epoca romana e nell'alto Medioevo, resero via via sempre più difficoltoso navigare lungo la costa veneto-romagnola per sicure e tranquille vie d'acqua interne e posero per il territorio veneto-polesano le basi delle trasformazioni che dovevano portare al moderno assetto del delta del fiume.

Per molti secoli nelle lagune venete gli interrimenti causati dai consistenti apporti di origine fluviale furono in grado di compensare i già ricordati effetti della sommersione. Pertanto fino a quando l'azione dell'uomo non si è fatta sentire pesantemente, la loro configurazione e la loro morfologia fu il risultato di naturali e contrapposti processi di modellazione dei fondali.

Da una parte la potente azione costruttrice dei fiumi, dall'altra l'inesorabile azione demolitrice del mare, sovrapponendosi e interferendo tra loro, erano in grado di modificare in tempi relativamente brevi l'estensione e le profondità degli specchi d'acqua delle lagune. Anche per questi motivi non è agevole definire con la dovuta attendibilità quanto nel lontano passato la configurazione della laguna di Venezia sia stata diversa da quella attuale (Fig. 2.2).

Non mancano, come è ovvio, significative ricostruzioni delle condizioni della laguna nel Primo Millennio. Particolarmente interessanti le mappe proposte dallo storico Jacopo Filiasi (Filiasi 1794-98), che inquadrano lo stato della costa adriatica nel contesto più generale del territorio veneto all'epoca dell'Impero Romano (Fig. 2.3) e propongono una ricostruzione delle condizioni della laguna verso l'Anno Mille, quando i lidi, diversamente da oggi, erano tagliati da numerose bocche (Fig. 2.4).

Sempre con riferimento all'assetto generale della laguna nella stessa epoca, degna di essere citata è la ricostruzione proposta da Eugenio Miozzi (Miozzi 1968), nel tentativo di definire sulla base di documenti storici la posizione dei lidi e della terraferma rispetto a quella attuale.

Facendo fede a quest'ultima ricostruzione, la laguna era separata dal mare da cordoni litoranei abbastanza distanti dalla terraferma e incisi, come peraltro già indicato da Filiasi, da molti varchi di comunicazione con il mare, caratterizzati, salvo alcuni, da sezioni liquide di modesta

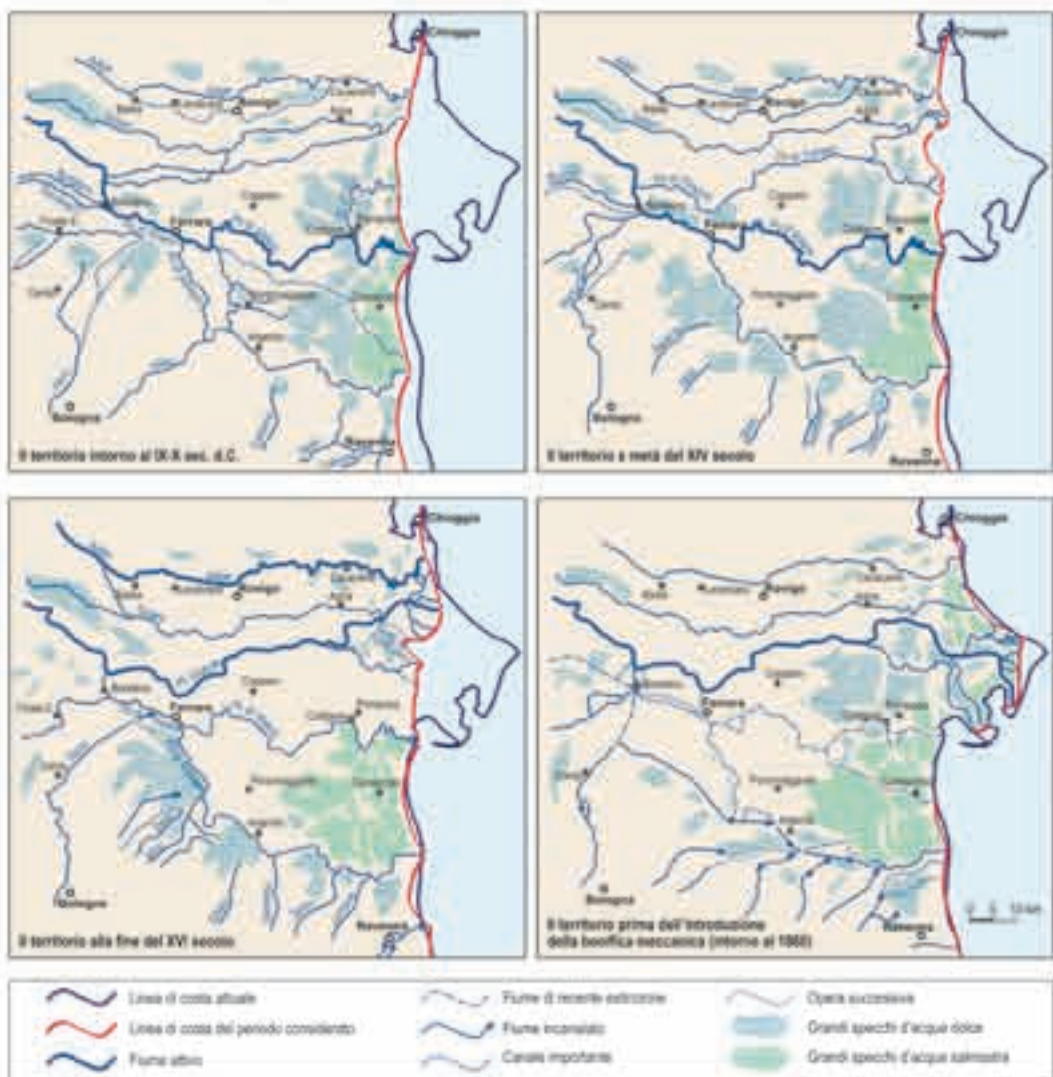


Fig. 2.1 - Evoluzione nel tempo del Delta del Po a partire dal IX secolo (Bondesan 1990).

ampiezza. Di tale situazione si ha conferma indiretta, fra l'altro, nel racconto di Procopio, storiografo dell'imperatore Giustiniano, che narra della marcia compiuta nel VI secolo dal generale bizantino Narsete alla testa dell'esercito di Costantinopoli per raggiungere Ravenna, partendo da Grado. Mantenendosi sui lidi costieri e facendosi accompagnare da alcune navi per superare le bocche che si aprivano tra la laguna e il mare, Narsete poté giungere a Ravenna senza essere scoperto dai goti di Totila, che l'attendevano sulla terraferma per impedirgli il passaggio



Fig. 2.2 - Una recente immagine da satellite della laguna di Venezia (2003).

lungo un percorso più logico e usuale, che si snodava seguendo le vie Emilia, Annia e Popilia.

Lo stato delle bocche lagunari esistenti in quell'epoca era molto diverso da quello attuale. Notizie, riprese da Samuele Romanin (Romanin 1853-61) e tratte da cronache dell'inizio del IX secolo sulla tentata invasione ai danni di Venezia da parte di Pipino, figlio di Carlo Magno e re dei franchi, portano a concludere che le larghezze e le profon-



Fig. 2.3 - Il territorio veneto in epoca romana secondo la ricostruzione dello storico Jacopo Filiasi.



Fig. 2.4 - La laguna di Venezia verso l'Anno Mille secondo la ricostruzione dello storico Jacopo Filiasi.

dità dei canali delle antiche bocche di Brondolo, Chioggia e Albiola (Pastene o Portosecco nei secoli successivi), a sud, di Lio Maggiore, Torcello e Burano, a nord, erano modeste, tanto da poter essere facilmente attraversate dai franchi e dai loro alleati nell'azione in armi contro i veneziani. Non così le bocche di Treporti, di S. Erasmo, di S. Nicolò e di Malamocco che dovevano essere, invece, alquanto più profonde, al punto da costituire una naturale difesa contro l'invasione. Di fronte a Malamocco, infatti, gli eserciti delle due parti contrapposte si fronteggiarono a lungo senza che i franchi potessero superare quel canale e riversarsi sul litorale del Lido dove erano raccolti i veneziani, nonostante i ripetuti tentativi compiuti da Pipino e dai suoi, anche utilizzando zattere e pontoni.

Nella seconda parte del Primo Millennio alcune delle bocche della laguna erano, quindi, di non grande larghezza e poco profonde. Esse, alimentando specchi d'acqua di limitata estensione, erano percorse da modesti flussi di portata, che, a causa delle ridotte velocità, non erano in grado di garantire il mantenimento nel tempo dei fondali, soprattutto per i consistenti depositi di sabbie trasportate sotto riva dalle correnti costiere generate dal moto ondoso. Di qui la possibilità concreta di una loro occlusione, come spesso è avvenuto ed è del resto documentato dalle mappe storiche che in epoche successive illustrano lo stato della laguna, segnalando la scomparsa di non poche delle bocche esistenti.

Con riferimento alla seconda metà del Primo Millennio, affidandosi alla citata ricostruzione di Miozzi (Fig. 2.5), mentre i cordoni sabbiosi meridionali che separavano la laguna dal mare non avrebbero subito nel tempo sostanziali variazioni nella loro posizione rispetto alla condizione attuale, i lidi settentrionali sarebbero apprezzabilmente avanzati verso il mare, incrementando la loro potenza grazie all'apporto e al deposito di sabbie del Piave. Prova ne sia che Lio Maggiore, dove un tempo si apriva una delle bocche della laguna, oggi è lontano dal mare più di quattro chilometri, mentre il canale di Saccagnana, posto egualmente in corrispondenza del mare al tempo del tentativo di Pipino di sottomettere alla propria autorità le genti della Confederazione Veneta, ne dista ora più di due.

Molto diverso rispetto ai nostri giorni era il limite verso terra della laguna. Sempre secondo la ricostruzione di Miozzi, che richiama notizie provenienti da fonti diverse e cita numerosi documenti storici a sostegno delle sue valutazioni, a sud di Fusina vi sarebbe stato un progressivo incremento delle superfici lagunari rispetto all'epoca romana, accompagnato da un parallelo ritiro verso occidente del limite della terraferma.



Fig. 2.5 - La laguna di Venezia verso l'Anno Mille secondo Eugenio Miozzi. Confronto con i limiti della laguna attuale fissati dalla conterminazione.

Ampie fasce di terreno coltivate e abitate, un tempo sicuramente non soggette alle acque della laguna, si sarebbero trasformate in «barena»⁹,

⁹ Le «barene» sono una delle formazioni morfologiche caratteristiche della laguna veneta. Esse si contraddistinguono rispetto alle altre forme lagunari per la loro quota superiore, generalmente di 20-40 cm, al livello medio del mare, che le rende sommergibili soltanto

come conseguenza dei già ricordati fenomeni di subsidenza. L'entità del fenomeno è ben testimoniata se si considera che la fortezza denominata «Peta de Bo», costruita dai padovani ai margini del bacino lagunare nel loro contrastato tentativo di realizzare in laguna delle saline¹⁰ proprie, dista attualmente oltre cinque chilometri dal limite della conterminazione, essendo separata dalla terraferma dagli specchi d'acqua del cosiddetto Lagone e di Valle Millecampi.

Sostanzialmente immutata risulterebbe, sempre secondo Miozzi, la posizione del margine a terra del bacino lagunare nella sua parte centrale, tra Fusina e Altino. Qui gli effetti dovuti all'apporto di sedimenti da parte dei numerosi corsi d'acqua minori che vi sfociano sono stati evidentemente in grado di bilanciare gli effetti opposti determinati dalla sommersione. Questa condizione del resto è documentata dal fatto che l'antica via Emilia, tra Mestre e Altino, correva allora ai margini della laguna, come avviene per l'attuale strada statale Triestina, che ne ripropone in veste moderna il tracciato.

Profonde modificazioni si osserverebbero, invece, a nord di Altino, con un notevole avanzamento della terraferma verso la laguna. Il territorio dove sorgeva l'antico insediamento, circondato da acque in epoca romana, appartiene ora decisamente alla terraferma e molte delle isole, che nel VI e VII secolo accolsero le genti venete in fuga davanti alle invasioni barbariche, si sono verosimilmente unite alla terra. Responsabile principale di queste trasformazioni è stato il Piave, che in quell'epoca interferiva pesantemente con la laguna superiore¹¹, riversandovi le pro-

durante le fasi di alta marea pronunciata (i cosiddetti *sopracomuni*). Le *barene* sono normalmente ricoperte da vegetazione alofila, la cui specie si differenzia a seconda della quota della superficie. Altri ambienti tipici della laguna, oltre ai *canali*, sono le *paludi* (indicate a volte anche con il nome di *velme*), che emergono durante le basse maree ma sono soggiacenti al livello della *comune marea*, e i *fondoni* o *laghi*, che rimangono permanentemente ricoperti dalle acque anche durante le basse maree più pronunciate.

¹⁰ Le saline erano specchi d'acqua marginati rispetto alle restanti parti della laguna, rimaste attive all'interno della laguna fino ai primi decenni del '900. Nelle saline, sfruttando i naturali processi evaporativi, il contenuto salino delle acque marine viene progressivamente aumentato fino a far precipitare sul fondo il cloruro di sodio e a produrre in questo modo il sale. Secondo la Carta Idrografica della laguna del 1901, nei primi anni del secolo passato le saline occupavano estesi specchi d'acqua nella laguna settentrionale come è testimoniato da alcuni toponimi.

¹¹ Nell'antica cartografia lagunare si indicava con il termine di *laguna superiore* quella parte del bacino lagunare che era più direttamente alimentata dalla bocca di Treporti. La *laguna media*, invece, era formata dalla zona centrale della laguna, che era interessata soprattutto dalle acque che penetravano attraverso le bocche di S. Erasmo, S. Nicolò e Malamocco. La *laguna inferiore*, infine, era costituita dagli specchi d'acqua idraulicamente dominati dalla bocca di Chioggia. Si tratta di una terminologia che conserva ancor oggi la sua sostanziale validità e ad essa, quindi, si farà per lo più riferimento nel testo.

prie alluvioni cariche di materiali fini. Diffondendosi fino ai limiti del bacino lagunare, in zone solo marginalmente interessate dalle correnti di marea e dagli effetti del moto ondoso, le acque del fiume vi depositavano i sedimenti trasportati in sospensione, facilitando i processi di interrimento.

In conclusione, secondo la ricostruzione suggerita da Miozzi si può affermare che dall'epoca romana a oggi gli specchi d'acqua della laguna superiore si sono ristretti, mentre si è apprezzabilmente accresciuta la potenza del cordone litoraneo che la separa dal mare. Per contro nella laguna inferiore si è assistito a una lenta progressione delle acque verso la terraferma, restando immutata la posizione dei lidi che la dividono dal mare, anche se nel corso dei secoli la potenza dei cordoni litoranei si è in alcuni punti così ridotta da richiedere di ricostituire artificialmente la preesistente separazione tra mare e laguna. È, infine, rimasto invariato il limite della terraferma nella laguna media e in particolare di fronte a Venezia.

3. LA DIVERSIONE DEI FIUMI

Nei secoli immediatamente successivi a quelli che videro sorgere i primi insediamenti a opera delle genti fuggitive di fronte alle invasioni barbariche e fino all'Anno Mille, mentre si andava delineando attorno a Rivo Alto il primo nucleo di quella che doveva diventare la città di Venezia e altri importanti centri lagunari, in parte successivamente scomparsi, conoscevano un promettente sviluppo, la laguna subiva i primi timidi interventi da parte dell'uomo, che si sovrapponevano con i loro effetti alla modellazione sostenuta dalle correnti di marea e dal moto ondoso e alle naturali variazioni indotte dai fenomeni di sommersione e di deposito dei sedimenti introdotti dai fiumi. Si trattava in verità di interventi molto modesti, volti alla soluzione di piccoli problemi locali, per marginare e bonificare zone paludose di non grande estensione, per raddrizzare e approfondire qualche tratto di canale minore, per adattare alcuni specchi d'acqua alle funzioni di salina e trarne quel sale che da sempre era commerciato verso altre città dalle genti insediate in laguna.

A partire dal XII secolo incominciarono però a manifestarsi nella laguna di Venezia preoccupanti processi di interrimento, che influivano negativamente sul crescente sviluppo degli insediamenti abitativi e sulle attività economiche e militari della Repubblica. Responsabili del fenomeno erano alcuni grandi fiumi che interferivano dal punto di vista idraulico con la laguna e che vi sfociavano direttamente, immettendovi, durante gli stati di piena più pronunciati, acque particolarmente cariche di sedimenti fatalmente destinati a depositarsi.

Nella laguna superiore, come si è accennato, i problemi maggiori erano determinati dal Piave, anche se con ogni probabilità il fiume vi sfociava solo con un suo ramo minore. In occasione delle maggiori piene, tuttavia, le acque del Piave, spagliando sulla pianura attraversata

dal suo corso nella parte terminale e superando il Sile, si spingevano in profondità all'interno del bacino lagunare, fino a interessare gli specchi d'acqua adiacenti le isole di Burano e Torcello con conseguenze negative per il mantenimento dei fondali.

Era tuttavia nella laguna media che si riscontravano gli effetti più preoccupanti del fenomeno. A Fusina (Lizzafusina), quasi di fronte a Venezia, era stabilita in quell'epoca la foce del ramo principale del Brenta, le cui torbide, sedimentando, comportavano pronunciati fenomeni di interrimento degli specchi d'acqua limitrofi alla foce stessa, con conseguenze dannose per i fondali, fino a interessare addirittura alcuni importanti canali che innervavano la rete dei rii cittadini.

Né meno gravi erano i problemi generati dalla sedimentazione delle sabbie trasportate dalle correnti costiere a ridosso delle numerose bocche lagunari, che in quei tempi si aprivano attraverso i cordoni litoranei di separazione della laguna dal mare. I fondali relativamente modesti di alcune di queste bocche comportavano, durante l'alternarsi delle maree, velocità delle correnti non molto sostenute e comunque insufficienti per mantenerne l'officiosità. Non erano, in particolare, queste velocità in grado di erodere e di allontanare i depositi di materiale che naturalmente tendono a formarsi in mare di fronte a una qualsiasi foce fluviale o lagunare¹², come conseguenza della mobilità dei fondali e dell'interazione tra le correnti che la percorrono e quelle indotte dal moto ondoso nella fascia più prossima alla riva.

Per meglio comprendere il significato e i limiti degli interventi attuati dai veneziani per contrastare i fenomeni sopra ricordati, conviene premettere alcuni concetti essenziali sui meccanismi idraulici che governano i processi richiamati, sui quali peraltro si ritornerà in modo approfondito più avanti, quando si esamineranno con maggiore dettaglio e su basi fisico-matematiche le conseguenze dell'opera dell'uomo sulla laguna nei due secoli a noi più vicini.

Ai margini della laguna, dove sfociavano i fiumi che con il loro apporto di sedimenti causavano gli interrimenti e i fenomeni di impaludamento lamentati dagli antichi veneziani, le correnti di marea non erano in grado, allora come ora, di garantire velocità sufficientemente elevate per mantenere in sospensione i sedimenti introdotti e per convogliare

¹² I depositi di materiale, che si formano di fronte alle foci dei fiumi e alle bocche lagunari, costituiscono quella che in gergo tecnico è detta *barra di foce*. Essi si localizzano nelle zone in cui la velocità delle correnti viene naturalmente a ridursi e i caratteri del moto non sono più in grado di mantenere attivo il trasporto dei sedimenti mobilitati in prossimità del fondo e/o in sospensione.

verso i canali, prima, e le bocche, poi, il materiale solido che vi perveniva in grande quantità. D'altra parte, diversamente da quanto oggi si verifica, tali sedimenti, una volta depositati sul fondo, non potevano essere rimobilitati e risospesi dall'azione del moto ondoso indotto dal vento, caratterizzato in quei tempi da altezze d'onda sensibilmente meno elevate di quelle attuali, sia per i fondali più ridotti degli specchi d'acqua interessati dalla generazione e dalla propagazione del moto ondoso stesso sia per la minore estensione delle superfici liquide sulle quali il vento, spirando liberamente¹³, poteva esplicare la sua azione perturbatrice. Tanto meno la risospensione dei sedimenti poteva essere sostenuta dal moto ondoso generato dalle imbarcazioni, date le modestissime velocità di navigazione.

L'unico processo che in parte mitigava gli effetti degli interrimenti causati dal deposito di sedimenti fluviali era la sommersione del territorio, che si esplicava, tuttavia, su scale dei tempi molto più lunghe di quelle caratteristiche dei fenomeni di interrimento e con intensità decisamente inferiori al tasso di diminuzione locale dei fondali prodotto dalla sedimentazione. Nel periodo considerato, oltretutto, la costruzione lungo i corsi d'acqua dell'entroterra di difese longitudinali sempre più importanti e con crescente carattere di continuità per il contenimento delle piene, riducendo la possibilità di espansione delle acque sulla pianura circostante, favoriva il deflusso verso la laguna di portate via via più elevate e maggiormente cariche di sedimenti.

Stante la situazione, in mancanza di significativi interventi capaci di ridurre l'apporto di sedimenti fluviali, il destino della laguna sarebbe stato inesorabilmente segnato. Essa avrebbe visto ridursi progressivamente l'estensione dei propri specchi d'acqua e avanzare verso il mare il margine della terra ferma e delle zone paludose, fino in pratica a scomparire.

¹³ Le caratteristiche del moto ondoso generato dal vento come conseguenza dell'attrito che si manifesta nel contatto aria-acqua dipendono da alcuni parametri fondamentali, quali la velocità con cui il vento spira, le profondità degli specchi d'acqua interessati dal fenomeno, nel caso in cui esso si sviluppi in un ambiente di «acque basse» come è una laguna, e la distanza lungo la quale il vento può spirare liberamente senza incontrare ostacoli (in termini tecnici tale distanza è detta *fetch*). A parità di velocità del vento, in particolare, l'altezza delle onde generate all'interno di una laguna cresce con la profondità degli specchi d'acqua. Inoltre affinché l'azione del vento si possa esplicare totalmente è richiesto un *fetch* sufficientemente esteso. Nella laguna del tardo Medioevo, pertanto, fondali poco profondi e continue interruzioni del *fetch*, come erano quelle determinate da una presenza diffusa di superfici emerse (barene), permettevano, a parità di altre condizioni, la formazione di onde di minore altezza rispetto a quelle che attualmente si riscontrano e quindi azioni tangenziali a carico del fondo e fenomeni di risospensione dei sedimenti decisamente meno intensi.

Una minore estensione complessiva delle superfici d'acqua della laguna aggravava d'altra parte anche il secondo problema che i veneziani si trovarono a dover fronteggiare nei primi secoli del Secondo Millennio, ovvero il mantenimento alle bocche di fondali sufficienti per garantire la loro agibilità e la navigazione lagunare. Tanto più che con l'estendersi sul mare degli interessi della Repubblica e della sua potenza economica, un numero sempre maggiore di navi di stazza crescente doveva poter entrare e uscire dalla laguna, possibilmente senza incontrare problemi.

Le attuali conoscenze di idrodinamica consentono di dimostrare che una foce lagunare stabile nei suoi caratteri morfologici si configura sostanzialmente con un ben definito rapporto tra l'area liquida della sua bocca e il corrispondente volume d'acqua scambiato con il mare in fase di flusso o di riflusso durante un ciclo di marea. Tale volume, detto «prisma di marea», dipende a sua volta principalmente, ma non solo, dall'estensione delle superfici degli specchi d'acqua alimentati dalla bocca in esame¹⁴.

Trova spiegazione e validità in questo moderno risultato il celebre aforisma proclamato dai veneziani nel Quattrocento, ma forse già intuito ancor prima, secondo cui «gran laguna fa gran porto»¹⁵, che sintetizza il ruolo fondamentale esercitato dall'estensione delle superfici liquide di una laguna per il mantenimento di fondali sufficientemente profondi in corrispondenza delle sue bocche. Come si vedrà meglio successivamente, in una laguna poco estesa in rapporto alla lunghezza dell'onda di marea, una diminuzione di superficie liquida comporta, a parità di altre condizioni, una riduzione delle portate di flusso e di riflusso attraverso

¹⁴ Questo principio è generalmente noto nella letteratura scientifica come legge di Jarrett (1976), anche se fu enunciato qualche tempo prima da O' Brien (1931, 1969). Esso stabilisce che vi è un legame di proporzionalità, esprimibile attraverso una legge di potenze, tra l'area liquida di una bocca lagunare e il volume d'acqua (*prisma di marea*) che mediamente vi transita in fase di flusso (o di riflusso) di marea. L'esponente della legge di potenze è in molti casi di poco inferiore a 1. In queste condizioni la legge di Jarrett, recentemente rivisitata dal punto di vista teorico da altri autori (Marchi 1990; D'Alpaos A. *et al.* 2009), esprime di fatto un legame di proporzionalità diretta tra l'area liquida della bocca e il *prisma di marea*.

¹⁵ L'aforisma da molti attribuito a Cristoforo Sabbadino, ma secondo G. Pavanello (Pavanello 1919) dovuto a Marco Cornaro, preconizza in pratica la citata legge di Jarrett, coincidendo con essa non appena, in una laguna con superfici liquide poco variabili con l'altezza dell'onda di marea, si considerino trascurabili gli effetti della propagazione dell'onda di marea all'interno della laguna stessa. In queste ipotesi, infatti, il volume del *prisma di marea* dipende principalmente dall'estensione delle superfici lagunari dominate dalla bocca. Per alcune parti della laguna di Venezia, come si vedrà, gli effetti della propagazione della marea non sono trascurabili, se non in una prima, larga, approssimazione. Di qui i limiti di validità dell'aforisma citato, che ha ispirato l'azione dei più autorevoli antichi cultori di idraulica lagunare.

le bocche e, in queste ultime, minori velocità di corrente, che favoriscono la deposizione dei sedimenti eventualmente trasportati, facilitando la loro progressiva ostruzione (ovvero una diminuzione del «porto»¹⁶ secondo quanto affermato dall'antico aforisma).

Si comprende alla luce di queste semplici considerazioni il motivo per cui in una laguna quale era quella di Venezia nel periodo considerato, comunicante con il mare attraverso più bocche in competizione idraulica tra di loro, qualcuna di queste aperture (le più modeste in termini di sezione liquida) potesse essere facilmente messa in crisi, fino a occludersi. Le cause del fenomeno potevano ricondursi a una diminuzione degli specchi d'acqua dominati in quanto soggetti a interrimento oppure a processi di riduzione dell'area liquida della bocca per eccessiva deposizione di sabbie lungo il canale portuale o per anomalo accrescimento della barra di foce con conseguente riduzione della «conduttanza idraulica», ovvero dell'attitudine della bocca a convogliare portata. In particolare una riduzione della «conduttanza idraulica» comporta una parallela riduzione degli specchi d'acqua dominabili dalla bocca in questione e facilita la loro cattura da parte di una foce contigua idraulicamente più vivace.

È quanto accadde nei secoli a noi più lontani nella laguna superiore, dove gli effetti negativi della sedimentazione delle torbide introdotte dal Piave all'interno del bacino lagunare, da una parte, e le abbondanti sabbie portate dal fiume al mare e trasferite sotto riva dalle correnti costiere, dall'altra, concorsero a determinare la scomparsa di alcune delle foci minori che si aprivano attraverso quei lidi, originando nello stesso tempo non pochi problemi alla navigazione per le bocche di S. Nicolò, S. Erasmo e Treporti, le sole rimaste attive dopo il XVII secolo.

In un tale contesto, nel quale le maggiori preoccupazioni erano senza dubbio determinate dagli interrimenti causati dal Brenta che più direttamente minacciavano Venezia, si inquadrano i numerosi importanti interventi attuati dalla Serenissima a difesa della propria laguna. Si tratta di interventi che devono essere valutati lasciando da parte i molti luoghi comuni che ancora li avvolgono, non dimenticando mai che, al di là delle intuizioni, giuste o sbagliate che fossero, dei valorosi antichi idraulici coinvolti, essi furono soprattutto ispirati da un sano pragmatismo, non essendo possibile definirli sulla base delle conoscenze teoriche dell'idraulica di quei tempi.

¹⁶ Foce lagunare, bocca e porto sono qui indifferentemente utilizzati come sinonimi, attribuendo loro lo stesso significato dal punto di vista idraulico e morfologico.

Attuati con una gradualità per certi versi inevitabile, considerati i mezzi d'opera disponibili e i tempi necessariamente lunghi richiesti per il loro completamento, i provvedimenti adottati dalla Repubblica hanno lasciato ampio spazio alla sperimentazione degli effetti, consentendo di correggere in itinere i non pochi errori commessi. In molti casi, inoltre, gli interventi furono determinati non solo da scelte tecniche, ma da convenienze politiche, spesso sottovalutate, se non addirittura ignorate, da molti autori che hanno scritto su questi argomenti.

Volendo entrare nel merito dei diversi problemi affrontati dai veneziani conviene partire proprio dal Brenta, il primo fiume sul quale l'interventismo in campo idraulico della Serenissima si è concretizzato con grandi opere portate a termine in un arco di tempo plurisecolare, individuate con molte incertezze e, se così si può dire, per approssimazioni successive.

Le tormentate vicende del Brenta ebbero inizio nel lontano 1300, dopo che, come è ricordato da Bernardino Zendrini (Zendrini 1811), la foce del ramo principale del fiume, a seguito di nuove inalveazioni realizzate dai padovani per mitigare i problemi idraulici del proprio territorio rispetto alle alluvioni, fu spostata secondo alcuni da Brondolo (più verosimilmente dal bacino di Malamocco) a Fusina, quasi di fronte a Venezia.

I molti ripetuti interventi di vicentini, padovani e veneziani sul Brenta e sul Bacchiglione e sui numerosi canali che interessavano il territorio attraversato dal complesso sistema idrografico dei due fiumi, furono causa di contese e di guerre, essendo il vantaggio degli uni quasi sempre accompagnato dal danno degli altri.

Da parte loro i veneziani, fintanto che il dominio della Repubblica non si estese significativamente oltre i limiti della laguna, per fronteggiare le conseguenze negative degli apporti solidi recapitati dal Brenta a Fusina, furono necessariamente costretti ad attuare i primi tentativi di contenimento del fenomeno operando direttamente all'interno del bacino lagunare.

Inizialmente tali tentativi si concretizzarono nella realizzazione ai limiti della laguna di alcuni tratti d'argine intestati sulla terraferma («argini di intestadura») con direzione sub-parallela alla terraferma stessa, formando a tergo della struttura un ampio canale orientato verso sud. Nelle intenzioni argine e canale dovevano fra l'altro fungere da elemento netto di separazione tra acque dolci e acque salate, a difesa della laguna intorno a Venezia. Il canale doveva essere capace di contenere le acque fluviali che vi si immettevano, allontanandole dal bacino di S. Marco assieme alle torbide convogliate e portandole a disperdersi nel più lontano bacino di Malamocco, di fronte all'omonima bocca.

I provvedimenti di intestadura iniziarono con sistematicità a partire dal 1330 con la deviazione lontano da Venezia delle acque del Brenta di Fusina. Proseguendo verso sud per Restadaglio, le portate così raccolte venivano da ultimo rilasciate in laguna all'incrocio con il canale Volpego (l'antico Volpatico citato da Zandrini) all'altezza dell'isola di S. Marco di Boccalama¹⁷.

Ebbe in tal modo inizio un'epoca che si protrasse con alterne fortune e fra molte contraddizioni fino alla fine del XIV secolo.

L'argine di intestadura secondo una celebre mappa di Cristoforo Sabbadino (Fig. 3.1) era posizionato all'interno della laguna al limite degli specchi d'acqua. Alto cinque piedi veneti¹⁸ (~1.75 m) sopra il comune marino e largo alla base sino a 20 (~7 m), fu successivamente esteso in lunghezza rispetto alla sua configurazione iniziale, prima verso nord, per raccogliere le acque e i sedimenti del Bottenigo (il vecchio Muson) e del Maerne, e poi ulteriormente ancora verso sud in direzione del bacino di Malamocco.

L'intervento, nonostante i ripetuti aggiustamenti praticati per risolvere i problemi che si andarono presentando fin dall'inizio, non sortì tuttavia gli effetti sperati. Anzi! L'opera non solo si dimostrò del tutto inefficace rispetto alla principale questione della difesa dagli interrimenti in laguna che doveva risolvere, ma fece sorgere molti altri inconvenienti che sarebbe troppo lungo descrivere, creando fra l'altro non poche difficoltà allo scolo delle acque di quella parte di territorio che si affacciava sulla laguna di fronte a Venezia, all'approvvigionamento con acque dolci della città, alla fluitazione del legname lungo il Brenta e i canali da esso derivati e, più in generale, al traffico commerciale diretto verso Padova.

¹⁷ L'isola di S. Marco di Boccalama, sulla quale all'epoca delle intestadure sorgeva una chiesa dedicata al santo protettore di Venezia con annesso monastero, scomparve tra le acque nel corso del XVI secolo a causa dei fenomeni di erosione e di sommersione del bacino lagunare. Segnalata nelle loro carte da alcuni antichi cartografi veneti, l'isola di S. Marco di Boccalama si collocava tra le isole della Campana e di S. Angelo della Polvere, circa 1300 m a est delle Motte di Volpego. L'antica isola è divenuta oggi un interessante sito archeologico, che ha portato fra l'altro alla scoperta di molte vestigia medievali e di due antichi vascelli che, zavorrati e ancorati con grossi pali, erano stati fatti affondare per consentire un più agevole rialzo delle rive minacciate dalle acque della laguna.

¹⁸ Il piede veneto, composto da 12 onces, misurava 0.35 m. Il passo equivaleva a 5 piedi, mentre il miglio era formato da 1000 passi.



Fig. 3.1 - Posizione dell'argine di intestadura e del traversagno secondo una mappa di Cristoforo Sabbadino del 1547, eseguita per ordine della magistratura sopra alle acque¹⁹. ASVE, S.E.A., disegni, Laguna, n. 9 (con interventi dell'autore).

¹⁹ Il magistrato alle acque, istituito dalla Repubblica con provvedimento del 1501, è qui



indicato come «magistratura sopra alle acque» per distinguerlo dall'omonima moderna istituzione che fu costituita, ispirandosi a quella antica, nel 1907 a seguito delle ripetute alluvioni che colpirono molti fiumi del Veneto nei primi anni del Novecento.

Né poteva essere diversamente, come oggi sulla base delle moderne conoscenze dell'idraulica si potrebbe facilmente dimostrare. La repentina deviazione imposta dall'argine di intestadura alle correnti fluviali in arrivo dalla terraferma, costrette a piegare in direzione quasi ortogonale rispetto al loro corso primitivo, e le modeste velocità garantite dalla ridotta cadente idraulica facilitavano, infatti, il deposito dei sedimenti trasportati in corrispondenza degli sbocchi dei fiumi deviati e lungo il tracciato del nuovo canale che raccoglieva le loro acque. Come conseguenza i fondali del canale scavato a ridosso dell'argine tendevano rapidamente a diminuire, determinando per le maggiori portate in arrivo dai fiumi il superamento dell'argine stesso e lo sversamento in laguna di quei sedimenti che, invece, ci si proponeva di allontanare più a sud.

Era perciò inevitabile che ai margini della laguna media il limite delle terre continuasse ad avanzare inesorabilmente e che gli interrimenti a danno degli specchi d'acqua limitrofi a Venezia non si arrestassero, tanto che non pochi canali, pur lontani dal bordo lagunare, come il canale dell'Orfano, risentivano negativamente della situazione.

Le insufficienze del provvedimento erano più evidenti nella prima parte del canale di intestadura, ma tutti gli interventi intrapresi per porre rimedio ai problemi che andavano manifestandosi si dimostrarono inefficaci. Tali furono in particolare i tentativi di aprire dei varchi lungo l'argine di intestadura: la «bocca» di Fusina e molte altre, in posizione intermedia tra la foce del Brenta e Boccalama, furono più volte aperte e chiuse durante quello che si suole ricordare come il «secolo delle intestadure», che doveva chiudersi definitivamente alla fine del 1300 dopo molti insuccessi.

Per gli aspetti dell'interrimento generalizzato di cui soffriva la laguna, d'altra parte, nessun significativo miglioramento si ebbe a verificare nemmeno con la costruzione del cosiddetto «partidor» o «traversagno», ultimato verso la metà del XV secolo e posizionato come illustrato nella già citata mappa di Sabbadino (Fig. 3.1)²⁰. Era il partidor un argine disposto praticamente in prosecuzione dell'argine di intestadura, concepito in modo da separare il bacino di S. Nicolò da quello di Malamocco

²⁰ La posizione dell'*argine di intestadura* e del *partidor* è individuabile senza incertezze, essendo cartografata dal Sabbadino in una sua mappa della laguna del 1547. Qualche discordanza rispetto alla carta di Sabbadino risulterebbe se si seguissero le indicazioni riportate da Zandrini (Zandrini 1811). Parlando dell'argine di intestadura lo Zandrini, infatti, scrive: «un tal argine, benché riformato posteriormente in molte guise per varj usi, pur si vede tutt'ora, ed è quello che sta fiancheggiando quel canale, che Bondante adesso si appella, e Brenta di Restadaglio», più in arretrato, quindi, rispetto alla posizione indicata in Fig. 3.1, a meno di un diverso uso dei toponimi rispetto al presente.

e orientato quasi perpendicolarmente rispetto al primo, che si spingeva dal bordo verso terra della laguna in direzione dell'isola di Poveglia, tagliando buona parte del suo bacino centrale. Nelle intenzioni il «partidor» doveva tener lontane da Venezia le torbide scaricate dal Brenta a Boccalama, evitando che la loro inevitabile sedimentazione all'interno del bacino lagunare interessasse specchi d'acqua e canali che erano vitali per la città.

Recenti analisi (D'Alpaos e Carniello 2008) evidenziano quanto in quei tempi potevano spingersi in profondità all'interno della laguna le acque del Brenta recapitate a Fusina e quanto poco efficaci risultassero per il loro contenimento le iniziative intraprese dai veneziani in questa direzione durante tutto il XIV secolo.

Nella seconda metà del XV secolo, i scarsi risultati dei provvedimenti intrapresi all'interno della laguna indussero Marco Cornaro, uno dei savi sopra le acque della Serenissima, a proporre una soluzione radicale del problema, che non riguardava solo il Brenta, ma che era di carattere generale: distogliere i fiumi dalla laguna e allontanarli direttamente in mare. L'idea di Marco Cornaro, illustrata nelle sue famose scritture sopra la laguna, come ricordato da Pavanello (Pavanello 1919), e ripresa con determinazione nel secolo successivo da Cristoforo Sabbadino, a sua volta appartenente alla magistratura sopra alle acque, è sicuramente rilevante ed è stata forse alla base del mito, ancor oggi molto diffuso e citato, sull'abilità idraulica e sul buon governo delle acque che hanno accompagnato nei secoli l'interventismo degli antichi veneziani sui grandi sistemi idrografici. Mito consolidato che è giunto sino a noi senza essere assoggettato a una qualche valutazione critica, nonostante le non poche negative conseguenze che l'esperienza ha evidenziato essersi prodotte proprio a seguito di alcune di quelle opere.

In verità il giudizio storico che da sempre accompagna l'operato della Repubblica in campo idraulico, se analizzato alla luce delle conoscenze tecniche e scientifiche attuali, appare in molti casi quantomeno non appropriato e sembra essere fondato più su considerazioni riguardanti la mole degli interventi in rapporto ai tempi della loro realizzazione, che sulla loro effettiva validità idraulica, non tanto per quanto riguarda la salvaguardia della laguna, quanto piuttosto con riferimento alle loro conseguenze complessive sulle aree contermini.

Dopo la creazione della magistratura sopra alle acque, organo permanente per il governo idraulico del territorio, che metteva fine alle commissioni per consultazioni sporadiche e straordinarie di cui fino ad allora il Senato della Repubblica si era avvalso, l'epoca delle grandi diversioni incominciò con un provvedimento approvato nel 1488, ma



Fig. 3.2 - Le deviazioni e le nuove inalveazioni del Brenta realizzate dopo gli interventi di instadadura attuati nel corso del XIV secolo per difendere la laguna dagli interrimenti, riportate nella carta di Pietro Marcon (1878).

avviato alla realizzazione solo nei primi anni del '500, partendo proprio dal Brenta per distoglierne la foce da Fusina e portarla in un primo momento a Conche (1502-1507), sempre in laguna, ma nel bacino di Chioggia.

L'intervento seguiva i tentativi di deviazione parziale dell'alveo del fiume (Fig. 3.2), attuati nella seconda metà del Quattrocento con esito incerto e consistenti inizialmente (1452) nella costruzione di tre diver-

sivi in destra Brenta²¹ all'altezza di Oriago, progettati però, come ricorda Zendrini (Zendrini 1811), in modo che potessero «nell'escrescenze divertire dal fiume una sufficiente quantità di acqua, ma dovessero nelle magre del medesimo conservarla dentro dell'alveo, sicché non ne restasse pregiudicata la navigazione» da Fusina verso Padova. Successivamente a queste fu attuata a monte una più importante deviazione (1457), il cui punto di distacco dal Brenta e il cui tracciato nella parte iniziale preconfiguravano già quello che di lì a pochi anni sarebbe stato il primo vero grande diversivo del fiume.

La costruzione di quest'opera, decisiva per salvare dagli interrimenti la laguna intorno a Venezia, fu resa possibile dalla sconfitta dei da Carrara (1404), signori di Padova, e dalla conquista del relativo territorio da parte della Repubblica.

Il provvedimento comportò la realizzazione di una nuova inalveazione lunga più di 24 km tra S. Bruson di Dolo e Conche (Fig. 3.2), accompagnata dall'intercettazione e dalla conseguente deviazione di altri corsi d'acqua, tra i quali il Bacchiglione, portato a sua volta a sfociare assieme al Brenta nel bacino di Chioggia in corrispondenza dell'odierno canale di Montalbano.

L'intervento, imponente se rapportato ai tempi, non fu però attuato senza contrasti e vide schierati su fronti opposti valenti esperti, tra i quali il celebre Fra' Giocondo, il più autorevole idraulico dell'epoca, al quale la Signoria di Venezia si era rivolta, sia pure ad opere quasi ultimate, affinché si esprimesse con un proprio parere.²²

Nonostante gli effetti benefici immediati che la deviazione del Brenta comportò per Venezia e per gli specchi d'acqua contermini, le dispute intorno all'intervento non si esaurirono, alimentate anche dai suoi primi effetti negativi a danno sia dell'entroterra, per l'accresciuta peri-

²¹ I primi diversivi costruiti si staccavano dal Brenta immediatamente a monte e a valle di Oriago e si dirigevano tutti verso Bocalama, in modo da accorciare sensibilmente il percorso del fiume e facilitare la cattura di una parte delle sue portate di piena, grazie anche alla loro maggiore pendenza motrice rispetto a quella del percorso Oriago-Fusina-Bocalama. Un ulteriore diversivo, concepito con funzioni del tutto analoghe ai primi, si intestava invece a valle di Dolo, all'altezza di Volta Cappone, ed era diretto verso S. Maria di Lugo, sfociando in laguna in corrispondenza del Canal Mazor, a sud di Bocalama.

²² Dopo aver proceduto a una livellazione sia lungo il vecchio percorso del Brenta tra S. Bruson, Oriago e Fusina (Lizzafusina) sia seguendo il nuovo tracciato assegnato al fiume verso Conche, Frà Giocondo concluse che la pendenza idraulica veniva a essere praticamente dimezzata dall'intervento. Ne derivò il parere negativo del famoso idraulico sullo spostamento a Conche della foce del Brenta, avendo egli ben intuito il fatto che la pendenza idraulica era uno dei parametri che controllavano la portata convogliabile da un alveo fluviale.

colosità idraulica delle piene dei fiumi e dei canali deviati, sia del bacino di Chioggia, interessato ora da vistosi fenomeni di interrimento causati dagli apporti solidi del Brenta e del Bacchiglione, congiunti nel comune sbocco di Conche.

Proprio a causa degli interrimenti determinatisi nel bacino di Chioggia, fece seguito qualche tempo dopo (1540) la decisione di procedere alla completa estromissione del Brenta e del Bacchiglione dalla laguna, portando lungo alvei separati entrambi i fiumi a sfociare a sud di Chioggia nella laguna di Brondolo e quindi da questa, attraverso la bocca omonima, al mare (Fig. 3.3). A difesa della contigua laguna di Chioggia dalle acque dolci e dai sedimenti convogliati dal Brenta e dal Bacchiglione, fu previsto (1548) di realizzare una palificata di separazione tra le due lagune (il cosiddetto «parador di Brondolo») a sorreggere inizialmente una triplice parete di grisiole. Irrobustita con l'andar del tempo dal materiale che inevitabilmente vi si sarebbe depositato in adiacenza, la palificata, secondo coloro che l'avevano concepita, avrebbe dovuto garantire il mantenimento della divisione operata tra le due lagune. In realtà l'elemento di separazione iniziale, perfezionato nel 1577, fu qualche anno dopo (1583) ridotto in un robusto argine in terra (Cucchini 1928), che permise di conseguire l'obiettivo prestabilito, segnando la fine della laguna di Brondolo che scomparve non solo a causa degli interrimenti prodotti dal Brenta e dal Bacchiglione, ma anche di quelli conseguenti alla divagazione delle torbide dell'Adige, che arrivava al mare alla foce di Porto Fossone, poco più a sud.

L'abbandono dello sbocco di Conche riaprì nuove animate discussioni intorno al problema del Brenta, che si protrassero in polemici confronti tra le diverse opinioni durante tutta la prima metà del Cinquecento. Grandi protagonisti di tale confronto con continue repliche e contro repliche furono il già ricordato Cristoforo Sabbadino, da una parte (Cessi 1930), e Alvise Cornaro, dall'altra (Cessi 1941).

A Sabbadino va l'indubitabile merito di avere indicato per primo la necessità che, contrariamente al pensiero dominante dell'epoca, gli interventi a difesa della laguna fossero inquadrati in una visione unitaria del bacino lagunare. Egli aveva fra l'altro felicemente intuito il ruolo fondamentale assunto dalla circolazione indotta dalle maree sull'idrodinamica lagunare²³ e riteneva che il tema della conservazione e della

²³ Nelle animate discussioni cinquecentesche sulla diversione dei fiumi, Sabbadino riteneva del tutto marginale il ruolo delle portate immesse dai fiumi in laguna rispetto a quelle introdotte dall'oscillazione delle maree. Al riguardo egli osservava che la portata del Brenta



Fig. 3.3 - Particolare, tratto da una mappa di Cristoforo Sabbadino del 1557 (vedi Fig. 3.4), del tracciato terminale del Brenta e del Bacchiglione portati a sfociare nella laguna di Brondolo. Accanto alle foci dei due fiumi è evidenziata la posizione del «parador» realizzato a difesa della laguna di Chioggia. BNMVE, mss. it IV, 485 (= 5350) (con interventi dell'autore).

salvaguardia della laguna, considerata come un sistema unico dal punto di vista idraulico, dovesse essere di interesse preminente per la Repubblica, da porre quindi al centro della sua azione in campo idraulico.

Dopo qualche sofferto ripensamento, pur consapevole dei problemi idraulici che si sarebbero determinati nell'entroterra, lucidamente descritti nelle sue valutazioni sugli effetti che una riduzione della pendenza motrice del Brenta-Bacchiglione avrebbe comportato per il sistema fluviale in piena, egli divenne alla fine un deciso sostenitore della com-

rispetto a quelle massime scambiate dalla laguna con il mare attraverso la bocca di Malamocco era come «una pulze a par di un elefante».

pleta estromissione dei due corsi d'acqua dalla laguna, condividendo la decisione dello spostamento in mare a Brondolo della loro comune foce, già stabilita a Conche.

Alvise Cornaro, anche lui savio sopra le acque della Repubblica, fu il più strenuo oppositore di Sabbadino. Egli riteneva, sbagliando, che le portate liquide del Brenta fossero importanti per il miglior regime delle correnti all'interno della laguna e perciò contrastò in tutti i modi la scelta di distogliere il fiume dalla sua foce di Conche per portarlo direttamente in mare.

Bisogna dire che Alvise Cornaro, che pur condivideva il celebre aforisma «gran laguna fa gran porto», guardava alla laguna con una visione alquanto riduttiva, ritenendo, erroneamente, che provvedimenti non direttamente attuati nelle parti di bacino lagunare più prossime a Venezia non potessero riflettersi a danno della città. Questa posizione era sicuramente dettata anche dalla sua attenzione verso i problemi idraulici della terraferma e dal suo interesse, peraltro mai nascosto e sempre apertamente manifestato, a favore della bonifica delle aree marginali della laguna, intervento questo ultimo che anzi caldeggiava fortemente.

Per inquadrare nel giusto contesto le diverse posizioni, non si può non ricordare che il contrasto tra i due antichi cultori dell'idraulica lagunare era solo in parte di carattere tecnico. Forse non diversamente da oggi, le loro opinioni mascheravano una ben più importante e decisiva contrapposizione sociale, economica e politica tra quello che, rifacendoci ai nostri tempi, potremmo chiamare il «partito della mercatura», al quale verosimilmente si appoggiava Sabbadino che vedeva nella tradizione marinara e nel commercio per mare il futuro della Repubblica, e quello che potremmo definire il «partito degli agrari», che aveva in Alvise Cornaro il suo principale e compiaciuto esponente, il quale esaltava per contro il ruolo della «santa agricoltura» e riteneva decisiva per i destini di Venezia, assieme a una più marcata proiezione della sua influenza verso la terraferma, già peraltro in quei tempi ben consolidata, la conquista di nuove terre da bonificare e coltivare, in modo da rendere autonoma la Serenissima rispetto alle sue necessità alimentari primarie.

In rapporto ai nostri giorni, queste diverse posizioni sono emblematiche e indicano che, pur passando il tempo, molti comportamenti non sono affatto diversamente influenzati.

Volendo valutare le contrapposizioni di allora, probabilmente non va da ultimo sottaciuto che le opere della bonifica si prestavano a facili operazioni speculative da parte della ricca aristocrazia veneziana, soprattutto per il massiccio afflusso di danaro pubblico che poteva essere convogliato sugli interventi volti a redimere le terre paludose dalle acque.

La Storia dice che vinsero le ragioni del mare su quelle del «retrazar», cioè della bonifica. E così Sabbadino, dopo l'estromissione del Brenta, poté elaborare verso la metà del XVI secolo il suo grandioso piano di diversione globale delle acque dolci dalla laguna, che doveva ispirare l'azione della Repubblica in campo idraulico nei secoli successivi e fino alla sua caduta.

Il piano di Sabbadino, ponendo la salvaguardia della laguna al centro dell'attenzione, esaltava l'aforisma «gran laguna fa gran porto», ma non solo, e contemplava dopo la diversione del Brenta e del Bacchiglione, riuniti nella foce comune di Brondolo, l'allontanamento verso nord della foce del Piave e l'estromissione dalla laguna delle acque del Sile e di tutta una serie di fiumi minori, che si originavano al limite delle risorgive e che, fluendo attraverso la media e la bassa pianura trevigiana, convogliavano al bacino lagunare le cospicue portate derivanti dagli affioramenti a giorno di una falda freatica ricca di acque come poche (Fig 3.4). Su questi importanti provvedimenti, tuttavia, si ritornerà nel seguito.

Restando per ora al Brenta, si deve subito evidenziare che, se la sua estromissione dalla laguna salvò gli specchi d'acqua intorno a Venezia dagli interimenti, un duro prezzo fu pagato fin da subito dalla terraferma e, paradossalmente, sul lungo periodo dalla stessa laguna, come risulterà evidente quando si parlerà dei non meno gravi problemi che oggi si devono affrontare.

Ultimati da poco i lavori per l'estromissione del Brenta, persistendo nell'idea di allontanare le acque dolci dalla laguna, la Serenissima volse la sua attenzione alla sistemazione idraulica dei corsi d'acqua minori che vi si immettevano nella parte mediana, sia pure creando interferenze e problemi di tutt'altro ordine rispetto a quelli contro cui aveva lottato per alcuni secoli. Con queste finalità, conservando le antiche funzioni all'argine di intestadura, che non fu demolito nonostante la diversione del Brenta, fu dapprima deviato più a nord verso Tessera il Marzenego, mediante la costruzione del canale dell'Osellino (1507), con l'obiettivo di allontanare nel bacino di Treporti le acque dolci recapitate dal fiume ai bordi della laguna.

Fu poi aperto, anche in questo caso dopo molte discussioni e numerose proposte, un «collettore delle acque basse», detto Brenta Novissima o più semplicemente Novissimo, dalla Mira fino a Brondolo (1610), riprendendo con maggior determinazione un'idea mal concretizzata nel 1531 con l'apertura del cosiddetto «sborator de la Mira».

Pochi anni dopo (1613) sempre nel Novissimo, portato solo nel 1840 a sfociare definitivamente in laguna a Valli di Chioggia, furono



Fig. 3.4. - La laguna di Venezia secondo una mappa di Cristoforo Sabbadino del 1557. Si notano la nuova inalveazione del Brenta e del Bacchiglione con le foci portate nella laguna di Brondolo e, a ridosso delle linee in rosso, i due tagli proposti per allontanare da Venezia e dalla laguna superiore le acque dolci del bacino scolante. BNMVE, mss. it IV, 485 (= 5350).

Scudo Piscicivoli della città
di Goffredo



deviate mediante il Taglio di Mirano le acque di altri fiumi minori, tra i quali il Muson Vecchio, il Bottenigo, il Volpego, il Pionca, il Tergola e il Tergolino, che in origine si immettevano in laguna a nord di Fusina. Fra tutte, di grande rilievo furono le opere riguardanti il Muson, la cui sistemazione, che partiva addirittura a valle di Castelfranco, ben lontano quindi dalla laguna, comportò l'apertura di una nuova inalveazione fra Torre dei Burri e Pontevigodarzere alle porte di Padova (l'attuale Muson dei Sassi), in modo da rilasciare nel bacino lagunare solo una frazione delle sue portate e condurre direttamente al Brenta i maggiori colmi di piena in arrivo da monte.

Nello stesso periodo, seppur con esito incerto, si cercò di migliorare la condizione idraulica del territorio compreso tra il Marzenego, il nuovo corso del Brenta di Dolo (l'attuale Naviglio Brenta) e l'argine di intestadura, raccogliendone le acque alte e avviandole nella laguna di Malamocco con l'apertura dei canali Bondante di Sopra e di Sotto.

Negli anni di tutti questi non meno importanti interventi, che portarono alle linee essenziali dell'assetto idraulico del territorio che ancor oggi osserviamo, nonostante le popolazioni rivierasche supplicassero di porre rimedio alle ripetute gravi inondazioni alle quali erano esposte e minacciassero addirittura di rompere le arginature dei nuovi alvei in cui erano stati incanalati i corsi d'acqua distolti dalla laguna, il Senato della Repubblica rimase indifferente rispetto alle richieste che gli pervenivano.

Se accolte, esse avrebbero, infatti, inevitabilmente riportato la laguna alla situazione preesistente, annullando i benefici ottenuti, che alla prova dei fatti si dimostravano risolutivi per la sua salvaguardia dagli interrimenti e che erano stati raggiunti superando tormentate vicende e accesi contrasti.

In quell'epoca molti sforzi furono, invece, dedicati al ripristino della efficiente rete di canali interni attraverso i quali erano garantiti il trasferimento delle merci e il commercio di Venezia con la terraferma, attività che erano state inevitabilmente penalizzate dal grandioso piano degli interventi attuati per la difesa della laguna.

In questo contesto si collocano opere importanti per la navigazione, quali furono i primi piani inclinati (carro di Fusina e di Marghera) e i primi sostegni a conca di Dolo (1547), di Brondolo (primi anni del 1600), di Moranzano (1607) e della Mira (1612) per superare i dislivelli idraulici, nonché l'adattamento a naviglio dell'antico alveo del Brenta, per potenziare il traffico commerciale da e per Padova.

Nella seconda metà del Settecento e nei primissimi decenni dell'Ottocento, tuttavia, gli allagamenti sempre più frequenti provocati dal non

trascurabile allungamento del percorso del Brenta²⁴ e degli altri fiumi minori coinvolti nella sua diversione riportarono in primo piano le questioni della sicurezza idraulica del vasto territorio retrostante la laguna.

Fiorirono così molte proposte per tentare di contenere il fenomeno delle esondazioni nel Padovano e nell'entroterra veneziano e per aumentare soprattutto la capacità di portata dell'alveo del Brenta. La più nota, il cosiddetto Piano Artico²⁵, prevedeva una nuova inalveazione del fiume (la Cunetta del Brenta) nel tratto che va da Fossalovara, poco a monte di Stra, a Corte, con l'obiettivo primario di accorciare il percorso del fiume.

Una volta superate le complesse vicende politiche degli anni posti a cavallo fra i due secoli, che videro la caduta della Repubblica (1797), la nascita e il tramonto dell'astro napoleonico e il passaggio del Veneto, e quindi anche di Venezia e della sua laguna, al governo austriaco, la proposta Artico, che pur era stata approvata, non ebbe seguito, fino a quando non fu ripresa nel suo concetto essenziale dal ben più famoso Piano Fossombroni-Paleocapa.

Malauguratamente quest'ultimo piano, incentrato fra l'altro sulla sistemazione idraulica del Bacchiglione in attraversamento a Padova per la difesa dalle piene della città e attuato nelle sue opere cardine tra il 1840 e il 1858 (anno di apertura della Cunetta del Brenta), contemplava la reintroduzione del Brenta in laguna nei pressi di Fogolana (Fig. 3.2), quasi di fronte a Chioggia.

Caldeggiata da Fossombroni, forse per ragioni non solo squisitamente tecniche essendo il provvedimento volto a contrastare sul versante politico le conseguenze delle posizioni espresse dai molti oppositori del pia-

²⁴ Lo spostamento iniziale da Lizzafusina a Conche della foce del Brenta comportò un allungamento del tracciato del fiume di circa 8 km con una apprezzabile riduzione della cadente idraulica, come correttamente evidenziato nel suo famoso parere da Fra' Giocondo. Una riduzione ulteriore della cadente idraulica, della quale fu ben conscio Sabbadino, si ebbe con lo spostamento della foce da Conche alla laguna di Brondolo, che determinò un allungamento dell'alveo del fiume di altri 15 km. Dopo la realizzazione fra Stra e Corte della famosa Cunetta, in attuazione del Piano Fossombroni-Paleocapa, il percorso del Brenta fu riaccorciato di circa 9 km.

²⁵ Angelo Maria Artico fu avvocato fiscale della Repubblica. Nel 1787, dopo aver esaminato le numerose proposte per la difesa dalle piene del Brenta e del Bacchiglione formulate dagli studiosi del tempo, presentò, in parte ispirandosi a quelle, un suo primo studio dal titolo *Idea di regolazione del Brenta* rivolto ai possibili provvedimenti per fronteggiare i problemi sempre più pressanti creati nel Padovano dalle inondazioni. Più volte corretto e riproposto, anche per le tormentate vicende politiche di quegli anni, il Piano Artico fu definitivamente approvato dal governo austriaco nel dicembre del 1816.

no, e strenuamente difesa dal Paleocapa²⁶ fino alla fine dei suoi giorni, la reimmissione incontrollata delle torbide del Brenta nel bacino di Chioggia, avvenuta nel 1840 contemporaneamente alla già ricordata deviazione del Novissimo, ebbe, come era ovvio attendersi, un esito infausto per la laguna. In poco più di cinquant'anni essa portò all'impaludamento nel bacino di Chioggia di una superficie pari a poco meno di 24 km², poi bonificata e definitivamente sottratta all'espansione delle maree. Di qui la decisione ultima che ha portato allo stato attuale (Fig. 3.2) con il definitivo ristabilimento a Brondolo della foce del Brenta (1896), al termine di un ultimo tratto d'alveo in comune con il Bacchiglione nel quale si riuniscono, non molto lontano dal mare, anche le acque del Gorzone²⁷.

Risolta la questione del Brenta e del complesso sistema idraulico che intorno a esso gravitava, a partire dall'inizio del XVII secolo, dando seguito alle idee contenute nel famoso piano concepito da Sabbadino verso la metà del Cinquecento, provvedimenti non meno radicali rispetto a quelli appena descritti furono intrapresi sui fiumi che interessavano la laguna superiore.

In questa parte della laguna a cominciare dal XIV secolo presero a manifestarsi problemi, forse meno avvertiti dai veneziani, ma di non minore importanza rispetto a quelli della laguna media e inferiore. Nella laguna superiore, infatti, erano gli effetti degli intensi processi di deposizione di sabbie del Piave in corrispondenza delle bocche di porto a creare le maggiori preoccupazioni. Il fenomeno colpiva in modo particolare la bocca di S. Nicolò, influenzando negativamente sulla sua navigabilità e ostacolando l'accesso delle navi al bacino di S. Marco.

Le sabbie convogliate dal Piave, in particolare, non più sospinte verso il largo dal flusso delle correnti di marea attraverso le antiche bocche che un tempo si aprivano nella parte più settentrionale del litorale ma

²⁶ Fossombroni aveva previsto gli effetti di interrimento che la reintroduzione del Brenta avrebbe prodotto in laguna, ma ritenne erroneamente che essi sarebbero stati molto contenuti e limitati al tempo necessario per riequilibrare altimetricamente i profili dei tronchi fluviali di nuova e vecchia inalveazione interessati dagli interventi del suo piano. Così il Paleocapa, che nel 1866 scriveva: «stabiliti i fiumi in relazione alla nuova inalveazione intesa a salvare le provincie dalle rotte, essi non porteranno più dentro alla laguna se non le minori e leggere torbide provenienti dalle periodiche piene».

²⁷ La definitiva estromissione del Brenta dalla laguna fu realizzata tra il 1885 e il 1896 sostanzialmente sulla base del progetto predisposto dall'ingegnere fiorentino Filippo Lanciani (1874), attuato con la variante proposta dall'ingegnere Davide Bocci (1890). Tale variante, diversamente dalla proposta originale che contemplava per il Brenta e per il Bacchiglione nel loro ultimo tratto due percorsi separati, lasciando quest'ultimo defluire al mare attraverso l'ansa detta di Brenta Vecchia, riuniva i due fiumi in un unico alveo a valle di Ca' Pasqua, non lontano dalla foce di Brondolo.

che si erano andate poi inesorabilmente chiudendo, tendevano a favorire l'interrimento dei passi navigabili posti più a sud, che più direttamente interessavano la città di Venezia e i suoi interessi commerciali per mare.

L'attività delle bocche minori della laguna superiore si era progressivamente ridotta a causa sia dell'intenso trasporto litoraneo di sabbie da nord verso sud sia della progressiva diminuzione dell'estensione degli specchi d'acqua da esse dominati, a sua volta legata, come si è accennato, agli interrimenti prodotti all'interno del bacino lagunare dalle piene più importanti del Piave. In quell'epoca, tracimando in destra e riversandosi oltre il Sile con una preoccupante frequenza, le piene del Piave immettevano le loro torbide in laguna, disperdendole, fino ad interessare, sospinte dalle correnti di marea, gli specchi d'acqua circostanti le isole di Burano, Torcello e Mazzorbo.

La gravità della situazione fu ben avvertita nel corso del Quattrocento da Marco Cornaro, le cui proposte precorsero e in qualche modo ispirarono quelle che, dopo secoli di discussioni e molte spese senza frutto da parte della Serenissima, diedero concreto avvio alla soluzione del problema.

Nella prima metà del Cinquecento, su suggerimento di Sabbadino, fu dapprima deliberata la realizzazione del famoso argine di S. Marco (1534) tra Ponte di Piave e Cava di Caligo (Fig. 3.5), con l'obiettivo di contenere le esondazioni del fiume in destra, che si erano rivelate particolarmente minacciose soprattutto durante tutta la seconda parte del XV secolo e nella prima metà del secolo successivo. L'argine, ultimato nel 1543, non fu, tuttavia, ritenuto sufficiente per risolvere da solo il problema. Per maggiore sicurezza, sempre con l'intento di impedire alle torbide del Piave di espandersi nella laguna, si decise di alleggerire dalle piene l'alveo del fiume nel suo ultimo tratto. Per perseguire questo intento, all'argine di S. Marco furono affiancati l'apertura di una serie di diversivi in sinistra tra i quali il ben noto Taglio di Re, il cui alveo rettilineo lungo circa 15 km si sviluppava fra Musile e Cortellazzo, e l'escavo e la sistemazione nei pressi di Jesolo di un canale, detto Cava Zuccherina, tutt'oggi esistente (canale Cavetta), congiungente il Piave con la foce di Cortellazzo (Fig. 3.5).

Questi interventi non ebbero però esiti positivi sull'obiettivo primario di difendere dall'interrimento il porto di S. Nicolò, come si evince da una relazione del 1558 di Alvise Bressan, proto ai lidi della magistratura sopra le acque, che sosteneva l'indifferibile necessità di dar seguito ai provvedimenti proposti da Sabbadino pochi anni prima.

Nonostante attraverso il porto di S. Nicolò Venezia sviluppasse gli importanti e vitali rapporti commerciali con i propri possedimenti e con



Fig. 3.5 - Gli interventi di contenimento e le deviazioni del Piave e del Sile operate dai veneziani a difesa della laguna, riportati nella carta di Pietro Marcon del 1878.

gli altri Stati del Mediterraneo, facendo valere in modo magistrale la propria sagacia politica e la propria potenza marinara, la questione del Piave rimase a lungo insoluta e il piano suggerito da Sabbadino di allontanarne da Jesolo la foce non trovò realizzazione se non un secolo più tardi nel 1664.

Avvenne, infatti, solo in quell'anno il completamento della diversione del fiume, iniziata 22 anni prima, con lo spostamento della foce non a Cortellazzo, come indicato da Sabbadino, ma ancora più a est, a Porto

S. Margherita dove era stabilito lo sbocco al mare del Livenza, che fu a sua volta deviato a foce Nicessolo nella vicina laguna di Caorle.

L'intervento di allontanamento verso levante del corso terminale del Piave si concretizzò mediante la costruzione di un canale che, partendo appena a valle di S. Donà, terminava dopo un rettifilo di circa 6 km al canale Cin (Palazzetto), dove si immetteva in una estesa palude costiera, il cosiddetto Lago della Piave (Fig. 3.6), il quale altro non era se non quanto rimaneva dell'antica laguna di Eraclea, che si sviluppava tra la foce di Porto Cortellazzo, a occidente, e la foce di Porto S. Margherita, a levante. Il Lago della Piave occupava una superficie di circa 12 km² ed era confinato da arginelli di modesta consistenza, ripetutamente sormontati dall'arrivo delle maggiori portate con conseguenze che ne avrebbero inesorabilmente segnato la fine di lì a pochi anni.

In questa palude, nelle intenzioni della magistratura preposta al governo delle acque, le torbide del fiume avrebbero dovuto espandersi, depositando la maggior parte dei sedimenti trasportati, prima di fluire al mare.

La soluzione, eccessiva e non ben calibrata per gli aspetti idraulici, ebbe vita breve. Nel 1683, a seguito di una rotta memorabile degli argini del Lago, avvenuta in destra idrografica alla Landrona (Revedoli), il Piave abbandonò il labile percorso che gli era stato assegnato, per incanalarsi definitivamente entro un nuovo e più breve tracciato e fissare il suo sbocco al mare a Cortellazzo, come tutt'ora avviene, in posizione mediana tra l'antica foce di Jesolo e l'improbabile sbocco di Porto S. Margherita, che i veneziani avevano tentato di fissare.

Dopo questi eventi, per migliorare le condizioni sanitarie della laguna superiore che avevano reso inabitabili Mazzorbo e Torcello a causa della malaria (1618), nell'alveo abbandonato del Piave furono introdotte le acque del Sile (Fig. 3.7) e di altri fiumi minori della pianura trevigiana, compresi il Vallio, il Meolo e il Musestre, mediante la costruzione ai margini nord orientali della laguna stessa dell'omonimo Taglio (1683), scavandone il fondo a 7 piedi (2.45 m) sotto il livello del comune marino. La nuova inalveazione seguiva il tracciato più basso tra quelli proposti ed era curiosamente arginata solo in destra idrografica, verso laguna.

Con il provvedimento, chiudendo l'ingresso del fiume in laguna a Portegrandi (Silone), si perseguiva l'obiettivo di allontanare dalla laguna superiore le abbondanti portate del Sile e degli altri corsi di risorgiva citati. Tali portate creavano problemi non tanto di interrimento per deposito dei pochi sedimenti trasportati, quanto piuttosto di impaludamento degli specchi d'acqua, per l'inarrestabile sviluppo del canneto nelle zone marginali della laguna, interessate dalla presenza di acque a bassa salinità, con



Fig. 3.6 - Mappa del Lago della Piave nel quale venivano immesse dal nuovo alveo assegnato al fiume a valle di S. Donà le acque in arrivo da monte (Zendrini 1811).



Fig. 3.7 - Antica mappa del Taglio del Sile con l'intervento proposto per l'introduzione delle acque del fiume nell'alveo abbandonato del Piave.

conseguente forte produzione di suolo organico. Ma furono soprattutto le ricordate questioni di ordine igienico-sanitario, per eccessiva dolcificazione delle acque lagunari, che con questi provvedimenti si vollero risolvere.

L'intervento sul Sile era stato da pochi anni ultimato quando, per la pressione dei rivieraschi, già colpiti dai primi effetti negativi determinati dall'accresciuta difficoltà di scolo delle acque, fu deciso di aprire subito a valle di Portegrandi uno sfioratore verso laguna, che venne chiamato Businello (1695).

L'opera, decisa a titolo sperimentale²⁸, fu al centro di molti contrasti e di opposti giudizi e rimase in funzione, pur con continui interventi atti a modificarne le portate, per oltre settant'anni fino alla sua chiusura nel 1769. Temporaneamente però, poiché a seguito dei sempre più frequenti allagamenti delle campagne in sinistra idrografica a opera del Sile e dei suoi tributari, il Businello fu riaperto nel 1818 per decisione del governo austriaco, ancora una volta «a solo titolo di esperimento». Evidentemente nel nostro Paese niente sembra essere più definitivo di ciò che si prevede a titolo sperimentale, se ancor oggi, nonostante la sua dichiarata iniziale condizione, il Businello fa bella mostra di sé al visitatore che naviga lungo il Sile all'altezza di Portegrandi.

Con l'allontanamento del Sile dalla laguna si realizzava, seppur non puntualmente rispetto alla proposta originale, il grande piano per distogliere i maggiori fiumi dalla laguna, preconizzato da Marco Cornaro ma sviluppato con proposte concrete da Sabbadino.

Nello specifico del Sile, il grande idraulico aveva addirittura indicato la necessità che alle acque del fiume si unissero quelle del Botenigo (ovvero del Musone e del Marzenego), del Dese e dello Zero, deviate verso settentrione mediante l'escavo di un apposito canale che partiva all'altezza di Mirano, in modo da avviarle assieme al mare (attraversando le valli Dogà e Dragojesolo) per il Canal de Lio Mazor e la foce omonima (Fig. 3.4). Nel previsto attraversamento lagunare per il superamento delle valli Dogà (l'antica Dogado) e Dragojesolo, secondo Sabbadino il canale avrebbe dovuto essere arginato verso laguna (Fig. 3.8), sottraendo alla libera espansione della marea solo una piccola parte di bacino lagunare, per salvare dall'impaludamento e dagli interrimenti la rimanente.

²⁸ L'apertura del Businello del Sile fu concessa dal Senato della Repubblica: «a titolo di semplice esperienza, e coll'incarico preciso alla magistratura sopra le acque di osservare attentamente gli effetti che ne susseguissero e specialmente in ciò che riguarda alla tanto gelosa indennità e preservazione della laguna».



Fig. 3.8 - Particolare della laguna superiore tratto dalla carta di Fig. 3.4. Ben evidenziato il taglio ipotizzato da Cristoforo Sabbadino per il recapito delle acque dolci del Sile e di altri corsi di risorgiva nella foce di Lio Maggiore (Lio Mazor). BNMVE, mss. it, 485 (= 5350) (con interventi dell'autore).

La soluzione propugnata da Sabbadino per allontanare dalla laguna superiore le acque dei fiumi fu fortemente contrastata dai proprietari agricoli, che, come in altre occasioni, ebbero in Alvise Cornaro il loro convinto e autorevole portavoce. Essa rimase perciò per molti anni alla fase di progetto, anche per le non poche difficoltà finanziarie che la Repubblica dovette fronteggiare per lunghi anni in quel periodo storico, trovando alla fine solo parziale attuazione nella deviazione del Sile entro l'alveo abbandonato di Piave Vecchia con le modalità appena descritte.

Dopo il «secolo delle intestadure», l'estromissione del Sile chiudeva quella che per analogia si potrebbe definire l'«epoca delle diversioni»,

protrattasi per quasi duecento anni, durante i quali la Serenissima sviluppò il suo massimo impegno per contrastare i fenomeni di interrimento della laguna senza mai perdere di vista l'obiettivo finale, nonostante le non poche difficoltà incontrate e i costi sostenuti.

Esaminata alla luce delle moderne conoscenze dell'idraulica, non si può non convenire sull'efficacia dei provvedimenti adottati dalla Repubblica a difesa della propria laguna. Molte furono però le conseguenze negative sui territori attraversati dal Brenta, dal Piave e dal Sile, tant'è che non è fuor di luogo affermare che non pochi dei gravi, attuali, problemi di sicurezza idraulica di cui soffrono i tre fiumi trovino la loro causa prima proprio negli interventi attuati dalla Serenissima.

Dopo gli insuccessi del XIV secolo e le incertezze e i ripensamenti del secolo successivo, a partire dai primi decenni del Cinquecento la Repubblica, facendo proprie le idee di Sabbadino, aveva decisamente cambiato atteggiamento, ponendo la laguna e i suoi problemi di conservazione e salvaguardia al centro dell'azione del suo governo. Rispetto al raggiungimento di questi obiettivi, irrinunciabili per il Senato, qualsiasi intervento, per quanto oneroso in termini economici e dannoso per il territorio circostante, diventava accettabile.

Ragionando oggi criticamente intorno agli interventi realizzati dagli antichi veneziani sui grandi sistemi idrografici ricadenti nei territori controllati e interferenti direttamente o indirettamente con la loro laguna, di tutto sembra si possa parlare tranne che di un «buon governo generale delle acque e di visione illuminata e complessiva» dei problemi idraulici, che la storiografia ufficiale e molti luoghi comuni continuano ad attribuire alla Serenissima.

In realtà, una sia pur benevola analisi critica dei poderosi provvedimenti intrapresi, evidenzia per lunghi secoli un unico filo conduttore, che porta a conclusioni un po' diverse, che hanno il pregio di essere ancora attuali.

L'interesse supremo della Repubblica, o meglio della classe economico-politica (oggi si direbbe dei «poteri forti») che ne condizionava il governo, dopo alcuni secoli di incertezze, era stato decisamente orientato alla messa in pratica del celebre aforisma «gran laguna fa gran porto», nel quale Sabbadino e molti altri con lui avevano sintetizzato il contenuto fondamentale delle azioni da intraprendere a salvaguardia della laguna.

Al raggiungimento di queste finalità, dunque, tutto poteva o doveva essere sacrificato. Basti citare un unico, emblematico, esempio appena ricordato, ovvero la realizzazione in origine lungo il Taglio del Sile del solo argine destro, l'unico che fosse funzionale alla difesa della laguna, e la decisione contestuale di non proteggere dal punto di vista

idraulico la pur fertile pianura che si sviluppava in sinistra della nuova inalveazione, lasciandola impaludare non essendo il problema di alcun rilievo rispetto alle necessità della salvaguardia lagunare. Prova ne sia che il fiume e i suoi affluenti di sinistra poterono espandersi liberamente con le loro piene su questo territorio senza nessun contrasto da parte dell'uomo fin oltre la prima metà dell'Ottocento, quando, con il diffondersi della bonifica, venne realizzato lungo il Taglio del Sile anche l'argine sinistro²⁹.

In una valutazione a posteriori dell'opera degli antichi veneziani in campo idraulico, ancorché inquadrata nel contesto storico in cui si è sviluppata, è per certi versi paradossale che, come si è brevemente accennato e più estesamente ci si soffermerà a descrivere nel seguito, non meno importanti siano state le conseguenze dei provvedimenti adottati sull'evoluzione morfologica della laguna, ovvero proprio di quell'ambiente che essi volevano, invece, assolutamente tutelare.

Va detto, per togliere fin da subito qualsiasi fraintendimento, che l'intensità dei fenomeni erosivi che oggi si osservano e gravemente colpiscono la laguna, dipende solo in parte dai provvedimenti adottati dagli antichi veneziani. L'annullamento dell'originale cospicuo apporto di sedimenti e di acque fluviali al bacino lagunare segna, infatti, solamente l'inizio di un'inversione di tendenza nel comportamento morfodinamico della laguna, con effetti che sono stati per lungo tempo contenuti.

Ai fenomeni di interrimento, che prevalevano prima della diversione dei fiumi e avevano formato una laguna dai fondali poco profondi nella quale era difficoltoso navigare, si sostituivano, a seguito della diversione dei fiumi, diffusi ma lenti processi di erosione. Tali processi, agenti inizialmente con moderati effetti e prevalentemente in direzione orizzontale a scapito soprattutto dell'estensione delle superfici di barena soggette a progressiva, lenta, demolizione, solo nel corso dell'ultimo secolo si sono sviluppati con intensità maggiori e anche in direzione verticale, incrementando le profondità delle zone d'acqua, come si vedrà meglio ragionando intorno ai processi morfologici che dominano l'evoluzione morfologica della laguna attuale.

²⁹ Il progetto esecutivo predisposto dal già ricordato ingegner Bocci (nota 27) per la sistemazione del Sile (1871), steso sulla falsariga del Piano Fossombroni-Paleocapa (1847), contemplava la realizzazione appunto dell'argine sinistro lungo il Taglio, a completamento dell'analogo opera realizzata dalla Serenissima in destra, e la costruzione di una botte a sifone (Botte Lanzoni) al di sotto del nuovo alveo, per permettere l'immissione in laguna delle acque dei fiumi Vallio e Meolo (1889) e il contenimento degli allagamenti dei terreni che un tempo si affacciavano sulla laguna.

Con la diversione dei fiumi ha inizio una generalizzata tendenza all'erosione sostenuta e dominata, nei tempi a noi più vicini, dalla sovrapposizione sul naturale processo di sommersione del bacino lagunare di importanti effetti idrodinamici dovuti all'attività antropica.

La minore introduzione di acque dolci provenienti dalla terraferma, inoltre, alterando i preesistenti processi vegetativi sulle superfici occupate dalle barene e la loro capacità complessiva di intrappolamento dei sedimenti trasportati in sospensione, ha favorito la comparsa di più intensi processi erosivi rispetto al passato a danno di queste forme lagunari. Il tutto accompagnato da una più ridotta produzione di suolo organico soprattutto ai margini della laguna, dove le abbondanti portate un tempo immesse dai fiumi si incontrano con le acque salate introdotte dal mare, creando un ambiente di transizione molto particolare e oggi in gran parte perduto.

Dal complesso delle modificazioni prodotte sono derivate crescenti difficoltà per il mantenimento di quasi tutte le strutture morfologiche della laguna, le quali garantivano una eterogeneità di fondali che corre il rischio di diventare solo un lontano ricordo.

Quanto abbiano inciso su queste trasformazioni l'estromissione dei fiumi, da una parte, e le grandi opere realizzate dall'uomo a partire dal XIX secolo, dall'altra, lo si potrà vedere con il supporto dell'analisi che la moderna modellazione matematica degli ambienti a marea consente.

Si può comunque fin d'ora affermare che verosimilmente la condizione delle laguna cinquecentesca cartografata da Sabbadino (Fig. 3.9), soggetta a moderati fenomeni erosivi dopo la diversione dei fiumi, non era forse molto diversa da quella documentata dalla carta di Angelo Emo³⁰ (Fig. 3.10), che illustra la configurazione del bacino lagunare nel 1763.

Pur mancando di quote, è possibile riconoscere nella carta di Emo con buon dettaglio planimetrico la struttura della potente rete di canali che innervava il bacino lagunare, l'estensione delle sue zone d'acqua (paludi e laghi) e delle superfici occupate dalle barene e porle a confronto con la situazione attuale. Di particolare rilevanza, per gli aspetti morfologici e per l'evoluzione della laguna nei secoli successivi, l'evidente diverso rapporto che sussiste per le mappe storiche tra le superfici

³⁰ Angelo Emo, qui ricordato per la sua carta della laguna, fu l'ultimo grande *Capitano da mar* (ammiraglio) della Repubblica di Venezia. Molto popolare tra i suoi marinai, egli deve la sua fama, oltre che al tentativo di riorganizzare la flotta veneziana per riportarla ai fasti di un tempo, alle sue audaci incursioni contro alcuni porti rifugio dell'Africa settentrionale, volte a colpire i pirati arabi, già sconfitti sul mare, che ostacolavano i traffici e i commerci della Serenissima.



Fig. 3.9 - La laguna di Venezia e il litorale che va dall'Adige al Piave in una mappa di Cristoforo Sabbadino (1556) in copia riprodotta da Angelo Minorelli nel 1695. ASVE, S.E.A., disegni, Laguna, n. 13.





Fig. 3.10 - La laguna di Venezia secondo la carta redatta da Angelo Emo nel 1763. ASVE, S.E.A., disegni, Laguna, n. 167.



PUNTO DELLA LAGUNA DI VENEZIA
del Sig. *Antonio* *...*
al *...* *...*
...

R

E



Fig. 3.11 - La laguna di Venezia nel 1844 secondo la carta di Camillo Vacani di Forteolivo.

occupate dalle zone d'acqua e quelle interessate dalla presenza delle barene, all'interno del perimetro che delimita la laguna attuale.

Questa sintetica, necessariamente incompleta, rivisitazione dei più importanti interventi realizzati dai veneziani tra il XIV e il XVII secolo a difesa della laguna dalla minaccia dei fiumi non può concludersi senza ricordare i provvedimenti adottati dalla Repubblica per la sua delimitazione geografica, operazione con la quale si intese definire, senza incertezze e senza equivoci mediante una serie di caposaldi («capistabili»), che ne fissavano i punti più importanti, i limiti amministrativi del bacino lagunare da assoggettare ad apposita regolamentazione.

A seguito della drastica diminuzione degli interrimenti per l'estromissione dei fiumi, nonostante i lenti ma costanti processi di subsidenza ed eustatismo, la laguna era andata via via assumendo quella configurazione che con la «conterminazione» lagunare, iniziata nel 1611, si intendeva rendere stabile e inviolabile.

Quelle della conterminazione, come tante altre, furono attività che si protrassero a lungo nel tempo. Approvate nel 1786 dal Senato della Repubblica, le ultime operazioni della conterminazione si concretizzarono sul campo tra il 1791 e il 1792, concludendosi quasi in concomitanza con la caduta della Repubblica, mediante l'erezione di 99 cippi in cotto lungo lo sviluppo del perimetro a tale scopo individuato (Armani 1991).

Dal punto di vista amministrativo, le attività legate alla conterminazione videro il proprio coronamento nell'emanazione nel 1841 da parte del governo austriaco del famoso «regolamento di polizia lagunare», che, rivolto alla difesa e alla tutela della laguna, riassumeva in sé le regole che avevano ispirato l'azione magistrale della Repubblica nel suo secolare tentativo di salvaguardia del bacino lagunare³¹.

La conterminazione fu completata pochi anni dopo l'ultimazione da parte dei veneziani di un'altra celebrata e grandiosa opera ingegneristica che non può non essere ricordata, i famosi «murazzi».

Iniziati nel 1738 con la costruzione in via sperimentale del murazzo del Capitello presso Malamocco, adottando una soluzione radicalmente diversa rispetto a quelle fino ad allora perseguite³² per difendere i litorali che separavano la laguna dal mare e garantirne l'integrità geografica, i murazzi, grazie anche all'esito giudicato positivo di quell'esperimento

³¹ L'attuale linea di conterminazione della laguna di Venezia, fissata dal Ministero dei Lavori Pubblici con decreto in data 9 febbraio 1990, è materializzata sul terreno da 100 cippi e segue fondamentalmente la linea fissata dal Senato Veneto il 16 dicembre del 1786. Fa eccezione l'area conosciuta come «Valli di Brenta», il cui progressivo interrimento fu favorito dalla temporanea, già ricordata, reintroduzione del Brenta in laguna nel 1840. Le «Valli di Brenta» una volta bonificate furono escluse dalla conterminazione lagunare con apposito provvedimento giuridico-amministrativo del 1924. Altri importanti interventi dell'uomo, tra i quali la costruzione della Zona Industriale di Porto Marghera sulle barene dei Bottenighi, dell'aeroporto Marco Polo, dei moli foranei alle bocche di porto, pur avendo significativamente modificato la situazione preesistente, non hanno, invece, determinato analogo provvedimento.

³² Prima della costruzione dei «murazzi» la difesa dei litorali era affidata alla costruzione di palate e/o speroni radicati alla riva, con sommità di poco emergente rispetto al comune marino, spinti verso il mare per lunghezze diverse (fino anche a un centinaio di m) e con differente orientamento. Queste opere, generalmente formate da un doppio ordine di pali di quercia collegati da traversi e con lo spazio interposto riempito di pietrame relativamente minuto, erano difesi dallo scalzamento mediante una scogliera esterna, ma necessitavano di continua manutenzione per la rapidità con cui le strutture in legno andavano degradando.

replicato a Pellestrina l'anno successivo, furono completati nel 1785. Essi rafforzarono con strutture in pietra d'Istria i cordoni litoranei, che si erano andati pericolosamente assottigliando lungo tutto il litorale compreso tra le bocche di Chioggia e di Malamocco, su di una lunghezza di poco più di 5 km.

Danneggiati dalla mareggiata durante i giorni della famosa marea del novembre 1966 e successivamente restaurati, i murazzi costituiscono ancor oggi una significativa testimonianza dei molti sforzi profusi dagli antichi veneziani per difendere la laguna dai fiumi e dal mare, ma anche dagli uomini, come è stato scritto da Sabbadino in un suo celebre sonetto.

La carta di Camillo Vacani di Forteolivo (Fig. 3.11), realizzata per conto del governo austriaco partendo dalla già ricordata carta di Emo, riproduce i limiti del sistema lagunare in allora e, con qualche eccezione, offre una definizione dei suoi confini geografici non dissimile da quella giunta fino a noi.

Una laguna quest'ultima che soffre di problemi diversi da quelli molto dibattuti che i veneziani furono chiamati ad affrontare, ma che non sono sicuramente né di minore complessità, né di minore impegno, solo che li si voglia risolvere nel loro insieme. Se, invece, si guarda all'ambiente lagunare come a un sistema nel quale si ritiene che, per convenienza del momento, sia sempre lecito disaccoppiare i problemi gli uni dagli altri, sorprese ed esiti non proprio positivi per la laguna potrebbero non mancare.

4. LA COSTRUZIONE DEI MOLI ALLE BOCCHE

A partire dal 1300 il problema del mantenimento alle bocche di porto di fondali sufficienti per garantire la navigazione accompagnò i veneziani, comportando in alcuni periodi preoccupazioni non meno gravi di quelle determinate dagli interrimenti prodotti dai fiumi all'interno della laguna. Era in modo particolare colpita la bocca di S. Nicolò, la più importante per la vita di Venezia, poiché attraverso di essa entrava in laguna la totalità del naviglio commerciale e militare diretto verso la città.

Lo stato dei maggiori fondali di questa bocca, attestati fin verso il 1300 intorno ai 5 m, andò gradualmente ma inesorabilmente peggiorando nei secoli successivi, per effetto del continuo estendersi della barra di foce di fronte ai cosiddetti «tre porti»³³. Qui gli scanni erano alimentati da un trasporto litoraneo particolarmente intenso, sostenuto dall'azione sovrapposta del moto ondoso e delle correnti costiere che convogliavano verso sud le abbondanti sabbie portate dal Piave al mare all'altezza di Jesolo, dove era in quel tempo stabilita la foce del fiume.

Le configurazioni delle bocche di S. Nicolò e di S. Erasmo riportate da Zendrini (Zendrini 1811) e nel seguito riproposte (Fig. 4.1), rappresentano le condizioni delle bocche stesse tra la seconda metà del XIV secolo e l'inizio del secolo successivo. L'antico porto di S. Nicolò, ancora molto ampio e sufficientemente profondo nel 1350 e con imboccatura a mare decisamente orientata a levante, si era sensibilmente ridotto nel 1410, quando al suo fianco si era aperta una nuova foce, detta «Padelassa», piegata verso sud e formata da un canale di ingresso in laguna rin-

³³ Un tempo con il termine «tre porti» si solevano definire, conglobandole in un'unica realtà morfologica e idraulica, le tre bocche principali di S. Nicolò, di S. Erasmo e di Treporti, che alimentavano la laguna media, le prime due, e la laguna superiore, la terza.

serrato tra il litorale e lo scanno, con un andamento curvilineo alquanto accentuato nel tratto che lo congiungeva al vecchio canale portuale.

Come acutamente osservato da Miozzi (Miozzi 1968), alla riduzione dei fondali della foce di S. Nicolò registrata nel tardo Medioevo contribuiva senza dubbio la sempre minore vivacità delle correnti di marea in uscita dalle bocche minori, che si aprivano sul litorale della laguna superiore. La più meridionale di queste, quella di Lio Maggiore, prossima agli antichi tre porti, fu l'ultima a occludersi, scomparendo definitivamente sul finire del XVII secolo. Osservazione quella di Miozzi condivisibile, poiché non vi è dubbio che la presenza lungo il litorale della laguna superiore di alcune foci minori favorisse l'allontanamento dalla linea di riva delle sabbie del Piave trasportate dalle correnti costiere, ostacolando nel contempo la loro sedimentazione in corrispondenza della bocca di S. Nicolò e formando una vera e propria barriera idraulica, che contrastava la migrazione sotto costa del materiale trasferito verso sud dalle correnti stesse.

In senso sfavorevole al mantenimento di fondali profondi agiva, inoltre, la già ricordata progressiva riduzione di estensione degli specchi d'acqua della laguna superiore, a causa degli interrimenti causati dalle deposizioni di sedimenti non tanto del Sile, quanto appunto del Piave che vi si espandeva in occasione delle maggiori piene. Si riducevano di conseguenza le portate scambiate con il mare attraverso le bocche di questa parte della laguna e, quindi, la capacità delle correnti che le percorrevano di rimuovere le sabbie che eventualmente vi si depositavano, allontanandole in mare durante le fasi di riflusso.

Il fenomeno, ancor oggi complesso da spiegare nella sua intensità e nelle sue modalità evolutive, non poteva certamente essere inquadrato sulla base del sapere di quei tempi, condensato nel più volte citato aforisma «gran laguna fa gran porto», che pur avendo un fondo di verità scientifica, non è da solo in grado di interpretare i processi locali che controllano la morfologia di una foce lagunare e la sua stabilità.

Destava in particolare sconcerto, in contrapposizione ai lamentati interrimenti della bocca di S. Nicolò, quanto si osservava in quell'epoca al porto di Malamocco, che si era andato approfondendo dopo la realizzazione nella seconda metà del XV secolo dei nuovi diversivi del Brenta a partire da Oriago e da S. Bruson di Dolo. Questi diversivi avevano portato a sfociare direttamente in laguna all'altezza di Boccalama, quasi di fronte a Malamocco, una parte cospicua delle acque di piena del fiume, seguendo percorsi più brevi rispetto a quello che ve le recapitava passando prima da Fusina e seguendo poi il canale scavato a tergo dell'argine di intestadura.

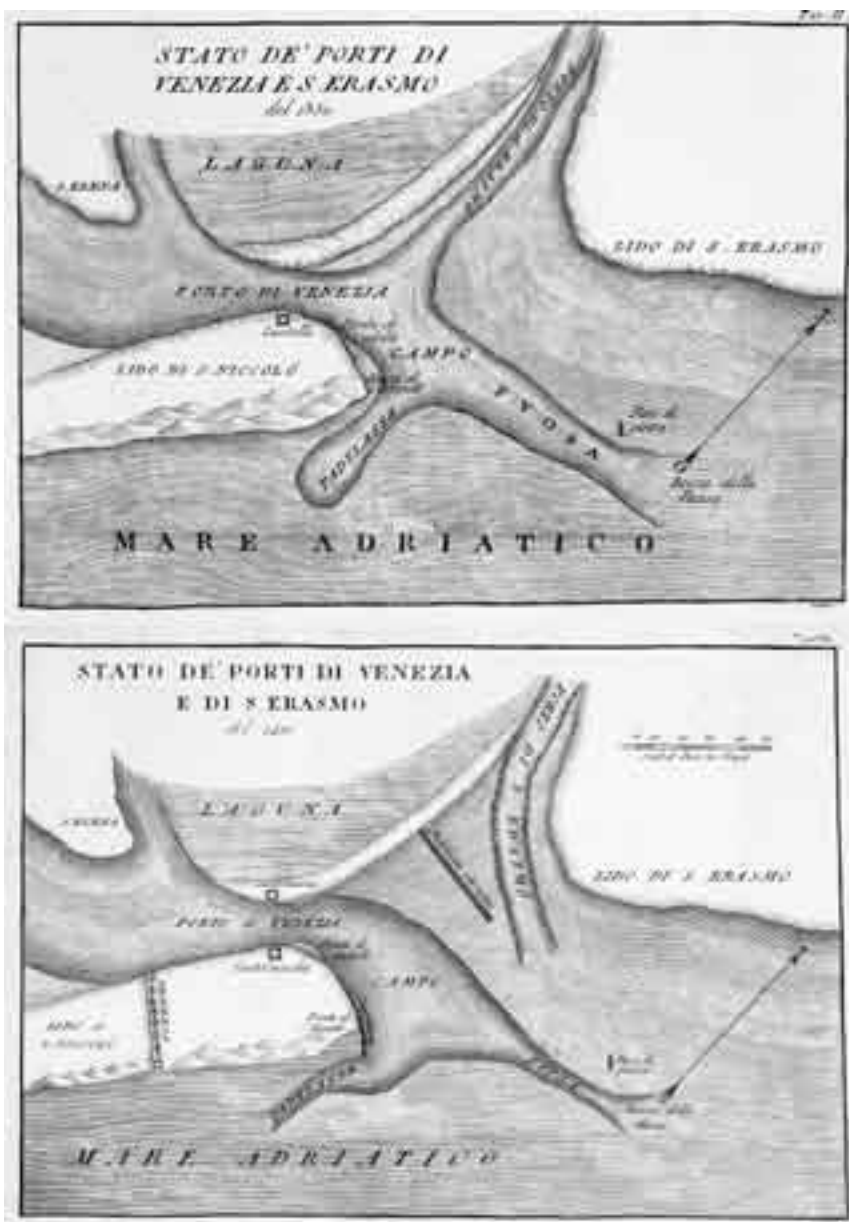


Fig. 4.1 - Configurazione planimetrica delle bocche di S. Nicolò e S. Erasmo nel 1350 (in alto) e nel 1410 (in basso) secondo i disegni di Bernardino Zendrini (Zendrini 1811).

Nonostante gli importanti interrimenti seguiti fin dai primi anni della deviazione del fiume e la conseguente riduzione di estensione degli specchi d'acqua della laguna a danno del bacino di Malamocco, il porto (ovvero le profondità della bocca) che lo alimentava si era potenziato, incrementando i suoi fondali, in apparente contraddizione con il ben noto aforisma. Di qui forse l'analisi errata di Alvise Cornaro, che, assegnando agli apporti fluviali un ruolo che non potevano assumere, come per contro acutamente osservato da Sabbadino, attribuiva l'approfondimento della bocca alla novità di aver deviato direttamente nel bacino di Malamocco cospicue portate del Brenta.

Era nel giusto Sabbadino che, forte della sua visione unitaria del bacino lagunare, considerava le molte bocche della laguna in potenziale competizione idraulica tra loro e correttamente dava giustificazione del fenomeno imputandolo a un incremento, più importante delle sottrazioni causate dagli interrimenti del Brenta, dell'estensione del bacino dominato dalla bocca di Malamocco, vuoi a seguito dell'ostruzione avvenuta proprio in quegli anni della vicina bocca di Pastene, l'antica Albiola che si apriva nella località oggi chiamata Portosecco, vuoi a danno dei vicini porti della laguna superiore, resi idraulicamente meno attivi dai fenomeni di deposizione di sabbie all'esterno dei lidi.

I rimedi da apportare per mantenere su valori adeguati per la navigazione i fondali della bocca di S. Nicolò, il vero porto di Venezia, furono ulteriore motivo di scontro tra i due antichi cultori dell'idraulica lagunare.

All'opinione di Alvise Cornaro, che suggeriva di chiudere la bocca di S. Erasmo³⁴ e addirittura quella di Malamocco, per determinare un più intenso flusso delle correnti di marea attraverso il porto di S. Nicolò, spingendo nella direzione di una applicazione estrema del proclamato concetto «gran laguna fa gran porto», Sabbadino contrapponeva soluzioni meno radicali.

Il problema dell'officiosità della bocca di S. Nicolò, secondo Sabbadino, non era solo legato all'estensione degli specchi lagunari dominati dalla marea, e in tal senso egli suggeriva di favorire il porto di S. Nicolò restringendo con opere opportune la bocca di Malamocco, ma dipendeva soprattutto dall'infelice configurazione morfologica locale del litorale determinata dall'azione preponderante del mare su quella ripulitrice

³⁴ Per favorire l'approfondimento della foce di S. Nicolò, il porto di S. Erasmo era già stato chiuso una prima volta nel 1351 per essere riaperto appena 9 anni dopo, non avendo l'intervento portato ai risultati sperati.

esercitata dalle correnti lagunari. Il valente idraulico, supportato da capacità intuitive non comuni e indubbiamente anche da una altrettanto non comune conoscenza pratica dei fenomeni lagunari, annotava infatti «che il governo della fuosa e canali fuori dal porto non procede dall'acqua della laguna principalmente, ma dalle stagioni, dai tempi, dalle fortune di fora, che regnano più ad un modo che ad un altro».

Coerentemente con questa osservazione, secondo Sabbadino il limite settentrionale degli antichi tre porti era alquanto arretrato rispetto a quello del lido meridionale e troppo distante da questo perché le correnti di marea in uscita dalla laguna potessero mantenervi velocità sufficienti per erodere e allontanare le sabbie depositate sotto costa dal mare, tant'è che queste ultime, sedimentando, formavano una potente barra di foce proprio di fronte alle tre bocche.

In ragione di questa convinzione, Sabbadino suggeriva semmai di mantenere separato il flusso della bocca di S. Nicolò da quello della bocca di S. Erasmo mediante la costruzione di un molo divisorio longitudinale³⁵ o addirittura di riunirle costringendo la corrente in uscita dalle due bocche tra due palificate irrobustite e difese con pietrame, in modo da attivare maggiormente la capacità erosiva della corrente verso l'esterno della foce dove gli scanni si formavano. Idea davvero straordinaria, se si pensa che fu formulata nel 1551. Essa precorreva di alcuni secoli quanto poi venne realizzato nell'Ottocento mediante un primo intervento con la costruzione dei moli foranei alla bocca di Malamocco.

Le soluzioni di sistemazione della foce ipotizzate da Sabbadino, nei limiti di fattibilità che la tecnologia dei tempi consentiva, non erano tuttavia in grado di rimediare a un problema morfodinamico di grande complessità, se si considerano i processi fisici che lo governavano, i quali avrebbero richiesto di spingere le strutture di confinamento della corrente molto più in profondità verso il mare di quanto fosse concretamente possibile in quell'epoca e forse anche di quanto il famoso idraulico pensasse.

I fenomeni locali che determinavano la ridotta officiosità delle boc-

³⁵ Appartiene a questa categoria di interventi la famosa *garzina*, che altro non era se non un palificata radicata sul litorale di S. Erasmo e protesa verso il mare antistante, in modo da indirizzare il flusso della corrente in uscita dalla foce (Fig. 4.1). Realizzata con una doppia fila di pali riempita con pietrame e rinforzata all'esterno con una gettata in scogliera, la *garzina*, la cui presenza è testimoniata dai resti rinvenuti nel momento della costruzione dei moli all'attuale bocca di Lido, non ebbe esiti significativi nella soluzione del problema della navigabilità della bocca di S. Nicolò. Prova ne siano le tormentate vicende che la accompagnarono. Essa aveva originariamente una lunghezza di un centinaio di m. Allungata fino a superare ad un certo punto gli 800 m, poi riaccorciata e distrutta (1519), quindi rinnovata e irrobustita (1533-35), la *garzina* fu al più capace solamente di ritardare la rovina del porto di S. Nicolò.

che per la presenza della barra di foce richiedevano in definitiva di essere affrontati con maggiore determinazione rispetto a quanto non avvenisse, realizzando opere più «pesanti» di quelle che gli esperti di allora suggerivano e che potevano essere effettivamente realizzate.

La questione dei fondali dei porti, in particolare dei fondali del canale di S. Nicolò porta di accesso diretta al bacino di S. Marco, e i suoi riflessi negativi sulla navigazione avevano, tuttavia, un importante risvolto positivo per la Repubblica, che almeno in parte giustificava un atteggiamento verso la soluzione di questo problema molto meno aggressivo di quello tenuto nello stesso periodo nei confronti dell'allontanamento dei fiumi dalla laguna. Se la presenza alle bocche di fondali limitati penalizzava la navigazione, essa era per contro un naturale elemento di sicurezza dal punto di vista militare. Basti ricordare che le maggiori navi da guerra dell'epoca dovevano necessariamente scaricare i loro cannoni, alleggerendo il carico per ridurre il pescaggio, prima di entrare nel bacino di S. Marco e presentarsi davanti a Venezia.

Il problema di fondali alle bocche inadeguati rispetto alle crescenti esigenze della navigazione continuò ad aggravarsi nel tempo, al punto che il Senato della Repubblica verso la fine del XV secolo incominciò a far utilizzare con sempre maggiore frequenza il porto di Malamocco, inizialmente come porto rifugio, istituendo poi, durante la guerra di Candia e Morea e fin oltre il 1700, un cantiere sussidiario all'Arsenale nella vicina isola di Poveglia, per consentire alle navi da guerra di ricevere le più urgenti riparazioni.

Diventando l'accesso in laguna attraverso il porto di S. Nicolò sempre più difficoltoso e addirittura pericoloso, la Serenissima lo sostituì definitivamente nei primi decenni del 1700, ordinando lo scavo di un canale lagunare interno che conducesse da Malamocco al bacino di S. Marco, seguendo il tracciato di alcuni canali naturali (Rocchetta, Malamocco, Orfano) convenientemente collegati mediante lo scavo di un canale artificiale nel tratto in attraversamento alla zona di partiacque³⁶.

La scelta di abbandonare il porto di S. Nicolò, stanti le difficoltà insuperabili di mantenervi i fondali necessari alla navigazione, e di entrare in laguna attraverso Malamocco era d'altra parte giustificata dalla mag-

³⁶ Le linee di partiacque della laguna di Venezia individuano, istante per istante durante l'evolversi della marea, la superficie degli specchi d'acqua che sono alimentati da ciascuna delle bocche. Queste linee non sono fisse nel tempo ma si modificano con l'onda di marea in relazione ai caratteri idrodinamici della propagazione, migrando entro una fascia relativamente potente che costituisce appunto la cosiddetta *zona di partiacque* tra i bacini di Lido, di Malamocco e di Chioggia, se si fa riferimento alla condizione attuale.

giore officiosità naturale di quest'ultimo porto. La presenza di fondali più profondi a Malamocco era favorita dalla configurazione del litorale su cui la bocca si apriva, rendendola meno esposta agli interrimenti sia per il suo orientamento rispetto al moto ondoso dominante sia per la sua lontananza dal Piave, principale fonte di alimentazione dei depositi costituenti gli scanni di foce di fronte agli antichi tre porti.

Per quanto riguarda le profondità del porto di Malamocco, le prime notizie certe risalgono alla fine del Quattrocento quando, superandolo, entrò in laguna la prima nave da guerra. I fondali minimi della bocca, valutati in quel momento di 5.2 m rispetto al comune marino, si incrementarono fino a quasi 6 m nei primissimi decenni del secolo successivo, forse anche a causa della contemporanea ostruzione della vicina bocca di Pastene, per poi ridursi nuovamente a circa 5.4 m verso la metà del Seicento e addirittura al di sotto dei 5 m sul finire dello stesso secolo. Si legge che all'epoca, per consentire alle navi armate con 74 cannoni di uscire in mare, si doveva limitare il carico, cingere lo scafo con galleggianti in modo da ridurre il pescaggio e aspettare l'alta marea.

Fu la caduta della Repubblica a determinare un deciso cambiamento di tendenza nella irrisolta questione della navigazione attraverso le bocche. Nuovi governanti, nuove esigenze economiche, ma soprattutto la presenza sempre più frequente di navi con pescaggio elevato, portarono il governo napoleonico, che nei primi anni dell'Ottocento reggeva le sorti di Venezia, alla decisione di intervenire con opere più incisive sulle bocche di porto, per aumentarne i fondali e permettere ai moderni battelli a vapore di entrare in laguna.

Ai secolari problemi di agibilità del porto di S. Nicolò, non risolti come si è visto né con l'allontanamento a nord della foce del Piave, né con gli interventi locali sulla bocca appena accennati, nel corso del XVIII secolo si aggiunsero crescenti difficoltà di navigazione attraverso il porto di Malamocco, che non consentiva il suo superamento alle navi di maggiore stazza. Queste navi erano costrette a stazionare all'ancoraggio in mare di fronte alla bocca per ricevere gran parte del loro carico, trasbordato da navi minori che le affiancavano.

Lo stato dei fondali delle bocche nei primi anni dell'Ottocento è ben documentato dal rilievo topografico eseguito dal capitano della marina napoleonica Augusto Dénaix³⁷ (Magrini 1934), al quale va il grande

³⁷ Il capitano Augusto Dénaix eseguì il primo rilievo della laguna di Venezia basato su moderni criteri topografici tra gli anni 1809-1811. Il rilievo generale della laguna, molto accurato per tutte le parti che potevano interessare la navigazione (foci lagunari, lidi, isole e

merito di aver fornito per primo, sulla base di moderni criteri topografici, una rappresentazione generale attendibile delle profondità dei porti lagunari e dei canali della ramificata rete che dai porti stessi si diparte, innervando gli specchi d'acqua retrostanti e attraversando la potente fascia di barene interposta tra la «laguna viva»³⁸ e i margini della conterminazione da poco completata in tutti i suoi aspetti, esclusi quelli amministrativi che avrebbero trovato compimento di lì a pochi anni.

Al tempo di Dénaix le bocche della laguna si presentavano con le caratteristiche tipiche delle foci naturali che si affacciano su coste sabbiose poco profonde, lentamente degradanti verso il mare. Si tratta di condizioni che favoriscono naturalmente la formazione di foci allargate con fondali ridotti, la cui struttura morfologica è governata dall'interazione tra le correnti di marea che le percorrono e le correnti costiere indotte dalla propagazione del moto ondosso sotto riva.

Nel caso della laguna di Venezia a partire dal XV secolo, superata la linea di costa, i canali dei porti, forzati dalla deposizione delle sabbie trasportate dal mare in direzione prevalente da nord verso sud, avevano assunto un andamento sub-parallelo ai lidi. In uscita dalla laguna, essi piegavano a meridione, allargandosi progressivamente e diminuendo contemporaneamente la loro profondità. Di qui le ricordate secolari, crescenti, difficoltà per la navigazione con le quali i veneziani dovettero a lungo confrontarsi, senza riuscire a individuare un efficace rimedio.

L'interpretazione a linee di eguale profondità dei fondali delle bocche partendo dal rilievo di Dénaix (Fig. 4.2-4.4), fornisce una chiara indicazione della loro particolare morfologia agli inizi dell'Ottocento,

canali) e più sommario per quanto riguarda le superfici occupate dalle barene e dagli specchi d'acqua interni, è alla scala 1:15000 e si compone di 36 tavole con relativo quadro di unione. Di grande interesse sono i commenti che si accompagnano alle carte (Magrini 1934). Essi riferiscono, fra l'altro, dello stato generale della laguna e permettono di comprendere le modalità di esecuzione e i fondamenti topografici del rilievo. Nelle diverse tavole sono riportate con buon dettaglio le profondità dei canali e delle foci lagunari, esprimendone i valori in piedi francesi (1 piede francese è pari a 0.325 m) e riferendole al comune marino di allora (vedi nota 4). Il rilievo era integrato con una serie di piani particolari alla scala 1:5000 per la descrizione dei porti, dei centri abitati maggiori e delle opere militari esistenti. Purtroppo la carta originale predisposta da Dénaix non sembra sia più reperibile e di essa sono oggi disponibili solamente alcune copie anastatiche di una riproduzione eseguita a cura di Giovanni Magrini del Regio Magistrato alle Acque (Ufficio del Genio Civile di Venezia).

³⁸ Parlando di *laguna viva* si intende far riferimento a quella parte del bacino lagunare che è più prossima alle bocche ed è più attivamente ricambiata dalle correnti di marea. La *laguna morta*, per contro, è formata da quelle parti del bacino lagunare che sono poste verso i suoi margini di terraferma e sono geograficamente e idraulicamente decentrate rispetto alle bocche, essendo separate dalla *laguna viva* dalle prime potenti fasce di barena.



Fig. 4.2 - Bocca di Chioggia al tempo di Dénaix. Interpretazione a curve di livello del rilievo originale (1809-1811).



Fig. 4.3 - Bocca di Malamocco al tempo di Dénaix. Interpretazione a curve di livello del rilievo originale (1809-1811).

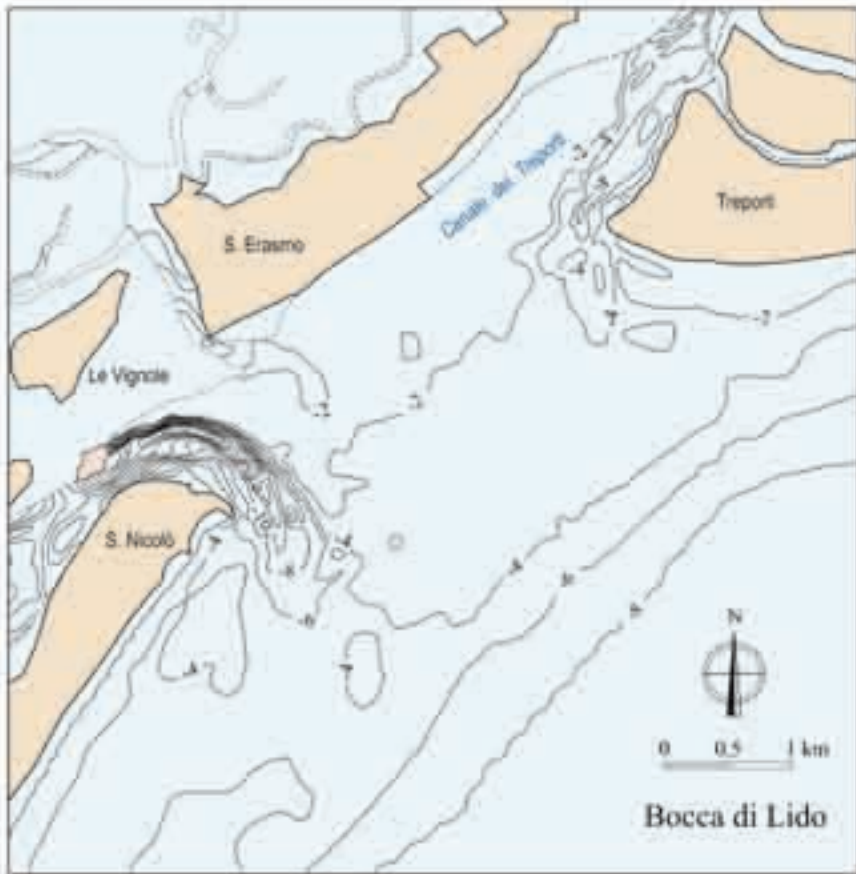


Fig. 4.4 - Bocca di Lido al tempo di Dénaix. Interpretazione a curve di livello del rilievo originale (1809-1811).

evidenziando nel contempo la posizione del canale di navigazione e della barra di foce.

Guardando alla struttura morfologica delle bocche, non è difficile comprendere il perché degli insuccessi dei molti tentativi condotti dalla Serenissima per garantirne la navigabilità. I provvedimenti di volta in volta adottati erano strutturalmente troppo «leggeri» e soprattutto troppo poco o niente affatto protesi verso il mare. Ed è questo il motivo per cui essi non furono mai in grado di modificare in misura apprezzabile i caratteri dominanti dei fenomeni che si instauravano nel paraggio di mare antistante le foci lagunari, dove le correnti di marea in ingresso e in

uscita dalla laguna si incontravano, interferendo, con le correnti costiere generate dal moto ondoso.

Nei primi anni del XIX secolo, sotto la spinta del governo napoleonico, intenzionato a ridare a Venezia un porto con importante valenza militare, come era stato nel passato, prese corpo l'idea di rompere la barra di foce armando le bocche di porto con moli foranei spinti verso il mare, in modo da superare la fascia litoranea maggiormente interessata dal trasporto delle sabbie e da raggiungere profondità sufficienti per garantire l'accesso delle navi in qualsiasi condizione.

Per approfondire la questione nel 1806 fu istituita da Napoleone una commissione, che prese il nome dal suo presidente Gaspard de Prony. Della commissione furono inizialmente chiamati a far parte alcuni tra i più valenti ingegneri francesi del tempo³⁹.

Scartata l'idea iniziale di intervenire sulla bocca S. Nicolò, per i costi eccessivi delle opere ritenute necessarie, la Commissione Prony volse la sua attenzione alla sistemazione del porto di Malamocco.

Eseguito un accurato rilievo batimetrico, non trascurando di associarlo a misure di velocità delle correnti di marea, la commissione giunse rapidamente alla sua proposta finale (Fig. 4.5), che prevedeva di spingere la diga nord di sopra vento fino a fondali di 8.5÷9.0 m, con l'ultimo tratto del molo appena piegato a sud per proteggere l'imboccatura rispetto ai venti di Bora. La diga sud, parallela alla prima, era alquanto meno protesa verso il largo e tagliava necessariamente l'antico canale di accesso alla laguna⁴⁰.

Non è privo di interesse osservare che, mentre la Commissione Prony si dimostrava sicura del fatto che, costruita la diga nord, con il progredire della diga opposta la corrente avrebbe di pari passo sfondato la barra di foce di fronte al nuovo varco di accesso al porto canale prima ancora che quest'ultima struttura fosse ultimata, molto più prudente fu il suo atteggiamento circa la lunghezza da assegnare ai moli. Tale lunghezza, infatti, doveva stabilirsi solo dopo la materiale esecuzione dei

³⁹ Gaspard de Prony, matematico e idraulico, presidente della commissione omonima, era tra l'altro direttore de l'Ecole des Ponts et Chaussées, massima espressione tecnica dell'ingegneria francese dell'epoca. Della commissione da lui presieduta facevano parte anche gli ingegneri Bertin, Dangier e Sganzin. In tempi successivi la commissione cooptò tra i suoi membri il colonnello Salvini, profondo conoscitore della laguna veneta, che diede un valido apporto al lavoro degli studiosi.

⁴⁰ Come fu riconosciuto da tutti gli altri membri della Commissione Prony, il merito della proposta adottata per armare la bocca di Malamocco con moli spinti in mare fino a intestarsi sui fondali richiesti per la navigazione fu del colonnello Salvini.

Le alterne vicende legate ai mutamenti politici, i diversi progetti e le molte polemiche che legarono la costruzione dei moli alla bocca di Malamocco alla definitiva soluzione dei problemi del Brenta, che negli stessi anni si riproponevano con risvolti drammatici per le gravi conseguenze delle alluvioni del fiume nell'entroterra padovano, ritardarono a lungo l'attuazione degli interventi previsti dalla Commissione Prony.

Iniziati nel 1813 con la costruzione della difesa di sponda lungo il canale Rocchetta all'interno della laguna, dopo numerose interruzioni e varianti rispetto alla soluzione iniziale, i lavori sulla bocca vera e propria ebbero uno sviluppo significativo solo nel 1839, sotto il governo austriaco, con la costruzione della diga nord, procedendo da terra verso il mare. Ultimata nella sua struttura principale nel 1846, la diga favorì fin da subito la formazione di un canale in aderenza all'opera con fondali di $5 \div 6$ m lungo tutta la sua lunghezza. Il canale che naturalmente si era formato aveva anche larghezza sufficiente, tanto da essere scelto dalle navi che preferivano percorrerlo abbandonando l'antico canale di bocca, più tortuoso e meno sicuro.

Nonostante questi esiti promettenti per la navigazione i lavori per la costruzione del molo opposto incominciarono qualche anno dopo, nel 1853. Con il progressivo avanzamento del molo sud verso il mare, il canale tra le dighe, sotto l'azione delle correnti di marea, si andò progressivamente scavando, dando piena ragione alle previsioni della Commissione Prony.

Ricaricate e rinforzate le strutture per riprendere i danni causati nel frattempo dalle mareggiate, la configurazione prevista per la bocca armata con moli fu di fatto raggiunta solo nel 1872, con esiti positivi rispetto agli obiettivi che i suoi propugnatori si erano prefissi.

La nuova geometria della bocca era leggermente diversa da quella prevista dalla Commissione Prony (Perosini 1891). La diga nord aveva una lunghezza di 2122 m, mentre la diga sud, molto meno protesa verso il mare, era formata da un tratto iniziale di 424 m con andamento convergente rispetto al molo opposto e da un tratto successivo di 532 m disposto invece parallelamente a quella struttura, a una distanza in asse di circa 475 m (Fig. 4.6).

Con la bocca così riconfigurata, furono raggiunti in breve tempo lungo tutto il canale portuale fondali minimi di $9 \div 10$ m, perfettamente rispondenti alle necessità della navigazione di quei tempi. Si approfondirono contemporaneamente i fondali dei maggiori canali interni nei tratti più prossimi alla bocca, segno inequivocabile di una loro diversa condizione idraulica, che a seguito della realizzazione delle opere aveva apprezzabilmente incrementato sia le portate scambiate con il mare sia le velocità.

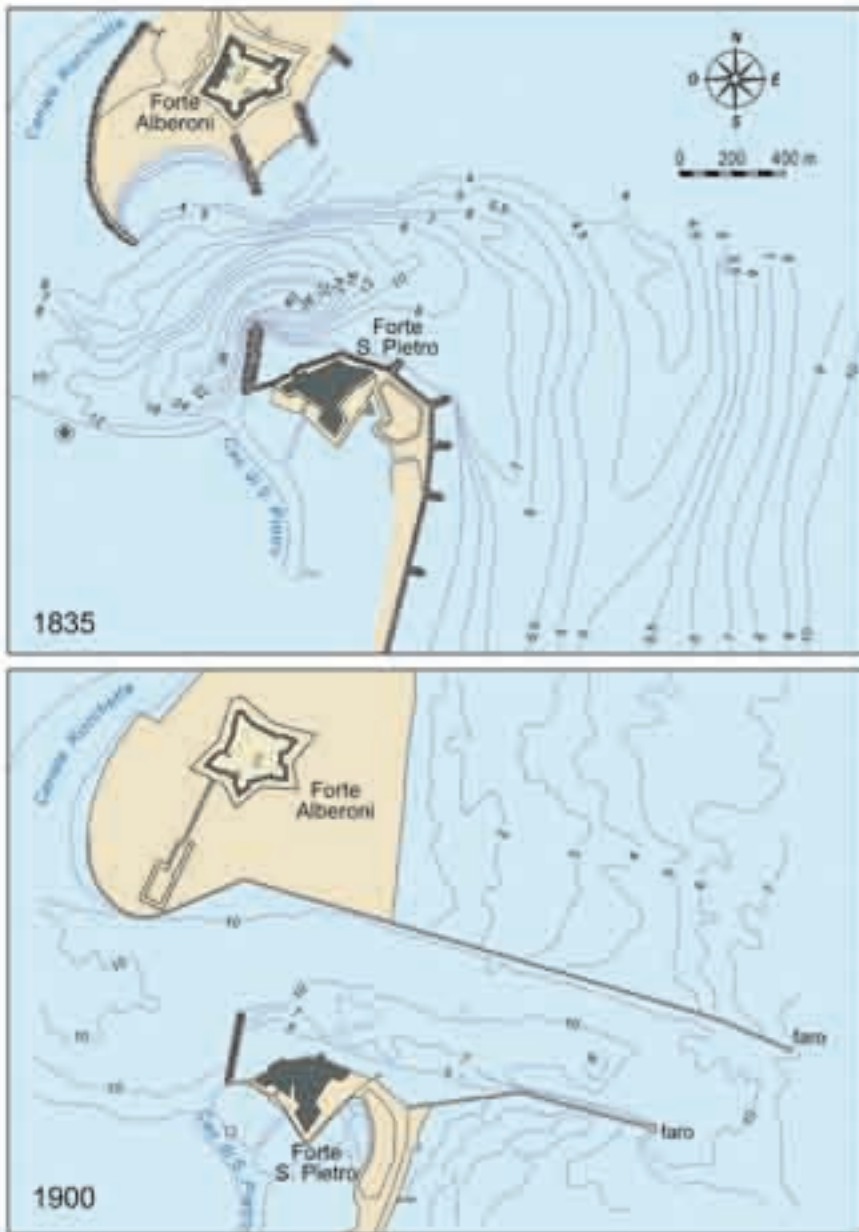


Fig. 4.6 - I fondali della bocca di Malamocco prima della costruzione dei moli (1835) e circa trent'anni dopo l'ultimazione delle opere (1900).

Gli esiti favorevoli per la navigazione delle opere realizzate a Malamocco indussero il governo italiano, pochi anni dopo l'annessione del Veneto, ad attuare un analogo intervento sulle bocche che alimentavano la laguna superiore.

Qui, invero, nel timore che alla bocca di Treporti potesse toccare la stessa sorte della foce di Lido Maggiore, ostruita verso la fine del XVII secolo dall'irrefrenabile avanzamento verso sud del litorale settentrionale, i provvedimenti adottati furono più drastici. Si decise (Fig. 4.7 in alto) di riunire in un unico varco⁴¹ le preesistenti foci di Treporti, S. Erasmo e S. Nicolò, i famosi antichi tre porti, con vantaggi molteplici sia per il minor costo della sistemazione prevista rispetto ad altre soluzioni sia per il mantenimento di una alimentazione sicura verso la parte più settentrionale della laguna sia, infine, per la migliore agibilità del collegamento, per vie d'acqua interne, con i centri delle province limitrofe di Treviso, Udine e Trieste.

Basandosi nel dimensionamento sugli stessi valori di velocità delle correnti di marea osservati a Malamocco, il cui canale nel frattempo sembrava aver raggiunto per i propri fondali le condizioni del suo nuovo equilibrio morfodinamico dopo la costruzione dei moli, e con il supporto di una valutazione teorica di Gustavo Bucchia (Bucchia 1875-76) per quanto riguarda la distanza tra i moli, ridotta rispetto al progetto originale da 1000 m a 900 m, le opere, articolate in due fasi, cominciarono con la costruzione della diga nord e furono completate nei loro punti principali nel 1892 (Fig. 4.7 in basso).

Nella prima fase, la costruzione della diga nord comportò il ripiegamento verso scirocco della foce di Treporti con la contemporanea erosione dei suoi scanni e l'approfondimento dei fondali lungo il tracciato previsto per la diga sud. Nella seconda fase, prolungata di circa 500 m la diga nord, per portare la lunghezza complessiva della struttura a poco più di 3600 m, si procedette alla costruzione della diga sud, avanzando sia da terra sia dal mare, in modo da lasciare aperto il canale dell'antica foce di S. Nicolò. Alla fine il molo, che aveva uno sviluppo al coronamento di quasi 3300 m⁴², fu completato restringendo da ambo i lati il

⁴¹ L'idea di riunire in un'unica bocca i preesistenti storici varchi è del 1871 ed è dovuta agli ingegneri Antonio Contin e Tommaso Mati. Come nel caso di Malamocco, molte furono le polemiche alimentate dagli oppositori della proposta e dalle soluzioni alternative presentate, che ritardarono l'inizio delle opere fino al 1882.

⁴² L'attuale lunghezza al coronamento della diga sud di Lido è leggermente superiore a quella indicata, a seguito di interventi successivi che hanno portato la testa del molo in posizione leggermente più avanzata verso il mare. In origine, analogamente a quanto era avvenuto

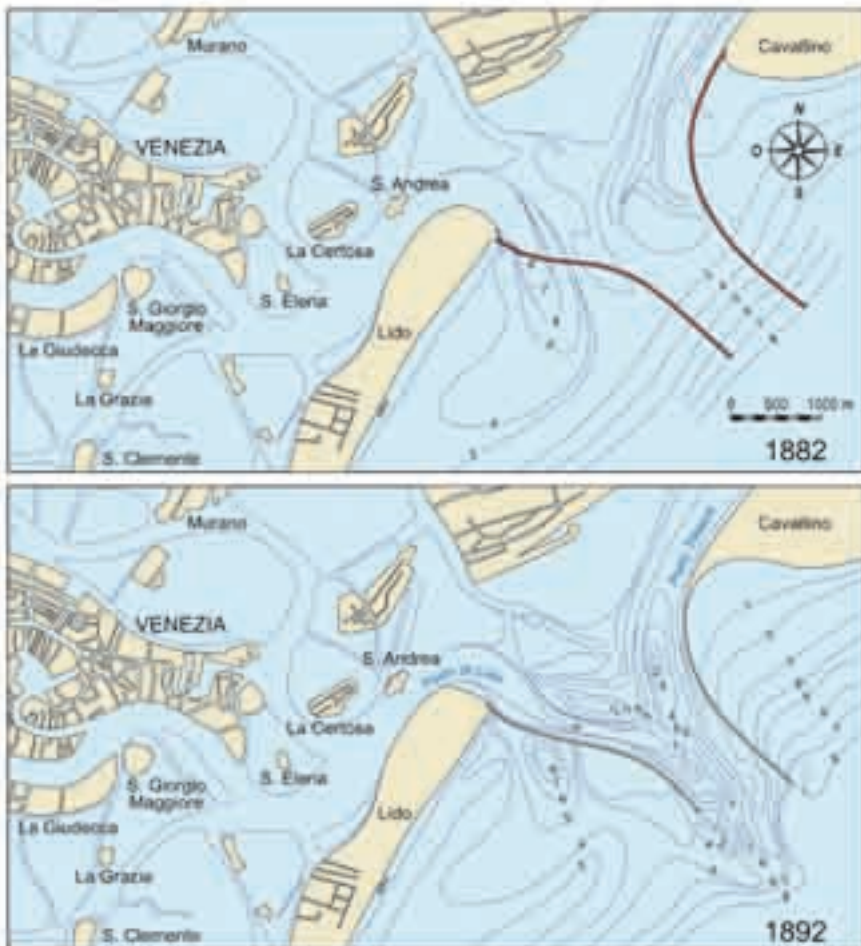


Fig. 4.7 - La configurazione con moli della nuova bocca di Lido con i fondali esistenti all'inizio (1882) e alla fine dei lavori (1892).

varco rimasto, come si procede solitamente nella ripresa della rotta di un fiume. Immediati benefici si ebbero per i fondali del canale navigabile tra le dighe, posto sostanzialmente in prosecuzione del canale di S.

per la bocca di Malamocco, i moli erano stati protesi in mare in modo da raggiungere la stessa profondità e da proteggere l'imboccatura dalle sabbie sospinte dai flutti del 1° quadrante (quelli generati sostanzialmente dai venti di Bora).

Nicolò, le cui profondità si portarono in breve tempo a superare gli $8 \div 9$ m (Fig. 4.7 in basso). Rimanevano peraltro non risolti i problemi creati dalla barra esterna, dove l'azione erosiva delle correnti di marea, contrariamente a quanto era avvenuto a Malamocco, si dimostrava incapace di incrementare le profondità minime raggiunte, che si mantenevano intorno a non più di $6 \div 7$ m.

Dopo qualche anno di attesa, per consentire alle navi di maggiore pescaggio di entrare in laguna si decise di intervenire con operazioni di dragaggio sulla barra di foce. Solo in quel momento fu chiaro il motivo del mancato rispetto delle previsioni sull'evoluzione naturale dei fondali in corrispondenza del varco di accesso fra le testate dei moli. La barra di foce risultò formata da una miscela di sabbia e di argilla sovraconsolidata, particolarmente resistente all'azione erosiva delle correnti, tanto da creare non poche difficoltà alle stesse operazioni di dragaggio.

Profondità minori, dell'ordine di $5 \div 6$ m, ma più che rispondenti alle necessità, si raggiunsero rapidamente nella zona di bocca posta in adiacenza al molo nord, che più direttamente si collega al canale di Treporti e alimenta la laguna superiore.

Una interessante ricostruzione tratta da un lavoro di Erminio Cucchini (Cucchini 1912) dell'evoluzione dei fondali della nuova bocca di Lido tra il 1909 e il 1912, a cavallo degli anni che videro lo sfondamento artificiale della barra di foce, è riportata in Fig. 4.8.

Toccò da ultimo alla bocca di Chioggia subire gli stessi provvedimenti sperimentati con successo per le altre due bocche. Dimensionata in origine dal suo progettista Francesco Carlo Rossi con una larghezza tra le dighe di 410 m, sulla base di concetti che si richiamavano ai rapporti esistenti tra le sezioni delle bocche di Malamocco e di Lido e le rispettive superfici liquide dominate all'interno della laguna, la geometria della bocca fu successivamente ridefinita da Cucchini (Fig. 4.9), adottando un criterio simile al precedente ma nel quale, accanto all'estensione delle superfici lagunari dominate, si teneva conto anche degli effettivi volumi d'acqua invasati. Sulla base del nuovo criterio la distanza tra i due moli fu definitivamente fissata in 550 m, distanza che ancor oggi si constata.

I lavori di costruzione, iniziati nel 1910 con le prime gettate di scogliera per realizzare la diga nord, furono a lungo sospesi a seguito dello scoppio della Grande Guerra. Nel momento della interruzione dei lavori le opere erano state completate per quasi tutta la diga nord e per un buon tratto della diga sud, ma solo nei loro nuclei costituiti da pietrame di più ridotta pezzatura. Per questo motivo esse furono fortemente danneggiate dalle mareggiate succedutesi durante i lunghi anni che seguirono la sospensione dei lavori. A causa dell'apertura di numerosi

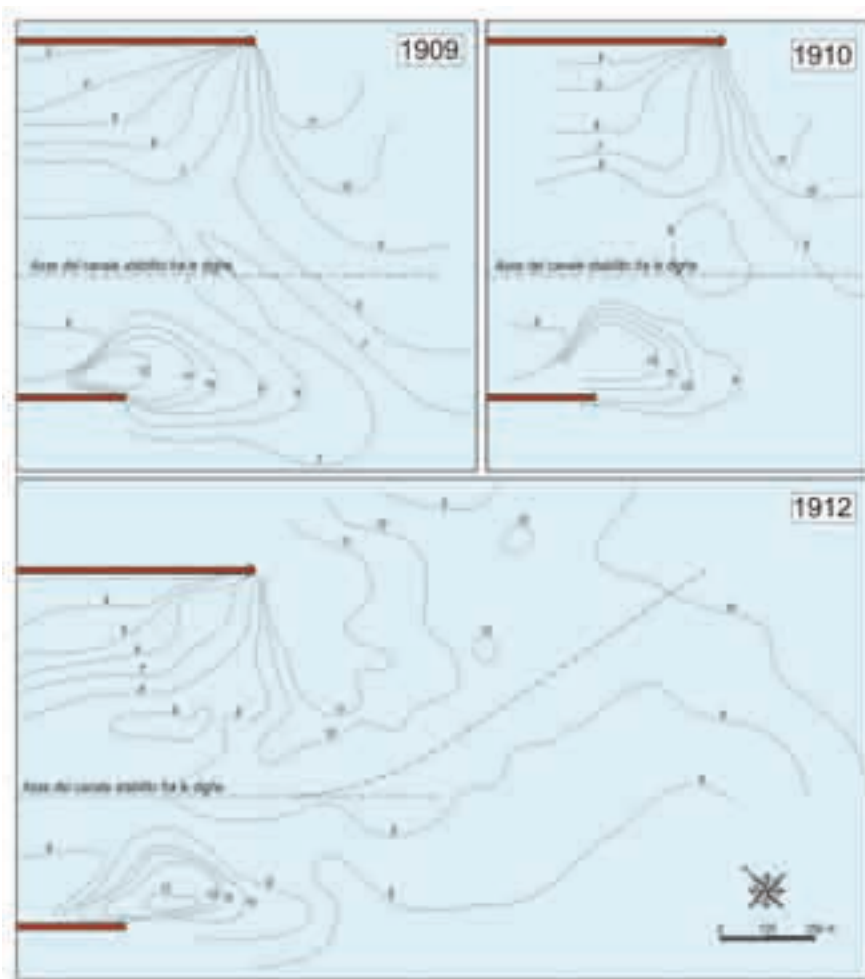


Fig. 4.8 - I fondali della bocca di Lido in prossimità delle testate dei moli prima (1909, 1910) e dopo (1912) la rimozione con operazioni di dragaggio della barra di foce.

varchi attraverso le strutture a opera del moto ondoso, insabbiamenti consistenti si produssero tra l'altro entro il porto canale, che pure inizialmente, come era capitato alle altre bocche, si era apprezzabilmente approfondito con l'avanzamento dei moli.

Si dovette conseguentemente quasi ricominciare da capo quando i lavori furono ripresi (1930) per essere questa volta completati (1934) con la costruzione delle due dighe foranee secondo le previsioni del progetto.



Fig. 4.9 - Il piano di costruzione dei moli alla bocca di Chioggia secondo le variazioni suggerite da Cucchini al progetto Rossi.

Protesa verso il mare per oltre 1800 m la diga nord e per quasi 1600 m la diga sud, il provvedimento consentì, come nel caso di Malamocco e di Lido, il rapido raggiungimento lungo il canale navigabile di fondali di 7÷8 m, più che rispondenti alle necessità della navigazione di allora attraverso la bocca (Miliani 1938).

La realizzazione dei moli alle bocche di porto, sinteticamente delineata, se ha portato al ripristino della navigabilità lagunare e al suo potenziamento, aprendo l'accesso in laguna alle navi moderne, ha innescato importanti processi morfologici, che non sono stati in alcun modo considerati o previsti nel momento dell'esecuzione delle opere, né osservati e analizzati con la dovuta attenzione negli anni successivi.

Questi processi, di natura prettamente idrodinamica e morfodinamica, sovrapponendosi alle conseguenze del quasi totale annullamento

dell'apporto esterno di sedimenti per l'estromissione dei maggiori fiumi dalla laguna e ai naturali fenomeni di sommersione, sono all'origine del degrado morfologico che oggi si osserva in laguna.

Ma su questi aspetti si ritornerà con dovizia di risultati nel seguito, confrontando con l'ausilio della più avanzata modellistica matematica disponibile il comportamento della laguna nelle sue diverse configurazioni, a partire da quella risultante dal citato rilievo di Dénaix per arrivare alla laguna dei nostri giorni.

Basti per il momento ricordare due aspetti che si considerano importanti con riferimento ai problemi attuali, ancorché diversi da quelli del passato.

Il primo si inquadra, se si vuole, in un ambito ideologico. Con la costruzione dei moli alle bocche di porto viene innanzitutto meno, dopo oltre 300 anni, la centralità del problema della salvaguardia della laguna enunciata da Sabbadino e fatta propria nei secoli successivi dai tecnici deputati dalla Repubblica a sovrintendere al governo delle acque. La realizzazione dei moli alle bocche fornisce una soluzione efficace solo a un problema specifico, locale, senza indagare né tanto meno comprendere quali riflessi (negativi come si vedrà) il provvedimento avrebbe più in generale potuto comportare per la laguna.

Il secondo aspetto è di carattere eminentemente idraulico e riguarda l'importante riduzione delle resistenze al moto che la presenza di bocche armate con moli determina rispetto alla situazione della laguna dei primi anni dell'Ottocento. Poiché le nuove opere hanno comportato apprezzabili incrementi dei fondali e un radicale mutamento della configurazione dei campi di moto nell'intorno delle bocche, oltre a maggiori volumi d'acqua negli scambi tra mare e laguna, ne sono conseguite, distribuzioni delle correnti di marea e modalità di trasporto dei sedimenti in sospensione attraverso i nuovi canali portuali caratterizzate da forti asimmetrie tra le fasi di flusso e di riflusso, con effetti non proprio positivi sulla morfologia lagunare.

5. LO SCAVO DEI GRANDI CANALI NAVIGABILI

Alla fine della Grande Guerra, quando i lavori per armare con moli la bocca Chioggia stavano per essere ripresi e portati a definitiva conclusione di lì a pochi anni, l'idea di sviluppare ai margini della laguna i nuovi insediamenti industriali di Porto Marghera diede un impulso decisivo alla costruzione dei grandi canali navigabili interni. Tali canali dovevano completare le strutture attraverso le quali nell'Ottocento, prima, e nel Novecento, poi, si era pensato di rendere agibile la laguna alle navi di maggiore pescaggio, risolvendo definitivamente, almeno nell'idea dei progettisti, quei problemi della navigabilità con i quali gli antichi veneziani si erano a lungo scontrati.

Si è già ricordato che sul finire del XVII secolo, reso da tempo non più praticabile il porto di S. Nicolò per l'eccessiva riduzione dei suoi fondali, le maggiori navi dovevano entrare in laguna attraverso la bocca di Malamocco. Di qui la decisione di realizzare un collegamento interno tra il porto di Malamocco e il bacino di S. Marco, per consentire alle navi di portarsi di fronte a Venezia.

Il provvedimento, deliberato dal Senato della Repubblica nel 1725, trovò realizzazione negli anni immediatamente successivi lungo una direttrice trasversale alla laguna, che si sviluppava tra le isole di Poveglia, S. Spirito e S. Clemente e che utilizzava, fra gli altri, i canali naturali Rocchetta⁴³, Malamocco e Orfano, tagliando la zona di partiacque tra il bacino di Malamocco e il bacino di S. Nicolò opportunamente scavata (Fig. 5.1).

⁴³ Attivata la navigazione lungo la nuova direttrice, a causa della facilità di insabbiamento del canale Rocchetta durante le mareggiate, si dovette in pratica abbandonare quest'ultimo canale, preferendogli un percorso più lungo che seguiva i canali Re di Fisolo e Campana, ma che dava maggiori garanzie di navigabilità.



Fig. 5.1 - Il tracciato del canale navigabile di S. Spirito, realizzato nel 1726 per collegare il porto di Malamocco a Venezia, evidenziato sulla carta di Angelo Emo (1763). ASVE, S.E.A., disegni, Laguna, n. 167 (con interventi dell'autore).

Al taglio, noto come canale di S. Spirito, fu assegnata dapprima una profondità di quasi 4 m e una larghezza in cunetta di poco inferiore ai 14 m, valori incrementati con un decreto successivo a 4.5 m e a 18 m circa rispettivamente.

In queste condizioni il canale di S. Spirito si trovava in epoca napoleonica, quando fu deciso che la via d'acqua doveva consentire il transito di vascelli armati con 74 cannoni e fu stabilito di aumentarne



Fig. 5.2 - Il tracciato del canale navigabile Vittorio Emanuele costruito (1920-1925) per collegare la I Zona Industriale di Porto Marghera direttamente al mare.

i fondali minimi a 7.5 m circa, non superando però nel concreto in quegli anni i 6.5 m⁴⁴.

Lo scavo del canale navigabile di S. Spirito, che allacciava rami di canali naturali, pur superando la zona di partiacque tra il bacino di S. Nicolò e il bacino di Malamocco, non perturbava sostanzialmente il preesistente regime delle correnti di marea e non alterava in misura apprezzabile né il loro assetto generale, né i loro caratteri locali.

Conseguenze di tutt'altro rilievo avrebbero avuto, invece, gli interventi in questo campo che nel corso del XX secolo portarono alla realizzazione dei due grandi canali navigabili Vittorio Emanuele e Malamocco-Marghera.

Il canale Vittorio Emanuele (Fig. 5.2), scavato tra il 1920 e il 1925,

⁴⁴ Nel corso dell'Ottocento la direttrice che si sviluppava lungo il canale di S. Spirito conservò le sue funzioni insostituibili di collegamento tra il porto di Malamocco, l'Arsenale e la Stazione Marittima. Mantenuti artificialmente, i fondali lungo la direttrice del canale di S. Spirito furono progressivamente incrementati per le necessità della navigazione fino a raggiungere profondità di almeno 9.5 m, con larghezze in cunetta variabili fra i 30 m e i 60 m.

ampliava e approfondiva un canale creato poco prima dell'inizio della Grande Guerra come canaletta di servizio per trasportare nelle colmate di Marghera i materiali di risulta provenienti dalla costruzione delle banchine della Marittima. Seguendo nelle vicinanze della città prima il tracciato del canale Donene, ma con andamento rettilineo, e poi il canale delle Tresse, la nuova via d'acqua consentiva alle grandi navi mercantili di raggiungere gli attracchi della I Zona Industriale di Porto Marghera, già oggetto di alcune proposte progettuali negli anni di guerra (Fig. 5.3).

Secondo le intenzioni del conte Giuseppe Volpi, imprenditore e politico e grande animatore dell'iniziativa, ai margini della laguna, di fronte a Venezia, doveva sorgere un polo industriale di prima grandezza, in grado di promuovere e di sostenere lo sviluppo dell'economia veneziana, occupando nell'area dei Bottenighi, al di là del limite fissato a suo tempo dall'antico argine di intestadura, ampie superfici di barena appositamente imbonite.

Per il nuovo canale navigabile, tenuto conto delle funzioni che era chiamato ad assolvere, erano previsti in origine fondali di $9 \div 10$ m, alquanto superiori a quelli dei canali lagunari adiacenti, con una larghezza in cunetta di 28 m e una pendenza delle sponde di 1 su 2. Queste caratteristiche geometriche comportarono lo scavo di circa $5 \cdot 10^6$ m³.

Allargato a 50 m negli anni immediatamente successivi alla seconda guerra mondiale, per consentire lo scambio delle navi da e per Porto Marghera, verso la fine degli anni '50 il canale fu ulteriormente appro-

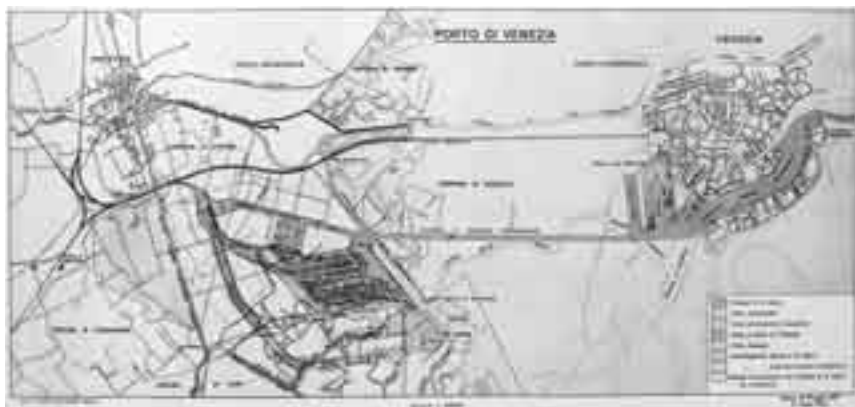


Fig. 5.3 - La I Zona Industriale di Porto Marghera e il suo collegamento con il Porto di Venezia secondo il progetto di Enrico Coen Cagli (1917). Venezia, Biblioteca del Museo Correr, op. PD, gr. 2002.

fondito a 11 m, senza modificarne la larghezza in corrispondenza dell'attacco della sezione con i bassifondi adiacenti, riducendo, quindi, la larghezza in cunetta a poco più di 40 m.

L'inserimento della nuova via d'acqua, associato alla costruzione dei moli alla bocca di Lido, che permetteva alle grandi navi di raggiungere come un tempo Venezia percorrendo la storica direttrice per porto S. Nicolò, tolse rapidamente importanza al vecchio canale di S. Spirito, ma contemporaneamente produsse fin da subito apprezzabili effetti sull'ambiente lagunare.

Dal punto di vista idrodinamico, per la sua profondità, il nuovo canale venne inevitabilmente a costituire una via preferenziale alla propagazione della marea lungo la direttrice bocca di Lido-S.Nicolò-Punta della Salute-Marghera. Penetrando dalla bocca di Lido e muovendo lungo il canale di S. Nicolò, della Giudecca e Vittorio Emanuele, l'onda di marea poteva raggiungere i bordi della conterminazione lagunare più velocemente di quanto non avvenisse propagandosi nelle zone adiacenti, controllate dal punto di vista idrodinamico dai canali naturali di Campalto, di S. Secondo e di Fusina (Vecchio e Nuovo), idraulicamente molto meno potenti. Ne derivarono soprattutto, come si vedrà meglio quando si esaminerà nel dettaglio l'influenza morfodinamica del canale, modificazioni locali del regime delle correnti, con conseguenze negative per le zone d'acqua e per i canali più prossimi alla via navigabile. Diversamente dal passato, questi canali erano ora investiti da significative correnti trasversali rispetto al loro asse ed erano interessati da processi di sedimentazione dei materiali erosi dai bassifondi adiacenti, rispetto ai quali anche lo stesso canale Vittorio Emanuele non rimaneva esente.

Un'idea sull'entità dei fenomeni di interrimento lungo il canale navigabile è fornita dalla quantità di materiale dragato nel periodo 1992-1997. Secondo i dati forniti dal Magistrato alle Acque, il mantenimento dei fondali ha comportato lo scavo di un volume complessivo di sedimenti pari a circa $0.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Dopo la costruzione del canale Malamocco-Marghera, il canale Vittorio Emanuele è andato progressivamente perdendo di importanza come via di accesso all'area industriale. Attualmente solo la parte terminale verso Marghera, che serve i terminali petroliferi, conserva le sue antiche funzioni ed è mantenuta nei fondali, a differenza del tratto più prossimo a Venezia, ora percorso prevalentemente da mezzi di servizio e da battelli minori. Tant'è che per questo tratto di canale negli ultimi tempi sembrano riscontrarsi apprezzabili riduzioni di profondità fino a valori di 6÷7 m, non molto lontani da quelli del canale della Giudecca una volta superata la Stazione Marittima.

Di impatto idraulico decisamente superiore a quello del canale Vittorio Emanuele è stato l'inserimento del canale Malamocco-Marghera, progettato a cura del Genio Civile Opere Marittime e realizzato tra gli anni 1964-1968.

Disposto nel suo tratto iniziale in diretta prosecuzione della bocca di Malamocco (Fig. 5.4), la nuova via d'acqua interseca i grandi canali naturali che si dipartono dalla bocca stessa, prima di compiere, all'altezza di Porto S. Leonardo, un'ampia curva e di assumere nella seconda parte del suo tracciato un andamento del tutto innaturale con direzione trasversale rispetto a quella degli altri canali.

In fase costruttiva al canale navigabile, realizzato per stralci successivi, fu assegnata nel tratto che va dalla bocca di porto fino alla curva di Porto S. Leonardo una larghezza in cunetta di 150 m, con una profondità di 14.5 m. Superata la grande curva, la larghezza in cunetta del canale si riduceva inizialmente a 100 m e poi, oltre Motte di Volpego e verso Marghera, a 60 m. Cambiavano per queste parti del tracciato le profondità, fissate in 12.5 m per il tratto intermedio e in 10 m per il tratto terminale compreso tra i bacini di evoluzione del canale Industriale Sud e del canale Industriale Ovest. Relativamente ai fondali, sul finire degli anni '60, una disposizione governativa limitava a 12 m le profondità massime raggiungibili in fase di manutenzione e di ripristino dei fondali stessi per la parte di canale posta in prosecuzione della curva di Porto S. Leonardo verso Porto Marghera.

Non è superfluo ricordare che lo scavo del canale si è accompagnato al marginamento di estese superfici di barena (~14 km²) per la formazione di alcune casse di colmata, inizialmente perimetrate con argini posti a una quota di 1.5÷2.0 m, destinate ad accogliere gli insediamenti della cosiddetta III Zona Industriale di Porto Marghera.

Il canale navigabile, realizzato con l'obiettivo non proprio secondario di rendere disponibili sempre nuove aree a un progresso industriale che in quegli anni sembrava non porre limiti alla propria crescita, fu supportato da un progetto poco commendevole dal punto di vista tecnico e carente dal punto di vista scientifico, nonostante le conoscenze nel campo dell'idraulica lagunare consentissero già allora un meno indecoroso inquadramento dei problemi, che l'inserimento della nuova via d'acqua avrebbe potuto comportare per il delicato ambiente lagunare.

Per rendersi conto di tali problemi, oltretutto, non erano necessari sofisticati modelli matematici o calcoli avanzati. Bastava semplicemente esaminare con un po' di attenzione su di una carta idrografica della laguna (nello specifico la carta del 1932) o su di un fotopiano attuale per i tempi nei quali il canale fu scavato quali interferenze e quali variazioni



Fig. 5.4 - Il tracciato del canale Malamocco-Marghera costruito tra gli anni 1964 e 1968 per collegare direttamente la bocca di Malamocco con la Zona Industriale di Porto Marghera.

strutturali si sarebbero imposte, dando esecuzione all'opera, alla rete di canali naturali che innervava il bacino lagunare. Se tutto questo fosse avvenuto forse anche i più accaniti propugnatori del canale si sarebbero sentiti chiamati a una maggiore prudenza, rifuggendo da un decisionismo indifendibile da qualunque parte lo si guardi, capace di annullare sul nascere qualsiasi obiezione di carattere tecnico e di imporsi agli organi di controllo, in primis al Magistrato alle Acque, ai quali evidentemente era ormai rimasto ben poco dell'antica autorevolezza.

Così non fu e si optò per una scelta che di lì a pochi anni avrebbe

dimostrato tutti i suoi limiti con riferimento alla funzionalità idraulica della laguna. Una scelta dettata solo e soltanto dal voler soddisfare interessi molto particolari, di pochi, senza minimamente preoccuparsi delle potenziali conseguenze negative dell'opera sull'ambiente lagunare, che purtroppo ne sarebbe stato sconvolto.

Esempio emblematico della rinuncia da parte dello Stato a condurre una approfondita valutazione sul merito tecnico di una grande opera, la realizzazione del canale Malamocco-Marghera, dopo l'epoca delle diversioni dei fiumi, chiudeva un secondo ciclo di grandi interventi da parte dell'uomo, che si potrebbe definire come l'«epoca della navigazione», per consentire l'ingresso all'interno della laguna di battelli e di navi di grande stazza.

Per la salvaguardia lagunare, un'epoca sicuramente meno gloriosa di quella delle grandi diversioni che l'aveva preceduta di qualche secolo, ma dalle conseguenze sull'evoluzione morfologica della laguna ben più gravi e nefaste.

Molto si è discusso intorno agli effetti che la costruzione del canale Malamocco-Marghera ha comportato per la laguna. L'attenzione e le polemiche, soprattutto negli anni '70 del secolo appena passato, si sono focalizzate su di un presunto aggravamento del fenomeno delle «acque alte», che il canale avrebbe comportato. Scarso o nessun credito si diede, invece, in quegli anni agli studiosi, e tra questi alcuni ricercatori dell'allora Istituto di Idraulica dell'Università di Padova, che fin da subito avevano richiamato l'attenzione su altri effetti negativi legati alla realizzazione del canale, riguardanti il regime delle correnti di marea e le potenziali conseguenze morfodinamiche dell'opera sull'ambiente lagunare.

Si trattava forse di effetti più difficilmente intuibili dai meno esperti in materia e in particolare dal variegato mondo ambientalista, principale animatore degli innumerevoli scontri dialettici sul ruolo del canale. Agli ambientalisti, a volte sostenitori categorici di posizioni infondate, va comunque riconosciuto il grande merito di aver positivamente stimolato gli esperti ad occuparsi seriamente dei problemi determinati dalla presenza della nuova via navigabile.

La realtà ha ampiamente dimostrato, ed è opinione ormai condivisa, che l'influenza del canale Malamocco-Marghera sul fenomeno delle «acque alte» è stata del tutto marginale, mentre sono risultati devastanti il suo ruolo sulla circolazione delle correnti di marea in tutta la laguna centrale e i fenomeni idrodinamici indotti dalla navigazione delle grandi navi destinate a percorrerlo.

Da qualche decennio se ne sono potuti sperimentare in modo evidente le conseguenze, poiché questa parte della laguna si è gradualmente

erosa e si è trasformata in un bacino dai fondali poco articolati, nel quale i canali naturali, che un tempo la innervavano governandone il regime, sono andati perdendo progressivamente di importanza, fino a scomparire in alcuni casi. Un degrado morfologico generalizzato colpisce ora la laguna centrale, segnando la drastica riduzione di importanza funzionale di molte delle forme e delle strutture naturali che l'hanno caratterizzata nei secoli e hanno contribuito, in una certa misura, a conservarla.

Per questi aspetti i problemi già evidenziati per il canale Vittorio Emanuele, in particolare quelli indotti direttamente dalla navigazione, nel caso del canale Malamocco-Marghera si sono di molto aggravati, non ultimo per il fatto accennato che, giunta al limite di quella che un tempo era la laguna viva, la via d'acqua assume una innaturale direzione trasversale, sub-parallela al litorale e alla linea di conterminazione della laguna.

Soggetto fin da subito a importanti fenomeni di interrimento, di minore intensità nel tratto iniziale che va dalla bocca alla curva di Porto S. Leonardo, il canale è stato mantenuto solamente grazie a costanti lavori di manutenzione, segno eloquente e inoppugnabile del suo infelice inserimento e di un dimensionamento idraulico mal condotto, paradossalmente non appropriato nemmeno con riferimento alla sola funzione di via navigabile. Anche dopo che il canale è stato protetto per brevi tratti sul lato a laguna di fronte alle casse di colmata con scogliere longitudinali, la condizione di stabilità dei suoi fondali non si è sostanzialmente modificata, non essendo stati correttamente inquadrati i processi morfodinamici che la determinano.

Sempre secondo i dati forniti dal Magistrato alle Acque, nel periodo di poco più di trent'anni compreso tra il 1968 e il 2001 il volume dragato per mantenere i fondali del canale navigabile è stato di circa $3.5 \cdot 10^6$ m³, con un tasso annuale all'incirca doppio rispetto a quello ricordato per il canale Vittorio Emanuele. Negli anni successivi a tale periodo, sono stati scavati $0.85 \cdot 10^6$ m³ nel tratto che va da Motte di Volpego al canale Industriale Ovest, mentre già ci si propone di dragare ulteriori significativi volumi in altri tratti.

Al di là di questi numeri, che non sono però insignificanti in rapporto alla perdita netta media annua di sedimenti stimata per l'intera laguna, sorprende il fatto che, come in altre situazioni, non si cerchi minimamente di valutare se e in quale modo si possano eventualmente rimuovere le cause del fenomeno, ma ci si orienti sempre e soltanto nella direzione di eliminarne gli effetti (nello specifico l'interrimento del canale, contrastandolo con periodiche operazioni di dragaggio). Tanto più il problema dovrebbe porsi se si considera che da qualche anno, quan-

tomeno da quando il materiale scavato è assoggettato a una normativa più severa per quanto riguarda le possibili zone di deposito, lo scavo e l'allontanamento di questo materiale sembra essere diventato un affare di non poco conto dal punto di vista economico.

Per chiudere questa analisi su di un periodo critico per il destino della laguna, è opportuno ricordare un'altra grande opera della seconda metà del Novecento, non di carattere idraulico ma pesantemente interferente con il regime idrodinamico di una importante porzione della laguna stessa. Ci si intende riferire alla variante della Strada Statale Romea, progettata in termini tecnici con non minore superficialità del canale Malamocco-Marghera e calata sull'ambiente lagunare come peggio non si poteva, nella più assoluta indifferenza degli organi di controllo preposti alla sua salvaguardia (Fig. 5.5).

Per lo più in rilevato, la variante, per la quale si potevano senza grandi sforzi di immaginazione individuare soluzioni alternative di gran lunga meno negative per l'ambiente lagunare e non meno efficienti dal punto di vista trasportistico, taglia un'ampia superficie di specchi d'acqua e barene ai limiti verso terra del bacino di Chioggia, di fatto marginandoli e modificandone gli scambi con la restante laguna. Si è venuto, in particolare, a creare ostacolo ai fenomeni sostenuti dalla circolazione secondaria, non ultimi quelli innescati dal vento, che assumono un ruolo importante per il ricambio delle acque delle zone periferiche della laguna, più lontane dalle bocche. Nonostante recenti interventi per introdurre nel rilevato stradale nuovi tratti in viadotto, così da favorire la circolazione e gli scambi mareali con le restanti parti



Fig. 5.5 - Il tracciato della nuova Strada Statale Romea che taglia la laguna nel bacino di Chioggia.

della laguna, i problemi idraulici cui si è fatto riferimento permangono in tutta la loro complessità.

La Strada Romea costituisce a sua volta un esempio poco edificante di come non si dovrebbero progettare grandi opere, che possono incidere in senso negativo sul sistema lagunare, volgendo l'attenzione al particolare, ma perdendo di vista il contesto generale tanto caro agli antichi idraulici della Repubblica, che si richiamavano alle posizioni di Sabbadino.

Nello specifico l'inserimento della strada con le modalità sinteticamente richiamate conferma la scarsa considerazione dell'uomo del Novecento verso le questioni della salvaguardia lagunare, sacrificabili sempre e comunque agli obiettivi della folta schiera dei paladini del fare (spesso male) sempre e comunque.

In un contesto ambientale quale è quello attuale della laguna, fortemente compromesso, e nei comportamenti che lo hanno determinato o quantomeno favorito nel corso del secolo che ci siamo lasciati alle spalle, trova giustificazione e non è né scandalosa né censurabile la richiesta che i provvedimenti in corso di realizzazione per la difesa della città di Venezia dalle «acque alte» siano attentamente valutati nelle loro molteplici conseguenze, fornendo una risposta chiara e convincente dal punto di vista tecnico e scientifico a tutte le questioni sollevate. A maggior ragione se si considera che osservazioni e domande non dovrebbero essere mai giudicate fuori luogo o banali, mentre potrebbero concretamente esserlo le risposte fornite.

Proprio alla luce di quanto è accaduto in un passato non molto lontano non è del tutto condivisibile l'idea che il problema, reale e importante, della difesa dalle alte maree possa essere disgiunto da un ragionamento complessivo sull'intera laguna e sulla salvaguardia della sua morfologia. Non sono le forme morfologiche della laguna rappresentative di valori solo estetici, come a volte si è portati a credere. Esse hanno una funzione idraulica importante, poiché condizionano e governano l'idrodinamica e la morfodinamica dell'intero sistema lagunare.

Disaccoppiare i due problemi, difesa dalle «acque alte» e salvaguardia lagunare, è di sicura comodità, ma è profondamente sbagliato dal punto di vista metodologico e con ogni probabilità anche dal punto di vista strategico, se davvero si ha a cuore la sorte della laguna.

È quanto mai probabile che, realizzate le opere alle bocche, venga meno l'ansia del fare, che ora sembra togliere il sonno a molti, facendo cadere tutto il resto nell'oblio del tempo.

Il sospetto è malevolo, ma potrebbe avere un fondo di verità, se si considera che le attività di ripristino morfologico sono diffuse all'inter-

no di tutta la laguna, dovranno protrarsi a lungo nel tempo e rivestono un interesse economico che non è nemmeno lontanamente confrontabile con quello delle opere avviate alle bocche.

La difesa dalle «acque alte» pertanto è solo una delle criticità da fronteggiare, forse nemmeno la più difficile da risolvere concettualmente, nonostante le molte contrapposizioni sull'argomento sembrano indicare il contrario.

In una moderna rivisitazione dell'idea del Sabbadino, sarebbe auspicabile che coloro ai quali è demandato il compito di individuare e di realizzare i provvedimenti per la difesa idraulica della laguna considerassero nella loro azione la centralità del problema della sua salvaguardia, condizionando il perseguimento di qualsiasi esigenza particolare al rispetto di questo forte, irrinunciabile, principio generale.

Nonostante la complessità degli interventi da attuare per invertire i processi di degrado che stanno seriamente compromettendo molte parti del bacino lagunare, snaturandole nella loro struttura morfologica secolare, in questa direzione è necessario muoversi con maggiore determinazione, se non si vuole correre il rischio di salvare solamente il tessuto urbano dei centri storici, in un ambiente completamente diverso da quello che ha visto nascere, svilupparsi e tramontare la gloria della Repubblica.

Se malauguratamente questo accadesse, la Venezia che avremo salvato sarà davvero la Venezia che avremmo voluto salvare?

6. LE NUOVE OPERE ALLE BOCCHE

La rapida rassegna degli interventi attuati nel corso del XIX e del XX secolo, per far fronte ai problemi emergenti all'interno della laguna e per adattare alle esigenze dell'uomo le sue funzioni, non può concludersi senza soffermarsi sull'ultima grande opera progettata per difendere la città di Venezia dalle «acque alte», un fenomeno che da sempre colpisce i centri storici lagunari, ma la cui frequenza è andata negli ultimi decenni progressivamente crescendo, come documentano le registrazioni mareografiche disponibili dal 1872 in Campo S. Stefano e a partire dal 1897 a Punta della Salute.

Tralasciando i molti contrasti e le non meno numerose polemiche che hanno accompagnato il tortuoso percorso che ha portato all'approvazione del progetto ora in corso di attuazione, sul quale si ritornerà con qualche dettaglio più avanti, si vogliono qui richiamare solamente le caratteristiche principali delle opere previste, sottoponendo all'attenzione del lettore alcune considerazioni sulla soluzione adottata rispetto alle altre perseguibili e alcune riflessioni sulla sua rispondenza ai requisiti fondamentali che l'hanno ispirata, ovvero risolvere il problema della difesa dalle «acque alte» senza produrre impatti idraulici irreversibili e senza incidere negativamente sulle attività portuali, anzi salvaguardandole.

Punto di partenza di questa analisi è il progetto definitivo approvato dal Magistrato alle Acque nel novembre 2002, nel quale sono tra l'altro individuate le opere fisse alle bocche destinate ad accogliere gli elementi manovrabili, mediante i quali si potrà intercludere la laguna rispetto al mare in caso di necessità.

Le caratteristiche principali delle opere approvate sono delineate schematicamente nelle Fig. 6.1-6.3, basate su di una rielaborazione delle tavole grafiche di accompagnamento del progetto citato.

Di fronte a ciascuna bocca è prevista, in comune, la costruzione di

un molo esterno con la funzione, se si fa riferimento alla determinazione governativa alla quale il progettista sostiene di essersi adeguato, di «incrementare le resistenze idrauliche al flusso delle correnti di marea» attraverso i passi navigabili. Le altre opere fisse previste dal progetto, invece, si differenziano da bocca a bocca, in considerazione soprattutto della loro diversa funzione operativa.

In sintesi per la bocca di Lido (Fig. 6.1), la più complessa dal punto di vista morfologico poiché da essa si dipartono direttamente verso l'interno della laguna i canali di S. Nicolò, di S. Erasmo e di Treporti, è indicata la costruzione in arretrato rispetto alle testate delle attuali dighe foranee di un'isola centrale, destinata a fungere da struttura di appoggio per le opere fisse dei due sbarramenti previsti.

Sul fondo dei due varchi che consentiranno di accedere rispettivamente al bacino di S. Marco, attraverso il canale di S. Nicolò, e alla laguna superiore, attraverso il canale di Treporti, sono inseriti gli alloggiamenti destinati ad accogliere in condizioni di riposo gli elementi mobili di ciascun sbarramento, che saranno sollevati con opportune manovre nel caso in cui si debba far fronte agli eventi di «acqua alta».

Mentre per il canale di S. Nicolò la luce libera dello sbarramento ha una larghezza di 400 m e una profondità di 12 m, per il canale di Treporti la sezione trasversale del varco presidiato presenta una larghezza di 420 m e una profondità di soli 6 m, venendo meno lungo questa direttrice la necessità di garantire la navigazione a battelli di maggiore pescaggio.

A cavallo dei due sbarramenti il fondale dei canali è protetto contro l'erosione da parte delle correnti di marea su di una fascia della lunghezza complessiva di ~400 m, nel caso del canale di S. Nicolò, e di ~350 m, per quanto riguarda il canale di Treporti.

Per dare spazio al porto rifugio destinato ad accogliere le piccole imbarcazioni nei periodi di chiusura della bocca, è apprezzabilmente modificata rispetto all'assetto attuale la configurazione delle rive del canale di Treporti sia lungo il litorale di Punta Sabbioni sia lungo la sponda opposta. Il nuovo andamento planimetrico, con curvature più accentuate, comporterà verosimilmente incrementi locali delle velocità con effetti inevitabili sui fondali, ove non opportunamente protetti contro l'erosione.

Sempre con riferimento ai processi erosivi, egualmente meritevole di attenzione è l'innesto sul lato a laguna del varco di S. Nicolò, leggermente disassato rispetto all'asse del canale omonimo e confinato entro strutture laterali la cui geometria dal punto di vista idraulico potrebbe generare strutture macrovorticosi, con conseguenze da valutare con attenzione.



Fig. 6.1 - Bocca di Lido. Le opere previste dal progetto definitivo approvato per la difesa dalle «acque alte». Il molo esterno non è stato al momento ancora realizzato.

Nonostante sia previsto dal progetto definitivo, per il momento il molo esterno di fronte alla bocca di Lido non è stato ancora realizzato ed è sperabile che non lo sia mai. L'opera, del resto molto discussa come le altre per l'improbabilità delle funzioni idrauliche per essa dichiarate, ben difficilmente è in grado di incrementare in misura apprezzabile le resistenze al moto delle correnti di marea nel suo superamento, come pretende e sostiene il suo progettista.

Complessa e articolata è la configurazione assegnata dal progetto alla bocca di Malamocco (Fig. 6.2), pesantemente condizionata dalla presenza in adiacenza al molo sud della conca di navigazione, che dovrebbe permettere alle grandi navi dirette verso gli attracchi portuali di accedere all'interno della laguna anche in caso di manovra della parte mobile dello sbarramento e di chiusura della bocca.

Il preesistente assetto planimetrico della bocca di Malamocco è pesantemente modificato dall'inserimento del molo esterno, che si sviluppa per una lunghezza di quasi 1400 m ed è chiaramente orientato in modo da difendere l'accesso alla conca di navigazione rispetto all'azione del moto ondoso. Considerate le dimensioni dei varchi che rimangono fra le testate del nuovo molo e quelle delle dighe foranee esistenti, diffi-



Fig. 6.2 - Bocca di Malamocco. Le opere previste dal progetto definitivo approvato per la difesa dalle «acque alte» con ubicazione della conca di navigazione e del molo esterno.

cile ipotizzare per la struttura esterna un ruolo diverso da quello evidenziato, in particolare la capacità dichiarata di produrre una attenuazione significativa dei colmi di marea all'interno della laguna.

La luce destinata ad accogliere gli elementi mobili dello sbarramento è collocata all'interno della bocca molto in arretrato rispetto alle testate dei moli attuali. La sezione del varco presidiato ha una larghezza di 380 m e una profondità di 14 m, profondità alla quale il progetto prevede di rialzare i fondali della bocca, su di una lunghezza complessiva di circa 1100 m. Il riposizionamento in quota dei fondali, che interessa prevalentemente il lato a mare del canale portuale, è positivo e riporta il canale stesso verso profondità più ragionevoli di quelle attuali, che si sono andate modificando soprattutto dopo la costruzione del canale Malamocco-Marghera.

L'assetto planimetrico delle strutture fisse previste per la bocca di Chioggia (Fig. 6.3) contempla, infine, la realizzazione di un'opera esterna della lunghezza di circa 700 m, a breve distanza dalla testata dell'esistente diga sud, pressoché di fronte all'opera. Lo sbarramento mobile, che controlla una luce della larghezza di 360 m e della profondità di 11 m, è posto quasi al limite interno della bocca, con fondali a cavallo dello sbarramento stesso portati a loro volta alla profondità di 11.0 m su di un tratto, protetto contro l'erosione, della lunghezza di circa 400 m.

Un porto rifugio trova spazio in adiacenza al molo nord, per per-



Fig. 6.3 - Bocca di Chioggia. Le opere previste dal progetto definitivo approvato per la difesa dalle «acque alte» con ubicazione del molo esterno e del porto rifugio in adiacenza al litorale di Caroman.

mettere alle imbarcazioni di più modesto pescaggio di sostare in zona protetta in attesa che venga ripristinata la navigazione lungo il porto canale.

Comuni alle tre bocche sono gli organi mobili destinati a intercludere le luci fisse in caso di necessità. Essi sono formati da elementi modulari per ciascun varco, opportunamente incernierati al fondo, sul quale si trovano normalmente adagiati. In posizione di riposo pertanto gli elementi mobili forniscono sostanziale continuità alle profondità previste per i tratti di canale immediatamente adiacenti, che sono protetti contro l'erosione solamente in una prima parte, forse su lunghezze troppo limitate per consentire alla corrente, che supera le luci degli sbarramenti accelerando, di riassumere velocità sufficientemente ridotte per evitare la mobilitazione dei sedimenti presenti sul fondo.

In caso di maree con colmo superiore a 110 cm rispetto allo zero mareografico di Punta della Salute, mediante insufflazione d'aria nei comparti interni ed espulsione dell'acqua che vi è abitualmente contenuta, gli elementi mobili sono sollevati dal fondo per spinta di galleggiamento, fino a emergere dall'acqua e a formare una barriera articolata in grado di intercludere i varchi e di fronteggiare sia le spinte determinate dal dislivello che si viene a creare tra il mare e la laguna sia le azioni idrodinamiche delle onde incidenti. Nella inevitabile oscillazione degli elementi mobili sotto l'azione del moto ondoso sono esclusi, secondo il proget-

tista, fenomeni di amplificazione delle oscillazioni stesse (fenomeni di risonanza), particolarmente pericolosi in quanto potrebbero favorire disarticolazioni di assetto delle barriere. Per una più completa informazione è, tuttavia, da ricordare che questo ultimo è un aspetto ancora molto controverso, poiché altri studiosi⁴⁵ hanno, anche recentemente, indicato possibili fenomeni di amplificazione del movimento delle barriere mobili intorno alle loro cerniere di fondo, a fronte di stati di mare già registrati. Ne deriverebbe fra l'altro secondo costoro l'impossibilità di un ragionato dimensionamento ingegneristico del dispositivo di aggancio tra elementi mobili e soglia di fondo degli sbarramenti previsti.

La presentazione del progetto delle opere alle bocche, sinteticamente delineate limitatamente alle strutture principali che interferiscono con l'idraulica degli attuali canali portuali, ha acceso animate discussioni e fortissime contrapposizioni, che hanno visto schierati su fronti opposti il Magistrato alle Acque e il suo concessionario unico, assieme al progettista degli interventi, e una folta schiera di critici, che si sono espressi contro la soluzione adottata con obiezioni a volte di carattere estremamente specialistico, come sono ad esempio quelle appena ricordate.

Non è tuttavia su queste diverse posizioni espresse che ci si intende soffermare, né tanto meno sulle difformità riscontrabili tra le opere indicate nel progetto definitivo approvato e quanto si sta concretamente costruendo. Riservandosi di ritornare più avanti sulle questioni idrauliche locali e generali connesse alle opere in corso di realizzazione, si vogliono a questo punto sottoporre alla riflessione del lettore alcune considerazioni sulle modalità attraverso le quali si è giunti all'individuazione del tipo di sbarramento adottato e sull'attualità del progetto con riferimento alla difesa della portualità, nella prospettiva di un incremento apprezzabile dei fenomeni di eustatismo.

È innegabile che, se si vogliono evitare allagamenti a Venezia nel caso di maree eccezionali, non vi è alternativa all'isolamento temporaneo della laguna rispetto al mare. Ciò premesso si deve, tuttavia, rilevare che il tipo di sbarramento verso il quale ci si è orientati è figlio di un'idea datata e molto probabilmente superata.

Negli anni in cui furono avanzate le prime proposte progettuali per separare la laguna dal mare durante gli eventi di «acqua alta» eccezio-

⁴⁵ Ci si intende riferire a un recente studio della società francese di ingegneria Principia R.D. (2009) che ha esaminato il funzionamento dinamico delle barriere mobili del Mo.S.E. sollecitate da stati di mare critici, confrontandolo con quello della soluzione alternativa delle cosiddette «paratoie mobili a gravità» indicata nel 2006 dal Comune di Venezia tra i possibili interventi alternativi.

nale, si ritenne che sbarramenti formati da elementi adagiati sul fondo e completamente sommersi durante gli stati di marea normale fosse la migliore delle soluzioni perseguibili. Nel clima di allora, non meno acceso di quello che si è determinato recentemente nel momento dell'avvio definitivo dei lavori alle bocche di porto, la scelta verso la soluzione adottata è stata sicuramente condizionata dal tentativo di assecondare il variegato mondo delle associazioni ambientaliste.

A tali associazioni indubbiamente va il merito di aver sensibilizzato l'opinione pubblica sui problemi della tutela e della salvaguardia del sistema lagunare, ma non si può non ricordare che in alcune circostanze il mondo ambientalista si è fatto portatore di idee tecnicamente e scientificamente non proprio condivisibili. Così è nata a suo tempo la soluzione che riguardò gli sbarramenti alle bocche, accettati purché non comportassero impatti visivi di alcun genere. Di qui la spinta decisiva verso la scelta di sbarramenti formati con elementi a totale scomparsa, come se le opere fisse che necessariamente li dovevano accompagnare potessero godere delle stesse proprietà e non generassero a loro volta impatti di un qualche rilievo.

Da questo punto di vista il risultato è sotto gli occhi di tutti. A misura che i lavori in corso procedono, letteralmente sconvolgendo il primitivo assetto delle bocche di porto, appare sempre più difficile riconoscere che possa considerarsi decisiva per gli aspetti ambientali la presenza alle bocche di sbarramenti formati con elementi mobili adagiati sul fondo in posizione di riposo, rispetto a quanto si sarebbe potuto ottenere con soluzioni diverse, di più sicuro e sperimentato funzionamento e soprattutto con costi di realizzazione e di manutenzione più contenuti.

Nella scelta operata è mancato il coraggio che deriva da una sicura padronanza dei problemi che si intendono risolvere e purtroppo un credibile confronto economico-funzionale tra le possibili soluzioni alternative, che si potevano adottare nel caso della laguna di Venezia. Al riguardo non si può obiettivamente considerare decisiva l'analisi condotta dal progettista all'interno della sua stessa organizzazione.

Sarebbe stato più opportuno un diverso approccio metodologico al «problema Venezia» da parte dello Stato. Sarebbe stato auspicabile, per non dire irrinunciabile, che soluzioni diverse fossero sviluppate con i dovuti approfondimenti da parte di gruppi imprenditoriali portatori di interessi differenti e in competizione tra loro, come è avvenuto nel caso di un'opera con funzioni simili a quelle degli interventi che si stanno realizzando alle bocche di porto della laguna: lo sbarramento sul nuovo canale navigabile per il porto di Rotterdam. Questo sbarramento, entrato in esercizio nel 1997, è l'ultima grande opera del famoso piano «Delta

Project»⁴⁶, concepito e realizzato per la difesa dell'Olanda meridionale dalle maree eccezionali del Mare del Nord.

L'osservazione è tanto più pertinente se si considera che per la realizzazione di quello sbarramento tra le soluzioni preliminarmente esplorate da gruppi imprenditoriali diversi ve ne era una, poi scartata assieme ad altre, che contemplava proprio la realizzazione di uno sbarramento del tutto simile per principio di funzionamento alle barriere mobili sommergibili che si stanno costruendo a Venezia. Tra i motivi che portarono all'esclusione di tale soluzione, non ultimi furono quelli relativi ai costi di esercizio e di manutenzione dell'opera, giudicati non sostenibili dall'agguerrita commissione di tecnici e di esperti ai quali era stata demandata la responsabilità della valutazione comparativa delle proposte.

Nei riguardi della soluzione scelta dagli olandesi, stupiscono perciò le critiche mosse da qualche tecnico coinvolto nella progettazione delle opere alle bocche della laguna negli anni in cui lo sbarramento sul canale di Rotterdam era in via di ultimazione, ravvisando per esso problemi di tipo ingegneristico.

La realtà è che lo sbarramento di Rotterdam nei suoi dieci anni di vita ha dimostrato di essere in grado di garantire gli obiettivi per cui è stato concepito sia durante le esercitazioni periodiche condotte per chiudere il canale navigabile sia in occasione dell'emergenza vera e propria, quando la chiusura della via d'acqua è stata risolutiva per difendere la città e il suo entroterra dal Mare del Nord.

Poiché sicuramente saremo capaci di reperire i finanziamenti necessari al completamento delle opere alle bocche, la speranza è che gli olandesi si siano sbagliati e che i costi di esercizio e manutenzione delle opere previste nel caso della laguna non diventino di fatto la tomba di una soluzione economicamente non sostenibile in fase di esercizio.

Non si vuole ovviamente negare la validità della scelta operata dal progettista per intercludere le bocche di porto, ma solo evidenziare che,

⁴⁶ Dopo la grande alluvione del febbraio 1953 che determinò la sommersione di gran parte dell'Olanda meridionale, compresa Rotterdam, il governo di quel paese sviluppò e approvò un progetto generale per la difesa idraulica del suo territorio, le cui opere era previsto fossero realizzate in un arco di tempo di trent'anni. Appartengono a questo progetto le grandi opere di difesa contro le maree eccezionali del Mare del Nord, che permettono, in caso di necessità, di chiudere le più importanti foci dell'Olanda meridionale, trattenendo entro invasi appositamente predisposti le portate dei fiumi, comprese quelle del Reno. Lo sbarramento sul canale di Rotterdam è appunto l'ultima delle grandiose opere previste dal piano e corona quell'idea con un ritardo di pochi anni rispetto ai tempi previsti.

pur tenuto conto delle differenze tra le due situazioni, il diverso approccio adottato nel caso dello sbarramento di Rotterdam per risolvere un problema analogo doveva essere motivo di seria riflessione almeno per coloro che, sedendo tra gli esperti all'interno degli organi di controllo, avevano ampie possibilità di far emergere le contraddizioni della procedura adottata nel caso di Venezia.

Oltretutto una scelta tanto importante per un'opera ancor più importante, era opportuno che fosse motivata con documenti pubblici nel vero senso della parola e non, come è consuetudine in questo nostro Paese, in modo da riservare l'accesso all'informazione a pochi addetti ai lavori, meglio se opportunamente selezionati.

Dal punto di vista strettamente tecnico, in definitiva, è singolare che si sia ritenuto di non percorrere soluzioni già concretamente esplorate da altri, preferendo avventurarsi verso un'opera innovativa, che fatalmente trascina con sé non pochi interrogativi e non meno numerose incertezze, soprattutto se vi è autoreferenzialità nel controllo.

Un secondo aspetto del progetto in fase di attuazione sul quale brevemente soffermarsi riguarda la portualità.

Proprio la difesa della portualità, secondo il progettista, ha condizionato le dimensioni minime dei varchi fissi da presidiare con organi mobili e ha imposto l'inserimento di strutture, quali la conca di navigazione alla bocca di Malamocco, giudicate irrinunciabili per non penalizzare le attività del porto.

Tralasciando per il momento qualsiasi considerazione sul limite delle velocità massime accettabili ai fini della navigazione attraverso i varchi presidiati, aspetto sul quale si ritornerà con un commento specifico, i problemi che nel futuro potrebbero maggiormente incidere sull'agibilità del porto di Venezia riguardano senza dubbio le conseguenze dell'innalzamento del livello medio del mare e della subsidenza.

Le previsioni sul fenomeno potrebbero incrementare il numero delle chiusure necessarie per contenere le «acque alte» in laguna fino a valori inaccettabili. Le risposte del progettista alle osservazioni avanzate su questo punto dal Comune di Venezia, quando furono presentate alcune soluzioni alternative nel tentativo di riaprire un confronto sulle opere alle bocche di porto, non hanno mai interpretato nel loro giusto significato le obiezioni sollevate e non sono state nemmeno puntuali.

Di fronte all'incertezza delle previsioni sul più probabile incremento del livello medio del mare nel prossimo secolo, non vi è dubbio che ragionevolmente il progettista avrebbe dovuto ispirarsi a un sano «principio di precauzione», facendo riferimento non al valore di 22 cm assun-

to in sede di progetto definitivo, ma quantomeno alle stime più severe e cautelative del Co.Ri.La.⁴⁷, suo consulente al riguardo.

Nello specifico, adottando per l'innalzamento del livello medio relativo del mare nel prossimo secolo il valore di 30 cm (la più severa delle stime del Co.Ri.La.⁴⁸), il numero degli eventi di marea che richiederebbero la chiusura delle bocche di porto salirebbe drammaticamente rispetto alla situazione attuale.

Assumendo, come si ipotizza, di intercludere la laguna per maree che raggiungono o superano a Punta della Salute livelli di 110 cm sullo zero mareografico omonimo, con riferimento alle statistiche del decennio 1996-2005 le manovre richieste passerebbero da 5 circa a 77. Mentre attualmente, infatti, sono mediamente poco più di 5 gli eventi di marea con colmo superiore a 110 cm a Punta della Salute, alla fine del prossimo secolo, con un innalzamento del livello medio del mare di 30 cm, la manovra di chiusura sarebbe richiesta da tutti i colmi di marea che ora raggiungono o superano gli 80 cm, i quali sono appunto 77 se si considerano gli eventi registrati nel decennio ricordato e un po' di meno, 53, se si fa riferimento al periodo 1966-2005 (Fig. 6.4).

Poiché il fenomeno delle «acque alte» tende a concentrarsi prevalentemente nei mesi tardo-autunnali e invernali, è difficile comprendere, tenuto conto delle false manovre stimate allo stato attuale pari al 50% dei casi, quale futuro possa avere un porto i cui passi navigabili, accettando le stime più severe del Co.Ri.La., sul finire del prossimo secolo rischiano di essere chiusi una volta ogni due-tre giorni nel periodo critico dell'anno.

Tanto più la questione è preoccupante se si considerano le valutazioni sull'incremento del livello medio relativo del mare dell'autorevole IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Secondo il rapporto dell'IPCC del 2001, infatti, nei prossimi cento anni l'innalzamento del livello del mare, in ipotesi non estreme ma di media gravità, potrebbe essere di 50 cm, ben superiore quindi rispetto alla più pessi-

⁴⁷ Il Co.Ri.La., acronimo di **C**onsorzio di **R**icerche **L**agunari è un consorzio formato tra la Università di Venezia (Architettura, Ca' Foscari e Scienze Ambientali) e l'Università di Padova per promuovere le ricerche in campo lagunare. La sua sede è a Venezia.

⁴⁸ Il valore del probabile incremento del livello medio relativo del mare nei prossimi cento anni è molto controverso. Il Co.Ri.La., alle cui valutazioni il concessionario unico ha fatto riferimento, indica per tale incremento un valore probabile di 22 cm ed un valore pessimistico di 31.4 cm. L'IPCC, invece, nella sua stima del 2001 fa riferimento a un valore più probabile di 50 cm, associandovi, come si è detto, un valore minimo di 9 cm e un valore pessimistico di ben 88 cm.

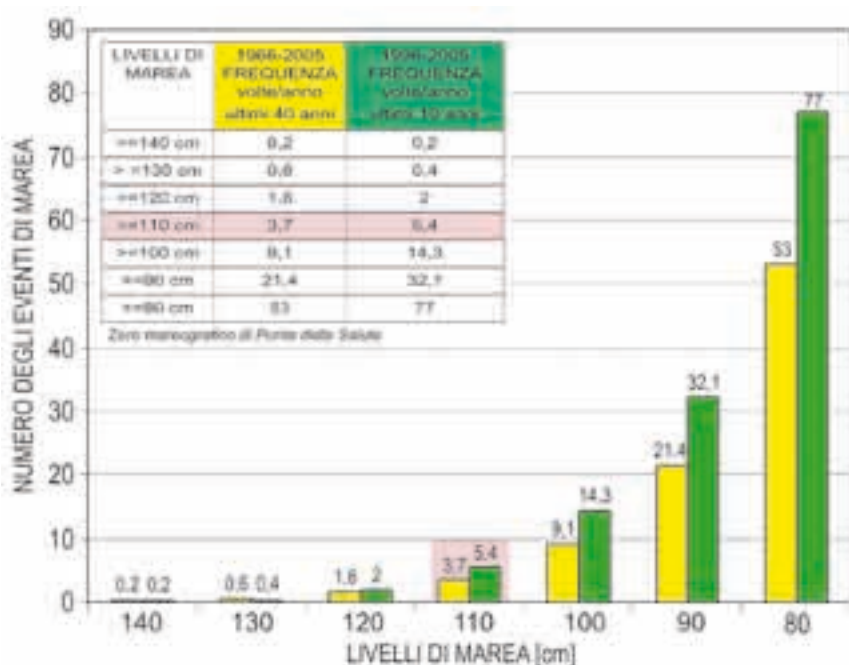


Fig. 6.4 - Numero annuale degli eventi con colmo di marea a Punta della Salute superiore a un assegnato livello nel periodo 1966-2005 (■) e nel periodo 1996-2005 (■).

mistica previsione del Co.Ri.La.. In tal caso, per difendere Venezia dalle alte maree, la laguna dovrebbe essere interclusa dal mare pressoché ogni giorno, con buona pace del porto e della navigazione. La conclusione non cambia se il riferimento è alla più recente previsione dell'IPCC (2007), secondo la quale gli incrementi previsti nel prossimo secolo potrebbero variare, a seconda del modello utilizzato per interpretare gli effetti dei cambiamenti climatici che interessano la nostra epoca, tra un minimo di 18 cm e un massimo di 59 cm, con un valore più probabile di una quarantina di centimetri.

Alla luce di queste osservazioni, le esigenze della portualità che, seguendo il progettista, avrebbero concorso a vincolare le caratteristiche geometriche e idrauliche delle opere alle bocche per la difesa dalle «acque alte», alla fine non risulterebbero a loro volta completamente salvaguardate, a causa di un fenomeno, l'innalzamento del livello medio del mare, la cui incidenza doveva probabilmente essere considerata con maggiore attenzione.

In prospettiva, se l'innalzamento del livello medio del mare nel prossimo secolo dovesse manifestarsi con l'intensità paventata, diverrebbe criticabile l'impostazione stessa del progetto in corso di realizzazione, poiché, di fronte a una laguna che richiederebbe di essere separata dal mare con la frequenza indicata, si sarebbe dovuto intervenire con opere di tutt'altre caratteristiche rispetto a quelle progettate.

Per il bene di Venezia è sperabile che questo non accada e che le previsioni dell'IPCC, davvero critiche per la città, non abbiano a concretizzarsi.

Comunque la si pensi, è bene evidenziare che, se negli anni a venire vi sarà un apprezzabile innalzamento del livello medio del mare, la soluzione in corso di attuazione per la difesa di Venezia dalle «acque alte» non è da considerare definitiva.

Di fronte all'eventualità di un innalzamento del livello medio relativo del mare importante, oltretutto, i problemi che insorgerebbero non riguarderebbero la capacità degli sbarramenti progettati di reggere le maggiori sollecitazioni derivanti dall'incremento dei dislivelli marelaguna. Non vi è motivo di credere che possa essere questo il pericolo. Il problema è di altro ordine ed è di carattere generale, riguardando la funzionalità stessa del «sistema laguna» dal punto di vista idraulico e ambientale. In una tale evenienza, infatti, la soluzione adottata sarebbe inevitabilmente destinata ad avere una vita breve nel tempo, in quanto non è ipotizzabile, nel caso di variazioni in aumento del livello medio del mare dell'ordine di 30-50 cm nel prossimo secolo, di governare la laguna assogettandola costantemente a una regimazione artificiale dei livelli, mantenendo le sue bocche più chiuse che aperte anche durante l'evolversi delle normali maree di sizigie, con conseguenze facili da immaginare.

Per tali motivi sarebbe auspicabile fin da subito pensare a soluzioni future diverse da quella che è in corso di attuazione o complementari rispetto a questa, non ultima, in prospettiva, quella del sollevamento del suolo della città.

L'ipotesi di orientarsi verso un intervento sia pure sperimentale di sollevamento del suolo di Venezia è stato molto criticato e subito affossato da taluni degli esperti, che giudicano il provvedimento non fattibile dal punto di vista ingegneristico e quindi improponibile.

Superfluo evidenziare la miopia di costoro che, nonostante in alcuni casi siano autorevoli uomini di scienza, sembrano immersi in un quotidiano che ha tolto loro la tensione del nuovo, che dovrebbe invece animare sempre chi vive nel modo della ricerca. Essi hanno la presunzione di distinguere il fattibile dal non fattibile giudicandolo sulla base delle

attuali conoscenze ed esperienze e non sembrano possedere la capacità di saper cogliere né la rapidità del divenire della scienza, né quanta strada in questi anni il progresso prorompente della tecnologia ha consentito di compiere, quando la ricerca è stata convenientemente sostenuta.

A un tal modo di pensare, incapace di guardare al futuro perché si è interessati a cogliere solo quello che offre il presente, si affianca purtroppo pericolosamente un certo mondo della politica, come personalmente ho avuto modo di constatare qualche anno fa partecipando a Venezia a un Consiglio Comunale. In occasione della presentazione dei risultati di una valutazione comparativa tra possibili soluzioni alternative alle opere in corso di realizzazione alle bocche, vi fu una dura reazione di alcuni consiglieri alla risposta a una domanda che mi era stata rivolta, solo per aver sostenuto che non fosse da scartare a priori la promozione di studi volti a esaminare la possibilità di modificare per la città il rapporto altimetrico mare-suolo mediante sollevamento del suolo stesso.

7. GLI EFFETTI IDRAULICI DELLE OPERE REALIZZATE NEGLI ULTIMI DUE SECOLI

Sullo stato dei fondali lagunari al tempo della Repubblica sono reperibili notizie in molti documenti storici, che riportano comunque solo dati indicativi e per lo più riferibili ai canali portuali. Informazioni estese sui fondali, che rivestano un qualche interesse anche dal punto di vista tecnico, sono invece relativamente rare.

Le prime notizie in tal senso, riferite da Zendrini (Zendrini 1811), sono riconducibili ai dati di profondità rilevati nel 1440 lungo la direttrice che, passando attraverso il centro storico, va da Fusina (Lizzafusina) al porto di S. Nicolò.

Molto più significativi e generali sono i rilievi del 1542, eseguiti a cura di Alvise Bressan e Zuan Antonio de Bartolomeo, entrambi della magistratura sopra le acque, che forniscono indicazioni sulle profondità in alcuni punti dei principali canali della laguna superiore e media. Più significativi ancora quelli dei primissimi anni del XVII secolo (1602-1603), rilevati a loro volta nei canali lagunari utilizzati per la navigazione. Si tratta di rilievi, ricordati nei loro valori sempre da Zendrini, che possono essere utili per un qualche confronto di interesse locale con lo stato degli attuali fondali.

Ulteriori informazioni sui fondali lagunari, infine, sono reperibili nei documenti che si accompagnano alla carta di Antonio Gerolamo Vestri (1692), che rendono disponibili lungo circa 600 allineamenti gli scandagli delle profondità lagunari in allora esistenti.

Incidentalmente per i rilievi del 1440 Zendrini riporta un commento, che è particolarmente significativo nei riguardi delle profondità dell'antica laguna e dei problemi legati agli interrimenti causati dai fiumi, nel quale si afferma: «prima commençando da Lizafusina fino a la bocha del canedo sopra Venexia è sì atterrado e amunido che a pena con l'acqua sopra comune se puol andar. De la bocha del canedo fino a la meda

de chiodo la qual se trova esser tajada, ma quei de S. Nicolò afferma esser quella, se trova de acqua comuna piè do e mezo». Se ne deduce che in quel tempo in prossimità dell'antico sbocco del Brenta in laguna i fondali assumevano quote corrispondenti in pratica a quelle del medio mare, mentre, avvicinandosi a Venezia lungo il canale proveniente da Fusina, si incontravano profondità di una sessantina di centimetri rispetto a tale riferimento. Profondità dunque molto modeste, determinate nello specifico dagli importanti depositi di sedimenti causati dal Brenta, che forniscono però un'idea della gravità del problema con il quale in quel tempo i veneziani si stavano confrontando senza significativi risultati, almeno inizialmente.

Pur interessanti, i dati appena ricordati sono limitati a pochi punti e non sono di grande utilità per un significativo confronto con le situazioni che nei secoli successivi si dovevano determinare.

Conseguentemente è solo con il già ricordato rilievo eseguito da Dénaix nei primi anni dell'Ottocento che ci è dato di conoscere sulla base di moderni criteri topografici e con buon dettaglio, la morfologia delle bocche della laguna e la struttura della rete dei suoi canali principali, assieme ai loro fondali (Fig. 7.1).

La carta, pur non fornendo indicazioni sulle profondità delle zone d'acqua e sulle quote delle superfici di barena, che sono comunque oggetto di una buona rappresentazione planimetrica, costituisce un primo attendibile termine di paragone per chi volesse evidenziare le modificazioni morfologiche intervenute nei successivi due secoli, durante i quali, come si è ricordato, sono stati portati a termine da parte dell'uomo una serie di interventi di grande impatto sul sistema lagunare.

In epoca successiva informazioni sulle profondità delle zone d'acqua e sulle quote delle barene in tutta la laguna sono deducibili dalla carta idrografica del 1901, risultante dai rilievi eseguiti a cura del Genio Civile di Venezia nel periodo 1897-1901, quando la bocca di Malamocco era già stata da tempo armata con moli e l'analogo intervento sulla bocca di Lido era stato ultimato da appena una decina d'anni (Fig. 7.2).

Risalgono ai primi anni del '900 anche gli accurati rilievi batimetrici locali delle bocche di Lido (1913), di Chioggia (1914) e di Malamocco (1915). Si tratta di rilievi che permettono di valutare, per confronto con la carta del 1901, l'evoluzione dei fondali intervenuta alle bocche di Malamocco e di Lido dopo la costruzione dei moli, mentre l'analogo intervento per la bocca di Chioggia, da poco iniziato, era in procinto di essere sospeso per lo scoppio della Grande Guerra.

La carta idrografica del 1932 (Fig. 7.3) illustra i rilievi batimetrici generali dell'intera laguna, eseguiti per la maggior parte sul finire degli

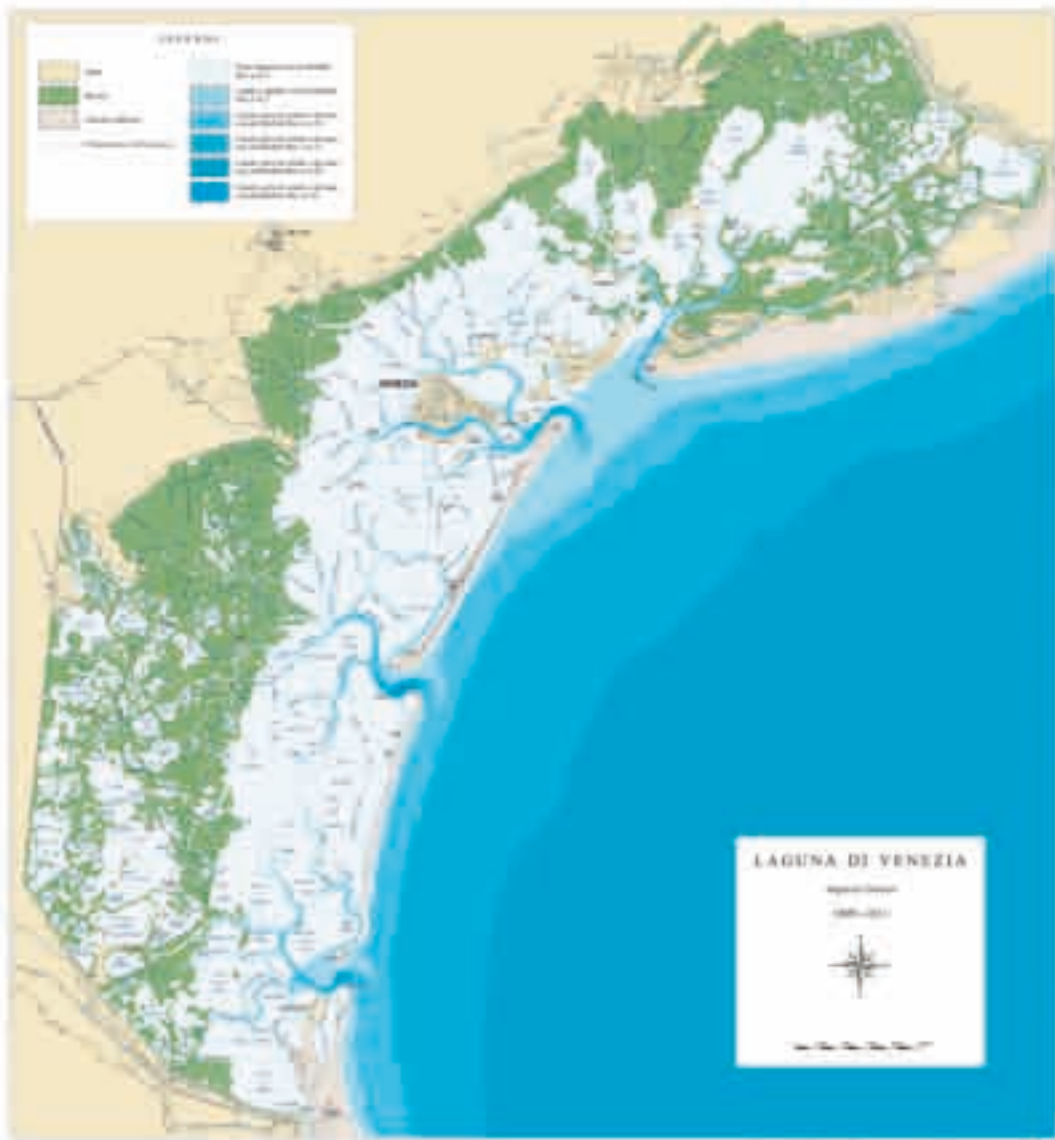


Fig. 7.1 - Carta idrografica della laguna di Venezia ricostruita mediante rielaborazione e unione delle tavole rilevate da Dénaix tra gli anni 1809 e 1811.

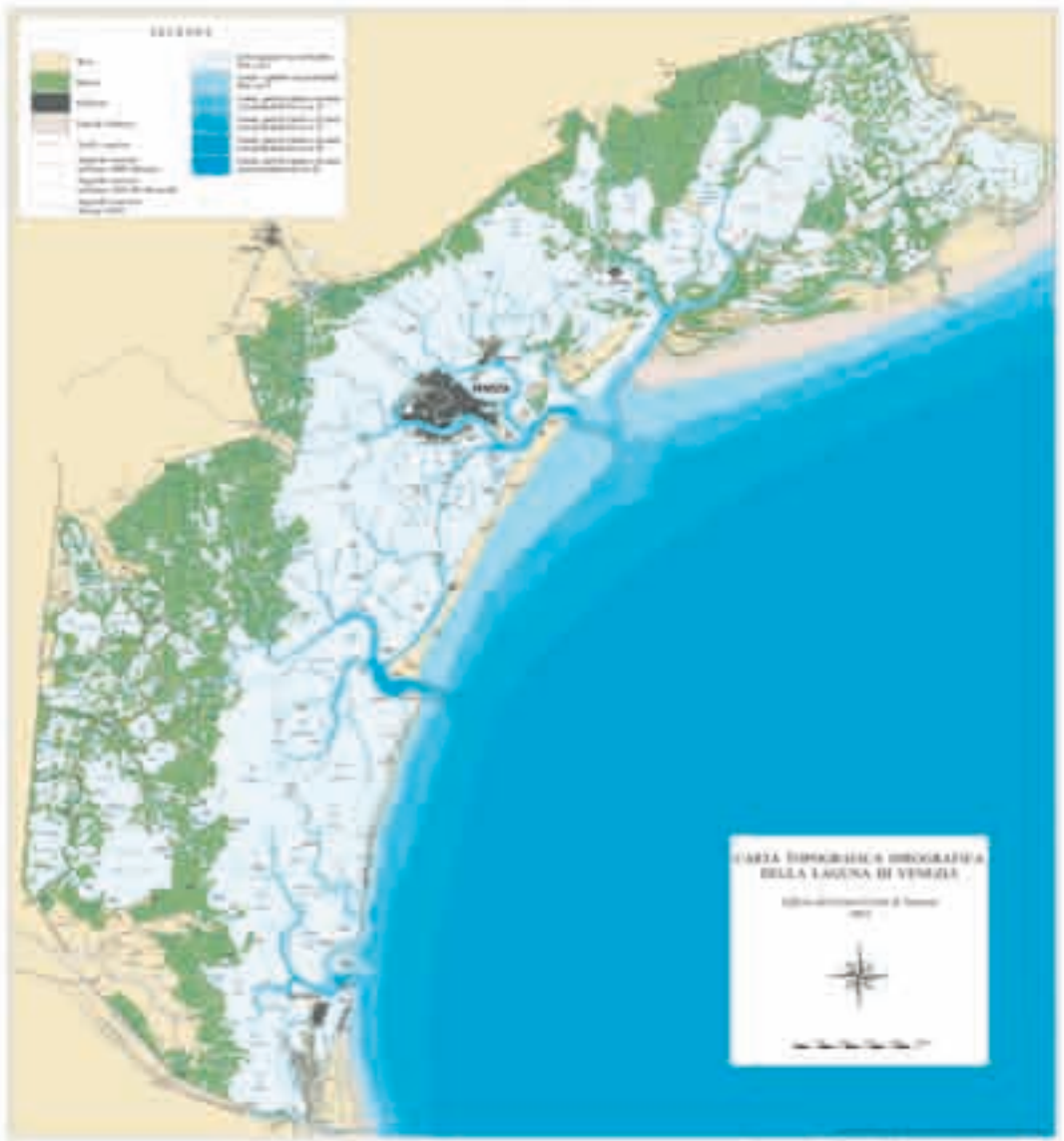


Fig. 7.2 - Carta idrografica della laguna di Venezia secondo il rilievo dell'Ufficio del Genio Civile eseguito nel 1901.

anni venti alla scala 1:5000, quando il canale Vittorio Emanuele era già stato scavato da qualche anno (1925).

Con analoga impostazione, dopo la marea eccezionale del 1966, è stata realizzata la carta idrografica che sintetizza i rilievi topografici eseguiti nel periodo 1969-1972 sull'intera laguna (Fig. 7.4), in anni in cui il canale Malamocco-Marghera era stato appena ultimato.

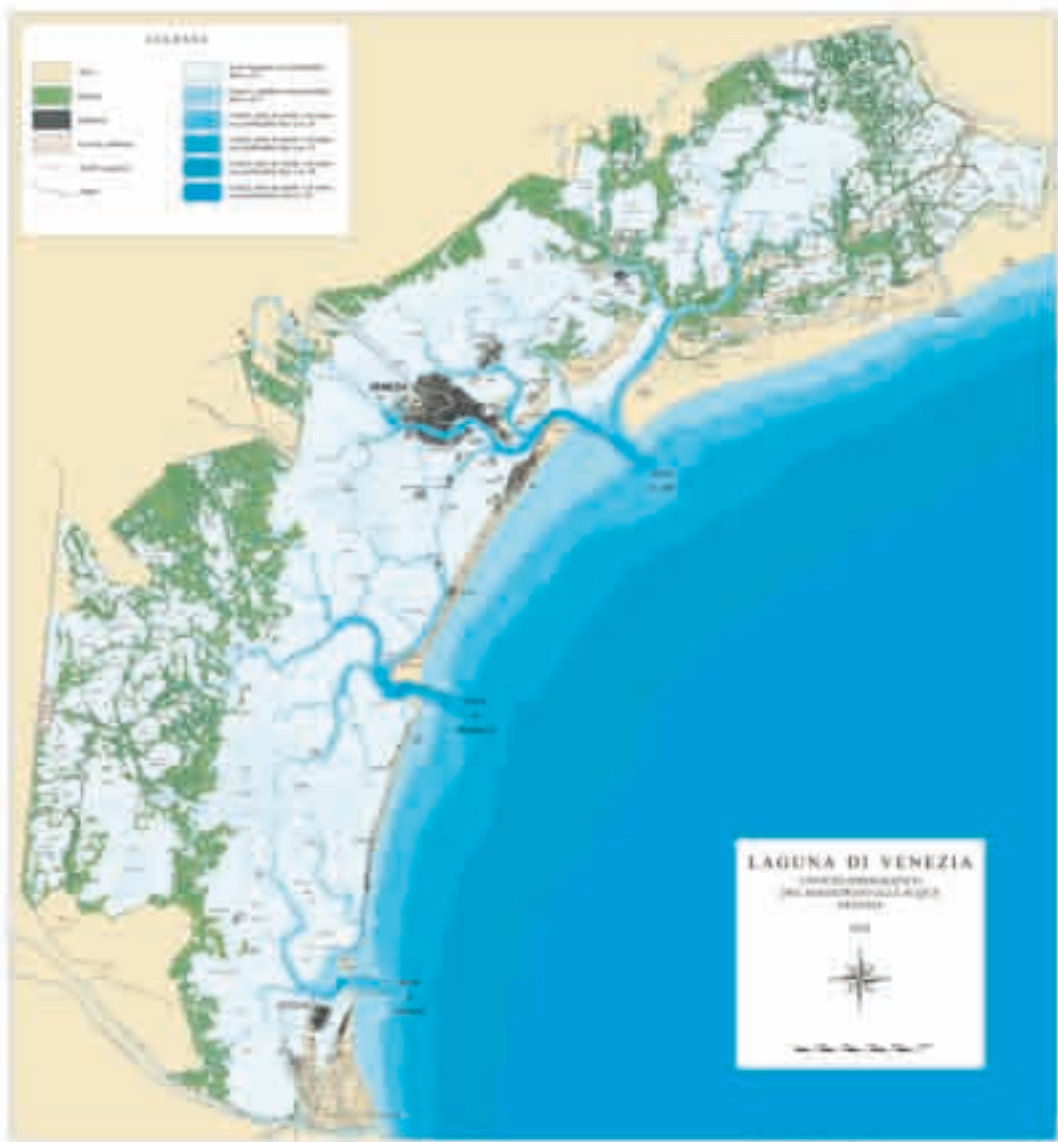


Fig. 7.3 - Carta idrografica della laguna di Venezia secondo il rilievo dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque del 1932.

Relativamente agli anni più recenti, infine, per i quali la frequenza dei rilievi batimetrici in laguna si è andata intensificando, si può far riferimento alla batimetria del 2003⁴⁹, che illustra (Fig. 7.5) la situazione del

⁴⁹ Volendo valutare le variazioni di quota che hanno interessato i fondali della laguna nei pe-

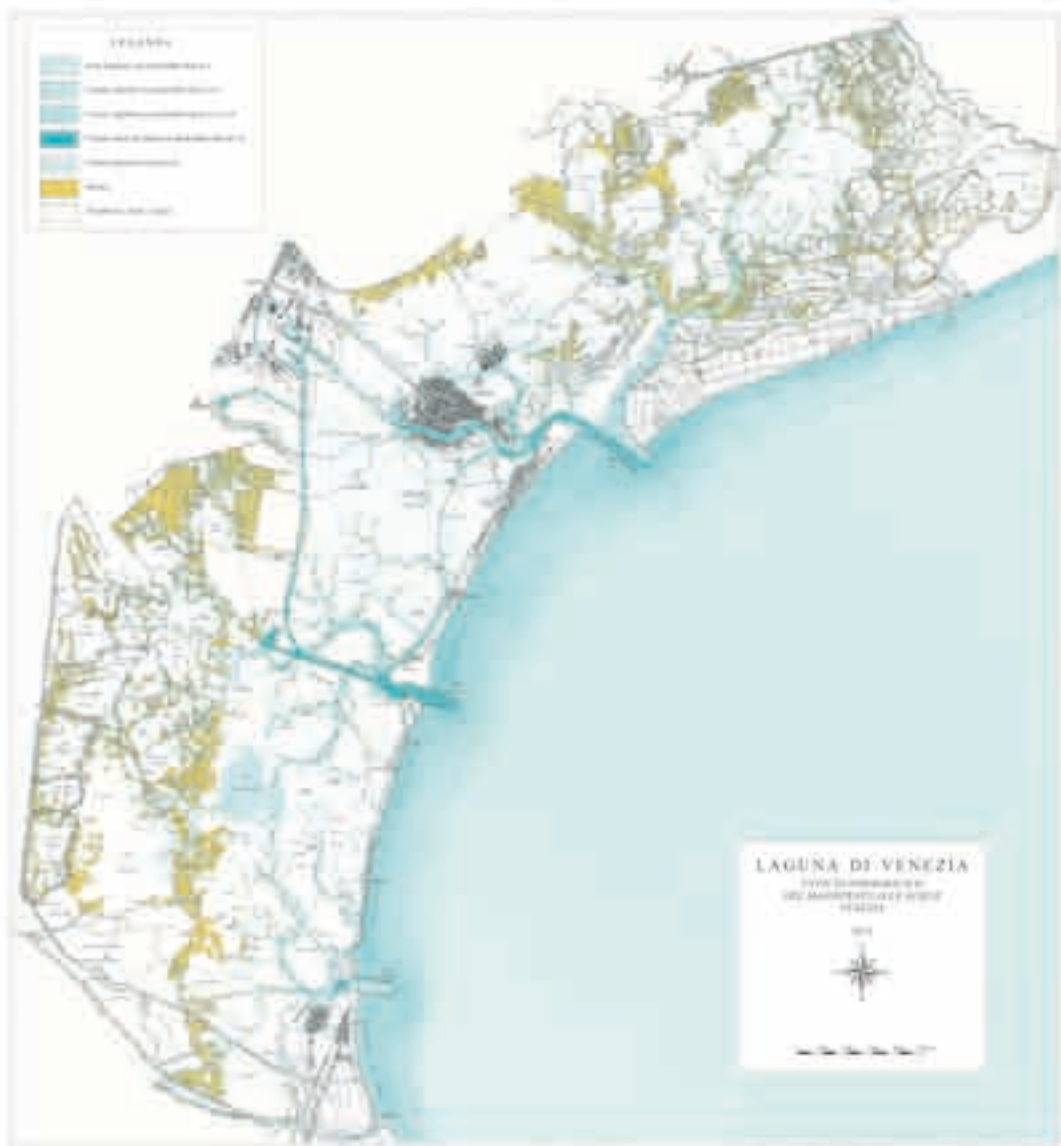


Fig. 7.4 - Carta idrografica della laguna di Venezia secondo il rilievo dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque del 1970.

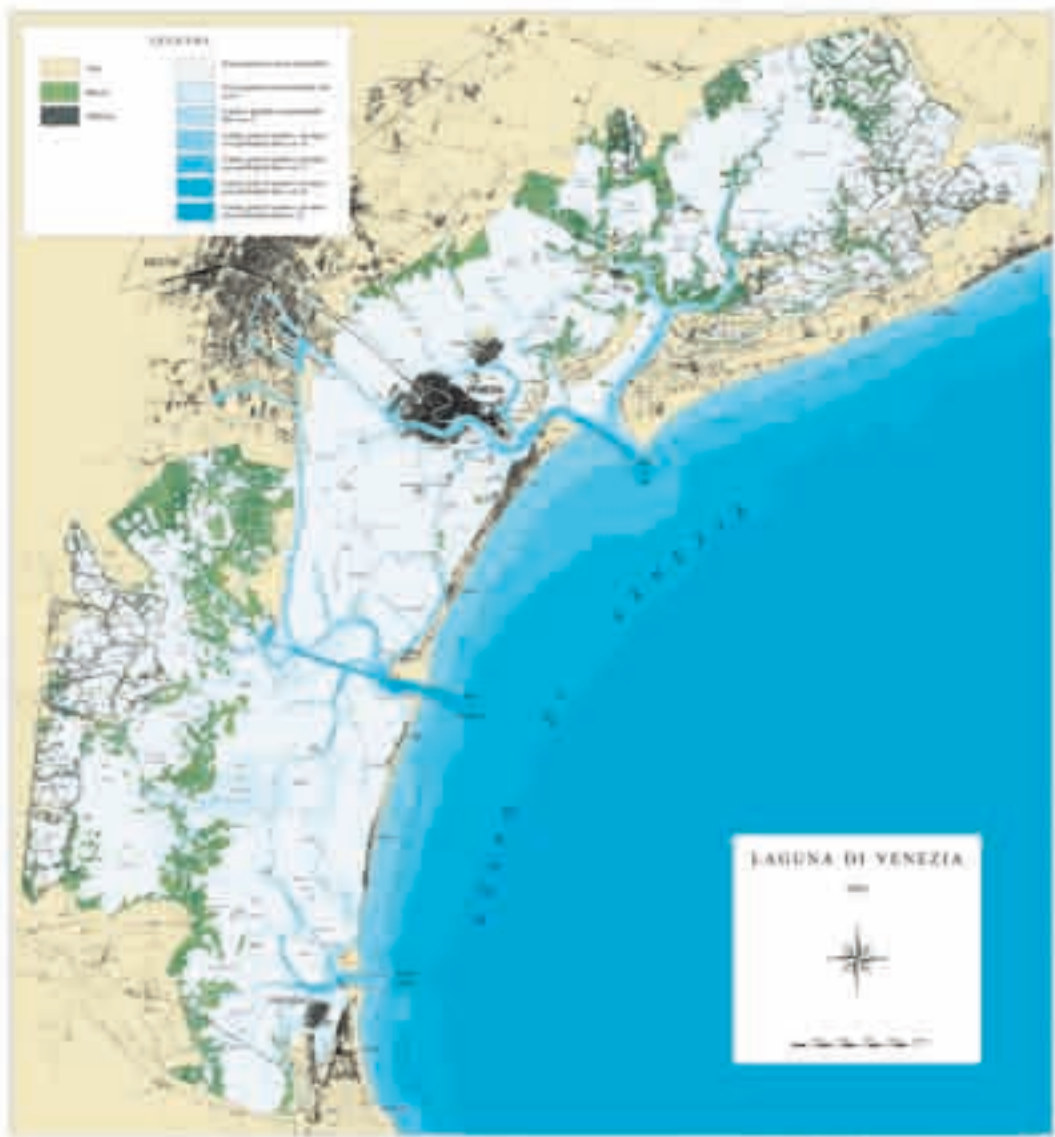


Fig. 7.5 - Carta idrografica della laguna di Venezia costruita sulla base di una elaborazione dei rilievi eseguiti per conto del Magistrato alle Acque nel 2003.

bacino lagunare nel momento dell'inizio dei lavori che dovrebbero portare le bocche di porto alla loro nuova configurazione con l'inserimento delle opere previste dal progetto per la difesa dalle «acque alte».

Nel loro insieme i rilievi citati, attraverso il reciproco confronto, sono di per se stessi in grado di evidenziare le importanti variazioni morfologiche che sono intervenute nella laguna nel corso degli ultimi due secoli, ma soprattutto permettono di analizzare, mediante una accurata modellazione matematica delle rispettive configurazioni, come si sia andato modificando nel tempo il comportamento idraulico della laguna e in quale misura gli interventi attuati dall'uomo, sovrapponendosi ai fenomeni naturali da sempre in atto nell'area veneziana, abbiano singolarmente e nel loro complesso inciso sui processi morfodinamici lagunari.

Con queste finalità il confronto tra il comportamento idraulico delle lagune del passato e quello della laguna attuale è sicuramente interessante. L'analisi, in particolare, può aiutare a comprendere non soltanto le conseguenze degli interventi che risalgono agli anni a noi più lontani, quantificandone gli effetti, ma forse anche a progettare al meglio la laguna del futuro, nonostante rispetto a quest'ultimo punto sia manifesto lo scetticismo di molti di coloro che sono impegnati, o si dicono impegnati, nella salvaguardia della laguna e considerano non importanti per le loro attività tali conoscenze, ritenendole al più puro accademismo fine a se stesso.

Il criterio utilizzato per il confronto sul comportamento idraulico delle diverse situazioni documentate dai rilievi batimetrici disponibili è unico. Esso fa riferimento principalmente ai risultati ottenuti in un lungo arco di tempo, che va dal 1968 ad oggi, dai ricercatori del Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova con l'ausilio di alcuni modelli matematici, continuamente aggiornati per renderli sempre più rispondenti alla realtà fisica del complesso sistema simulato (D'Alpaos 1992; D'Alpaos e

riodi di tempo che si interpongono tra i diversi rilievi disponibili, si deve tener conto del fatto che le carte idrografiche considerate assumono zeri di riferimento differenti. In particolare la carta del 1901 è riferita, come la carta di Dénaix, al comune marino dell'epoca. Orientativamente per riportare questa carta al corrispondente medio mare, le profondità delle zone d'acqua devono essere, pertanto, ridotte di 22÷28 cm, mentre le quote delle terre emerse e delle barene devono essere incrementate dello stesso valore. Se si considera la carta idrografica del 1932 si deve tener conto che essa è riferita allo zero mareografico di Punta della Salute (medio mare del 1897, anno centrale del periodo 1884-1909 considerato per la stima del livello medio). Per contro le carte batimetriche del 1970 e del 2003 assumono come riferimento lo zero della rete altimetrica dello Stato, che corrisponde al medio mare Genova 1942 (anno centrale del periodo 1937-1946 preso in esame per la stima del livello medio del mare). Dei citati differenti riferimenti si deve tener conto anche parlando dei livelli mareografici, che nel caso di Venezia continuano ad essere ancor oggi espressi rispetto allo zero del mareografo di Punta della Salute. Su questi ultimi aspetti, informazioni e stime puntuali sono reperibili in Battistin e Canestrelli (2006).

Defina 1993; D'Alpaos *et al.* 1995; D'Alpaos 2004; D'Alpaos e Martini 2005; D'Alpaos e Defina 2006). Si tratta di risultati completati per alcuni aspetti dai contributi di altri autori (Umgiesser 2004; Matticchio 2004), appartenenti a quella parte del mondo scientifico che si occupa di idraulica lagunare, oltre che dai dati di campo raccolti soprattutto dopo la grande alluvione del novembre 1966, quando la massima marea mai registrata in laguna colpì con esiti non ancora dimenticati la città di Venezia e il famoso «Comitatone»⁵⁰ diede inizio alle prime indagini sistematiche.

Per rendere omogeneo il confronto tra le diverse situazioni esaminate, molti risultati delle ricerche del passato sono stati rivisitati, utilizzando le versioni più aggiornate dei modelli matematici implementati, in modo da eliminare eventuali differenze insite nella diversa modellazione proposta dell'ambiente lagunare o nella diversa formulazione della soluzione numerica delle equazioni, adottata per indagare i problemi di volta in volta affrontati, che può avere qualche influenza sui risultati.

La scelta, che è opportuna se l'obiettivo è una valutazione comparativa fra le diverse configurazioni che la laguna ha assunto nel tempo, comporta inevitabilmente qualche piccola discordanza tra i risultati che saranno nel seguito illustrati e quelli che furono a suo tempo ricavati e descritti nelle diverse memorie apparse nella letteratura scientifica durante questi lunghi anni di ricerca. Si tratta in ogni caso di differenze di poco conto, che non modificano mai la sostanza delle conclusioni tratte sulla base di quei risultati, i quali conservano pertanto in pieno la loro validità, restando oltretutto in buonissimo accordo con quelli che verranno nel seguito commentati.

Esula dagli obiettivi di questo contributo entrare nel dettaglio delle soluzioni matematiche e numeriche che caratterizzano gli strumenti di calcolo ai quali si farà riferimento. Per esse si rimanda pertanto il lettore interessato alla letteratura scientifica citata e più in generale ai molti lavori scientifici apparsi in questi anni sui diversi aspetti della propagazione delle maree negli ambienti costieri, assumendo ipotesi di fondo fisso o mobile e densità del fluido omogenea o variabile.

Può essere in questa sede sufficiente limitarsi a ricordare solamente alcune caratteristiche peculiari della modellazione matematica proposta dai ricercatori dell'Università di Padova per la soluzione del problema idrodinamico, che si basa su di una soluzione numerica con il metodo

⁵⁰ Con questo appellativo si suole indicare la Commissione Interministeriale insediata dal governo italiano subito dopo la marea del 4-5 novembre 1966 per individuare le soluzioni più opportune per la difesa di Venezia e della sua laguna dalle «acque alte».

agli elementi finiti delle equazioni che governano la propagazione di un'onda di marea in ipotesi bidimensionali (D'Alpaos e Defina 1993; D'Alpaos e Defina 2006; Defina 2000), tenendo conto anche dell'eventuale azione di trascinarsi esercitata dal vento sulla superficie libera (Carniello *et al.* 2005).

La soluzione implementata è particolarmente adatta ed efficiente per l'ambiente lagunare veneziano, dove ampie superfici sono periodicamente destinate ad asciugarsi o ad allagarsi durante l'alternarsi delle fasi di marea e un potente e diffuso reticolo di canali, più o meno importanti ma dalla morfologia molto articolata, innerva le zone d'acqua e le superfici di barena, con effetti sul regime delle correnti non trascurabili, soprattutto per gli specchi d'acqua situati ai margini della laguna.

Mentre il primo problema cui si è fatto riferimento è stato risolto modificando opportunamente le equazioni del moto bidimensionale attraverso l'introduzione di un modello di sottogriglia (D'Alpaos e Defina 1993; Defina 2000), che permette fra l'altro di tener conto della non uniformità delle quote del fondo di ciascun elemento del reticolo di calcolo e delle irregolarità altimetriche che lo caratterizzano, il ruolo idraulico dei canali minori è simulato con grande dettaglio accoppiando in modo del tutto generale agli elementi bidimensionali dello schema di base una serie di elementi monodimensionali (D'Alpaos e Defina 1995) disposti in modo da seguire il tracciato dei canali che si vogliono descrivere⁵¹. Ne risulta uno schema complessivo particolarmente potente ed efficace, in grado di cogliere sia gli aspetti generali della propagazione della marea sia quelli locali, come dimostrano i numerosi riscontri effettuati in questi anni attraverso un sistematico confronto tra i valori forniti dal calcolo e quelli misurati per alcune grandezze tipiche del moto (livelli di marea, portate, velocità e così via) nelle diverse parti della laguna, non escluse quelle idraulicamente più decentrate rispetto alle bocche o quelle scher-

⁵¹ Il modello di sottogriglia cui si fa riferimento permette di tener conto «concettualmente» degli effetti esercitati sull'invaso e sulle resistenze al moto dalle irregolarità del terreno presenti in una qualsiasi maglia del reticolo di calcolo. Tali effetti sono particolarmente importanti quando il dominio di calcolo si va allagando o prosciugando. Il modello proposto offre fra l'altro il grande vantaggio di operare con griglia fissa pur in presenza di situazioni in cui il campo di moto è soggetto a importanti variazioni di estensione durante l'evolversi del fenomeno propagatorio. L'accoppiamento di elementi monodimensionali e bidimensionali nel reticolo di calcolo permette, invece, di descrivere il ruolo dei canali minori, anche dei più piccoli, nella propagazione della marea. Si tratta di un ruolo operativamente ancora proibitivo da descrivere con modelli completamente bidimensionali, date le dimensioni che sarebbero richieste per le maglie del reticolo di calcolo, ma che non è secondario nei suoi effetti, soprattutto nel superamento delle fasce di barena.

mate da ostacoli particolari, che a volte non sono ben simulate da altri modelli nel loro effettivo comportamento.

Il modello idrodinamico generale della laguna è stato da qualche anno accoppiato a un modello che descrive la generazione e la propagazione del moto ondoso eccitato dal vento (Carniello *et al.* 2005) e a uno schema di trasporto dei sedimenti (D'Alpaos e Martini 2005; Carniello *et al.* 2008), che permette di evidenziare gli effetti dell'interazione tra le correnti (generate dalla marea o dal moto ondoso) e i fondali mobili che le confinano.

Nel loro insieme i modelli implementati hanno consentito di compiere un notevole progresso nella conoscenza dei processi che governano il comportamento idrodinamico e morfodinamico della laguna di Venezia e di fornire significative indicazioni sulle cause che sono alla base di molti importanti fenomeni, compresi quelli che hanno concorso a determinare il progressivo degrado morfologico del bacino lagunare ora osservato.

Con queste premesse, ma soprattutto con l'intento di esaminare, per quanto possibile, se e in quale misura si sia modificato nel tempo il comportamento idraulico della laguna, si sono modellate matematicamente le configurazioni descritte dalla citata carta del Dénaix e dalle carte idrografiche relative ai rilievi del 1901, del 1932, del 1970 e del 2003.⁵²

In un primo momento, volgendo l'analisi soprattutto a inquadrare il comportamento generale della laguna, si sono trascurati gli effetti di interazione delle correnti con i fondali, assumendo ovunque per essi condizioni di inerodibilità, indipendentemente dalle velocità delle correnti stesse.

Per limitare i problemi legati all'accuratezza con cui sono descritte le diverse configurazioni esaminate, e quindi qualsiasi differenza legata a un eventuale minor grado di dettaglio nella descrizione geometrica dei campi di moto, i reticoli di calcolo utilizzati sono stati generati utilizzando un numero confrontabile di elementi.

In tutti gli schemi implementati, infine, accanto alle superfici interne interessate dalla propagazione delle maree, si è riprodotta un'ampia zona di mare di fronte alle bocche, in modo da non introdurre effetti apprezzabili sui risultati delle simulazioni numeriche dovuti all'eccessiva vicinanza alle bocche della frontiera esterna (lato mare) del dominio di calcolo, sulla quale sono imposte le condizioni al contorno per i livelli di marea.

⁵² La batimetria relativa a questo ultimo rilievo è stata fornita dal Magistrato alle Acque attraverso il Consorzio Venezia Nuova, suo concessionario unico per le opere in laguna.

Salvo diversa precisazione, i confronti sono stati condotti assumendo in mare, lungo la frontiera esterna, una marea sinusoidale con carattere semidiurno (periodo di 12 ore), oscillante intorno a un livello medio del mare di 0.30 m s. m. m.⁵³, dell'ampiezza (distanza tra colmo e cavo) di 1.00 m. Si tratta di una marea che, sia pure schematicamente, riproduce le condizioni tipiche delle normali maree di sizigie.⁵⁴

Nei calcoli si è assunta una distribuzione dei coefficienti di scabrezza secondo Gauckler-Strickler⁵⁵ derivante dalle più recenti operazioni di taratura del modello idrodinamico, condotte sulla configurazione attuale della laguna considerando le registrazioni mareografiche relative a una quarantina di stazioni interne, sia in condizioni di marea normale sia in caso di eventi di «acqua alta», alcuni dei quali fortemente perturbati dal vento. Il criterio generale utilizzato lega il valore del coefficiente di scabrezza alle diverse forme lagunari (canali, bassi-fondi, velme e barene) e porta per la laguna attuale alla distribuzione di valori illustrata a scala di colori nella Fig. 7.6. In prima approssimazione, in mancanza delle necessarie registrazioni mareografiche per le lagune del passato, si sono mantenuti per tutte le configurazioni considerate per il bacino lagunare i valori del coefficiente di scabrezza relativi allo stato attuale.

Nell'analisi comparativa sviluppata si è ritenuto fosse utile partire dalla situazione della laguna nei primi anni dell'Ottocento. Di tale laguna (Fig.7.1) le carte di Dénaix forniscono, tuttavia, i fondali solo in corrispondenza delle bocche e lungo i canali in allora interessati dalla

⁵³ Nelle simulazioni condotte con i modelli matematici per ciascuna configurazione il riferimento altimetrico è posto al livello medio del mare relativo all'epoca alla quale risale il rilievo di volta in volta considerato. È su tale livello quindi che si propaga la marea di riferimento assunta. Per la situazione attuale lo zero dei rilievi è il medio mare Genova 1942. Il colmo della marea considerata pari a 0.80 m s.m.m., rispetto al mareografo di Punta della Salute, è perciò di circa 1.05 m, quasi al limite degli eventi che potranno ancora propagarsi in laguna nel futuro senza che intervengano le barriere mobili alle bocche per separarla dal mare.

⁵⁴ Durante le maree di sizigie (o sigizie) la congiunzione tra il sole e la luna rispetto alla terra produce il massimo effetto astronomico sull'oscillazione dei livelli. Tale effetto, invece, è minimo in condizioni di quadratura, quando i due corpi celesti si dispongono con longitudine celeste che differisce di 90°. Poiché a un periodo di sizigie si alterna un periodo di quadratura, per le maree nell'arco di un mese si hanno mediamente due fasi di sizigie e due fasi di quadratura.

⁵⁵ Dal coefficiente di scabrezza dipendono le dissipazioni di energia che le correnti di marea incontrano nella loro propagazione. Nelle applicazioni il significato di tale coefficiente è «concettualizzato» rispetto alla sua formulazione originale, in modo da tener conto non soltanto delle dissipazioni di energia determinate dalla rugosità di parete ma anche dei fenomeni dissipativi dovuti alla presenza di eventuali forme di fondo e agli effetti, sempre in termini di resistenza al moto, legati a rapide variazioni della geometria del campo di moto stesso.

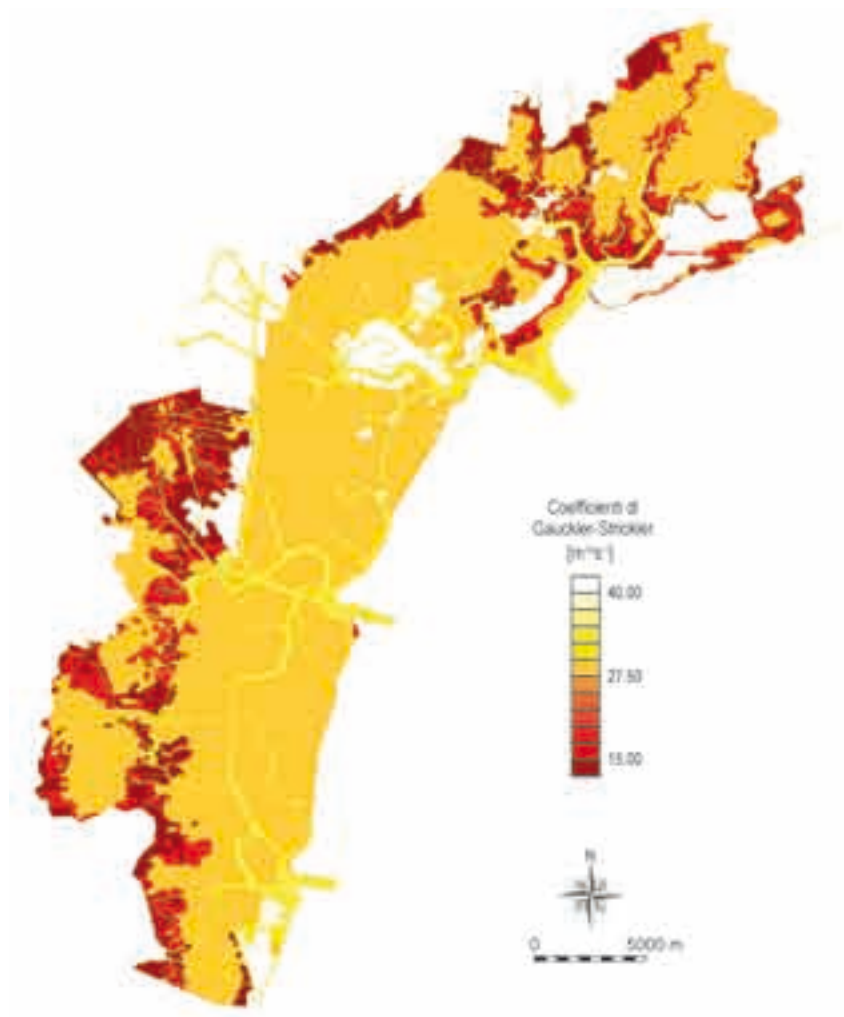


Fig. 7.6 - Distribuzione dei coefficienti di scabrezza Gauckler-Strickler adottata nel modello matematico che descrive la configurazione attuale (2003) della laguna di Venezia.

navigazione, che furono i soli a essere rilevati. Nessuna indicazione, invece, è riportata per le profondità delle zone d'acqua e per le quote delle superfici occupate dalle barene.

È comunque interessante ricordare al riguardo un commento riportato da Dénaix stesso a margine della propria carta (Magrini 1934), nel quale si afferma che: «sul finire del riflusso della marea, ampie velme

ch'erano occulte sopravvanzando di poche dita il livello della bassa marea porgono all'occhio un terzo spettacolo d'immensi terreni di limo palustre dai quali con rincrescimento si vedono divise tutte le parti tributarie dell'industria, e barene, lidi, canali, bassifondi e porti marittimi».

Testimonianza che evidenzia come, nonostante fossero passati quasi tre secoli dall'estromissione del Brenta dalla laguna, i fondali delle zone d'acqua avessero conservato profondità modeste, valutabili mediamente in non più di una cinquantina di cm, forse non molto dissimili per la «laguna viva» da quelle esistenti all'epoca dell'allontanamento del fiume. Si trattava in ogni caso di fondali poco profondi, scoperti per la loro quasi totalità durante le normali basse maree.

Condizione evidentemente molto diversa da quella che oggi si riscontra per questi ambiti lagunari, che non sono mai lasciati dalle acque nemmeno in occasione delle basse maree eccezionali, le quali abitualmente si verificano verso la fine dell'inverno. Prova inequivocabile inoltre del fatto che rispetto ai primi anni dell'Ottocento molte parti della laguna sono state interessate da un generalizzato approfondimento dei fondali, non spiegabile, per i valori che lo caratterizzano, in termini di sola sommersione (subsidenza più eustatismo).

Al fine di colmare la lacuna conoscitiva riguardante le parti in acqua non quotate nelle carte di Dénaix, si è ritenuto potesse essere egualmente significativo per le finalità delle indagini procedere attribuendo loro le quote ottenibili partendo dalla carta idrografica del 1901, computando gli effetti congiunti della subsidenza e dell'eustatismo, assunti in prima approssimazione pari complessivamente a 1.5 mm/anno. Alle superfici di barena, invece, si è attribuita una quota costante di 30 cm sul medio mare, poiché nel caso di lente evoluzioni queste forme tendono generalmente a seguire le variazioni di livello del medio mare stesso, conservando le loro quote relative rispetto a tale riferimento.

Ne è risultata la batimetria a scala di colori rappresentata in Fig. 7.7, assieme al reticolo di calcolo nel modello matematico implementato, costituito da ~81.000 elementi bidimensionali integrati con ~2.700 elementi-canale di tipo monodimensionale.

Emergono alcune importanti differenze morfologiche rispetto alla laguna attuale, il cui reticolo di calcolo (formato da ~98.000 elementi bidimensionali) e la cui batimetria, sempre a scala di colori, sono illustrati nella Fig. 7.8.

La laguna ottocentesca, come risulta anche dalla rappresentazione schematica proposta, presentava un'estensione delle superfici complessive soggette alla libera espansione della marea decisamente superiore a quella attuale. Erano, in particolare, ancora attive nel bacino di Chioggia

le superfici impaludate dal Brenta (~24 km²) a seguito della ricordata reintroduzione del fiume nella seconda metà dell'Ottocento e poi bonificate, oltre a quelle imbonite in anni più recenti principalmente per accogliere le casse di colmata della Zona Industriale di Porto Marghera, da una parte, l'isola del Tronchetto e l'aeroporto Marco Polo, dall'altra.

Sempre nei primi anni dell'Ottocento, ai margini della laguna solo alcune delle valli da pesca in esercizio erano arginate con strutture in terra lungo tutto il loro perimetro (De Bernardi 1844). La maggior parte era confinata a laguna mediante graticci di arelle (le già ricordate grisiole). Queste strutture di perimetrazione erano permeabili al flusso delle correnti di marea, che, pur incontrando resistenze idrauliche di un qualche rilievo nel loro superamento, si potevano espandere negli specchi d'acqua retrostanti. Graticci di arelle presidiavano egualmente i varchi di comunicazione con la laguna delle valli arginate, formando strutture tipiche per la vallicoltura veneta: le cosiddette «cogolere». Nemmeno le valli arginate erano, pertanto, totalmente intercluse alla marea, essendo i loro varchi di comunicazione con la laguna, ancorché ridotti, comunque controllati da strutture che consentivano alle maree stesse di espandersi negli specchi d'acqua retrostanti.

In tutta la laguna fasce molto estese e potenti di barena si interponevano tra la laguna viva e il limite della conterminazione, racchiudendo gli specchi d'acqua, a loro volta piuttosto estesi, della laguna morta, alimentati attraverso un minuto ma diffuso reticolo di canali minori, accuratamente descritto nella modellazione matematica mediante gli elementi-canale monodimensionali.

Non meno rilevante per i suoi effetti sulla propagazione della marea era la configurazione morfologica delle bocche, molto ampie in larghezza, ma apprezzabilmente meno profonde di quelle attuali. Così poco profonde da non consentire più, a partire dalla fine del XVII secolo, l'accesso diretto al porto di Venezia delle navi di maggior stazza entrando in laguna dal porto di S. Nicolò.

È di un qualche interesse esaminare per questa configurazione della laguna, così diversa da quella attuale, alcuni degli aspetti idrodinamici più significativi della propagazione della marea, in grado di descrivere le caratteristiche generali e locali del fenomeno.

Relativamente ai livelli, quantomeno per la marea di riferimento assunta, le simulazioni evidenziano apprezzabili riduzioni dei colmi passando dal mare all'interno della laguna. I livelli massimi di marea si presentano ovunque fortemente attenuati rispetto al mare (Fig. 7.9) e sensibilmente sfasati in ritardo.

Ai limiti della laguna viva i colmi di marea sono quasi ovunque

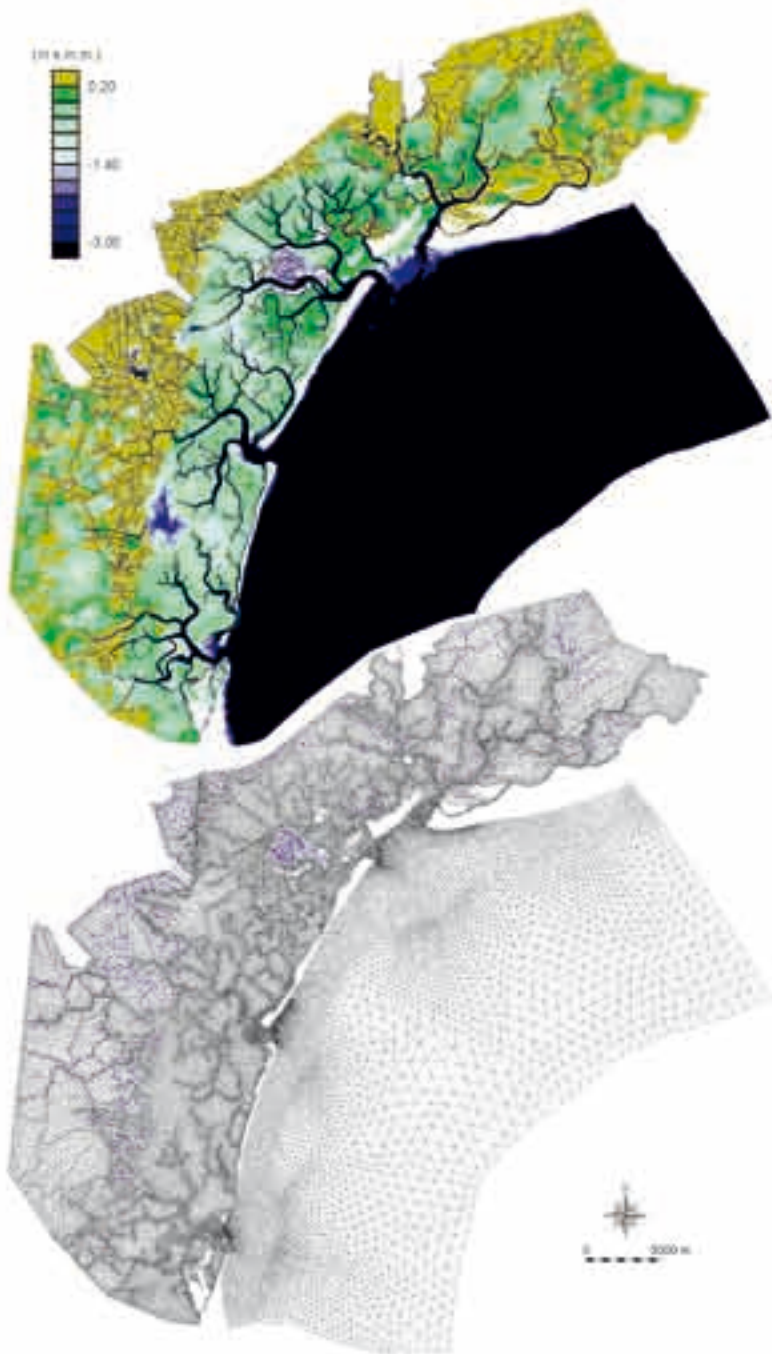


Fig. 7.7 - Batimetria a scala di colori e reticolo di calcolo implementato nel modello matematico che simula la laguna di Venezia nella configurazione esistente al tempo di Dénaix (1810).

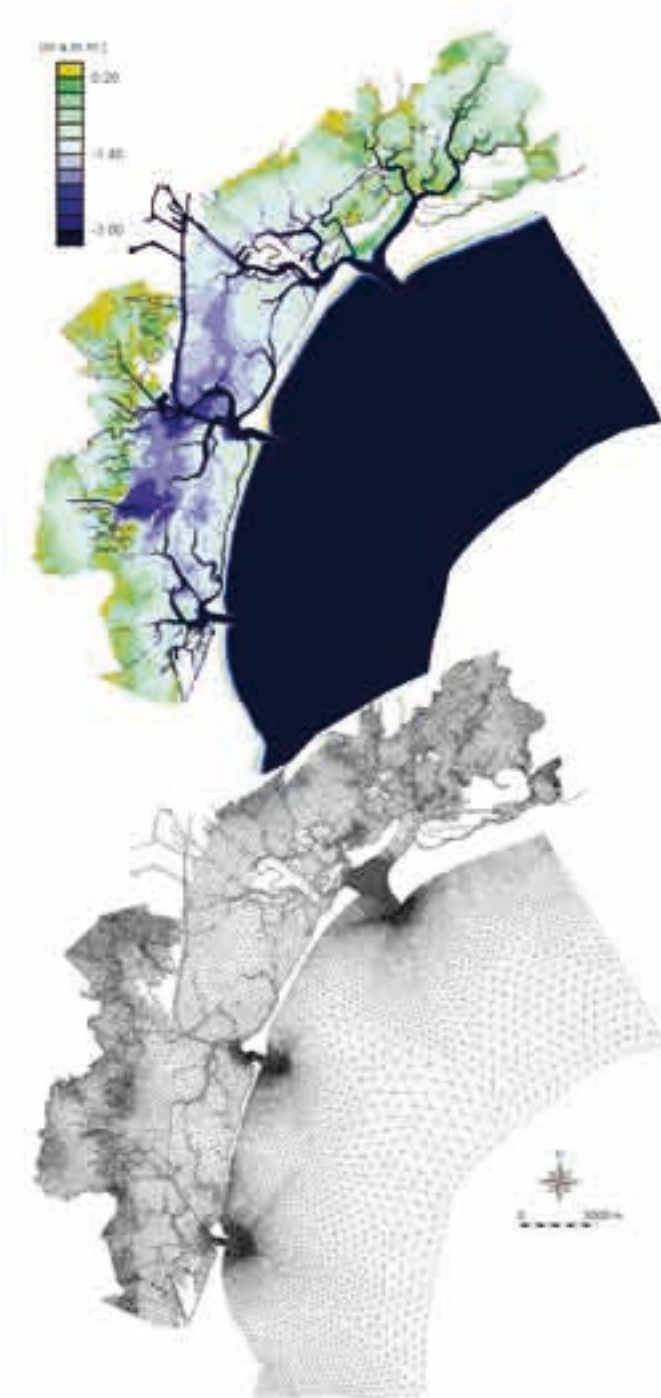


Fig. 7.8 - Batimetria a scala di colori e reticolo di calcolo implementato nel modello matematico che simula la laguna di Venezia nella sua configurazione attuale (2003).



Fig. 7.9 - Laguna al tempo di Dénaix. Involuppo dei livelli massimi interni per la marea di riferimento assunta.

ridotti nella misura del 20% circa (poco meno di una quindicina di centimetri in valore assoluto rispetto al colmo in mare). L'attenuazione si incrementa addirittura a 25 cm se, superata la prima fascia di barene che separa la laguna viva dalla laguna morta, ci si inoltra nelle zone idraulicamente più lontane dalle bocche, dove si affacciano le valli da pesca. Si tratta di una condizione molto diversa da quella attuale, che si caratterizza per sfasamenti dei colmi alquanto inferiori e per livelli massimi quasi ovunque molto vicini a quelli del mare, fatta eccezione per la laguna superiore (Fig. 7.10).



Fig. 7.10 - Laguna attuale. Inviluppo dei livelli massimi interni per la marea di riferimento assunta.

Alla luce di questi risultati è significativo valutare in termini comparativi come evolve l'onda di marea propagandosi lungo la direttrice del centro storico nelle due configurazioni considerate.

Attualmente i colmi di marea penetrando dal mare e dirigendosi verso Punta della Salute, prima, e Porto Marghera, poi, tendono a esaltarsi (Fig. 7.11). L'incremento è di poco inferiore ai 2 cm a Punta della Salute ed è di quasi 4 cm a Porto Marghera. Si tratta di un effetto ben documentato sia dal calcolo sia dalle numerose registrazioni mareografiche disponibili per le maree di sizigie, che per periodo e

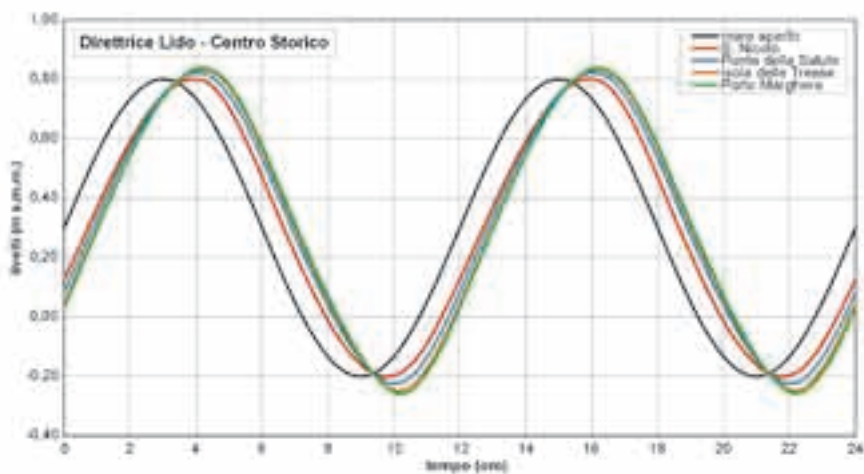


Fig. 7.11 - Laguna attuale. Direttrice del centro storico. Andamento dei livelli in alcune località comprese tra S. Nicolò e Marghera per la marea di riferimento assunta.

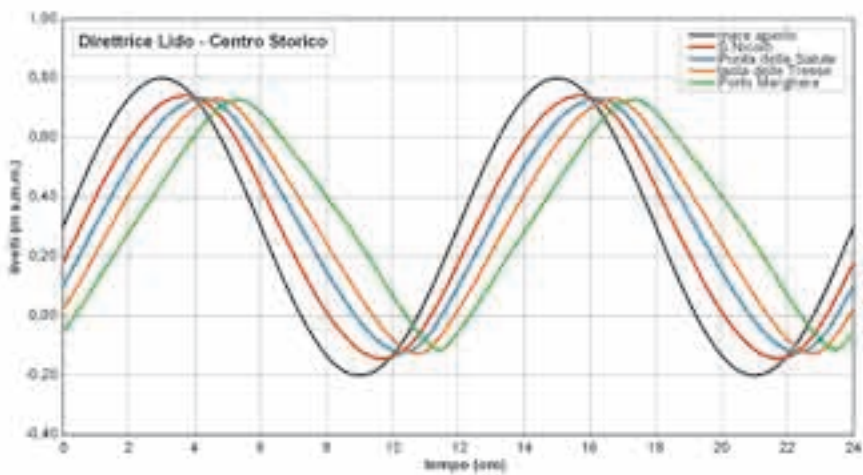


Fig. 7.12 - Laguna al tempo di Dénaix. Direttrice del centro storico. Andamento dei livelli in alcune località comprese tra S. Nicolò e Marghera per la marea di riferimento assunta.

ampiezza di oscillazione sostanzialmente si avvicinano alla marea schematica considerata.

Per la laguna al tempo di Dénaix le simulazioni numeriche evidenziano un comportamento diverso. Passando dal mare all'interno della laguna e giungendo, superata Punta della Salute, ai limiti della conterminazione lagunare dove sarebbe poi sorta l'area industriale di Porto Marghera, si riscontrano ovunque apprezzabili attenuazioni dei colmi di marea (Fig. 7.12). A Punta della Salute, in particolare, la riduzione del colmo per l'evento considerato è di circa 8 cm rispetto al mare e di circa 10 cm se si fa riferimento alla condizione attuale. La riduzione dei colmi si incrementa di poco se ci si porta, sempre lungo questa direttrice, ai limiti del bacino lagunare.

Se ne conclude che nella laguna ottocentesca il fenomeno della propagazione della marea era dominato dalle forze dissipative, legate alle resistenze al moto incontrate dalle correnti nel penetrare ai margini della conterminazione, nettamente preponderanti nei loro effetti sulle forze inerziali. Di questi caratteri la laguna attuale conserva ben poco, registrandosi quasi ovunque la netta prevalenza dei fenomeni inerziali, che tendono ad amplificare i colmi nella loro propagazione, più che compensando gli effetti di riduzione dovuti alle resistenze al moto.

Fanno eccezione, come si è detto, le direttrici percorse dalla marea per portarsi nella laguna superiore, dove ancor oggi i colmi, propagandosi, tendono a ridurre i loro livelli massimi (Fig. 7.13), sia pure in misura meno pronunciata di quanto non avvenga per la laguna al tempo di Dénaix (Fig. 7.14).

Per la laguna ottocentesca è egualmente consistente l'effetto sui colmi determinato dalle resistenze al moto nel solo superamento delle bocche. Nel caso degli antichi tre porti che alimentano la laguna settentrionale, in particolare, l'attenuazione dei livelli massimi davanti a S. Nicolò, appena passati dal mare alla laguna, è già di 6 cm circa (Fig. 7.12).

I porti di quella laguna, quindi, si comportavano in modo ben diverso da quello delle bocche attuali, offrendo maggiori resistenze complessive al moto delle correnti nel loro superamento, come conseguenza soprattutto della presenza di fondali poco profondi.

Si tratta di un risultato in contrasto con quanto espresso dal Co.Ri.La. nella documentazione presentata in alcuni incontri tenutisi presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri nel novembre 2006⁵⁶. Ma su que-

⁵⁶ Nel documento del Co.Ri.La. *Valutazioni sulla documentazione presentata dal Comune di Venezia alla Presidenza del Consiglio dei Ministri in merito agli interventi per la salvaguardia di*

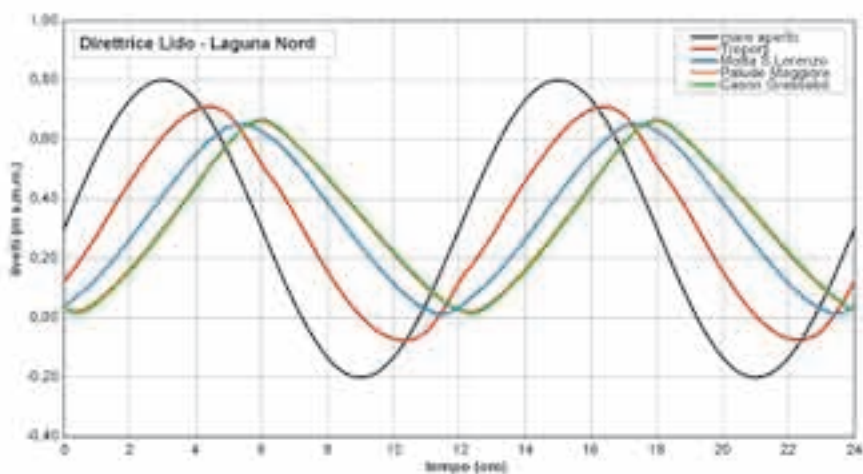


Fig. 7.13 - Laguna attuale. Andamento dei livelli in alcune località della laguna superiore appartenenti alla direttrice Treporti-Valle Grassabò per la marea di riferimento assunta.

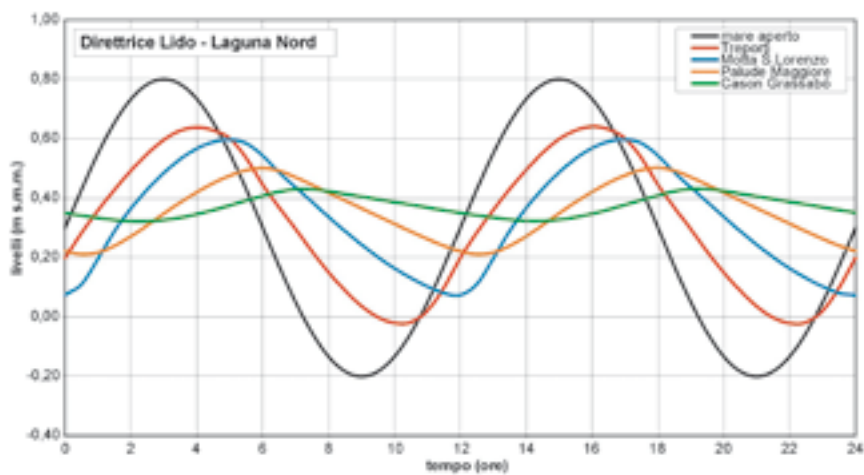
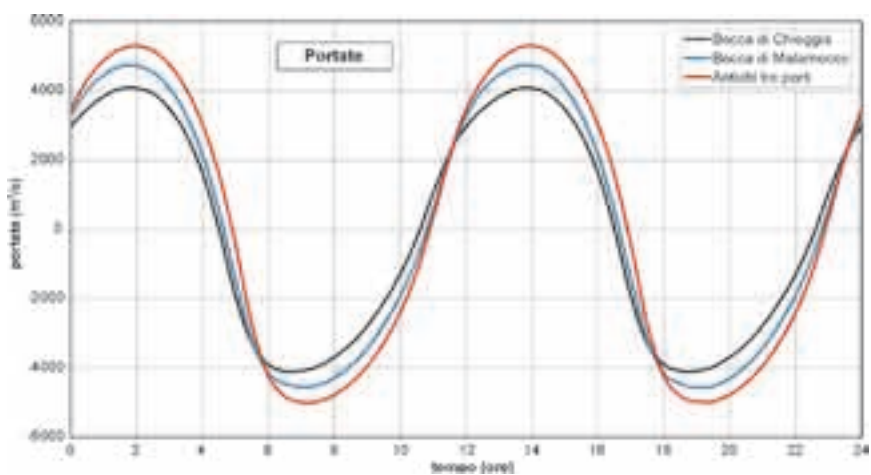
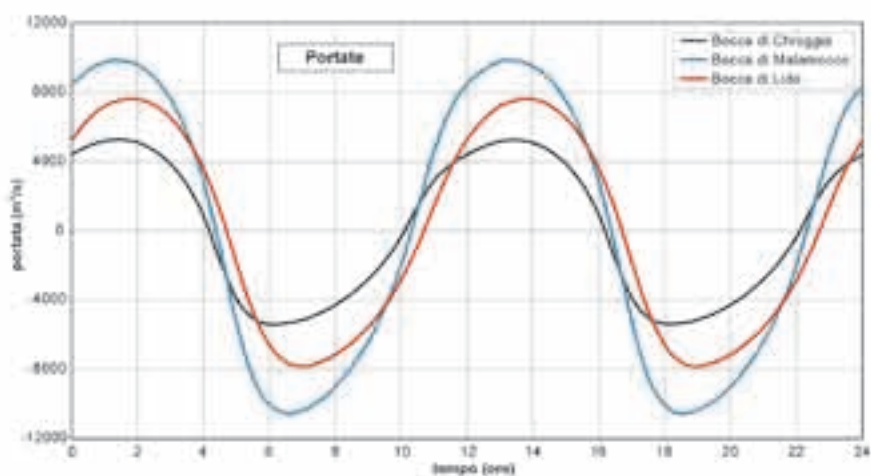


Fig. 7.14 - Laguna al tempo di Dénaix. Andamento dei livelli in alcune località della laguna superiore appartenenti alla direttrice Treporti-Valle Grassabò per la marea di riferimento assunta.



sto punto specifico si ritornerà più diffusamente nel seguito, parlando degli effetti idraulici dovuti alla riconfigurazione delle bocche proposta dal progetto definitivo per la difesa di Venezia dalle «acque alte».

Emergerà tra l'altro dall'analisi che sarà svolta come, in assenza di un significativo ed effettivo controllo da parte degli organismi deputati, l'interpretazione di prescrizioni⁵⁷, che dovrebbero essere stringenti e vincolanti per il progettista, possa essere distorta al punto da snaturarne il significato.

Sempre con riferimento ai livelli di marea nella laguna morta, è interessante segnalare che il calcolo sembra dare supporto a un commento di Antonio De Bernardi, riportato nella sua preziosa e circostanziata ricognizione sullo stato delle valli da pesca (De Bernardi 1844). Egli rilevava, infatti, una generale difficoltà di alimentazione per molte delle valli da pesca censite, sia attraverso i canali che le innervavano sia superando le parti di perimetro formate con graticci di arelle che le delimitavano a laguna. In concreto per quei tempi la segnalazione di De Bernardi indicava al limite delle valli modeste escursioni dei livelli di marea e altrettanto modesti gradienti con una conseguente ridotta attività delle correnti indotte, associata a difficoltà di ricambio delle acque quantomeno per gli aspetti che sono più direttamente riconducibili ai fenomeni convettivi della propagazione della marea stessa.

Si tratta di una condizione confermata dai risultati della modellazione numerica condotta sulla laguna al tempo di Dénaix. Per l'evento assunto a riferimento, si registra un vero e proprio abbattimento dell'ampiezza dell'onda di marea nel superamento della prima fascia di barene che si interpone tra la laguna viva e la laguna morta, sulla quale si affacciano le valli da pesca.

Questa difficoltà di alimentazione delle valli, marginate o meno che

Venezia e della sua laguna in data 30 settembre 2006 al punto 4.2 è scritto: «La vecchia laguna descritta dal Dénaix non era tanto caratterizzata da bocche di porto a maggiore resistenza idraulica, quanto piuttosto da una morfologia completamente diversa» (da quella attuale). Affermazione quantomeno singolare da parte di un organismo di ricerca, sostenuta forse da sensazioni personali di qualche esperto, ma non supportata da nessun tipo di calcolo e in netta contraddizione con quanto risulta dalla modellazione matematica proposta proprio per quella laguna, e non solo.

⁵⁷ Si intende far riferimento al provvedimento del Consiglio dei Ministri del governo Amato in data 15 marzo 2001 nel quale, relativamente alla riconfigurazione delle bocche di porto da attuare, si prescriveva: «procedere [...] ad un ulteriore stadio progettuale degli interventi necessari per aumentare le capacità dissipative alle bocche di porto, tendendo al ripristino delle condizioni esistenti prima della costruzione dei moli e dei canali di navigazione» ovvero a un comportamento non dissimile da quello della laguna al tempo di Dénaix, per chiunque voglia interpretare senza fantasiosi voli della mente lo spirito e la lettera del documento.

fossero con argini impermeabili rispetto alle restanti parti della laguna, si è mantenuta nel tempo nei cento anni successivi, se le stesse problematiche rilevate da De Bernardi sono sostanzialmente segnalate con identici accenti in un documento del Magistrato alle Acque del 1943 rivolto alla definitiva (si fa per dire) soluzione del complesso problema delle valli da pesca (Magistrato alle Acque 1943).

Nel documento in questione si esaminano gli interventi proposti dai «proprietari delle valli» da pesca per migliorare il regime delle correnti di marea negli specchi d'acqua situati di fronte alle valli stesse e si illustra un tentativo di conciliare la presenza di queste realtà storiche della laguna veneta con la necessità di preservarne la funzionalità idraulica complessiva, ma soprattutto di garantire la qualità ambientale delle zone poste ai suoi margini, afflitte da concrete difficoltà di ricambio delle acque. Poiché a distanza di quasi un secolo dalla ricognizione di De Bernardi nelle parti idraulicamente più decentrate della laguna il regime delle correnti non sembra essere di molto cambiato, se ne dovrebbe concludere, sia pure indirettamente, che nemmeno i processi morfodinamici attivi nella laguna morta, condizionanti la sua morfologia, dovrebbero essersi apprezzabilmente modificati nello stesso, non breve, periodo di tempo, concorrendo a conservarne i caratteri originali.

A ben altra conclusione si perviene, invece, se si esaminano gli effetti di quanto è accaduto nei decenni successivi, dopo la conclusione della Seconda Grande Guerra e fino ai giorni nostri. Sono del tutto evidenti, anche dal semplice confronto cartografico (Fig. 7.1 e Fig. 7.5), i radicali mutamenti morfologici intervenuti nel periodo di tempo considerato in tutto il bacino lagunare, non ultimi quelli a carico delle superfici d'acqua e di barena situate in prossimità delle valli da pesca.

Restando ancora alla laguna all'epoca di Dénaix, come ovvia conseguenza del diverso andamento dei livelli di marea, si rilevano rispetto alla laguna attuale importanti variazioni anche per le portate e per i volumi d'acqua scambiati con il mare attraverso le bocche (Fig. 7.15-7.16).

Per la marea di riferimento assunta, i risultati ottenuti si riflettono su alcuni consolidati, ma non giustificati, luoghi comuni. Nel complesso le portate massime e i volumi scambiati dalla laguna ottocentesca con il mare sono sensibilmente più ridotti di quelli attuali. Le maggiori differenze sono segnalate per la bocca di Malamocco, le cui portate massime sono sensibilmente incrementate rispetto a quelle della laguna dei primi anni del XIX secolo, sia in fase di flusso sia in fase di riflusso. Per la fase di flusso si passa, infatti, dai quasi 4800 m³/s della laguna al tempo di Dénaix ai circa 10000 m³/s della laguna attuale. Durante la fase di riflus-

so, invece, la portata massima si incrementa da circa 4600 m³/s a oltre 10600 m³/s, rispettivamente per le due configurazioni.

È questo un risultato che solleva qualche perplessità nei riguardi di talune posizioni del progettista delle opere alle bocche nel merito dell'impossibilità di ridurre apprezzabilmente le portate scambiate tra mare e laguna. In realtà scambi di portata sensibilmente inferiori a quelli attuali avvenivano in un passato nemmeno troppo lontano, senza produrre sofferenze particolari sul regime idraulico della laguna. Tanto più una tale riduzione sembra accettabile se si considera che la portata massima e i volumi scambiati con il mare da una laguna, pur essendo solo indici del suo comportamento idraulico complessivo, sono parametri indirettamente rappresentativi anche dei fenomeni e dei processi che le correnti di marea sono in grado di alimentare al suo interno.

Incrementata di circa 2300 m³/s è la portata massima scambiata durante la fase di flusso attraverso l'attuale bocca di Lido (7600 m³/s) rispetto a quella complessiva dei tre porti ottocenteschi (5300 m³/s). Variazioni in aumento di circa 1900 m³/s si verificano in questo caso per la portata massima della fase di riflusso, che passa dai 5000 m³/s (Dénaix) ai 7900 m³/s (attuale).

Un comportamento non dissimile è segnalato, infine, per la bocca di Chioggia, con una portata massima in fase di flusso che è in aumento di circa 1100 m³/s, passando da 4100 m³/s (Dénaix) a 5200 m³/s circa (attuale). Variazioni più importanti si riscontrano durante la fase di riflusso con incrementi della portata massima scambiata di circa 1400 m³/s, confrontando la condizione del tempo di Dénaix (4100 m³/s) con quella dello stato attuale (5500 m³/s)⁵⁸.

I risultati sinteticamente illustrati meritano un breve commento, essendo quello dei volumi scambiati dal mare con la laguna uno dei parametri più frequentemente invocati a sostegno delle scelte operate nel dibattito sui provvedimenti per la difesa di Venezia dalle «acque alte».

Emerge in modo incontrovertibile dall'analisi comparativa condotta che la laguna ottocentesca si caratterizzava dal punto di vista idraulico per una generale, accentuata, minore vivacità delle correnti di marea al suo interno. Verosimilmente, dopo l'estromissione dei fiumi, le lagu-

⁵⁸ Questi valori, pur restando immutate le conclusioni sull'attuale abnorme incremento delle superfici dominate dalla bocca di Malamocco a scapito dei bacini di Lido e di Chioggia, sono leggermente diversi da quelli illustrati in D'Alpaos (2003-04), che, sempre utilizzando un modello bidimensionale, erano però stati ottenuti con una differente formulazione numerica dei termini convettivi delle equazioni del moto e con un diverso criterio di individuazione dei coefficienti di scabrezza dei fondali nell'intorno delle bocche.

ne di un passato più lontano, che non conosciamo nel loro dettaglio morfologico e per le quali non sono pertanto possibili analoghe verifiche, non dovevano assumere comportamenti idraulici molto diversi da quelli evidenziati.

Si trattava sicuramente di lagune nelle quali la propagazione dell'onda di marea era nettamente dominata dalle dissipazioni di energia ed era poco influenzata dai fenomeni inerziali. Ciononostante le lagune storiche, fatta eccezione per i problemi legati alla navigabilità e ai fondali dei porti, sui quali peraltro influivano in misura rilevante gli stati di mare di fronte alle bocche, si sono mantenute in condizioni ambientali più che accettabili, nonostante scambiassero con il mare volumi d'acqua relativamente ridotti. Esse sono state capaci, in particolare, di conservare sia la potente rete di canali che le innervavano sia alcune forme morfologiche caratteristiche, che nella laguna contemporanea si vanno, invece, inesorabilmente perdendo, modificandone radicalmente l'ambiente.

Alla luce di queste considerazioni e con riferimento al momento attuale a ragione ci si può chiedere quale fondamento abbia una delle ipotesi cardine, costantemente invocata e ritenuta irrinunciabile, che è posta alla base del progetto per la difesa dalle «acque alte» in corso di realizzazione, tendente a conservare per la laguna l'attuale regime idraulico, ritenuto evidentemente «ideale». Si tratta, è bene ribadirlo, di un'ipotesi che assieme a quella della difesa della portualità ha condizionato pesantemente l'ampiezza dei varchi destinati ad accogliere gli organi mobili di chiusura delle bocche, togliendo, senza motivo, flessibilità alle soluzioni proponibili.

Il non poter ridurre i volumi d'acqua scambiati con il mare, più che una necessità tecnica comprovata, sembra perciò essere una posizione dogmatica, assunta aprioristicamente, non essendo sostenuta da nessuna significativa indagine di supporto. Tali non possono essere considerate quelle basate, come si è fatto, sulla stima di un parametro, il cosiddetto «tempo di residenza delle acque». Questo tempo, oltre a non essere univocamente definibile, non tiene conto del ruolo fondamentale esercitato sul ricambio delle acque dai fenomeni di dispersione e dalla circolazione secondaria indotta dal vento, soprattutto nelle zone idraulicamente più decentrate rispetto alle bocche, dove i termini convettivi del moto diventano meno importanti. Ma senza arrivare a tanto implementando un modello dispersivo in grado di considerare gli effetti del vento, poteva essere sufficiente una più attenta analisi del comportamento idrodinamico della laguna attuale e della laguna nelle sue configurazioni del passato, analoga a quella qui proposta. Si sarebbe potuto così comprendere che non sono i volumi complessivi scambiati con il mare a determinare un



Fig. 7.17 - Confronto tra la configurazione planimetrica della bocca di Lido nella condizione attuale e in quella esistente al tempo di Déniax.



Fig. 7.18 - Confronto tra la configurazione planimetrica della bocca di Malamocco nella condizione attuale e in quella esistente al tempo di Déniax.



Fig. 7.19 - Confronto tra la configurazione planimetrica della bocca di Chioggia nella condizione attuale e in quella esistente al tempo di Dénaix.

accettabile ricambio delle acque di una laguna, quanto piuttosto le modalità con cui tali volumi si distribuiscono e si disperdono al suo interno, in particolare nelle zone idraulicamente più lontane dalle bocche.

È d'altra parte sconcertante che, a sostegno della scelta del progettista delle opere alle bocche già avviate, possa essere invocato il parere, quantomeno curioso in termini scientifici, espresso dai tecnici regionali nei ricordati incontri del novembre 2006 presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri. Essi ritengono improponibile ridurre i volumi complessivi di scambio mare-laguna rispetto ai valori attuali per i riflessi negativi che il provvedimento avrebbe sui programmi di disinquinamento in essere. Una posizione che sembra voler codificare una pratica sicuramente originale, ma deviante nell'ambito di una seria e motivata politica di disinquinamento. Risolvere cioè il problema dell'inquinamento di un corpo idrico (la laguna in questo caso) agendo

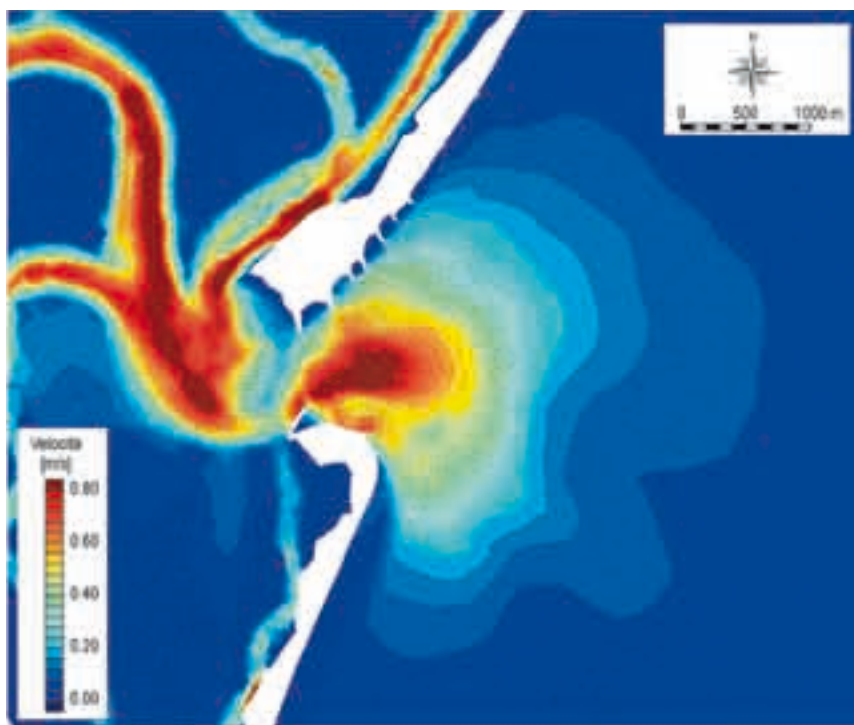


Fig. 7.20 - Laguna al tempo di DénaiX. Distribuzione istantanea delle velocità alla bocca di Malamocco nella fase di massimo riflusso della marea di riferimento considerata.

non tanto sulle cause che lo producono⁵⁹, perseguendo eventualmente coloro che inquinano, quanto piuttosto ponendo rimedio agli effetti negativi del fenomeno mediante una riduzione della concentrazione per diluizione nel corpo idrico ricettore delle sostanze giudicate nocive per l'ambiente.

Prevalendo un tale indirizzo, è immediato domandarsi se si possa ancora considerare come centrale la questione della salvaguardia lagunare o non diventino preminenti, coscientemente o incoscientemente,

⁵⁹ Posti sotto controllo gli scarichi dalla Zona Industriale di Porto Marghera, che nel passato hanno indubbiamente causato danni di sicuro impatto per le acque della laguna e per i suoi sedimenti, oggi sono soprattutto gli inquinanti di origine civile, industriale e agricola introdotti dalla rete idrografica del bacino scolante che dovrebbero essere rigorosamente limitati, sanzionando i trasgressori.

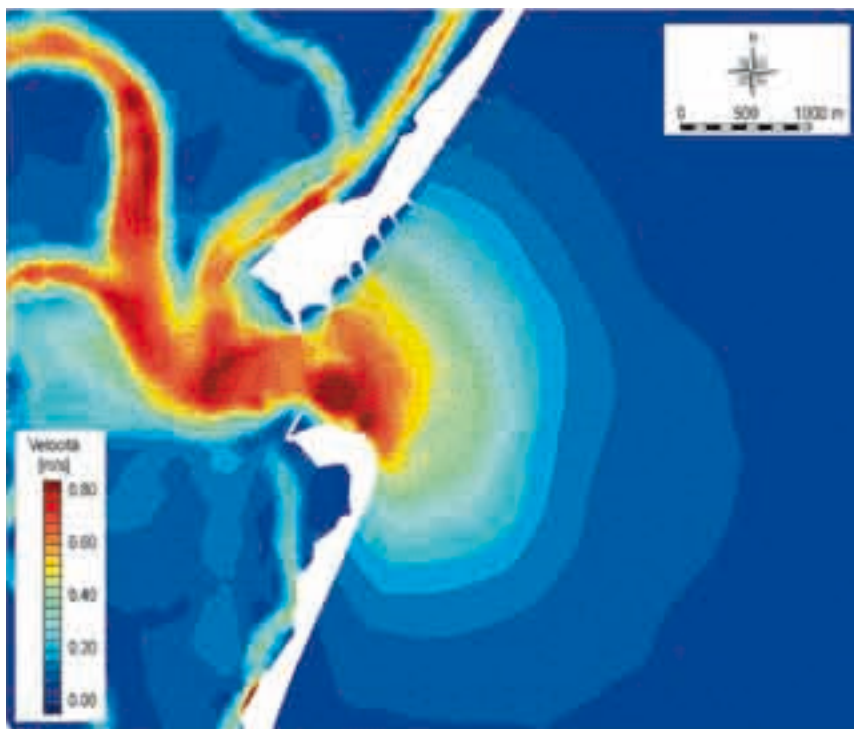


Fig. 7.21 - Laguna al tempo di Dénaix. Distribuzione istantanea delle velocità alla bocca di Malamocco nella fase di massimo flusso della marea di riferimento considerata.

gli interessi molteplici e diffusi di coloro che, avendo vissuto e vivendo a spese del territorio che forma il bacino scolante della laguna, mal sopportano di dover rispettare le più elementari e codificate regole di difesa contro l'inquinamento.

Un ultimo aspetto di carattere idrodinamico rilevante che emerge dal confronto tra il comportamento idraulico della laguna attuale e quello della laguna al tempo di Dénaix, sul quale si ritornerà in maniera più approfondita parlando delle cause che sono all'origine dell'odierno degrado morfologico del bacino lagunare, riguarda la distribuzione delle correnti di marea in prossimità delle bocche, la cui configurazione è stata radicalmente modificata dall'inserimento dei moli (Fig. 7.17-7.19).

Si è già ricordato che al tempo del rilievo di Dénaix l'assetto dei fondali era caratterizzato dalla presenza in mare di fronte alle bocche di una importante barra di foce. I canali dei porti lagunari, procedendo dalla

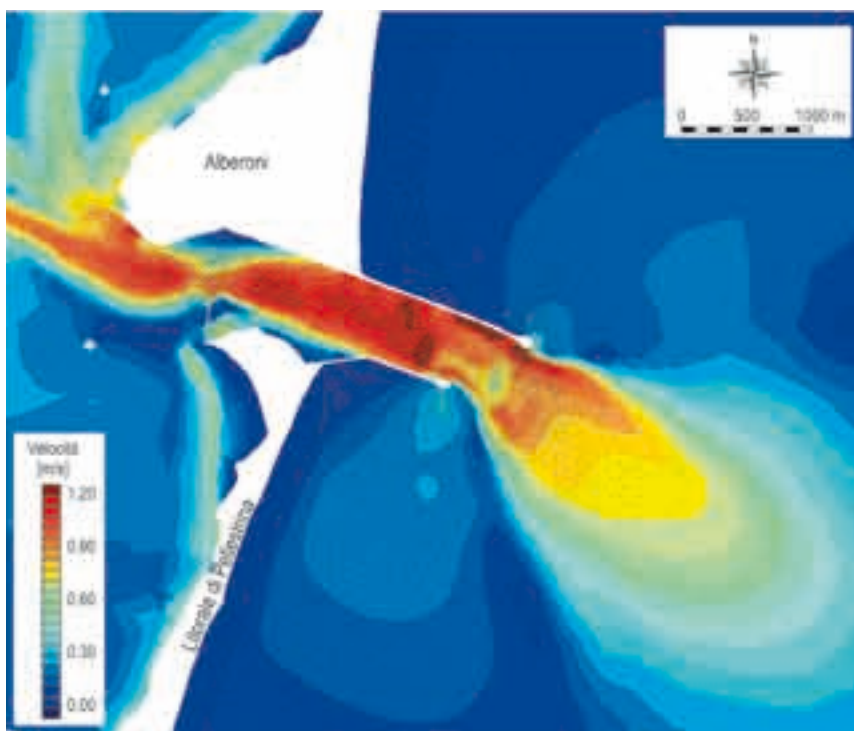


Fig. 7.22 - Laguna attuale. Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in uscita dalla bocca di Malamocco nella fase di massimo riflusso della marea di riferimento considerata.

laguna verso il mare, si presentavano conseguentemente disposti sotto riva, decisamente orientati verso sud, con un andamento in progressivo allargamento e con profondità così modeste da costituire un serio ostacolo alla navigazione dei battelli di maggiore stazza (Fig. 4.2-4.4). Si tratta di una geometria che favoriva distribuzioni delle correnti di marea in ingresso e in uscita dalla laguna molto simili tra loro e di intensità confrontabili. Ne derivava un comportamento sostanzialmente simmetrico delle bocche della laguna in fase di flusso e di riflusso della marea.

Questa condizione è evidente se si esaminano i campi istantanei delle velocità calcolate in prossimità delle bocche.

In uscita dalla laguna le correnti si allargano progressivamente, diffondendosi in tutto il paraggio di mare antistante, senza generare significative strutture vorticosi di grande scala. In ingresso, l'acqua è

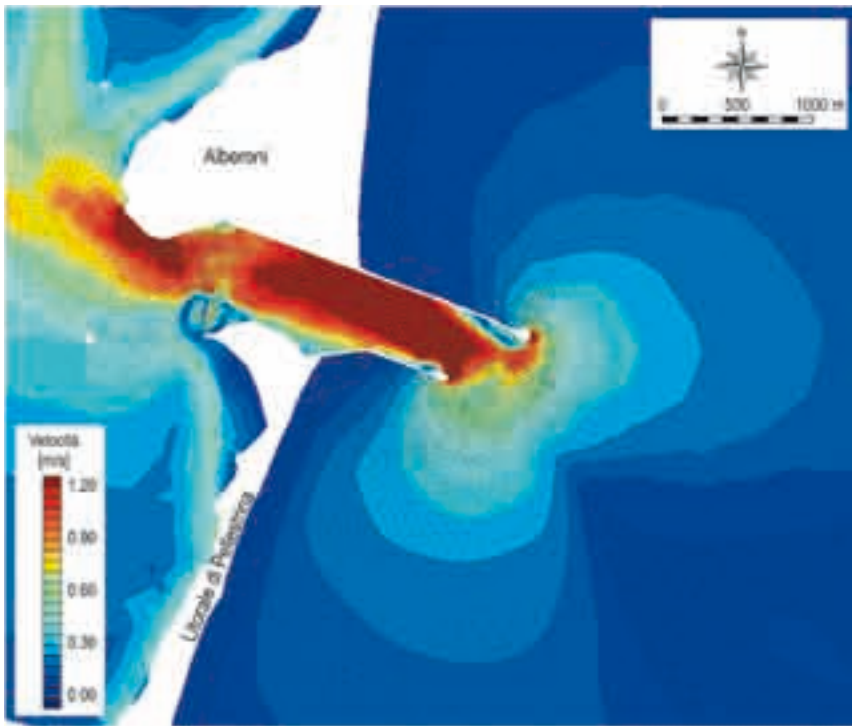


Fig. 7.23 - Laguna attuale. Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in uscita dalla bocca di Malamocco nella fase di massimo flusso della marea di riferimento considerata.

egualmente richiamata verso le bocche da tutte le direzioni e le correnti tendono gradualmente a concentrarsi lungo il canale navigabile, dove i fondali sono più profondi, aumentando progressivamente la loro velocità nel superamento delle bocche stesse.

Una esemplificazione di tale comportamento, valida anche per le altre bocche, è rappresentata dai campi di velocità che si riscontrano alla bocca di Malamocco in condizioni di massima portata uscente ed entrante (Fig. 7.20 e Fig. 7.21).

Un assetto completamente diverso del campo delle velocità si rileva, invece, se si considera l'attuale geometria delle bocche. La presenza dei moli, costruiti per favorire la navigazione, introduce una evidente asimmetria di comportamento delle correnti tra la fase di flusso della marea e quella di riflusso (D'Alpaos 2004; D'Alpaos e Martini 2005;

Blondeaux *et al.* 1982). Mentre in fase di riflusso la corrente genera un vero e proprio getto (Fig. 7.22), che si proietta nel mare antistante penetrandovi fino a distanze rilevanti dalle testate dei moli, in fase di flusso le portate entranti in laguna sono ancora richiamate come un tempo verso le bocche da tutte le direzioni (Fig. 7.23), come è ben evidenziato dal comportamento della stessa bocca di Malamocco.

La corrente in uscita, abbandonate le testate dei moli, si mantiene compatta e tende a conservare la sua identità, mescolandosi per lenta, graduale, diffusione nelle acque del mare circostante solo a una certa distanza dalle strutture che la guidano inizialmente. Una serie di macrovortici di grande scala si generano in corrispondenza delle testate dei moli e, distaccandosene, affianca il getto in uscita, accompagnandolo. Trascinati dalla corrente verso il largo, questi macrovortici riducono via via la loro intensità, fino a spegnersi a loro volta nel mare antistante.

L'analisi, sia pure sintetica, dei risultati forniti dalla modellazione matematica applicata alla configurazione attuale del bacino lagunare e a quella della laguna ottocentesca documenta il profondo mutamento dell'assetto delle correnti di marea in ingresso e in uscita dalle bocche determinato dal provvedimento di armare con moli gli antichi passi navigabili, per permettere alle moderne navi di accedere ai porti interni.

Si tratta ovviamente di condizioni positive per la navigazione, ma dalle pesanti conseguenze negative, non appena, partendo dai mutati campi di velocità in prossimità delle bocche, si esaminino le questioni riguardanti il delicato equilibrio del sistema lagunare, considerando in particolare la mobilità dei fondali e le loro interazioni con la corrente.

I fenomeni sopra richiamati non erano sicuramente inquadrabili dal punto di vista teorico sulla base delle conoscenze disponibili al momento della realizzazione delle opere in questione. Essendosi tuttavia la costruzione dei moli protratta per circa 80 anni, una più attenta osservazione sperimentale sugli esiti delle opere realizzate avrebbe potuto evidenziare, accanto al raggiungimento degli attesi benefici per la navigazione, l'insorgere di qualche problema per l'evoluzione morfologica del sistema lagunare.

I risultati sui quali ci si è soffermati testimoniano la delicatezza che riveste qualsiasi importante intervento l'uomo voglia attuare all'interno della laguna. Una volta di più essi dimostrano, inoltre, l'ampiezza delle indagini che sempre dovrebbero accompagnarsi a scelte di questo tipo.

Con riferimento al nostro tempo è palese la necessità di saper valutare con sapienza e saggezza le conseguenze sul regime delle correnti dei provvedimenti che si intendono ora adottare, i cui riflessi non saranno soltanto locali e potrebbero riservare sul medio e sul lungo



Fig. 7.24 - Laguna del 1901. Inviluppo dei livelli massimi per la marea di riferimento considerata.

periodo sorprese, che a posteriori sarebbe troppo banale definire «imprevedibili».

Emerge dalle valutazioni esposte sugli effetti idrodinamici conseguenti alla realizzazione dei moli alle bocche di porto che al centro di qualsiasi provvedimento l'uomo intendesse applicare al sistema lagunare non dovrebbero porsi interessi o necessità particolari, ma sempre e comunque la laguna nel suo complesso, le cui peculiarità e i cui caratteri non dovrebbero essere né snaturati né tanto meno compromessi o irrimediabilmente perduti.

Ne deriva una prima importante ossevezione. Le significative modificazioni evidenziate dal confronto tra il comportamento idraulico della laguna attuale e quello della laguna ottocentesca sono state solo in minima parte indotte dai naturali processi evolutivi che hanno interessato il bacino lagunare nei due ultimi secoli. Esse sono state soprattutto la conseguenza dell'opera dell'uomo, attuata dimenticando o quantomeno trascurando i principi che per oltre tre secoli avevano ispirato la politica e l'azione della Repubblica per la salvaguardia della sua laguna.

A sostegno di queste considerazioni, è di un qualche interesse esaminare attraverso la modellazione matematica il comportamento idraulico delle altre configurazioni della laguna che ci sono note, valutando se e in quale misura i singoli interventi abbiano contribuito alle modificazioni complessive intervenute sul regime delle correnti di marea e sulla morfologia lagunare.

In questo percorso a ritroso nel tempo, che non è accademismo fine a se stesso come ritengono molti di coloro che si affannano intorno alla laguna, è utile partire dalla configurazione del 1901, la prima a essere nota con riferimento ai fondali delle zone d'acqua adiacenti ai canali e alle quote delle superfici di barena.

All'epoca, i moli posti a presidio della bocca di Malamocco erano stati ultimati da circa 30 anni, mentre la riconfigurazione degli antichi tre porti della laguna settentrionale nell'unica bocca di Lido era stata portata a termine da appena un decennio, ma non aveva ancora comportato la completa rimozione della barra di foce. Ultimati i moli, davanti alla bocca di Lido, contrariamente alle aspettative, si mantenevano fondali relativamente ridotti, inferiori alle profondità massime raggiunte naturalmente tra le dighe del porto canale. Sempre in quegli anni nessun significativo intervento era stato ancora attuato alla bocca di Chioggia, che conservava caratteristiche morfologiche non dissimili da quelle rilevate agli inizi dell'Ottocento.

Oltre alla presenza delle opere alle bocche, rispetto alla laguna al tempo di Dénaix un'altra variazione significativa da segnalare all'interno del bacino lagunare è la riduzione delle superfici liquide, conseguente all'interrimento di fronte a Chioggia delle aree impaludate dalla temporanea reintroduzione del Brenta tra il 1840 e il 1896 e, nella laguna superiore in prossimità del canale di S. Felice, alla perimetrazione con argini di un'ampia superficie destinata alle saline (~7 km²).

Sostanzialmente invariata rimaneva, invece, la condizione idraulica delle valli da pesca, non molto diversa da quella accertata da De Bernardi nel 1844. In gran numero le valli continuavano ad essere confinate con graticci di arelle permeabili al flusso delle marea, che vi si poteva

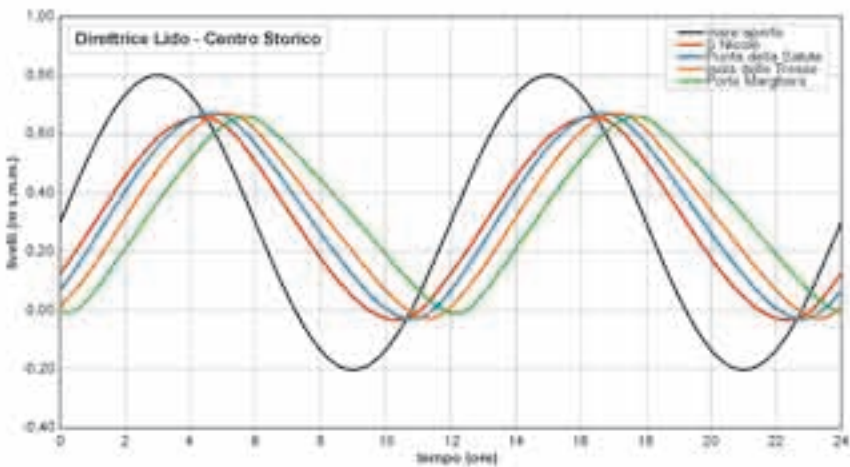


Fig. 7.25 - Laguna del 1901. Direttrice del centro storico S. Nicolò-Porto Marghera. Andamento dei livelli in alcune località per la marea di riferimento considerata.

espandere sia pure attenuata dalle resistenze idrauliche che queste strutture comportavano.

Per la marea di riferimento assunta, l'andamento dei livelli interni indica ancora un comportamento fortemente dissipativo del sistema, con importanti riduzioni dei colmi e dei cavi in tutta la laguna. L'inviluppo dei livelli massimi forniti dalle simulazioni numeriche segnala per la laguna superiore e per tutte le zone prospicienti le valli da pesca riduzioni dei colmi in mare addirittura superiori al 40% (Fig. 7.24).

Lungo la direttrice del centro storico, secondo il calcolo, le riduzioni dei livelli massimi sono più accentuate di quelle ottenute per la laguna ottocentesca (Fig. 7.25). A Punta della Salute, in particolare, l'attenuazione rispetto al mare è di 13 cm, contro gli 8 cm della laguna al tempo di Dénaix, mentre al limite della conterminazione, dove sorgerà poi la zona industriale di Porto Marghera, il colmo si riduce di 14 cm, a fronte di un abbassamento di poco più di 8 cm calcolato per la configurazione dei primi anni dell'Ottocento.

L'effetto è dovuto essenzialmente alle maggiori resistenze al moto, distribuite e localizzate, che le correnti di marea incontrano nel superamento della bocca di Lido da poco riconfigurata con la costruzione dei moli, i cui riflessi si ripercuotono su tutta la laguna, ma principalmente sull'omonimo bacino.

Il risultato non deve sorprendere. Esso trova una giustificazione credibile se si suppone che nei primi anni del Novecento i fondali della nuova bocca non avessero, in generale, raggiunto le sue nuove condizioni di equilibrio e che fossero conseguentemente ancora in fase di approfondimento. Va sottolineato, come peraltro si è già ricordato, che le correnti di marea, pur essendo riuscite naturalmente ad approfondire il canale tra i moli, non erano state in grado di sfondare completamente la barra di foce di fronte alla bocca, dove permanevano fondali relativamente modesti, mediamente di non molto superiori ai 6 m circa.

L'ipotesi è suffragata dal confronto delle profondità del porto di Lido nei primissimi anni del Novecento con quelle degli anni immediatamente successivi (Fig. 4.8), non ultime le profondità del rilievo particolare di grande dettaglio eseguito nel 1913. Emerge da tale confronto un generale approfondimento del canale portuale, che sintetizza in pratica gli effetti morfodinamici delle correnti di marea sui suoi fondali durante un periodo di circa 10 anni, ma che evidenzia soprattutto le conseguenze dello sfondamento artificiale, a seguito di specifiche attività di dragaggio, della barra di foce che all'inizio del Novecento era ancora presente di fronte alla nuova bocca. Fu solo a seguito di questi lavori che si poté accertare che la barra di foce era superiormente formata da una miscela di sabbie e di argilla (Fossataro 1912), particolarmente tenace e resistente rispetto all'azione erosiva delle correnti di marea. Stante la situazione ben difficilmente le correnti sarebbero riuscite a rimuovere naturalmente quel materiale, pur in presenza di velocità di un qualche rilievo dopo la costruzione dei moli.

Variazioni poco apprezzabili dei fondali si riscontrano, invece, se si conduce un analogo confronto per la bocca di Malamocco. I fondali presenti all'inizio del secolo e quelli riportati nel rilievo molto dettagliato della bocca stessa risalente al 1915 non sono tra loro molto diversi. Nel caso della bocca di Malamocco la circostanza segnalata confermerebbe il raggiungimento di una sostanziale condizione di stabilità dei fondali, favorita dal non breve periodo di tempo trascorso (oltre quarant'anni) dalla costruzione dei moli.

Nei riguardi del ruolo che la geometria delle bocche assume sulle resistenze incontrate dalle correnti nel loro superamento e sulle conseguenti modificazioni dell'onda di marea, può essere significativo esaminare in termini comparativi il comportamento della laguna del 1901, con quello delle configurazioni che, partendo come base da questo rilievo, si ottengono, in una prima ipotesi, variando i fondali delle sole bocche di Malamocco e di Lido secondo la condizione descritta dai citati rilievi

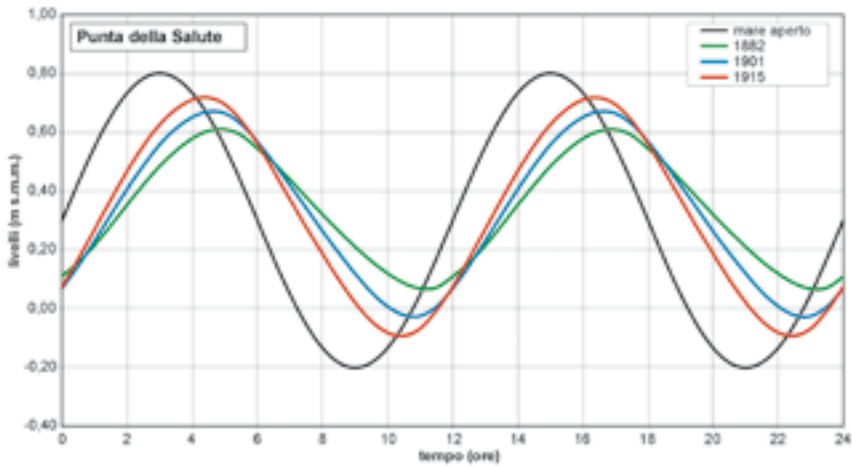


Fig. 7.26 - Punta della Salute. Andamento dei livelli per la marea di riferimento considerata nelle configurazioni esaminate per la laguna e per la bocca di Lido nel periodo 1882-1915.

del 1915 e 1913 e lasciando inalterati i fondali della bocca di Chioggia, in una seconda ipotesi, inserendo per la bocca di Lido la nuova configurazione planimetrica stabilita dai moli, ma assumendo per i fondali delle zone adiacenti interne (in laguna) ed esterne (in mare) i valori risultanti dalla batimetria di Dénaix, ferme restando ancora le caratteristiche delle altre due bocche. Quest'ultima configurazione dovrebbe, in qualche modo, riprodurre lo «stato iniziale» di una condizione virtuale della bocca di Lido, simile a quella che si sarebbe determinata se la costruzione dei moli e la riunione in un unico varco degli antichi tre porti si fossero potute concludere in un tempo molto più breve di quello effettivo (1882-1892).

Per la prima situazione ipotizzata, il calcolo evidenzia che nel bacino dominato dalla bocca di Lido (centro storico e laguna superiore) i colmi di marea tendono a incrementarsi leggermente rispetto al 1901. Si tratta di un risultato atteso, poiché il segnalato approfondimento della bocca di Lido, particolarmente significativo dopo lo sfondamento della barra di foce (1911-1912), riduce le resistenze al moto che la marea incontra nel suo superamento, favorendo maggiori livelli interni.

Condizioni opposte si riscontrano per la seconda configurazione ipotizzata, quando gli antichi tre porti, poco profondi, furono portati a formare un'unica foce, meno ampia con riferimento alla larghezza

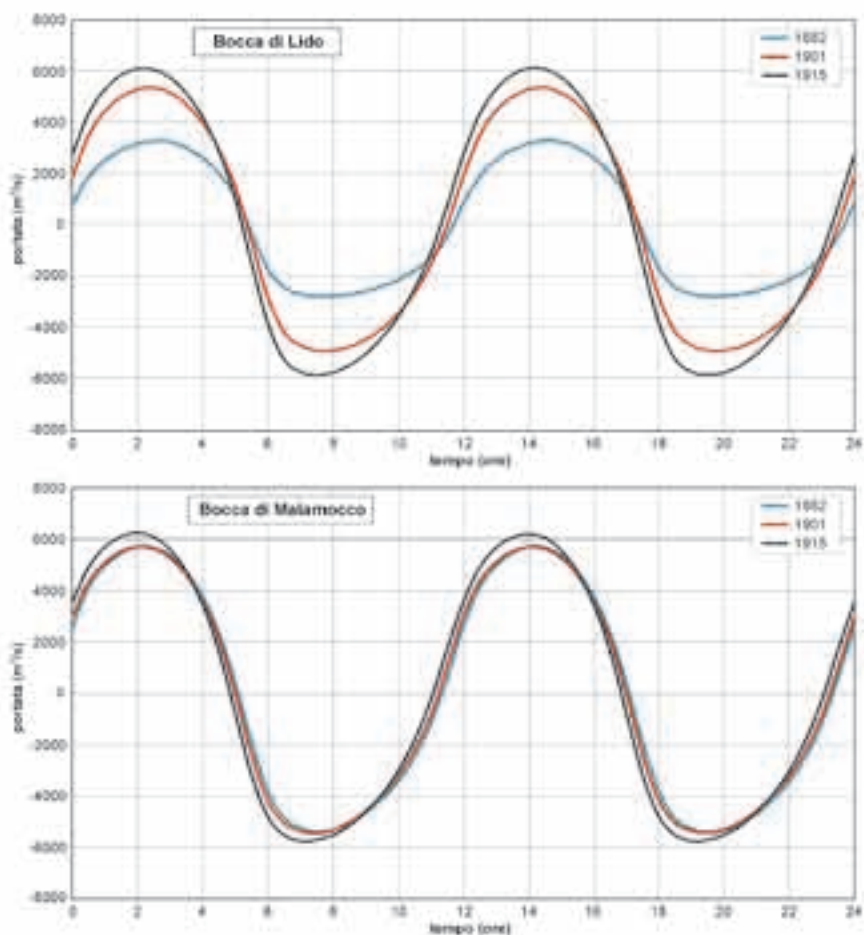


Fig. 7.27 - Andamento delle portate scambiate dalle bocche di Lido e Malamocco per la marea di riferimento assunta nelle configurazioni esaminate per la laguna e per la bocca di Lido nel periodo 1882-1915.

complessiva primitiva ma idraulicamente molto più resistente, essendosi introdotti nella modellazione i fondali preesistenti alla costruzione dei moli.

Gli effetti derivanti sono ben illustrati dall'andamento dei livelli a Punta della Salute e portano, nel caso della marea di riferimento considerata, a un drastico abbattimento (~ 20 cm) del livello al colmo (Fig. 7.26).

In modo conforme si modificano le portate scambiate con il mare attraverso le bocche, con risultati che nel caso di Lido e di Malamocco meritano un breve commento (Fig. 7.27).

Relativamente alla bocca di Malamocco, gli andamenti delle portate ottenute dal calcolo per le configurazioni relative al 1901 e al 1915 si differenziano leggermente tra di loro (~10%), a conferma dell'accennato raggiungimento di una condizione di sostanziale equilibrio dei fondali, favorita dai molti anni trascorsi dalla costruzione dei moli.

Apprezzabilmente diversi, invece, sono i risultati forniti dalla modellazione matematica per la bocca di Lido nelle diverse configurazioni esaminate. Appena armata con moli e durante tutta la fase transitoria iniziale, in cui i fondali si sono andati approfondendo, le correnti di marea hanno incontrato nel superamento della bocca resistenze idrauliche più elevate. Conseguentemente le portate massime scambiate attraverso la bocca con il mare sono risultate per un lungo periodo inferiori rispetto a quelle che un tempo fluivano complessivamente attraverso gli antichi tre porti.

A misura che i fondali si andavano approfondendo, tuttavia, anche le portate scambiate con il mare dalla bocca di Lido si sono gradualmente incrementate. Inizialmente per naturale progressiva erosione dei fondali, che lungo tutto il porto canale tendevano verso valori di profondità compatibili con le sollecitazioni idrodinamiche esercitate dalle correnti, in ultimo per la già ricordata rimozione forzata di ciò che rimaneva della barra di foce, che le correnti di marea non sarebbero mai state in grado di eliminare completamente.

Se si considerano questi risultati, non sembrano affatto trascurabili sul funzionamento del sistema lagunare né il ruolo della geometria delle bocche, né l'assetto dei loro fondali. Si è in particolare ben lontani dal poter affermare che bocche morfologicamente differenti da quelle attuali non comportassero, come sostenuto tra l'altro dal Co.Ri.La., apprezzabili differenze di comportamento idraulico.

Passando dalla laguna ottocentesca, che aveva verosimilmente fondali delle bocche in equilibrio, a quella dei nostri giorni, è infine priva di fondamento l'idea che le portate scambiate con il mare dalla laguna del 2000 non fossero apprezzabilmente diverse da quelle di quel lontano passato. Almeno di questo risultato il progettista delle opere alle bocche dovrebbe dare atto.

È confermata dalle simulazioni numeriche la singolarità del regime della laguna del 2000, con volumi di scambio con il mare molto superiori a quelli del passato. Volendo, è questa la vera anomalia delle attuali condizioni idrauliche della laguna. Di qui l'improponibilità dal punto di



Fig. 7.28 - Involuppo dei livelli massimi nella parte di bacino lagunare più direttamente interessata dalla presenza del canale navigabile Vittorio Emanuele prima (A) e dopo (B) la sua costruzione per la marea di riferimento considerata.

vista scientifico dell'idea, che tutt'ora si sostiene, secondo la quale qualsiasi apprezzabile riduzione dei volumi d'acqua scambiati con il mare rispetto alla condizione oggi osservata potrebbe risultare esiziale per la laguna, in particolare per l'efficienza idraulica della rete dei suoi canali.

Conclusione non confortata non tanto dai calcoli, ma dall'esperienza, poiché, nonostante le minori portate scambiate con il mare, la potente struttura della rete di canali lagunari si è sempre conservata in tutte le lagune che conosciamo, non ultima la laguna ottocentesca della quale Dénaix con la sua carta ha fornito una dettagliata, quanto attendibile, rappresentazione.

Dopo la fine del primo conflitto mondiale, le spinte verso una maggiore industrializzazione del Paese portarono nel caso di Venezia alla decisione di far nascere ai margini della laguna un importante polo industriale. Grande artefice dell'iniziativa, come si è detto, fu il conte Volpi, che si fece promotore non soltanto dell'imbonimento di ampie superfici (~860 ha) in origine prevalentemente occupate da barene, al fine di accogliere sulle aree rese franche dalle acque i nuovi insediamenti industriali, ma anche dello scavo di un nuovo grande canale navigabile, il canale Vittorio Emanuele, che permettesse alle navi di raggiungere il porto industriale realizzato a servizio delle attività che si andavano sviluppando a Porto Marghera.

Gli effetti idraulici dell'opera e degli interventi attuati per allestire, sottraendole alla laguna, le superfici destinate ad accogliere le strutture

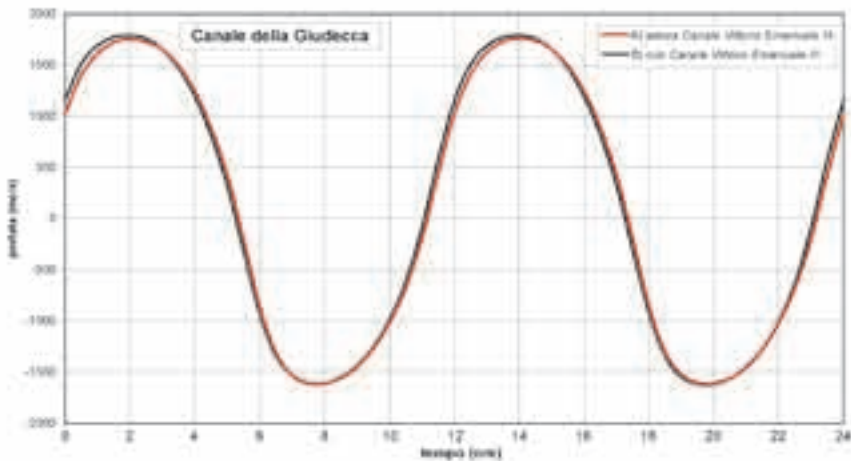


Fig. 7.29 - Canale della Giudecca all'altezza della Marittima. Andamento delle portate prima e dopo la costruzione del canale navigabile Vittorio Emanuele per la marea di riferimento considerata.

portuali e industriali che la accompagnavano sono stati analizzati su basi matematico-numeriche, confrontando il comportamento della laguna nella configurazione documentata dal rilievo del 1932 (di poco successiva alla realizzazione degli interventi in questione) con quello della configurazione che si ottiene partendo dalla stessa batimetria ma eliminando il canale navigabile, le strutture portuali e le aree imbonite e reinserendo gli antichi canali naturali assieme alla preesistente morfologia dei fondali.

Questa operazione è stata effettuata, in parte appoggiandosi al rilievo del 1901, in parte mediante opportuna interpolazione dei dati del rilievo del 1932 per le aree lagunari adiacenti non interessate dagli interventi.

Sempre considerando la stessa marea di riferimento, è significativo esaminare innanzitutto l'andamento dei livelli lungo la direttrice del centro storico, che è la più interessante per i riflessi idraulici dello scavo del canale sul comportamento dei livelli mareografici a Venezia.

Superata la bocca e propagandosi verso Punta della Salute, prima, l'isola delle Tresse e Porto Marghera, poi, i colmi di marea tendono appena ad amplificarsi rispetto alla situazione antecedente lo scavo del canale, riducendo nello stesso tempo il loro ritardo di fase rispetto al mare.

Modificato è l'andamento delle curve inviluppo dei livelli massimi. Proprio per la presenza del canale esse tendono ad avanzare verso la terraferma (Fig. 7.28), mentre quelle rappresentative dello stesso livello

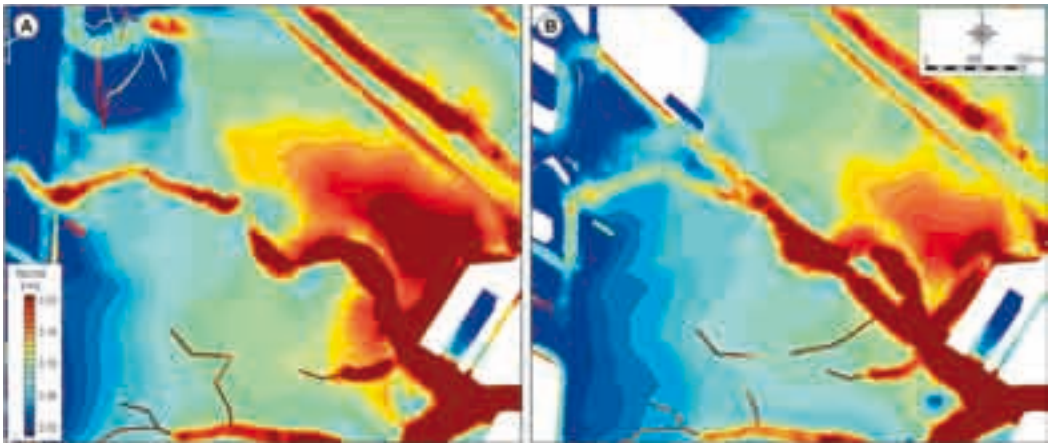


Fig. 7.30 - Distribuzione istantanea a scala di colori delle velocità in adiacenza al canale navigabile Vittorio Emanuele nella fase di massimo flusso prima (A) e dopo (B) lo scavo della via d'acqua per la marea di riferimento considerata.

istantaneo risentono della più rapida propagazione dei colmi verso i margini della laguna.

Modeste sono invece le conseguenze sulle portate. I loro valori massimi non sono praticamente modificati in corrispondenza della bocca di Lido, mentre sono di poco incrementati al termine del canale della Giudecca, dove la portata massima riscontrabile prima della costruzione del canale navigabile, di circa $1700 \text{ m}^3/\text{s}$, sale a valori di poco inferiori ai $1800 \text{ m}^3/\text{s}$, dopo la sua realizzazione (Fig. 7.29).

Gli effetti del canale sono più apprezzabili se si esaminano le distribuzioni istantanee della velocità in fase di flusso e di riflusso sui bassifondi interessati dalla presenza della via d'acqua, come è ben evidenziato dalle Fig. 7.30 e 7.31, nelle quali la situazione antecedente allo scavo del canale è posta a confronto con quella susseguente, nel momento di massima portata fluente all'altezza della Marittima.

Sui bassifondi posti in prossimità della via navigabile è sensibilmente alterata la distribuzione dei gradienti spaziali delle velocità, che si presentano con importanti valori trasversali rispetto all'asse del canale. È netta la tendenza delle correnti di marea a spazzare lateralmente le zone d'acqua adiacenti e a tagliare trasversalmente l'asse dei canali naturali minori (canali delle Tresse, di Fusina, di S. Secondo e di Campalto), che incidono questa parte di laguna.

Sarebbero state queste correnti secondo alcuni una concausa non secondaria delle modificazioni morfologiche risultanti per l'area in esame dal confronto tra le batimetrie del 1932, del 1970 e anche del 2003, che evidenziano sia consistenti fenomeni di interrimento a danno dei canali

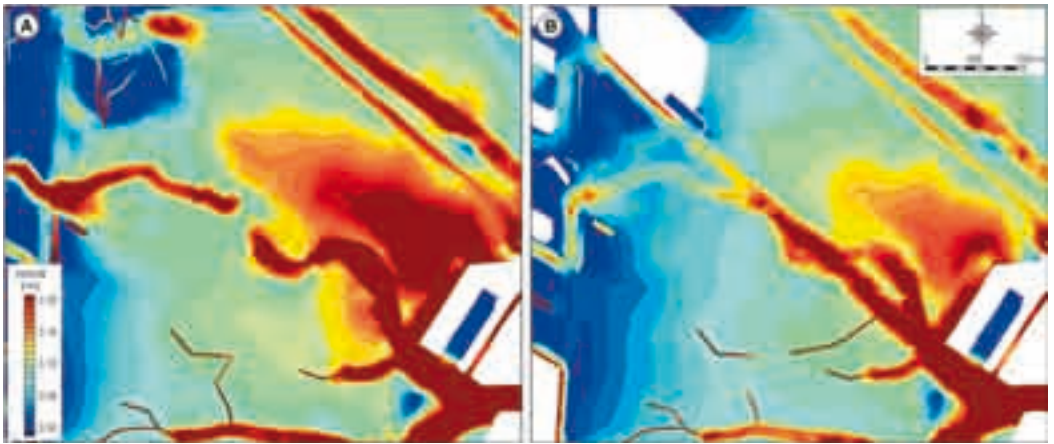


Fig. 7.31 - Distribuzione istantanea a scala di colori delle velocità in adiacenza al canale navigabile Vittorio Emanuele nella fase di massimo riflusso prima (A) e dopo (B) lo scavo della via d'acqua per la marea di riferimento considerata.

naturali, come sono quelli che si affiancano al canale Vittorio Emanuele, sia accentuati processi di erosione dei fondali nelle zone d'acqua situate in adiacenza al canale navigabile.

In realtà i meccanismi che hanno determinato la tendenza allo spianamento dei fondali di questa parte della laguna sono un po' più complessi. Essi sono solo in parte riconducibili all'interpretazione appena accennata, che non considera effetti morfodinamici decisamente più importanti, quali sono tra l'altro quelli dovuti alle correnti generate dal moto ondoso indotto dalla navigazione e quelli, a loro volta non trascurabili, determinati dalle correnti di ritorno innescate dal dislocamento di importanti volumi d'acqua da parte delle carene delle navi durante il loro passaggio lungo la via d'acqua. Tali correnti tendono a trascinare verso il canale i sedimenti eventualmente risospesi, depositandoli. Prova ne sia che lo stesso canale navigabile soffre di non pochi problemi per il mantenimento dei propri fondali, che devono essere ripristinati periodicamente con operazioni di dragaggio.

Di impatto sull'ambiente lagunare di gran lunga superiore a quello del canale Vittorio Emanuele è stata la realizzazione dell'ultimo grande canale navigabile interno, il canale Malamocco-Marghera (1964-1968). La nuova via navigabile fu realizzata in anni in cui si riteneva non più differibile il potenziamento delle strutture di supporto alle attività industriali di Porto Marghera, da perseguire attraverso l'allestimento di aree adatte a richiamare nuove iniziative produttive, in particolare quelle legate all'industria del petrolio. Tant'è che in senso spregiativo il canale è spesso indicato con l'appellativo di «Canale dei Petroli».

Con lo scavo del canale Malamocco-Marghera nella configurazione sinteticamente descritta nel precedente capitolo si chiude un altro lungo periodo dei complessi e contrastati rapporti dell'uomo con la laguna. Rispetto a quelle che l'hanno preceduta, quest'ultima epoca, che si potrebbe definire della «ritrovata navigabilità», sancisce il deciso cambiamento di indirizzo nel comportamento dell'uomo. Non sono più la laguna e la sua salvaguardia al centro dell'azione, come propugnato da Sabbadino e attuato dai suoi seguaci fino alla caduta della Repubblica, ma la promozione e il soddisfacimento di interessi particolari (più realisticamente la promozione degli affari di un ristretto gruppo di potere che controllava la vita della città), legati nel caso specifico dei grandi canali navigabili allo sviluppo economico dell'area industriale di Porto Marghera. Interessi che diventano purtroppo prioritari rispetto ad ogni altra necessità, qualunque sia il prezzo da pagare da parte della laguna.

Per questi aspetti, lo si è ricordato, il canale Malamocco-Marghera è l'esempio emblematico di una scelta spregiudicata, di un intervento pensato, progettato e realizzato al di fuori non soltanto di regole tecniche e scientifiche che, se correttamente intese, avrebbero dovuto portare a ben altre decisioni, ma anche del buon senso comune. Esercitantolo, i «controllori pubblici» di allora non si sarebbero potuti sottrarre a riflessioni più dignitose di quelle documentate dall'iter burocratico che ha accompagnato sia l'approvazione della progettazione dell'opera sia la sua realizzazione.

Non possono perciò stupire le molte polemiche che hanno accompagnato quest'ultimo grande intervento dell'uomo sulla laguna, particolarmente accese soprattutto negli anni seguiti alla memorabile marea del novembre 1966, quando l'opera era ormai in avanzata fase di ultimazione. Vero è che l'attenzione di molti di coloro che hanno partecipato a quel dibattito⁶⁰ si è prevalentemente focalizzata su di un punto particolare, più

⁶⁰ Negli anni delle molte polemiche scatenate sul possibile ruolo negativo del canale Malamocco-Marghera sul livello dei colmi di marea a Venezia, Indro Montanelli fu uno dei più accesi sostenitori di questa tesi errata. Il famoso giornalista, non è dato di sapere sulla base di quali conoscenze tecnico-scientifiche, si schierò apertamente dalla parte di Giulio Supino (Supino 1972) sostenitore della tesi, in aperto contrasto con l'opinione espressa dai ricercatori dell'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova e in particolare con un brillante risultato analitico ottenuto da Claudio Datei (Datei 1973), che dimostrava il ruolo limitato del canale navigabile sul fenomeno. Fu J. Johannes Dronkers (Dronkers 1972), uno dei più autorevoli studiosi in campo internazionale del comportamento dei bacini a marea, a dimostrare la fondatezza del risultato ottenuto da Datei e l'errata impostazione teorica del problema da parte di Supino (Datei e Dronkers 1972). Esempio questo del canale Malamocco-Marghera, di quanto sia sempre inopportuno esprimersi su questioni che esulano dalle proprie consolidate esperienze e conoscenze, ancorché si sia autorevoli.

facilmente percepibile dall'opinione pubblica, riguardante un presunto ruolo del canale navigabile sul fenomeno delle «acque alte» a Venezia. Alcuni, infatti, attribuirono e attribuiscono ancora al canale, peraltro quasi più da nessuno ascoltati, la responsabilità di un apprezzabile aumento dei livelli dei colmi di marea nel centro storico e, in definitiva, del forte incremento della frequenza del fenomeno registrato negli ultimi decenni.

I risultati delle molte simulazioni numeriche condotte al riguardo fin dagli anni '70 del secolo appena trascorso (Di Silvio e D'Alpaos 1972), confrontando tra loro il comportamento idraulico della laguna nella configurazione preesistente la realizzazione dell'opera e in quella che contempla la presenza del nuovo canale, chiariscono senza ombra di dubbi il suo ruolo idrodinamico.

In questa sede, per un ulteriore approfondimento del problema, una prima analisi è stata condotta partendo dal rilievo del 1932 e inserendo da una parte il canale Malamocco-Marghera, dall'altra le casse di colmata della III Zona Industriale.

Se si considera la direttrice del centro storico e si esaminano gli andamenti dei livelli a Punta della Salute e a Porto Marghera, la marea di riferimento assunta, propagandosi, tende a esaltare i suoi colmi rispetto alla situazione antecedente la realizzazione della via navigabile. L'effetto è di alcuni centimetri a Punta della Salute (~3 cm) con riferimento alla condizione preesistente (Fig. 7.32) e praticamente della stessa entità a Porto Marghera (Fig. 7.33).

Tenendo conto o meno della presenza del canale, con riferimento alla configurazione della laguna nel 1970 i valori sopra calcolati per i colmi sono superati di poco a Punta della Salute e in misura un po' più pronunciata, ma non significativa, a Porto Marghera. Passando, infine, alla configurazione della laguna del 2003, questa tendenza all'esaltazione dei colmi come conseguenza della propagazione non solo è confermata, ma risulta ulteriormente incrementata. A Punta della Salute, come si è visto (Fig. 7.11), il colmo della marea di riferimento assunta si incrementa in questo caso rispetto al mare di quasi 2 cm, mentre a Porto Marghera l'effetto sale a poco meno di 4 cm.

Nei riguardi del fenomeno di esaltazione dei colmi e dei cavi di marea è di un qualche rilievo segnalare che i risultati del calcolo trovano conferma in una elaborazione statistica delle registrazioni mareografiche a Diga Sud Lido e a Punta della Salute nel periodo 1917-1972, che comprende anche gli anni della costruzione del canale Malamocco-Marghera e un breve arco di tempo successivo (Adami 1974).

Considerando le maree di sizigie dei mesi di maggio-giugno, i rapporti esistenti tra le ampiezze di marea registrate in fase di flusso e di

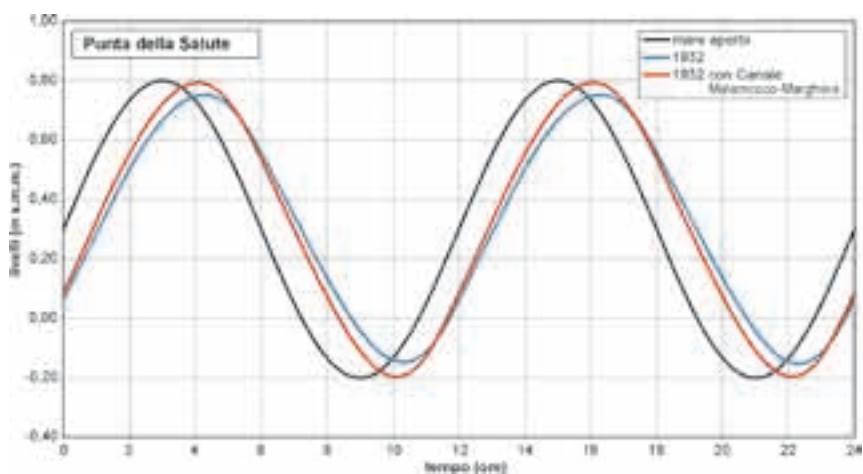


Fig. 7.32 - Punta della Salute. Andamento dei livelli prima e dopo la costruzione del canale navigabile Malamocco-Marghera, inserito nella configurazione del 1932, per la marea di riferimento considerata.

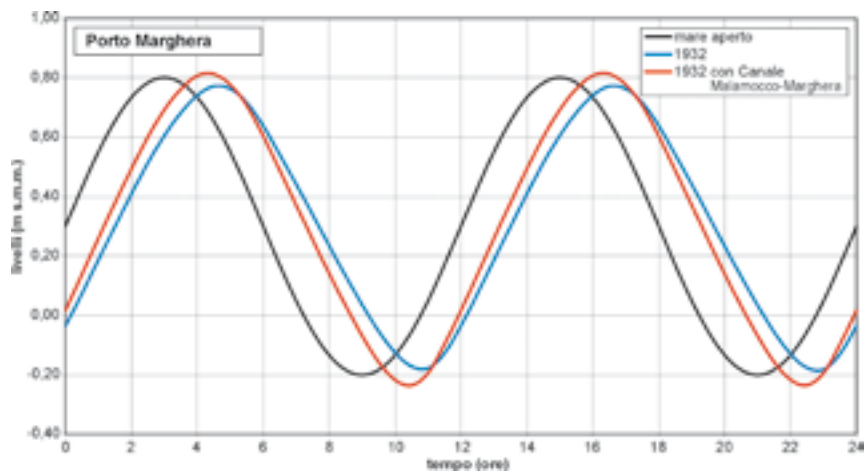


Fig. 7.33 - Porto Marghera. Andamento dei livelli prima e dopo la costruzione del canale navigabile Malamocco-Marghera, inserito nella configurazione del 1932, per la marea di riferimento considerata.

riflusso nel centro storico (Punta della Salute) e in mare (Diga Sud Lido) variano in media da un minimo di 0.93 a un massimo di 1.04. Nella serie storica esaminata che, salvo qualche lacuna, è continua, sono individuabili alcuni periodi distinti, i quali si caratterizzano per un significativo diverso valore medio del rapporto esaminato e quindi del comportamento idraulico della laguna relativamente ai livelli di marea a Venezia.

Negli anni delle vicende belliche e della successiva faticosa ripresa economica del nostro Paese (1941-1949), risulta che il rapporto tra le ampiezze di marea a Punta della Salute e in mare si riduce a 0.95, verosimilmente per la scarsa manutenzione alla quale furono assoggettate in quel periodo le bocche (assenza di dragaggi soprattutto alla bocca di Lido) e quindi per i minori fondali e le conseguenti maggiori resistenze incontrate dall'onda di marea nel loro superamento. Elemento questo che può essere portato a ulteriore conferma di quanto si è già ripetutamente evidenziato nei riguardi del ruolo non trascurabile della morfologia delle bocche sui livelli dei colmi di marea in laguna.

Quanto agli effetti del canale Malamocco-Marghera, negli anni immediatamente successivi alla sua realizzazione (1968-1972) si riscontra un leggero incremento del valore medio del rapporto considerato tra le ampiezze, che tende a 1.02, in sostanziale accordo con le simulazioni numeriche. Le variazioni accennate si riflettono sui livelli massimi e minimi di marea registrati, sia pure con una più accentuata influenza sui cavi (maggiori abbassamenti fino a 3-4 cm) che sui colmi (incrementi fino a 1-2 cm).

Comunque si valutino gli effetti dovuti alla presenza del canale, su basi teoriche o partendo dalle osservazioni mareografiche, si tratta di incrementi dei livelli massimi di marea del tutto trascurabili sul fenomeno delle «acque alte», la cui maggiore frequenza negli ultimi decenni non può pertanto essere giustificata invocando la presenza del canale come unica causa concorrente. Oltretutto gli eventi di «acqua alta» sono sempre determinati da una importante componente meteorologica e spesso risentono in misura ridotta degli effetti della propagazione, che sono la causa dell'esaltazione dei colmi e dei cavi di marea sulla quale ci si è soffermati.

Il ruolo negativo dei canali navigabili, ma soprattutto del canale Malamocco-Marghera, si coglie in pieno, invece, se si esaminano altre grandezze significative, quali sono le correnti di marea e la loro distribuzione, soprattutto nella laguna centrale.

Rispetto alla situazione preesistente la costruzione del canale, si determina innanzitutto un incremento delle portate massime scambiate con il mare attraverso la bocca di Malamocco, con una tendenza che si



Fig. 7.34 - Linee di spostamento estremo del partiacque tra i bacini di Malamocco e di Lido a seguito della costruzione del canale navigabile Malamocco-Marghera per la marea di riferimento considerata.

va rafforzando nel tempo come risulta dall'esame comparativo dei risultati forniti dai modelli matematici, partendo dalla configurazione delle lagune del passato per arrivare a quella attuale (2003).

Pur essendo le portate massime solo un indicatore complessivo del regime della laguna, i loro valori documentano un fenomeno preoccupante, ovvero il progressivo aumento delle superfici liquide dominate dalla bocca di Malamocco a scapito di quelle alimentate dalle bocche di Lido e di Chioggia. Ne derivano significativi spostamenti del partiacque

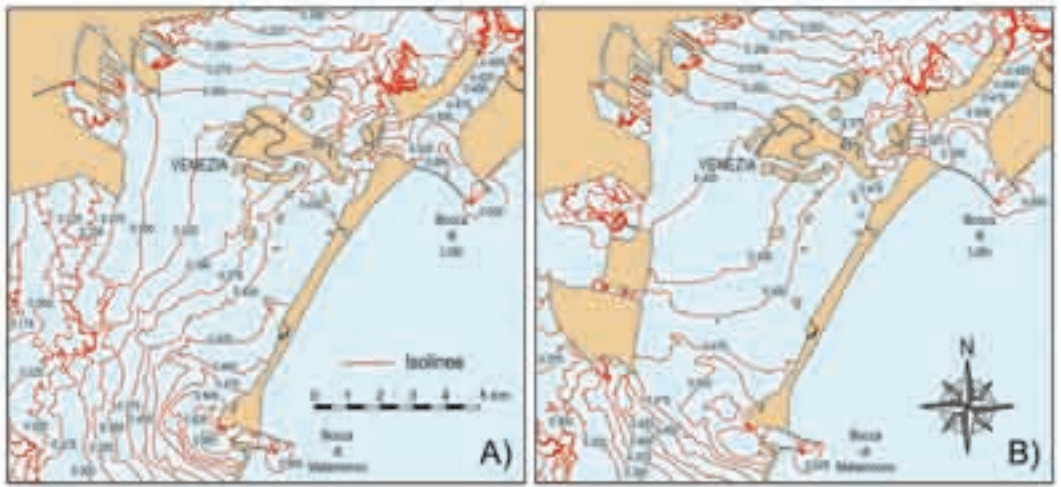


Fig. 7.35 – Andamento delle linee di egual livello istantaneo nel momento di massimo flusso prima (A) e dopo (B) la costruzione del canale navigabile Malamocco-Marghera per la marea di riferimento considerata.

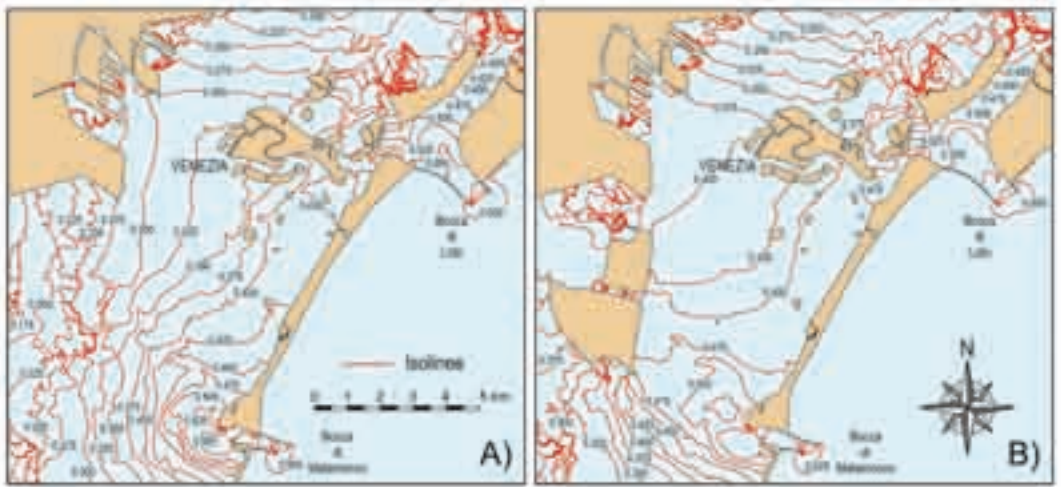


Fig. 7.36 - Inviluppo delle linee di massimo livello prima (A) e dopo (B) la costruzione del canale navigabile Malamocco-Marghera per la marea di riferimento considerata.

istantaneo fra i tre grandi bacini lagunari, in particolare del partiacque che separa il bacino di Malamocco da quello di Lido. Dopo la realizzazione dei canali navigabili, la fascia entro la quale migrano le linee istantanee di separazione delle superfici liquide alimentate da ciascuna delle due bocche (Fig. 7.34) si è andata progressivamente avvicinando a Venezia, con conseguenze di un qualche rilievo per il ricambio delle ac-

que intorno alla città, che risente meno dell'azione convettiva ripulitrice delle correnti di marea ed è maggiormente dipendente dai fenomeni dispersivi e dalle correnti generate dal vento.

A seguito della costruzione del canale Malamocco-Marghera, si sono egualmente modificati in tutta la laguna centrale gli andamenti delle linee di egual livello istantaneo (Fig. 7.35) e delle curve inviluppo dei massimi livelli interni di marea (Fig. 7.36). La presenza del grande anello periferico costituito dai canali navigabili e da quelli che li collegano al mare ha sensibilmente modificato gli aspetti dominanti della propagazione della marea in tutta la laguna, particolarmente nella sua parte centrale, accentuandone i caratteri inerziali.

Fa eccezione la laguna superiore, la sola che, pur con qualche variazione, ha sostanzialmente conservato il suo antico comportamento idraulico fortemente dissipativo.

L'incremento delle ampiezze di marea si accompagna a una apprezzabile riduzione dei ritardi di fase con cui i colmi e i cavi penetrano dal mare verso l'interno. Rimane così sconvolta la circolazione delle correnti intorno a Venezia e nella laguna centrale, che si è trasformata in un grande lago, dove i canali esistenti non costituiscono più, come un tempo, vie preferenziali per la propagazione della marea. In questa parte della laguna la circolazione è fortemente influenzata da cause accidentali, quali l'azione del vento, che, spirando di volta in volta con diversa intensità e differenti direzioni, sovrappone i suoi effetti su quelli indotti dalla propagazione delle maree, influenzando apprezzabilmente la distribuzione istantanea dei livelli e delle velocità.

Queste osservazioni sollecitano alcune riflessioni sulle conseguenze morfologiche delle variazioni idrodinamiche evidenziate dall'analisi modellistica.

Rimandando ad un successivo capitolo il tentativo di interpretare gli evidenti fenomeni di degrado che in tempi relativamente brevi (pochi decenni) hanno colpito la laguna, ben documentati dal confronto dei dati batimetrici dei numerosi rilievi eseguiti nel secolo appena passato, può essere per il momento sufficiente limitarsi a qualche considerazione sulle variazioni morfodinamiche che hanno interessato la bocca di Malamocco.

Le portate massime scambiate da questa bocca con il mare sono andate, come si è visto, inesorabilmente crescendo nel tempo. In base ai risultati delle simulazioni numeriche condotte, per la marea di riferimento assunta, in poco meno di due secoli si è passati in fase di flusso dai circa 4750 m³/s della laguna al tempo di Dénaix ai quasi 10000 m³/s attuali, con una progressione che lascia stupiti.

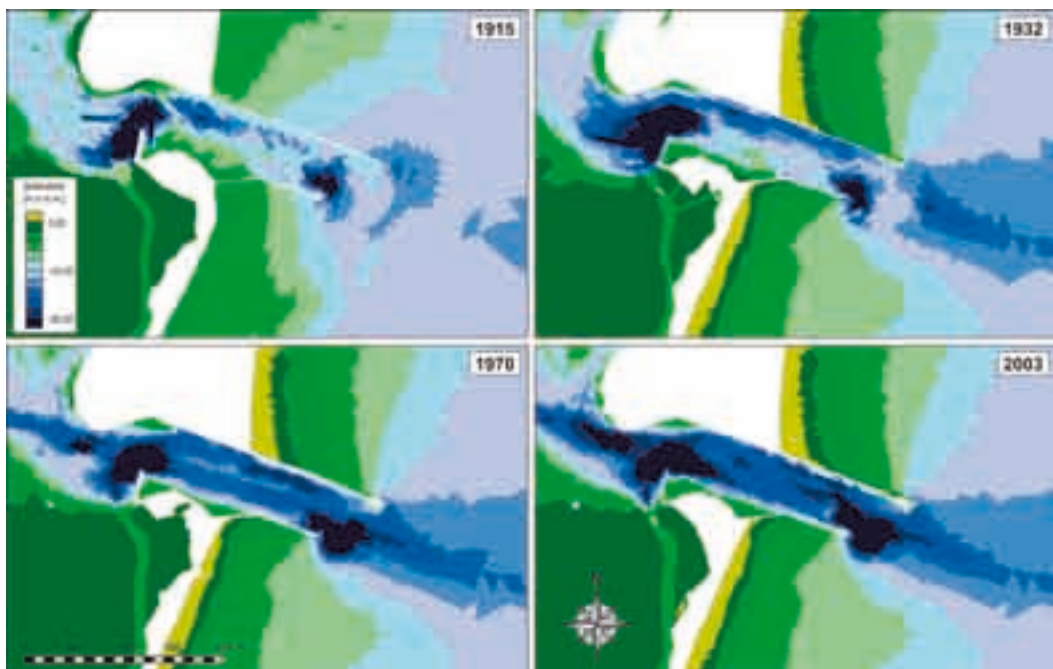


Fig. 7.37 - Evoluzione dei fondali alla bocca di Malamocco mediante il confronto tra le batimetrie a scala di colori rilevate a partire dai primi anni del Novecento (1915) e fino ai giorni nostri (2003).

In prima approssimazione poco più del 30% di questo incremento ($1450 \text{ m}^3/\text{s}$) è dovuta alla costruzione dei moli alla bocca e al relativo assestamento dei fondali del canale portuale fino ai primissimi decenni del secolo passato. Gli altri $3800 \text{ m}^3/\text{s}$, invece, sono sostanzialmente il risultato a lungo termine (poco meno di 100 anni) del generale approfondimento dei fondali nella parte centrale della laguna e della costruzione del canale navigabile Malamocco-Marghera.

Nell'immediato lo scavo del canale si è tradotto in un incremento della portata massima scambiata con il mare di circa un migliaio di m^3/s . Con l'andare del tempo, tuttavia, a seguito del progressivo incremento dei fondali della bocca, ma anche delle zone d'acqua di tutta la parte centrale della laguna, la portata massima è ulteriormente aumentata, fino a raggiungere il valore indicato di $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ per lo stato esistente all'inizio degli interventi previsti dal progetto per la difesa dalle «acque alte».

Di questa progressiva, accresciuta, attività della bocca di Malamocco è testimonianza indiretta l'evoluzione nel tempo dei suoi fondali, chiaramente segnalata dal confronto, illustrato attraverso alcune mappe a scala di colori, delle profondità lungo il canale portuale dopo la co-

struzione dei moli, a partire dal 1915, epoca del primo accurato rilievo dopo la realizzazione dei moli, per arrivare al 2003 (Fig. 7.37).

Gli effetti delle grandi opere realizzate dall'uomo nel corso dei due ultimi secoli, brevemente delineati con riferimento al comportamento idrodinamico della laguna, dovrebbero far riflettere, e molto, sulle conseguenze potenziali degli ulteriori interventi alle bocche ora in fase di costruzione, qualora essi non fossero stati attentamente valutati in tutti i loro molteplici aspetti, non ultimi quelli sul medio e sul lungo periodo per la laguna.

Sarebbe quanto mai disdicevole se, come è avvenuto per coloro che ci hanno preceduto, fosse la laguna a insegnare qualcosa sul suo effettivo comportamento anche all'uomo moderno e supertecnologico, smentendo, quando potrebbe però essere ormai troppo tardi, la validità dalle previsioni e l'efficacia, per il sistema lagunare nel suo complesso, delle nuove opere alle bocche, nonostante la dovizia di mezzi economici e la disponibilità di molti avanzati e ambiziosi strumenti di simulazione virtuale.

Potrebbe essere un insuccesso determinato dall'insufficienza delle nostre conoscenze, ma non è da escludere, che esso possa essere soprattutto il risultato della nostra supponenza.

8. IL RUOLO IDRAULICO DELLE VALLI DA PESCA

Ai margini del bacino lagunare sono ancor oggi presenti molte valli da pesca. Si tratta di strutture produttive che, pur interessando zone diverse, da tempi immemorabili sono insediate all'interno della laguna. Le valli da pesca occupano attualmente una superficie complessiva di circa 90 km² (Fig. 8.1), di un qualche rilievo rispetto alle aree ricomprese entro la conterminazione, ma decisamente inferiore a quella che fu rilevata a suo tempo (1844) quando, per incarico del governo austriaco, De Bernardi eseguì un accurato e puntuale rilievo di queste realtà (De Bernardi 1844).

All'epoca di quella ricognizione, infatti, le valli completamente arginate o semi arginate (Fig. 8.2) si estendevano su di una superficie complessiva di circa 130 km², esclusi gli specchi d'acqua delle cosiddette «valli da ostriche» (si veda nota 63).

Da sempre al centro di molte discussioni in relazione al loro possibile ruolo negativo sul buon regime idraulico della laguna, le valli da pesca sono state nuovamente riportate all'attenzione dell'opinione pubblica nell'acceso dibattito seguito alla grande alluvione del novembre 1966 e sono tutt'ora coinvolte in molte vivaci polemiche. Prova ne sia che la questione delle valli e dei loro rapporti idraulici con la laguna fu ritenuta così importante da essere inserita in modo specifico all'interno della legislazione speciale su Venezia, addirittura con l'indicazione perentoria della loro restituzione alla libera espansione della marea⁶¹ al fine di ridurre i massimi livelli nel centro storico.

⁶¹ La Legge Speciale su Venezia n. 171 del 16 aprile 1973 *Interventi per la Salvaguardia di Venezia* all'Art. 3, riguardante il Piano Comprensoriale, stabilisce le direttive da osservare nel territorio del comprensorio per la formazione e l'adeguamento degli strumenti urbanistici. Il punto d) di tali direttive riguarda l'apertura delle valli da pesca ai fini della libera espansione della marea su di esse.

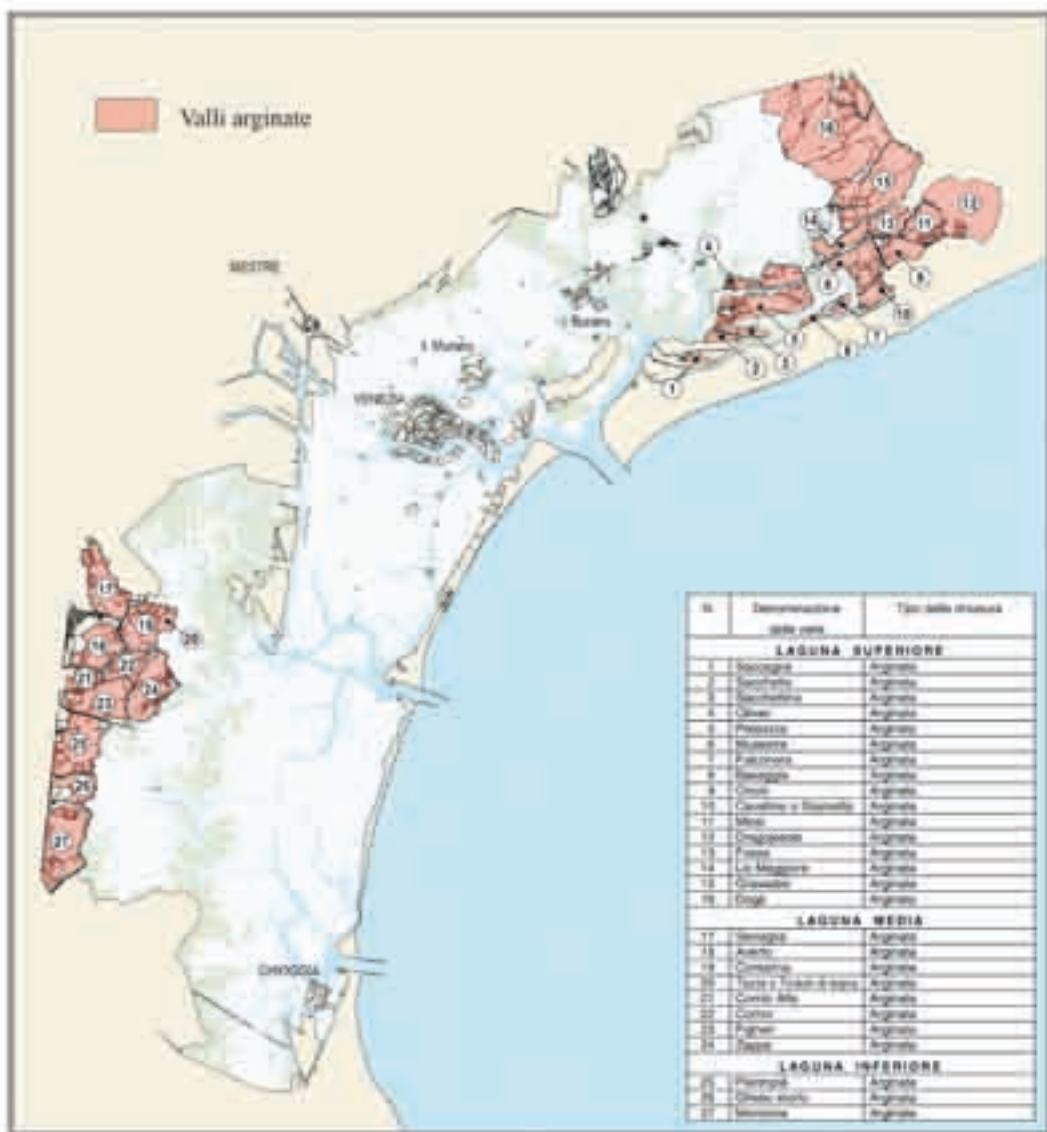


Fig. 8.1 - Le valli da pesca presenti attualmente all'interno della conterminazione della laguna di Venezia.

In verità anche in questo caso, come in altre situazioni riguardanti Venezia e la sua laguna, sembra essere prevalsa nel legislatore la spinta emotiva del momento, più che un giudizio basato sulla razionalità del provvedimento e sul suo effettivo significato idraulico.

La riapertura delle valli da pesca alla libera espansione della marea è cavalcata da frange del mondo ambientalista, che a volte non sembrano nemmeno acculturate sui problemi dell'idrodinamica lagunare, ma

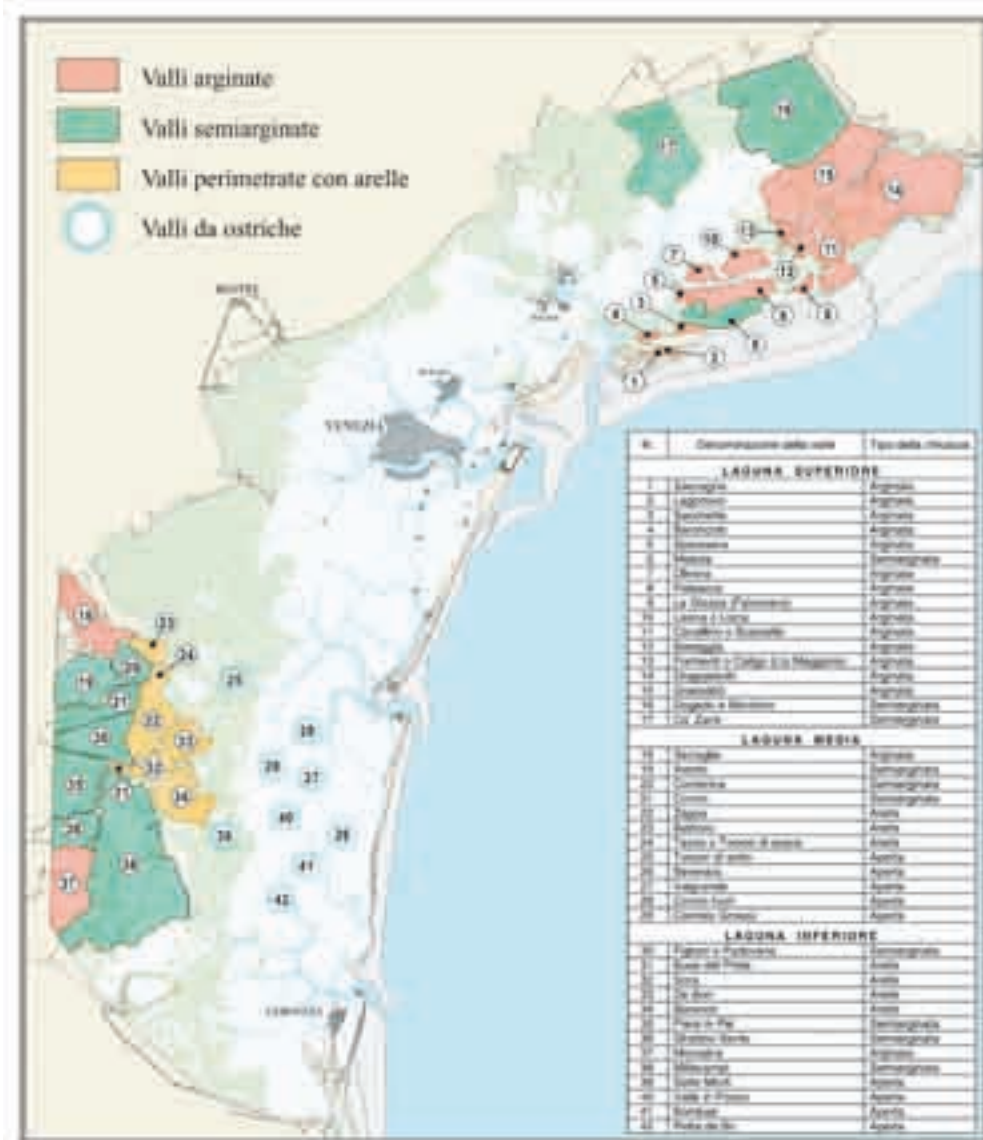


Fig. 8.2 - Le valli da pesca presenti all'interno della conterminazione della laguna di Venezia all'epoca di De Bernardi (1844).

che sono capaci di mescolare nella dibattuta questione argomentazioni condivisibili con altre che, con molta benevolenza, si potrebbero definire tecnicamente e scientificamente inconsistenti, ovviamente volgendo l'attenzione alle sole questioni del moto delle acque all'interno della laguna, che vuole rimanere il filo conduttore di questo contributo conoscitivo, pur con qualche inevitabile divagazione.

Può conseguentemente essere di qualche interesse esaminare quale

sia oggi il ruolo idraulico reale e potenziale delle valli da pesca rimaste all'interno della conterminazione lagunare, inquadrandolo nel contesto dei molti problemi che si devono affrontare, e valutare in quale misura un loro eventuale modificato rapporto con la laguna potrebbe intervenire nel dare soluzione ad alcune delle questioni attorno alle quali si discute.

Attraverso questa analisi non si vuole in alcun modo spingere nella direzione di violare la Legge Speciale su Venezia, come da alcune parti si ritenne quando molti anni or sono, indagando sulla questione della difesa dalle «acque alte», si ragionava intorno agli effetti idraulici di una ipotetica separazione del bacino di Lido da quello di Malamocco. Molto più semplicemente si vuole portare qualche informazione aggiuntiva rispetto a quelle che abitualmente si citano e concorrere, se possibile, alla formazione di un'opinione fondata su elementi oggettivi, non condizionata dal sentimentalismo.

Parlando delle valli, non si vuole in alcun modo ripercorrere la storia e lo sviluppo delle attività volte all'allevamento del pesce all'interno della laguna, attività che, come si è accennato, risalgono a tempi molto lontani.

Basti solo ricordare al riguardo che già prima dell'anno mille il famoso monastero di S. Ilario possedeva ai margini della laguna specchi d'acqua indicati come *valles piscium* e che il doge Vitale I Michiel donava nel 1098 al monastero di S. Benedetto del Po Vecchio un'area lagunare, identificata come *Piscaria Cornium*, confinante con un'altra valle, detta *Maggiore*, che era però di proprietà demaniale (*de nostro palatio*) (Ministero dei Lavori Pubblici e Ministero dell'Agricoltura 1937).

Accanto a queste, ovviamente, moltissime altre citazioni storiche fanno riferimento alle valli presenti all'interno della laguna in secoli lontani dal nostro. Di esse si parla, tra gli altri, in un documento del Magistrato dei Pregadi del 1425 e ancora in un documento del 1535, secondo il quale le valli presenti all'interno della laguna in quel momento storico sarebbero state addirittura 71 (Ministero dei Lavori Pubblici e Ministero dell'Agricoltura 1937).

Tra il XV e il XVII secolo le valli da pesca, la loro dislocazione e i loro effetti idraulici, giudicati negativi per la salvaguardia della laguna, furono al centro di vivaci discussioni che si sovrapposero alla ben più decisiva questione della diversione dei fiumi. Ne derivarono non pochi provvedimenti contro le valli da pesca da parte del Senato della Repubblica, con decisioni che determinarono, in alcuni casi, addirittura la forzata riapertura alla libera espansione della marea degli specchi d'acqua perimetrati, in altri, qualche parziale riammissione, ma solo in situazioni in cui la presenza di tali strutture produttive non fosse giudicata pregiudizievole per il buon regime idraulico della laguna.

Pur non disponendo né di indicazioni cartografiche attendibili sull'ubicazione delle valli in quei secoli, né di loro elenchi affidabili, numerosi riferimenti scritti portano a ritenere che, diversamente da oggi, nella laguna media e nella laguna inferiore le valli da pesca fossero insediate nella cosiddetta laguna viva, ovvero in quella parte del bacino lagunare che più direttamente era funzionale al regime degli scambi di portata mare-laguna e che, proprio per questo, la Repubblica, dopo le incertezze iniziali, aveva deciso di assoggettare a una rigorosa politica di salvaguardia.

Prima dell'estromissione dei fiumi, infatti, gli specchi d'acqua della retrostante laguna morta erano sostanzialmente inadatti a questa funzione produttiva. Innanzitutto per le loro caratteristiche morfologiche, essendo le superfici della laguna morta per lo più formate da barene (non sommerse dalle acque se non durante le fasi di spinta alta marea) con interclusi specchi d'acqua di modesta estensione. In secondo luogo per la qualità delle acque, fortemente dolcificate dalle portate immesse dal bacino scolante, e per le difficoltà di carattere idrodinamico incontrate dalle acque salate introdotte dal mare a penetrarvi, in modo da garantire un ricambio accettabile e maggiori concentrazioni saline.

In un tale contesto trova spiegazione la severità dei provvedimenti adottati dalla Repubblica in opposizione alle valli. Eventuali strutture di confinamento e arginelli, ancorché realizzati con strutture di modesta potenza e con materiali parzialmente permeabili al flusso delle correnti, come potevano essere considerati i graticci di arelle utilizzati per la perimetrazione degli specchi d'acqua, sottraevano comunque superfici a una efficace espansione della marea ed erano causa di una riduzione degli scambi mare-laguna, per le non trascurabili resistenze idrauliche che comunque tali strutture comportavano.

Dopo l'estromissione dei fiumi dalla laguna, il quasi totale annullamento dell'apporto di sedimenti e i fenomeni di sommersione hanno modificato la morfologia del bacino lagunare, comportando un progressivo ampliamento degli specchi d'acqua nella laguna morta, che divennero molto più appetibili rispetto al passato e anche maggiormente vocati alle attività della piscicoltura, non ultimo per la contemporanea accresciuta marinizzazione dell'ambiente.

Furono verosimilmente questi cambiamenti di carattere idraulico a favorire progressivamente l'insediamento delle valli da pesca ai margini della conterminazione, in posizioni non dissimili da quelle che attualmente si osservano.

Strutture quindi, quelle delle valli, decisamente antiche, che fin dalle loro origini si sono caratterizzate per essere state in alcuni casi di

proprietà dello Stato, ovvero demaniali, in altri di proprietà privata, con un titolo spesso derivante da provvedimenti del Senato verso singoli cittadini in segno di riconoscenza per i servizi prestati alla Repubblica.

È sufficiente al riguardo far riferimento a Valle della Morosina, una tra le più antiche valli arginate della laguna, che faceva parte dei fondi «dati in paga» a Mathosello Malatesta da Cesena dal magistrato dei Camerlenghi (1472).

La situazione appena ricordata sulla proprietà delle aree vallive all'interno della laguna non è diversa nella sostanza da quella attuale, che vede la questione della demanialità o meno delle valli al centro di un annoso contenzioso tra lo Stato, che ne rivendica la proprietà, e il privato che le controlla, il quale ritiene invece proprio il diritto di poterne godere e disporre in modo pieno ed esclusivo.

Ciò premesso, lasciando gli aspetti storici e giuridici sui quali ci si è brevemente soffermati per fornire una minima idea su questioni sicuramente non secondarie, punto di partenza di un ragionamento di carattere idraulico significativo intorno alla funzione delle valli da pesca può essere considerata la situazione esistente all'interno della laguna nel 1841, quando fu approvato dal governo austriaco, che reggeva le sorti della città, il famoso regolamento di polizia lagunare⁶².

Il regolamento, come ricorda Magrini nella sua prefazione alla riedizione della carta di De Bernardi, riassumeva tutte le leggi, terminazioni e ordini emanati dalla Repubblica a difesa della laguna dai danni determinati dalla mano dell'uomo per l'esecuzione di lavori che, citando testualmente, «ne restringano la ampiezza e ne diminuiscano la profondità, o facciano ostacolo al libero movimento della marea». In esso si ordinava, fra l'altro, l'esecuzione di una ricognizione delle opere esistenti in laguna, con le finalità di individuare, in particolare, quelle che fossero in contrasto con le prescrizioni emanate e fossero ritenute pregiudizievoli per la sua conservazione, fissando al proprietario un termine per la eventuale distruzione delle opere stesse o per la neutralizzazione dei loro effetti negativi.

L'ingegnere De Bernardi, al quale era stato affidato il delicato incarico, completò la sua ricognizione sulle valli nei termini assegnatigli, sintetizzando in una pregevole mappa la situazione rilevata nel corso dei sopralluoghi.

⁶² Il 20 dicembre 1841 l'Imperial Regio Governo di Venezia approvava il *Regolamento per impedire i danni che vengono recati alla laguna di Venezia*, il più delle volte citato come *regolamento di polizia lagunare*. Questo regolamento rimase in vigore fino al 1936, quando fu sostituito dalle *Norme relative alla polizia della laguna di Venezia* contenute nel R.D.L. n. 1853 del 18 giugno 1936, convertito poi nella legge n. 191 dell'8 gennaio 1937.

Assumendo come base cartografica la carta della laguna di Emo (Fig. 3.10), De Bernardi riportò nei suoi elaborati quanto di diverso emergeva con riferimento a quel rilievo, accompagnando le verifiche sul campo con molte note e commenti interessanti, nei quali venivano puntualmente segnalate le opere e gli interventi che erano in contrasto con la normativa da poco emanata e si suggerivano i provvedimenti da adottare, fino a prevedere, in non pochi casi, la rimozione o la distruzione delle strutture non regolarmente autorizzate, per lo più realizzate negli anni seguiti alla stesura della carta di Emo.

L'ubicazione all'interno della laguna delle valli esistenti in allora è schematicamente illustrata nella già citata Fig. 8.2, distinguendo tra le quattro diverse tipologie adottate da De Bernardi per classificarle⁶³.

È subito da rilevare che in alcuni casi la classificazione suggerita per le singole valli non è sempre condivisibile, essendo indicate come arginate valli che in realtà non lo sono, data l'estensione dei tratti che risultano presidiati con graticci di canna palustre. Esempi in tal senso si possono facilmente individuare consultando congiuntamente le carte del rilievo cartografico eseguito e la monografia descrittiva che le accompagna. Tra le altre sembra difficile classificare come arginate in quel tempo alcune valli di grande estensione, quali sono ad esempio Valle Grassabò e Valle Cavallino, nella laguna superiore, o Valle Serraglia, nella laguna media.

Pur con qualche imprecisione, emergono in ogni caso, rispetto alla situazione attuale, importanti differenze, sulle quali conviene soffermar-

⁶³ Le valli esistenti nel 1843-44 furono classificate da De Bernardi nelle seguenti quattro diverse tipologie: *valli arginate*, *valli semiarginate*, *valli chiuse ad arelle* e *valli da ostriche*. Le prime, a volte indicate nei documenti anche come *valli chiuse a stagno*, erano generalmente situate ai margini della laguna o all'interno di aree delimitate da dossi sopraelevati, come si verifica in molti casi nella laguna superiore. Esse erano contornate da argini in terra, posti a quota superiore alle alte maree, ed erano in comunicazione con la laguna attraverso varchi di limitata larghezza presidiati con graticci di canna palustre, le cosiddette *cogolere*. Le *valli semiarginate* avevano solo una parte del loro perimetro di conterminazione formata con argini in terra, presentando ampi tratti formati con *paré di grisiolle*, permeabili quindi al flusso della marea. Le *valli chiuse ad arelle*, sicuramente le più antiche e caratteristiche della laguna, erano invece completamente perimetrate con queste tipiche strutture, formate con mazzetti di canna palustre accostati e collegati tra loro. Infissi nel terreno su di un arginello di terra appositamente preparato (la cosiddetta *scassa*), i *paré* erano sostenuti e rinforzati mediante pali di castagno, collegati trasversalmente da più ordini di pertiche orizzontali con funzione di appoggio per gli elementi verticali di canna palustre. Le *valli da ostriche*, infine, erano veri e propri tratti di laguna aperta, delimitati da canali o ghebbi naturali e da qualche palo che ne individuava il limite lungo le restanti parti del perimetro. Le valli in questi casi erano riconoscibili solamente per la presenza delle cosiddette *motte de cason* o delle *cavane*, strutture queste ultime destinate a fungere da ricovero per le barche.

si soprattutto con riferimento al diverso rapporto idraulico valli-laguna riscontrato da De Bernardi nel momento del proprio rilievo.

Mentre nella laguna superiore quasi tutte le valli risultavano effettivamente arginate⁶⁴, nella laguna media e in quella inferiore solo due delle valli esistenti si presentavano in queste condizioni, riscontrandosi per le altre lunghi tratti, quando non addirittura tutto il perimetro, formati con strutture permeabili al flusso delle correnti. In tali condizioni le superfici interne delle valli non erano completamente sottratte alla propagazione della marea, che vi si poteva espandere, incontrando resistenze idrauliche più o meno importanti nel superamento delle strutture di confinamento.

Rispetto alla situazione rilevata, non è di secondaria importanza l'obbligo imposto dal regolamento in allora vigente di rimuovere, almeno durante una parte dell'anno, i tratti di perimetro costituiti con graticci di arelle, in modo da eliminare qualsiasi ostacolo alla libera espansione della marea negli specchi d'acqua retrostanti. Nei riguardi delle strutture di confinamento, inoltre, è da ricordare che il diritto di chiusura delle valli non era definitivo, ma era vincolato al permesso che di anno in anno il governo austriaco concedeva. Era quindi quello della perimetrazione delle valli un diritto limitato nel tempo.

Una esemplificazione delle strutture di confinamento delle valli, arginate o non che fossero, è illustrata nelle Fig. 8.3-8.4, tratte dalle carte di De Bernardi e riferibili rispettivamente a Valle della Morosina (valle arginata della laguna inferiore, Fig. 8.3) e a Valle Contarina (valle della laguna media presidiata con graticci di arelle su buon tratto del perimetro, Fig. 8.4). Sono chiaramente identificabili gli argini esistenti, i tratti perimetrati formati con paré di graticci di arelle e i varchi presidiati dalle «cogolere», dove le strutture, a loro volta realizzate con elementi di canna palustre, erano convenientemente rinforzate e assumevano un caratteristico sviluppo planimetrico a triangoli accostati, con vertici disposti in modo alternato ora verso l'interno, ora verso l'esterno della valle.

Volendo fornire qualche indicazione sul comportamento idraulico della laguna all'epoca del censimento delle valli, si può far riferimento ai risultati ottenuti per la configurazione relativa agli inizi dell'Ottocento, appena qualche decennio prima, in una condizione coincidente in pratica con quella, trascurando in prima approssimazione la resistenza al moto offerta dai graticci di arelle alla propagazione delle correnti di marea.

⁶⁴ Solo le maggiori valli della laguna superiore presentavano lunghi tratti del loro perimetro non formati con argini in terra. Le più piccole, invece, in modo particolare quelle addossate al litorale di Lio Piccolo-Treporti erano già allora confinate con strutture in terra.



Fig. 8.3 - La perimetrazione con argini in terra di Valle della Morosina, secondo il rilievo di De Bernardi.

Si è già accennato alla forte riduzione in termini di ampiezza e di altezza dei colmi subita dalla marea nella sua propagazione all'interno della laguna ottocentesca e in particolare nel superamento della fascia di barene che si interponeva tra il limite della laguna viva e il perimetro delle valli. Nello specifico, pur supponendo del tutto trascurabile la resistenza localizzata al moto che si manifesta nel superamento delle parti di perimetro permeabile, l'onda di marea giunge al limite delle valli così attenuata da comportare un ridotto regime di scambi di portata con gli specchi d'acqua retrostanti le fasce di barena.

Ne sono concreta dimostrazione da una parte l'andamento delle linee involuppo dei livelli massimi ottenuti dal calcolo per le parti di bacino lagunare prospicienti le valli (Fig. 8.5), dall'altra la distribuzione dei livelli istantanei di marea e i relativi gradienti spaziali (Fig. 8.6), entrambi indicativi della modesta attività delle correnti in queste zone.



Fig. 8.4 - La perimetrazione di Valle Contarina secondo il rilievo di de Bernardi. Il confinamento è costituito in parte da argini in terra, in parte da graticci di arelle.

La scarsa vivacità delle correnti a ridosso degli specchi d'acqua occupati dalle valli è del resto ripetutamente segnalata dallo stesso De Bernardi nelle minuziose note di accompagnamento della propria carta. Il quadro effettivo della compartecipazione complessiva delle valli da pesca al regime idrodinamico dell'intera laguna è, tuttavia, ancora peggiore di quanto evidenziato dalle simulazioni numeriche nelle ipotesi sopra considerate.

Recenti esperienze, condotte in una canaletta di laboratorio presso il Dipartimento IMAGE (Stefanon 2007) per valutare sperimentalmente i fenomeni di resistenza localizzata offerti da un graticcio di arelle del tutto simile a quelli che un tempo erano diffusamente utilizzati per la perimetrazione delle valli, hanno permesso di riscontrare che i valori del coefficiente caratteristico di perdita di carico localizzata di queste strutture è dell'ordine di $100 \div 150^{65}$.

Ancorché supposti puliti e non intasati dal materiale flottante nella colonna d'acqua, durante le fasi di più rapida variazione dei livelli i graticci utilizzati producono apprezzabili differenze istantanee di livello tra gli specchi d'acqua separati, differenze che si incrementano nel caso di intasamento dei graticci stessi.

⁶⁵ Il coefficiente caratteristico di perdita di carico localizzata moltiplicato per il carico cinetico della corrente ($U^2/2g$ essendo U la velocità della corrente) determina il dislivello istantaneo che si instaura tra le superfici liquide delle due parti di laguna separate dal graticcio di arelle, causato dalla presenza delle arelle stesse. Tradotto in un effetto di resistenza continua su di una maglia delle dimensioni di quelle dei reticoli di calcolo dei modelli matematici utilizzati (~ 20 m lungo i perimetri delle valli), tale coefficiente equivale a valori del coefficiente di scabrezza secondo Strickler di $5 \div 6$ volte inferiore a quelli normalmente utilizzati ($25 \div 30$ $m^{1/3}s^{-1}$) per descrivere i fenomeni di resistenza al fondo incontrati dalla corrente di marea nei bassifondi della laguna.



Fig. 8.5 - Inviluppo dei massimi livelli di marea nella laguna superiore nei primi decenni dell'Ottocento per la marea di riferimento considerata.

Per questi aspetti può essere significativo riprendere alcune osservazioni condotte verso la fine degli anni venti del secolo passato in corrispondenza del perimetro di Valle Grassabò (Ministero dei Lavori Pubblici e Ministero dell'Agricoltura 1937), con lo scopo di determinare le differenze dei livelli di marea causati proprio dal superamento delle strutture di confinamento formate con paré di grisiole.

All'interno della valle, nel superamento del perimetro formato con elementi di canna palustre, colmi e cavi di marea risultano fortemente ridotti rispetto all'esterno (Fig. 8.7), a conferma dei risultati della sperimentazione di laboratorio citata.

Al tempo di De Bernardi conseguentemente le valli potevano considerarsi di fatto idraulicamente sottratte alla propagazione della marea e poco influenti sul comportamento idrodinamico delle restanti parti della laguna.

Pur essendo geometricamente alquanto più estesa della laguna attuale, la laguna ottocentesca era in realtà idraulicamente molto più pic-



Fig. 8.6 - Gradienti istantanei dei livelli di marea nella laguna superiore nei primi decenni dell'Ottocento per la marea di riferimento considerata.

cola. È perciò pienamente condivisibile l'osservazione di Leone Cisotto (Cisotto 1964), che indica un mutamento sostanziale del ruolo idraulico delle valli da pesca nel momento in cui esse furono spostate dalla loro posizione primitiva, che le vedeva occupare ampi specchi d'acqua della laguna viva, a quelle successive, in particolare alla situazione ottocentesca, in cui queste strutture erano per lo più dislocate entro la laguna morta, ai margini del bacino, come è del resto nello stato attuale.

Non è privo di interesse, quantomeno come nota di costume sulla quale riflettere anche con riferimento ai nostri tempi, ricordare che nelle sue osservazioni De Bernardi riporta e commenta l'esistenza di numerose violazioni del regolamento di polizia lagunare, alcune legate alla realizzazione di opere di scarso o nessun significato idraulico, e per questo giudicate tollerabili, altre determinate da interventi di maggiore rilevanza, al punto da doverne prescrivere la completa rimozione.

Niente di più improbabile e velleitario. Prova ne sia il confronto con la situazione delle valli documentata dal rilievo batimetrico della laguna

del 1901, che riporta per le valli esistenti all'inizio del secolo la condizione del loro perimetro accanto al numero e al tipo di collegamento con le restanti parti del bacino lagunare.

Le valli censite dalla carta idrografica del 1901 (Fig. 8.8) sono complessivamente 34, contro le 42 citate da De Bernardi. Emergono alcune differenze rispetto a quest'ultima situazione, essendo indicata tra le altre come valle arginata della laguna superiore Valle Lanzoni. Non sono, invece, più individuate le «valli da ostriche» della laguna media e della laguna inferiore, riportate dal censimento del 1844.

Sono modificate in alcuni casi le strutture di collegamento con la laguna. Per alcune valli (Liona, Sparesera, Baroncolo, Lanzoni) scompaiono del tutto le cogolere e i varchi di comunicazione con la laguna sono ora presidiati da chiaviche regolabili. Per altre, le più numerose, cogolere e chiaviche sono contemporaneamente presenti e garantiscono insieme gli scambi d'acqua necessari alla gestione degli specchi d'acqua perimetrati.

L'osservazione più importante che il confronto suggerisce riguarda però la permanenza della quasi totalità delle strutture che secondo De Bernardi dovevano essere rimosse. Anzi, se un commento si può fare, nel caso di alcune delle valli cartografate si estendono ulteriormente le parti di perimetro formate con argini in terra.

Guardando agli aspetti operativi, le cause dell'accresciuta presenza degli argini come elemento di perimetrazione delle valli sono molteplici. Innanzitutto la difficoltà di reperire in loco i materiali utilizzati per forma-



Fig. 8.7 - Dislivelli di marea misurati a Valle Grassabò a cavallo del paré di grissiole che la separava dalla laguna negli anni '20 del secolo passato.

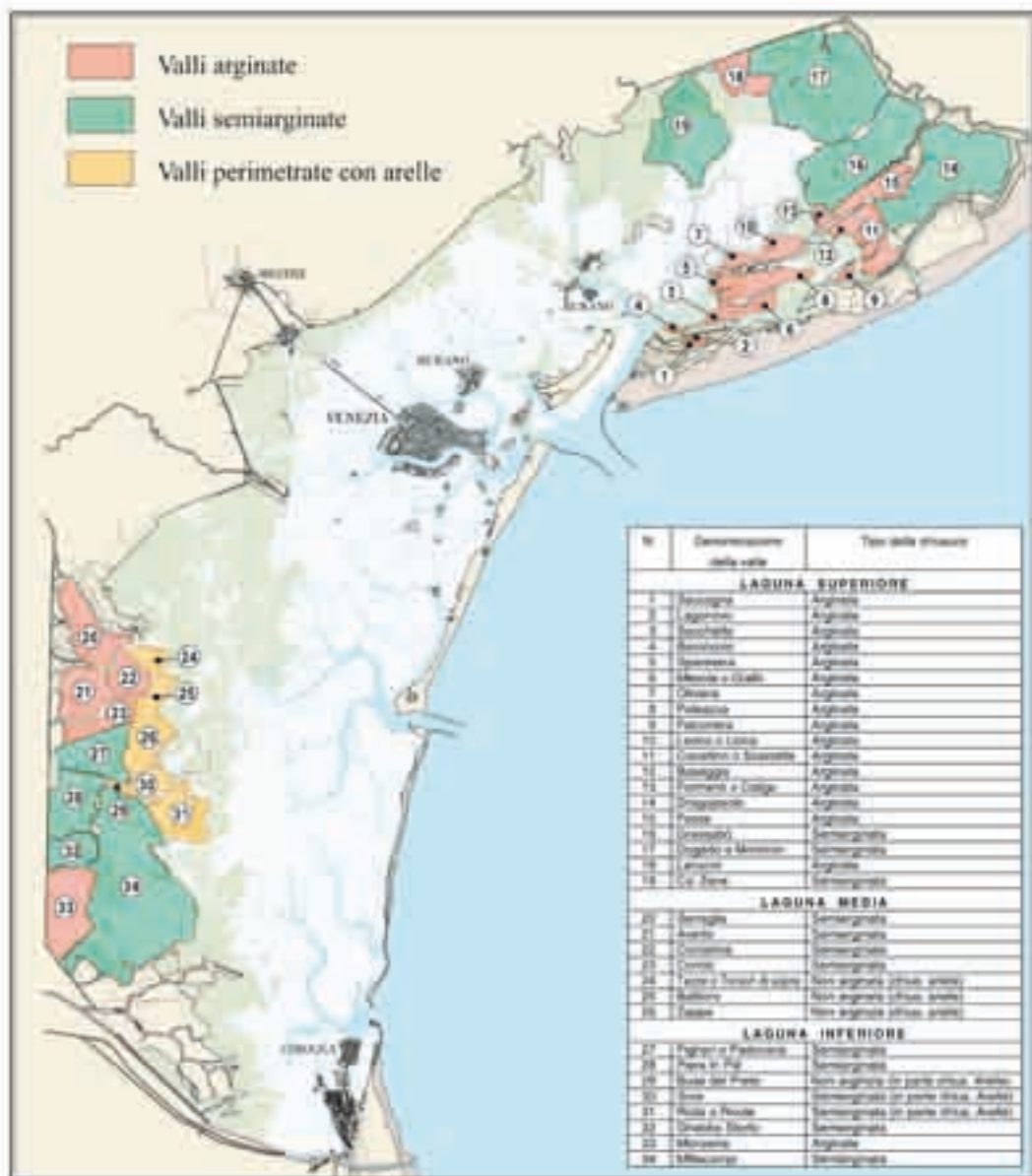


Fig. 8.8 - Le valli da pesca presenti all'interno della conterminazione della laguna di Venezia secondo la carta idrografica del 1901.

re i paré di grisiole in una laguna con acque decisamente marinizzate per la drastica riduzione degli apporti d'acqua dolce da parte dei fiumi, secondariamente la progressiva riduzione della manodopera specializzata in grado di utilizzarli e, parallelamente, i costi crescenti di queste maestranze.

In un tale contesto, tuttavia, non è fuor di luogo segnalare che nell'Ottocento, prima, e nel Novecento, poi, si è forse stati sempre ben lontani dalla severità con cui la Repubblica agiva per far rispettare le proprie disposizioni in campo idraulico.

Leggendo molta della documentazione disponibile sulle valli da pesca è netta l'impressione che negli ultimi due secoli sia spesso mancata da parte degli organi di controllo l'effettiva volontà di sanzionare nel concreto gli abusi perpetrati. Molto probabilmente, come afferma Cisotto (Cisotto 1964), non pochi ritenevano superato l'antico ostracismo della Repubblica verso le valli da pesca, in ragione del maggior dinamismo idraulico complessivo della laguna rispetto al passato.

Probabilmente per questo motivo, ma soprattutto per aspetti economici non proprio trascurabili che vedevano i vallicoltori veneziani fortemente penalizzati rispetto agli altri operatori dediti alle stesse attività in ambienti non altrettanto sorvegliati, si ritenne ragionevolmente applicabile alle valli da pesca della laguna una maggiore tolleranza rispetto a quanto consentito dai regolamenti, non considerando quasi mai pregiudicata dagli interventi realizzati la funzionalità idraulica della laguna stessa.

L'osservazione trova conferma negli accadimenti dei decenni tra le due guerre, che hanno visto nel concreto prender piede da parte dei gestori delle valli comportamenti non proprio rispettosi del vecchio regolamento di polizia lagunare, che si sono protratti ben oltre l'emanazione e l'approvazione della nuova normativa in materia (1937).

In tal senso è di un qualche interesse confrontare la situazione delle valli da pesca nel 1937, rappresentata nella cartografia schematicamente illustrata in Fig. 8.9⁶⁶ (Ministero dei Lavori Pubblici e Ministero dell'Agricoltura 1937), con quanto riportato nella relazione in data 10 agosto 1943 a cura del Magistrato alle Acque (Magistrato alle Acque 1943) e nel successivo voto n. 232 di approvazione del Comitato Tecnico di Magistratura in data 22 dicembre 1944 (Magistrato alle Acque 1944).

Il primo documento è in pratica l'ultimo tentativo in campo tecnico di porre ordine in modo organico a una attività importante per gli

⁶⁶ Il confronto con la situazione delle valli nel 1901 mette in evidenza alcune variazioni. Innanzitutto non sono più indicate nella laguna superiore le Valli Lanzoni, Ca' Zane e Fosse, la quale ultima è però ricompresa entro Valle Dragojesolo. Egualmente non evidenziata è Valle Perini, che esiste, ma è esterna alla conterminazione. Sempre nella laguna superiore, Valle Grassabò, semiarginata secondo il censimento del 1901, è ora inclusa tra le valli completamente arginate. Nella laguna media ricompare Valle de Bon come valle semiarginata, mentre sono nuovamente segnalate le posizioni delle *valli da ostriche*, non indicate dalla carta del 1901.

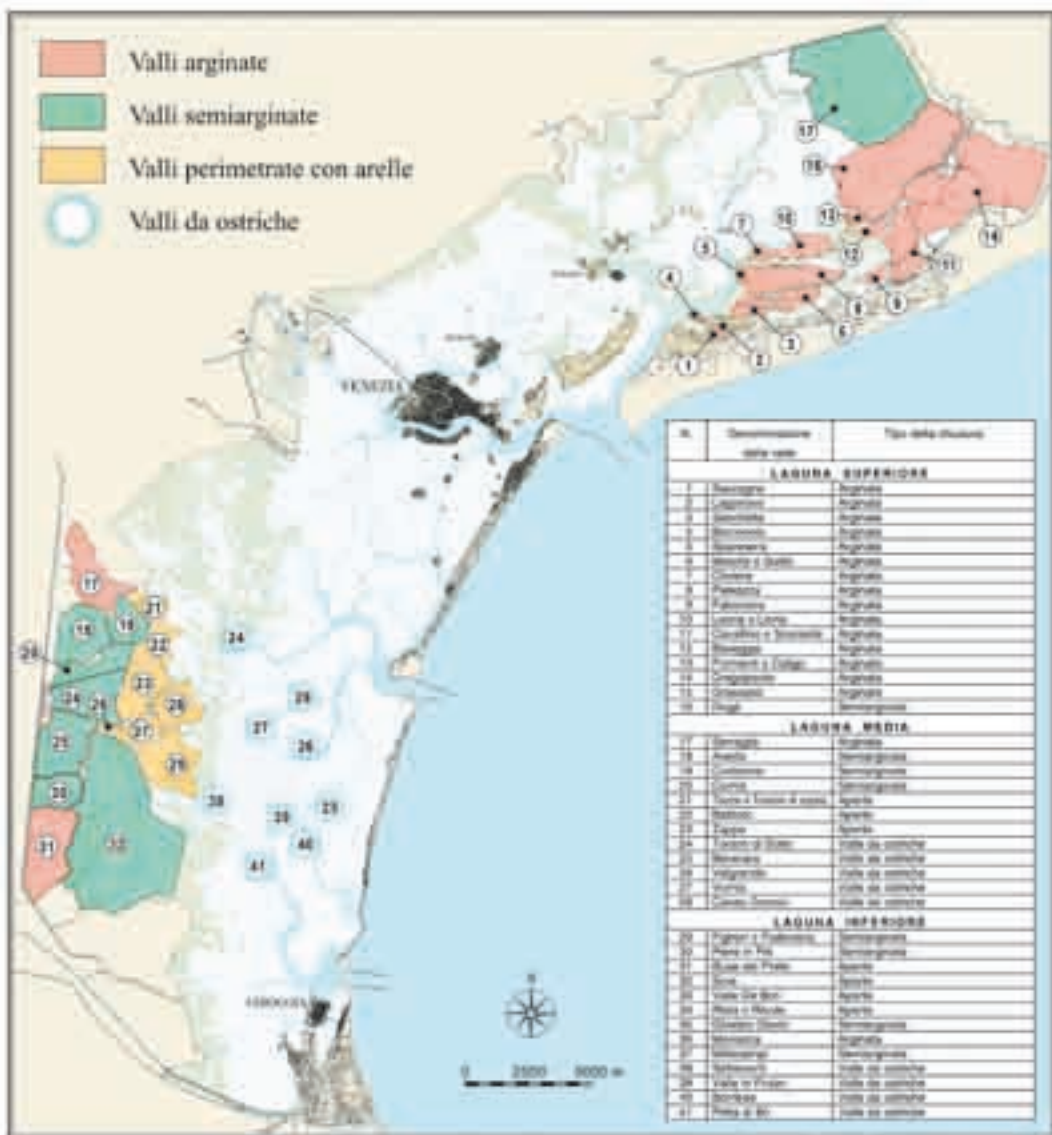


Fig. 8.9 - Le valli da pesca presenti all'interno della conterminazione della laguna di Venezia nel 1937 (Ministero dei Lavori Pubblici e Ministero dell'Agricoltura 1937).

aspetti economici, ma inserita in un sistema ambientale per molti aspetti sensibile e quindi da regolamentare con rigore.

I documenti citati riconoscono alcune necessità dei vallicoltori nei riguardi della possibilità di realizzare opere che consentano un miglioramento dell'esercizio della pesca, ribadendo nel contempo alcuni principi irrinunciabili a salvaguardia della laguna e del suo miglior regime

idraulico. In ottemperanza a tali concetti, per alcuni interventi del passato eseguiti abusivamente è richiesto il ripristino dello stato preesistente, per altri, ritenuti compatibili con il miglior regime lagunare, è invece accettata e approvata a sanatoria l'esistenza.

È inoltre ammesso il cosiddetto «asserragliamento» delle valli semiarginate, consistente nella sostituzione con argini in terra delle antiche strutture di confinamento in graticci di arelle, troppo deboli per fronteggiare, senza essere distrutte, le sollecitazioni indotte dall'alternarsi delle maree e dalle onde generate dal vento, oltre che di problematica manutenzione per la difficoltà di reperire in laguna i materiali necessari. Con l'asserragliamento è autorizzato l'inserimento negli argini di perimetrazione in terra di batterie di luci, presidiate da griglie metalliche, destinate a garantire adeguati scambi d'acqua con la laguna.

Di queste strutture, adottate per la prima volta in via sperimentale sul perimetro a laguna di Valle Dogà, e delle loro caratteristiche geometriche restano ancor oggi alcune tracce, come quelle presenti su di un tratto di perimetro di Valle dell'Averto, che si affaccia sul canale di Lugo.

Senza dilungarsi nel dettaglio dei singoli provvedimenti ammessi dai piani organici presentati e approvati dal Magistrato alle Acque, che contemplavano tra l'altro lo scavo e la ricalibrazione di non pochi canali lagunari per attivare il ricambio delle acque nelle zone di laguna più decentrate rispetto alle bocche, basti ricordare che essi prevedevano di:

- abbandonare alla libera espansione della marea alcune delle valli da pesca esistenti (Vallone, Rivola, Battioro, Sacchetta, Sacchettina, Zalo, Falconera e una tra le valli Micei, Orcoli e Fosse), a compensazione idraulica di un migliore asserragliamento di altre, adottando opere simili a quelle approvate per Valle Dogà. Il provvedimento si applicava in alcuni casi a valli da sempre considerate completamente arginate e quindi chiuse;
- consentire la chiusura totale di valli semiarginate, trasformandole in valli completamente arginate (Grassabò e Cavallino, in quest'ultimo caso nell'ambito di un sistemazione complessiva con Valle Baseggia);
- permettere di colmare le Valli di Saccagnana e Lagonovo ed eventualmente Valle Musestre, esterna alla conterminazione, prevedendo però per quest'ultima anche l'opportunità di lasciarla alla libera espansione della marea;
- autorizzare i vallicoltori a costruire «solide arginature e adeguate opere per il pronto invaso delle acque presidiando le cogolere con chiaviche», in modo da proteggere le valli in caso di pericolo.

Alla luce delle attuali conoscenze di idrodinamica lagunare, la relazio-

ne e il voto del Comitato Tecnico del Magistrato alle Acque rivestono un interesse scientifico relativo. Molte delle motivazioni addotte a sostegno dei provvedimenti suggeriti non sono, infatti, del tutto condivisibili. Tali documenti, tuttavia, presentano un rilevante interesse amministrativo, quantomeno con riferimento al momento in cui furono redatti, pur non essendo stati decisivi rispetto a quanto poi è effettivamente avvenuto.

Se si guarda allo stato delle valli secondo il rilievo batimetrico della laguna del 1970, si constatano condizioni molto diverse rispetto a quelle sinteticamente sopra ricordate e approvate nel 1944. Sono in particolare completamente scomparse le numerose valli asserragliate esistenti in quel tempo e tutte le valli rimaste sono completamente arginate (Fig. 8.1). I loro rapporti idraulici con la laguna sono regolati e le paratoie poste a presidio delle chiaviche permettono di sottrarre le valli alla libera espansione delle maree. Si è sensibilmente ridotto anche il numero delle valli (quelle oggi in esercizio all'interno della conterminazione sono solamente 24).

Quale percorso burocratico abbia portato a queste condizioni, se un percorso virtuoso autorizzato nei suoi passaggi più significativi o una politica strisciante di interventi abusivi prima tollerati, poi riconosciuti di fatto e alla fine sanati, non è dato di sapere, per la difficoltà di reperire documentazione in merito. Sono questi d'altra parte aspetti al centro di un contenzioso tra lo Stato e i proprietari delle valli, che non si è ancora risolto.

In un tale contesto, guardando alla laguna, non sono nemmeno facilmente comprensibili le motivazioni di fondo dei numerosi studi promossi e gli interventi di stretto interesse delle valli da pesca attuati in laguna negli ultimi decenni dal Magistrato alle Acque.

Si tratta di iniziative sulle quali vale la pena soffermarsi seppur brevemente, partendo dalla famosa marea del novembre 1966, che con i suoi livelli eccezionali oltre a colpire duramente i centri storici lagunari, travolse e distrusse non poche delle arginature di perimetrazione delle valli, obbligando a importanti lavori di ripristino per isolarle nuovamente rispetto alla laguna.

A seguito di tali lavori le arginature sono state rinforzate, incrementando le quote delle loro sommità, in modo da evitare che, in occasione dei maggiori eventi di «acqua alta», esse subissero il ripetersi di fenomeni di sormonto.

In anni successivi e più recenti il Magistrato alle Acque, tramite il suo concessionario unico, ha a sua volta intrapreso una serie di specifiche iniziative rivolte alle valli da pesca. È intervenuto innanzitutto sulle strutture arginali di molte valli della laguna superiore, e non solo,

rialzandone ulteriormente le quote, ma soprattutto proteggendone con mantellate di robusto pietrame il paramento a laguna, contro gli effetti potenziali del moto ondoso. Provvedimento opportuno nel caso di realtà che si vogliono difendere e risanare stabilmente, più difficilmente comprensibile se, come è il caso delle valli, fra qualche tempo si dovesse arrivare addirittura alla loro restituzione alla libera espansione delle maree, per ottemperare alla legge.

Non esistono ovviamente dal punto di vista tecnico ostacoli insormontabili per l'eventuale raggiungimento di questo obiettivo, partendo dalla condizione esistente. Il pietrame delle mantellate, da poco posto in opera, potrebbe essere salpato e gli argini in parte o in toto distrutti, lasciando alle onde e alle correnti di marea il compito di ultimare l'opera. In fondo, come si dice, fare e disfare aiuta a lavorare e in termini economici non è escluso che l'attività possa essere considerata interessante, almeno per qualcuno.

La priorità data agli interventi di rinforzo e di adeguamento delle arginature delle valli, tuttavia, colpisce, se raffrontata con altre necessità meritevoli almeno di maggiore considerazione. Per restare alla stessa tipologia di intervento, basti ricordare che all'altezza del vecchio centro abitato di Jesolo la sommità dell'argine principale che, al limite della conterminazione, separa la laguna dal territorio retrostante è posta a quote inferiori rispetto a quelle dei probabili massimi livelli di marea. Ne consegue che le condizioni della difesa idraulica di queste aree non sono proprio ideali e sono garantite solo dall'argine verso laguna di Valle Dragojesolo e dalla completa chiusura delle sue chiaviche in caso di alta marea eccezionale.

Rinforzare prioritariamente non la difesa principale esterna, posta lungo la conterminazione, ma gli argini a laguna della valle adiacente, della quale oltretutto un privato rivendica la proprietà, non è evidentemente proibito, ma è forse inopportuno, trattandosi al momento di realtà ancora giuridicamente contese e dal destino incerto.

Singolare è poi l'intervento pilota condotto qualche anno fa (ottobre 2000) su di una porzione (~50 ha) di Valle Figheri (Fig. 8.10), per sperimentare in pratica le condizioni di una valle asserragliata e valutare gli effetti sull'ambiente esterno, sul pregio ambientale delle aree vallive, sull'economia e sulla produzione in acquacoltura, parametrizzando alcuni indici al fine di dare generalità ai risultati. Obiettivi ambiziosi, verosimilmente però non raggiungibili in partenza, più di facciata che concreti, considerata la limitata estensione dell'area marginata rispetto al complesso del sistema vallivo e della laguna prospiciente.

Lo studio in questione si colloca al termine di un crescendo di atti-



Fig. 8.10 - Valle Figheri in una recente immagine aerea. La parte perimetrata in rosso è quella che è stata interessata dalla sperimentazione.

vità su di un provvedimento che decisamente non sembra meritevole di tanta attenzione, tenuto conto dell'esistenza di molte altre problematiche meno conosciute e solo per questo suscettibili di essere indagate.

Dall'esame dei dispositivi con cui di volta in volta si è dato il via ad ulteriori indagini sull'argomento delle valli da pesca, emerge ancora una volta la mancanza di incisività degli organi preposti dallo Stato al controllo degli studi e degli interventi per la difesa della laguna dalle «acque alte» e per la sua salvaguardia.

Limitando l'attenzione agli effetti dell'apertura delle valli da pesca sui livelli dei colmi di marea e volendo sollecitare qualche riflessione, può essere utile ricordare che il loro ruolo inessenziale al riguardo era stato con chiarezza evidenziato per la prima volta già negli anni settanta del secolo passato in uno studio dell'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova⁶⁷,

⁶⁷ Lo studio in questione fa parte delle molte attività di ricerca applicata su argomenti di idraulica lagunare svolte dall'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova negli anni successivi all'istituzione della Commissione Interministeriale che promosse i primi studi sui problemi riguardanti Venezia e la sua laguna. Nello specifico si tratta di uno studio richiesto dai vallicoltori

con risultati confermati nel 1981 dagli esperti incaricati dal Ministero dei Lavori Pubblici dello «Studio di fattibilità e progetto di massima delle opere di difesa dalle maree», sul quale ci si soffermerà più avanti.

Non bastando verosimilmente le opinioni espresse in quei documenti, il Magistrato alle Acque e il suo concessionario unico hanno ritenuto di dovervisi dedicare ulteriormente con uno studio del 1987 e ancora nel 1989 e poi nel 1992 (con prove su modello fisico) e infine nel 1993, prima di arrivare al progetto dell'intervento pilota su Valle Figheri (1995), coronato dallo studio del 2000, al quale ci si è brevemente riferiti⁶⁸. Non è irrilevante segnalare che negli stessi anni altri contributi concernenti direttamente o indirettamente le valli da pesca sono stati dati a scopo di ricerca (Di Silvio 1992; Adami 1992; Umgiesser 2003-04).

I principali risultati degli studi appena citati sono in tutto e per tutto confermati dalle indagini specifiche condotte con l'ausilio della modellistica matematica qui utilizzata, esaminando da un punto di vista molto più generale quali effetti e quali conseguenze idrauliche potrebbero derivare se si considerasse di instaurare un diverso rapporto tra le valli e la laguna.

Con riferimento alla riduzione dei colmi di marea, si sono, in particolare, presi in considerazione due diversi provvedimenti di riapertura delle valli. Il primo comporta la semplice apertura dei varchi ora presidiati dalle chiaviche, il secondo, più drastico, prevede la contemporanea completa demolizione degli argini di perimetrazione, garantendo il più ampio ed efficiente collegamento idraulico delle aree vallive con la restanti parti della laguna.

Gli effetti sui livelli al colmo di marea a Venezia e negli altri centri storici continuano a restare privi di significato pratico. Sempre assumendo l'evento di riferimento, nella più favorevole delle due ipotesi considerate il colmo di marea a Venezia si riduce di circa 1 cm (Fig. 8.11). Riduzioni analoghe si riscontrano anche a Burano (Fig. 8.12). Conclusioni non diverse si traggono se si guarda agli effetti complessivi

⁶⁸ Per chi volesse ulteriori informazioni, per rendere più agevole la ricerca, si riportano nel seguito i titoli degli studi sull'argomento delle valli da pesca del Magistrato alle Acque-Consorzio Venezia Nuova: *Esame dei costi e dei benefici conseguenti alla restituzione all'espansione di marea delle valli da pesca e di altre superfici lagunari*, 1987; *Progetto preliminare di massima alle bocche di porto* (Progetto REA), 1989; *Studio sull'espansione delle maree nelle valli da pesca*, 1992; *Progetto operativo degli interventi per la riapertura delle valli da pesca*, 1993; *Verifica degli effetti ambientali*, 1995; *Riapertura delle valli da pesca. Intervento pilota in Valle Figheri per la verifica degli effetti ambientali. Progetto esecutivo. Monitoraggio e valutazione degli effetti dell'intervento*, 2000.

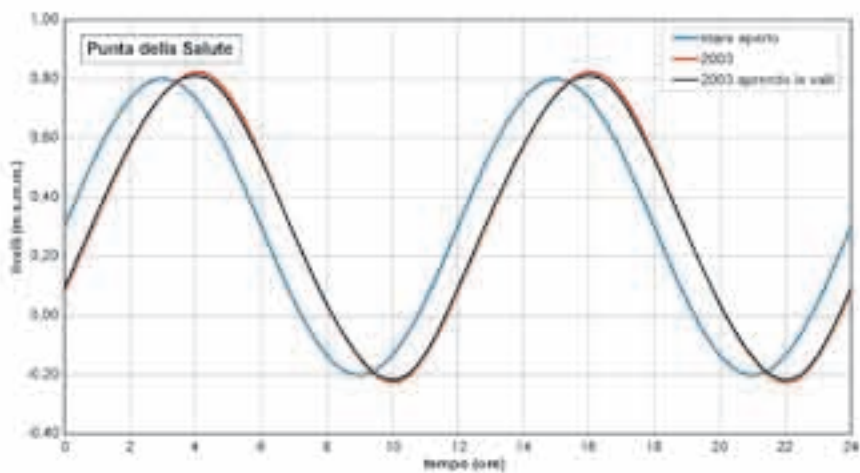


Fig. 8.11 - Andamento dei livelli a Punta della Salute per la laguna attuale e per la configurazione ottenuta abbattendo gli argini delle valli da pesca, per la marea di riferimento considerata.

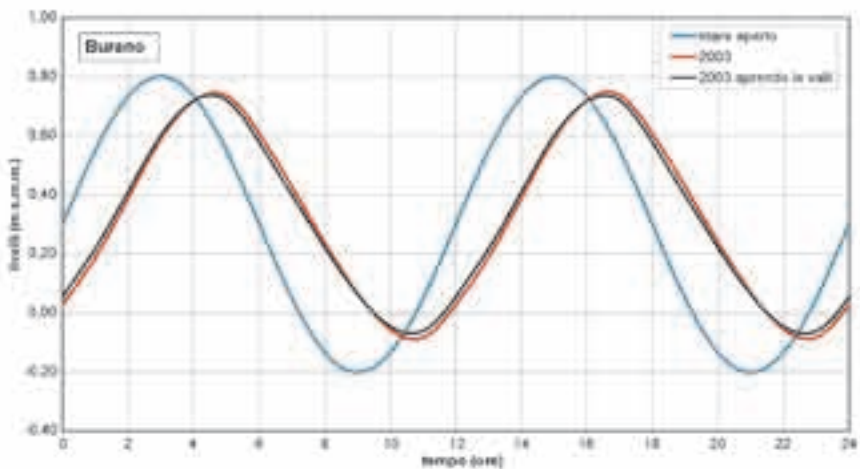


Fig. 8.12 - Andamento dei livelli a Burano per la laguna attuale e per la configurazione ottenuta abbattendo gli argini delle valli da pesca, per la marea di riferimento considerata.

sul regime delle correnti di marea, essendo le portate massime attraverso le bocche e i volumi d'acqua scambiati con il mare modificati in misura appena percettibile.

Più apprezzabili sono gli effetti verso i margini della laguna, lungo i maggiori canali che penetrano in direzione delle valli, e attraverso tutto il fronte che le alimenta (Fig. 8.13). Nella laguna superiore, le variazioni delle portate massime fluenti rispetto alla condizione attuale sono in diminuzione o in aumento a seconda dei canali e delle sezioni considerati. Mentre per il canale di S. Felice e per la sezione che si appoggia alle isole di S. Cristina e di Salina la portata è in leggera diminuzione (Fig. 8.14), per il canale dei Bari e per la sezione che si estende tra l'isola di Salina e il dosso di Lio Piccolo è in leggero aumento (Fig. 8.15). Il diverso comportamento può essere spiegato dal diverso ruolo assunto dalle dissipazioni di energia, oltre che dalla differente ripartizione delle portate tra canali e bassifondi adiacenti.

La totale apertura delle valli da pesca comporta l'afflusso verso il bordo della laguna di maggiori volumi d'acqua, come risulta dal confronto con la situazione attuale delle portate scambiate attraverso una sezione che taglia tutta la laguna superiore, in prossimità degli argini di confinamento delle valli (Fig. 8.16). I maggiori volumi che fluiscono verso i margini della laguna sono quantificabili integrando, per le due situazioni poste a confronto, l'andamento nel tempo delle portate attraverso la sezione considerata. Per la marea di riferimento assunta, si passa dai circa $2.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ dello stato attuale ai circa $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ della situazione conseguente alla completa apertura delle valli.

In prospettiva è probabile che i canali interessati da variazioni di portata subiscano nel tempo cambiamenti di sezione, per adeguarsi alle nuove condizioni di flusso delle correnti.

Conclusioni non dissimili si traggono se si esaminano le conseguenze dell'apertura delle valli da pesca presenti nella laguna media e inferiore. Anche in questa parte della laguna, adottando il provvedimento, si riscontrano modeste variazioni dei livelli al colmo di marea e cambiamenti delle portate lungo i canali che penetrano in direzione delle valli di nessun significato ingegneristico.

È pleonastico domandarsi se gli effetti appena ricordati permarranno o si incrementeranno una volta ultimate le nuove opere alle bocche. Poiché tali opere si caratterizzano per non introdurre modifiche apprezzabili della conduttanza idraulica delle bocche, senza la necessità di ulteriori calcoli si può concludere riaffermando l'assoluta inconsistenza tecnica del provvedimento di riapertura delle valli da pesca alla libera espansione delle maree, se l'obiettivo è quello di attenuare i livelli al colmo nei centri storici della laguna.



Fig. 8.13 - Ubicazione delle sezioni scelte per valutare gli effetti dell'apertura delle valli sulle portate.

La conclusione non viene meno se, in luogo della soluzione scelta per le opere, si fosse optato per un provvedimento che privilegia l'inserimento di restringimenti fissi decisamente più pronunciati, capaci di incrementare apprezzabilmente la resistenza idraulica delle bocche stesse. Esaminando 18 maree⁶⁹ comprendenti sia eventi normali sia eventi di

⁶⁹ Il Comune di Venezia propose al gruppo di lavoro costituito a seguito della delibera del 9 marzo 1999 del Comitato ex Art.4 della Legge 798/84 di esaminare su 18 eventi di marea gli effetti di attenuazione dei colmi che si potevano conseguire mediante l'inserimento di opere fisse alle bocche di porto. Tra questi eventi vi erano 16 maree con livello al colmo superiore a 100 cm, 14 con livello superiore a 110 cm e 13 con livello superiore a 130 cm sullo zero mareografico di Punta della Salute.

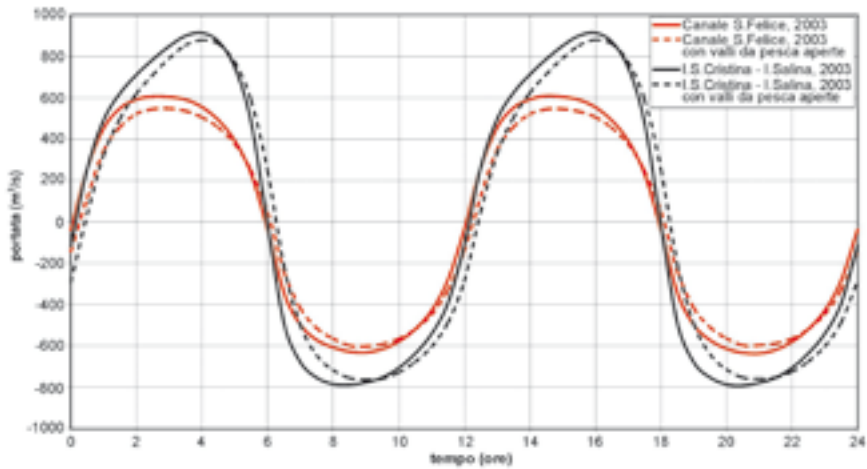


Fig. 8.14 - Andamento delle portate attraverso la sezione del canale S. Felice e la sezione che si estende tra l'isola di S. Cristina e l'isola Salina (vedi Fig. 8.13) per la situazione attuale e per la configurazione con valli da pesca completamente aperte, per la marea di riferimento considerata.

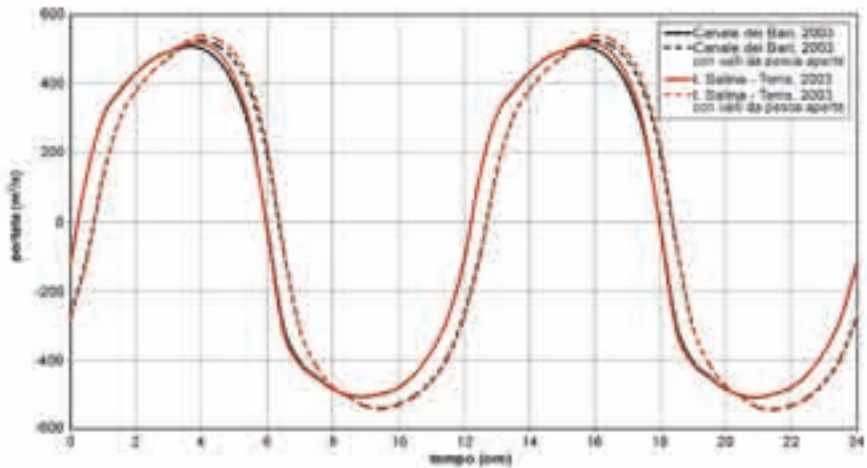


Fig. 8.15 - Andamento delle portate attraverso la sezione del canale dei Bari e la sezione che si estende tra l'isola Salina e Lio Piccolo per la situazione attuale e per la configurazione con valli da pesca completamente aperte, per la marea di riferimento considerata.

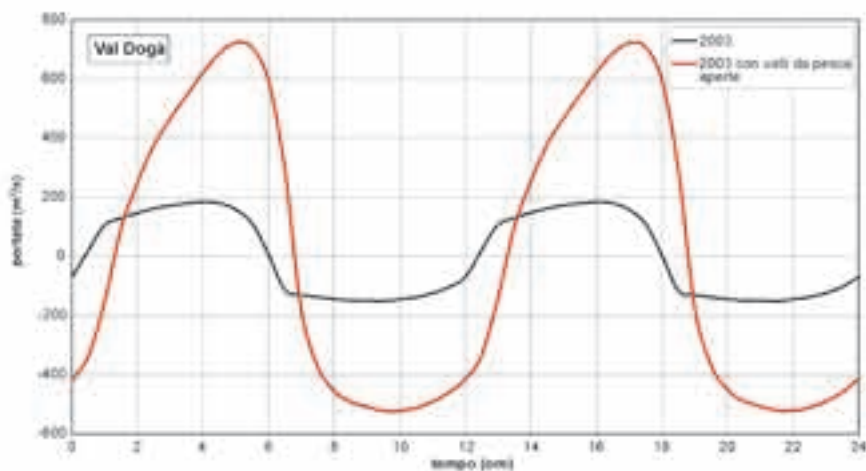


Fig. 8.16 - Andamenti delle portate attraverso la sezione che taglia la laguna superiore per la laguna attuale e per la configurazione con valli da pesca completamente aperte, per la marea di riferimento considerata.

«acqua alta» sia, infine, eventi di «acqua alta eccezionale», tra le quali la famosa marea del novembre 1966 e la marea del dicembre 1979 (1.66 m sullo zero mareografico di Punta della Salute), la seconda in ordine di gravità, è stato dimostrato che, pur in presenza di restringimenti spinti ai limiti a suo tempo suggeriti dal Comune di Venezia, gli effetti del provvedimento restano limitati (Umgiesser 2004).

Ancorché dipendente dal tipo di marea, essendo a parità di altre condizioni il beneficio maggiore per le maree con una più rapida ascesa dei livelli e con una minore componente meteorologica, l'attenuazione dei colmi a Punta della Salute per gli eventi considerati varia generalmente da 1 cm a poco più di 4 cm. Riduzioni maggiori si registrano nei centri abitati della laguna superiore (Burano, Torcello), dove gli effetti dell'apertura delle valli si fanno sentire maggiormente e l'attenuazione dei colmi può arrivare a 4÷8 cm. In particolare per la marea del novembre 1966 il beneficio determinato dall'apertura delle valli da pesca sull'attenuazione dei livelli al colmo a Punta della Salute è nullo, mentre per la marea del dicembre 1979 (1.66 m sullo zero mareografico di Punta della Salute), che si caratterizza per una più rapida escursione dei livelli, l'attenuazione risulta di poco superiore a 4 cm, valore del tutto insignificante rispetto al colmo.

Sorprende che nei numerosi studi prodotti, spesso sovrapponendo gli argomenti, non si sia ricercato con una «ipotesi diversa» di rendere comunque interessante dal punto di vista ambientale per l'intero sistema lagunare un eventuale provvedimento di riapertura delle valli da pesca, una volta dimostrata l'inconsistenza tecnica dell'idea di poter incidere sulla riduzione dei livelli al colmo di marea.

Ripensare alle condizioni della laguna preesistenti allo spostamento delle valli da pesca nella fascia più prossima alla conterminazione poteva portare a individuare soluzioni meno banali e alternative più valide rispetto a quelle esplorate.

Se si guarda non solo alla difesa dalle «acque alte», ma con eguale attenzione e preoccupazione alla salvaguardia morfologica ed ecosistemica della laguna, mediante la riapertura alla libera espansione delle maree di alcune valli da pesca si poteva tentare di ripristinare ai margini della conterminazione l'antico ambiente di transizione fra terra e mare su più ampie superfici, associando al provvedimento il contemporaneo incremento degli apporti di acque di origine fluviale. Si sarebbe potuto in tal modo da una parte arricchire la biodiversità dell'ambiente lagunare, dall'altra accrescere la naturale capacità del sistema di conservare alcune delle sue forme caratteristiche che, soprattutto a causa delle più recenti trasformazioni imposte dall'uomo, si vanno rapidamente perdendo.

Qualora si intendesse procedere in questa direzione, è implicito che sarebbe necessario applicare alle superfici vallive eventualmente restituite alla libera espansione delle maree quell'attenzione e quella cura nella loro manutenzione che per tradizione secolare i vallicoltori hanno nel concreto messo in atto all'interno delle valli, trasferendo fino a noi delle realtà che dal punto di vista ambientale devono considerarsi tra le più pregevoli e le meglio conservate dell'intera laguna. Su questi aspetti, che sarebbero stati meritevoli di maggiore considerazione e di studi più approfonditi, si tornerà ancora nel seguito, parlando di provvedimenti che potrebbero essere utili per invertire l'attuale evoluzione in senso negativo della morfologia lagunare anche nelle aree esterne alle valli.

Concludendo, la riapertura della valli da pesca, nel tentativo di perseguire benefici apprezzabili sulla riduzione dei colmi di marea all'interno della laguna secondo gli obiettivi indicati dalla Legge Speciale su Venezia, non è sostenibile dal punto di vista ingegneristico. Considerazioni diverse varrebbero se, attraverso la riapertura di alcune delle valli da pesca, si intendessero con un disegno di più ampio respiro, adottare interventi finalizzati al recupero e alla conservazione

morfologica di alcune parti della laguna, ripristinando quei caratteri ambientali delle zone di transizione fra terra e mare che vi esistevano, prima della totale sottrazione delle valli alla libera espansione della marea e della drastica riduzione degli apporti di acque dolci immesse ai bordi della laguna.

9. GLI EFFETTI IDRAULICI DELLE NUOVE OPERE ALLE BOCCHE

Il 4-5 novembre 1966 una marea straordinaria colpì la laguna di Venezia, allagando gran parte della città. Fu la massima marea mai registrata a Punta della Salute con un livello al colmo di 1.94 m sullo zero mareografico, di oltre 40 cm superiore a quello del massimo evento fino ad allora verificatosi (11 dicembre 1951 con un livello massimo di 1.51 m). Per oltre 24 ore le acque, sostenute da una situazione meteorologica del tutto anomala, non defluirono verso il mare, mettendo in ginocchio la città. I famosi murazzi costruiti dalla Repubblica a difesa della laguna furono seriamente danneggiati e i cordoni litoranei, che per secoli l'avevano separata dal mare, sormontati dalle acque in più punti, rischiarono a loro volta di essere travolti.

In modo drammatico e improvviso un problema, in verità latente, venne portato all'attenzione di un'opinione pubblica sconvolta dal contemporaneo immane disastro provocato dalle alluvioni che avevano colpito tutti i grandi fiumi del Veneto e l'Arno in Toscana.

Quell'evento inquietante mobilitò il mondo politico, culturale e sociale veneziano in forme diverse, non sempre coerenti, nel tentativo di individuare attraverso quali provvedimenti fosse possibile difendere una città unica al mondo e un ambiente, quello della laguna, che con Venezia forma da sempre un contesto unico e inarrivabile.

Non è questa la sede per ricordare le molte iniziative intraprese, le indagini e gli studi condotti dopo quelle tragiche giornate e per ripercorrere un cammino faticoso e contrastato, iniziato dal punto di vista legislativo il 13 aprile 1973 con l'approvazione della prima Legge Speciale su Venezia e proseguito negli anni successivi tra molte polemiche, che ancor oggi, con cantieri aperti alle bocche di porto, si trascinano. Su tali aspetti il libro *Venezia acqua e fuoco* di Giannandrea Mencini (1995) è senza

dubbio una guida interessante per il lettore che volesse ripercorrere gli anni che vanno dalla grande alluvione al famoso voto n. 48 del 18 ottobre 1994 con cui l'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici approvò il progetto di massima delle opere alle bocche per la regolazione dei livelli di marea in laguna, il cosiddetto Mo.S.E.⁷⁰, nonché il passaggio alla fase esecutiva della progettazione.

Di quel periodo ci si limiterà a ricordare soltanto alcuni passi fondamentali, utili per comprendere il percorso tecnico che ha portato al progetto delle opere in corso di realizzazione e per meglio valutare le considerazioni di carattere idraulico che si intendono sviluppare.

Punto di partenza di questo lungo cammino è un'iniziativa del CNR Grandi Masse di Venezia che nel 1970 presentava all'isola di S. Giorgio cinque schemi di progetto per la chiusura delle bocche della laguna con sbarramenti mobili, che consentissero di intercluderla totalmente rispetto al mare in caso di necessità.

Non molti anni dopo questa iniziativa, nel settembre 1975, a seguito dell'approvazione della prima Legge Speciale su Venezia, secondo le indicazioni contenute nei successivi indirizzi governativi, il Ministero dei Lavori Pubblici bandiva un appalto-concorso internazionale «per l'esecuzione delle opere necessarie ai fini della conservazione dell'equilibrio idrogeologico della laguna di Venezia e dell'abbattimento delle acque alte nei centri storici».

Al bando parteciparono sei concorrenti, ma solo cinque⁷¹ dei progetti presentati furono ritenuti ammissibili dalla Commissione giudicatrice. Dopo ripetute riunioni, nei primi mesi del 1978 la Commissione concluse i propri lavori con la decisione di non aggiudicare la gara, ritenendo che nessuno dei progetti esaminati potesse essere dichiarato idoneo ai fini dell'appalto-concorso. Valutando, tuttavia, tutti i progetti meritevoli di essere considerati, la Commissione auspicò che fossero intraprese iniziative per acquisirli, come avvenne, in modo da poter eventualmente utilizzare alcuni interessanti contributi specifici in essi contenuti.

Furono queste le premesse che nel giugno del 1980 portarono il Ministero dei Lavori Pubblici a stipulare una convenzione con un gruppo

⁷⁰ Mo.S.E. è un acronimo che sta per «**M**odulo **S**perimentale **E**lettrodinamico» con il quale frequentemente si indica il sistema integrato di opere progettato per isolare la laguna dal mare durante gli eventi di «acqua alta».

⁷¹ Alla gara di appalto-concorso furono ammessi gli elaborati presentati dai Consorzi di imprese: Agiltec (Milano), Cia (Milano), Cive (Roma), Saipem-Farsura-Recchi-Cogefar (Milano) e Vela (Roma).

di eminenti studiosi⁷², esperti nel settore, affidando loro l'incarico dello studio delle opere per la difesa della città di Venezia dalle «acque alte».

Poco più di un anno dopo gli esperti nominati trasmettevano ufficialmente il loro studio-progetto di massima al Ministero dei Lavori Pubblici, che lo inoltrava alla Commissione di Salvaguardia di Venezia, al proprio Consiglio Superiore, al Comune di Venezia e al Comune di Chioggia, intendendo acquisire il parere anche degli enti locali interessati e competenti per territorio sugli interventi prospettati.

La presentazione del progetto di massima da parte degli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici segna un momento importante nella breve ma intensa storia delle iniziative intraprese, per individuare attraverso quali opere garantire la difesa idraulica di Venezia e della sua laguna.

Sui contenuti di tale progetto, il cosiddetto «Progettone»⁷³, e sulle idee che lo hanno ispirato non sempre si riferisce in modo corretto. È, quindi, utile, se non altro per una migliore informazione, riassumere alcuni degli aspetti idraulici salienti che lo contraddistinguevano, poiché è da questo elaborato che necessariamente si deve partire, se si vogliono mettere nella loro giusta prospettiva le molte polemiche che hanno accompagnato e continuano ad accompagnare la soluzione successivamente delineata per la difesa di Venezia dalle «acque alte».

Il «Progettone», che sia pure con qualche prescrizione aveva ricevuto l'approvazione della Commissione di Salvaguardia di Venezia, del Comune di Venezia e anche del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici⁷⁴, si caratterizzava per la proposta di accoppiare una serie di opere fisse ai varchi da presidiare con paratoie mobili sommergibili (Ghetti e Batisse 1983).

In particolare per la bocca di Lido i due varchi previsti sul canale di S. Nicolò e sul canale di Treporti erano collocati in arretrato all'interno della bocca stessa e avevano una sezione di larghezza pari rispettiva-

⁷² Il gruppo di studiosi, i cosiddetti saggi, era formato dai professori Augusto Ghetti (Idraulica), Enrico Marchi (Idraulica), Pietro Matildi (Scienza delle Costruzioni), Roberto Passino (Direttore dell'IRSA), Giannantonio Pezzoli (Idraulica), ai quali si aggiunsero pochi mesi dopo l'ing. Jan Agema (olandese, esperto in campo idraulico) e il dott. Roberto Frassetto (già Direttore del CNR Grandi Masse di Venezia).

⁷³ Progettone è la denominazione alla quale spesso si ricorre per indicare l'elaborato intitolato *Studio di fattibilità e progetto di massima per la difesa della laguna di Venezia dalle acque alte* redatto dai sette esperti incaricati dal Ministero dei Lavori Pubblici in data 26 Giugno 1981.

⁷⁴ Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha approvato l'elaborato redatto dagli esperti incaricati con il voto n. 201 del 27 maggio 1982.

mente a 260 m e a 230 m e profondità pari a 12 m e a 8 m (Fig. 9.1). Per incrementare le resistenze al moto delle correnti di marea, le opere erano integrate con un molo interno insormontabile di collegamento tra i due varchi previsti e da un restringimento fisso formato da un pennello disposto ortogonalmente al flusso e radicato al molo nord della bocca, in posizione mediana rispetto all'esistente canale di porto.

Analogamente, nella bocca di Malamocco il varco destinato ad essere presidiato dalle paratoie mobili, con una sezione di 300 m di larghezza e di 15 m di profondità, era affiancato da alcune opere fisse, tra le quali il prolungamento del molo nord con direzione a convergere rispetto a un molo esterno da realizzare ex-novo in mare, in modo da ridurre la larghezza in testa della bocca rispetto alla condizione attuale (Fig. 9.2).

Del tutto simile era la configurazione planimetrica delle opere alla bocca di Chioggia, con un varco presidiato della larghezza di 280 m e profondità pari a 9 m, posto tra i moli esistenti ma decisamente spostato verso laguna, preceduto a sua volta da due restringimenti fissi (Fig. 9.3). Per quest'ultima bocca a ridosso del molo nord, in adiacenza alla sede prevista per lo sbarramento mobile, era inoltre indicata la realizzazione di un piccolo porto rifugio per i natanti eventualmente impediti di entrare in laguna a causa della chiusura dello sbarramento.

La soluzione degli esperti prevedeva pertanto di accoppiare sulle tre bocche agli sbarramenti mobili, della lunghezza complessiva di 1070 m, alcune opere fisse con l'obiettivo dichiarato di incrementare la resistenza idraulica delle bocche stesse, per ridurre i colmi di marea nel centro storico.

Meritevoli di analisi sono le modalità di esecuzione nel tempo suggerite per l'attuazione degli interventi. Gli esperti raccomandavano, infatti, di procedere per gradi successivi, realizzando dapprima le parti fisse delle opere e procedendo solo in una fase successiva all'inserimento delle parti mobili in corrispondenza dei varchi, dopo un'adeguata sperimentazione, destinata a raccogliere sul campo le più ampie indicazioni sulle dimensioni più opportune da assegnare in via definitiva ai restringimenti fissi e ai varchi controllati dalle opere mobili, in base agli effetti idraulici ed ecosistemici osservati.

Avendo avuto in quel periodo la possibilità di partecipare con una certa assiduità alle discussioni sulle questioni riguardanti Venezia con Augusto Ghetti ed Enrico Marchi, i due più prestigiosi rappresentanti di quel gruppo, credo di poter affermare che l'indicazione di procedere per gradi nella realizzazione delle opere non fosse un atteggiamento dettato da insicurezza dei due eminenti studiosi verso le scelte operate o dal timore che esse non potessero rispondere alle finalità per cui erano sta-

te concepite, come con qualche chiacchiera maligna artatamente diffusa si cercava e ancor oggi, nonostante i molti anni passati, si cerca di far intendere. Quell'atteggiamento era semmai la manifestazione della loro saggezza e della loro sapienza, da veri ricercatori. Era la presa di coscienza che calcoli e modelli, per quanto sofisticati e ben strutturati, sono pur sempre una rappresentazione schematica della realtà, tanto più di una realtà complessa e dai molteplici aspetti quale è quella della laguna di Venezia. Ne sono d'altra parte testimonianza indiscutibile, come si è dimostrato, le non poche conseguenze negative sulla laguna delle opere realizzate dall'uomo negli ultimi due secoli, che avranno permesso di raggiungere gli obiettivi particolari per cui erano state concepite, ma che, non ultimo per la superficialità dei comportamenti e per la scarsa conoscenza dei problemi complessivi da parte dei loro fautori e per la presenza di controllori quantomeno «distratti», hanno determinato effetti ambientali irreversibili, pagati a caro prezzo da tutto il sistema lagunare.

Oltretutto la necessità di attuare nella difesa dalle «acque alte» soluzioni «sperimentali, graduali e reversibili» è indicata dalla stessa legislazione speciale su Venezia ed è stata più volte richiamata e ribadita da autorevoli organismi. Al rispetto di queste indicazioni, che sono condivisibili dal punto di vista tecnico-scientifico, dovrebbero perciò sentirsi tutti vincolati, senza rifugiarsi in singolari interpretazioni sul significato di termini che sono chiari e non si prestano a interpretazioni di comodo.

Prima di procedere oltre, se non altro per spirito di curiosità, è interessante indagare con i modelli matematici utilizzati nelle analisi illustrate alcuni degli effetti idraulici conseguenti alla realizzazione delle sole opere fisse previste dal «Progettone» ed esaminare, in un confronto comparativo, i risultati con riferimento sia alla situazione attuale sia a quella che si determinerà una volta ultimate le opere alle bocche in fase di realizzazione. Al riguardo è da premettere che negli anni del loro la-



Fig. 9.1 - Le opere fisse previste per la bocca di Lido dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ghetti e Batisse 1983).



Fig. 9.2 - Le opere fisse previste per la bocca di Malamocco dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ghetti e Batisse 1983).



Fig. 9.3 - Le opere fisse previste per la bocca di Chioggia dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ghetti e Batisse 1983).

voro gli esperti incaricati dal Ministero dei Lavori Pubblici non potevano disporre di strumenti di calcolo di potenza ed efficienza paragonabili a quelle dei modelli matematici attuali, il che spiega una volta di più il loro prudente atteggiamento verso le scelte operate.

Per la marea di riferimento assunta, modificando il reticolo di calcolo della laguna del 2003 solo nell'intorno delle bocche mediante l'inserimento delle strutture fisse previste dal «Progettone» (Fig. 9.1-9.3), si evidenziano effetti apprezzabili sia sull'andamento dei livelli mareografici sia sugli scambi mare-laguna.

Le resistenze localizzate introdotte dalle opere fisse alle bocche influenzano, in particolare, la propagazione della marea lungo la direttrice del centro storico: a Punta della Salute e a Porto Marghera i livelli al colmo sarebbero attenuati rispetto al mare di 7 cm circa e di poco più di 5 cm rispettivamente (Fig. 9.4). Poiché attualmente a Porto Marghera il colmo di marea supera quello in mare di quasi 4 cm, in questa località rispetto alla condizione odierna le opere fisse alle bocche comporterebbero riduzioni di poco inferiori a 9 cm. Un beneficio sostanzialmente analogo (poco meno di 10 cm) si avrebbe a Punta della Salute. Si tratta di riduzioni confrontabili con quelle della laguna ottocentesca (Fig. 7.12).

Rispetto alla condizione attuale i risultati evidenziano un'inversione di tendenza nel fenomeno propagatorio, tornando a prevalere anche lungo la direttrice del centro storico il ruolo delle forze dissipative su quello delle forze inerziali. Condizione quest'ultima che egualmente si riscontra ai margini di tutta la laguna, come è dimostrato dall'andamento delle curve involuppo dei colmi di marea calcolate con la configurazione delle bocche prevista dal «Progettone» (Fig. 9.5).

Se si esaminano gli andamenti delle portate scambiate dalla laguna con il mare, si comprende che il dimensionamento dei restringimenti è stato scelto dagli esperti in modo da non penalizzare eccessivamente gli scambi attraverso la bocca di Lido (Fig. 9.6). Per questa bocca, infatti, le portate massime sono di poco ridotte rispetto alla condizione attuale (circa il 4% nella fase di riflusso e 10% nella fase di flusso). Riduzioni più spinte, prossime al 20%, si riscontrano, invece, per le bocche di Malamocco (Fig. 9.7) e di Chioggia (Fig. 9.8), per le quali le opere fisse comportano un maggiore incremento delle resistenze localizzate.

Nel caso della bocca di Lido, l'assetto del campo di velocità in fase di massimo flusso entrante o uscente (Fig. 9.9) evidenzia le ragioni per cui gli effetti idraulici delle opere fisse sulle portate scambiate sono più contenuti. Le dimensioni trasversali e l'ubicazione planimetrica dei restringimenti localizzati sono state scelte in modo da interferire appena con le correnti che percorrono la parte navigabile del canale di bocca, prima, e i canali di S. Nicolò e di Treporti, poi, dove le velocità sono più sostenute. Sono conseguentemente di scarso rilievo gli incrementi di resistenza localizzata dovuti ai fenomeni di separazione di corrente indotti dalla presenza delle opere, che orientativamente variano, a parità di altre condizioni, con il quadrato della velocità del flusso che le investe.

Non essendo in grado di condurre con i modelli matematici disponibili in quegli anni un'analisi teorica più stringente sul comportamento effettivo delle opere fisse previste, è presumibile che gli esperti temessero, adottando restringimenti più spinti di quelli proposti, e quindi incrementando apprezzabilmente le velocità locali, di ridurre in misura troppo spinta i volumi d'acqua scambiati con il mare attraverso la bocca di Lido e soprattutto di penalizzare eccessivamente la navigazione.

In realtà le considerazioni svolte sul comportamento idraulico delle lagune del passato e l'analisi dei meccanismi che governano il ricambio delle acque nella laguna superiore indicano la possibilità di considerare riduzioni più spinte delle portate scambiate anche attraverso la bocca di Lido, salvaguardando i peculiari caratteri ambientali del retrostante bacino.

Ne sono una chiara dimostrazione recenti indagini (Dipartimento IMAGE 2006) condotte adottando ipotesi di restringimento fisso molto più spinte, come quelle proposte dal Comune di Venezia⁷⁵ nel tentati-

⁷⁵ Nell'estate del 2006 il Comune di Venezia, dopo aver prodotto in data 15 novembre 2005 una relazione di confronto tra interventi alternativi al Mo.S.E. alle bocche di porto, avanzò al Consiglio dei Ministri una propria proposta per intervenire preliminarmente sulle

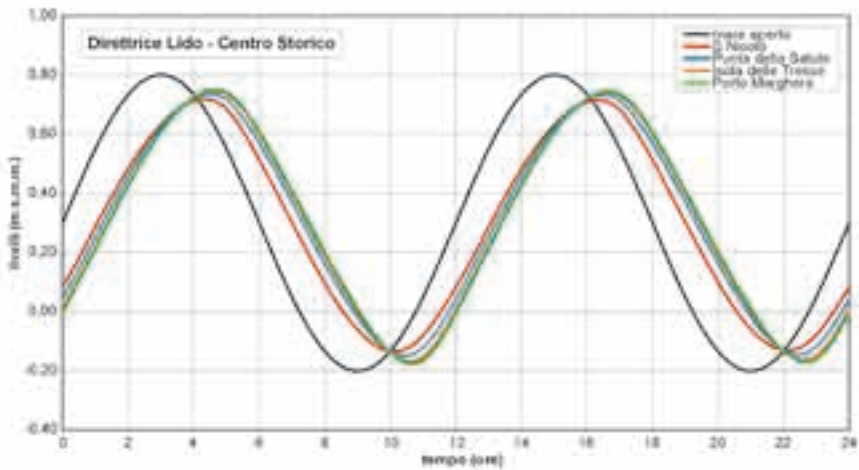


Fig. 9.4 - Andamento dei livelli lungo la direttrice del centro storico tra S. Nicolò e Porto Marghera, nell'ipotesi di inserire alle bocche le opere fisse previste dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici, per la marea di riferimento considerata.

vo, non riuscito, di aprire un confronto tecnico sul progetto definitivo approvato.

Valutando le modalità secondo le quali si modifica nel tempo la concentrazione di un inquinante passivo rilasciato in un'area di circa 1 km² nella laguna superiore all'altezza delle ex saline S. Felice, a seguito di una serie di cicli di marea reale (30 ottobre ÷ 6 novembre 2002), si ottengono risultati di un certo interesse. Tra la situazione attuale e quel-

bocche di porto con opere fisse sperimentali finalizzate ad aumentarne la resistenza idraulica. La proposta sintetizzata in un documento dal titolo *Effetti idrodinamici conseguenti ad un incremento delle resistenze al moto alle bocche di porto della laguna di Venezia mediante l'inserimento di opere fisse* in data ottobre 2006 fu dapprima esaminata dal Magistrato alle Acque, dai Ministeri coinvolti e dalla Regione Veneto e poi discussa in due incontri tenutisi il 2 e l'8 novembre 2006 presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dopo il secondo incontro, il confronto fu bruscamente interrotto, annullando una terza riunione prevista per discutere in modo specifico delle opere mobili alle bocche e delle loro criticità. Nei giorni immediatamente successivi, il 10 novembre, il Consiglio dei Ministri approvò un ulteriore finanziamento delle opere in corso di realizzazione. Di lì a pochi giorni ancora, in data 22 novembre 2006, il «Comitatone» assunse due delibere distinte con le quali approvò definitivamente di procedere al completamento della costruzione delle opere del sistema Mo.S.E., bocciando nello stesso tempo l'ordine del giorno presentato dal Sindaco di Venezia.



Fig. 9.5 - Involuppo dei livelli massimi in laguna nell'ipotesi di inserire alle bocche le opere fisse previste dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici, per la marea di riferimento considerata.

la ipotetica esplorata, che comporta mediamente riduzioni dei volumi scambiati attraverso la bocca di Lido del 30-40%, ben più severe di quelle calcolate per il «Progettone», gli scostamenti in termini di valore e di distribuzione spaziale della concentrazione sono di scarso rilievo (Fig. 9.10). Tanto più il risultato è da valutare con attenzione se si considera che il calcolo è stato condotto senza introdurre il ruolo dei termini dispersivi e del vento, i quali tenderebbero sicuramente a ridurre ulteriormente le differenze dei valori di concentrazione fra le due configurazioni esaminate per le bocche.

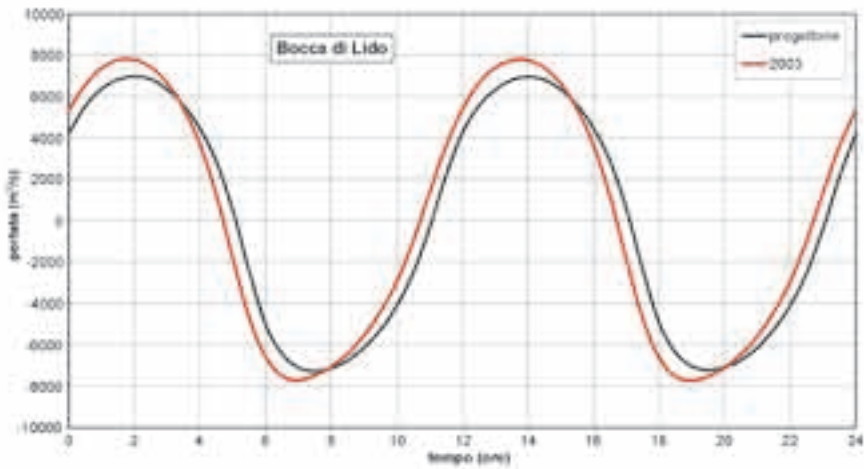


Fig. 9.6 - Andamento delle portate scambiate con il mare attraverso la bocca di Lido nell'ipotesi di inserire alle bocche le opere fisse previste dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici, per la marea di riferimento considerata.

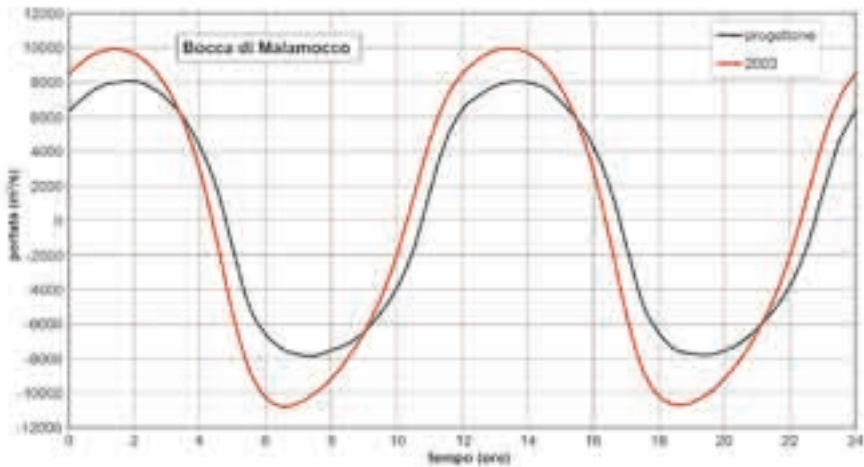


Fig. 9.7 - Andamento delle portate scambiate con il mare attraverso la bocca di Malamocco nell'ipotesi di inserire alle bocche le opere fisse previste dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici, per la marea di riferimento considerata.

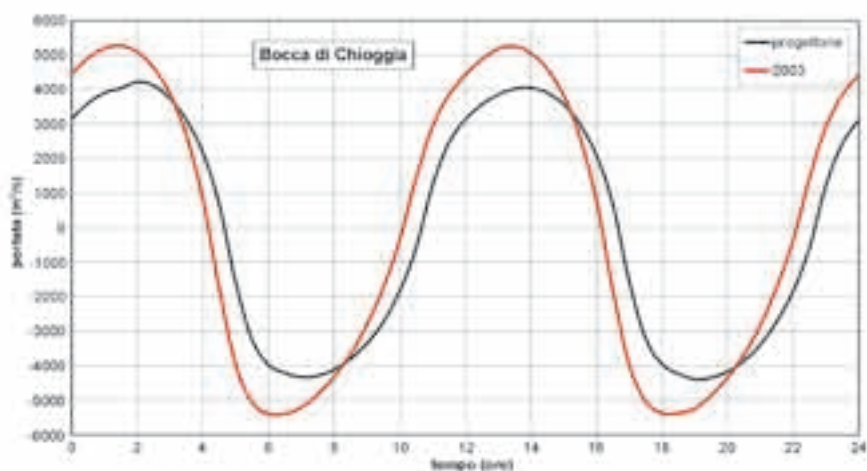


Fig. 9.8 - Andamento delle portate scambiate con il mare attraverso la bocca di Chioggia nell'ipotesi di inserire alle bocche le opere fisse previste dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici, per la marea di riferimento considerata.

Nei riguardi della presenza alle bocche di porto di restringimenti fissi più significativi di quelli in corso di realizzazione i *non possumus* invocati da coloro che non condividono una tale soluzione, senza peraltro fondare la loro posizione su di una effettiva coscienza e conoscenza dei meccanismi che controllano il ricambio delle acque di una laguna, sembrano essere strumentali e avere lo scopo di difendere acriticamente scelte che non sono confortate da un supporto scientifico probante.

Oltretutto, in presenza di volumi di scambio mare-laguna più ridotti i temuti effetti negativi di una diversa condizione, che sia pure attraverso una esemplificazione si è dimostrato essere modesti, potrebbero essere compensati con interventi interni alla laguna, volti a determinare una migliore distribuzione dei volumi d'acqua introdotti. L'obiettivo si persegue attivando i meccanismi che nella propagazione controllano la cosiddetta «circolazione secondaria» e i citati fenomeni di dispersione. Si tratta di processi meno appariscenti e più lenti rispetto a quelli convettivi indotti dall'alternarsi delle maree, ma non meno importanti ed efficaci, soprattutto per le zone d'acqua e per i canali che, dal punto di vista idraulico, sono più lontani dalle bocche.

Alla luce delle considerazioni esposte, ritornando alla soluzione del «Progettone», si sarebbero perciò potuti incrementare gli effetti localiz-

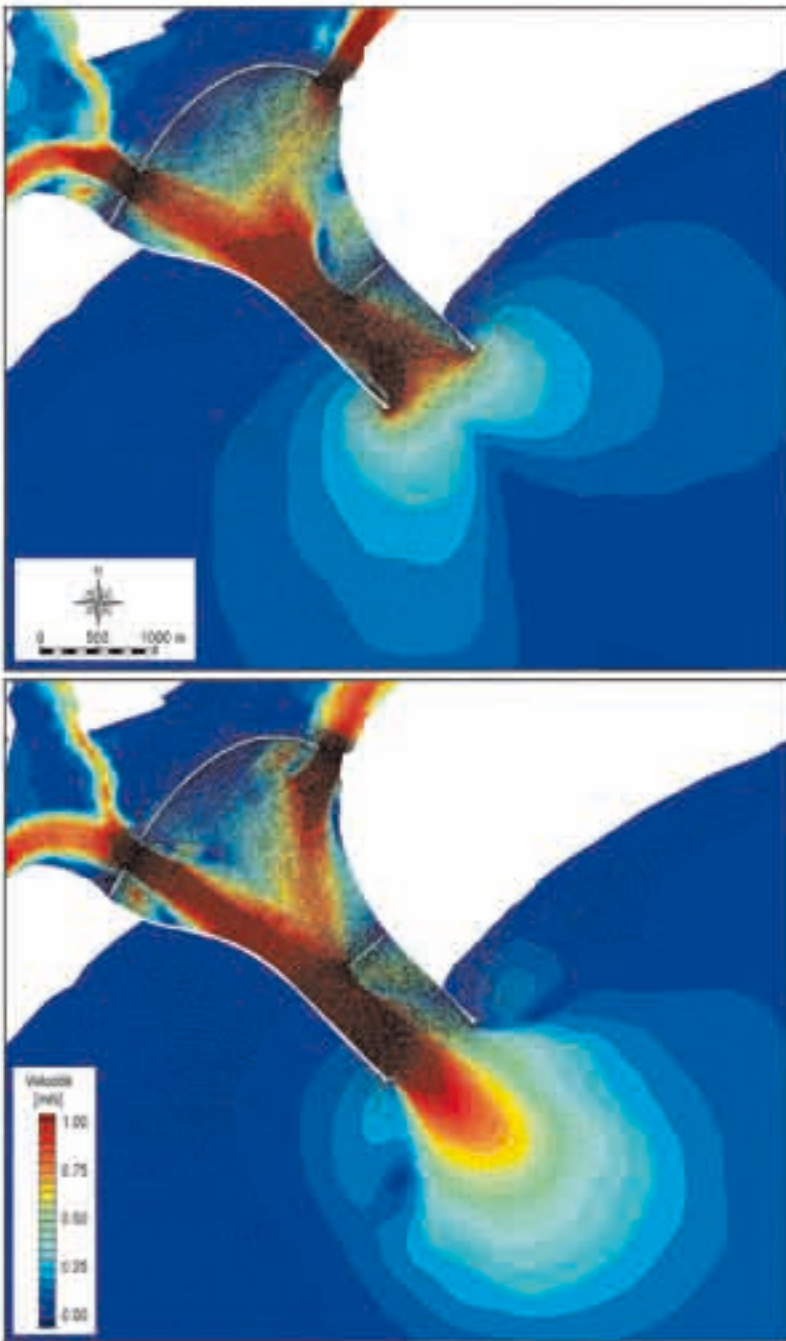


Fig. 9.9 - Bocca di Lido. Campi istantanei delle velocità in fase di massimo flusso (in alto) e riflusso (in basso) nell'ipotesi di inserire alle bocche le opere fisse previste dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici, per la marea di riferimento considerata.

zati delle opere fisse alla bocca di Lido, riducendo ulteriormente la larghezza adottata dagli esperti per il varco in corrispondenza del pennello tra le dighe e portando le testate dei moli a convergere tra loro, in modo da inserire un ulteriore restringimento di sezione proprio all'ingresso della bocca stessa (Fig. 9.11).

Ferme restando le configurazioni delle altre bocche, la variante indicata porterebbe a Punta della Salute, rispetto al mare, a una attenuazione di 11 cm circa per il colmo della marea di riferimento assunta (Fig. 9.12). La portata massima scambiata dalla bocca di Lido con il mare in fase di flusso si ridurrebbe, invece, in misura superiore al 35% (Fig. 9.13), mentre complessivamente la riduzione sulle portate massime entranti in laguna attraverso le tre bocche passerebbe dal 17% della soluzione proposta dal «Progettone» al 27% della variante delineata.

In ogni caso, le opere previste dal «Progettone», esaminate nei loro effetti con l'ausilio dei modelli matematici oggi disponibili, sembrano conservare immutato il loro interesse. Paradossalmente con la modesta variante suggerita per la bocca di Lido, se si guarda alla laguna nel suo complesso, i risultati conseguibili sono in linea con quanto richiesto dalla delibera del governo Amato del 15 marzo 2001 nei riguardi dell'auspicato incremento delle resistenze idrauliche alle bocche.

Restano dunque incomprensibili, almeno dal punto di vista scientifico, i motivi che portarono ad abbandonare quella soluzione progettuale nella successiva formulazione del progetto definitivo approvato nel 2002.

Né più chiare risultano, almeno per coloro che non appartengono al ristretto mondo dei decisori, i motivi che hanno tolto qualsiasi spazio di confronto e di discussione alla ricordata proposta del Comune di Venezia, con cui si sollecitava, non tanto l'adozione calligrafica delle soluzioni delineate, quanto piuttosto un ripensamento metodologico sul modo di agire del concessionario unico, per individuare interventi alle bocche di porto che fossero aderenti nella lettera e nello spirito a quei criteri di «sperimentalità, reversibilità e gradualità» prescritti dalla legislazione speciale su Venezia.

Conviene comunque non insistere nella ricerca delle reali motivazioni che hanno portato a una tale decisione, se non altro per non alimentare polemiche che a questo punto sarebbero sterili e inutili. Preso atto che così è stato e che un ritorno al passato non si pone, è preferibile restare ai fatti e al discorso tecnico, ricordando in rapida sintesi quanto ebbe poi a verificarsi dopo quel fatidico 1982.

Gli anni immediatamente successivi all'approvazione del «Progettone», mentre si discuteva su come procedere per superare le osser-

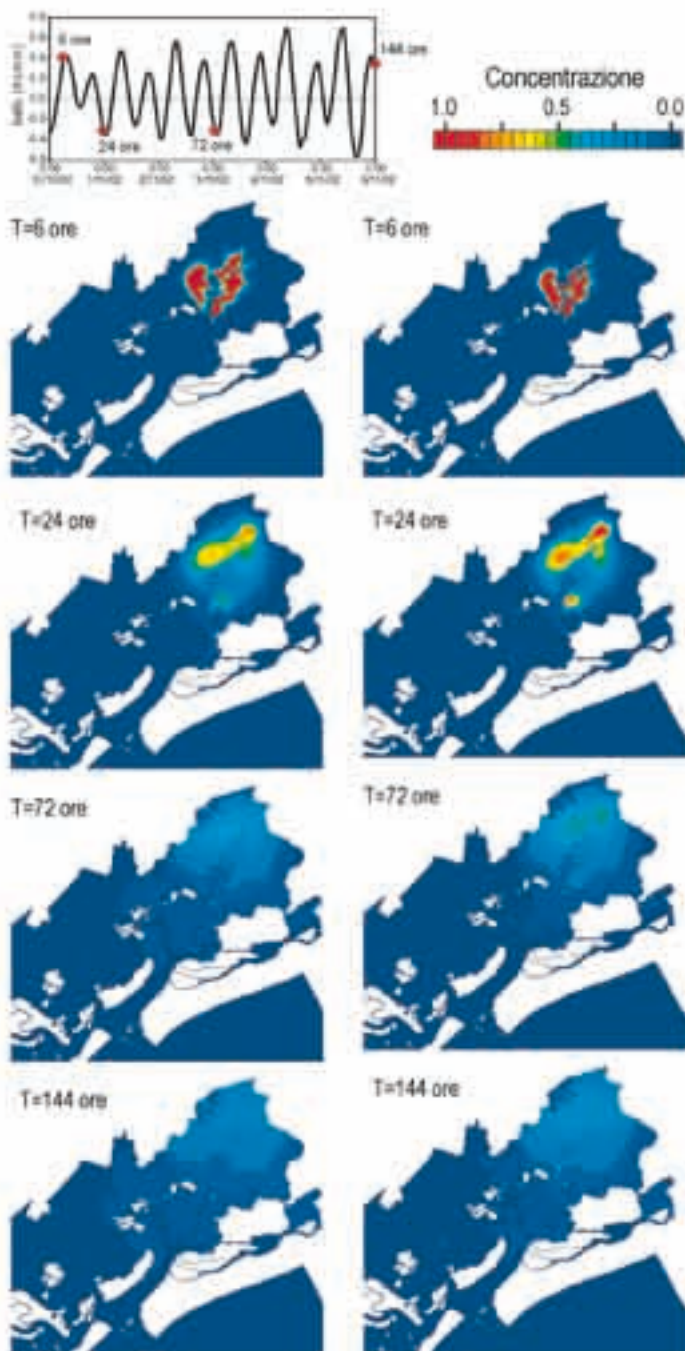


Fig. 9.10 - Dispersion nel tempo di una macchia di inquinante conservativo rilasciata nella laguna superiore. Confronto tra la situazione attuale (a sinistra) e quella che si determinerebbe nell'ipotesi di inserire alle bocche di porto i restringimenti fissi proposti dal Comune di Venezia.

vazioni formulate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e da altri enti e organizzazioni, videro comparire all'orizzonte del «problema Venezia» il Consorzio Venezia Nuova⁷⁶.

Superato il momento iniziale delle eccezioni formali che la procedura di affidamento adottata aveva inevitabilmente sollevato, e non solo in ambito veneziano, il Consorzio incominciò la propria poderosa attività di studi e di ricerche, arrivando nell'arco di una ventina d'anni alla presentazione e alla approvazione del progetto delle opere alle bocche, che dovrebbe garantire la difesa di Venezia e della laguna dalle «acque alte».

I passi fondamentali dell'estenuante e contrastato percorso che ha portato a individuare le opere in corso di realizzazione furono:

- la presentazione il 31 luglio 1989 del progetto complessivo *Riequilibrio e ambiente* (noto anche con l'acronimo R.E.A.), contenente il progetto preliminare di massima delle opere da realizzare alle bocche per regolare i livelli di marea in laguna, sul quale l'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici si esprimeva in data 15 marzo 1990. Rilevante dal punto di vista idraulico la proposta di non incrementare in pratica, contrariamente a quanto proposto dal «Progettone», le attuali resistenze al moto offerte dai canali portuali



Fig. 9.11 - Variante suggerita per le opere fisse previste alla bocca di Lido dal progetto redatto nel 1981 dagli esperti nominati dal Ministero dei Lavori Pubblici.

⁷⁶ Al Consorzio Venezia Nuova, costituito inizialmente da ventisei imprese tra le quali alcune delle più importanti società italiane operanti nel settore delle costruzioni civili, fu inizialmente affidato dal Magistrato alle Acque per conto del Ministero dei Lavori Pubblici, tramite l'istituto della «concessione unica», il compito di sviluppare gli studi, le ricerche e le sperimentazioni che il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici aveva indicato come necessari nella formulazione del suo parere sul progetto redatto dagli esperti incaricati nel giugno del 1981. La prima di molte altre convenzioni successive tra il Consorzio e il Magistrato alle Acque fu stipulata nel marzo 1984, con l'obiettivo di predisporre un piano generale delle indagini teoriche e sperimentali necessarie per individuare gli interventi funzionali al ripristino e alla conservazione del sistema lagunare.

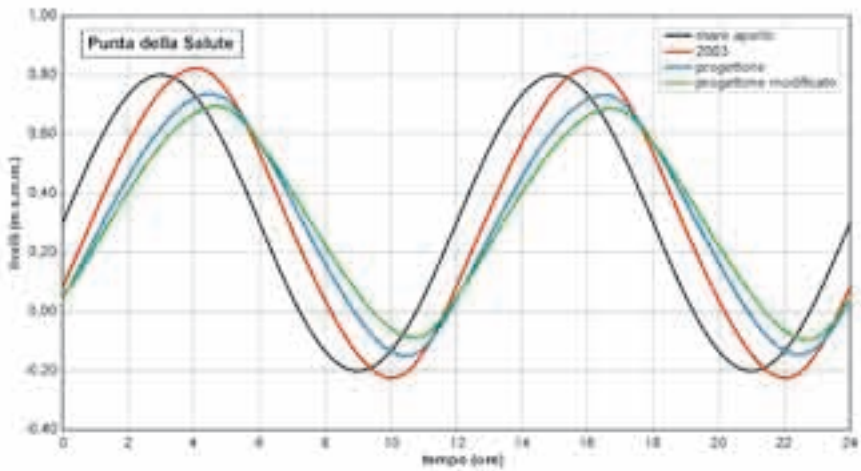


Fig. 9.12 - Andamento dei livelli a Punta della Salute, secondo il «Progettone» e nell'ipotesi di adottare per le opere fisse alla bocca di Lido la variante di Fig. 9.11, per la marea di riferimento considerata.

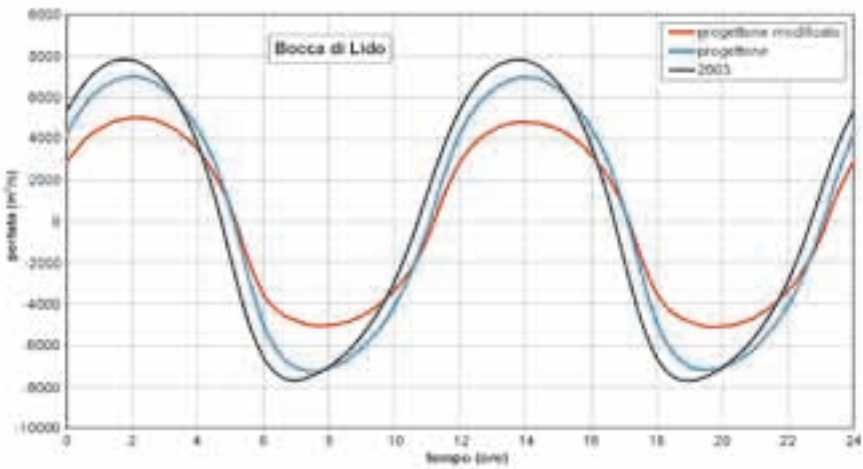


Fig. 9.13 - Andamento delle portate attraverso la bocca di Lido, secondo il «Progettone» e nell'ipotesi di adottare per le opere fisse la variante di Fig. 9.11, per la marea di riferimento considerata.

nel loro superamento da parte delle correnti di marea, per non modificare i volumi d'acqua scambiati tra mare e laguna, giudicando implicitamente come ottimale l'attuale regime delle correnti stesse. Relativamente a quest'ultimo punto, si è ampiamente dimostrata, anche in questa sede, l'infondatezza dell'assunzione, che sembra far riferimento non a condizioni di scambio mare-laguna ottimali, come ritiene il progettista, ma del tutto anomale, poiché condizioni simili non si sono mai verificate nel passato per la laguna. Esse sono il frutto di processi che dovrebbero essere seriamente contrastati, se si ha a cuore accanto al problema della difesa dalle «acque alte» quello riguardante l'assetto morfologico della laguna;

- l'approvazione in data 16 novembre 1992 da parte del Magistrato alle Acque del progetto di massima delle opere mobili alle bocche di porto;
- l'approvazione in data 18 ottobre 1994 del progetto di massima delle opere mobili alle bocche di porto da parte dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e la decisione di procedere alla progettazione esecutiva delle opere;
- la dichiarazione, in data 10 dicembre 1998, di «compatibilità ambientale negativa» da parte della Commissione V.I.A., incaricata dal Ministero dell'Ambiente di esaminare il progetto;
- il decreto in data 15 marzo 2001 del Consiglio dei Ministri, già richiamato, che stabilisce, tra l'altro, prima di passare alla progettazione definitiva delle opere mobili alle bocche di porto, doversi procedere in modo contestuale «a un ulteriore stadio progettuale degli interventi necessari per aumentare le capacità dissipative dei canali alle bocche di porto, tendendo al ripristino delle condizioni esistenti prima della costruzione dei moli e dei grandi canali di navigazione, e al connesso adeguamento del progetto degli interventi mobili alle bocche contro le maree eccezionali, tenendo conto delle variazioni climatiche, delle indicazioni del Ministero dei Trasporti e dell'Autorità portuale, nonché approfondendo gli effetti del funzionamento delle dighe mobili sulla morfodinamica dei fondali mediante la messa a punto di appropriati modelli revisionali». Prescrizione vana essendo a oggi rimasta disattesa;
- l'approvazione con voto n. 116 in data 8 novembre 2002 del Magistrato alle Acque del progetto definitivo delle opere alle bocche per la regolazione dei livelli di marea in laguna. Questo progetto, diversamente dagli altri, non è mai stato sottoposto all'esame dell'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Tralasciando il dettaglio dell'iter tecnico-amministrativo di queste e

delle molte altre tappe intermedie non citate, prima di sviluppare qualche considerazione di carattere idraulico sugli effetti locali e generali delle opere approvate sulla dinamica e sulla morfodinamica lagunare, è opportuno richiamare alcuni punti rilevanti che sono funzionali al ragionamento successivo e possono aiutare a comprendere, almeno in parte, il fondamento o meno delle contrapposizioni fra le folte schiere di coloro che si sono espressi e si esprimono pro o contro l'intervento progettato.

Il primo punto da evidenziare riguarda le caratteristiche tecniche del progetto approvato. Esse sono quelle di un «progetto definitivo» e non di «un progetto esecutivo»⁷⁷. La mancanza di un progetto esecutivo generale delle opere è riconosciuta dagli stessi esperti ai quali il Ministero delle Infrastrutture si è rivolto per un parere sugli interventi alternativi proposti dal Comune di Venezia⁷⁸. Ne deriva l'impossibilità di poter procedere alla realizzazione degli interventi per stralci funzionali successivi, come normalmente avviene nel caso di opere di grande impegno finanziario.

Nello specifico si sopprime mediante «stralci esecutivi», che nel caso di Venezia hanno il limite di essere approvati di volta in volta e solo in sede locale dal Magistrato alle Acque e potrebbero non essere inquadrabili nel contesto generale delineato e approvato in sede di progetto definitivo.

Senza entrare nel merito della validità formale di una tale procedura, nascono alcune conseguenze pratiche, che saranno sicuramente di

⁷⁷ L'Art. 93 del Decreto Legislativo n. 163 del 13 aprile 2006, rifacendosi alla ben nota legge Merloni del 1994 che ha sostituito, individua tre distinti livelli di progettazione indicati rispettivamente con: *preliminare, definitivo, esecutivo*. I tre livelli di progettazione si distinguono per i diversi contenuti tecnici. In particolare la progettazione esecutiva comporta fra l'altro la determinazione in ogni dettaglio dei lavori da realizzare e il relativo costo. Il progetto esecutivo, inoltre, deve essere sviluppato a un livello di definizione tale da consentire di identificare ogni elemento in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo, caratteristiche che sembrano difficili da individuare nel progetto approvato per le opere alle bocche.

⁷⁸ Nell'elaborato *Interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea* in data 10 ottobre 2006, redatto dal Gruppo di Lavoro costituito con nota del 21.09.2006 n. 272 del presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici a pag. 25 si legge tra l'altro: «nell'ottica di una visione globale e organica delle problematiche e degli interventi finalizzati alla salvaguardia di Venezia, si segnala l'utilità di procedere – con riferimento al **progetto definitivo approvato** – alla **progettazione esecutiva generale ed unitaria** del sistema di regolazione mobile dei flussi di marea, che consenta di programmare, in termini tecnico-economici compiutamente definiti, l'esecuzione delle opere per stralci funzionali, tenendo conto della necessaria gradualità degli interventi e delle priorità esistenti». Che dire, qualsiasi commento è superfluo, se, come sembra a un osservatore esterno, si continua invece a procedere «navigando a vista».

secondaria importanza, ma che non escludono in fase esecutiva modifiche anche importanti degli interventi approvati in sede di «progetto definitivo». È ovvio inoltre il pericolo insito in una tale procedura, per una possibile non chiara conoscenza preliminare degli effetti di opere che potrebbero essere configurate in modo diverso rispetto a quanto previsto nel progetto approvato. Non sono per questi motivi escludibili conseguenze idrauliche generali e locali negative, non accettabili per un ambiente sensibile quale è la laguna.

Per restare sul concreto si fa incidentalmente rilevare che la cosiddetta opera complementare⁷⁹ esterna della bocca di Chioggia è stata sensibilmente spostata rispetto a quanto previsto dal progetto definitivo, allontanandola verso il mare e ruotandola, mentre, almeno per il momento, parrebbe tramontata l'idea di realizzare l'analogo opera di fronte alla bocca di Lido. Se così fosse la decisione desta sconcerto, poiché l'influenza di queste strutture sulla resistenza idraulica addizionale introdotta alle bocche di porto era stata magnificata dal progettista in fase di sottomissione del progetto definitivo e difesa in sedi istituzionali. Si attestavano per esse, in verità erroneamente, effetti che altri, nel giusto, affermavano essere di nessun rilievo pratico.

È superfluo rilevare, a sostegno della non opportunità tecnica del modo di procedere adottato, che le variazioni della geometria delle opere esterne comportano effetti sul regime locale delle correnti di marea e sulle loro interazioni con i fondali, quantomeno in corrispondenza delle bocche. Effetti valutati o non valutati dopo la decisione di modificare la posizione e la consistenza delle opere? Se valutati, di quale rilevanza? Trascurabile o non trascurabile?

Non sarà sicuramente il caso di Venezia, ma di questo passo è evidente che l'approccio «fai e poi eventualmente aggiusta», che sembra caratterizzare la singolare procedura degli stralci esecutivi, potrebbe in linea di principio portare a traguardi lontani rispetto a quelli originariamente prospettati dal progetto approvato.

Un secondo punto sul quale richiamare l'attenzione riguarda la necessità che il controllore sia messo nelle condizioni di esercitare le sue funzioni, disponendo di risorse umane e finanziarie adeguate. Se si condivide l'idea che il controllo deve essere effettivo dal punto di vista sia amministrativo sia tecnico-scientifico, come a maggior ragione dovrebbe essere nel momento in cui si è stabilito di procedere per stralci esecutivi

⁷⁹ Con questa definizione sono indicate le opere progettate per rispondere alla richiesta contenuta nel citato decreto della Presidenza del Consiglio in data 15 marzo 2001.

nella realizzazione delle opere, guardando alla struttura e all'organico attuali del Magistrato alle Acque bisogna dire che i suoi funzionari sono chiamati a un compito arduo.

Un termine di paragone in tal senso è fornito dal recente intervento sul canale navigabile di Rotterdam, che ha comportato la realizzazione di un unico sbarramento della larghezza di circa 350 m su fondali di circa 14 m in un ambiente molto meno complesso di quello lagunare. Dovrebbe far riflettere il fatto che il Rijkswaterstaat olandese abbia formato un organismo di controllo delle attività del concessionario ben più agguerrito e numeroso di quello di cui dispone il Magistrato alle Acque. Di tale organismo sono stati chiamati a far parte ingegneri, fisici, matematici e modellisti numerici di sicura e comprovata fama, coinvolti a livello di responsabilità delle scelte, come i progettisti e l'esecutore dell'opera. È probabile che il Rijkswaterstaat operi in un altro mondo o abbia esagerato. Ma se così non fosse sarebbe stato un grave e imperdonabile errore non strutturare nello stesso modo il Magistrato alle Acque, attrezzandolo perché potesse esercitare un rigoroso controllo indipendente delle opere progettate, ora in fase di realizzazione.

Prima di passare oltre, un ultimo punto da ricordare, non meno importante dei primi, riguarda il significato da attribuire alle parole «sperimentalità, reversibilità e gradualità», alle quali fanno riferimento la legislazione speciale su Venezia e, in modo esplicito, il voto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici⁸⁰, per quanto si riferisce alle opere alle bocche. Il loro significato non può essere quello espresso dal progettista delle opere, senza dubbio originale, ma che sembra essere il frutto di una personale interpretazione del significato da attribuire a quelle parole.

Chi avrà ragione? Il progettista oppure quelli che, cadendo nel conformismo, vorrebbero conservare per quelle parole il significato tradizionale della lingua di Dante, trovandosi peraltro in buona compagnia e in perfetta sintonia con i sette esperti del «Progettone».

In un contesto dalle molte sfaccettature, figlie forse anche di una relativa trasparenza nei comportamenti degli organismi preposti, che forni-

⁸⁰ La Legge Speciale su Venezia n. 798 del 29 novembre 1984 *Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia* all'Art. 3 punto a) indica la possibilità di procedere «anche mediante interventi alle bocche di porto con sbarramenti manovrabili per la regolamentazione delle maree nel rispetto delle caratteristiche di **sperimentalità, reversibilità e gradualità**». Questi caratteri sono richiamati nel voto n. 201 del 1982 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e anche in un ordine del giorno del Consiglio Comunale di Venezia, approvato nella seduta 22/23 dicembre 1980, nel quale, con riferimento agli interventi alle bocche, ai suddetti termini si aggiunge anche quello di **flessibilità**.

scono a chi è all'esterno l'impressione di preferire l'assoluta riservatezza e la scarsa informazione, è facile comprendere i motivi per cui il confronto tra chi si dichiara favorevole alle opere e chi si esprime su di esse criticamente si trasforma spesso in un dialogo fra sordi, facendo nascere inevitabili scontri e polemiche, che annullano quanto di positivo ciascuno potrebbe trovare nel saper ascoltare opinioni diverse dalle proprie.

Alla luce di quanto si è affermato, pur con qualche scetticismo sui risultati, può non essere inutile il tentativo di proporre qualche riflessione personale di carattere idraulico sugli effetti derivanti dalla riconfigurazione delle bocche della laguna in corso di attuazione, che si completerà in ultimo con l'inserimento delle barriere mobili per la regolazione dei livelli di marea.

L'analisi è condotta con l'ausilio degli stessi modelli matematici ai quali si è fatto finora riferimento, implementando nel reticolo di calcolo la configurazione delle bocche prevista dal progetto definitivo del 2002, contemplando la presenza all'esterno delle bocche sia delle sole opere complementari, richieste dalla più volte citata delibera della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 2001, sia delle opere complementari e delle altre opere fisse necessarie alla realizzazione delle strutture funzionali all'inserimento delle barriere mobili.

Un primo commento riguarda gli effetti idraulici delle sole opere complementari, il cui costo si dice fosse stimato in 600 miliardi delle vecchie lire.

Stupisce innanzitutto che al Magistrato alle Acque sia sfuggita l'impostazione proposta dal progettista per affrontare il problema, non condivisibile per chi opera nel campo della modellazione matematica. Il progettista ritiene, infatti, di poter dare risposta alle questioni poste dalla citata delibera attraverso un modello matematico particolare limitato alle sole bocche di porto⁸¹.

Al di là della svista che porta a definire come «conduttanza» un gruppo di grandezze che dovrebbe piuttosto chiamarsi «resistenza», è del tutto soggettiva la delimitazione fisica individuata per definire l'estensione di ciascuna «bocca». Soprattutto nel caso della laguna ottocentesca, ma non solo, essa dipende chiaramente da una scelta arbitraria e opinabile della sezione interna in corrispondenza della quale far terminare

⁸¹ Il documento tecnico cui ci si riferisce è stato sviluppato nell'ambito dei *Nuovi interventi per la salvaguardia di Venezia* a cura del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e del Magistrato alle Acque ed ha come titolo: *Studio di impatto ambientale delle opere complementari alle tre bocche di porto e della conca di navigazione alla bocca di Malamocco*, luglio 2002.

ciascuna delle tre bocche (nello specifico i punti indicati a tal fine dal progettista sono i punti N1 e N2 riportati negli schemi di Fig. 9.14).

Per la configurazione delle bocche antecedente la costruzione dei moli (la più volte ricordata laguna al tempo di Dénaix), egualmente arbitraria e priva di fondamento teorico è l'individuazione delle condizioni al contorno da imporre sulla frontiera interna del dominio di calcolo del modello matematico particolare realizzato.

Le condizioni al contorno assunte riguardano i valori del flusso e sono corrette solo per la laguna attuale, essendo state dedotte dal modello completo dell'intero sistema lagunare nella sua configurazione effettiva. Le stesse condizioni evidentemente non valgono per la laguna dei primi anni dell'Ottocento. Per quest'ultima laguna, infatti, valori e ripartizione del flusso tra i canali interni che si staccano dalle bocche dipendono anche dalla morfologia del bacino lagunare retrostante e sono alquanto diversi da quelli odierni, che non possono in alcun modo fornire indicazioni attendibili su quanto avveniva due secoli fa.

È conseguentemente da ritenere non corretto l'assumere sulla frontiera interna del dominio di calcolo dei modelli particolari di bocca implementati per la laguna al tempo di Dénaix la stessa ripartizione del flusso calcolata per la laguna attuale.

Sempre con riferimento alle opere complementari esterne, un altro punto di incertezza è strettamente collegato all'interpretazione della delibera della Presidenza del Consiglio, laddove testualmente si chiede di «aumentare le capacità dissipative dei canali alle bocche di porto, tendendo al ripristino delle condizioni esistenti prima della costruzione dei moli e dei grandi canali di navigazione».

Non è chiaro se sia richiesto di riportare la resistenza idraulica delle bocche attuali a quella delle bocche della laguna ottocentesca, come in modo restrittivo ha interpretato il progettista individuando per esse arbitrariamente l'estensione, o se non si prescriva piuttosto di aumentare convenientemente le resistenze al moto che le correnti di marea incontrano nel loro superamento, tendendo per quanto riguarda i livelli al colmo di marea nel centro storico, che è la grandezza alla quale in concreto di solito ci si riferisce parlando di «acque alte», al ripristino delle condizioni preesistenti la costruzione dei moli e dei grandi canali navigabili. Quest'ultima, se si vuole, è un'interpretazione estensiva del concetto espresso dalla delibera, ma forse è la più autentica, visto che si discute di un progetto rivolto alla difesa di Venezia dalle «acque alte» e non al ripristino dei livelli di marea a S. Nicolò, ripristino che oltretutto non è garantito dalle opere complementari previste nel progetto definitivo approvato.

La differenza non è di poco conto. Attraverso lo studio del com-

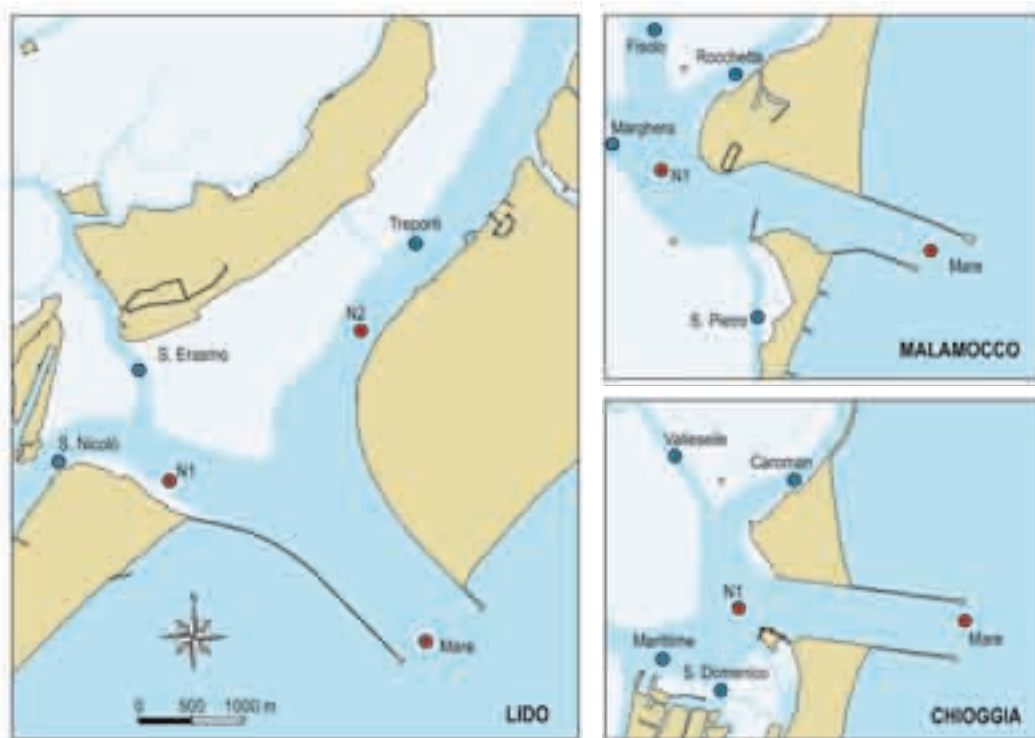


Fig. 9.14 - Le posizioni dei punti in mare e in laguna (N1, N2) scelti dal progettista delle opere alle bocche per definire la loro estensione e valutare la loro conduttanza idraulica.

portamento idraulico della laguna al tempo di Dénaix si è dimostrato che le attenuazioni dei colmi di marea a Venezia erano in quell'epoca apprezzabili, ragione per cui, per conseguire ora riduzioni confrontabili con quelle, sarebbero richiesti incrementi della resistenza al moto attraverso le bocche ben più accentuati di quelli realizzabili con le soluzioni proposte dal progettista.

Al di là dell'interpretazione della delibera ministeriale, sta di fatto che le opere complementari progettate e approvate non sono in grado da sole né di garantire l'auspicato ripristino del comportamento dissipativo delle bocche, riportandolo a quello delle bocche della laguna ottocentesca, né tantomeno di ridurre ai valori di allora i colmi di marea nel centro storico.

Nell'Ottocento nel solo superamento della bocca, la marea di riferimento assunta vedeva il suo colmo già attenuato rispetto al mare di 6 cm a S. Nicolò, appena dentro la laguna, mentre a Venezia l'attenuazione era, come si è visto, di circa 8 cm (Fig. 7.12).

Considerando le sole opere complementari nella configurazione approvata per il progetto definitivo, sempre per la marea di riferimento assunta, il beneficio di attenuazione dei livelli al colmo a Venezia Punta della Salute sarebbe, invece, nullo rispetto al mare e di appena 1.7 cm se il riferimento è alla situazione attuale (Fig. 9.15). Qualora si considerassero le maree a suo tempo indicate dal Comune di Venezia (vedi nota 69), l'effetto delle sole opere complementari sulla riduzione dei colmi in città risulterebbe sempre modesta e varierebbe tra i 2.3 cm della marea del 4 aprile 1987 (con un colmo di 0.89 m sullo zero di Punta della Salute) e i 3.0 cm della marea del primo febbraio 1986 (colmo a 1.52 m sullo zero di Punta della Salute), essendo nullo per la marea eccezionale del 4-5 novembre 1966.

Poiché secondo quanto richiesto dalla delibera ministeriale, la funzione delle opere complementari esterne dovrebbe essere quella di incrementare le resistenze al moto nel superamento delle bocche da parte delle correnti di marea, se ne conclude che la soluzione progettata non sembra rispondere affatto a tali necessità. Da questo punto di vista, a meno che esse non siano funzionali a necessità non dichiarate, ai fini del richiesto incremento delle resistenze al moto delle correnti di marea le opere esterne devono realisticamente essere giudicate uno spreco di danaro pubblico, che poteva essere sicuramente meglio utilizzato.

Sulle opere complementari esterne alle bocche da qualche tempo è sceso l'oblio, ma su di esse si è dibattuto con molti contrasti anche all'interno della X Commissione Consiliare del Comune di Venezia, dove da parte dei consiglieri sostenitori della soluzione proposta dal Magistrato alle Acque ci si è duramente espressi nei confronti di ingegneri che avevano, invece, ben operato ed erano nel giusto quando sostenevano la scarsa efficacia delle opere proposte per le finalità indicate dalla delibera Amato.

Si sono per contro lodati, sempre da parte di questi consiglieri fideisticamente schierati, ingegneri che avevano distorto, è da sperare in buona fede, gli effetti di tali opere, esaltandoli.

La verità sulle opere complementari esterne, dunque, non è quella che ufficialmente si continua a dichiarare. Esse non sembrano rispondere affatto agli obiettivi indicati dalla delibera della Presidenza del Consiglio che le ha richieste, la quale rimane pertanto disattesa.

Non si esclude ovviamente, come si è accennato, che le opere complementari realizzate siano funzionali e utili per proteggere le paratoie mobili dall'interazione con il moto ondoso contro eventuali fenomeni di risonanza, peraltro sempre ufficialmente esclusi. Lo lasciano implicitamente intravedere la posizione e la configurazione assegnate

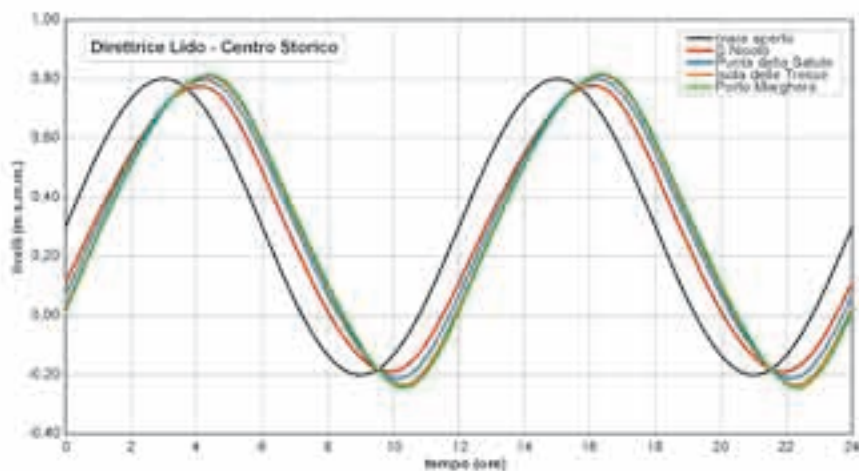


Fig. 9.15 - Andamento dei livelli lungo la direttrice del centro storico tra S. Nicolò e Porto Marghera nell'ipotesi di costruire solo le opere esterne alle tre bocche, per la marea di riferimento assunta.

in fase esecutiva all'opera realizzata di fronte alla bocca di Chioggia, ben diversa da quella indicata nel progetto definitivo. D'altra parte, se veramente le opere esterne fossero necessarie per incrementare le resistenze idrauliche alle bocche, è singolare che, quantomeno fino ad oggi, non si sia dato corso alla realizzazione del molo esterno previsto di fronte alla bocca di Lido, che ha un ruolo più diretto sui livelli di marea nel centro storico.

Ricordando le conseguenze della costruzione dei moli alle bocche di porto per favorire la navigazione, è a questo punto inevitabile chiedersi quali saranno gli effetti idraulici locali e complessivi sul campo di moto che si possono attendere da una riconfigurazione delle bocche di porto così importante, quale è quella che si sta delineando con il procedere dei lavori.

Per dare una risposta a questa curiosità, sempre assumendo la stessa marea di riferimento e nell'ipotesi preliminare di poter considerare i fondali inerodibili, si è simulato matematicamente il comportamento della laguna inserendo alle bocche di Chioggia e di Malamocco le opere fisse già effettivamente realizzate, quelle in fase di realizzazione e quelle allo stato di progetto, modificando la configurazione della bocca di Lido con l'inserimento delle strutture necessarie per accogliere le paratoie mobili, ma non l'opera complementare esterna, che, considerati

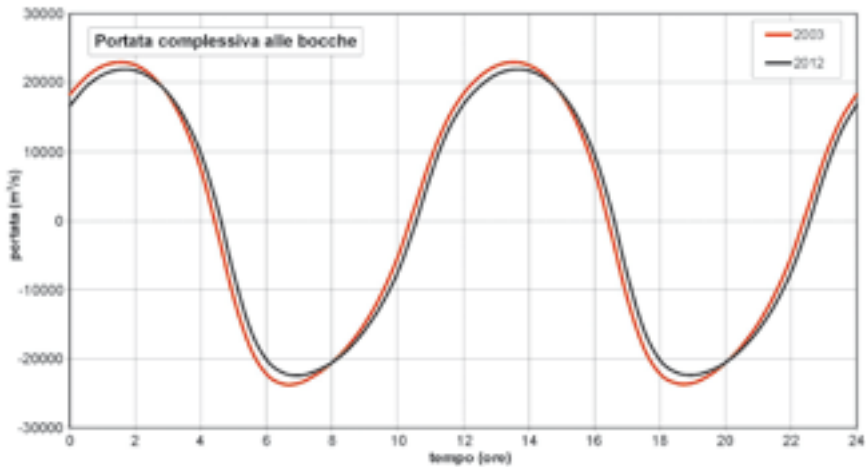


Fig. 9.16 - Andamento delle portate complessive scambiate con il mare attraverso le tre bocche per la laguna attuale e nella configurazione con inserite le opere fisse previste dal Mo.S.E., per la marea di riferimento assunta.

i benefici in termini di riduzione dei livelli di marea al colmo, sarebbe auspicabile non venisse mai realizzata.

Nelle simulazioni numeriche per tutte le bocche si sono considerati, là dove previsti, i rialzi del fondo indicati dal progetto definitivo.

I risultati ottenuti, meritano un breve commento, partendo innanzitutto dagli effetti sui colmi di marea.

Per la marea di riferimento assunta, a Punta della Salute il colmo di marea è attenuato rispetto alla situazione attuale di poco meno di 2 cm (1.7 cm), con benefici appena superiori (2.3 cm) a S. Nicolò (Fig. 9.16). Valori in ogni caso molto lontani da quelli riscontrati per la laguna ottocentesca.

Se si guarda, invece, alle portate massime complessive scambiate dalla laguna con il mare attraverso le tre bocche, esse sono di 21900 m³/s, in fase di flusso, e di 22900 m³/s, in fase di riflusso, inferiori rispetto a quelle attuali di poco più del 4% per entrambe le fasi. La bocca maggiormente penalizzata è la bocca di Malamocco (Fig. 9.17), per la quale le suddette variazioni in termini percentuali sono pari a circa il 7%, in fase di flusso, e al 9%, in fase di riflusso.

Si tratta di effetti del tutto trascurabili, sia che si prenda a confronto la situazione preesistente agli interventi sia che ci si riferisca alla soluzione del famoso «Progettone» sia, infine, che la si valuti alla luce della

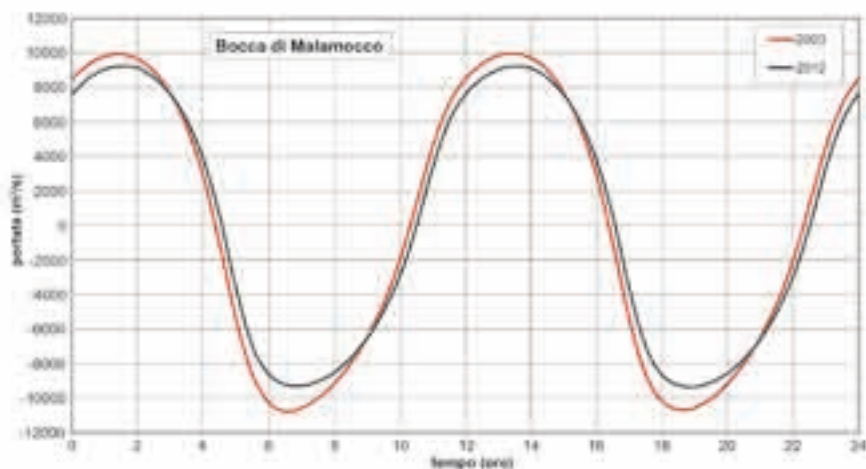


Fig. 9.17 - Andamento delle portate scambiate attraverso la bocca di Malamocco con il mare per la laguna attuale e nella configurazione con inserite le opere fisse previste dal Mo.S.E., per la marea di riferimento assunta.

ricordata delibera della Presidenza del Consiglio, riportandosi quindi alla laguna dei primi anni dell'Ottocento.

Se l'idraulica lagunare non è un'opinione, della quale molti si diletano parlandone con civetteria come se questo bastasse per dare fondamento ai loro ragionamenti e come purtroppo spesso è accaduto negli ultimi lunghi 40 anni, le considerazioni svolte dovrebbero far riflettere sulla superficialità con cui sono state assunte importanti decisioni riguardanti la laguna e sulle conseguenze negative che talune iniziative possono comportare, quando non esplorate in tutti i loro effetti.

Per le nuove opere alle bocche è significativo soffermarsi sulle variazioni dei campi di velocità che esse inducono nelle loro vicinanze, in modo particolare verso il mare. Strettamente collegati con queste variazioni sono fra l'altro l'evoluzione locale dei fondali in prossimità delle opere e i fenomeni di interazione con le correnti costiere, che controllano l'assetto generale plano-altimetrico delle bocche e il regime dei litorali adiacenti.

Alla bocca di Lido la costruzione del porto rifugio, associata alla realizzazione dell'isola centrale di appoggio delle strutture destinate ad accogliere i due sbarramenti previsti sul canale S. Nicolò e sul canale di Treporti, causano apprezzabili incrementi locali delle velocità massime

e distacco di macrovortici per fenomeni di separazione di corrente in varie parti della bocca stessa.

Le velocità si accentuano apprezzabilmente lungo il canale di Treporti, soprattutto in prossimità della struttura artificiale che sull'estradosso della curva fa da spalla allo sbarramento mobile. Non è tuttavia esente dal problema nemmeno la sponda interna che dalla parte opposta confina il porto rifugio. Nelle Fig. 9.18-9.19 sono poste a confronto con lo stato attuale le distribuzioni istantanee della velocità che si realizzano attraverso la bocca rispettivamente in fase di massimo flusso e di massimo riflusso.

È verosimile che sul medio periodo il fenomeno si rifletta, se già non è avvenuto, sull'assetto dei fondali, che tenderanno a erodersi, poiché il tratto di cui è prevista la protezione, secondo il progetto definitivo, sembra essere troppo corto per impedire i processi erosivi, quantomeno con riferimento alla situazione di bocca modellata matematicamente.

Fatalmente modificate sono anche le condizioni del moto da e per il canale di S. Erasmo e negli specchi d'acqua prospicienti l'isola omonima, che nel futuro non saranno più soggetti all'azione diretta delle correnti di marea. Egualmente alterati risultano alcuni caratteri secondari del moto nelle zone retrostanti l'isola di S. Erasmo. Il diverso gioco delle fasi che governa la propagazione della marea verso la laguna media e la laguna superiore, in prossimità dell'inversione del flusso, vede attualmente la bocca di Lido essere percorsa da correnti dirette in senso opposto lungo il canale di S. Nicolò e lungo il canale di Treporti. Al fenomeno è associata in questi istanti all'interno della laguna una circolazione secondaria, che porta a scambi di portata tra la laguna superiore e la laguna media, con effetti positivi per il ricambio delle acque.

Per la bocca di Malamocco le variazioni dei campi di velocità indotte dalla presenza delle nuove opere sono ancora più importanti di quelli che si riscontrano alla bocca di Lido e non interessano i soli valori massimi, come si coglie dal confronto tra gli assetti istantanei dei campi di moto in fase di massimo flusso (Fig. 9.20) e di massimo riflusso (Fig. 9.21).

Secondo il calcolo la nuova bocca, dalla complessa configurazione geometrica, durante l'evolversi della marea è spazzata da un sistema di macrovortici che si spostano anche trasversalmente all'asse del canale di navigazione, interessando fondali che non risultano protetti contro l'erosione, per quanto si evince dai disegni illustrativi dell'intervento.

Si producono come conseguenza rapide e continue oscillazioni delle velocità, come è ben evidenziato dall'esame in successione dei campi istantanei del flusso ottenuti dal calcolo. Durante la fase di riflusso della

marea, inoltre, il molo esterno, già realizzato, interferisce con il getto in uscita dalla bocca deviandolo apprezzabilmente.

La nuova opera favorisce, fra l'altro l'indirizzamento di un filone di corrente verso riva, a lato della conca di navigazione, con esiti che non sembrano potersi definire positivi.

Con riferimento ai risultati ottenuti, due sono i problemi da considerare in prospettiva con qualche attenzione. Il primo, non diverso da quello che si riscontra alla bocca di Lido, riguarda l'interazione delle correnti con i fondali mobili, che innescherà processi erosivi tutti da valutare in relazione alle zone di bocca che non sono protette contro questi fenomeni. Il secondo è attinente all'influenza sulla navigazione dei variati campi di velocità e delle formazioni vorticose generate in ingresso e in uscita dalla bocca, che potrebbero rendere problematica, durante certe fasi di marea, la percorrenza del porto canale da parte delle navi.

Nelle particolarità del campo di moto evidenziate dalle simulazioni numeriche, troverebbero fondamento le incertezze espresse dal comandante dei piloti del porto in un incontro pubblico, tenutosi presso il Comune di Venezia nel 2006. In relazione alle massime velocità delle correnti di marea che si determineranno lungo la bocca riconfigurata, il comandante ha ritenuto di non potersi esprimere sulle condizioni limite di agibilità del futuro canale di porto, nonostante i rassicuranti risultati offerti dal simulatore della navigazione nei riguardi di un approccio non problematico da parte delle navi alla bocca stessa.

Se si fa riferimento, infine, alla bocca di Chioggia, rivolgendo sempre l'analisi alle caratteristiche dei campi di moto dopo la realizzazione delle opere fisse previste, i risultati ottenuti suggeriscono considerazioni non dissimili da quelle per le altre bocche.

Nel momento di massimo flusso (Fig. 9.22) e di massimo riflusso (Fig. 9.23) si evidenziano interferenze significative con la nuova opera esterna, che modifica apprezzabilmente l'assetto delle correnti rispetto alla condizione attuale.

Compaiono in entrambe le fasi di marea grandi formazioni vorticose direttamente collegabili alla presenza del molo esterno. Inoltre il getto che caratterizza il moto in fase di riflusso, impattando contro la nuova opera a mare, è deviato parzialmente verso il litorale che si affianca alla diga sud, peraltro partendo da distanze meno vicine alla spiaggia rispetto a quanto si verifica per la nuova bocca di Malamocco.

Anche nel caso della bocca di Chioggia, se si considerano le parti assoggettate a incrementi della velocità o interessate localmente dalle formazioni vorticose, sembrerebbero opportuni provvedimenti di difesa contro l'erosione estesi oltre i limiti indicati nelle tavole del progetto definitivo.

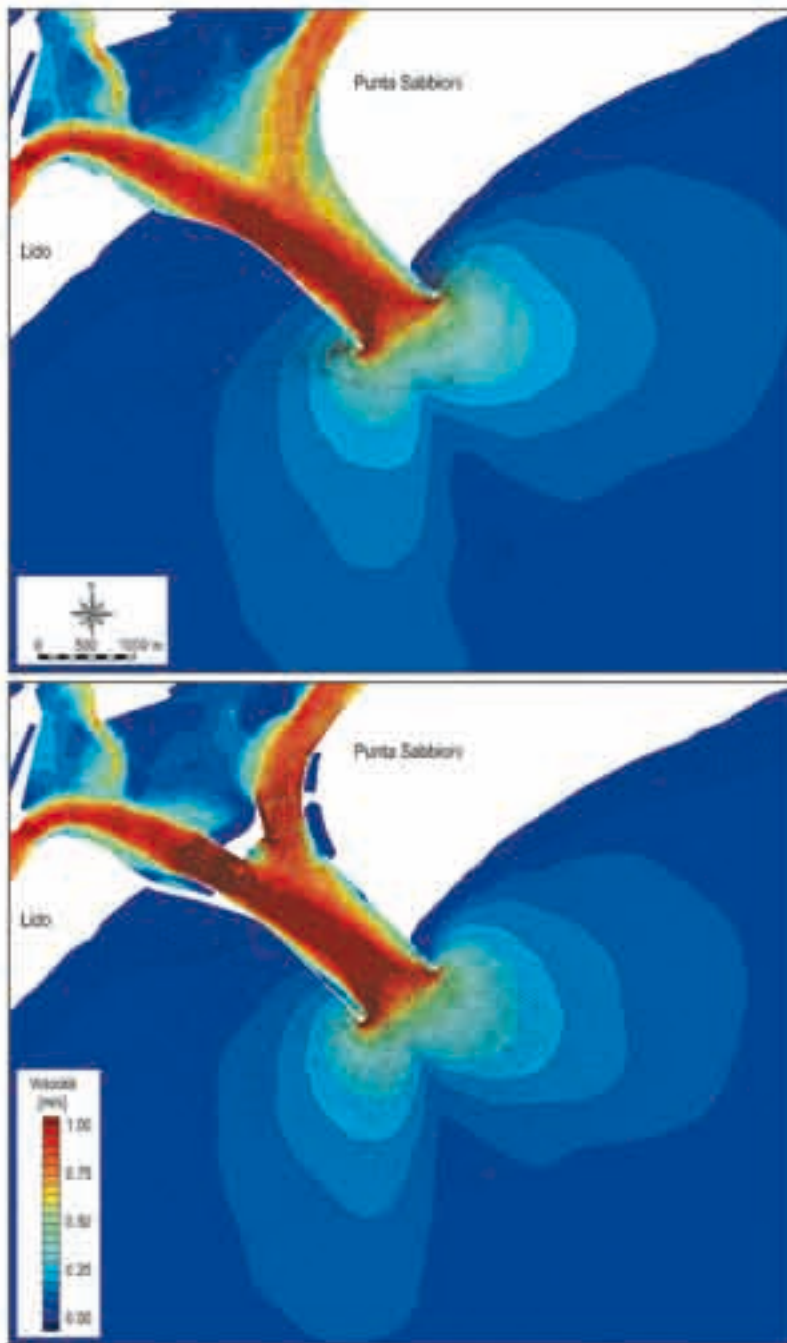


Fig. 9.18 - Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in entrata dalla bocca di Lido nella fase di massimo flusso della marea di riferimento considerata, nella condizione attuale (in alto) e in quella modificata dall'inserimento delle nuove opere fisse (in basso).

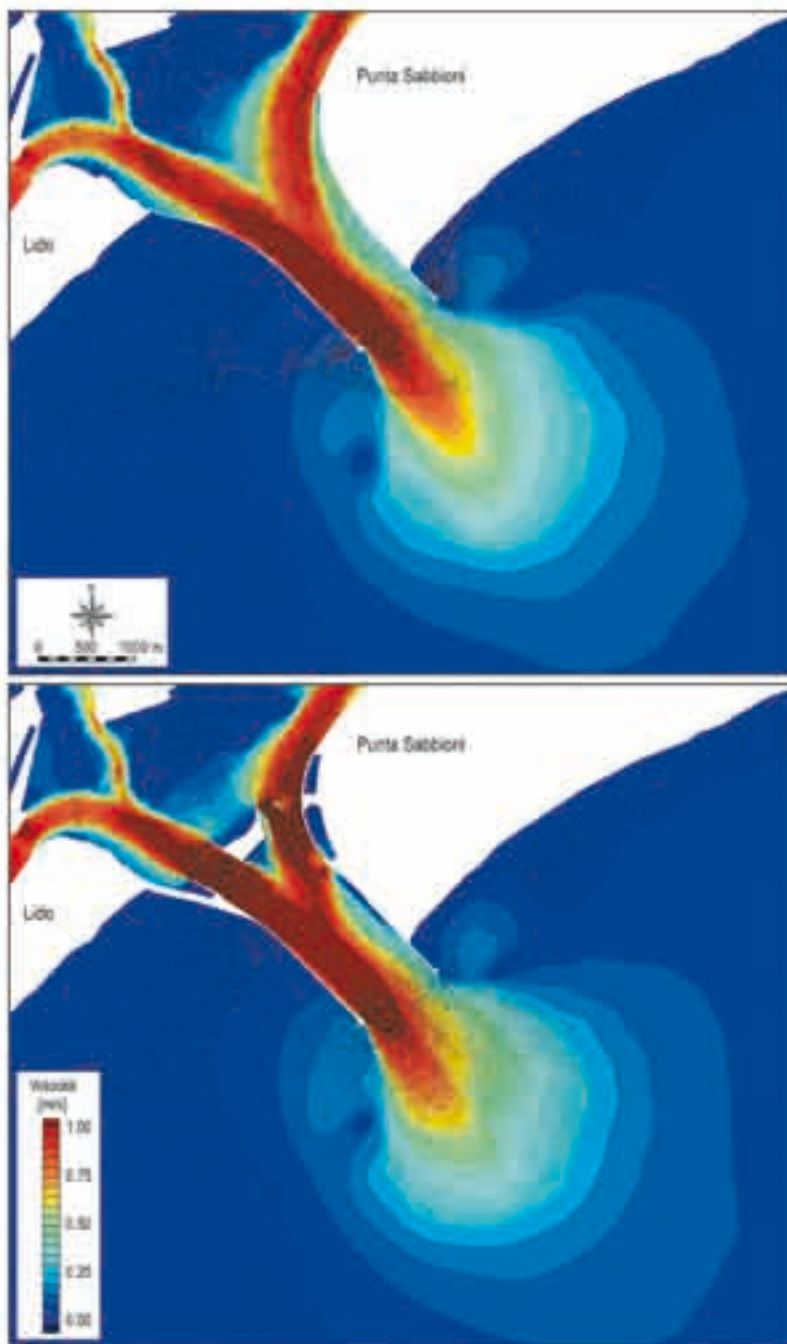


Fig. 9.19 - Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in uscita dalla bocca di Lido nella fase di massimo riflusso della marea di riferimento considerata, nella condizione attuale (in alto) e in quella modificata dall'inserimento delle nuove opere fisse (in basso).

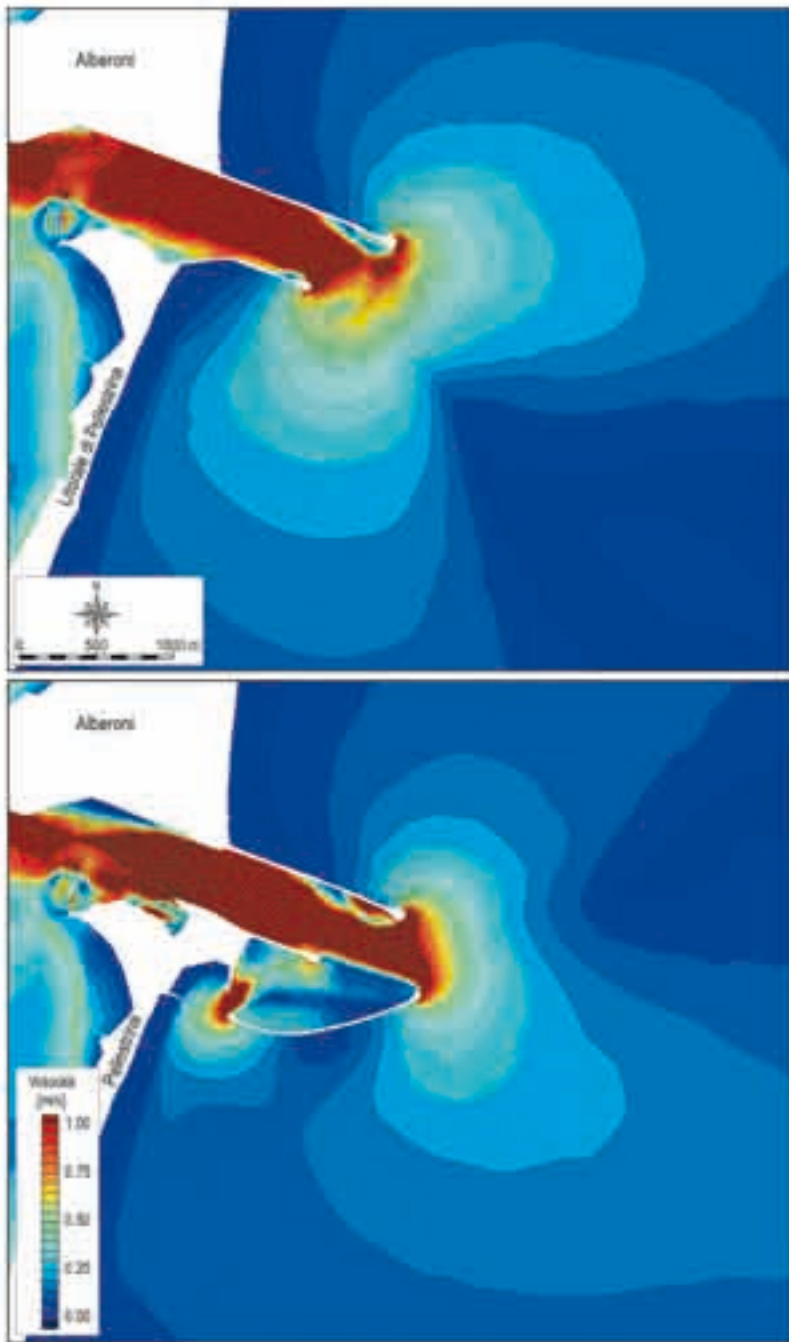


Fig. 9.20 - Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in entrata dalla bocca di Malamocco nella fase di massimo flusso della marea di riferimento considerata, nella condizione attuale (in alto) e in quella modificata dall'inserimento delle nuove opere fisse (in basso).

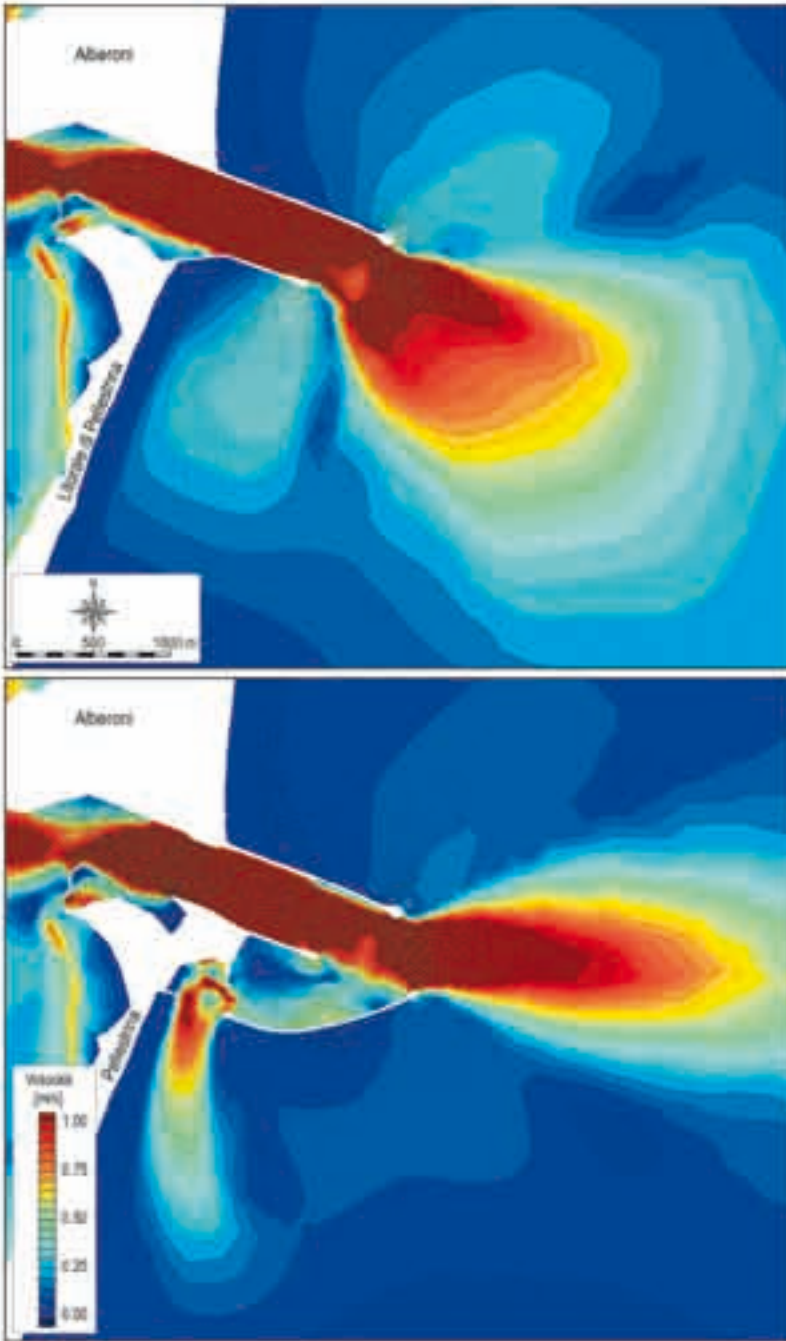


Fig. 9.21 - Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in uscita dalla bocca di Malamocco nella fase di massimo riflusso della marea di riferimento considerata, nella condizione attuale (in alto) e in quella modificata dall'inserimento delle nuove opere fisse (in basso).

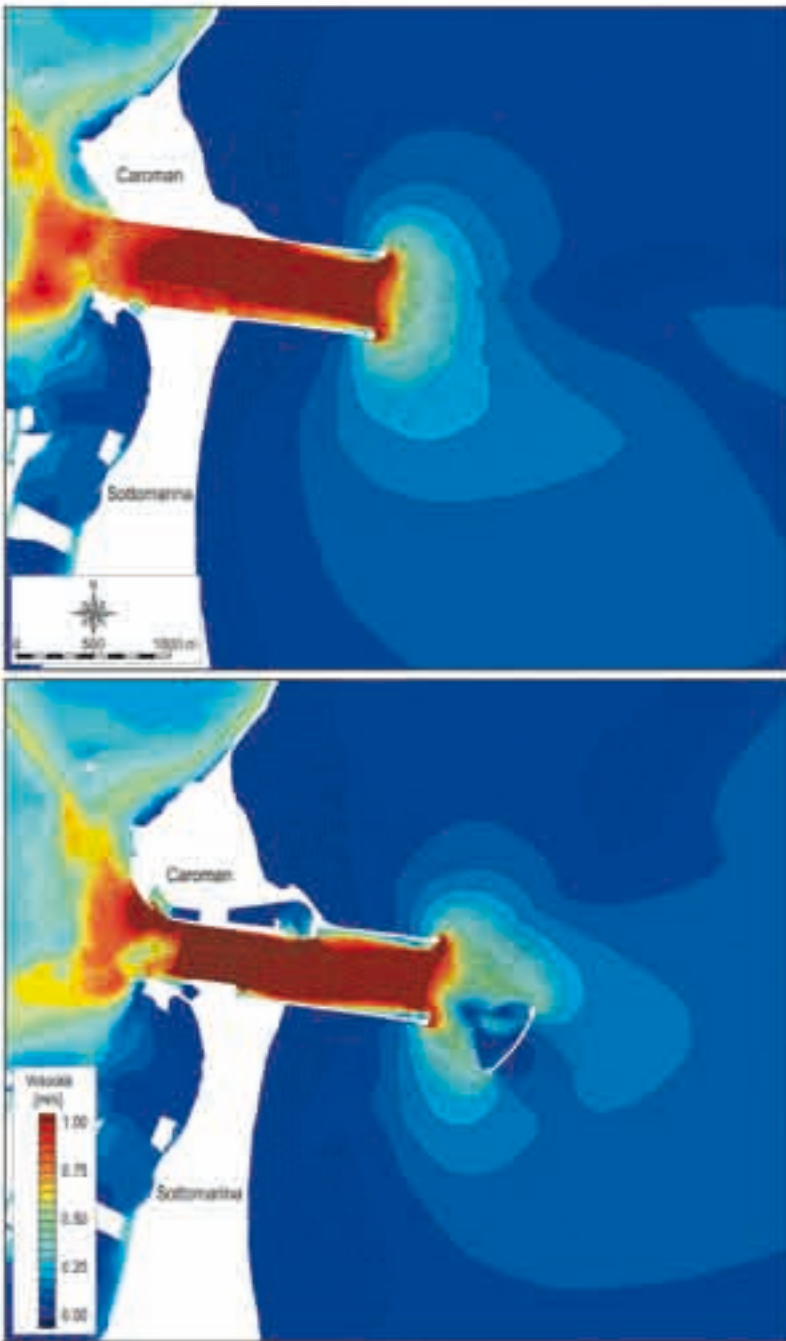


Fig. 9.22 - Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in entrata dalla bocca di Chioggia nella fase di massimo flusso della marea di riferimento considerata, nella condizione attuale (in alto) e in quella modificata dall'inserimento delle nuove opere fisse (in basso).

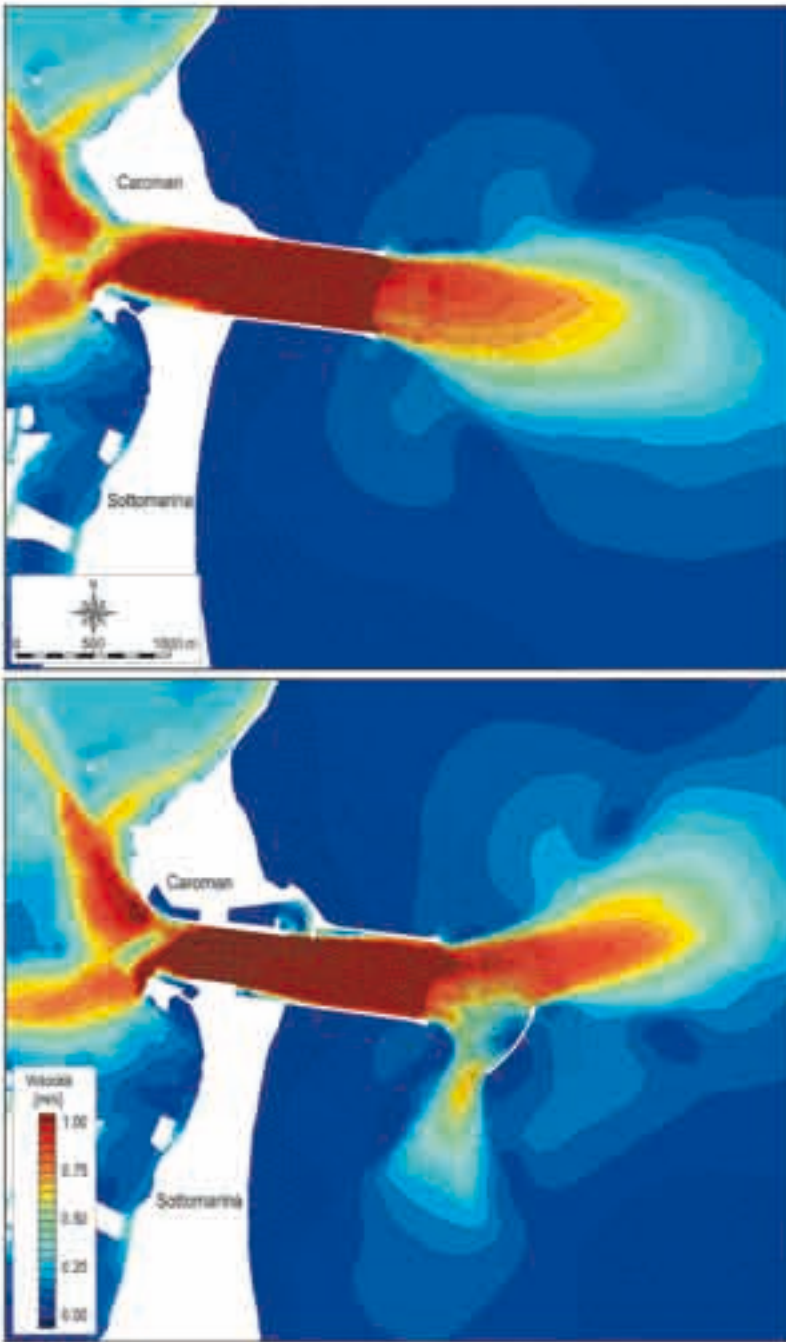


Fig. 9.23 - Distribuzione istantanea delle velocità per la corrente in uscita dalla bocca di Chioggia nella fase di massimo riflusso della marea di riferimento considerata, nella condizione attuale (in alto) e in quella modificata dall'inserimento delle nuove opere fisse (in basso).

È probabile, per non dire certo, che a questi problemi di difesa dei fondali e più in generale del mutato assetto delle correnti nel paraggio di mare antistante le bocche il progettista abbia in realtà già pensato e che essi siano, come si usa dire, tutti sotto il suo completo controllo. Sarebbe disdicevole, infatti, se il progettista e i suoi controllori, che è da supporre conoscano a loro volta gli effetti sopra richiamati, non avessero affrontato nei loro molteplici aspetti le conseguenze del nuovo assetto geometrico previsto per le bocche, provvedendo ad adottare gli eventuali interventi di mitigazione necessari.

In ogni caso, alla luce dei risultati ottenuti per le bocche nella loro configurazione modificata, sarebbe di grande interesse tecnico e scientifico conoscere con sistematicità e con tempestività le indicazioni che, con il progredire degli interventi, emergono dal monitoraggio in corso per verificare i loro effetti. Al riguardo non si devono dimenticare mai i limiti della simulazione matematica. Per quanto sofisticata, essa può essere solo di guida nelle scelte, considerato che la realtà che si pretende di simulare matematicamente è sempre molto più complessa di quanto i modelli non siano effettivamente in grado di descrivere.

Una pubblicità dei dati che via via emergeranno dalle osservazioni di campo, sarebbe auspicabile e funzionale anche alla migliore messa a punto degli strumenti di indagine implementati al di fuori del Magistrato alle Acque e del suo concessionario unico, ma costituirebbe soprattutto un deciso segnale di rottura con il passato, che ci porterebbe d'un sol colpo alla pari con i Paesi nei quali la «trasparenza» è la regola applicata e quanto si ottiene con il finanziamento pubblico è nella disponibilità di chiunque senta il bisogno di averne conoscenza, senza dover sottostare a domande o autorizzazioni di sorta.

Poiché non c'è da dubitare che non sia così, è da ricacciare l'idea che dell'esistenza di eventuali problemi determinati dai lavori in corso alle bocche si abbia percezione solo indirettamente, quando comparisse la notizia dell'approvazione di un nuovo stralcio esecutivo, destinato ad adattare il progetto approvato nel 2002 a necessità emergenti, a suo tempo non previste.

Preso atto infine che le nuove opere alle bocche saranno per la laguna di Venezia una realtà dalla quale fra qualche tempo non si potrà ormai più prescindere, dato lo stato di avanzamento dei lavori, accanto agli aspetti critici sui quali si è richiamata l'attenzione con riferimento alle loro potenziali conseguenze sul regime delle correnti lagunari, per completezza di informazione non si può far a meno di ricordare quanto di positivo potrebbe nascere per la presenza di strutture mobili di regolazione alle bocche di porto, se il loro esercizio sarà attuato consideran-

do gli altri problemi che affliggono la laguna stessa oltre a quello della difesa dalle «acque alte».

In questa prospettiva è comunque fuorviante pretendere di affidare alle nuove opere funzioni «taumaturgiche», risoltrici di tutti i mali. Ritenere, come si è recentemente affermato da parte di autorevoli esponenti del mondo politico ed economico veneziano, che in virtù della loro presenza e grazie al loro esercizio si possano neutralizzare gli effetti negativi del canale navigabile Malamocco-Marghera, per poterlo potenziare ulteriormente in funzione delle nuove esigenze portuali, è privo di fondamento tecnico-scientifico.

È realistica e concreta, invece, l'ipotesi di poter attivare, attraverso una opportuna manovra differenziata degli sbarramenti ora in fase di costruzione, correnti secondarie fra i tre bacini di Lido, Malamocco e Chioggia, per meglio fronteggiare eventuali crisi eutrofiche all'interno della laguna e favorire un più rapido ricambio delle sue acque a difesa dell'ambiente lagunare, conseguendo indubbi benefici per il superamento di criticità di questo tipo.

Se valgono le affermazioni del progettista sulla capacità delle barriere di far fronte alle correnti e agli stati di mare più severi, egualmente ipotizzabili sarebbero interventi di parzializzazione temporanea dei varchi presidiati alle bocche, sollevando solo una parte degli elementi mobili e introducendo di fatto quei restringimenti pensati da molti come opere fisse, non ultimi dai sette saggi che redassero il famoso «Progetto-ne», ma duramente contrastati e non realizzati.

Una sperimentazione in tal senso, affidata a ricercatori esperti che rendessero pubblici i dati via via raccolti mettendoli nella disponibilità di tutti, farebbe chiarezza sulle polemiche che ci sono state intorno a questo argomento, permettendo di verificare sul campo la sostenibilità in termini ambientali di minori volumi di scambio mare-laguna e in definitiva di un regime di correnti di marea maggiormente simile a quello delle lagune del passato e lontano dal regime attuale che, come si è dimostrato, è stato determinato non tanto dalla naturale evoluzione della laguna, quanto piuttosto dagli interventi attuati dall'uomo negli ultimi due secoli.

10. SULLE CAUSE DEL DEGRADO MORFOLOGICO DEL BACINO LAGUNARE

Il confronto dei numerosi rilievi batimetrici disponibili mette in evidenza, senza tema di smentite, le profonde modificazioni morfologiche che hanno interessato la laguna di Venezia a partire dai primi decenni dell'Ottocento per arrivare ai nostri giorni. Non è quindi fuor di luogo chiedersi, da una parte se sia possibile dare una spiegazione plausibile dei processi che hanno determinato i fenomeni di degrado che si osservano, dall'altra se, sulla base delle conoscenze disponibili, si possa formulare una qualche previsione sul futuro della laguna di Venezia, che, nonostante l'impegno profuso dall'uomo per favorirne la «demolizione», conserva ancora valori ambientali meritevoli di essere tutelati e, se possibile, incrementati.

In buona sostanza, presa coscienza del fatto che la difesa della città di Venezia dalle «acque alte» non è il solo problema da risolvere, anzi fra tutti è forse concettualmente il più facile da affrontare in termini tecnici, è da domandarsi se sia possibile individuare provvedimenti efficaci per porre rimedio al degrado morfologico della laguna, modificando le condizioni che determinano la sua attuale evoluzione in senso negativo.

Per conseguire questo ambizioso obiettivo, il necessario punto di partenza sono le cause che hanno portato la laguna, che ci è stata lasciata dalla Repubblica di Venezia nel momento della sua caduta, alle attuali condizioni.

Gli aspetti più evidenti delle modificazioni morfologiche subite dal sistema lagunare sono da tutti facilmente avvertibili e si concretizzano in alcune variazioni sostanziali. Rispetto alla laguna ottocentesca, la prima che si conosce su base topografica moderna, la laguna attuale presenta innanzitutto una drastica riduzione di estensione delle superfici occupa-

te dalle barene, una delle sue forme caratteristiche che la differenziano rispetto ad altre lagune giunte sino a noi.

Se si conduce un confronto tra le superfici occupate dalle barene⁸² all'interno della conterminazione lagunare stabilita nel 1924, escludendo per omogeneità le aree occupate dalle attuali valli da pesca, ora totalmente intercluse alla propagazione della marea diversamente dal passato, l'estensione delle barene che era di ~170 km² nel 1901, è passata a ~104 km² nel 1932 per arrivare ai soli 47 km² dell'ultimo rilievo del 2003, escluse le «barene artificiali» realizzate negli ultimi anni, che, per le modalità costruttive utilizzate, tali non possono considerarsi per la loro diversa funzionalità.

I valori indicati per le superfici di barena sono in accettabile concordanza con quelli calcolati da altri autori (Marani *et al.* 2003) con riferimento sia a situazioni del passato sia alle condizioni attuali. Essi indicano la drammatica riduzione di superficie subita dalle barene passando dai primi anni del Novecento a oggi, con una fortissima accelerazione del fenomeno nell'ultimo periodo.

Estese superfici un tempo soggette ad allagamento solamente durante le fasi di alta marea si sono progressivamente trasformate, assumendo per la maggior parte la condizione di bassifondi costantemente sommersi dalle acque. Parallelamente un volume non valutabile di sedimenti, ma sicuramente ingente, si è trasferito dalle barene alle zone di minore quota assoluta (bassifondi e canali) o addirittura non è più residente in laguna, essendo stato espulso in mare.

Se quella riguardante le barene è la variazione più facilmente percepibile subita dalla laguna nel corso dei due ultimi secoli, una seconda non meno importante trasformazione da considerare, egualmente individuabile senza difficoltà, riguarda le modificazioni di profondità dei bassifondi lagunari. Risulta, infatti, che le aree occupate dalle acque si siano andate sistematicamente approfondendo, soprattutto nella laguna media e in quella inferiore

Le cause di quest'ultimo imponente processo potrebbero essere banalmente ricondotte al già ricordato fenomeno della sommersione, non più compensato da significativi apporti di sedimenti dall'esterno dopo l'estromissione dei fiumi dalla laguna. La sommersione, pur agendo nella direzione indicata, non ha però mai assunto nel passato, e non assume

⁸² Escluse le terre costantemente emerse (isole, lidi, ecc.), nel confronto si sono considerate come superfici di barena le aree che nella cartografia relativa alle diverse configurazioni esaminate sono classificate come tali. Può essere interessante segnalare che secondo le carte di Augusto Dénaix (1810) e di Angelo Emo (1763) le superfici occupate da barene sarebbero state pari a 182 km² e a 207 km² rispettivamente.

nemmeno ora nell'area veneziana, valori tali da fornire completa spiegazione agli approfondimenti osservati. Lo dimostra l'elaborazione delle registrazioni mareografiche disponibili a partire dal 1872, inizialmente per un breve periodo a S. Stefano, successivamente e fino a oggi a Punta della Salute. Queste registrazioni permettono di calcolare le variazioni di quota relativa delle terre emerse rispetto al mare nel periodo considerato e, per confronto con le analoghe registrazioni effettuate a Trieste⁸³, di valutare separatamente in quale misura l'eustatismo e la subsidenza abbiano inciso sul fenomeno.

Poiché si è stimato (Battistin e Canestrelli 2006) che dal 1872 a oggi (2005), ovvero in un periodo di 133 anni, la sommersione del territorio veneziano sia stata di 30 cm circa, distribuendo in prima approssimazione questo valore in modo uniforme nel tempo, risulterebbe un approfondimento dei fondali lagunari di circa 22-23 cm nell'arco di un secolo. La sommersione pertanto è al più solo una concausa⁸⁴ del segnalato incremento del livello relativo delle acque rispetto al fondo, i cui valori richiedono, per essere pienamente giustificati, la sovrapposizione degli effetti dovuti ad altri ben più importanti fenomeni.

Quanto alle conseguenze della diversione dei fiumi, che nel corso dei secoli con il loro cospicuo apporto di sedimenti avevano mitigato se non addirittura invertito i rapporti relativi fra terre emerse e acque, non si è in grado di stimarne quantitativamente gli effetti, mancando qualsiasi conoscenza topografica e batimetria generale della laguna cinquecentesca, quando fu deliberata e attuata l'estromissione del Brenta, il maggior responsabile degli interrimenti e quindi il fattore determinante della costruzione delle barene nella laguna media e inferiore.

La ricordata annotazione di Dénaix sui fondali delle zone d'acqua, contenuta nel commento della sua carta⁸⁵, porta però a ritenere che, no-

⁸³ Il mareografo di Trieste è installato su di una costa rocciosa non soggetta a fenomeni di subsidenza del suolo o di bradisismo. Le eventuali variazioni del livello medio del mare deducibili dalle registrazioni mareografiche di questo strumento sono pertanto dovute al solo fenomeno dell'eustatismo. Differente è la condizione del mareografo di Punta della Salute. Il caposaldo di riferimento dello strumento si è affondato nel tempo per i ben noti fenomeni di subsidenza del suolo nell'area veneziana. Le registrazioni a Punta della Salute conseguentemente evidenziano variazioni del livello medio del mare affette sia dall'eustatismo sia dalla citata subsidenza.

⁸⁴ Secondo la carta idrografica del 1901 nelle zone d'acqua della laguna centrale le profondità dei fondali rispetto al livello medio del mare risultano mediamente di poco inferiori ai 50 cm. Gli attuali fondali nella parte centrale della laguna assumono, invece, mediamente profondità di circa 145 cm, valori troppo lontani da quelli che si ottengono sovrapponendo alle profondità indicate dalla carta del 1901 gli effetti della sommersione stimata.

⁸⁵ Come si è già ricordato nelle note di commento della sua carta Dénaix evidenziava che durante le normali maree di sizigie, in fase di riflusso, i minimi livelli determinavano uno

nostante il quasi totale annullamento dell'apporto di sedimenti di origine fluviale, seguito all'allontanamento in mare dei più importanti fiumi, nei secoli successivi a quegli interventi la laguna sia stata interessata da processi erosivi non particolarmente intensi e per lo più a danno delle barene, conservando sostanzialmente, almeno fino ai primi decenni dell'Ottocento, una configurazione morfologica dei canali e profondità delle zone d'acqua non molto diverse da quelle preesistenti al provvedimento e modificate dalla sola sommersione.

È importante segnalare che l'approfondimento dei fondali si è accompagnato a un loro generale appiattimento. Non pochi canali lagunari, infatti, sono andati perdendo progressivamente di importanza, interrandosi parzialmente. Diversamente dal passato in molti casi essi si presentano oggi con profondità di poco superiori a quelle delle zone d'acqua adiacenti.

L'entità dei cambiamenti morfologici generali e locali osservati suggeriscono un ruolo non trascurabile sul fenomeno delle correnti comunque indotte e dei loro processi di interazione con il fondo mobile che le confina, con effetti che si sovrappongono a quelli della sommersione.

Ferme restando le forzanti esterne (maree, pressione barica, venti, apporto di sedimenti), poiché le correnti sostenute dall'alternarsi delle maree e dal moto ondoso sono controllate dalla geometria del campo di moto, le modificazioni intervenute in laguna, particolarmente a seguito degli interventi operati dall'uomo negli ultimi due secoli, si sono inevitabilmente riflesse, oltre che sull'idrodinamica del sistema lagunare, sulla sua evoluzione morfologica.

L'entità dei processi erosivi, che da molti anni ormai comportano una perdita netta di sedimenti da parte della laguna, è di assoluta rilevanza ed è documentata dall'esame dei rilievi batimetrici, al di là delle incertezze che affliggono questi tipi di confronto. Alcuni studiosi stimano tale perdita addirittura in $\sim 1 \cdot 10^6$ m³/anno. Forse si tratta di una valutazione in eccesso, ma non vi è dubbio che il fenomeno sia preoccupante e abbia un ordine di grandezza pari almeno ad alcune centinaia di migliaia di m³/anno.

Le indagini condotte in questi anni con l'ausilio dei modelli matematici permettono di individuare da una parte i meccanismi responsabili del degrado morfologico osservato, dall'altra le modalità con cui tale degrado si è sviluppato nel tempo, dall'altra ancora l'importanza relativa delle diverse cause che lo hanno sostenuto.

scoprimto generalizzato dei fondali delle zone d'acqua lagunari. In allora questi fondali, non quotati nella carta, dovevano ragionevolmente assumere profondità rispetto al livello medio del mare inferiori ai 40-50 cm.

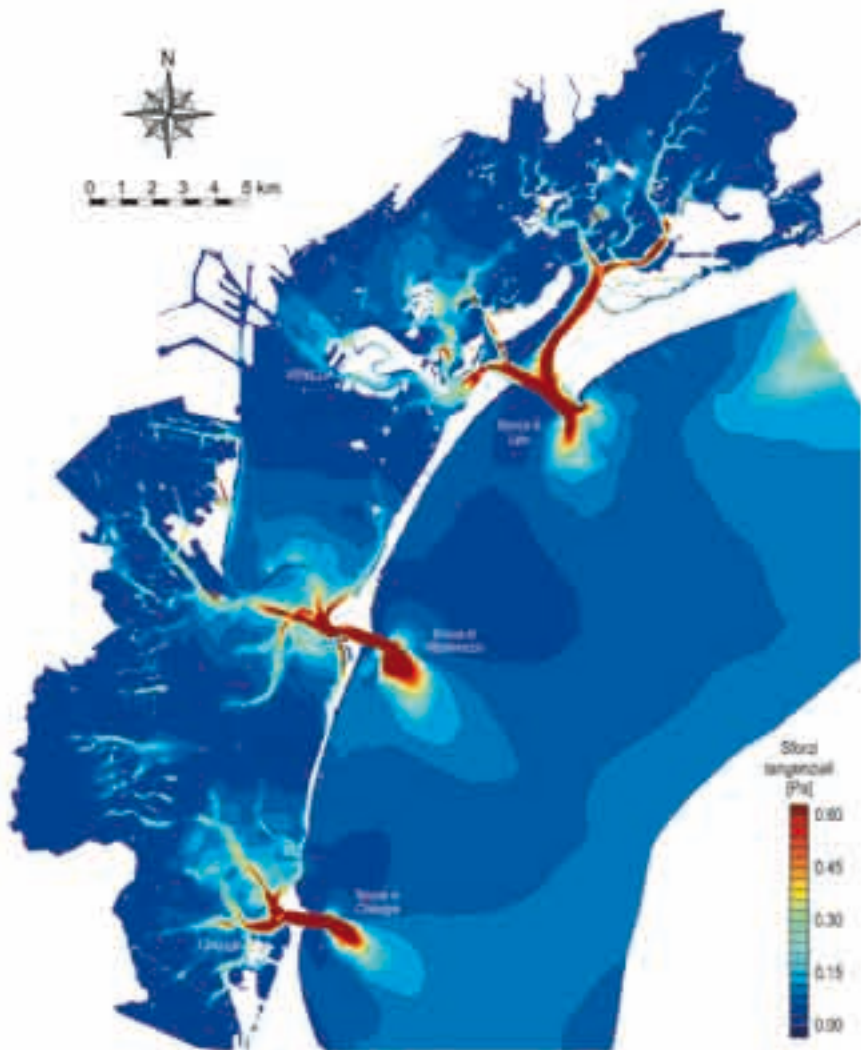


Fig. 10.1 - Marea di riferimento. Inviluppo degli sforzi tangenziali massimi al fondo esercitati dalle sole correnti di marea nella laguna attuale.

La capacità della corrente di mobilitare i sedimenti presenti sul fondo, di risospenderli e di trasportarli dipende, come è noto, dagli sforzi tangenziali esercitati dalla corrente stessa a danno dei fondali. Tali sforzi, a parità di altre condizioni, sono funzione dei gradienti di velocità che si instaurano

in prossimità del fondo, ma devono superare un assegnato valore critico affinché il processo si inneschi. Mentre per un materiale incoerente (sabbie ad esempio) lo sforzo tangenziale critico dipende sostanzialmente dal diametro dei sedimenti, esso è funzione anche della loro natura litologica nel caso di materiali dotati di potere coesivo (tipicamente le argille).

Ciò premesso, sull'attuale configurazione batimetrica della laguna, per la marea di riferimento considerata come unica forzante agente, valori apprezzabili degli sforzi tangenziali si verificano solo lungo i maggiori canali e limitatamente ai tratti più prossimi alle bocche, dove le velocità sono maggiormente sostenute (Fig. 10.1). Se ci si allontana dai canali portuali, penetrando verso l'interno della laguna, gli sforzi tangenziali decadono rapidamente, portandosi al di sotto del valore critico caratteristico dei sedimenti presenti sul fondo e annullando conseguentemente la capacità delle correnti di marea di rimuoverli.

In condizioni del tutto analoghe si trovano i bassifondi posti in adiacenza ai canali, dove le velocità massime indotte dalla marea, e quindi gli sforzi tangenziali, sono sempre modesti e si mantengono ovunque ben al di sotto dei valori che sono in grado di asportarli.

Il risultato suggerisce una conclusione immediata e significativa nei riguardi del fenomeno, evidenziando l'impossibilità che le correnti di marea siano la causa della mobilitazione dal fondo di quantità significative di sedimenti all'interno del bacino lagunare.

Di ben altra rilevanza per i bassifondi sono gli effetti delle onde generate dal vento o dai natanti in navigazione.

Limitando per il momento l'analisi al moto ondoso dovuto al vento, per inquadrarne gli effetti, gli sforzi tangenziali al fondo possono essere determinati, in prima approssimazione, nella condizione del tutto ipotetica di assenza di correnti di marea, considerando una situazione tipica, come è quella rappresentata da un vento di Bora che spira sulla laguna con una velocità di 15 m/s. Si tratta di velocità frequentemente raggiunte durante gli usuali episodi meteorologici, quando i venti di nord-est superano anche i 20 m/s.

Il vento di Bora, potendo spirare liberamente su ampie distese d'acqua prive di ostacoli, genera onde di altezza apprezzabile, che nella parte centrale del bacino compresa tra i canali navigabili Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele, relativamente profonda, raggiungono valori dell'ordine del metro⁸⁶ senza frangere (Fig. 10.2).

⁸⁶ L'altezza d'onda è qui espressa dalla distanza tra un colmo e un cavo successivo. A volte questa grandezza è indicata come ampiezza dell'onda. Può non essere superfluo ricordare

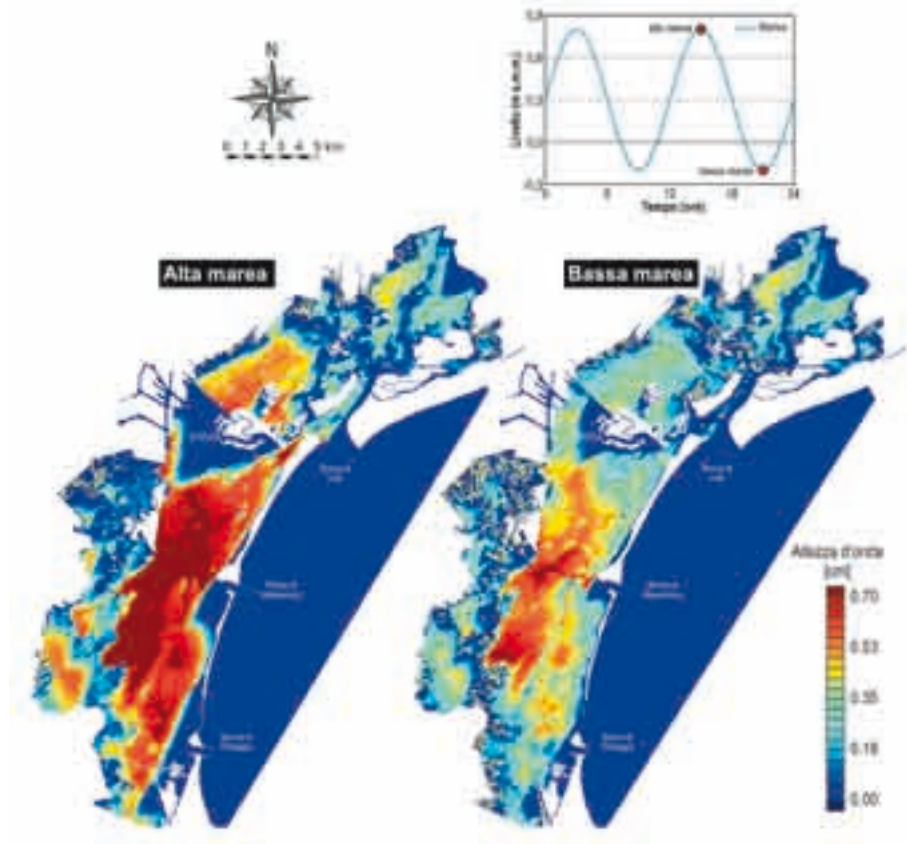


Fig. 10.2 - Marea di riferimento. Distribuzione delle altezze d'onda generate da un vento di Bora che spira con una velocità di 15 m/s in condizioni di alta e di bassa marea.

Gli sforzi tangenziali massimi indotti dalla propagazione delle sole onde generate dal vento si distribuiscono in modo complementare rispetto a quelli determinati dalla propagazione delle maree (Fig. 10.3). Nei bassifondi, in particolare, essi tendono facilmente a superare il valore critico del materiale presente sul fondo, mobilitandolo. Una tale condizione non si realizza, invece, in corrispondenza dei canali, soprattutto dei canali con maggiori fondali, che proprio per la loro profondi-

che nel caso della laguna di Venezia, secondo i dati sperimentali disponibili, il periodo delle onde generate dal vento non supera i 2÷3 s, ben lontano quindi dal periodo delle onde del mare che, di fronte a Venezia, orientativamente può variare tra i 5÷10 s.

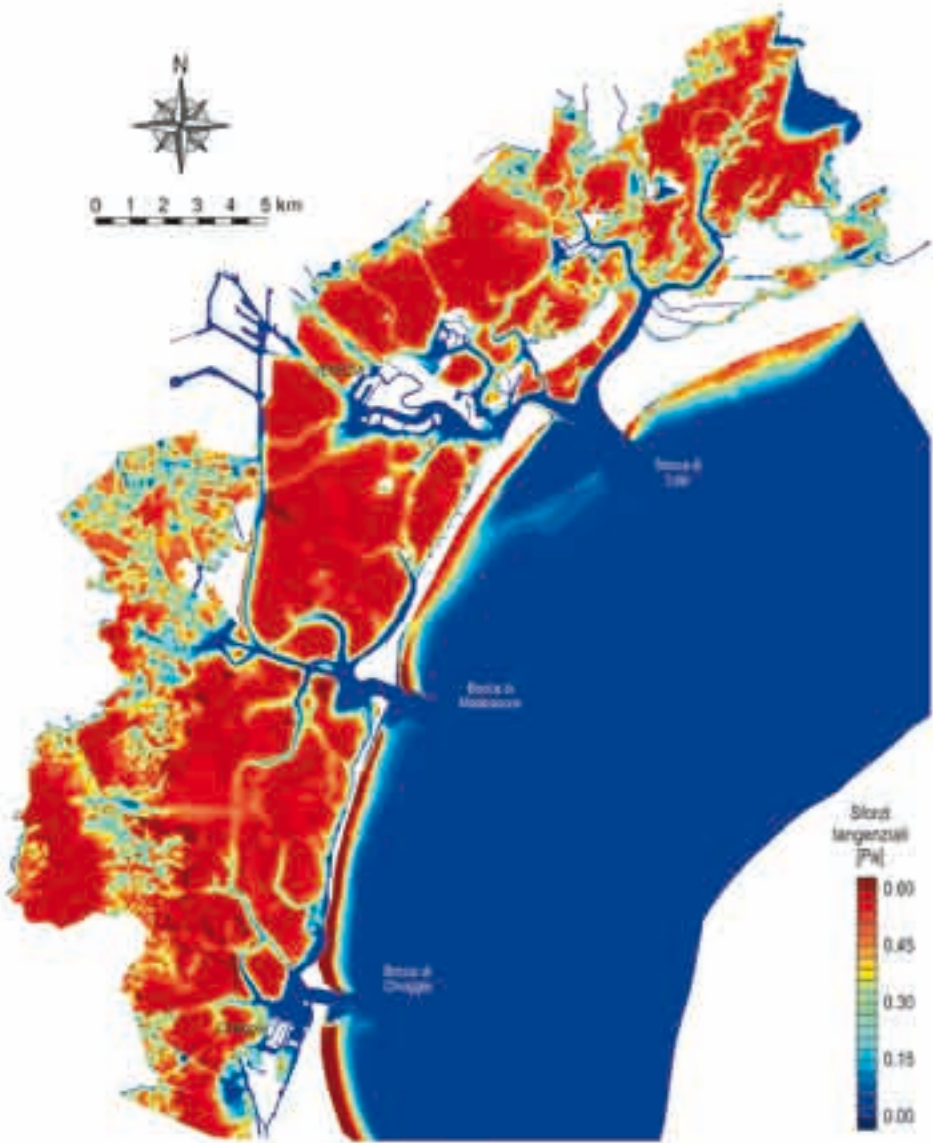


Fig. 10.3 - Involuppo degli sforzi tangenziali massimi al fondo indotti dal moto ondoso generato da un vento di Bora che spira con una velocità di 15 m/s. Si nota, per confronto con la Fig. 10.1, la complementarità spaziale nella distribuzione degli sforzi tangenziali rispetto a quelli indotti dalle correnti di marea.

tà risultano naturalmente protetti⁸⁷ rispetto all'azione del moto ondoso.

Alla luce di queste considerazioni è plausibile che i fenomeni diffusi di erosione che colpiscono la laguna siano principalmente alimentati dai processi di interazione con i fondali delle correnti indotte dal moto ondoso.

In una condizione reale in cui onde e marea agiscono contemporaneamente sovrapponendosi, i sedimenti risospesi dai bassifondi, generalmente costituiti da materiali molto fini (diametro medio di 20÷40 µm), che non hanno modo di ridepositarsi, sono dapprima trascinati dalle correnti di marea verso i canali minori e poi in direzione dei canali principali. Mantenuti in sospensione dalle correnti grazie ai più elevati valori di velocità, che sono presenti soprattutto nei maggiori canali, i sedimenti risospesi dai bassifondi si avvicinano progressivamente alle bocche per essere poi estromessi in mare.

Accanto all'azione del moto ondoso generato dal vento, devono ovviamente essere considerate almeno due altre possibili cause in grado di alimentare il processo di risospensione dei sedimenti dal fondo all'interno della laguna.

Ci si intende riferire innanzitutto alle onde prodotte dai battelli in navigazione, che si manifestano con tipiche formazioni di poppa e di prua. Le altezze di queste onde, e quindi la loro capacità erosiva potenziale, a parità di altre condizioni, dipendono da potenze della velocità di navigazione decisamente superiori a uno⁸⁸.

⁸⁷ In ipotesi di linearità del fenomeno, accettabile quantomeno in prima approssimazione, la propagazione delle onde generate dal vento su di uno specchio d'acqua di profondità finita, supposto inizialmente in quiete, comporta che le particelle d'acqua si muovano secondo orbite ellittiche chiuse. Responsabili della eventuale mobilitazione dei sedimenti sono le velocità con cui in prossimità del fondo le particelle d'acqua percorrono tali orbite, la cui ampiezza tende a ridursi in modo esponenziale a misura che ci si affonda al di sotto della superficie libera. Con le stesse modalità si riducono le velocità orbitali. In acque sufficientemente profonde, come sono quelle dei canali, pertanto, gli sforzi tangenziali tendono a scendere al di sotto del valore critico caratteristico del materiale. Viene meno conseguentemente la possibilità che le onde generate dal vento possano erodere i fondali delle zone d'acqua particolarmente profonde, come d'altra parte risulta confermato dall'esperienza.

⁸⁸ Esperienze condotte per iniziativa del Comune di Venezia (D'Alpaos e Liberatore 1993) in campo aperto sulle onde generate da alcuni battelli tipici del parco barche lagunari hanno confermato che, per una assegnata configurazione dello scafo, la velocità di navigazione è un parametro che condiziona pesantemente l'altezza dei treni d'onda generati. Il legame altezza d'onda-velocità di navigazione si può esprimere con buona approssimazione mediante una legge di potenze con esponente variabile tra 1.5÷2. Questo tipo di legame è stato confermato da recenti indagini condotte nel laboratorio del Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova (Dipartimento IMAGE 2004) su alcuni modelli in scala ridotta delle stesse imbarcazioni veneziane. Poiché l'energia trasportata da un'onda, che nel caso della laguna si deve dissipare contro una riva o a scapito di un fondale, varia a sua volta con il quadrato della sua altezza, è facile comprendere

Generate dai natanti lungo i canali, propagandosi nelle zone d'acqua adiacenti meno profonde, le onde così formate tendono inevitabilmente a diventare via via più ripide, a volte fino a frangere. Si incrementa di conseguenza l'energia dissipata a danno dei fondali per unità di superficie e con essa la capacità di risospingere i sedimenti presenti sul fondo.

Non meno importanti per quest'ultimo aspetto sono le correnti secondarie indotte dai volumi d'acqua dislocati dalle navi che procedono lungo i grandi canali navigabili. Le acque che si aprono davanti alla prua delle navi e si richiudono a poppa spazzano a loro volta i bassifondi situati in adiacenza ai canali, erodendone i fondali e facilitando il convogliamento dei sedimenti risospesi verso i canali stessi, dove il materiale trova più facilmente modo di depositarsi.

È spiegato da questi meccanismi quanto è accaduto in adiacenza al canale Vittorio Emanuele, dove si è registrato negli anni un generalizzato approfondimento dei bassifondi adiacenti, mentre i canali naturali intersecati dalla via navigabile (canale Donene e canale delle Tresse), un tempo ben incisi, sono ora appena individuabili proprio a causa del deposito dei sedimenti trasportati dalle correnti dirette trasversalmente al loro asse. È del resto quanto capita allo stesso canale Vittorio Emanuele, i cui fondali, per essere mantenuti, sono periodicamente dragati.

Va da sé che, a parità di altre condizioni, tali fenomeni sono tanto più intensi quanto maggiore è il volume di carena dei natanti che percorrono i canali, quelli navigabili in particolare. Per inciso in questi ultimi anni i volumi di carena di alcune delle navi che entrano in laguna è andato aumentando al di là di ogni ragionevole limite. Ma ancora tutto questo non sembra possa bastare, se, secondo alcune voci che si colgono nell'ambiente veneziano, già si pretende che si operi per permettere l'ingresso in laguna di navi della lunghezza di 400 m (?), per non penalizzare lo sviluppo delle attività portuali.

Una conferma della validità dell'analisi sinteticamente riassunta è fornita dall'evoluzione dei fondali dei canali e dei bassifondi lagunari nella parte centrale della laguna, dove maggiormente si risente della presenza del canale navigabile Malamocco-Marghera.

Il confronto tra le batimetrie disponibili in epoca immediatamente successiva all'ultimazione del canale (1970) e in anni recenti (2003) evidenzia che la presenza del nuovo canale navigabile ha innescato un vero e proprio processo diffusivo a danno dei bassifondi che lo affiancano. Il fe-

come un significativo provvedimento per ridurre i danni prodotti dal moto ondoso dei natanti non possa prescindere da una adeguata riduzione della loro velocità di navigazione.

nomeno tende a «diffondere» trasversalmente le maggiori profondità della via d'acqua, interessando appunto in misura significativa i bassifondi (Fig. 10.4). Contemporaneamente, come per il canale Vittorio Emanuele, si assiste all'interrimento della sede stessa del canale navigabile, che deve essere ripristinata con periodiche operazioni di dragaggio. Il processo, particolarmente evidente a cavallo della grande curva di Porto S. Leonardo, non è mai stato efficacemente contrastato dagli interventi di parziale confinamento della via navigabile. Tanto meno da quelli realizzati negli anni immediatamente successivi all'apertura del canale, consistenti nella realizzazione di alcuni tratti di scogliera posti sul lato a laguna.

I problemi di erosione ai quali si è fatto riferimento nascono dal ricordato poco felice inserimento del canale navigabile nel sistema lagunare e non si possono risolvere solamente curando gli effetti, ovvero continuando a dragare⁸⁹. Essi richiederebbero di eliminare le cause che ne sono all'origine, adottando provvedimenti coerenti e adeguati rispetto a un tale obiettivo.

Paradossalmente, se valgono le considerazioni formulate sugli effetti indotti dalla navigazione, si dovrebbe affermare che ai grandi canali navigabili Vittorio Emanuele e Malamocco-Marghera sono state assegnate sezioni trasversali troppo piccole rispetto alle sezioni di carena⁹⁰ delle navi che li percorrono. Per contenere gli effetti indotti dalla navigazione essi dovrebbero, infatti, essere significativamente ampliati, ma un tale intervento porterebbe pericolosamente molto lontano rispetto ad altri vincoli, che è necessario rispettare se non si vuole distruggere quanto ancora resta della laguna e delle sue forme caratteristiche.

Sempre con riferimento ai processi di risospensione dei sedimenti dai bassifondi, e quindi di erosione, non vanno, infine, dimenticate le attività della pesca dei molluschi, autorizzate e non, che sono esercitate all'interno della laguna e comportano fra l'altro la sistematica distruzione del film microfitobentonico che naturalmente protegge i fondali, aumentandone la capacità di resistere all'azione erosiva delle correnti.

⁸⁹ Fin da subito il canale Malamocco-Marghera ha avuto necessità di essere dragato, non riuscendo a conservare i fondali che gli erano stati assegnati in fase di progetto. I sedimenti che interrano il canale, come nel caso del canale Vittorio Emanuele, provengono soprattutto dai processi di risospensione indotti nelle zone a basso fondale adiacenti. I materiali risospesi dal fondo sono per la maggior parte trascinati verso la via navigabile dalle correnti di ritorno generate dalla stessa navigazione.

⁹⁰ La sezione di carena di una nave è costituita da quella parte della sua sezione trasversale che risulta totalmente immersa in condizioni di navigazione. Poiché per una nave, considerata la forma dello scafo, in direzione longitudinale la sezione di carena cambia, si intende far riferimento alla sezione maestra, la massima tra tutte.

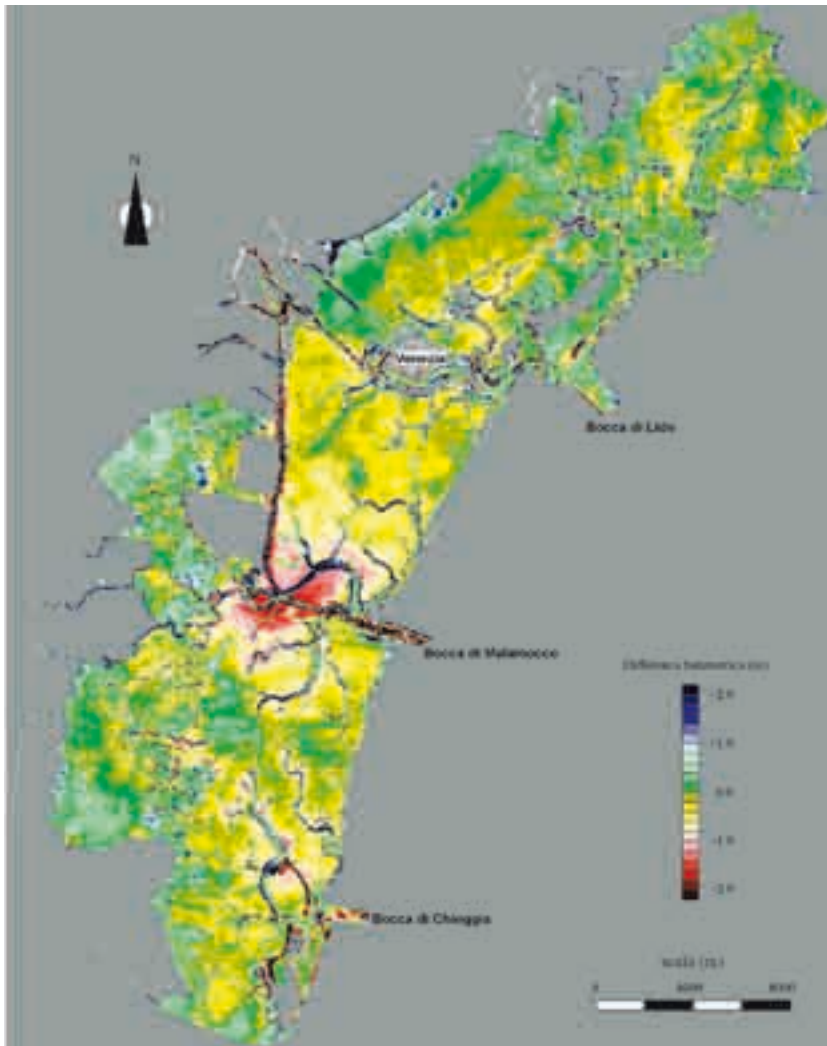


Fig. 10.4 - Variazione dei fondali della laguna risultante dal confronto tra le batimetrie del 1972 e del 2003 rappresentata a scala di colori. Evidenti gli approfondimenti generalizzati in tutta la laguna centrale e il processo di diffusione laterale delle profondità del canale navigabile Malamocco-Marghera⁹¹.

⁹¹ L'immagine è tratta dallo studio *Bilancio ed equilibrio sedimentologico e morfologico della laguna di Venezia*, promosso nel 2005 da ICRAM e condotto a cura dell'ingegner Bruno Maticchio e del dott. Georg Umgieser.

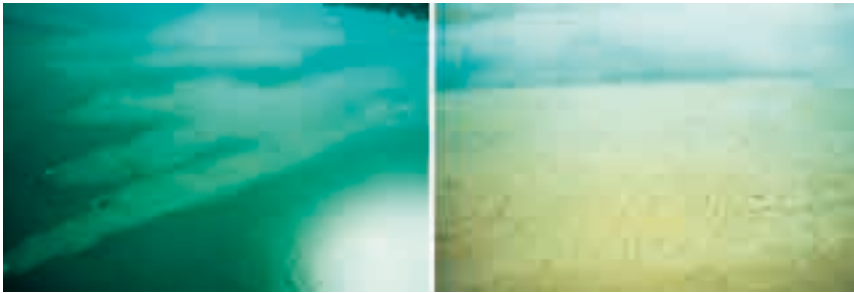


Fig. 10.5 - Fenomeni di risospensione dei sedimenti dal fondo prodotti dalle barche da pesca durante l'esercizio delle loro attività (a sinistra) e tracce lasciate sul fondo della laguna (a destra) - Foto di A. Comollo (Bonometto 2007).

Alcune immagini riprese durante lo svolgimento di tali attività sono particolarmente significative e si commentano da sole (Fig. 10.5). Esse evidenziano come dai fondali, pesantemente rimaneggiati nel loro strato più superficiale per la tecnica utilizzata durante la pesca, siano messe in sospensione grandi quantità di materiale, destinate a subire una sorte non diversa da quella dei sedimenti mobilitati e risospesi dalle onde e ad alimentare, a loro volta, i processi che concorrono al deficit di bilancio del materiale scambiato dalla laguna con il mare. Altrettanto evidenti sono le tracce ad andamento circolare lasciate dalle imbarcazioni sul fondo, che rimane privato dell'azione protettiva naturale esercitata dagli organismi microfitebentonici.

Non si vuol ovviamente negare l'importanza economica della pesca in laguna, ma è inevitabile chiedersi se non sia possibile esercitarla con modalità diverse e se coloro ai quali è demandato il compito di regolamentarla abbiano veramente inquadrato i loro provvedimenti nel reale contesto di quel particolarissimo sistema ambientale che è la laguna, che possiede valori inestimabili da difendere e da sottrarre a qualsiasi azione distruttiva. Pur limitando per semplicità di ragionamento l'attenzione ai soli aspetti economici, una corretta analisi costi-benefici dovrebbe sancire senza equivoci l'assurdità delle scelte finora operate, se a fronte dell'interesse di coloro che esercitano la pesca dei molluschi si ponesse il valore economico del «bene laguna», che è inesorabilmente dissipato nei suoi caratteri peculiari.

In definitiva anche in questo caso ci si trova di fronte a un comportamento poco sapiente degli organi di controllo chiamati a diverso titolo a intervenire. Ancora una volta, affrontando il «problema Venezia», non

ci si chiede se l'azione debba essere rivolta, come sembrerebbe naturale ed è stato per alcuni secoli negli anni della Repubblica⁹², alla difesa della sua morfologia piuttosto che alla tutela, costi quel che costi al sistema lagunare, di interessi particolari, oltretutto diversamente perseguibili.

Delineati sommariamente i meccanismi e i processi che governano la mobilitazione e il trasporto dei sedimenti all'interno della laguna, si può ora esaminare come la costruzione dei moli alle bocche di porto, prima, e lo scavo dei grandi canali navigabili, poi, abbiano influenzato da una parte i processi erosivi a danno dei suoi fondali, dall'altra i meccanismi di scambio dei sedimenti stessi con il mare.

Il confronto può condursi considerando la laguna attuale nella configurazione antecedente le opere approvate per la difesa dalle «acque alte», e la laguna ottocentesca, prima cioè dell'attuazione da parte dell'uomo di tutti i provvedimenti di cui si è parlato.

In questa analisi i modelli idrodinamici di propagazione delle maree e del moto ondoso generato dal vento sono accoppiati a un particolare modulo di trasporto dei sedimenti, che permette di evidenziare le tendenze evolutive dei fondali della laguna.

Relativamente al materiale solido trasportato, si è esaminato il comportamento di fondali costituiti da sedimenti che si distribuiscono secondo una curva granulometrica bimodale. Si tratta di una distinzione importante, che permette, seppur schematicamente, di rappresentare la realtà della composizione granulometrica dei sedimenti lagunari, prevalentemente costituiti da sabbie fini sul fondo dei canali maggiori prossimi alle bocche e ovviamente in mare, e da limi e da argille sul fondo della maggior parte delle zone d'acqua e dei canali minori che le incidono.

Per la laguna attuale la distribuzione del materiale presente sui fondali è illustrata nella (Fig. 10.6) (Osservatorio Naturalistico della Laguna 2006), nella quale la percentuale di materiale fine (limi e argille) è ricostruita sulla base dei dati granulometrici disponibili in letteratura.

Nei calcoli nel seguito descritti per rendere più agevoli i confronti si è assunta, tuttavia, una distribuzione più schematica ancora, ipotizzan-

⁹² Il 31 marzo del 1797, pochi giorni prima dalla caduta di Venezia per mano dell'esercito napoleonico (12 maggio 1797), a conclusione di un suo ultimo sopralluogo nella laguna media, l'esecutore alle acque Zorzi Morosini, richiamate le origini della città, riteneva di dover scrivere (Caniato 1995), nonostante la tragicità del momento: «Ed ecco una felice causa per cui primo studio de' cittadini fu formare una serie di discipline e di leggi governanti la importante materia della conservazione di questi estuari, per mantenere i quali erano chiamati dalle voci della ragione, non solo, ma ancora da quelle della natura».

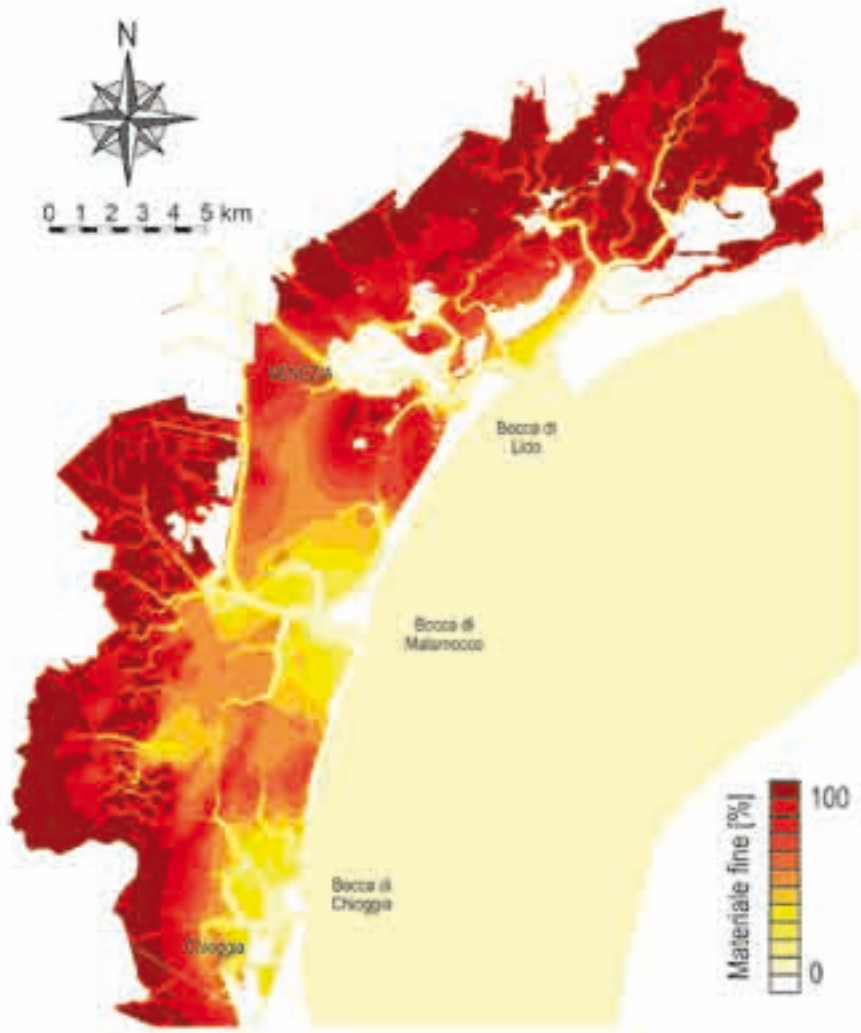


Fig. 10.6 – Distribuzione spaziale, in termini percentuali, dei sedimenti fini presenti sui fondali della laguna, ricostruita sulla base dei dati geognostici e delle curve granulometriche reperibili.

do inizialmente la presenza di sole sabbie fini ($d = 150 \mu\text{m}$) sul fondo dei maggiori canali e di soli limi e argille ($d = 20 \mu\text{m}$) sui bassifondi.

Le simulazioni numeriche sono state preliminarmente condotte considerando per la marea una successione di cicli (5 cicli) sinusoidali

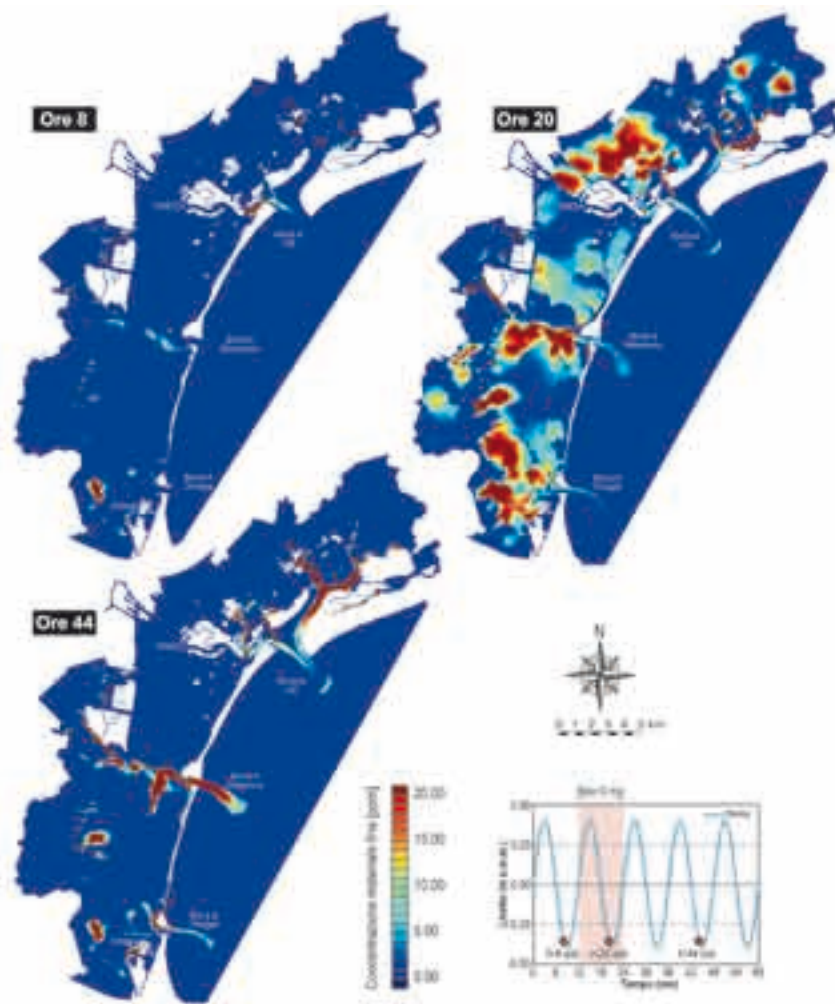


Fig. 10.7 - Laguna attuale. Distribuzione spaziale della concentrazione istantanea dei sedimenti fini trascinati in sospensione dal moto ondoso, indotto da un vento di Bora che spirava per un periodo di 12 ore, e dalle correnti di marea generate da una successione di cicli periodici.

di periodo pari a 12 ore, ampiezza complessiva colmo-cavo di 0.80 cm, oscillanti intorno al livello medio del mare. Si tratta di una marea che sollecita in misura contenuta i fondali e che può quindi essere considerata rappresentativa di condizioni assolutamente normali. Su tali cicli dopo 12 ore si sovrappone l'azione di un vento di Bora che spirava per 12

ore con una velocità costante di 10 m/s e genera un campo d'onde che interferisce con le correnti di marea.

Il comportamento della laguna sottoposta alle condizioni ipotizzate è stato analizzato esaminando la distribuzione istantanea della concentrazione dei sedimenti risospesi, la quale permette di evidenziare alcuni aspetti di cruciale importanza per comprendere le ragioni dell'attuale degrado morfologico e, indirettamente, per individuare eventuali provvedimenti di mitigazione dei processi in atto.

Le simulazioni numeriche evidenziano che la concentrazione dei sedimenti fini risospesi e trasportati all'interno del bacino lagunare si mantiene su valori modesti fino a quando non incominciano a farsi sentire gli effetti del moto ondoso generato dal vento. A partire da questo momento, le concentrazioni del materiale fine risospeso si incrementano apprezzabilmente, per ridiscendere gradualmente una volta cessata l'azione perturbatrice del vento (Fig. 10.7).

Sono in generale i bassifondi, maggiormente sollecitati rispetto ai canali, la sorgente di alimentazione del processo di risospensione del materiale. L'analisi delle immagini sulla distribuzione istantanea della concentrazione del materiale trasportato in sospensione, conferma che per la maggior parte i sedimenti risospesi non fanno a tempo a risedimentare in loco e sono trascinati dalle correnti di marea prima verso i canali principali e poi verso le bocche.

È ben documentata l'azione di schermo sul fenomeno esercitata dalla presenza all'interno della laguna di ostacoli, in grado di interrompere la continuità dell'azione del vento e la propagazione delle onde generate. Particolarmente significativa è la diversa condizione in cui si vengono a trovare gli specchi d'acqua posti a lato dei due ponti translagunari che collegano Venezia alla terraferma. Le aree poste sotto vento risultano protette dalla presenza delle due strutture, che di fatto interrompono la propagazione verso sud-ovest del moto ondoso che si forma nelle zone situate sopra vento, determinando per esse una diversa distribuzione nella concentrazione dei sedimenti trascinati in sospensione (Fig. 10.8). Con effetti analoghi agisce la presenza del canale Vittorio Emanuele.

La situazione segnalata è confermata dalle risultanze sperimentali ed è nell'esperienza di molti. Chi si trovasse a transitare sui ponti translagunari, quando spira il vento di Bora, facilmente rileva verso nord-est la presenza di acque agitate dal moto ondoso, dal colore scuro, indicatore inequivocabile della presenza di elevate concentrazioni di sedimenti in sospensione. In direzione opposta verso sud-ovest, per contro, spesso le acque risultano tranquille e chiare, proprio perché protette dai ponti rispetto all'azione delle onde, che, fortemente attenuate dalla presenza

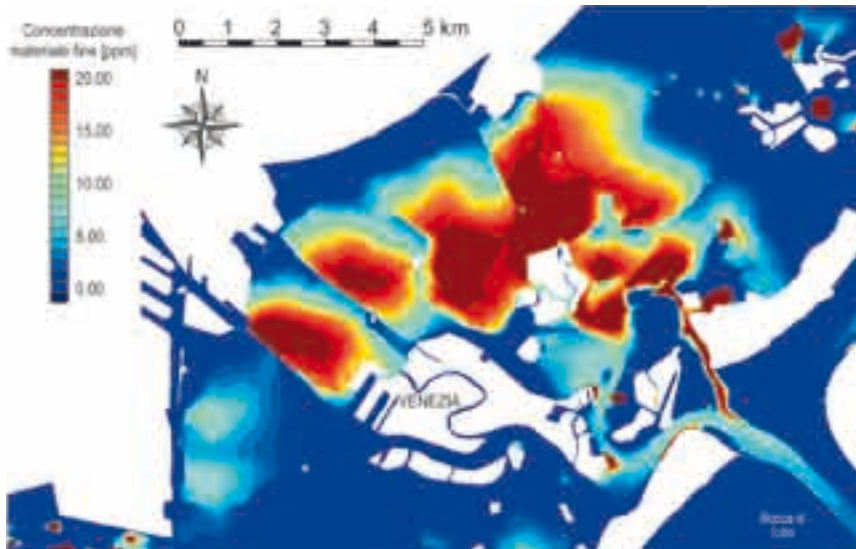


Fig. 10.8 - Effetti sulla distribuzione spaziale della concentrazione di materiale fine trascinato in sospensione dovuti all'interruzione del fetch da parte dei ponti stradale e ferroviario che collegano Venezia alla terraferma e del canale navigabile Vittorio Emanuele.

delle strutture, non sono in grado di alimentare in questi specchi d'acqua nessun fenomeno di risospensione dei sedimenti dal fondo.

In generale, fatte salve particolari situazioni, l'intensità della risospensione di sedimenti dipende dalla velocità del vento e, a parità di altre condizioni, dalla profondità delle zone d'acqua, che consentono la formazione di campi d'onda di altezza crescente con l'aumentare dei fondali.

Il ruolo delle profondità del campo di moto è illustrato dal confronto della distribuzione spaziale delle concentrazioni di materiale fine presente in sospensione che si produce, se si assoggetta allo stesso esperimento numerico la laguna ottocentesca.

Per questa laguna, i minori fondali delle zone d'acqua e in parte la più ridotta estensione del fetch comportano onde di minore altezza e quantità più ridotte di sedimenti fini risospesi (Fig. 10.9).

Rispetto alla situazione attuale, nella laguna ottocentesca erano pertanto minori i volumi di materiale fine rimossi dai fondali e trascinati dalle correnti verso i canali e quindi verso le bocche. Di qui la caratteristica intrinseca di quella laguna, ma anche di quelle che l'hanno preceduta, di subire, diversamente da quella attuale, lente modificazioni

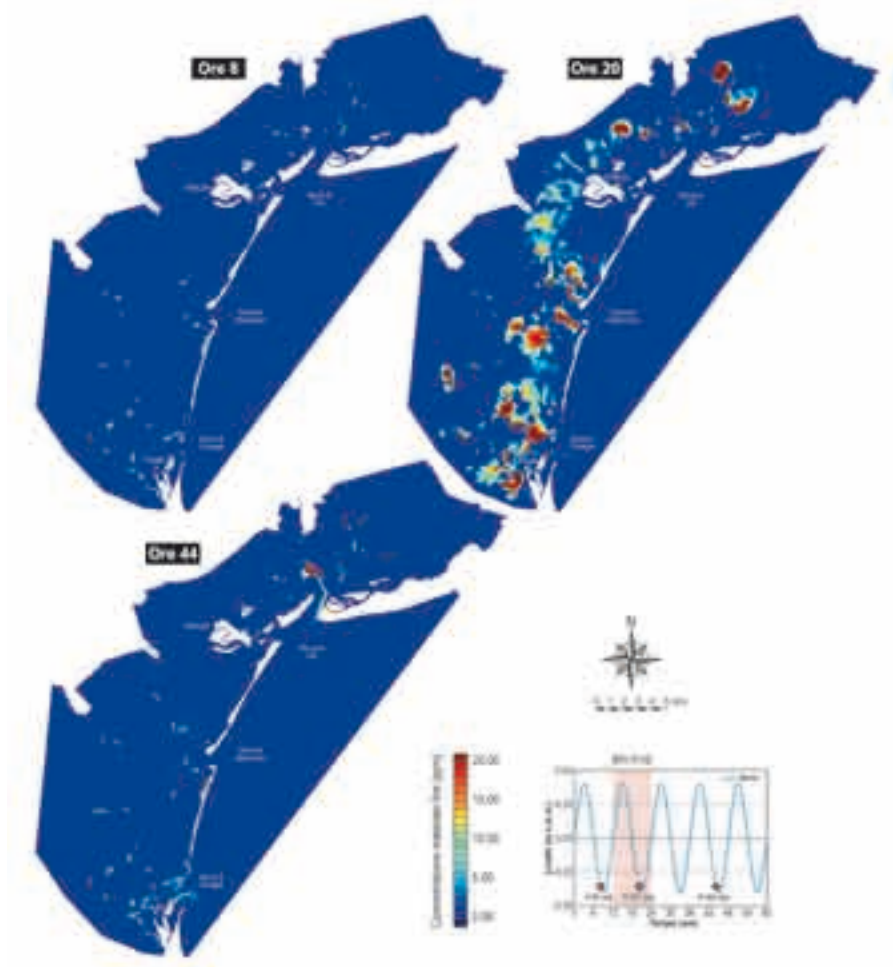


Fig. 10.9 - Laguna al tempo di Dènaix. Distribuzione spaziale della concentrazione istantanea dei sedimenti fini trascinati in sospensione dal moto ondoso, indotto da un vento di Bora che spira per un periodo di 12 ore, e dalle correnti di marea generate da una successione di cicli periodici. Il confronto con le corrispondenti immagini relative alla laguna attuale (Fig. 10.7) evidenzia, a parità di altre condizioni, la minore quantità di sedimenti risospesi nella laguna ottocentesca.

delle caratteristiche morfologiche, nonostante il pressoché totale annullamento dell'apporto solido causato dall'allontanamento dei fiumi.

In definitiva, le lagune del passato non erano del tutto sottratte ai fenomeni erosivi, che vi agivano però con minore intensità rispetto a

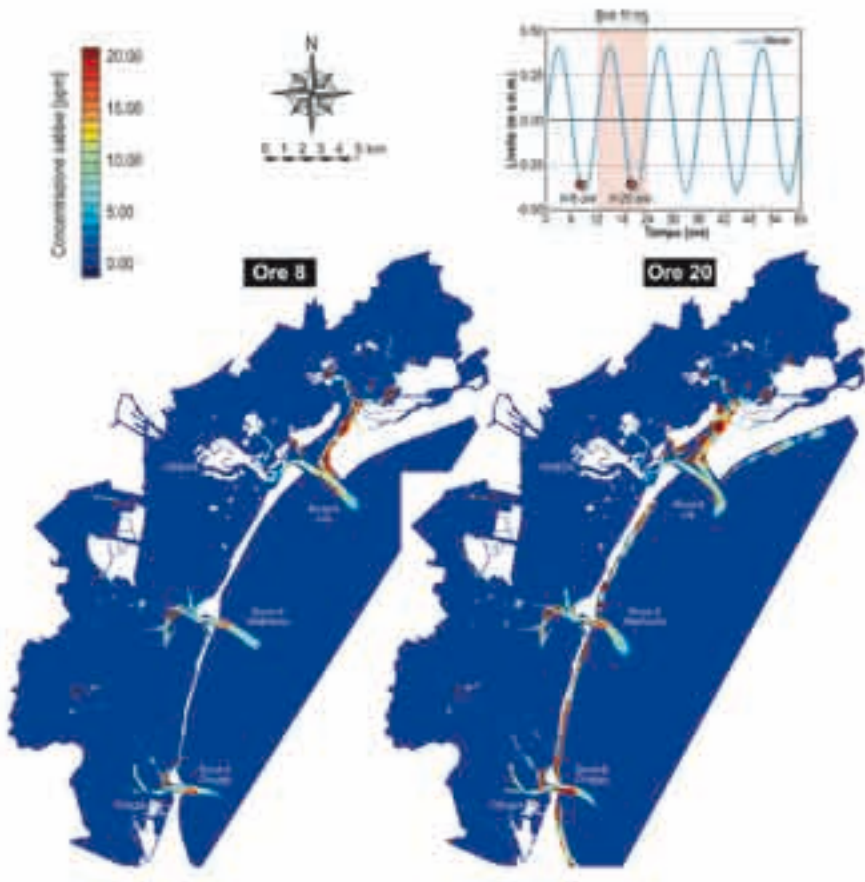


Fig. 10.10 - Laguna attuale. Distribuzione spaziale della concentrazione istantanea delle sabbie trascinate in sospensione dal moto ondoso, indotto da un vento di Bora che spira per un periodo di 12 ore, e dalle correnti di marea generate da una successione di cicli di marea periodica.

quelli che colpiscono la laguna attuale. Proprio per questo motivo esse si trovano in condizioni più conservative di quanto non accada alla laguna del nostro tempo.

Di grande interesse sono i risultati forniti dalle simulazioni numeriche per quanto riguarda il trasporto della frazione più grossolana (sabbie fini) della miscela bimodale considerata, nell'ipotesi di assenza di qualsiasi interazione con le correnti costiere e con il relativo trasporto di sedimenti sotto riva.

La parte di sedimenti costituita dalle sabbie fini risulta trasportata in sospensione solamente lungo i principali canali lagunari e limitatamente ai tratti più vicini alle bocche. Responsabili della mobilitazione delle sabbie fini sono principalmente le correnti di marea, non essendo il fenomeno significativamente influenzato dal moto ondoso generato dal vento. Lo si evince dai valori della concentrazione delle sabbie presenti nelle zone d'acqua a basso fondale, che si mantengono sempre praticamente nulle sia durante i cicli per i quali agisce come forzante esterna la sola marea sia durante il periodo che vede sovrapporsi alla marea l'azione del vento.

Sempre nei riguardi delle sabbie fini, il comportamento generale della laguna attuale non si differenzia apprezzabilmente durante il succedersi dei cicli di marea (Fig. 10.10) e non è molto diverso da quello della laguna al tempo di Dénaix (Fig. 10.11), pur riscontrandosi qualche modesta differenza locale nei valori della concentrazione.

Per quanto riguarda i sedimenti convogliati dalle correnti, più complessa è la situazione che si determina in corrispondenza delle bocche e nel paraggio di mare antistante.

Si è già accennato al fatto che per la laguna attuale la realizzazione dei moli ha comportato un radicale mutamento dell'assetto idrodinamico del campo di moto. In condizioni di flusso l'acqua del mare è richiamata verso le bocche della laguna da tutte le direzioni, mentre in condizioni di riflusso il getto, che si forma tra i moli, proietta le acque in uscita molto lontano nel mare antistante, senza che per un buon tratto esse subiscano apprezzabili processi di mescolamento.

Questi particolari caratteri del moto si riflettono sul trasporto delle frazioni più fini di sedimenti che la corrente trasporta in sospensione, avvicinandosi alle bocche. Durante la fase di riflusso i sedimenti fini sono espulsi dalla laguna, depositandosi molto lontano dalle testate dei moli su fondali profondi, dai quali ben difficilmente possono essere mobilitati e risospesi anche durante gli stati di mare più intensi. Nella successiva fase di flusso le acque, che oltretutto penetrano in laguna provenendo da tutte le direzioni, reintroducono solo una frazione minima dei sedimenti allontanati, che sono conseguentemente per la maggior parte sottratti al bilancio complessivo degli scambi laguna-mare.

Nasce dalla descritta asimmetria di comportamento delle bocche una perdita netta di sedimenti fini, che si instaura sistematicamente a ogni fase di riflusso, come è ben evidenziato nell'esperienza numerica dalla progressiva estensione verso il largo dei depositi di sedimenti fini formati dalle correnti in uscita dalla laguna di fronte a ciascuna bocca (Fig. 10.12).

Un comportamento molto diverso è segnalato dal calcolo per la laguna al tempo di Dénaix, quando nessuna delle bocche di porto era sta-

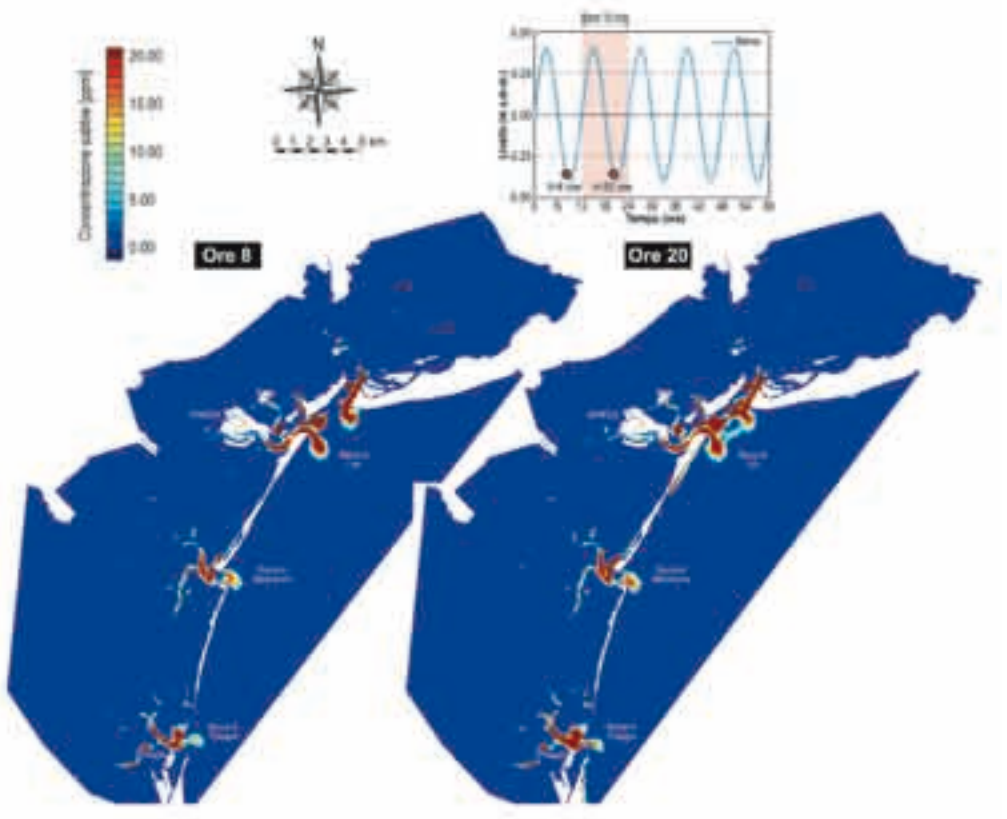


Fig. 10.11 - Laguna al tempo di Dénaix. Distribuzione spaziale della concentrazione istantanea delle sabbie trascinate in sospensione dal moto ondoso, indotto da un vento di Bora che spira per un periodo di 12 ore, e dalle correnti di marea generate da una successione di cicli periodici. Il confronto con la laguna attuale (Fig. 10.10) non evidenzia sostanziali differenze di comportamento.

ta ancora armata con moli e non esisteva tra le fasi di flusso e di riflusso l'importante asimmetria di funzionamento idraulico evidenziata per la laguna attuale (Fig. 10.13). Nel caso di questa laguna, sempre in assenza di interazioni con le correnti costiere e con il relativo trasporto solido, modeste quantità di materiale tendono a depositarsi di fronte alle foci lagunari. I depositi interessano però fondali prevalentemente poco profondi, che ne facilitano la rimobilitazione da parte delle correnti. Pertanto, ferme restando le forzanti esterne, nei primi anni dell'Ottocento i

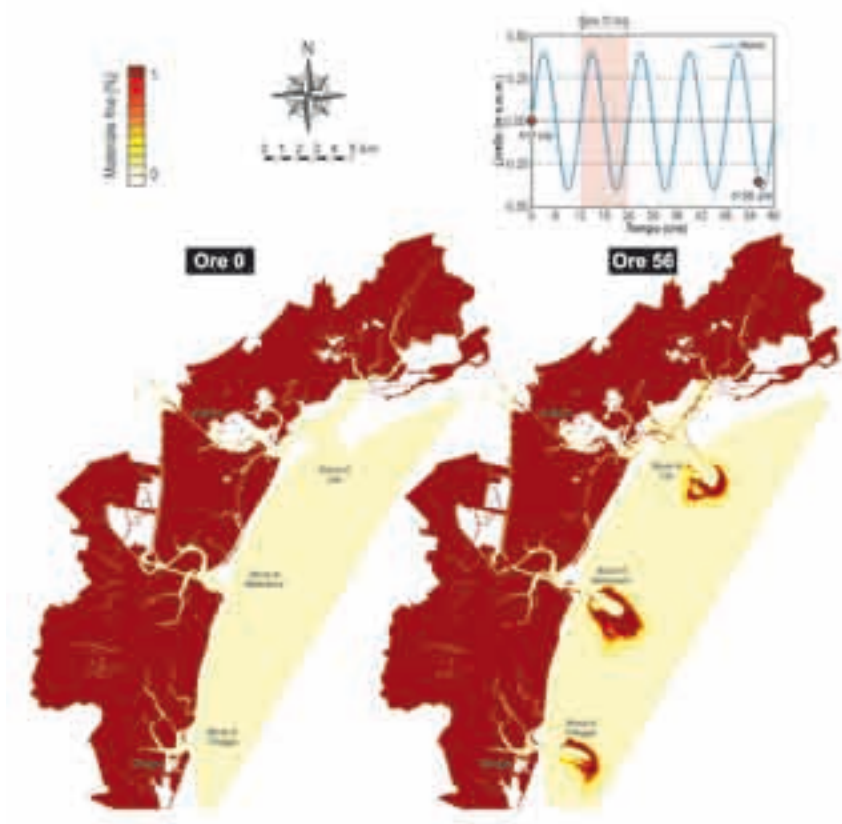


Fig. 10.12 - Laguna attuale. Percentuale di sedimenti fini presente sui fondali della laguna e del mare antistante all'inizio (a sinistra) e alla fine (a destra) di un ciclo di maree periodiche interessate da fenomeni di risospensione indotti dal moto ondoso generato da un vento di Bora. L'estensione delle superfici interessate dal deposito di sedimenti di fronte alle bocche fornisce una chiara indicazione sulla perdita di materiale negli scambi laguna-mare.

sedimenti fini trascinati in mare dalle correnti durante le fasi di riflusso potevano essere quasi totalmente reintrodotti in laguna dalle successive fasi di flusso.

La laguna ottocentesca sperimentava conseguentemente alle bocche condizioni decisamente più conservative di quelle della laguna attuale, con un bilancio negli scambi con il mare molto più equilibrato, coerente con il mantenimento di condizioni di relativa stazionarietà dei fondali interni.

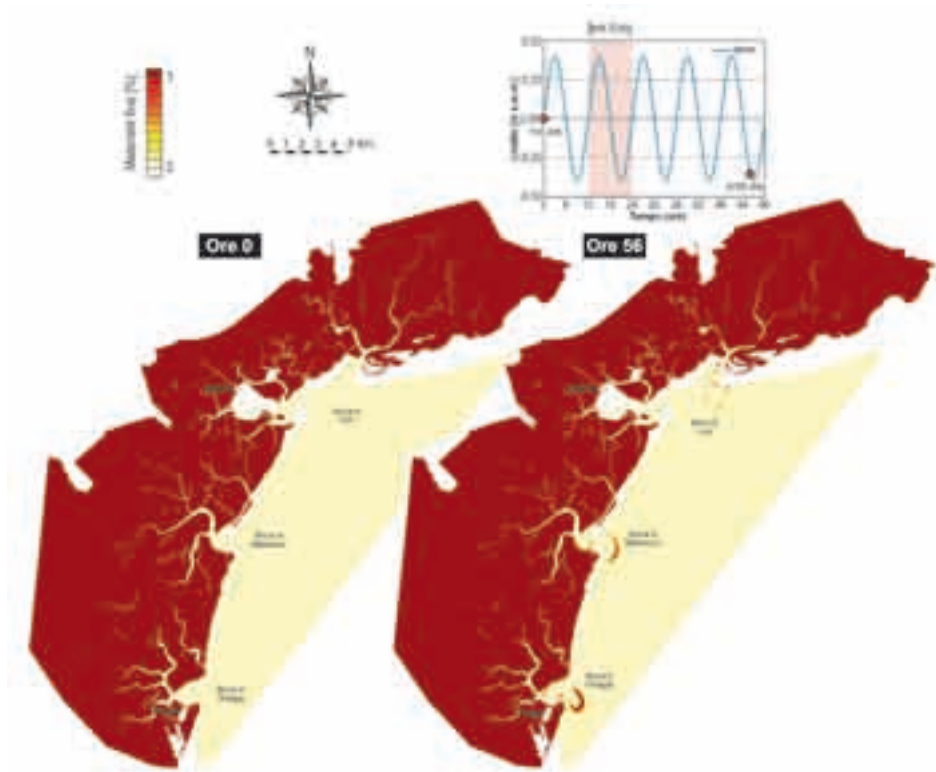


Fig. 10.13 - Laguna al tempo di Dénaix. Percentuale di sedimenti fini presente sui fondali della laguna e del mare antistante all'inizio (a sinistra) e alla fine (a destra) di un ciclo di maree periodiche interessate da fenomeni di risospensione indotti dal moto ondoso generato da un vento di Bora. Si nota il differente comportamento delle bocche rispetto a quello delle bocche della laguna attuale (Fig. 10.12) e in particolare la modesta estensione delle superfici interessate dal deposito di sedimenti di fronte alle bocche.

Interessante è il confronto del comportamento della laguna attuale con quello della laguna al tempo di Dénaix per quanto riguarda il trasporto delle sabbie fini della miscela bimodale considerata nell'esperimento numerico.

Scompare per le sabbie la forte asimmetria di funzionamento delle bocche evidenziata per la laguna attuale relativamente al trasporto dei materiali fini. Le due lagune, quella attuale e quella ottocentesca, hanno rispetto alla frazione più grossolana della miscela bimodale considerata un comportamento molto simile. In entrambi i casi le sabbie si

muovono prevalentemente a cavallo delle bocche. Trascinate in mare durante la fase di riflusso, esse rientrano pressoché totalmente in laguna durante la successiva fase di flusso, con una perdita netta per la laguna attuale del tutto trascurabile, contrariamente a quanto avviene, come si è dimostrato, per la frazione più fine. Il risultato è in accordo con le ricerche condotte da altri autori (Tambroni e Seminara 2006; Umgiesser *et al.* 2006) mediante modellazioni matematiche del fenomeno differenti da quella qui illustrata, i quali determinano a loro volta volumi ridotti di sabbie perse attraverso le bocche con riferimento agli attuali scambi laguna-mare.

Considerando ancora il comportamento delle sabbie, è di un qualche rilievo evidenziare la ridotta estensione dei tratti interni di canale interessati dalla loro mobilitazione e dal loro eventuale deposito. Lungo la direttrice di Treporti, per la quale si hanno alcuni riscontri sperimentali, durante la successione di cicli di marea assunta le sabbie, che penetrano dalla bocca verso l'interno, non vanno molto oltre la biforcazione da cui si originano il canale di Burano e il canale S. Felice.

I risultati delle simulazioni numeriche illustrati portano elementi di chiarezza su di una questione molto dibattuta, ma in realtà finora solo sporadicamente indagata. Essi permettono di definire in modo plausibile i meccanismi di interazione delle correnti con i fondali lagunari e suggeriscono qualche considerazione meritevole di una più attenta riflessione, essendo utile ai fini pratici.

Il confronto tra le batimetrie relative alle diverse epoche indica l'esistenza di un pronunciato processo erosivo a danno dei fondali lagunari con una perdita di sedimenti da parte delle strutture morfologiche che li caratterizzano, la cui entità supera ampiamente le incertezze che affliggono un'analisi condotta attraverso il semplice confronto di cartografie rilevate con metodologie e criteri molto diversi e per le quali è difficile quantificare l'entità dei possibili errori⁹³.

⁹³ Il Consorzio Venezia Nuova nel documento dedicato alle *Attività di aggiornamento del Piano degli Interventi per il Recupero Morfologico in applicazione della Delibera del Consiglio dei Ministri del 15 marzo 2001 - Studi integrativi III fase - Rapporto finale: Modello morfologico a maglia curvilinea - Relazione di sintesi* ha tra l'altro indicato un campo di errore per il rilievo batimetrico della laguna del 1970. Fatta eccezione per gli ultimi rilievi eseguiti, dei quali si conoscono nel dettaglio modalità esecutive e caratteristiche della strumentazione utilizzata, gli errori di cui soffrirebbe il rilievo del 1970 sembrano più il frutto di un esercizio di fantasia che di un'analisi scientificamente condivisibile. Non è detto poi che più lontano si risale nel tempo, necessariamente meno affidabili debbano considerarsi i risultati del rilievo, la cui precisione, in un sistema quale è quello lagunare, non dipende principalmente dalla modernità degli strumenti utilizzati, ma dalla professionalità degli operatori.

Il calcolo conferma l'entità dell'erosione alla quale si trova esposta la laguna ed evidenzia con sufficiente credibilità che il fenomeno è prevalentemente legato alla perdita delle frazioni più fini (limi e argille) dei sedimenti presenti sui bassifondi, essendo quasi trascurabile il contributo da una parte dei sedimenti di maggior diametro (sabbie), dall'altra dei canali.

Nascono come conseguenza processi morfodinamici che favoriscono una generale tendenza all'appiattimento dei fondali lagunari, con erosione a danno dei bassifondi, nonostante l'apporto di sedimenti provenienti dalla progressiva demolizione dei bordi delle aree occupate dalle barene, e tendenza all'interrimento dei canali. Diversamente da quanto a volte si sostiene l'appiattimento dei fondali non è, invece, riconducibile in misura determinante all'entità delle portate scambiate dalla laguna con il mare. Egualmente di scarso rilievo è il ruolo delle correnti di marea, la cui vivacità può eventualmente far sentire i suoi effetti solamente lungo i canali principali, concorrendo a mitigare le conseguenze del deposito del materiale fine che vi è trascinato dai bassifondi.

Se si condivide l'analisi, non sembra in particolare fondata l'idea per cui solamente non alterando gli attuali elevati scambi di portata tra la laguna e il mare si sarebbe in grado di garantire il mantenimento all'interno della laguna di un potente e articolato sistema di canali. D'altra parte che tali opinioni siano prive di fondamento è dimostrato innanzitutto in termini sperimentali dalle lagune del passato, le quali, nonostante scambiassero con il mare portate decisamente più ridotte di quelle attuali, presentavano al loro interno una rete di canali non meno potente ed efficiente di quella che oggi osserviamo. In secondo luogo, l'inconsistenza dell'idea è confermata dai risultati delle simulazioni numeriche condotte, che individuano non nelle correnti di marea, ma nel moto ondoso, cresciuto di intensità soprattutto nel corso degli ultimi decenni, e nei meccanismi di interazione con i fondali delle correnti indotte la causa dominante del fenomeno osservato di generale approfondimento e appiattimento del bacino lagunare.

Ovviamente le correnti di marea hanno un ruolo nella dinamica dei sedimenti all'interno della laguna, che non si può ignorare. Esse sono, e lo si è dimostrato, il vettore che convoglia verso le bocche i sedimenti mobilitati e risospesi dai bassifondi dalle onde. È alle bocche che, a causa del loro comportamento asimmetrico in fase di flusso e di riflusso, si concretizza, limitatamente alle frazioni più fini di materiale, una perdita netta verso il mare di entità ragguardevole e tale da giustificare ampiamente l'erosione di cui soffre il bacino lagunare. Tale erosione è valutabile, secondo i calcoli, in una perdita di almeno alcune centinaia di migliaia (4-5) di metri cubi all'anno.

Sui fenomeni di degrado in essere all'interno della laguna emer-

ge dunque il ruolo decisamente negativo della presenza dei moli alle bocche di porto. Dopo la costruzione di tali opere, la perdita netta di sedimenti verso il mare e l'aumento delle profondità delle zone d'acqua costituenti i bassifondi hanno via via incrementato l'intensità dei processi di demolizione delle barene e di erosione dei fondali, aumentando la concentrazione dei sedimenti risospesi dalle onde e le quantità di materiale trasportate verso i canali e perse attraverso le bocche. Si è innescato in questo modo un meccanismo perverso che, quantomeno in una prima fase, si è autoalimentato.

L'ipotesi che la laguna, nonostante la diversione dei fiumi, avesse conservato a lungo se non la configurazione morfologica cinquecentesca condizioni non molto dissimili da questa, sembra essere suffragata dai risultati della modellazione matematica, che indica per la laguna nei primi anni dell'Ottocento fenomeni di risospensione dei sedimenti dai bassifondi lagunari molto contenuti e scambi con il mare caratterizzati da perdite limitate, anche delle frazioni più fini di materiale.

Discende da questo risultato una prima considerazione sull'ipotesi ventilata di perseguire un riequilibrio dei processi erosivi in atto, adottando provvedimenti (come ad esempio la rimozione della parte terminale della diga nord di Lido) che favoriscano una reintroduzione in laguna di sabbie provenienti dal mare. Secondo il calcolo, ancorché introdotte nelle bocche, queste sabbie sarebbero fatalmente destinate a depositarsi lungo gli stessi canali portuali o nei tratti più prossimi dei canali lagunari che da questi si dipartono, non essendo le correnti di marea capaci di sospingerle significativamente verso l'interno a causa delle loro ridotte velocità. Né tanto meno queste sabbie potrebbero diffondersi sui bassifondi delle parti più lontane dalle bocche o adiacenti ai maggiori canali.

L'effetto inevitabile e sicuro, che si otterrebbe dal provvedimento di accorciare la diga nord della bocca di Lido, sarebbe quello di ridurre i suoi fondali, conseguenza che potrebbe essere ben vista da alcuni ma fortemente contrastata da altri. Forse però non è il caso di procedere in questa direzione, anche se la proposta è recepita in uno dei cosiddetti «11 punti» indicati dal Magistrato alle Acque in un proprio documento (Comitato di Indirizzo e Controllo 2005). È sicuramente preferibile orientarsi verso azioni dagli esiti meno incerti e in definitiva più utili.

Volendo arrestare o quantomeno mitigare i fenomeni erosivi che stanno letteralmente sconvolgendo la morfologia lagunare, non vi possono essere provvedimenti diversi da quelli rivolti, da una parte a controllare più efficacemente i meccanismi da cui dipende l'intensità del moto ondoso, dall'altra a reintrodurre in laguna maggiori quantità di sedimenti di origine fluviale, ritornando in qualche modo al passato.

Restando ai fenomeni di erosione generalizzata che affliggono la laguna non è nemmeno sufficiente credere di poter invertire il degrado morfologico in atto costruendo, come si è fatto negli ultimi anni, barene artificiali o altro di simile, senza incidere sulle vere cause che alimentano il fenomeno.

Guardando agli anni in cui viviamo, pur essendo ormai evidente l'evoluzione morfologica in senso negativo che interessa la laguna, è probabile che permarrà ancora a lungo una sostanziale indifferenza verso i temi complessi della morfologia lagunare, oltretutto poco performanti dal punto di vista economico. Non è perciò privo di interesse, perdurando le condizioni attuali, tentare di formulare una qualche previsione sulle tendenze evolutive della laguna negli anni a venire.

Una prima interessante previsione sulla quale soffermare l'attenzione riguarda i limiti verso i quali potrebbero tendere le profondità degli specchi d'acqua.

A tal fine si potrebbe considerare come sola causa della risospensione dei sedimenti il moto ondoso generato dal vento in condizioni di fetch illimitato e assumere l'ipotesi che la colonna d'acqua sia interessata da un processo di deposizione costante, con un tasso di erosione del fondo proporzionale alla differenza tra lo sforzo tangenziale agente sul fondo stesso e lo sforzo tangenziale critico⁹⁴.

In queste condizioni si dimostra che i punti rappresentativi dello sforzo tangenziale τ esercitato sul fondo al variare della quota del fondale si dispongono con l'andamento tipico di una curva a campana con concavità rivolta verso il basso (Fagherazzi *et al.* 2006). Per un assegnato sforzo tangenziale, che superi il valore critico caratteristico del materiale costituente il fondo, con un tasso di deposizione del materiale costante, si evidenziano in generale due differenti quote in grado di garantire l'equilibrio dei fondali (Fig. 10.14). La più elevata di tali quote (punto I di Fig. 10.14), appartenente al ramo ascendente della curva, è rappresentativa di condizioni di equilibrio instabile per i fondali, mentre quella minore (punto S di Fig. 10.14), appartenente al ramo discendente della curva stessa, individua condizioni di equilibrio stabile.

⁹⁴ Per i sedimenti lo sforzo tangenziale critico, ovvero la forza unitaria che le correnti esercitano sul fondo producendo per il materiale che lo costituisce condizioni di moto incipiente, dipende sostanzialmente, come si è detto, dal diametro rappresentativo del materiale costituente il fondo e dalla sua natura litologica. Nel caso della laguna di Venezia, per accertarne i valori, recenti indagini sperimentali in situ sono state coordinate da Carl Amos (Amos *et al.* 2004).

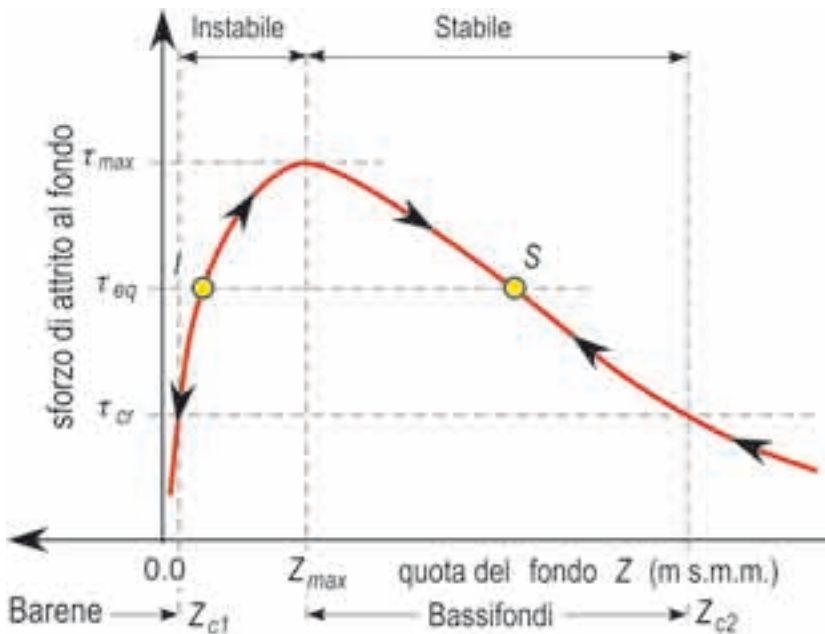


Fig. 10.14 - Andamento degli sforzi tangenziali al fondo indotti dal moto ondoso generato dal vento al variare della quota dei fondali.

Se il sistema è perturbato da una causa esterna nell'intorno del punto di equilibrio instabile, i fondali possono evolvere secondo due opposte direzioni, che portano rispettivamente verso quote sempre maggiori fino all'emersione del fondo, e quindi alla generazione di una superficie di barena (è questo il caso di un ambiente in cui vi sia abbondanza di apporto di sedimenti), oppure nella direzione di fondali più profondi (punto S di Fig. 10.14), corrispondenti alle condizioni di equilibrio stabile (come nel caso di un ambiente con una più limitata disponibilità di sedimenti). In una laguna quale è quella attuale, con apporti ridotti di materiale, la seconda eventualità è da ritenere più probabile.

Alla luce di queste considerazioni dovrebbe conseguentemente verificarsi che in una laguna con scarsa disponibilità di sedimenti, per effetto del solo moto ondoso, i fondali delle zone d'acqua meno profonde, instabili, evolvano verso profondità sempre maggiori, tendendo al valore che sul ramo discendente della curva indica la condizione di stabilità dell'equilibrio (punto S di Fig.10.14). Tale profondità sarà

tanto maggiore quanto minore è la quantità di materiale che può depositarsi sul fondo.

Qualora la quantità di sedimenti depositabile sul fondo fosse del tutto trascurabile, il punto di equilibrio stabile si sposterebbe necessariamente nella direzione di ridurre lo sforzo tangenziale al fondo esercitato dalle correnti fino a farlo coincidere con il valore dello sforzo tangenziale critico proprio del materiale, avvicinandosi al quale viene meno qualsiasi possibilità di erodere i sedimenti. Si raggiunge in questo modo per i fondali la condizione limite per cui nel processo esaminato la colonna d'acqua risulterà in equilibrio, poiché è nulla sia la quantità di materiale che può depositarsi sul fondo sia quella che può erodersi dal fondo stesso.

La validità e i limiti del modello concettuale proposto sono stati verificati con una estesa serie di prove condotte sulla laguna attuale mediante l'utilizzazione dei modelli matematici implementati, assumendo l'ipotesi di un tasso di deposito dei sedimenti costante per tutto il bacino lagunare⁹⁵.

Nelle indagini si sono analizzate le condizioni che si stabiliscono in laguna con un vento di Bora che spirava con una velocità di 10 m/s e con un livello di marea pari a quello medio del mare. Velocità del vento superiori a questa, spinte fino ai valori massimi che si registrano in laguna di 20-25 m/s, non modificano in misura apprezzabile l'andamento e i valori di picco della curva che esprime il legame sforzi tangenziali al fondo-profondità (Fig. 10.14) e sono pertanto ininfluenti sui risultati e sulla loro interpretazione.

Con queste premesse e con buona approssimazione, si dimostra che il modello concettuale di evoluzione dei fondali proposto è applicabile alla laguna centro-meridionale (Defina *et al.* 2007), dove il vento, spirando liberamente su grandi distese d'acqua, può sviluppare pienamente la propria azione su buona parte del bacino.

Nel piano sforzi tangenziali-quote del fondo, in particolare, i punti rappresentativi delle diverse maglie del reticolo di calcolo si addensano entro una fascia (Fig. 10.15) compresa tra due curve (**A** e **B** in Fig. 10.15) che hanno l'andamento caratteristico della curva a campana teorica di Fig. 10.14.

Per i punti esterni rispetto a tale fascia, il modello concettuale proposto non si applica o perché i relativi elementi del reticolo di calcolo

⁹⁵ Un tasso di deposizione variabile monotonicamente con la quota non modifica la sostanza delle considerazioni tratte (Fagherazzi 2006).

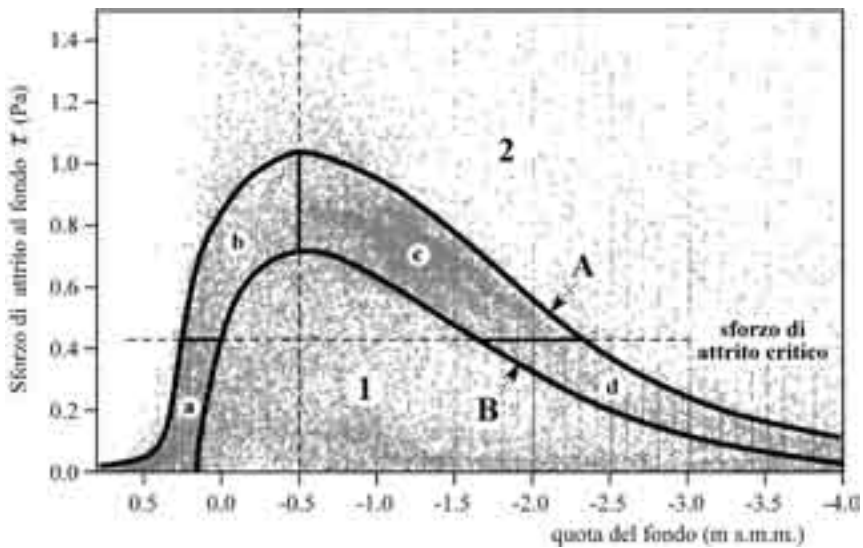


Fig. 10.15 - Laguna centro-meridionale. Distribuzione degli sforzi tangenziali al fondo calcolati con il modello bidimensionale al variare della quota del fondo dei diversi elementi della griglia di calcolo.

sono schermati rispetto all'azione del vento (regione **1** di Fig. 10.15) o in quanto appartenenti a canali lagunari, nei quali il moto ondoso fornisce un contributo del tutto marginale alla mobilitazione e alla risospensione dei sedimenti presenti sul fondo (regione **2** di Fig. 10.15).

Con riferimento, invece, ai punti ricadenti all'interno della fascia delimitata dalle due curve, quelli della regione **a** appartengono a superfici di barena totalmente emerse rispetto al livello medio del mare. Quelli della regione **b**, che si dispongono lungo il ramo di instabilità della curva limite teorica, sono relativi a superfici in condizione di transizione da basso fondale a barena o viceversa. Coerentemente con il fatto che secondo l'analisi teorica essi descrivono condizioni di instabilità dei fondali, si tratta di un numero limitato di punti (9.2% dell'area della striscia) e per lo più rappresentativi di zone d'acqua prossime ai bordi delle barene. Quanto ai punti della regione **c**, che sono i più numerosi (79.5% dell'area della striscia), essi sono relativi ad aree appartenenti a bassifondi dinamicamente stabili secondo la teoria, caratterizzati da quote di fondo inferiori a quella del picco teorico della curva e da uno sforzo tangenziale al fondo indotto dalle correnti superiore a quello critico. Per tali aree gli effetti erosivi a dan-

no dei fondali sono compensati da un egual deposito di materiale. Da ultimo i punti della zona **d** (2.3% dell'area della striscia) si riferiscono a fondali con quote sottostanti al livello medio del mare per 2.0-2.5 m s. m. m.. In questi ambiti lo sforzo tangenziale al fondo è inferiore al valore critico (Amos *et al.* 2004) e il deposito di sedimenti, comunque piccolo, rapidamente tende a far riempire le zone con profondità superiori ai 2.0-2.5 m. Anche i punti della regione **d**, pertanto, descrivono aree di bassofondo instabili oppure sono rappresentativi di canali ai quali il modello teorico non si applica.

Se si condivide l'analisi, la presenza di due punti di stabilità per le quote delle superfici lagunari, il primo relativo ad aree che sono portate a emergere (barene) nell'evoluzione dei fondali, il secondo riferibile a superfici che rimangono costantemente coperte dalle acque (bassifondi), suggerisce l'idea che nella realtà la distribuzione della curva di probabilità delle quote dei fondali di una laguna dovrebbe assumere un andamento plausibile con le considerazioni esposte.

Con queste premesse, esaminando tale distribuzione nel caso dei diversi elementi del reticolo di calcolo della parte centro-meridionale della laguna di Venezia, la relativa curva presenta un andamento caratterizzato dalla presenza di due massimi relativi, indicativi rispettivamente delle quote che si riscontrano con maggiore frequenza, e perciò sostanzialmente riconducibili a formazione stabili, e di un punto di minimo, interposto tra i primi due, indicativo di quote assai meno frequenti e, quindi, instabili (Fig. 10.16).

Mentre nell'intorno del primo massimo della curva così ottenuta, che presenta una quota superiore a quella del medio mare, ricadono le superfici occupate dalle barene, nell'intorno del secondo massimo si collocano le quote del fondo delle zone d'acqua stabili. Si può conseguentemente affermare che l'andamento bimodale della curva di distribuzione di probabilità delle quote del fondo, appena evidenziato, concretizzi la previsione sull'evoluzione dei fondali formulabile sulla base del modello teorico brevemente descritto. La curva così determinata porta a una concentrazione di valori delle quote dei fondali nell'intorno del punto di equilibrio dei bassifondi, che sono costantemente sommersi dall'acqua.

Sempre con riferimento alla laguna centro-meridionale, di grande interesse è il confronto tra la curva di distribuzione di probabilità delle quote del fondo relativa alla configurazione attuale e quelle determinate rispettivamente partendo dai rilievi del 1901, del 1932 e del 1970 (Fig. 10.17).

Per queste ultime configurazioni tutte le analisi sono state condotte

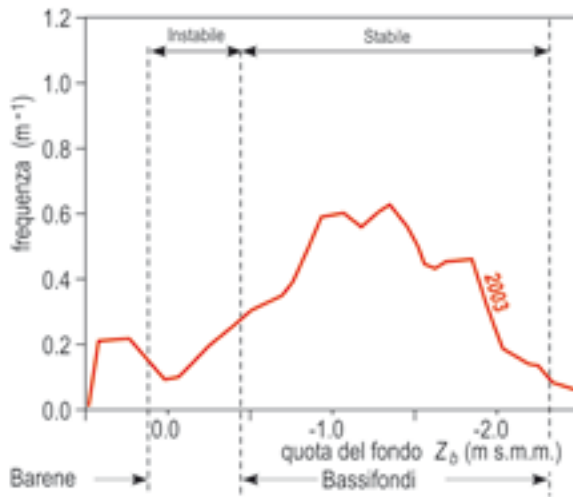


Fig. 10.16 - Laguna centro-meridionale attuale (2003). Curva di distribuzione di probabilità delle quote del fondo nella laguna centro-meridionale secondo il più recente rilievo batimetrico disponibile.

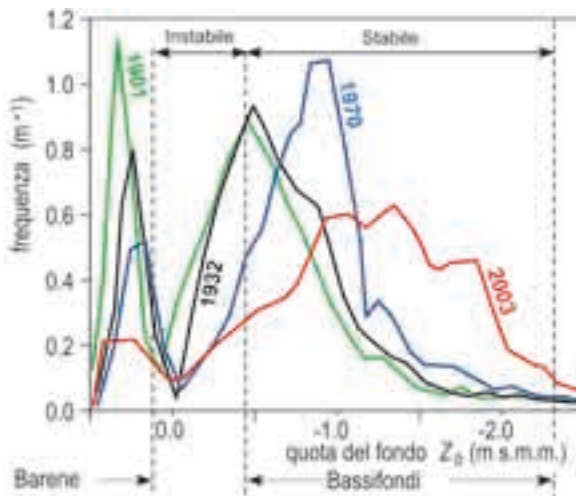


Fig. 10.17 - Laguna centro-meridionale. Confronto tra le curve di distribuzione di probabilità delle quote del fondo per i diversi rilievi batimetrici disponibili a partire dal 1901.

assumendo come riferimento il livello medio del mare del relativo periodo. In tal modo le variazioni delle profondità risultanti sono già depurate dagli effetti della sommersione (23 cm circa nell'ultimo secolo).

Emergono in tutta evidenza dal confronto delle curve relative ai diversi rilievi le modificazioni morfologiche complessive subite dalla laguna nell'arco di tempo considerato. Risulta, in particolare, che nel periodo 1901-1932 si sono apprezzabilmente ridotte le superfici occupate dalle barene (frequenza del primo picco di ciascuna curva) e si sono contemporaneamente accresciute le superfici occupate dalle zone d'acqua (frequenza del secondo picco), i cui fondali peraltro hanno sostanzialmente conservato la loro profondità.

Nel complesso si può ritenere che nel corso dei primi decenni del secolo appena trascorso, grazie al materiale proveniente dalla demolizione delle barene e messo a disposizione del sistema lagunare, si siano potuti compensare gli effetti di erosione a danno dei bassifondi dovuti ai processi di mobilitazione e risospensione dei sedimenti a opera del moto ondoso e ai fenomeni di trasporto dipendenti dal regime delle correnti di marea.

A partire dal 1932, ma in modo più evidente dopo il 1970, il processo erosivo all'interno della laguna è continuato con una importante variazione. Se da una parte, infatti, è proseguita la riduzione delle superfici occupate dalle barene, i volumi di materiale messi a disposizione del sistema dalla loro demolizione non sono più stati in grado di compensare i processi erosivi in direzione verticale sostenuti all'interno della laguna dalle forzanti esterne. È iniziata da questo momento una seconda fase evolutiva della morfologia lagunare, tutt'ora in atto, in cui la distruzione di quanto resta delle barene si accompagna a una non meno importante azione erosiva a danno dei fondali delle zone d'acqua.

Il fenomeno è ben evidenziato dal progressivo spostamento verso profondità maggiori del secondo punto di massimo relativo delle curve di distribuzione di probabilità delle quote del fondo, relative alle configurazioni della laguna del 1970 e del 2003 (Fig. 10.17).

In pratica in questo ultimo periodo le minori quantità di materiale rese disponibili dalla demolizione delle barene ha parallelamente ridotto la concentrazione media dei sedimenti presenti in sospensione nella colonna d'acqua e quindi la quantità di materiale depositabile sul fondo. Prevale, come conseguenza, l'azione erosiva a danno dei fondali, che inevitabilmente porta al loro approfondimento, nella ricerca di una nuova condizione di equilibrio raggiungibile solamente attraverso un incremento delle profondità. Perdurando all'interno del bacino lagunare un insufficiente apporto di sedimenti, o addirittura annullandosi

qualsiasi contributo, la condizione limite di questa evoluzione è rappresentata da profondità dei bassifondi sufficientemente elevate per portare al di sotto della soglia critica lo sforzo tangenziale al fondo esercitato dal moto ondoso e annullare in tal modo la capacità erosiva.

Assumendo per lo sforzo tangenziale critico dei sedimenti lagunari le indicazioni di recenti indagini (Amos *et al.* 2004), la profondità limite del processo erosivo al quale si è fatto riferimento è valutabile in 2.0-2.5 m. È pertanto verso questo valore che dovrebbero tendere le profondità della laguna, se si manterranno invariate le condizioni al contorno imposte dalle attuali forzanti esterne.

Quanto è credibile questa previsione?

Non è evidentemente facile rispondere, poiché il risultato, ancorché frutto di un ragionamento condivisibile, è pur sempre dedotto introducendo ipotesi che concettualizzano in uno schema semplice una realtà fisica estremamente complessa, nella quale intervengono, accanto a quelli considerati, altri fattori, che hanno o potrebbero avere un ruolo non trascurabile sul fenomeno.

È comunque accattivante osservare che le profondità dei fondali di alcune zone particolari della laguna sembrano suffragare la conclusione. Ci si intende riferire ai cosiddetti «fondi lagunari», ovvero agli specchi d'acqua che si interpongono nelle zone di partiacque tra i principali bacini lagunari, nelle quali l'apporto esterno di sedimenti, che in queste aree può essere sostenuto solamente dal materiale convogliato in sospensione dalle correnti di marea, è del tutto trascurabile se non nullo, per le ridotte velocità che vi si realizzano.

Nei «fondi lagunari», secondo il modello concettuale proposto, con valori dello sforzo tangenziale critico di 0.4-0.6 Pa, le profondità dovrebbero assestarsi intorno al valore limite di 2.0-2.5 m sopra definito, che annulla il potere erosivo del moto ondoso, instaurando la sola condizione che risulta compatibile con un tasso di deposizione dei sedimenti a sua volta nullo.

Conclusione credibile poiché, se si esamina la condizione del «Fondo dei Settemorti», posto tra il bacino di Chioggia e il bacino di Malamocco, in una parte della laguna oltretutto non pesantemente modificata dall'opera dell'uomo, si riscontrano profondità che sono in buon accordo con quelle indicate. Di più, se si confronta sempre in quest'area lo stato dei fondali secondo le carte rilevate nelle diverse epoche, si constata che le loro profondità non si sono affatto modificate nel tempo. Volendo evidenziare per il «Fondo dei Settemorti» una variazione dell'assetto morfologico, non è ai valori delle profondità che ci si deve riferire, quanto piuttosto alla loro progressiva diffusione spaziale. Nel caso specifico,

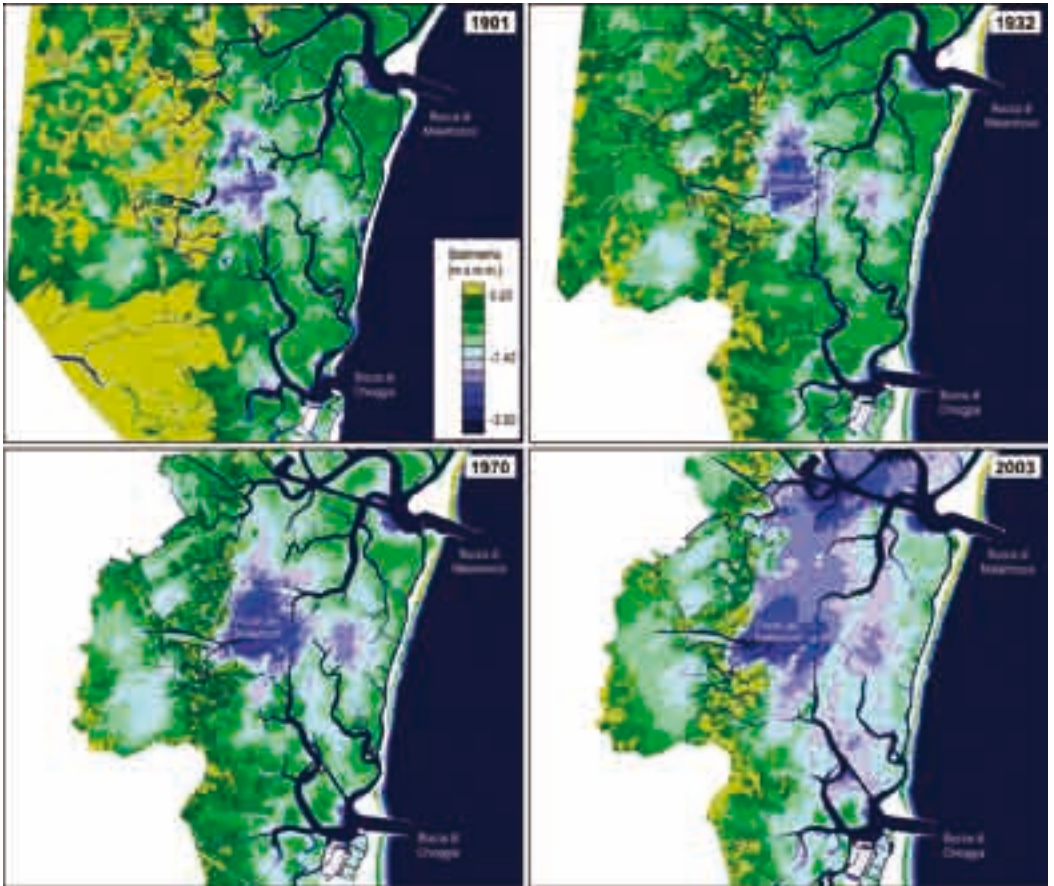


Fig. 10.18 - Variazione nel tempo dell'estensione delle superfici del Fondo dei Settemorti.

ma anche in altre parti della laguna con caratteristiche simili, risulta che le profondità limite indicate hanno interessato superfici d'acqua via via crescenti nel tempo (Fig. 10.18). Prodromo forse di un fenomeno destinato a estendersi ancora in tutta la laguna media e inferiore.

Sempre con riferimento alla probabile evoluzione dei fondali lagunari, di un qualche interesse sono i risultati di una recente estensione alla laguna superiore (Carniello *et al.* 2009) dei criteri di analisi descritti e inizialmente applicati alla laguna centro-meridionale.

Dal punto di vista fisico, rispetto alla laguna centro-meridionale, nella laguna superiore l'azione del moto ondoso non può svilupparsi liberamente e la condizione che si realizza è quella tipica di onde che si formano in un ambiente con fetch limitato. Ne discendono, a parità di altre condizioni, sforzi tangenziali al picco inferiori a quelli determinabili per la condizioni di fetch illimitato, ma andamenti della curva sforzi

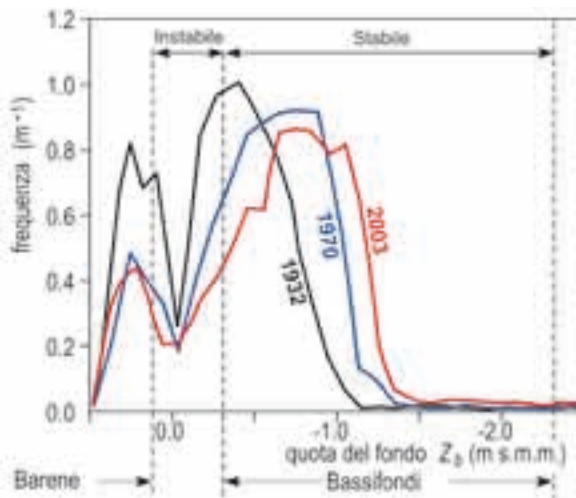


Fig. 10.19 - Laguna superiore. Confronto tra le curve di distribuzione di probabilità delle quote del fondo tratte dai rilievi batimetrici disponibili a partire dal 1932.

tangenziali-quote del fondo e comportamenti, ai fini della stabilità dei fondali, analoghi a quelli già illustrati per la laguna centro-meridionale.

Escludendo dal confronto le superfici occupate dalle valli da pesca, per i variati rapporti intervenuti nel corso della prima metà del Novecento con le restanti parti della laguna, in questo caso l'analisi è limitata ai soli rilievi del 1932, del 1970 e del 2003, non considerando la batimetria del 1901 per la presenza nella laguna superiore di estese superfici occupate dalle saline.

Le curve di distribuzione di probabilità delle quote del fondo ottenute presentano a loro volta un andamento bimodale tipico, con la presenza di due punti di massimo, con un punto di minimo interposto.

Passando dalla configurazione della laguna del 1932 a quella del 1970 (Fig. 10.19), si riscontra ancora un'importante diminuzione delle superfici occupate dalle barene, mentre il picco rappresentativo delle quote dei bassifondi stabili, i quali vanno aumentando in estensione come nel caso della laguna centro-meridionale, trasla verso profondità maggiori. Le quote dei bassifondi stabili, inoltre, sono più elevate di quanto non si riscontri nella laguna centro-meridionale e le loro variazioni nel periodo di tempo esaminato sono più contenute, a conferma di una minore intensità dei processi erosivi in questa parte del bacino lagunare e di una sua più lenta evoluzione nel tempo.

I risultati dedotti dall'esame della cartografia sono ovviamente conseguenza sia dei fenomeni naturali, che da sempre sono in atto nell'area veneziana, sia delle grandi opere realizzate dall'uomo, sulle quali ci si è a lungo soffermati. Nel contesto del modello concettuale proposto e delle valutazioni esposte, tuttavia, se non si modifica la quantità di sedimenti introdotta dall'esterno, il fenomeno della sommersione si traduce semplicemente in una riduzione dell'intensità del processo erosivo, che fa evolvere i fondali verso la loro profondità di equilibrio.

Il ruolo sulle tendenze evolutive sopra descritte di processi non considerati nella modellazione, quali ad esempio le dinamiche della vegetazione alofila e l'azione stabilizzante del microfitobentos⁹⁶ sul sedimento presente nei bassifondi, è stato recentemente indagato sulla base di una diversa analisi eco-morfodinamica puntuale (Marani *et al.* 2007), in grado di descrivere l'evoluzione accoppiata delle componenti fisiche e biologiche di un sistema a marea. Questo modello porta a individuare le condizioni di equilibrio morfodinamico che caratterizzano le superfici di barena e/o di bassofondo, nonché eventuali passaggi di transizione tra di essi, mettendo in luce, accanto al ruolo assunto dalle forzanti fisiche (innalzamento del medio mare relativo, processi di deposizione e di erosione), anche quello delle forzanti biologiche (nascita e sviluppo della vegetazione e del microfitobentos).

Per una porzione di ambiente a marea, è definita dal modello l'evoluzione nel tempo sia della sua quota, attraverso un bilancio di massa per sedimenti coesivi che tiene conto dei flussi di deposito e di erosione e del tasso di variazione del medio mare, sia della biomassa associata alla vegetazione, che eventualmente la può colonizzare.

Ne deriva l'esistenza di diverse condizioni di equilibrio morfodinamico, in funzione della disponibilità di sedimento, dell'azione erosiva delle onde generate dal vento, della eventuale presenza del microfitobentos sui sedimenti dei bassifondi, della vegetazione sulle superfici di barena e delle variazioni del livello del mare, a causa di fenomeni di trasgressione e regressione marina.

Sulla base della disponibilità di sedimento espressa in termini di

⁹⁶ Il microfitobentos è un biofilm, composto principalmente da batteri, diatomee, cianobatteri e propaguli macroalgali, che fornisce materia organica al sistema intertidale attraverso il processo di fotosintesi e influenza i flussi di nutrienti tra ambiente pelagico e bentonico. Il microfitobentos inoltre gioca un ruolo molto importante sulla morfologia degli ambienti lagunari ed estuarini, poiché le diatomee e le comunità di batteri a esse associate, possono produrre importanti quantità di polisaccaridi, che sviluppano una pellicola stabilizzante in grado di proteggere il sedimento dai processi erosivi.

concentrazione (stimata in 20 mg/l in media per lo stato attuale), considerando un tasso di innalzamento R del medio mare corrente di ~3.5 mm/anno, il modello prevede due differenti configurazioni di equilibrio stabile. Un «equilibrio di basso fondale» a una quota prossima a -2.15 m s.m.m., in accordo sostanziale con i risultati del modello precedentemente descritto (Fagherazzi *et al.* 2006; Defina *et al.* 2007) e un «equilibrio di barena» a una quota di circa 0.30 m s.m.m. (Fig. 10.20 scenario **A**).

Maggiori valori della concentrazione, derivanti da più cospicue quantità di sedimenti disponibili, come nei tempi antecedenti l'estromissione dei fiumi o negli anni immediatamente successivi per apporti provenienti dalla demolizione delle superfici di barena, comportano uno spostamento dei punti di equilibrio verso quote superiori (Fig. 10.20 scenario **B**, caratterizzato dall'ipotesi di una concentrazione dei sedimenti disponibili di 40 mg/l). Per contro una riduzione di tale concentrazione, derivante per lo stato attuale dalla progressiva riduzione delle superfici di barena, principale fonte di alimentazione di sedimento per la laguna dopo l'estromissione dei fiumi, porterebbe alla definitiva scomparsa di queste forme.

Secondo il modello, le barene della laguna di Venezia potrebbero scomparire non soltanto per essere stato sostanzialmente annullato qualsiasi apporto esterno di sedimenti, ma anche per la loro incapacità intrinseca di seguire un accrescimento del livello medio del mare relativo troppo rapido, trasformandosi progressivamente in superfici non vegetate poste al di sotto del livello medio mare. Nello specifico assumendo un tasso di innalzamento R del medio mare di 4.4 mm/anno, media dei tassi previsti per il prossimo secolo, secondo il modello proposto le barene si trasformerebbero in bassifondi, con una quota di 10 cm al di sotto del livello medio del mare stesso.

Un'interpretazione complessiva dei risultati forniti dai due modelli di evoluzione a lungo termine richiamati fornisce il supporto teorico per una considerazione, in parte già espressa ma sulla quale conviene ritornare, sulle modificazioni della morfologia lagunare nei secoli che sono seguiti all'estromissione dei fiumi e, in prospettiva futura, sull'evoluzione a lungo termine della laguna, perdurando per le forzanti esterne le condizioni attuali.

Prima dell'allontanamento dei fiumi, la morfologia della laguna era dominata dai processi di sedimentazione dei materiali di origine fluviale, che hanno comportato i fenomeni di interrimento contro i quali gli antichi veneziani lottarono a lungo.

Fu una fase caratterizzata inizialmente da processi a prevalente sviluppo verticale con progressivo innalzamento delle quote del fon-

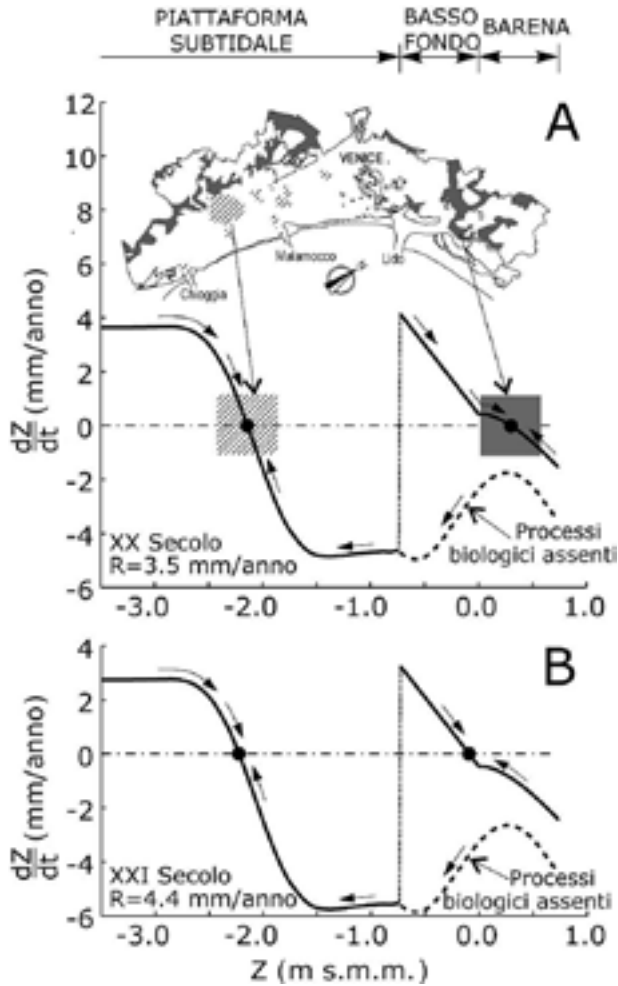


Fig. 10.20 - Condizioni di equilibrio del fondale ($dZ/dt=0$) con due differenti scenari di variazione del livello medio del mare, nell'ipotesi di presenza di vegetazione multi-specie. Per lo scenario A concentrazione di 20 mg/l e innalzamento del livello medio relativo del mare R di 3.5 mm/anno. Per lo scenario B concentrazione di 40 mg/l e innalzamento del livello medio relativo del mare R di 4.4 mm/anno. La discontinuità evidenziata dalle curve in prossimità di $Z=0$ è dovuta alla colonizzazione della superficie da parte della vegetazione. La linea tratteggiata rappresenta, invece, il caso ipotetico di assenza di qualsiasi contributo di tipo biologico (Marani *et al.* 2007).

do degli specchi d'acqua, solo in parte contrastati dalla sommersione del territorio lagunare e dall'erosione. Sempre in questa fase, ma successivamente, si sono sovrapposti all'interno della laguna processi di interrimento a forte sviluppo orizzontale, con riduzione delle superfici degli specchi d'acqua e contemporanea formazione di barene in rapida espansione. È questa la condizione che i veneziani percepirono in modo evidente durante il XIV secolo, quando i problemi dell'interrimento della laguna arrivarono a minacciare la stessa città di Venezia. Di qui la decisione, sofferta e contrastata, ma decisiva per la laguna, di allontanare i fiumi, incidendo radicalmente sui fenomeni che in quei tempi dominavano l'evoluzione della morfologia lagunare.

Dopo la diversione dei fiumi è iniziata per la laguna una fase molto diversa da quella appena ricordata, dominata questa volta dai processi erosivi e quindi, dal punto di vista morfologico, da uno sviluppo in senso opposto delle forme lagunari. Le trasformazioni che ne sono seguite si sono tradotte nei primi secoli in lenti fenomeni erosivi a prevalente sviluppo orizzontale, con una riduzione delle superfici occupate dalle barene e il contemporaneo incremento delle superfici degli specchi d'acqua.

Queste condizioni evolutive si sono mantenute fintanto che il volume di sedimenti proveniente dalla demolizione delle barene è stato in grado di compensare la tendenza all'approfondimento dei fondali.

A misura che l'estensione delle superfici occupate dalle barene si è andata riducendo e con essa la quantità di sedimenti liberata dalla loro demolizione, processi erosivi sempre più importanti e a sviluppo verticale hanno incominciato a sovrapporsi ai processi erosivi in direzione orizzontale, come è documentato dagli importanti e generalizzati aumenti delle profondità delle zone d'acqua che oggi si osservano.

Ferme restando le condizioni al contorno (quantità di sedimenti introdotti dall'esterno, intensità del moto ondoso, geometria delle bocche e dei grandi canali interni), in quali tempi la laguna evolverà verso una nuova «configurazione di equilibrio» dei suoi fondali è difficile prevedere. Verosimilmente non saranno tempi lunghi, se si guarda agli anni durante i quali si sono sviluppati i processi di degrado ai quali si è fatto riferimento.

Analizzando i rilievi batimetrici disponibili, nella parte della laguna centrale delimitata dal perimetro formato dal canale Malamocco-Marghera, dai canali Vittorio Emanuele-Giudecca-S.Nicolò e dal litorale compreso tra le bocche di Lido e Malamocco, la profondità media dei bassifondi, esclusi quindi i canali, è passata dai 49 cm del 1901, ai 60 cm del 1932 per arrivare ai 146 cm del 2003, passando attraverso i 101 cm del 1970. Si tratta di valori calcolati con buona accuratezza, utilizzando

il reticolo di calcolo delle diverse configurazioni della laguna modellate e attribuendo alle quote del fondo di ciascun elemento un peso proporzionale all'estensione della sua area.

Pur mancando la possibilità di risalire più indietro nel tempo applicando lo stesso criterio per la stima della profondità media, è di un qualche interesse segnalare che in una carta idrografica dei primi anni dell'Ottocento, conservata presso gli archivi storici dell'esercito e della marina francesi (Caniato 1995), sono indicate per i bassifondi della parte di laguna considerata profondità prossime per lo più alla quarantina di cm, con valori massimi in qualche punto di 60-70 cm⁹⁷, coerentemente con l'osservazione riportata da Dénaix che per gli anni del suo rilievo batimetrico segnalava che i fondali lagunari si scoprivano quasi totalmente durante le fasi di più spinta bassa marea.

Emerge in tutta evidenza dall'insieme di questi dati il non trascurabile incremento dei fondali subito dalla laguna a partire dagli anni trenta del secolo passato, ma soprattutto negli anni a noi più vicini, successivi alla costruzione del canale Malamocco-Marghera. Se nel corso dell'Ottocento i fondali della parte centrale della laguna si sono di fatto conservati o di poco modificati, in ragione soprattutto della sommersione, l'incremento di circa 1 m della profondità media risultante per il secolo successivo non può che essere ricondotto alla sovrapposizione sui processi naturali delle conseguenze negative di alcuni grandi interventi attuati dall'uomo che vale la pena ricordare ancora. Tra di essi la costruzione dei moli alle bocche di porto, ultimata nel 1934 e lo scavo del grande canale navigabile Malamocco-Marghera, completato nel 1968.

Se restano incerti i tempi che porteranno la laguna verso questa condizione di non ritorno, che vedrà scomparire la morfologia che attraverso i secoli è giunta fino a noi, sono, invece, fin d'ora ipotizzabili le quote verso le quali tenderanno sul lungo periodo i fondali delle sue zone d'acqua e quali saranno nel futuro i suoi caratteri morfologici dominanti. Si tratterà di un bacino con caratteristiche molto diverse da quelle attuali e, a maggior ragione, da quelle del passato.

In tal senso, ferme restando le condizioni di apporto di sedimenti dall'esterno e le altre forzanti del sistema lagunare, i risultati di uno

⁹⁷ I fondali della carta sono espressi in piedi francesi (0.325 m) e sono riferiti al comune marino (23-28 cm al di sopra del medio mare relativo del tempo). Nella carta per i bassifondi sono indicate in numerosi punti profondità di circa 2 piedi, mentre i valori massimi non superano i 3 piedi.

studio recente (Carniello *et al.* 2009) forniscono una previsione che è meritevole di una qualche riflessione.

Tenuto conto degli effetti dell'erosione e dell'innalzamento relativo del livello medio del mare, focalizzando l'attenzione sulle zone d'acqua ed escludendo quindi dall'analisi le superfici occupate dalle barene e i canali lagunari, si è stimato l'attuale gradiente di variazione delle quote del fondo partendo dai rilievi batimetrici disponibili. Mediato su elementi triangolari di circa 900 m di lato che ricoprono l'intera laguna, tale gradiente (Fig. 10.21a) varierebbe entro un campo di valori compreso fra 3 cm/anno, in termini di erosione, e 1 cm/anno, in termini di deposito, essendo praticamente nullo per le zone, come il «Fondo dei Settemorti», sollecitate in pratica dal solo moto ondoso generato dal vento, dove le profondità (2.0-2.5 m) sono prossime a quelle previste dal modello di stabilità dei fondali, al quale si è fatto riferimento (Fagherazzi *et al.* 2006). Un moderato tasso di deposito è, invece, segnalato localmente per alcune superfici, non molto estese, della laguna centrale e meridionale, protette rispetto all'azione del moto ondoso dalle fasce di barena che si dispongono parallelamente al perimetro della conterminazione, separando la laguna viva dalla laguna morta.

In generale mentre la laguna superiore evidenzia mediamente un tasso di erosione molto contenuto, vicino a Venezia e in quasi tutta la laguna centro-meridionale i processi erosivi si manifestano con forti intensità, particolarmente nelle zone d'acqua poste in adiacenza a Porto S. Leonardo, intersecate dal canale Malamocco-Marghera, che sono pesantemente influenzate nell'evoluzione dei loro fondali, oltre che dal moto ondoso, dalle correnti indotte dal traffico navale.

Partendo dalla situazione della laguna attuale (Fig. 10.21b), nell'ipotesi che si possano estrapolare per alcune decadi negli anni a venire i valori del tasso di erosione e di deposito determinati per il tempo in cui viviamo, si otterrebbe per la laguna al 2050 la configurazione dei fondali rappresentata a scala di colori nella Fig. 10.21c.

Essa evidenzia un fatto inequivocabile. Quella del futuro sarà una laguna morfologicamente molto meno articolata di quella attuale, praticamente appiattita nelle sue forme, con profondità che tenderanno generalmente verso i valori di 2.0-2.5 m, concordemente previsti dai modelli concettuali di evoluzione a lungo termine richiamati (Fagherazzi *et al.* 2006; Marani *et al.* 2007). Fondali ancora maggiori si stabiliranno dove si risentiranno gli effetti del moto ondoso, delle correnti generate dai battelli in navigazione e delle attività della pesca dei molluschi, se non si interverrà a regolamentarla, convincendosi che il bene primario da salvaguardare è la laguna.

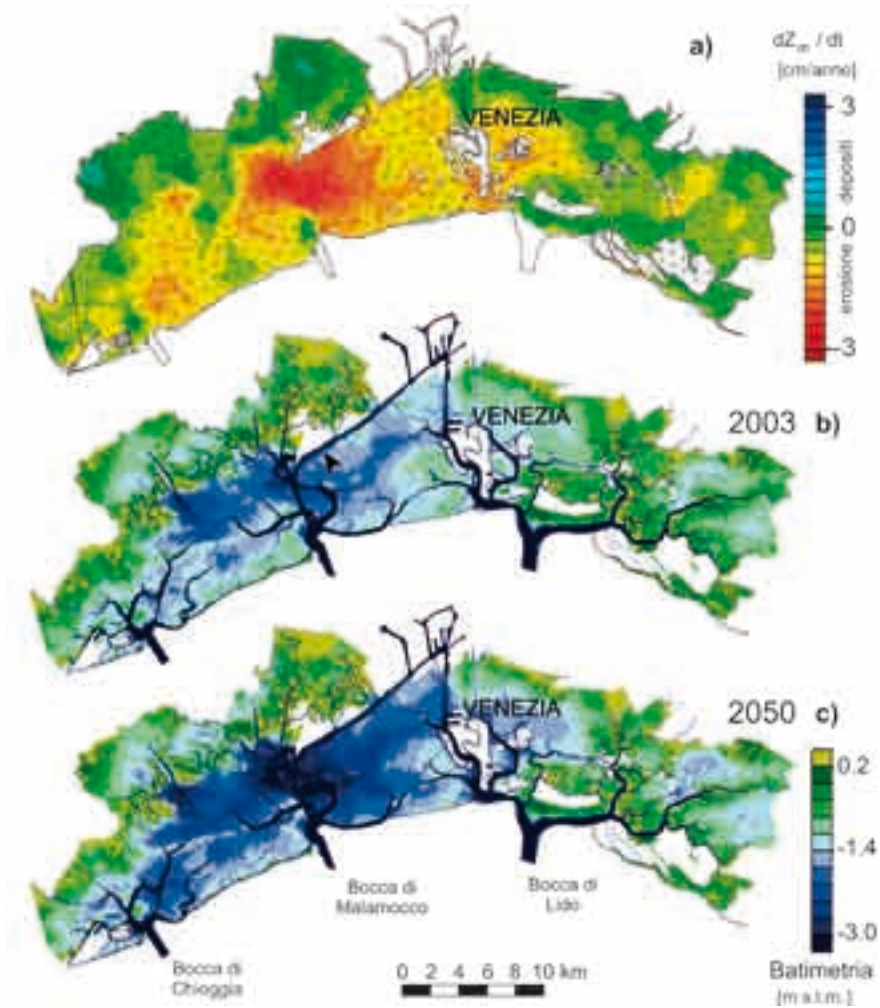


Fig. 10.21 - a) tasso di evoluzione delle quote Z_m dei fondali della zona d'acqua; b) batimetria a scala colori della laguna del 2003; c) batimetria della laguna prevista al 2050, ottenuta estrapolando i valori del gradiente $\frac{dZ_m}{dt}$ calcolati per la condizione attuale.

Se non si prenderà coscienza di questi fatti nel futuro, purtroppo, più che di laguna si dovrà parlare di «laguna perduta», trasformata in un vero e proprio braccio di mare soprattutto dall'opera insipiente dell'uomo moderno.

11. SU ALCUNI POSSIBILI INTERVENTI DI RIEQUILIBRIO MORFOLOGICO DELLA LAGUNA

L'attuale laguna è caratterizzata da uno scambio di sedimenti con il mare ampiamente deficitario ed è dominata da intensi fenomeni erosivi.

Un imponente processo di trasformazione si è compiuto in meno di un secolo, con una decisa progressione in anni relativamente recenti dopo l'ultimazione del canale Malamocco-Marghera, alla cui presenza sono riconducibili non pochi aspetti dell'attuale degrado morfologico del sistema lagunare. Si tratta di un degrado che, pur essendo ormai evidente, non sembra destare ancora nell'opinione pubblica reazioni particolari, forse anche per il fatto che si ha interesse a far convergere l'attenzione e le preoccupazioni dei governanti e dell'opinione pubblica verso il problema della difesa di Venezia dalle «acque alte», trascurando, se non addirittura ignorando, le questioni ben più complesse e difficili da affrontare e risolvere della salvaguardia lagunare.

Va da sé che questa posizione non è condivisa da coloro, e non sono pochi, che vorrebbero che il problema della difesa dalle «acque alte» non fosse disgiunto dal contesto più generale della difesa e della tutela dell'ambiente lagunare, riportando alla giusta centralità le questioni della salvaguardia della laguna. Così è stato del resto nei lunghi secoli della Repubblica, ispirati dalle magistrali intuizioni di Sabbadino, senza dubbio il più grande fra tutti gli antichi idraulici al servizio della Serenissima, quando, nonostante incertezze e ripensamenti e anche non pochi insuccessi, il concetto ispiratore dell'azione del Senato e del governo fu sempre chiaro, «essendo il principal obiecto del Stado nostro la conservazion de queste nostre lacune» (Caniato 1995).

Alcuni riterranno questa opinione non rispondente al vero, poiché da tempo ormai il Magistrato alle Acque attraverso il suo concessionario unico sta proponendo e realizzando interventi di recupero morfologico del bacino lagunare, riescavando canali e costruendo barene artificiali.

In realtà l'impressione che si trae da un esame circostanziato degli interventi realizzati è di limitato impatto sul problema complessivo, essendo i provvedimenti adottati inadeguati rispetto all'intensità dei processi erosivi da affrontare. Tali provvedimenti non sembrano oltretutto capaci di incidere sui fenomeni che hanno portato la laguna verso le condizioni attuali.

Senza ombra di polemica, le opere realizzate sul versante della morfologia lagunare danno l'impressione di essere ispirate da criteri estetici più che da approfondite valutazioni di carattere morfodinamico. È questo un giudizio dettato non da un irrazionale sentimento di rigetto di azioni che sono, invece, positive, ma da valutazioni di carattere idraulico, che ne mettono in luce l'insufficienza rispetto ai processi che si dovrebbero affrontare.

Guardando agli interventi posti in essere non è facile comprendere quali benefici ci si attenda in termini di mitigazione del degrado morfologico, dalla costruzione di barene artificiali con caratteristiche simili a quelle realizzate. Presidiate lungo il loro perimetro con strutture più o meno innovative, più o meno flessibili, più o meno naturali, ma tutte comunque ampiamente riflettenti, le barene artificiali a oggi realizzate sono, se si vuole, un «corpo estraneo» rispetto alla laguna, fisicamente separate dalle zone d'acqua adiacenti, con le quali dovrebbero formare invece, per quanto si è detto, un unico sistema. Le strutture di confinamento adottate, oltretutto, comportano localmente un incremento dell'ampiezza del moto ondoso incidente, che, come si è visto, è il fattore determinante della risospensione dei sedimenti e quindi anche dell'erosione dei fondali delle zone d'acqua adiacenti.

L'utilità delle barene in questione, che colpiscono favorevolmente per il rapido e rigoglioso sviluppo della vegetazione floristica che le colonizza e per aver favorito la ricomparsa di una avifauna da tempo non più presente in laguna, resta incerta. Ben diversa è, infatti, la loro valutazione se si guarda agli obiettivi più concreti della conservazione e del recupero morfologico, attribuendo in particolare alle barene artificiali che si dovrebbero realizzare la funzione qui chiaramente delineata.

Condividendo l'idea per cui le barene costituiscono un serbatoio di accumulo temporaneo di materiale, nelle fasi dominate dalla sedimentazione (antecedentemente all'estromissione dei fiumi, per intendersi), o di rilascio progressivo e graduale dei sedimenti verso le zone d'acqua che le affiancano, nelle fasi dominate dall'erosione (successivamente all'allontanamento dei corsi d'acqua), sarebbe necessario, dal punto di vista idraulico e morfodinamico, che esse fossero in libero contatto e continuo scambio con le restanti parti della laguna.

In condizioni di apporto nullo di sedimenti dall'esterno è solo questo il modo per garantire una maggiore stabilità dinamica dei bassifondi della laguna, compensando gli effetti dei processi erosivi con il materiale proveniente dalla demolizione delle barene. La possibilità di una tale interazione non sembra si possa riconoscere alle barene artificiali realizzate, per lo più sottratte all'azione erosiva delle correnti comunque indotte. Viene meno conseguentemente per le suddette strutture morfologiche la funzione primaria e secolare delle corrispondenti forme naturali.

Quanto al ripristino dei fondali di alcuni canali lagunari mediante operazioni di dragaggio, anch'esse perseguite in questi anni, è un rimedio rivolto a mitigare gli effetti di un fenomeno evidente, che non interviene in alcun modo sulle cause che lo alimentano. Agendo secondo questa impostazione, la previsione per il futuro è ovvia. Per garantire il mantenimento dei fondali dei canali colpiti dal problema si dovrà continuare a dragarli, accettando nello stesso tempo passivamente la progressiva demolizione dei bassifondi adiacenti, dai quali proviene prevalentemente il materiale che sedimenta nei canali stessi.

Partendo da queste considerazioni sui provvedimenti finora adottati per fronteggiare l'evoluzione in senso negativo della morfologia lagunare e non rassegnandosi al destino delineato per la laguna del futuro, una inversione di tendenza potrà conseguirsi solamente adottando nuovi indirizzi di intervento, capaci di contrastare le cause dell'erosione e adeguati rispetto all'intensità dei processi che si devono fronteggiare.

I provvedimenti sui quali ci si intende soffermare solleveranno sicuramente qualche perplessità fra coloro che si considerano investiti del compito irrinunciabile di distinguere tra quello che si può fare e quanto è, invece, proibito per la salvaguardia della laguna⁹⁸.

Consapevoli di non appartenere a questo mondo di eletti, non si pretende di definire quali interventi adottare. Si vorrebbe piuttosto contribuire ad aprire un dibattito tecnico e scientifico su alcune proposte, che porti, attraverso un proficuo confronto, alla migliore definizione dei provvedimenti utili alla conservazione della morfologia lagunare. In tal senso sarebbe auspicabile che l'individuazione degli interventi in tema di salvaguardia morfologica della laguna e la loro realizzazione seguano

⁹⁸ La categoria dei custodi dell'ambiente lagunare è trasversale e non è formata solo da persone che, seguendo i polemisti di un passato lontano, si considerano coinvolte per passione esternando le loro posizioni, ma anche dai rappresentanti delle istituzioni preposte al controllo della laguna, che non sembrano usare sempre lo stesso metro di giudizio e la stessa attenzione nel valutare i provvedimenti loro sottoposti.

un percorso diverso da quello che ha portato alla formulazione del progetto definitivo delle opere alle bocche, alla sua approvazione e quindi alla costruzione delle opere stesse.

È da sottolineare che per la salvaguardia morfologica dell'intero sistema lagunare il contributo della ricerca è e resterà irrinunciabile. Ne dovrebbero prendere atto per primi i cultori del «fare», ai quali, per il bene della laguna, dovrebbe non essere concessa la possibilità di interferire. D'altra parte parrebbe che costoro, appagati dall'essersi già espressi al meglio con le opere alle bocche, senza difficoltà dovrebbero lasciare il campo agli esperti di morfodinamica lagunare, frenando una volta tanto la loro ansia di realizzare qualcosa sempre e comunque.

Anche l'autoreferenzialità nella soluzione dei problemi e il non saper cogliere gli aspetti positivi nelle osservazioni degli altri dovrebbero non trovare cittadinanza nella formulazione delle proposte per il piano di riassetto morfologico della laguna, per il quale i concetti di «sperimentalità, gradualità e reversibilità» della Legge Speciale su Venezia non dovrebbero essere oggetto di interpretazioni di comodo e strumentali, ma assunti nel loro significato autentico.

Partendo da queste premesse e dalle analisi condotte per definire i processi morfologici attraverso i quali la laguna è passata dalla configurazione cinquecentesca a quella attuale, tra i molti interventi ipotizzabili ci si intende soffermare solo su alcuni di essi, ritenuti prioritari, riguardanti:

- la reintroduzione in laguna dall'esterno di sedimenti in quantità sufficiente per mitigare gli effetti dei processi di erosione in atto;
- l'inserimento di strutture morfologiche capaci di ridurre l'intensità del moto ondoso e di limitare i processi di risospensione dei sedimenti dai bassifondi;
- la neutralizzazione, per quanto possibile, degli effetti morfodinamici negativi dovuti alla presenza dei canali navigabili, in particolare del canale Malamocco-Marghera;
- la reintroduzione in laguna di maggiori portate fluviali, per favorire la formazione ai margini della laguna di zone di transizione tra acque dolci e acque salate, incrementando fra l'altro la produzione di suolo organico.

Guardando innanzitutto alla perdita netta di sedimenti stimata, tenuto conto delle previsioni sull'innalzamento del livello medio del mare nel prossimo secolo (Fig. 11.1), la reintroduzione controllata di materiale in laguna riveste caratteri di assoluta priorità.

Volendo anche solo mitigare i processi osservati, in quanto con ogni probabilità obiettivi più ambiziosi non sembrano perseguibili, le quantità di sedimenti richieste sono ragguardevoli. Basti segnalare che per

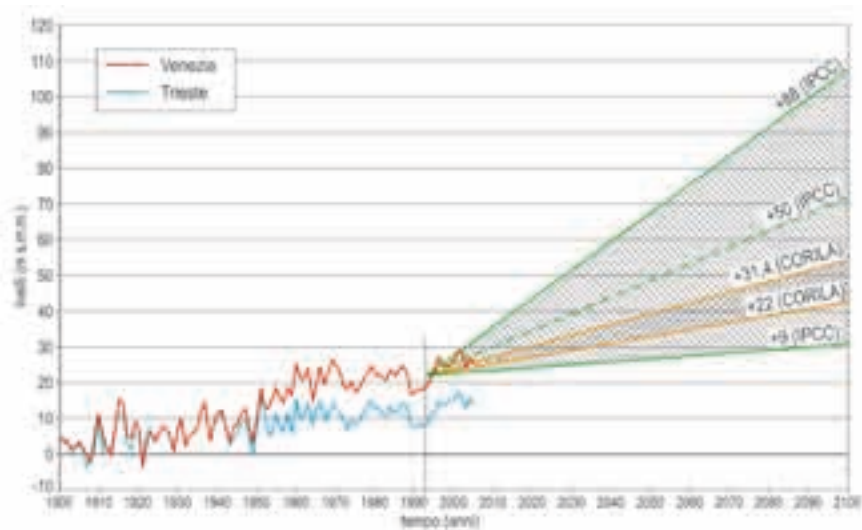


Fig. 11.1 - Innalzamento del livello medio relativo del mare nel corso del XXI secolo secondo le previsioni dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) del 2001 e del Co.Ri.La. Le variazioni nel tempo, assunte lineari nel corso del prossimo secolo, sono puramente indicative.

compensare gli effetti della sola sommersione si dovrebbe immettere ogni anno un volume di circa $1 \cdot 10^6$ m³ di sedimenti, mentre orientativamente un volume di circa $0.5 \cdot 10^6$ m³ sarebbe richiesto per fronteggiare le attuali perdite di materiale negli scambi laguna-mare. Si tratta di quantità di gran lunga superiori a quelle realisticamente reintroducibili, che evidenziano come l'immissione di sedimenti dall'esterno da sola non sia in grado di porre rimedio ai fenomeni erosivi osservati e debba necessariamente accompagnarsi ad altri interventi.

Restando per il momento alla reintroduzione di sedimenti, essa è realizzabile con modalità diverse.

Innanzitutto ritornando a condizioni simili a quelle del passato, ovvero riportando in laguna in misura più cospicua dell'attuale acque fluviali cariche di sedimenti, come da tempo si è suggerito (Dipartimento IMAGE 2005; D'Alpaos 2006). In alternativa, portando letteralmente in laguna con operazioni meccaniche sedimenti dragati dal mare antistante oppure asportati dagli invasi idroelettrici, nello specifico secondo le indicazioni del Magistrato alle Acque e del suo concessionario unico (Comitato di Indirizzo e di Controllo 2005) dal lago di S. Croce.

L'idea di riportare in laguna le portate di piena dei fiumi sembra più

che ragionevole e va nella direzione di sfruttare i meccanismi naturali che nel corso dei secoli hanno portato alla costruzione della laguna. L'intervento è fattibile dal punto di vista ingegneristico, nonostante la forte opposizione manifestata negli ambienti del Magistrato alle Acque e del Consorzio Venezia Nuova.

Se, infatti, riportare in laguna acque di piena del Piave sarebbe oggi quanto mai difficile per le modificazioni territoriali intervenute dopo le opere realizzate dalla Repubblica nel XVII secolo, una condizione più favorevole si presenta per il Brenta, che è oltretutto il fiume che più di ogni altro ha contribuito alla formazione della laguna media e inferiore.

Pensando al Brenta le soluzioni sono diverse, potendosi utilizzare come vettore delle torbide fluviali verso laguna il vecchio alveo del fiume fra Strà e Fusina (Naviglio Brenta), oppure ripristinare con maggiore avvedutezza di quanto non si fece temporaneamente (1840-1896) in attuazione del famoso Piano Fossombroni-Paleocapa lo sbocco a Conche del corso d'acqua.

Entrambe le soluzioni sono praticabili, pur con qualche problema. Considerate le portate da deviare verso la laguna, nella prima ipotesi si potrebbe sfruttare il sostegno di Strà per la regolazione delle portate. Sarebbe complesso, tuttavia, eliminare le conseguenze delle immediate interferenze dello sbocco a Fusina delle torbide fluviali con il canale Malamocco-Marghera. Nella seconda delle ipotesi prospettate, invece, non sarebbe semplice garantire al provvedimento il rispetto di quei criteri di «sperimentalità, gradualità e reversibilità», più volte richiamati, a meno di non realizzare un'importante opera di regolazione delle portate del Brenta nell'ultima parte del suo corso, a monte della confluenza con il Bacchiglione.

Sono queste le ragioni per cui si ritiene di gran lunga preferibile proporre come scolmatore delle piene del Brenta e vettore di sedimenti verso la laguna l'idrovia Padova-Venezia, una volta completata (D'Alpaos 2006).

L'idrovia, esistente nei suoi tratti iniziale e finale, ma non nella sua parte centrale (Fig. 11.2) dove dovrebbe peraltro essere solo scavata essendo già presenti tutti i viadotti di sovrappasso, utilizzerebbe una fascia di terreni a suo tempo destinata a tale scopo e tutt'ora integra e non compromessa dalla presenza di strutture di altro tipo. Vantaggi non meno importanti della soluzione sarebbero i caratteri multifunzionali dell'opera, che non riguardano pertanto la sola laguna di Venezia.

Non si vuole in questa sede entrare nel merito del valore trasportistico dell'idrovia. Questo aspetto dovrebbe essere però rivisto senza farsi condizionare da valutazioni del passato, che hanno negato qualsiasi si-

gnificato al completamento dell'opera, considerando le prospettive che attualmente essa offrirebbe, soprattutto se fosse adeguata alla V classe di navigazione propria dei battelli fluvio-marittimi.

Sempre con riferimento agli aspetti della navigazione interna, volendosi pronunciare sull'idrovia, si dovrebbe almeno prendere atto della realtà geografica del territorio, evitando affermazioni infondate che portano frettolosamente a liquidare l'opera come un'appendice fine a se stessa, senza collegamenti con il cosiddetto Sistema Idroviario Padano, che la Regione Veneto promuove da sempre, sia pure con risultati non ancora significativi.

È semmai vero il contrario. Giunti, infatti, in laguna di Venezia e rinunciando a uscire in mare per dirigersi con un battello fluvio-marittimo verso qualsiasi porto del Mediterraneo, ci si può portare a Chioggia e quindi sul Po di Levante, navigando per acque interne lungo il canale di Valle. Entrati così nel cuore del Sistema Idroviario Padano, dirigendo verso monte e navigando lungo il Fissero-Tartaro-Canalbianco si arriverebbe a Mantova. In alternativa, superata la conca di Volta Grimana ed entrati in Po, risalendo lungo il fiume si giungerebbe a Cremona. Tutto, quindi, sembra si possa dire dell'idrovia Padova-Venezia, tranne che essa non faccia a pieno titolo parte integrante di quel disegno, mai perseguito con decisione, che dovrebbe dar vita concreta al Sistema Idroviario Padano, facendo finalmente decollare un'iniziativa partita molti anni fa, ma rimasta sempre in condizioni embrionali.

Non è nemmeno il caso di soffermarsi sull'incontestabile valore ambientale che assumerebbe un corridoio acqueo, fiancheggiato da fasce di territorio adeguate, che collegasse direttamente Padova alla laguna di Venezia, in una saggia e avveduta politica di pianificazione volta alla effettiva riqualificazione della Riviera del Brenta nel suo complesso. Lacerata dai collegamenti stradali e ferroviari realizzati tra Venezia e Padova negli ultimi due secoli, la Riviera del Brenta non subirebbe per la presenza dell'idrovia un'ulteriore ferita, ma potrebbe finalmente ritrovare proprio nella presenza della via d'acqua quell'elemento di ricomposizione del proprio tessuto urbano e territoriale da molti auspicato.

Accanto a questi aspetti non secondari, per i problemi idraulici più strettamente pertinenti alla laguna e al territorio sul quale gli antichi veneziani sono intervenuti per salvarla dai fiumi, vi sono altre funzioni attribuibili all'idrovia, riguardanti rispettivamente la difesa idraulica e il riequilibrio morfologico della laguna stessa, che da sole potrebbero ampiamente giustificare il suo completamento.

Relativamente al primo punto, come è stato dimostrato (D'Alpaos 2006), la via d'acqua permetterebbe di ridurre in misura apprezzabile



Fig. 11.2 - Foto satellitare del territorio tra Padova e Venezia con evidenziato il tracciato dell'idrovia. Con linea tratteggiata la parte dell'idrovia che è ancora da scavare.

il rischio idraulico a Padova e in tutto il Piovese e ridurrebbe la perdita di flessibilità di manovra al nodo idraulico di Voltabarozzo, agevolando la gestione delle piene del Brenta-Bacchiglione, secondo le previsioni del progetto Gasparini (Gasparini 1923). Tale progetto indicava la possibilità di deviare lungo la direttrice canale di S. Gregorio-canale Piovego-Brenta, portate consistenti (realisticamente secondo stime attuali fino a $200 \text{ m}^3/\text{s}$) dei colmi di piena in arrivo a Padova dal Bacchiglione, a difesa della città e del basso corso del fiume verso Casalserugo e Bovolenta.

Gli obiettivi indicati sono perseguibili senza aggravare lo stato di piena della rete idraulica minore del territorio compreso tra il Naviglio del Brenta, a nord, il Novissimo, a est, e la cunetta del Brenta, a ovest, la cui sofferenza dal punto idraulico si è accresciuta dopo gli interventi attuati a difesa della laguna dagli interrimenti, ma non solo.

Con riferimento al secondo punto, ovvero alla capacità potenziale dell'idrovia di convogliare sedimenti verso la laguna e di contribuire a riequilibrare, sia pure parzialmente, gli effetti dei processi erosivi in atto, la questione è confortata dai risultati di alcune indagini preliminari condotte nel caso di una piena del Brenta simile a quella del novembre

1966. L'ipotesi del calcolo è quella di scolmare sul passaggio del colmo di piena almeno $350 \text{ m}^3/\text{s}$ per un periodo di circa 25 ore, supponendo che contemporaneamente sia in atto una manovra di regolazione alle bocche di porto per difendere Venezia dalle «acque alte».

Assumendo per i sedimenti presenti inizialmente sul fondo dell'idrovia una composizione granulometrica con un diametro rappresentativo di $200 \mu\text{m}$, la corrente si porta rapidamente in condizioni di equilibrio per la concentrazione del materiale trasportato, immettendo in laguna una portata solida complessiva che si mantiene a lungo su valori superiori a $0.5 \div 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sulla base dell'esperimento numerico, i sedimenti introdotti si depositano sui fondali dell'area retrostante le casse di colmata della III Zona Industriale, interessando estese superfici in prossimità della conterminazione, ma coinvolgendo anche specchi d'acqua più lontani situati in prossimità del canale Malamocco-Marghera (Fig. 11.3). Al termine della manovra considerata, i maggiori depositi si verificano ovviamente a ridosso dello sbocco in laguna dell'idrovia, dove gli spessori del materiale sedimentato superano la quindicina di cm.

Sempre secondo la simulazione numerica, la quantità complessiva di materiale introdotto sarebbe di circa $50\text{-}60 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, verosimilmente stimata in difetto perché a tale volume si dovrebbe aggiungere nella realtà quantomeno il contributo del cosiddetto «wash load», che dipende dalle modalità con cui si sviluppa il trasporto solido del Brenta all'altezza di Vigonovo (vedi Fig. 11.2), dove l'idrovia incrocia a raso il fiume e potrebbero nel concreto essere derivate le portate da scolmare verso la laguna.

Ai volumi indicati si dovrebbe aggiungere anche la maggiore produzione di suolo organico, che si verificherebbe nel caso di apporti continui o molto frequenti di consistenti portate di acqua dolce.

Il volume di sedimenti calcolato non si modifica sostanzialmente se, considerando ancora per i sedimenti un comportamento tipico dei materiali incoerenti, si suppone il trasporto di un materiale con diametro caratteristico minore, al limite di passaggio tra le sabbie finissime e i materiali influenzati nel loro comportamento dalla coesione ($60 \mu\text{m}$).

La sovrapposizione, in tempi successivi all'introduzione, degli effetti del moto ondoso modifica la distribuzione sul fondo del materiale depositato. Con un vento di Bora non particolarmente sostenuto (10 m/s), e quindi abbastanza frequente, che spira per 48 ore consecutive sovrapponendosi agli effetti indotti dalla marea (marea di riferimento: ampiezza 1.00 m , livello massimo 0.80 m sullo zero IGM e laguna in diretta comunicazione con il mare), si determina una qualche ridistri-

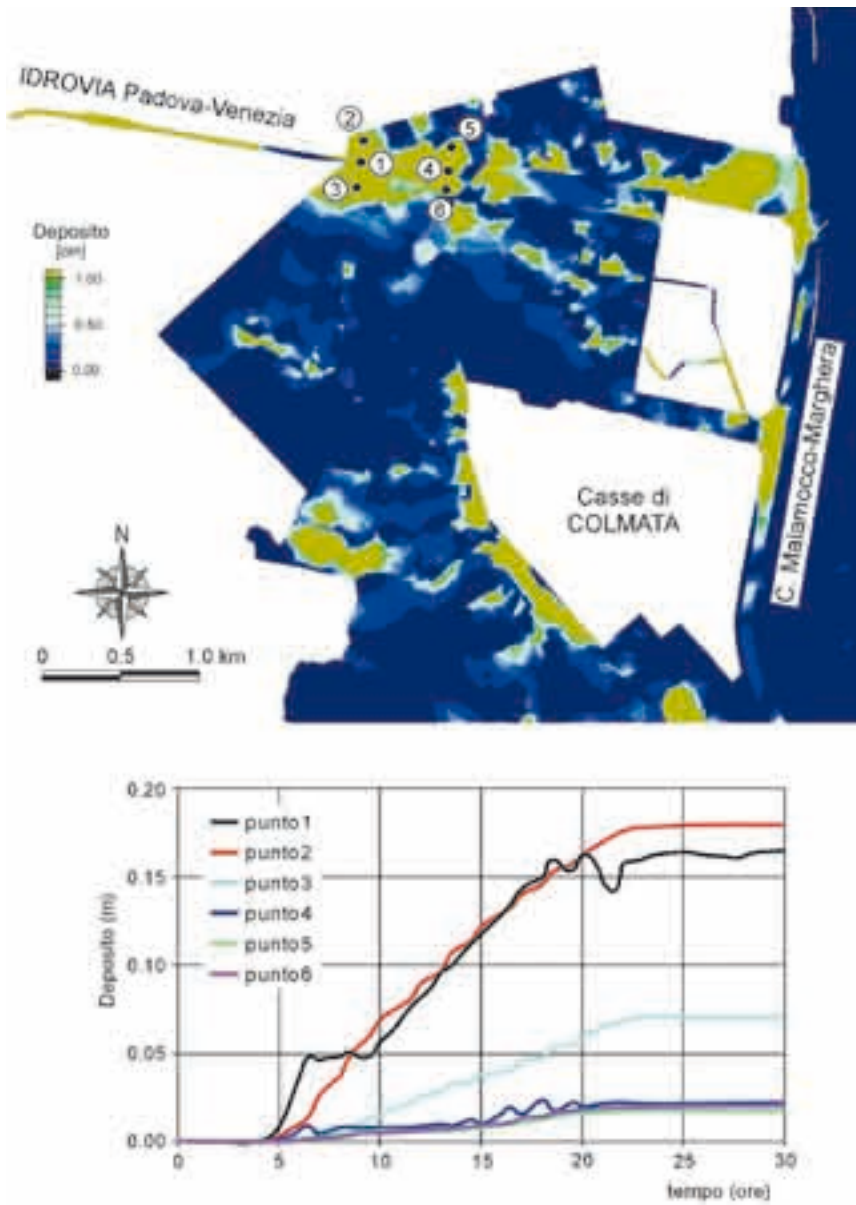


Fig. 11.3 - Deposito del materiale sul fondo della laguna conseguente a una deviazione attraverso l'idrovia di $350 \text{ m}^3/\text{s}$ per un periodo di circa 25 ore nel corso di una piena del Brenta simile a quella del novembre 1966.

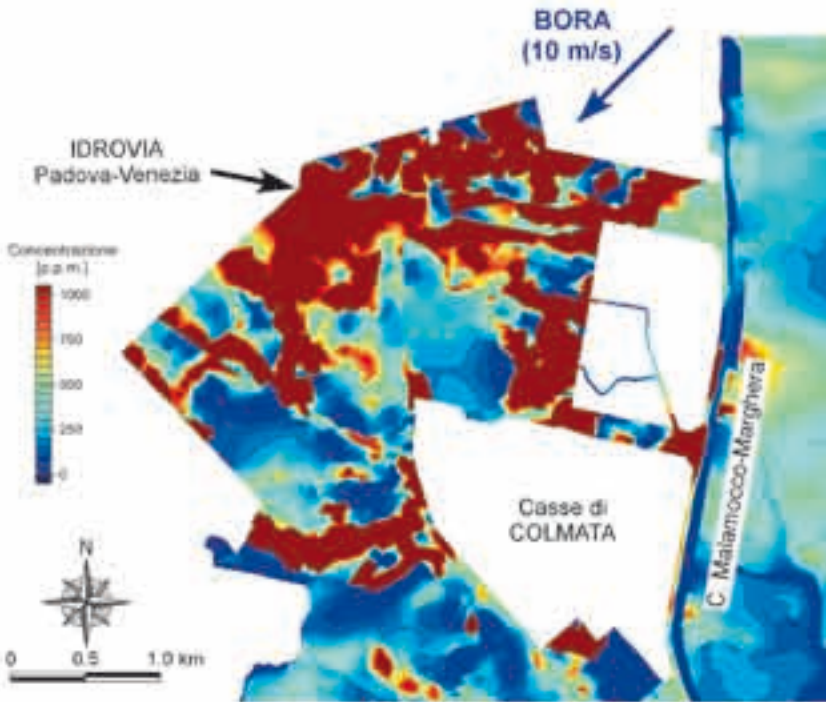


Fig. 11.4 - Rimaneggiamento a opera del moto ondoso generato dal vento del materiale depositato nelle zone retrostanti le casse di colmata a seguito di una deviazione in laguna di portate di piena del Brenta cariche di sedimenti. Lo stato iniziale dei depositi è quello rappresentato in Fig. 11.3.

buzione spaziale del materiale sedimentato, che non rimane più prevalentemente confinato nei bassifondi prossimi allo sbocco dell'idrovia in laguna (Fig. 11.4).

Nelle ipotesi assunte, nel caso si operi con una ripetuta reintroduzione di sedimenti, è più che probabile la necessità di dover intervenire meccanicamente per distribuire il materiale che si deposita anche in altre zone della laguna, come ad esempio nella laguna centrale, che è la più colpita dall'erosione. Si tratta di aree sottratte al naturale apporto dei sedimenti introdotti, poiché il canale Malamocco-Marghera costituisce di fatto una trappola idraulica del materiale risospeso che tende a superarlo.

Considerato che l'idrovia incrocia a raso il Novissimo, una maggiore ridistribuzione dei sedimenti all'interno della laguna si potrebbe otte-

nere, avviando, quando è possibile, una frazione delle portate distolte dal Brenta lungo questo canale, per introdurre poi in laguna attraverso i canali della rete della bonifica che lo sottopassano, oppure al suo sbocco terminale di Valli di Chioggia.

Qualora si intendesse percorrere questa soluzione è comunque da evidenziare che le portate introducibili in laguna operando nel modo indicato sono fortemente condizionate da una parte dall'attuale capacità di portata del Novissimo, inferiore al centinaio di m^3/s , dall'altra dal fatto che l'operazione non è fattibile quando il territorio che scola nel Taglio di Mirano e nel Novissimo stesso fosse a sua volta in piena. In tali condizioni, infatti, il canale è a mala pena in grado di assolvere questa sola funzione e non può essere ulteriormente sovraccaricato.

Comunque sia i volumi di sedimenti risultanti dalle valutazioni espresse non sono insignificanti. Ipotizzando mediamente in un anno di attuare almeno 3-4 interventi di deviazione verso la laguna di acque del Brenta in condizioni di morbida e/o di piena non pronunciata, con portate e volumi distolti dal fiume dello stesso ordine di quelli considerati, si può stimare di introdurre in laguna fino a $200 \div 250 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Valori non molto diversi si otterrebbero se si pensasse di intervenire con maggiore continuità per tutto il tempo in cui si superasse a Vigonovo una portata di soglia pari a un centinaio di m^3/s . In ogni caso si disporrebbe di un volume di sedimenti di un qualche rilievo, se si considera che orientativamente l'attuale perdita netta di materiale fine negli scambi laguna-mare è stimata in $\sim 500 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

Nella prospettiva di intraprendere effettivamente un'azione di salvaguardia della laguna nella direzione indicata, l'argomento dovrebbe essere ovviamente approfondito, analizzando in particolare quali siano le condizioni idrologiche tipiche del Brenta a Vigonovo, dove l'idrovia deriverebbe le acque del fiume, incrociandolo.

In tal senso, partendo da un'analisi stocastica delle precipitazioni nel bacino del Brenta, sarebbe quanto mai interessante ricostruire sinteticamente con un modello matematico idrologico i deflussi delle morbide e delle piene del fiume a Vigonovo per un periodo plurisecolare, in modo da valutare al meglio gli interventi attuabili per alimentare di sedimenti la laguna con le modalità descritte.

L'ipotesi di riportare acque di piena e di morbida del Brenta in laguna possiede senza ombra di dubbio i caratteri di «sperimentalità, gradualità e reversibilità» imposti dalla Legge Speciale su Venezia per gli interventi a salvaguardia della laguna. La portata deviabile dal Brenta è, infatti, pienamente regolabile, mentre gli effetti sul sistema lagunare possono essere valutati in una fase sperimentale preliminare, accuratamente osservata sul campo. Dal provvedimento, inoltre, è pos-

sibile recedere in qualsiasi momento, riportando la laguna alle condizioni preesistenti.

Da ultimo l'uso dell'idrovia come scolmatore delle piene del Brenta a difesa di Padova e del suo territorio dalle alluvioni non sarebbe in contrasto con le finalità del progetto della difesa di Venezia dalle «acque alte».

Sempre facendo riferimento alla piena del novembre 1966 e alla corrispondente marea si è dimostrato, ferme restando le altre condizioni, che attuando la manovra di deviazione in laguna delle acque del Brenta quando le barriere mobili fossero operative, i livelli massimi a Punta della Salute si incrementerebbero di soli 5 cm, con effetti facilmente neutralizzabili (Dipartimento IMAGE 2005). Basterebbe infatti anticipare leggermente nel tempo la manovra delle barriere per annullare questo piccolo problema. Oppure, per non turbare il sonno degli addetti alla difesa dalle «acque alte» della laguna, adottare l'opzione zero, ovvero rinunciare alla deviazione di acque del Brenta in laguna, nei casi in cui le barriere mobili alle bocche di porto fossero sollevate.

Pur di fronte ai molti aspetti positivi evidenziati, l'idea di procedere nella direzione indicata incontra forti opposizioni da parte del Magistrato alle Acque e del suo concessionario unico, che ritengono il provvedimento non sostenibile in sé, indicando soluzioni alternative che sarebbero maggiormente compatibili con la salvaguardia e la tutela dell'ambiente lagunare, quali l'utilizzazione di sedimenti provenienti da serbatoi alpini soggetti a interrimento o il prelievo di sedimenti marini, recuperati da antiche spiagge fossili di fronte alla laguna.

Le stesse considerazioni con cui si tenta di far accantonare la proposta di riportare acque del Brenta in laguna offrono, tuttavia, non pochi spunti per ribadire le buone ragioni e la validità della proposta. Anche per questo esse meritano una qualche riflessione, sia che si guardi all'impostazione metodologica delle indagini condotte sia che si entri nel merito dei risultati acquisiti (Thetis 2006).

Per quanto riguarda la qualità delle acque e dei sedimenti del Brenta va subito evidenziato che le osservazioni condotte a tal fine hanno interessato valori di portata non significativi rispetto a quelli che si sarebbero dovuti esaminare. Le indagini hanno riguardato quasi esclusivamente portate di magra del fiume⁹⁹ e non, come sarebbe stato auspi-

⁹⁹ A fronte di portate di piena probabili stimate a Bassano di poco più di circa 400 m³/s per la piena ordinaria (frequenza grossomodo annuale), di 1150 m³/s per l'evento decennale, il campo delle portate esplorate va da poco più di 50 m³/s a circa 150 m³/s con una sola misura caratterizzata da portate superiori ai 400 m³/s.

cabile, condizioni di deflusso sostenuto, le sole per le quali la deviazione delle acque dovrebbe applicarsi. Risulterebbero, in particolare, dalle misure effettuate concentrazioni di alcuni inquinanti non compatibili, quantomeno sulla base della normativa vigente, come quelle riguardanti l'azoto disciolto (valori osservati di 2 mg/l oltre i limiti accettabili).

La giusta attenzione con cui si guarda alla tutela delle acque lagunari è ovviamente un fatto positivo. Essa però non dovrebbe essere applicata o disapplicata a seconda delle circostanze. In tal senso l'occasione poteva essere propizia per un confronto con la qualità di altri scarichi che sono attualmente recapitati in laguna. Ci si sarebbe accorti che le concentrazioni di nutrienti rilevate nelle acque del Brenta non sono affatto superiori a quelle riscontrabili in alcuni corsi d'acqua della laguna superiore. Nel caso del Dese, uno dei fiumi maggiormente studiati per questi aspetti, allo sbocco in laguna la concentrazione di base dei soli nitrati rimane superiore ai 5-10 mg/l, anche nei momenti di magra (Botter *et al.* 2006; Rinaldo *et al.* 2006).

Eguale non compatibili con la normativa sarebbero i risultati delle analisi condotte sui sedimenti, per i contenuti di alcuni metalli pesanti, come il cromo, che sono oltre i limiti fissati, pur risultando la loro concentrazione decrescente con gli incrementi di portata, ovvero con le situazioni in cui avverrebbe la deviazione di acque del Brenta verso la laguna. In realtà nel caso dei metalli pesanti sarebbe stato opportuno distinguere fra le concentrazioni totali presenti nei sedimenti e quelle effettivamente mobilitabili, essendo queste ultime le sole da considerare, volendo giudicare dell'ammissibilità della reintroduzione di acque e di materiale solido provenienti dal fiume.

Per i sedimenti colpisce ancor di più la drastica conclusione sulle quantità giudicate disponibili in Brenta. Sulla base di una estrapolazione dei dati osservati, il fiume, che ha contribuito nei secoli alla costruzione della laguna media e inferiore, non sarebbe attualmente più in grado di convogliare portate e volumi solidi di un qualche rilievo, a causa dei serbatoi presenti nel bacino montano, delle sistemazioni idrauliche intervenute sulle aste e sui versanti dei suoi confluenti e della forestazione, provvedimenti che nel loro insieme avrebbero concorso ad abbattere il trasporto solido¹⁰⁰.

¹⁰⁰ I processi che alimentano il trasporto solido di un corso d'acqua presentano caratteri fortemente discontinui. Le aste torrentizie e fluviali sono alimentate in modo parossistico durante gli eventi di piena straordinaria, quando si presentano condizioni favorevoli alla destabilizzazione dei versanti delle valli minori e imponenti quantità di materiale tendono a intasare gli alvei. In queste condizioni sono inevitabilmente distrutte molte opere di sistema-

È curiosa poi al riguardo l'idea per cui un'ulteriore sottrazione di sedimenti dal Brenta si rifletterebbe negativamente sulla stabilità delle spiagge alla sua foce. Conclusione che, senza entrare nel merito del problema, porta a un amaro commento: proteggere la spiaggia del Bacucco¹⁰¹ sarebbe obiettivo stringente e irrinunciabile, a fronte del quale, una volta di più, non c'è salvaguardia lagunare che tenga!

Gli argomenti sui quali ci si è soffermati sono, non c'è dubbio, delicati e meriterebbero un più ampio spazio di analisi e di confronto. Parrebbe comunque che questioni cruciali per il futuro della laguna, prima di essere tanto frettolosamente liquidate, meritino indagini di ben altro spessore rispetto a quelle espletate. Tanto più se si considera che l'eventuale deviazione in laguna delle acque del Brenta attraverso l'idrovia, per un ristoro della morfologia lagunare, ha davanti a sé azioni proiettate in un arco temporale non di qualche anno, ma di molti, molti decenni, per non dire secoli.

In prospettiva, sarebbe doveroso che chi ha il controllo del sistema lagunare, se davvero ha riscontrato nel Brenta condizioni di inquinamento tanto severe, si attivasse per non subire più la situazione in essere e per colpire chi inquina con provvedimenti concreti, come si è già auspicato con riferimento ad analoghi problemi di inquinamento della laguna superiore.

Prima di lasciare l'argomento della reintroduzione di sedimenti in laguna, per completezza di informazione, è utile soffermarsi brevemente sulle alternative indicate dal Magistrato alle Acque per fronteggiare i fenomeni erosivi all'interno del bacino lagunare.

La prima ipotesi caldeggiata riguarda l'utilizzazione di sedimenti prelevati dal lago di S. Croce, provenienti prevalentemente dal disfacimento dei versanti delle valli dell'Alpago, fenomeno che in alcune

zione, che non sono in grado di controllare in nessun modo il fenomeno. Le piene minori e le morbide che si succedono alle grandi piene riprendono il materiale depositato dagli eventi estremi e lo trascinano progressivamente verso valle. Pertanto le sole opere che possono ridurre il trasporto solido di un corso d'acqua in occasione degli eventi estremi sono i serbatoi, che lasciano passare a valle solo il materiale che giunge ai loro scarichi, che costituisce una parte minima del trasporto solido in arrivo da monte. Fatta eccezione per il torrente Cismon, i cui deflussi sono regolati da alcuni serbatoi, superfici ancora importanti del bacino del Brenta non sono controllate nello stesso modo e sono perciò in grado di alimentare il fiume con apporti solidi cospicui, soprattutto con riferimento alle frazioni granulometriche di minor diametro, che sono in definitiva quelle che maggiormente interessano in una eventuale deviazione di acque verso la laguna.

¹⁰¹ La spiaggia del Bacucco si trova sul litorale a ridosso della foce del Brenta in destra idrografica.

zone è impressionante per il numero e l'importanza delle frane presenti. Mancando qualsiasi collegamento idraulico diretto o indiretto del lago con la laguna, questi sedimenti dovrebbero pertanto esservi trasferiti su gomma o su ferrovia¹⁰². Superfluo segnalare che nello specifico si tratta di sedimenti che mai sono pervenuti alla laguna di Venezia, nemmeno durante le catastrofiche piene del Piave¹⁰³ ricordate parlando dell'allontanamento della foce del fiume dalla sua posizione naturale di Jesolo.

Per dei puristi dell'ambiente, come a volte si scoprono i controllori del sistema lagunare, questi sedimenti dovrebbero pertanto essere guardati come un «fattore inquinante» in sé, non tollerabile, per la loro assoluta estraneità rispetto all'ambiente della laguna.

In realtà, volendo affondare il ragionamento, i sedimenti prelevabili dal lago di S. Croce non sembrano utilizzabili per motivi molto più seri e concreti. Essi risultano davvero inquinati¹⁰⁴, a causa soprattutto della presenza di metalli pesanti introdotti attraverso il canale Cellina, che vi recapita da molti decenni ormai le acque provenienti dagli scarichi delle occhialerie del Centro Cadore. Per il lago di S. Croce, la presenza del cromo nei sedimenti supererebbe a sua volta i limiti di legge. Circostanza questa che da sola li dovrebbe rendere inutilizzabili per un qualsiasi uso riguardante la laguna di Venezia, quantomeno per le stesse considerazioni che portano a negare la possibilità di introdurre sedimenti del Brenta. A meno che non si preferisca andare più «leggeri», affermando, per distrarre il lettore, che i sedimenti del lago di S. Croce sarebbero in *Classe A* per la normativa vigente, e quindi ottimi all'uso, salvo la disgraziata presenza di cromo oltre i limiti di legge. Ma se così è, si può affermare che i sedimenti in questione sono in *Classe A*? A meno di non

¹⁰² Di questo provvedimento si parla in un documento del Magistrato alle Acque (Comitato di Indirizzo e Controllo 2005) nel quale si prospettano anche le quantità di sedimenti prelevabili e i costi dell'operazione.

¹⁰³ Il lago di S. Croce si è venuto a formare circa 10000 anni fa, sul finire della glaciazione würmiana, quando la grande frana di Fadalto sbarrò il corso del Piave e il fiume fu costretto ad aprirsi un nuovo percorso attraverso la Val Belluna, incidendo la stretta di Ponte nelle Alpi e unendo le sue acque a quelle del Cordevole, per arrivare al mare, dopo l'uscita dal suo bacino montano, lungo tracciati incisi nell'alta pianura trevigiana. Dopo quell'evento geologico, nessun apporto significativo di sedimenti provenienti dalla conca dell'Alpago è quindi giunto al nuovo corso del Piave. Lentamente nel tempo questi sedimenti, accumulandosi, hanno costruito gli attuali fondali del lago di S. Croce e l'adiacente Piana di Paludi, formando la realtà geografica che oggi si osserva percorrendo la strada di Alemagna in direzione di Ponte nelle Alpi.

¹⁰⁴ Nel recente passato ripetutamente è stata vietata la balneazione nel lago di S. Croce proprio a causa della presenza di sostanze inquinanti, come è stato dimostrato da indagini specifiche condotte a cura della Provincia di Belluno.

ritenere che il cromo presente nei sedimenti del lago di S. Croce sia un fattore ininfluenza o comunque non sufficiente per bocciare l'idea. Sconcerta senza dubbio la doppia misura: ottimo il cromo del lago di S. Croce, quasi un ricostituente per l'ambiente, pessimo il cromo del Brenta, assolutamente inquinante diversamente da quello.

La seconda ipotesi prospettata dal Magistrato alle Acque per introdurre sedimenti in laguna, alternativa a sua volta alla reintroduzione di acque fluviali del Brenta, riguarda la possibilità di utilizzare a tal fine sabbie prelevate da antichi depositi nel mare antistante i litorali, con l'obiettivo di ricostituire barene artificiali all'interno della laguna.

Al di là delle modalità che si intendono perseguire nella realizzazione di queste forme, per le quali valgono le osservazioni già esposte, è inevitabile una riflessione su di un aspetto dell'intervento che non è di secondaria importanza.

Le barene naturali, come risulta dagli accertamenti condotti sulle caratteristiche granulometriche dei materiali che le compongono (Cola e Simonini 2002), sono formate da materiali molto fini con un diametro medio di $20 \div 30 \mu\text{m}$, ben diversi dalle sabbie.

Partendo da queste premesse, non si vuole negare la possibilità di usare le sabbie delle spiagge antiche per il ripristino morfologico della laguna, ma solo evidenziare che, sempre per i puristi a corrente alternata dell'ambiente, un loro eventuale impiego è ancora in sé un «fattore inquinante» della realtà lagunare. Per questi motivi l'eventuale uso di sabbie nella costituzione di barene artificiali è da dosare con cautela, soprattutto pensando ai più volte richiamati rapporti dinamici esistenti tra le barene naturali e i bassifondi lagunari, che dovrebbero essere rispettati in un ragionevole e condivisibile piano di riassetto morfologico della laguna, il più rispettoso possibile dei processi naturali che per lunghi secoli ne hanno controllato l'evoluzione.

Le forti divergenze sulle modalità di operare per attuare un provvedimento che nelle attuali condizioni della laguna non è più procrastinabile, si possono superare solamente attraverso un confronto aperto, nel quale i pregiudizi devono lasciare spazio ai risultati della ricerca, la sola in grado di guidare un percorso che sarà comunque lungo e complesso. Sarebbe auspicabile, almeno con riferimento a questi argomenti, che interessi particolari e ansia del fare a ogni costo, fossero relegati nella loro giusta posizione, riportando finalmente al centro delle preoccupazioni di tutti la laguna.

Se mai si imbrocherà questa strada, coloro che saranno destinati a percorrerla, operando le relative scelte, dovranno essere consapevoli che il provvedimento di reintrodurre sedimenti in laguna non si esaurirà

in qualche azione isolata nel tempo, ma dovrà necessariamente protrarsi con continuità, se perdureranno le attuali condizioni per le forzanti esterne.

Le quantità di sedimenti reintroducibili in laguna, anche divertendovi portate consistenti del Brenta, non sono in ogni caso da sole sufficienti per tentare di riequilibrare l'attuale situazione morfologica. Il provvedimento, pertanto, deve essere accompagnato da altri interventi. Innanzitutto quelli rivolti a ridurre l'intensità dei fenomeni di risospensione dei sedimenti a opera del moto ondoso, che è la causa principale che alimenta i processi erosivi a danno dei bassifondi lagunari.

Poiché, come si è visto, la capacità erosiva del moto ondoso dipende dall'altezza d'onda, nel caso delle onde generate dal vento, non potendosi contare nel breve termine su di una riduzione dei fondali, l'unica strada percorribile per tentare di contenere il fenomeno è quella di limitare il fetch, interrompendo la continuità dell'azione del vento stesso sugli specchi d'acqua su cui ora spira liberamente.

Nel caso specifico, essendo la laguna media e inferiore a soffrire maggiormente del problema, soprattutto sotto l'azione dei venti di Bora, ci si deve giocoforza orientare, almeno in una fase iniziale, verso l'inserimento nella laguna viva di forme che emergano rispetto al livello medio del mare e siano capaci di ridurre le altezze d'onda, in virtù della loro particolare disposizione.

Si tratta di strutture morfologiche che non sono mai esistite in questa parte della laguna e che, solo per questo, potrebbero destare l'opposizione dei cultori di una tutela mal intesa dell'ambiente lagunare. Sarebbe auspicabile che costoro, giudicando frettolosamente improponibile l'intervento al di là della sua potenziale efficacia, sapessero soffocare i loro sentimenti, dando spazio al ragionamento e a una sperimentazione ben condotta e controllata, in grado di far luce sulle complesse interazioni di morfodinamica lagunare prodotte dall'inserimento di tali strutture.

In attesa di poter sperimentare sul campo l'efficacia o meno della proposta, è interessante esaminare quanto emerge da un esperimento numerico di inquadramento del problema (Miazzi 2007).

I risultati ottenuti sono piuttosto suggestivi per gli effetti positivi sul bilancio di sedimenti che si conseguono grazie all'inserimento, sia a nord sia a sud della bocca di Malamocco, di alcune strutture morfologiche artificiali, che si elevano fino a 50 cm sul livello medio del mare (Fig. 11.5). La quota indicata per tali strutture è una «quota efficace», che considera per gli aspetti idrodinamici gli effetti della vegetazione normalmente presente su di esse. Quanto alla collocazione planimetrica scelta, essa è stata individuata dopo alcuni tentativi di inquadramento

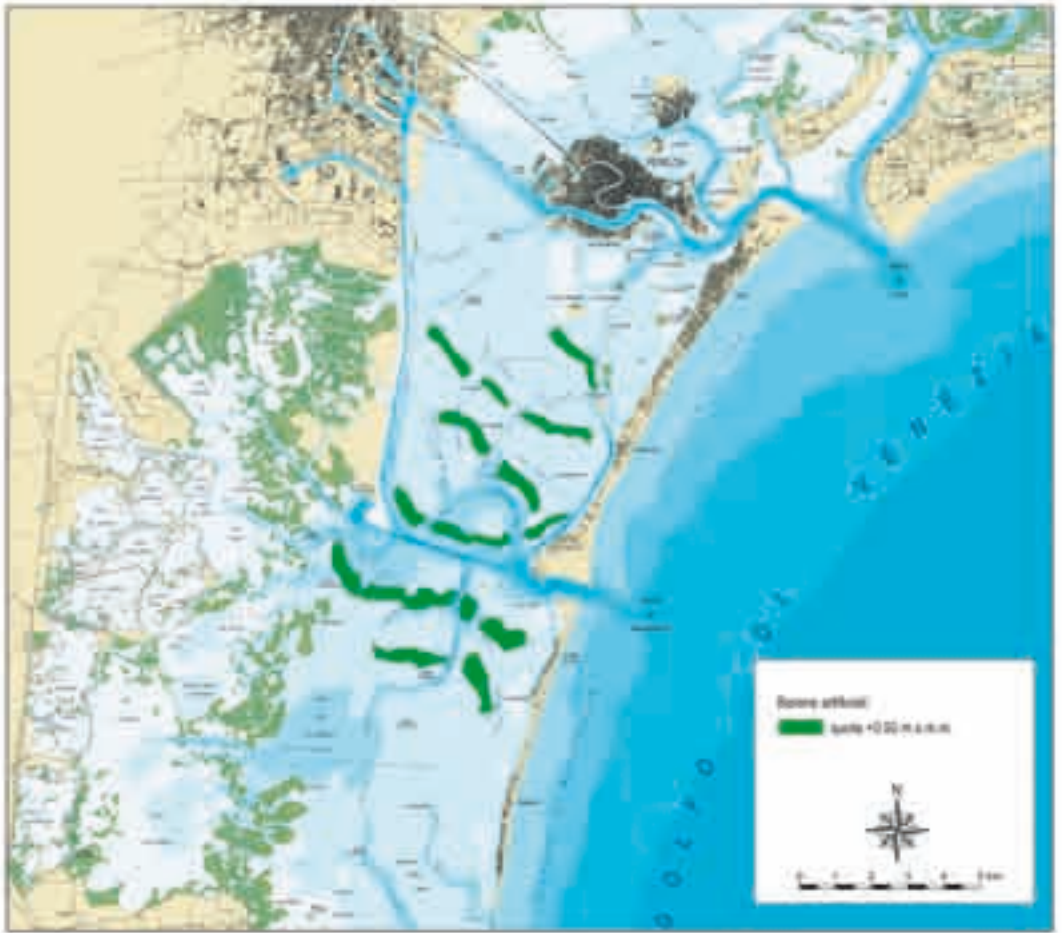


Fig. 11.5 - Strutture artificiali introdotte nella laguna centrale per ridurre l'intensità del moto ondoso e la sua capacità di risospendere i sedimenti dai bassifondi.

del problema, in modo da limitare le interferenze con i canali minori che incidono i bassifondi circostanti.

Gli effetti indotti sul moto ondoso e sul trasporto solido sono stati indagati innanzitutto forzando il sistema con una marea sinusoidale di periodo pari a 12 ore e ampiezza di 1 m, oscillante intorno al livello medio del mare, con un vento di Bora costante che spirava con una velocità di 15 m/s.

Per quanto riguarda la composizione granulometrica dei sedimenti presenti sul fondo, si è fatto riferimento a una miscela bimodale costituita da materiale fine ($20\ \mu\text{m}$) a comportamento coesivo e da sabbie ($200\ \mu\text{m}$) con una percentuale variabile da punto a punto secondo la distribuzione spaziale della già citata Fig. 10.6.

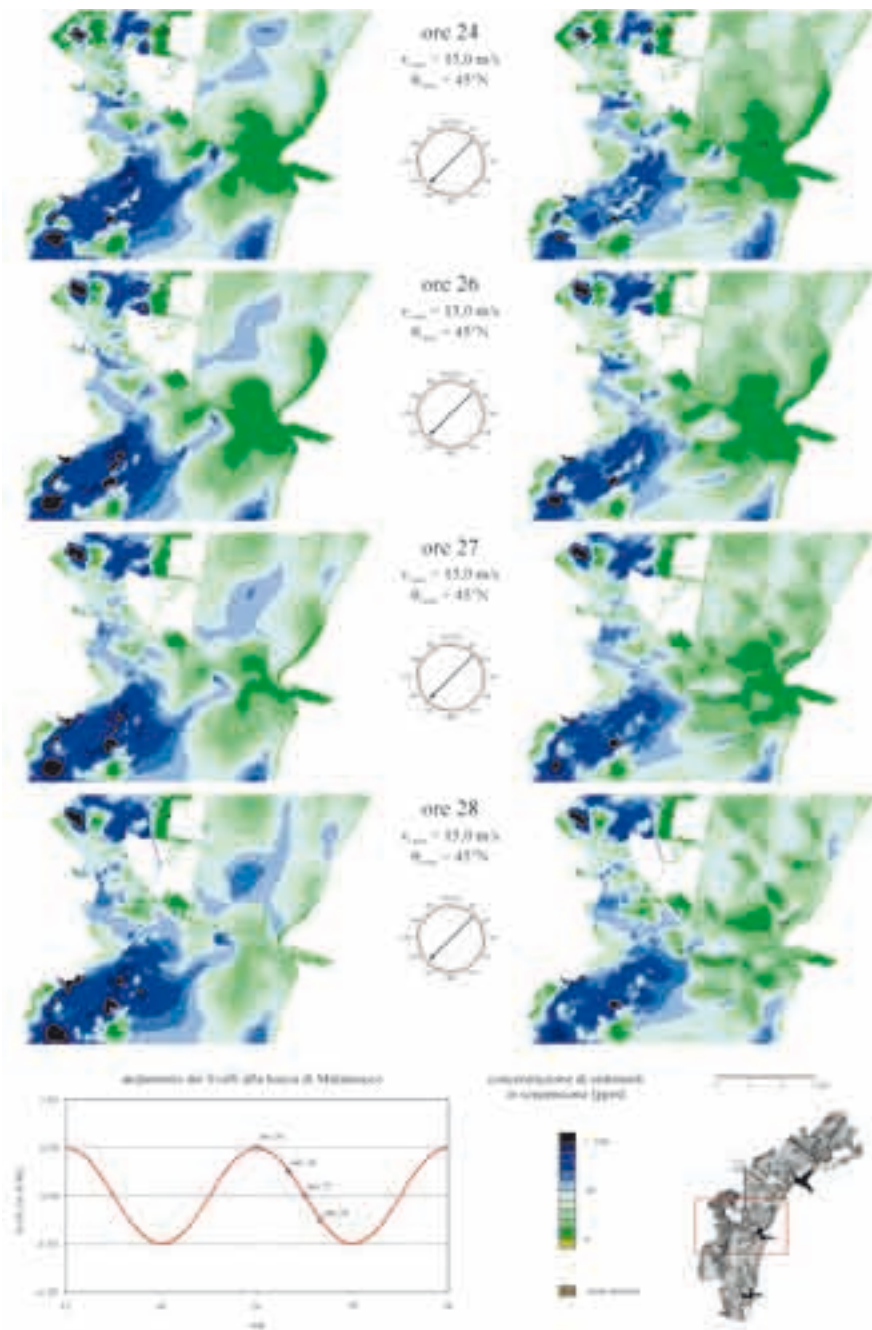


Fig. 11.6 - Distribuzione istantanea della concentrazione di sedimenti risospesi nella laguna centrale nella fase di marea discendente. Confronto tra la situazione attuale (a sinistra) e quella derivante dall'inserimento di barene artificiali per ridurre l'intensità del moto ondoso (a destra).

Nonostante le variazioni della batimetria che l'inserimento delle strutture artificiali comporta, non si riscontrano effetti apprezzabili sull'idrodinamica della bocca di Malamocco. Le differenze percentuali in diminuzione delle portate massime scambiate con il mare non sono superiori al 6% rispetto alla situazione attuale.

Differenze più significative emergono per la distribuzione spaziale della concentrazione di sedimenti in sospensione, se si confronta la situazione attuale con quella conseguente alla realizzazione delle nuove strutture morfologiche (Fig. 11.6).

Per la configurazione modificata si segnala una evidente diminuzione della concentrazione dei sedimenti risospesi. L'effetto si può cogliere in tutta la sua importanza nella parte di laguna posta a nord della bocca di Malamocco, particolarmente durante la fase di riflusso. Ne conseguono importanti riduzioni della portata solida espulsa in mare attraverso la bocca. Con le forzanti esterne ipotizzate, la portata solida massima allontanata in mare è di poco inferiore al 50% rispetto alla condizione attuale. Il risultato non è di poco conto.

L'efficacia potenziale del provvedimento è confermata dai risultati di una simulazione numerica condotta sull'evento di marea del 15 febbraio 2003, in presenza di venti di Bora sostenuti.

Le strutture artificiali inserite modificano apprezzabilmente il campo d'onde generato rispetto alla condizione attuale, come risulta dal confronto delle altezze d'onda calcolate in alcuni istanti successivi (Fig. 11.8 e Fig. 11.9). L'attenuazione del moto ondoso si estende grossomodo su di una fascia posta sottovento rispetto alle strutture artificiali, la cui potenza varia fra 1000÷2000 m circa, riflettendosi sulla distribuzione istantanea della concentrazione dei sedimenti trascinati in sospensione (Fig. 11.10 e Fig. 11.11).

Restano sostanzialmente confermate le conclusioni già tratte, a riprova del fatto che gli elementi morfologici artificiali di cui si è ipotizzato l'inserimento sono dispositivi efficaci per la diminuzione della portata solida uscente dalla bocca di Malamocco, sulla quale l'indagine è incentrata. Le maggiori concentrazioni di sedimenti risospesi (a parità di caratteristiche dei campi di vento, nel caso specifico venti di Bora che spirano con velocità comprese tra i 10 m/s e i 15 m/s), si verificano per i livelli di marea più bassi. Significativo al riguardo è il secondo ciclo di marea dell'evento esaminato, quando i livelli scendono al di sotto di 0.50 m s.m.m., dando luogo alle più elevate concentrazioni di materiale risospeso.

In termini percentuali per l'evento del 15 febbraio 2003, le strutture artificiali inserite attenuano le portate solide in fase di riflusso di circa il 30% rispetto alla situazione attuale (Fig. 11.12). Quanto al fatto che

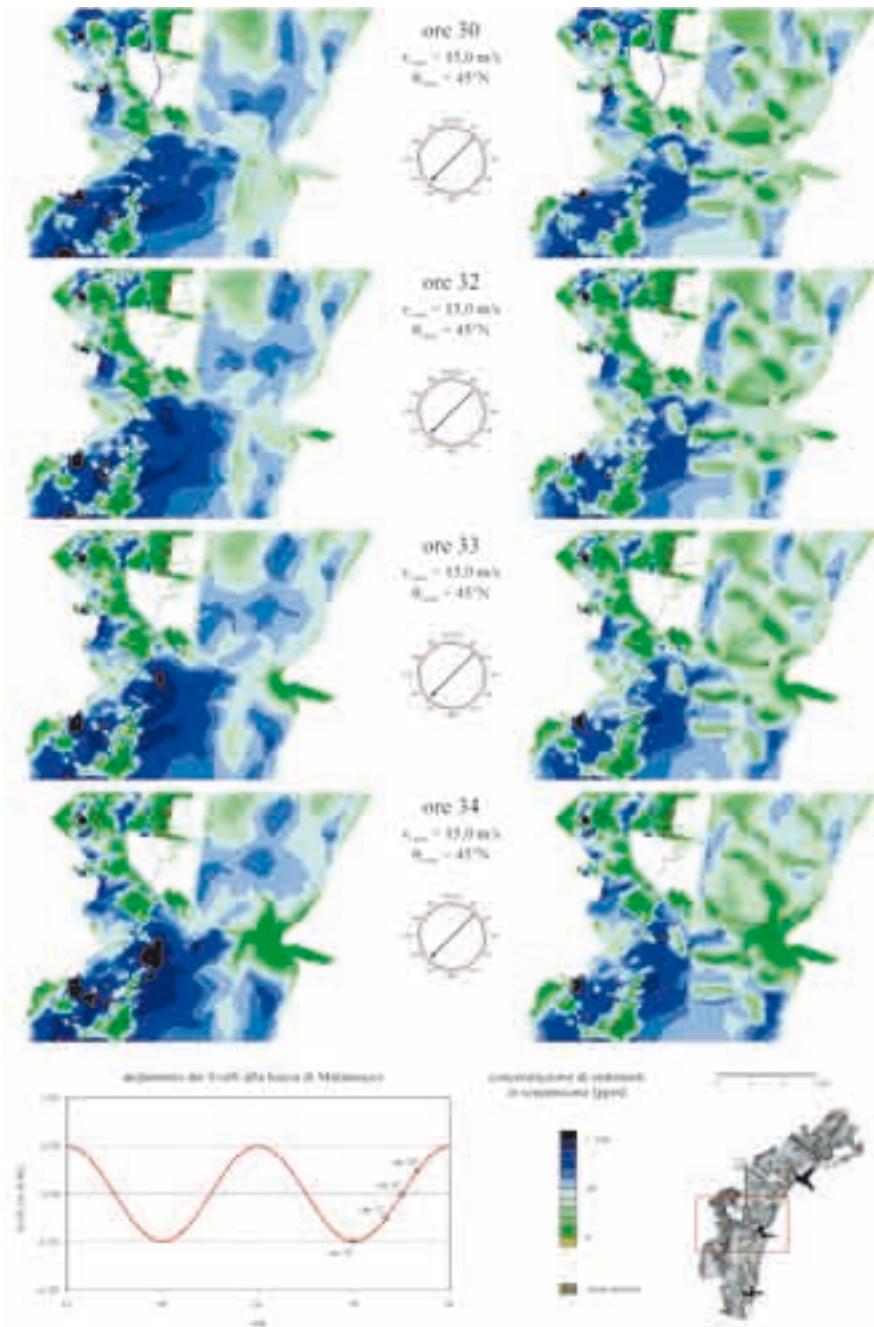


Fig. 11.7 - Distribuzione istantanea della concentrazione di sedimenti risospesi nella laguna centrale nella fase di marea ascendente. Confronto tra la situazione attuale (a sinistra) e quella derivante dall'inserimento di barene artificiali per ridurre l'intensità del moto ondoso (a destra).

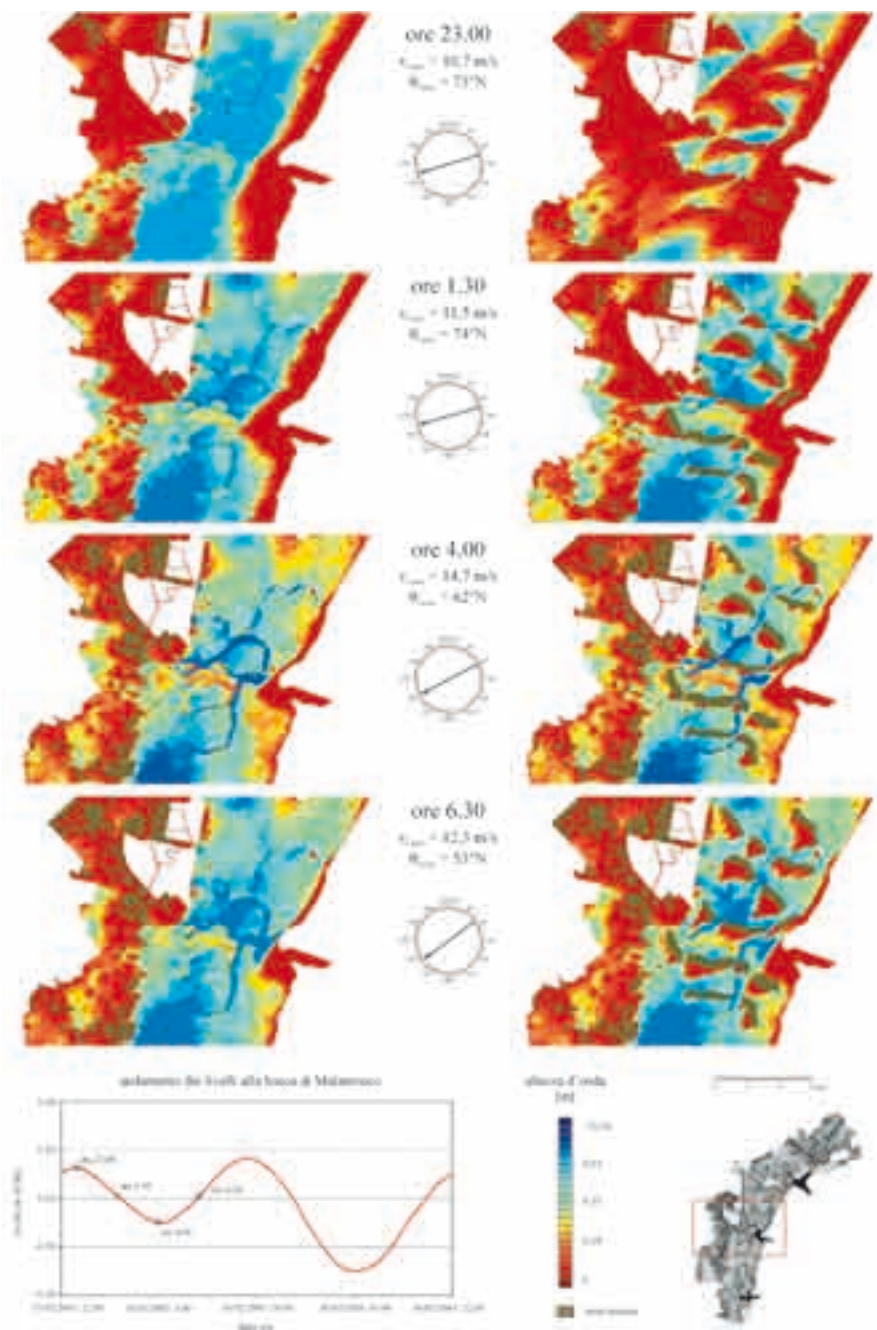


Fig. 11.8 - Campo d'onde generato dal vento durante il primo ciclo della marea del 15-02-2003. Confronto tra la situazione attuale (a sinistra) e la situazione derivante dall'inserimento di barene artificiali per ridurre l'intensità del fenomeno (a destra).

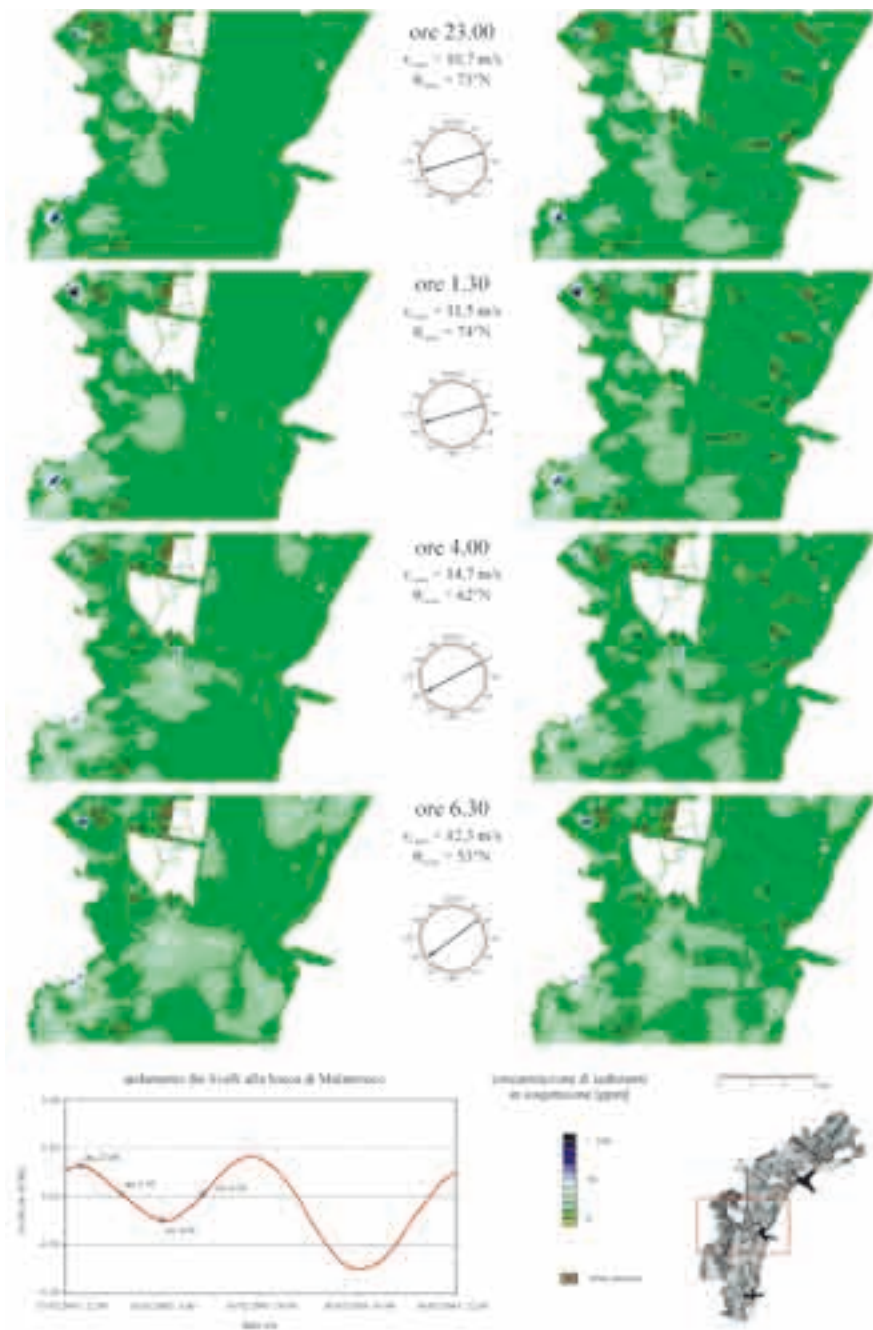


Fig. 11.10 - Marea del 15-02-2003. Distribuzione istantanea della concentrazione di sedimenti risospesi nella laguna centrale durante la prima fase di marea. Confronto tra la situazione attuale (a sinistra) e quella derivante dall'inserimento di barene artificiali per ridurre l'intensità del moto ondoso (a destra).

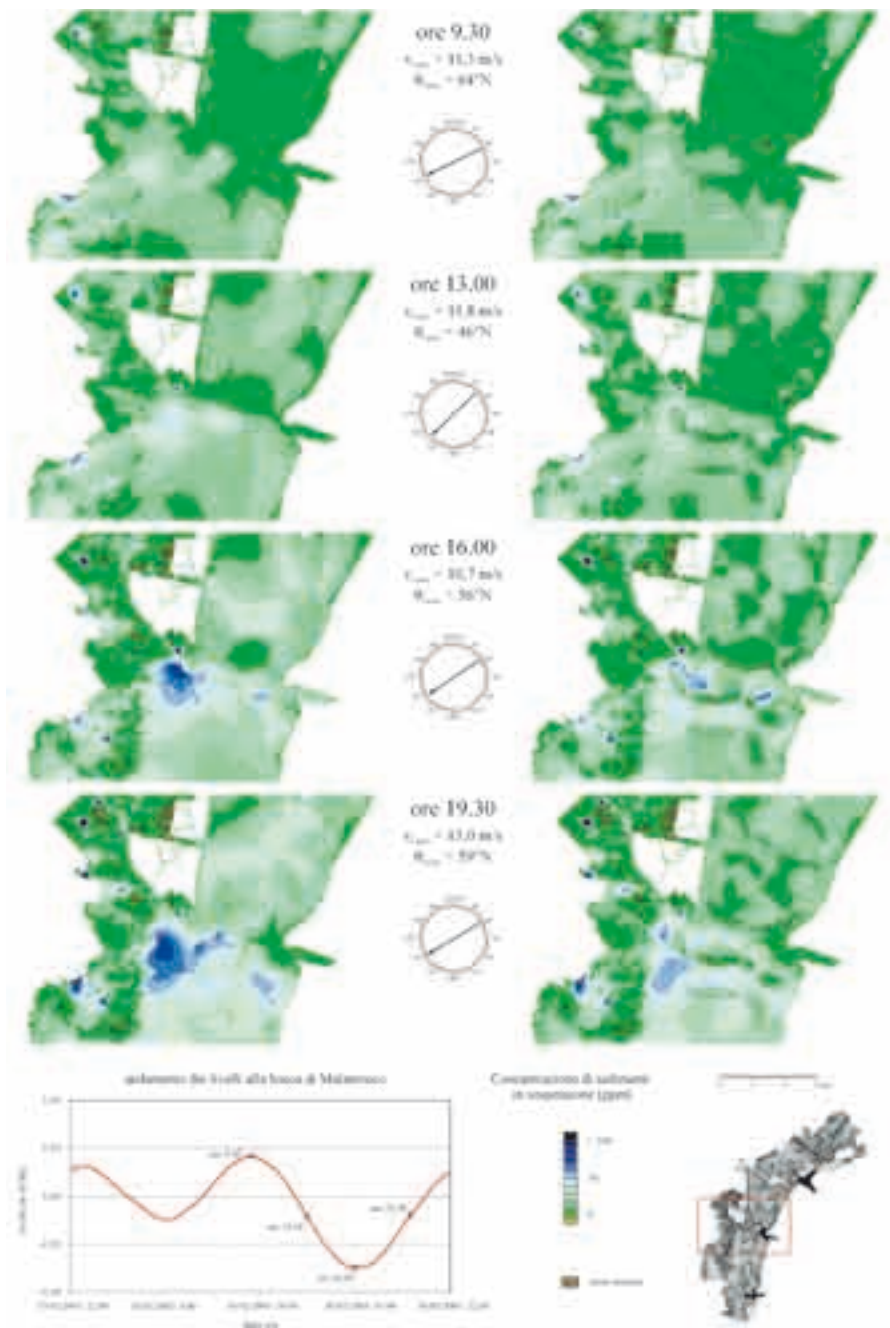


Fig. 11.11 - Marea del 15-02-2003. Distribuzione istantanea della concentrazione di sedimenti risospesi nella laguna centrale durante la seconda fase di marea. Confronto tra la situazione attuale (a sinistra) e quella derivante dall'inserimento di barene artificiali per ridurre l'intensità del moto ondoso (a destra).

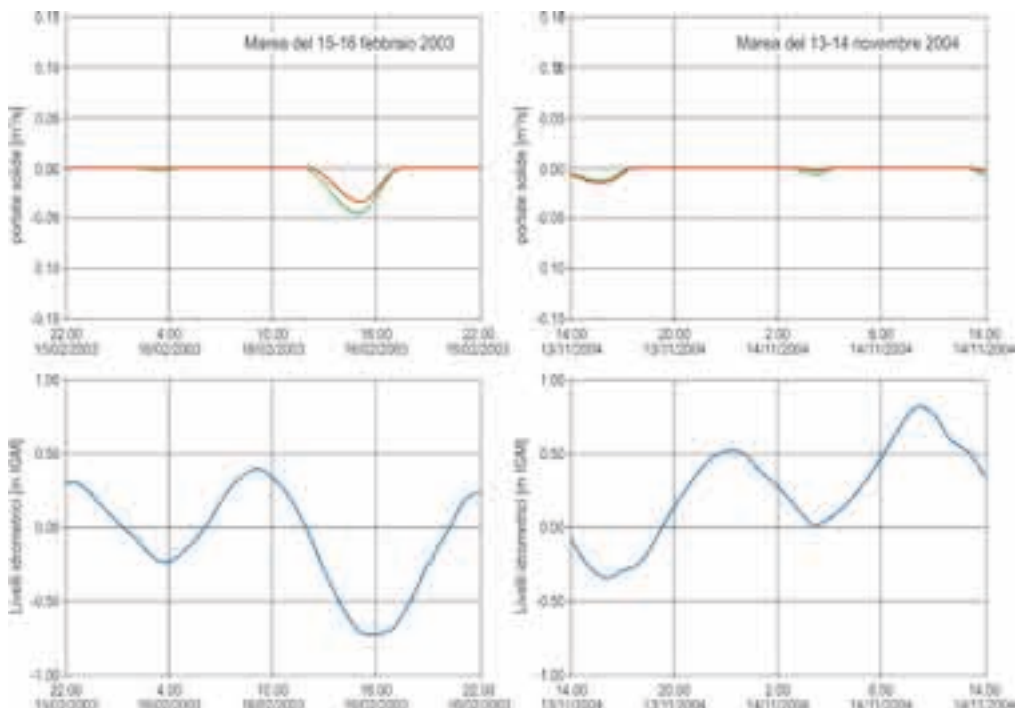


Fig. 11.12 - Portate solide espulse attraverso la bocca di Malamocco per due diversi eventi di marea. Confronto tra la situazione attuale (linea verde) e quella conseguente all'inserimento di barene artificiali per ridurre l'intensità del moto ondoso (linea rossa).

durante il primo ciclo di marea la portata solida uscente è alquanto contenuta, la causa è da ricercare nella ridotta ampiezza discendente del primo ciclo di marea, durante il quale i livelli diminuiscono di appena 0.50 m. In queste condizioni con ogni probabilità i sedimenti risospesi non riescono a essere trasportati verso la bocca dalle correnti di marea ed è facilitata la loro rideposizione sul fondo.

Pur nei limiti dell'analisi, sicuramente bisognevole di maggiori approfondimenti e di una estensione delle simulazioni numeriche a una casistica più significativa, è dimostrato che l'inserimento di strutture morfologiche opportunamente disposte e dimensionate può costituire un provvedimento efficace per contenere la perdita netta di sedimenti verso il mare, che la laguna di Venezia nel suo insieme patisce ormai da molti anni, ma con particolare intensità da quando le bocche sono state armate con moli.

Si comprendono, alla luce di questi risultati, anche gli effetti positivi che si sarebbero potuti conseguire con una riduzione delle portate scambiate attraverso le bocche mediante l'inserimento di resistenze localizzate.

Essendo il fenomeno della risospensione dei sedimenti strettamente dipendente dal solo moto ondoso, che governa di fatto la distribuzione della concentrazione del materiale sospeso all'interno della laguna, minori portate fluenti attraverso le bocche avrebbero comportato minori volumi di materiale dispersi in mare. Il che conferma una volta di più l'assurdità della scelta di operare alle bocche mantenendo sui valori attuali, che sono del tutto anormali, i volumi d'acqua scambiati con il mare.

Restando ancora alle cause che favoriscono la risospensione dei sedimenti dai bassifondi, non vanno sottaciuti da ultimo né gli effetti negativi della navigazione, capace a sua volta di generare onde di consistente altezza quando si caratterizzi per velocità eccessive, né le conseguenze disastrose dell'esercizio della pesca dei molluschi, con tecniche assolutamente incompatibili con la salvaguardia dei fondali. I fenomeni connessi non richiedono opere di sorta per essere neutralizzati, ma un atteggiamento da parte degli organi di controllo meno fumoso e finalmente più consapevole della realtà lagunare, rispetto al permissivismo che purtroppo si osserva da molti anni a questa parte, nonostante le norme vigenti.

Relativamente al moto ondoso generato dai natanti in navigazione è lodevole ricercare, come si è fatto, carene più performanti rispetto a quelle delle imbarcazioni in uso. Se non si vuole, tuttavia, affondare in un comportamento dilatorio e demagogico, giustificato dall'attesa di soluzioni strabilianti e, in quanto tali, assai improbabili, nessuno impedisce a nessuno di far rispettare tassativamente i limiti di velocità in vigore, che esperienze di campo condotte alcuni anni fa (D'Alpaos e Liberatore 1993) e più recenti indagini di laboratorio (Dipartimento IMAGE 2004) hanno giudicato più che adeguati. Tanto più un atteggiamento di attesa è incomprensibile, se si considera che le risultanze sperimentali confermano per le carene di molte tra le imbarcazioni in uso nella navigazione lagunare comportamenti più che accettabili, se le velocità di spostamento sono rispettose dei limiti stabiliti.

Le conseguenze negative dell'esercizio della pesca dei molluschi all'interno della laguna condotta con le attuali tecniche non si superano, invece, se non si accetta l'idea che il piano di riassetto morfologico della laguna deve essere necessariamente sovrastrutturato rispetto a qualsiasi altro piano, se l'obiettivo è la salvaguardia del sistema lagunare.

Per quanti si riconoscono su questa posizione, non è ammissibile che, parlando di riassetto morfologico, si pretenda che siano comunque rispettati i vincoli imposti da piani già adottati (quello della pesca, quello del porto, quello della navigazione e così via). È difficile non rimanere sconcertati di fronte a una tale posizione, che sembra voler

perpetuare comportamenti che hanno favorito, in un passato nemmeno molto lontano, il degrado della laguna e la perdita di molte delle sue tipiche forme.

La verità inconfessabile, purtroppo, è che non pochi, senza avere il coraggio di manifestare apertamente i loro obiettivi, con una buona dose di ipocrisia e di cinismo puntano nei fatti alla definitiva scomparsa di quanto ancora resta degli originali valori ambientali della laguna. Ed è molto probabile, se non si farà definitiva chiarezza su quale piano debba condizionare gli altri, che alla fine ci resti solo il ricordo di una laguna che fu.

Accanto a quelli illustrati, egualmente indifferibili sono da considerare gli interventi rivolti alla neutralizzazione degli effetti idrodinamici e morfodinamici più direttamente riconducibili alla presenza dei grandi canali navigabili interni.

Il principale imputato in questo campo è senza dubbio il canale Malamocco-Marghera, il cui inserimento ha avuto, come si è dimostrato, esiti negativi sulla circolazione di tutta la parte centrale della laguna e sulla stabilità dei suoi bassifondi. Conseguenze di minor rilievo, ma pur sempre da considerare, sono attribuibili al canale Vittorio Emanuele, che, non più riescavato negli ultimi anni, se non nel suo ultimo tratto all'interno della Zona Industriale di Marghera, si va oltretutto interrando nel tratto iniziale vicino alla Marittima.

Partendo dall'ipotesi di mantenere all'interno della laguna le due vie d'acqua, nel caso del canale Vittorio Emanuele gli interventi potrebbero consistere nell'affiancare il canale stesso con strutture naturali in elevazione rispetto ai bassifondi esistenti, portate fino a quote di poco superiori al medio mare (almeno 30÷40 cm sul medio mare Genova 1942), a una distanza dalla sponda di una cinquantina di metri. In tal modo si otterrebbe di isolare idrodinamicamente la via d'acqua rispetto ai bassifondi circostanti durante le normali maree, fatta eccezione per la fase di passaggio dei colmi.

Per evitare la risospensione dei sedimenti nelle parti comprese tra le barriere in questione, le sponde del canale e i bassifondi laterali dovrebbero, tuttavia, essere protetti contro l'erosione indotta sia dalle onde generate dalla navigazione sia dalle correnti prodotte dal dislocamento di importanti volumi d'acqua da parte delle carene immerse.

Più articolati, anche se fondamentalmente dello stesso tipo, sono gli interventi ipotizzabili per tentare di neutralizzare dal punto di vista idrodinamico il canale Malamocco-Marghera (Fig. 11.13), tenuto conto della sua innaturale disposizione planimetrica e delle sue molteplici interferenze con i canali naturali, alcuni di grande importanza.

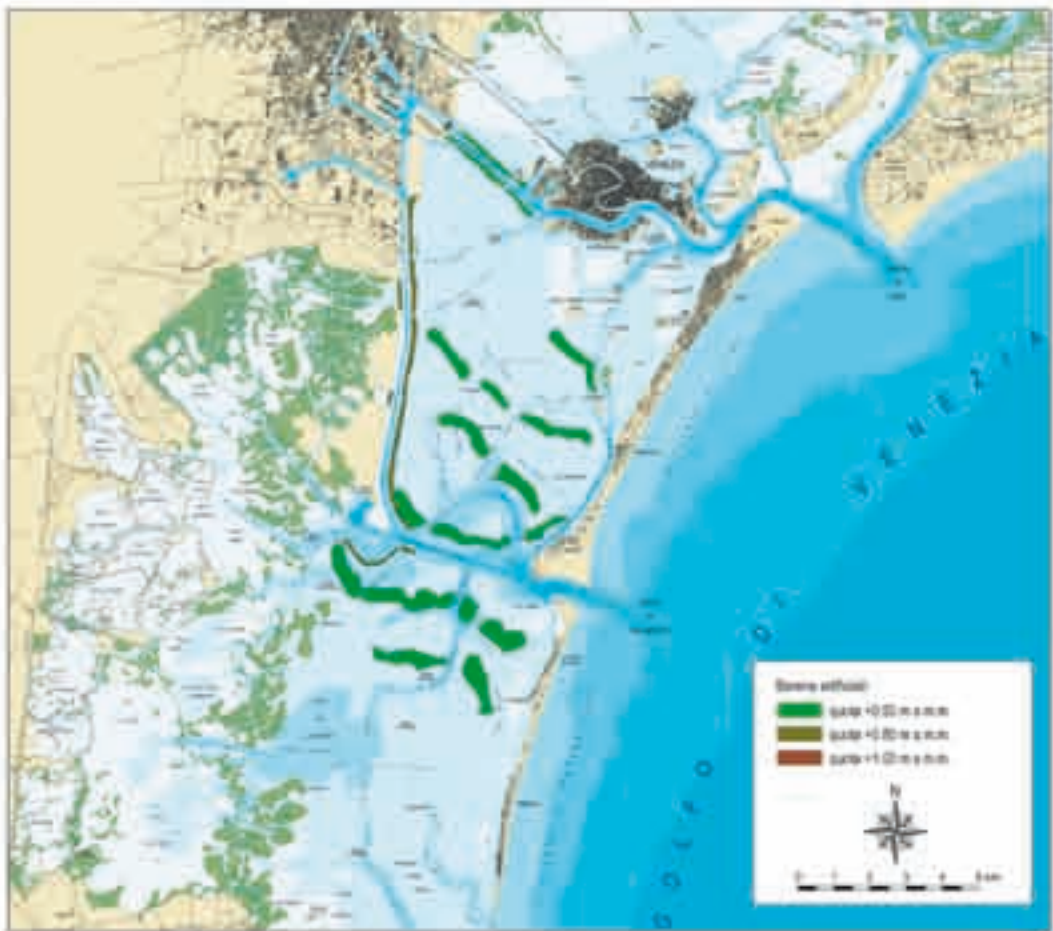


Fig. 11.13 - Inserimento nella laguna centrale di strutture artificiali finalizzate alla neutralizzazione idrodinamica dei canali navigabili Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele.

Nella parte del tracciato che va dalla grande curva di Porto S. Leonardo a Porto Marghera è opportuno prevedere di separare il canale dalla laguna, inserendo a una certa distanza (una cinquantina di m) fasce di terreno con quote sommergibili solo in occasione delle più alte maree (livelli di almeno 80 cm s. m. Genova 1942), interrompendole in qualche posizione con varchi poco profondi, da rendere inerodibili.

Per ridurre l'estensione degli specchi d'acqua dominati dal canale, inoltre, è conveniente neutralizzare le sue comunicazioni con i laghi lagunari retrostanti le casse di colmata, favorendo la loro alimentazione attraverso il canale Tagliata Nuova. Quanto al tratto di canale che va dalla bocca di Malamocco a Porto S. Leonardo potrebbero bastare,

sempre in prima ipotesi, le strutture morfologiche introdotte per limitare i processi di risospensione dei sedimenti.

Relativamente alle grandezze fondamentali, il confronto fra la situazione attuale e quella così modificata evidenzia innanzitutto una riduzione delle portate della bocca di Malamocco. Per la marea di riferimento considerata, a seguito degli interventi indicati le portate al colmo subirebbero una diminuzione di circa il 13%.

Se si considera la porzione di bacino compresa tra la direttrice del canale Malamocco-Marghera e la direttrice per il centro storico sono modificate, in alcuni casi in aumento, in altri in diminuzione, le portate che fluiscono lungo i canali che si distaccano dalle due direttrici in questione (Fig. 11.14 e Fig. 11.15).

Nelle ipotesi assunte, particolarmente significative risultano le variazioni di portata che interessano il canale Tagliata Nuova, al quale sarebbe affidata l'alimentazione delle ampie superfici retrostanti le casse di colmata, con effetti morfodinamici da considerare con attenzione al fine di non pregiudicare la morfologia di questa parte della laguna.

Gli andamenti delle portate fluenti attraverso due differenti sezioni che si appoggiano da una parte al litorale degli Alberoni e alle casse di colmata della III Zona Industriale (Fig. 11.16), dall'altra al litorale del Lido e ancora alle aree della III Zona Industriale di Marghera (Fig. 11.17), indicano un leggero incremento delle superfici della laguna centrale alimentate dalla bocca di Lido.

Nonostante il provvedimento sia di un certo impatto, l'assetto da una parte dei gradienti istantanei di livello (Fig. 11.18), dall'altra dei campi di velocità (Fig. 11.19), indica senza incertezze che lo stato attuale dei fondali in tutta la laguna centrale condiziona pesantemente il regime delle correnti di marea, che risente appena gli effetti delle strutture di confinamento proposte per il canale navigabile. Si deve purtroppo prendere atto che il canale Malamocco-Marghera ha prodotto ormai effetti morfologici irreversibili, non mitigabili sul breve periodo con provvedimenti ingegneristicamente fattibili, a meno di non entrare nell'ordine di idee di riportare le quote dei fondali di questa parte della laguna a valori confrontabili con quelli esistenti prima dello scavo della via d'acqua.

La drammatica (per la laguna) condizione che emerge dalle analisi condotte sui danni morfologici prodotti dall'inserimento del canale Malamocco-Marghera non sembra, tuttavia, bastare, se già si pensa a futuri sviluppi delle attività portuali come quelli brevemente ricordati proprio per il canale navigabile. Evidentemente al peggio non si può porre limite alcuno. Per concretizzare questi obiettivi si pensa di far

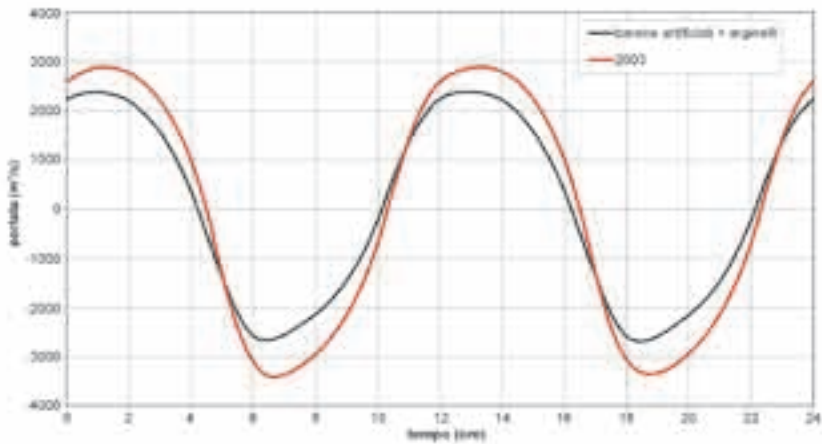


Fig. 11.14 - Andamento delle portate fluenti attraverso una sezione che taglia tutto il bacino di Malamocco tra il litorale degli Alberoni e le casse di colmata della III Zona Industriale all'altezza della curva di Porto S. Leonardo.

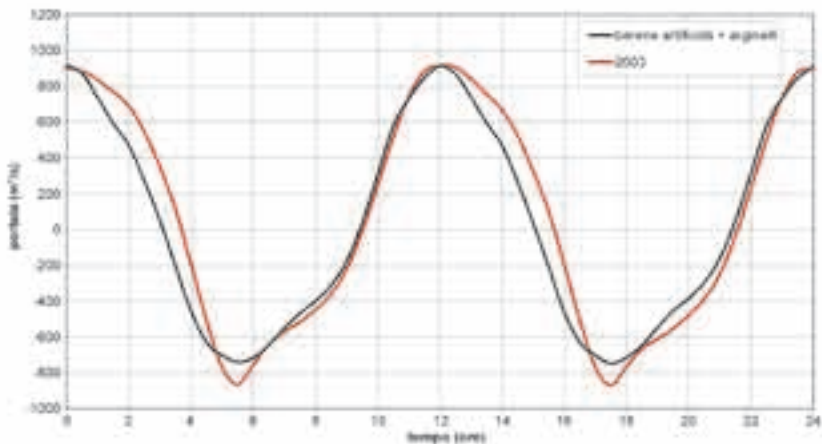


Fig. 11.15 - Andamento delle portate fluenti attraverso una sezione che taglia tutto il bacino di Lido tra il litorale e le aree della Zona Industriale di Porto Marghera.

entrare in laguna navi di sempre maggiore stazza e, secondo alcune voci, di espandere le aree a servizio al porto, magari penetrando nelle zone retrostanti le casse di colmata, scavando un nuovo tratto di canale che parte da Porto S. Leonardo.

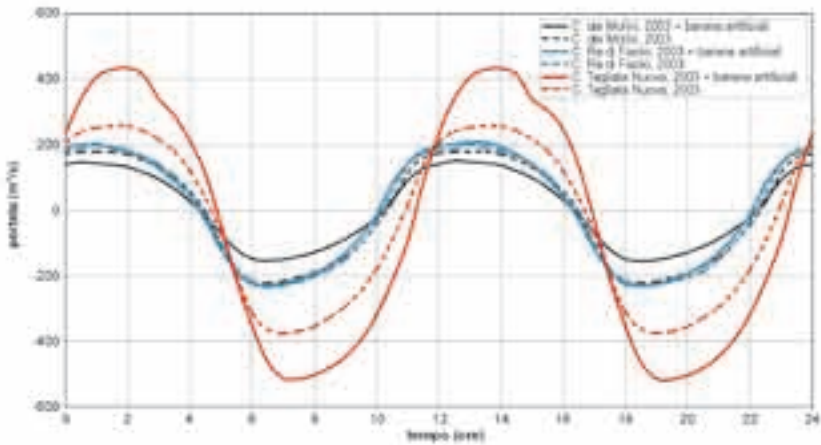


Fig. 11.16 - Variazione delle portate fluenti lungo alcuni canali che alimentano la laguna centrale a seguito dell'inserimento di alcune strutture artificiali finalizzate alla neutralizzazione idrodinamica dei canali navigabili Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele.

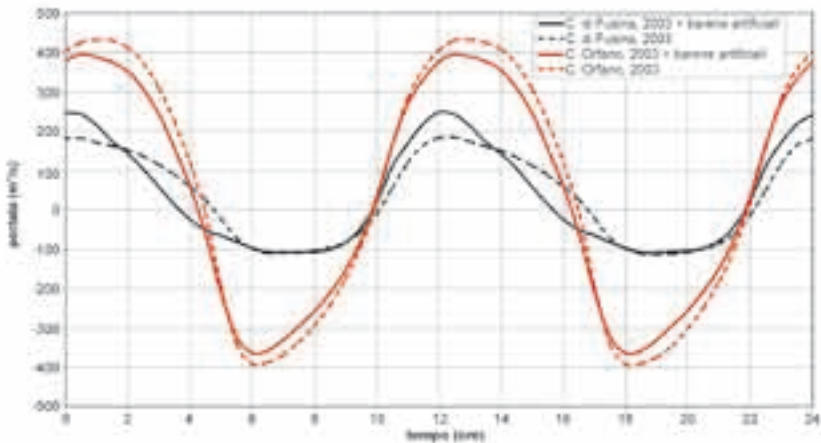


Fig. 11.17 - Variazione delle portate fluenti lungo alcuni canali che alimentano la laguna centrale a seguito dell'inserimento di alcune strutture artificiali finalizzate alla neutralizzazione idrodinamica dei canali navigabili Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele.

I provvedimenti fin qui indagati per analizzare se sia o meno possibile neutralizzare dal punto di vista idrodinamico e morfodinamico la presenza dei grandi canali navigabili scavati nel Novecento partono dall'idea di mantenere all'interno della laguna le due vie d'acqua. Essi sono



Fig. 11.18 - Effetti sulla distribuzione istantanea delle linee di egual livello di marea conseguenti all'inserimento di alcune strutture artificiali (a destra) finalizzate alla neutralizzazione idrodinamica dei canali navigabili Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele. A sinistra lo stato attuale.

quindi un compromesso volto a contemperare esigenze di tipo socio-economico e ambientale, non facilmente conciliabili quando addirittura non siano in contrapposizione.

I risultati ottenuti evidenziano i limiti di un tale approccio ed è fuor di dubbio che quella del compromesso sempre e comunque è una strada che ha pesantemente condizionato in senso negativo le soluzioni prospettate in questi anni per il «problema Venezia». Bisogna riconoscere che è mancata fondamentale la capacità di proporre per Venezia un modello di sviluppo diverso, sorretto da idee nuove e meno conformiste, svincolato soprattutto dall'eredità di un passato per molti aspetti superato, che non potrà mai più ritornare.

In un tale contesto anche soluzioni che potrebbero essere giudicate dirompenti rispetto all'esistente non dovrebbero essere considerate provocatorie, ma utili, se il tentativo è rivolto a sollecitare chi ha competenze e capacità a intromettersi nelle complesse vicende veneziane, superando posizioni senza futuro e ormai prive di significato.

Sono questi i motivi per cui, parlando oggi di canali navigabili, delle attività portuali connesse e di altri provvedimenti che già si prospettano

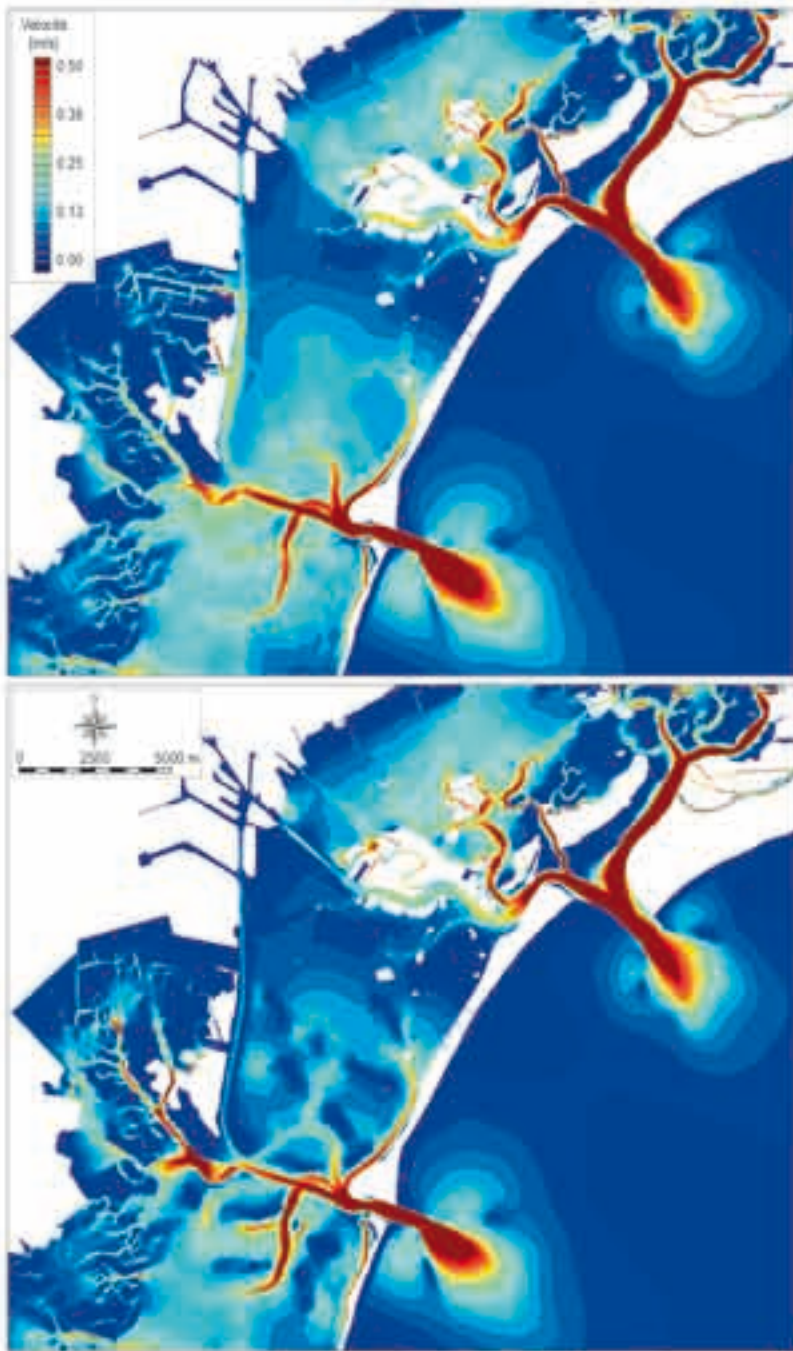


Fig. 11.19 - Effetti sulla distribuzione istantanea delle velocità, rappresentate nel loro modulo a scala di colori, conseguenti all'inserimento di alcune strutture artificiali (in basso) finalizzate alla neutralizzazione idrodinamica dei canali navigabili Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele. In alto lo stato attuale.

per favorirle, ma che sembrano difficilmente conciliabili con la salvaguardia lagunare, si vogliono riproporre due diversi interventi, in grado di introdurre una forte discontinuità con gli atteggiamenti finora tenuti nell'illusione di riuscire ad accontentare tutti.

Un progetto quasi subito abbandonato, di cui però si parlava negli anni in cui era stato da poco ultimato il canale Malamocco-Marghera, proponeva di estromettere completamente la via d'acqua dalla laguna¹⁰⁵, in modo da separare completamente gli interventi destinati a promuovere lo sviluppo della Zona Industriale di Porto Marghera e del suo porto, da quelli rivolti alla difesa dalle «acque alte» e alla salvaguardia della laguna.

L'obiettivo era perseguito abbandonando il canale Malamocco-Marghera e realizzando in sua vece un canale navigabile esterno che, imboccando da Brondolo, si sviluppava sostanzialmente lungo la linea della conterminazione lagunare, per giungere appunto a Porto Marghera, annullando qualsiasi interferenza con la laguna.

Purtroppo l'insipienza di quanti avevano ispirato e permesso la realizzazione del canale Malamocco-Marghera, la mancanza di coraggio nel riconoscere l'errore compiuto con lo scavo del canale stesso all'interno della laguna hanno portato a difendere accanitamente una soluzione che era già in partenza tecnicamente non sostenibile e che si sarebbe riflessa sul sistema lagunare con gli effetti disastrosi di cui si è parlato.

Quella soluzione, allora abbandonata, potrebbe ritornare di attualità, se si guarda alla laguna, non essendovi dal punto di vista del recupero morfologico alternativa praticabile se non quella di tombare un canale, quello dei «Petroli», che non si sarebbe mai dovuto scavare.

Una seconda idea che varrebbe la pena esplorare con i necessari approfondimenti è più recente della prima, anche se è a sua volta diretta a separare i problemi della portualità da quelli della salvaguardia lagunare e della difesa dalle «acque alte».

La proposta¹⁰⁶ prende lo spunto da situazioni in parte diverse da

¹⁰⁵ Per quanto mi risulta l'idea era stata prospettata da Renato Tosi, compianto professore di Costruzioni marittime presso l'Università di Padova, con il quale nei primissimi anni di studio sulla laguna di Venezia ebbi occasione di discutere spesso, ragionando intorno ai problemi della laguna allora incentrati soprattutto sulla questione delle «acque alte».

¹⁰⁶ La proposta alla quale ci si intende riferire fu a suo tempo (2001) suggerita da Cesare De Piccoli, ed è stata ripresa nel Progetto Ve. P.e.R. La., acronimo di Venezia, Portualità e Riequilibrio Lagunare. Essa è una delle proposte alternative sottoposte dal Comune di Venezia al Consiglio dei Ministri nel 2006. La soluzione prospettava scelte non nuove, attuate tra l'altro a Rotterdam, dove il porto industriale è stato spostato sulla costa del Mare del Nord, per non penalizzarlo nella sua efficienza a seguito della costruzione dello sbarramento previsto sul canale di accesso al vecchio porto.



Fig. 11.20 - Planimetria schematica del Progetto Ve.P.eR.La per la delocalizzazione della Stazione Marittima all'esterno della laguna (Comune di Venezia 2005).

quella veneziana, in parte simili. Essa consiste nell'estromettere dalla laguna il porto della Marittima, portandolo fra le dighe all'interno dell'attuale bocca di Lido (Fig. 11.20), protendendo di conseguenza ulteriormente verso il mare i moli attuali (Comune di Venezia 2005).

Tra gli aspetti positivi della soluzione è innanzitutto da evidenziare la possibilità di utilizzare le aree liberate dalla Marittima per una riorganizzazione di grande respiro del tessuto urbano della città, secondo concetti di sviluppo consoni ai particolari caratteri e alla storia di Venezia. In secondo luogo si potrebbero finalmente estromettere dalla laguna le navi da crociera, di sempre maggiore stazza, che percorrono il bacino

di S. Marco, in condizioni entusiasmanti per gli ospiti, un po' meno per quanti guardano alle sorti di Venezia e della sua laguna e restano ad ogni ingresso con il fiato sospeso, temendo l'incidente. Del resto l'assurdo uso che si fa della laguna e della città durante i sempre più frequenti transiti croceristici può essere colto da chiunque sostì nella laguna superiore e, guardando verso Venezia, osservi queste navi dirigersi verso la Marittima o la bocca di Lido, stagliandosi contro il cielo con le loro murate, che rivaleggiano in altezza con il campanile di S. Marco.

Infine, sarebbe possibile operare sulla bocca di Lido e all'interno del suo bacino con interventi dettati soltanto da esigenze di carattere idraulico per la migliore difesa della città e la tutela dell'ambiente lagunare, svincolandosi completamente dalle pesanti necessità della navigazione, che è sempre stata il fattore condizionante in senso negativo dei provvedimenti ipotizzati.

Gli esperti dei problemi della portualità e della pianificazione dovrebbero d'altra parte esprimersi con sincerità, valutando se il porto di Venezia, che, contrariamente a quanto si tenta di fare, non potrà continuare a inseguire la politica delle navi sempre più grandi e dei fondali sempre più profondi richiesti dagli operatori, non debba essere totalmente ripensato, indirizzandolo verso prospettive di sviluppo diverse da quelle finora perseguite, le quali fatalmente per ragioni fisiche intrinseche lo porteranno, se non lo hanno già portato, a decadere.

Il ragionamento intorno agli interventi da attuare per frenare il degrado morfologico del sistema lagunare, non può non comprendere provvedimenti che favoriscano la reintroduzione in laguna di maggiori portate di acqua dolce rispetto a quelle attuali, fortemente ridotte rispetto all'epoca della Repubblica, ma anche con riferimento agli anni del primo Novecento non così lontani da noi.

Si tratta di interventi che sono a loro volta attuabili rispettando i criteri di «sperimentalità, gradualità e reversibilità» indicati dalla legislazione su Venezia, ma che finora non hanno incontrato un'accoglienza entusiasmante da parte del Magistrato alle Acque.

La drastica riduzione degli apporti d'acqua dolce, a seguito dell'allontanamento dei fiumi, ha pesantemente modificato i caratteri ambientali del sistema lagunare, in generale in tutte le parti poste ai margini della conterminazione, in particolare nella laguna superiore, dove, per i crescenti prelievi dai corsi d'acqua di risorgiva di portate a uso irriguo, gli effetti della sottrazione sono stati esaltati. La completa marinizzazione dell'ambiente lagunare che ne è seguita, è stata da molti considerata un processo di trasformazione positivo, non solo per i benefici igienico-sanitari che ne sono derivati.

La crescente estensione del dominio interno delle acque salate, o comunque a elevato contenuto salino, accompagnato dall'approfondimento dei fondali causati dalla sommersione naturale, ha comportato non meno importanti modificazioni nell'uso di ampie superfici appartenenti alla cosiddetta laguna morta. Queste modificazioni, giudicate a loro volta positivamente, hanno fra l'altro permesso un più ampio sfruttamento economico delle zone marginali della laguna, testimoniato dal trasferimento su di esse delle secolari attività delle valli da pesca, severamente controllate, se non combattute, dalla Repubblica quando le valli stesse occupavano aree idrodinamicamente più attive, come quelle della laguna viva, prossime alle bocche.

Se si guarda ai problemi di cui soffre la laguna, l'idea di rivedere i mutati rapporti stabiliti dall'uomo tra la laguna e i fiumi, incrementando nuovamente rispetto alla condizione attuale l'apporto di acque dolci, può contribuire a mitigare i processi erosivi in atto, incrementando sensibilmente la produzione di suolo organico, ma non solo.

Una indicazione sull'estensione delle aree attualmente interessate dalla presenza di acque dolci e sulle modalità di mescolamento con le acque salate introdotte dal mare è fornita dai risultati del modello bidimensionale multistrato già ricordato (D'Alpaos e Carniello 2008).

Considerando per le portate immesse dai corsi d'acqua che ancora sfociano in laguna i valori medi annuali e per la marea una successione di cicli sinusoidali di ampiezza contenuta pari a ± 30 cm, oscillanti intorno a un livello di 10 cm rispetto al livello medio del mare (medio mare Genova 1942), le superfici liquide coinvolte nel mescolamento sono di modesta estensione (complessivamente ~ 28 km²) e sono disposte solo nell'intorno delle foci (Fig. 11.21).

Gli aspetti generali del fenomeno che caratterizza il contatto tra acque dolci e acque salate, sono colti dalle simulazioni numeriche con una discreta approssimazione rispetto alla realtà. Sono, in particolare, ben riprodotti sia la struttura dei fronti di salinità formati dalla stratificazione delle acque sia il ruolo assunto dalla fase di marea, con andamenti non dissimili da quelli risultanti dalle indagini di campo (Imberger 1991). In prossimità delle foci più profonde che si affacciano ai bordi della laguna, durante le fasi di marea crescente le linee di egual salinità tendono a disporsi evidenziando fronti con andamento sub-verticale. Durante le fasi di marea calante, invece, tale andamento diventa sostanzialmente sub-orizzontale.

In corrispondenza delle foci basse i processi di mescolamento della colonna d'acqua sono più attivi e le acque dolci si disperdono più rapidamente nelle acque già presenti in laguna. La salinità varia, pertanto,

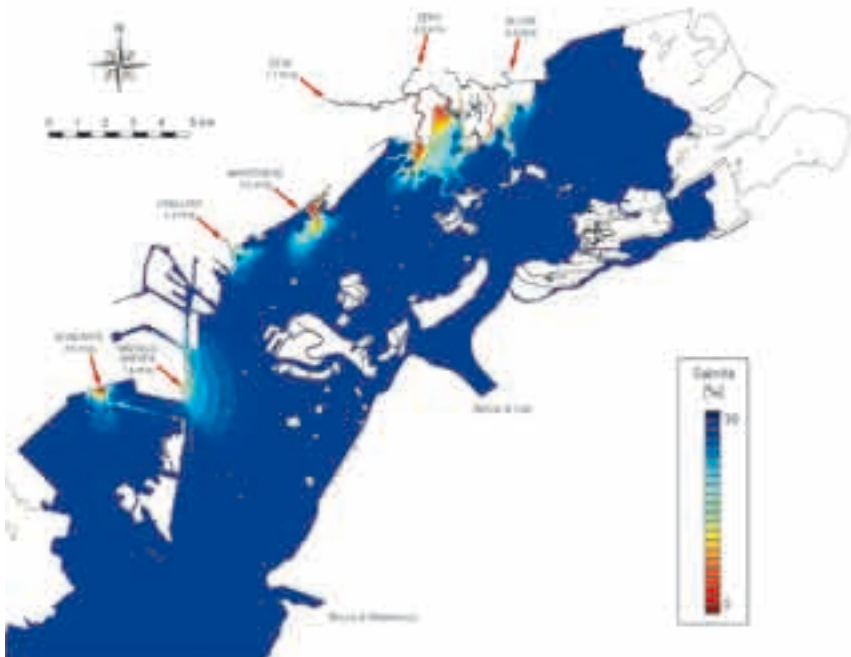


Fig. 11.21 - Laguna attuale - Massima espansione dello strato più superficiale delle acque dopo 10 cicli di marea sinusoidale di ampiezza ± 30 cm oscillanti intorno a un livello medio di 10 cm.

significativamente solo nell'intorno delle foci, coinvolgendo superfici di limitata estensione, non avendo le acque dolci la capacità di penetrare più in profondità all'interno della laguna (D'Alpaos e Carniello 2008).

Ferme restando le altre forzanti esterne (marea alle bocche e portate immesse da tutti gli altri corsi d'acqua), per evidenziare le modificazioni derivanti da un eventuale incremento delle portate d'acqua dolce introdotte, a titolo esemplificativo, si è esaminata una situazione ipotetica, che vede incrementate le portate introdotte dal Sile in corrispondenza di tre diversi punti, prelevando in ciascuna posizione dal fiume $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Nello stesso tempo è considerata l'ipotesi di aprire alla libera espansione della marea le grandi valli da pesca della laguna settentrionale, rimuovendo totalmente le attuali arginature che le confinano.

Sulla base del calcolo, l'estensione degli specchi d'acqua interessati dalla maggiore introduzione di acque dolci si incrementa apprezzabilmen-

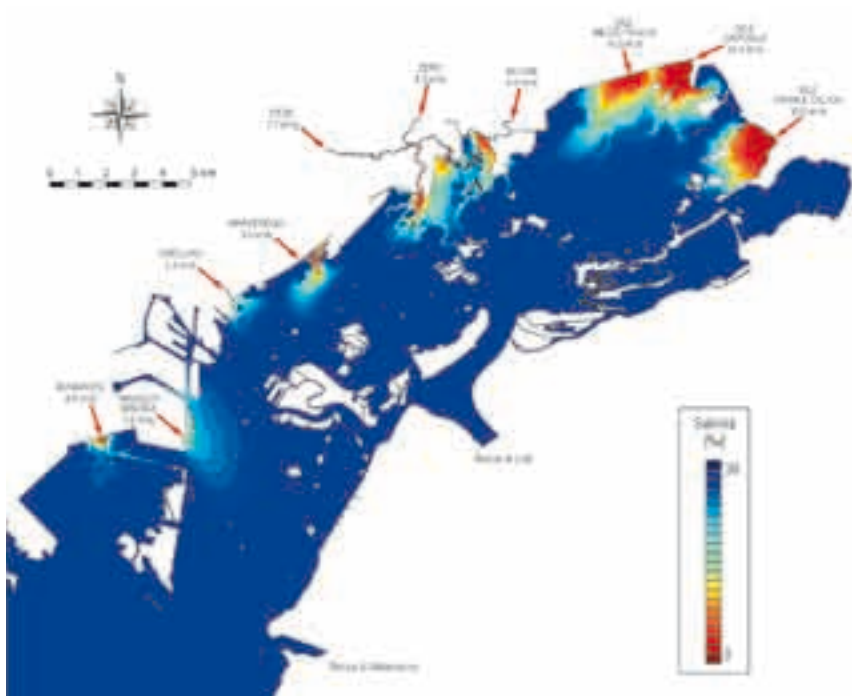


Fig. 11.22 - Laguna attuale - Massima espansione dello strato più superficiale delle acque dopo 10 cicli di marea sinusoidale di ampiezza ± 30 cm oscillanti intorno a un livello medio di 10 cm, nell'ipotesi di introdurre in tre diverse posizioni ai margini della laguna superiore una portata di acqua dolce di $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

te. Sempre con riferimento allo strato più superficiale, rispetto alla situazione attuale le aree coinvolte risultano all'incirca duplicate (Fig. 11.22).

I bassifondi intorno alle isole di Burano e di Torcello sono appena lambiti da acque con salinità più ridotta, mantenendosi in condizioni ben lontane da quelle che si manifestavano nel XVII secolo (D'Alpaos e Carniello 2008) quando, proprio a causa dell'eccessiva dolcificazione delle acque, si erano verificati seri problemi di ordine igienico-sanitario, fino a determinare l'abbandono di alcuni centri abitati della laguna superiore.

Dal punto di vista ambientale la maggiore estensione degli specchi d'acqua dolcificati favorisce una potenziale progressione del canneto e un parallelo incremento di produzione di suolo organico. Relativamente a questo ultimo aspetto è interessante segnalare che in un ambiente pressoché totalmente marinizzato la vegetazione alofila delle barene comporta una produzione di suolo organico nella misura di 100, a fron-

te di un consumo di sostanze minerali pari a 60. Nel caso, invece, di ambienti dolcificati, che favoriscono la crescita del canneto, il rendimento del ciclo vegetativo in termini di produzione di suolo è decisamente più elevato, dato che si stima una produzione di suolo pari a 100 con un consumo di sostanze minerali di appena 40.

Sempre con riferimento ai problemi di conservazione di molte delle residue forme lagunari, non possono essere ignorati il ruolo attivo esercitato dal canneto per la difesa contro i processi erosivi che si sviluppano in senso orizzontale e la sua capacità di catturare i sedimenti fini rimessi in sospensione dal moto ondoso e trasportati dalle correnti di marea, favorendone la rideposizione sul fondo.

L'efficacia del canneto come naturale dissipatore dell'energia trasportata dalle onde, siano esse generate dal vento o dai natanti in navigazione, è dimostrata dall'osservazione sperimentale, che evidenzia la sostanziale stabilità delle sponde dei canali lagunari presidiate da questo tipo di vegetazione, anche nei casi in cui esse siano interessate da un moto ondoso incidente particolarmente intenso. Si tratta di un risultato confermato da molte indagini di laboratorio, non ultime quelle recentemente condotte, in diverse condizioni di onde incidenti e di distribuzione di densità della vegetazione, presso il Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova (Visentin 2007). Nelle parti marginali della laguna, in particolare nella laguna superiore dove le forme residue lagunari sono ancora presenti in misura significativa, il canneto, estendendosi, potrebbe fungere da efficace elemento di difesa delle forme stesse e favorire nel contempo il loro sviluppo in termini di superfici occupate.

Quanto all'idea prospettata di associare a una maggiore introduzione di acque dolci in laguna l'eventuale riapertura di alcune delle valli da pesca esistenti, essa potrebbe essere perseguita in modo sperimentale sia nella laguna superiore sia nella laguna media e inferiore, in questo ultimo caso deviandovi una frazione più cospicua delle portate fluviali raccolte dal Taglio di Mirano, prima, e dal Novissimo, poi. Il provvedimento, associato a quello decisamente più importante di riportare in laguna acque fluviali cariche di sedimenti e a interventi contemporanei di contrasto del moto ondoso comunque generato, potrebbe essere vantaggioso per l'intero sistema lagunare, allontanando un destino che in caso contrario sarà ineluttabile e che vedrà gran parte della laguna di Venezia perdere le sue secolari caratteristiche.

Niente di meglio per la laguna, se si avesse il coraggio di estromettere finalmente anche il canale Malamocco-Marghera, che tra tutte le opere realizzate dall'uomo è stata senza dubbio quella che è riuscita a

produrre in un breve arco di tempo le maggiori devastazioni dell'ambiente lagunare.

Da ultimo, quanti hanno potuto seguire fin dall'inizio gli studi, le ricerche e le polemiche nate intorno al «problema Venezia», non possono non auspicare la ripresa delle iniziative rivolte a esplorare la possibilità concreta di sollevare il suolo della città rispetto al livello medio del mare.

La necessità di procedere in questa direzione è dettata dalla consapevolezza che il Mo.S.E., anche se funzionerà nel migliore dei modi come tutti si augurano, è obiettivamente una soluzione a termine del problema delle «acque alte». Se varranno, infatti, le previsioni dei più autorevoli organismi internazionali sull'innalzamento del livello medio del mare, sul finire del secolo diventerà assai problematica la gestione di un ambiente, quale è la laguna, troppo delicato per essere intercluso rispetto al mare con una frequenza quasi quotidiana e per periodi di tempo prolungati anche durante i normali cicli di marea.

Sollevare il suolo della città rispetto al livello medio del mare, del resto, è stato nel passato un provvedimento che gli antichi veneziani attuavano nel momento in cui, demolendo l'esistente, riedificavano il nuovo a quote più elevate, proprio per fronteggiare le conseguenze della sommersione.

Non essendo per evidenti ragioni un tale provvedimento oggi riproponibile, l'unica soluzione che rimane è quella di ripetere, sia pure con altre soluzioni, con altre tecnologie e su grande scala, quanto si fece negli anni settanta del secolo appena trascorso da parte della Rodio S.p.A., sotto l'egida del «Comitatone», sollevando un'area edificata di circa un migliaio di metri quadri dell'isola di Poveglia. L'obiettivo, che portò a un innalzamento del suolo di una decina di centimetri come gli sperimentatori si erano prefissi, fu raggiunto mediante iniezioni su maglia regolare a piccola profondità (circa una decina di metri) entro un livello di sabbie di una miscela di argilla e cemento opportunamente additivata (Gallavresi e Carbognin 1987).

Di questi tempi l'idea è diversa e prevede di iniettare per un periodo di 10 anni acqua di mare in un acquifero salmastro che si trova al di sotto della laguna a una profondità di circa 600-800 m, mediante la realizzazione di una cortina di pozzi perforati attorno a Venezia (Castelletto *et al.* 2008). Successivamente al periodo di iniezione, i pozzi rimarrebbero operativi al fine di conservare con ulteriori, ma più ridotti, pompaggi l'innalzamento così realizzato. Le prime elaborazioni modellistiche condotte per verificare i benefici conseguibili forniscono risultati di un qualche rilievo, essendo l'innalzamento ottenibile valutato di 25÷30 cm.

Sarebbe conseguentemente quanto mai opportuno sostenere una sperimentazione pilota nella direzione indicata, per esaminare nel concreto la fattibilità dell'intervento, che presenta aspetti innovativi rispetto ad altre realizzazioni, oltre che per raccogliere ulteriori informazioni di dettaglio di carattere litostratigrafico sul sottosuolo lagunare, per monitorare con continuità gli effetti ottenuti sull'area di prova e per verificare le capacità predittive del modello matematico allestito.

Tanto più la sperimentazione sembra auspicabile se si considera che essa non sarebbe in contraddizione con il sistema delle barriere mobili in costruzione alle bocche di porto. Anzi! Fornirebbe a quella soluzione, e all'innalzamento dei margini delle «fondamente» veneziane che l'accompagna, una complementarietà significativa in termini di durata e di funzionalità nel tempo dei provvedimenti in questione.

Quanto agli oppositori dell'intervento, che negano la possibilità di procedere in questa direzione nel caso di Venezia per i pericoli di spostamenti differenziali del suolo edificato (Schrefler *et al.* 2009)¹⁰⁷, essi stessi dovrebbero sostenere una iniziativa diretta in tal senso, che è da ritenere solo positiva, se non altro per l'approfondimento delle conoscenze che ne deriverà e per il supporto a decisioni che, diversamente, potrebbero non essere del tutto giustificate.

Scegliendo per condurre l'esperimento un'area lagunare, ovviamente distinta da Venezia ma non lontana dalla città, una volta di più si ricadrebbe all'interno di quei criteri di «sperimentalità, reversibilità e gradualità» indicati dalla Legge Speciale, spesso invocati e il più delle volte disattesi, che rendono l'intervento proposto pienamente rispondente allo spirito e alla lettera della legge e quindi compatibile e auspicabile.

Non siano l'ostracismo culturale e un allarmismo a priori fine a se stesso a impedire di condurre una sperimentazione che potrebbe essere decisiva per Venezia e garantire alla città una vita futura, che non potrà essere felice, se la si pensa permanentemente all'ombra delle barriere mobili in costruzione alle bocche di porto.

¹⁰⁷ Spostamenti differenziali pericolosi sono esclusi dai fattori della sperimentazione, i quali indicano variazioni differenziali di quota ben al di sotto dei valori già sperimentati dalla città (Gambolati *et al.* 2009).

12. UN ULTIMO PENSIERO

Alcuni secoli or sono, in un suo celebre sonetto dedicato a Venezia, così scriveva Cristoforo Sabbadino:

Quanto fur grandi le tue mura 'l sai
Venetia: hor come le s'attrovan vedi.
Es'a sua saldezza non provedi
Soletta senza mura rimarai
Gli fiumi, 'l mar egl'homeni tu hai
Per inimici, 'l provi e non lo credi.
Non tardar, apri gl'occhi, e mov' i piedi:
Che quando 'l vorrai far poi non potrai.
Rimovi i fiumi: et alle voglie ingorde
Degli homin poni 'l fren: che voglia 'l mare,
Restato sol, sempre t'havrà obedita.
Se non avrai l'orechie al tuo ben sorde,
L' perché con gran ragion, t'hebbe a fermare,
Ne l'acque 'l ciel ti dona eterna vita.

Questi versi¹⁰⁸ sono ancor oggi densi di significato e, nonostante il tempo trascorso, non sembrano aver perso di attualità.

Deviato il Brenta alla foce di Brondolo e concepito il grandioso piano per l'allontanamento degli altri fiumi, il più famoso e geniale degli

¹⁰⁸ Il sonetto del Sabbadino, nuovamente edito nel 1792 dall'abate Tentori dopo oltre due secoli e mezzo, perché ritenuto anche allora d'operante attualità, è qui proposto in una versione leggermente diversa, reperibile nell'introduzione del libro *La laguna di Venezia nella cartografia storica a stampa del Museo Correr*, Musei Civici Veneziani, Marsilio Editori, Venezia 2003.

antichi idraulici che furono al servizio della Repubblica in un periodo decisivo per la sopravvivenza della laguna, individuava negli uomini uno dei nemici, forse il più pericoloso, dai quali Venezia e la sua laguna appunto dovevano guardarsi.

La storia delle complesse vicende che hanno legato il destino della laguna a quello degli uomini che in essa hanno scelto di vivere, qui ripercorsa con molte inevitabili lacune nel tentativo di evidenziare soprattutto le conseguenze idrauliche e morfodinamiche delle opere realizzate dopo la caduta della Repubblica, per forzare l'ambiente lagunare e adattarlo a necessità contingenti, sembra confermare i timori di Cristoforo Sabbadino e sollecita non poche riflessioni.

Tanto più negli anni in cui viviamo, mentre si sta nuovamente intervenendo con opere importanti sulle bocche di porto, questa volta con l'obiettivo di permettere di isolare temporaneamente la laguna dal mare e di difendere i suoi centri storici dagli allagamenti, a fronte dei sempre più frequenti episodi di «acqua alta».

Le molte discussioni e le non meno numerose polemiche tra favorevoli e contrari ai provvedimenti in corso di attuazione spesso non inquadrano i fenomeni idraulici nel loro giusto contesto e si prestano a interpretazioni strumentali, che alimentano fraintendimenti e annullano qualsiasi possibilità di confronto su temi che sono di grande rilevanza tecnica e scientifica e che, solo per questo, meriterebbero di essere collocati al centro dell'attenzione e dell'interesse di chi ha competenza.

L'auspicio è che anche i problemi, numerosi e complessi, della salvaguardia della laguna siano finalmente portati all'attenzione dell'opinione pubblica e non siano più lasciati in secondo piano rispetto alla ben più banale questione, ingegneristicamente parlando, della difesa di Venezia dalle «acque alte».

Se a Cristoforo Sabbadino deve essere riconosciuto il merito di aver intuito che la laguna doveva essere sempre e comunque considerata nel suo insieme, dando centralità al problema della sua salvaguardia, all'uomo dei nostri giorni, che la sta «curando» assiduamente, non vada il grande demerito di non aver compreso il valore di tale centralità e di aver continuato a perseguire, come si è dimostrato essere avvenuto negli ultimi due secoli, il soddisfacimento di interessi particolari, in qualche caso di vere e proprie «voglie ingorde» come recitano i versi appena ricordati, piuttosto che la tutela in senso generale di un ambiente, quello lagunare, che non ha eguali al mondo.

La speranza, per il bene della laguna, è che i dubbi di molti sulle scelte operate e sulle loro modalità attuative siano infondati e che il tempo non dia loro ragione.

Guardando realisticamente alle istituzioni preposte al governo della laguna, non vi è dubbio che potrebbe essere per tutti motivo di maggiore tranquillità se il Magistrato alle Acque fosse davvero messo dallo Stato nelle condizioni di esercitare un effettivo e rigoroso controllo tecnico e scientifico sugli interventi che l'uomo sta realizzando all'interno della laguna.

Purtroppo si deve riconoscere che non è così ed è forte il rammarico che dell'autorevolezza di quell'antica magistratura, alla quale la Repubblica aveva demandato il compito della salvaguardia della sua laguna, ma anche di quella moderna più recentemente istituita all'inizio del Novecento, illustrata fino agli anni del secondo dopoguerra dall'opera assidua dei suoi Presidenti e dei suoi funzionari attraverso contributi di riconosciuto spessore culturale, rimanga solo un ricordo.

Per coloro ai quali sta a cuore il destino della laguna non resta che sperare, fiduciosi che in un futuro non lontano l'interesse verso i problemi morfologici e la tutela dell'ambiente lagunare cresca presso l'opinione pubblica, come è cresciuta o si è fatta crescere in questi anni l'attenzione intorno alla dibattuta questione della difesa dalle «acque alte».

Nel frattempo, parafrasando il motto che fu degli antichi «capitani da mar» della Repubblica, attendiamo

«per Venezia, *per la laguna* e per San Marco»

tempi più favorevoli di quelli in cui viviamo, maggiormente aperti alle critiche costruttive, non bisognevoli del soccorso della «scienza amica» e più consapevoli che è dal dubbio coltivato scientificamente e non dalle mal poste certezze degli «ingegneri operosi», animati dal sacro furore del fare, che può venire la spinta decisiva per la migliore soluzione dei problemi riguardanti Venezia e la sua laguna.

BIBLIOGRAFIA

- Adami A.: *Analisi statistica di un lungo periodo di maree sizigiali contemporanee all'interno e all'esterno della laguna di Venezia*, Rivista Italiana di Geofisica, Vol. XXIII, pp. 302-308, 1974.
- Adami A.: *Alcuni aspetti idrodinamici legati all'apertura delle valli da pesca rilevati sul modello fisico della laguna*, Convegno di Studi nel Bicentenario della Conterminazione Lagunare, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Venezia 1992.
- Amos C.L., Bergamasco A., Umgiesser G., Cappucci S., Cloutier D., DeNat L., Flindt M., Bonardi M., Cristante S.: *The stability of tidal flats in Venice lagoon – the results of in-situ measurements using two benthic, annular flumes*, Journal of Marine Systems, n. 51, 2004.
- Armani E., Caniato G., Gianola R.: *I cento cippi di conterminazione lagunare*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Venezia 1991.
- Battistin D., Canestrelli P.: *1872-2004 La serie storica delle maree a Venezia*, Grafiche Veneziane, Venezia 2006.
- Blondeaux P., De Bernardinis P., Seminara G.: *Correnti di marea in prossimità di imboccature e loro influenza sul ricambio lagunare*, Atti XVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna, 21-23 settembre 1982.
- Bondesan M.: *L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici*, in *Il parco del Delta del Po*, prima sezione, pp. 9-48, Amministrazione provinciale di Ferrara, 1990.
- Bonometto L.: *Il crepuscolo della laguna*, in *La laguna di Venezia, ambiente, naturalità, uomo*, Provincia di Venezia - Assessorato alle politiche ambientali, Nuovadimensione, Portogruaro 2007.
- Botter G., Settin T., Marani M., Rinaldo A.: *A stochastic model of nitrate transport and cycling*, Water Resources Research, 42, W04415, doi:10.1029/2005WR004599, 2006.
- Bucchia G.: *Considerazioni intorno al porto di Lido ed alla sua Laguna*, Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA., Venezia 1875-76.
- Caniato G.: *L'organismo delicato: il governo idraulico e ambientale*, in: *La laguna di Venezia*, Cierre edizioni, Verona 1995.

- Carniello L., Defina A., Fagherazzi S., D'Alpaos L.: *A combined wind-wave-tidal model for Venice Lagoon, Italy*, Journal of Geophysical Research – Earth Surface, Vol. 110, F04007, doi:10.1029/2004JF000232, October 2005.
- Carniello L., Defina A., D'Alpaos L.: *Un modello di trasporto solido in sospensione per miscele bigranulari: prime applicazioni alla laguna di Venezia*. Atti del XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, Morlacchi Editore, p. 204, 2008.
- Carniello L., Defina A., D'Alpaos L.: *Morphological evolution of the Venice lagoon: evidence from the past and trend for the future*, Journal of Geophysical Research – Earth Surface, 114, F04002, doi:10.1029/2008JF001157, 2009.
- Catelletto N., Ferronato M., Gambolati G., Putti M., Teatini P.: *Can Venice be raised by pumping water underground? A pilote project to help decide*, Water Resources Research, 44, W01408, doi:10.1029/2007WR006177, 2008.
- Cessi R.: *Antichi Scrittori d'Idraulica Veneta – Discorsi sopra la laguna di Cristoforo Sabbadino*, Vol. II – Parte I, Magistrato alle Acque, Venezia 1930.
- Cessi R.: *Antichi Scrittori d'Idraulica Veneta – Scritture sopra la laguna di Alwise Cornaro e di Cristoforo Sabbadino*, Vol. II, Parte II, Magistrato alle Acque, Venezia 1941.
- Cisotto L.: *Valli da pesca della laguna Veneta*, Venezia 1964.
- Cola S., Simonini P.: *Mechanical behavior of silty soils of the Venice lagoon as a function of their grading characteristics*, Canadian Geotechnical Journal, Volume: 39, Issue: 4, pp. 879-893, Aug. 2002.
- Comitato di Indirizzo e Controllo ex art. 4 L.798/84: *Stato di attuazione delle decisioni assunte nel Comitato Interministeriale del 3 aprile 2003 riguardo agli "11 punti" chiesti dalle Amministrazioni Comunali di Venezia e Chioggia*, Venezia, settembre 2005.
- Comune di Venezia: *"Proposte progettuali alternative per la regolazione dei flussi di marea alle bocche della laguna di Venezia"*, Stampe Grafiche Veneziane, Venezia 2005.
- Cucchini E.: *La laguna di Venezia ed i suoi porti*, Giornale del Genio Civile, 1912.
- Cucchini E.: *Le acque dolci che si versano nella laguna di Venezia*, Ufficio Idrografico del Regio Magistrato alle Acque, Provveditorato Generale dello Stato, Roma 1928.
- D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Fagherazzi S., Rinaldo A.: *Tidal network ontogeny: channel initiation and early development*, Journal of Geophysical Research – Earth Surface, 110, F02001, doi:10.1029/2004JF000182, 2005.
- D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Rinaldo A.: *Landscape evolution in tidal embayments: modelling the interplay of erosion, sedimentation, and vegetation dynamics*, Journal of Geophysical Research – Earth Surface, 112, F01008, doi:10.1029/2006JF000537, 2007.
- D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Rinaldo A.: *On the tidal prism – channel area relations*, Journal of Geophysical Research – Earth Surface, doi:10.1029/2008JF001394, in stampa.

- D'Alpaos L.: *Evoluzione morfologica della laguna di Venezia dal tempo del Dénaix ad oggi e sue conseguenze sul regime idrodinamico*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Convegno di studi nel Bicentenario della conterminazione lagunare, Venezia 1992.
- D'Alpaos L., Defina A.: *Venice Lagoon Hydrodynamic Simulation by Compling 2D and 1D Finite Elements Models*, VII International Conference on Finite Elements in Fluids, Barcelona, September 1993.
- D'Alpaos L., Liberatore G.: *Prove sperimentali di onde generate da natanti: elaborazione dei dati ed estensione a canali*, Comune di Venezia, Padova 1993.
- D'Alpaos L., Defina A., Matticchio B.: *A Coupled 2D and 1D Finite Element Model Simulating Tidal Flow in the Venice Lagoon Channel Network*, 9th Int. Conf. on Finite Elements in Fluids, Venezia 15-21 Ottobre 1995, Ed. M.M. Morandi Cecchi, K. Morgan, J. Periaux, B.A. Schrefler, O.C. Zenkiewicz, Università di Padova Editore, 1995.
- D'Alpaos L.: *Conoscere il comportamento idrodinamico della laguna del passato per progettare la laguna del futuro*, Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA., Tomo CLXII, Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia 2004.
- D'Alpaos L., Martini P.: *The influence of inlet configuration on sediment loss in the Venice Lagoon*, Symposium on: *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its lagoon: State of Knowledge*, Churchill College, Cambridge University, 14-17 September 2003, Cambridge University Press, 2005.
- D'Alpaos L., Defina A.: *Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon*, Computers & Geosciences, doi:10.1016/j.cageo.2006.07.009, 2006.
- D'Alpaos L.: *I rischi di inondazione nella provincia di Padova*, «Padova e il suo territorio», febbraio 2006.
- D'Alpaos L., Carniello L.: *Sulla reintroduzione di acque dolci nella laguna di Venezia*, Giornata in ricordo di E. Marchi, Accademia dei Lincei, Roma, 5 giugno 2008.
- D'Alpaos L., Defina A.: *Modellazione matematica del comportamento idrodinamico delle zone di barena solcate da una rete di canali minori*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi, Vol. XII, pp. 353-372, 1995.
- Dal Piaz Gb.: *Il bacino quaternario-polesano ferrarese e i suoi giacimenti gassiferi*, in: *I giacimenti gassiferi dell'Europa occidentale*, Accademia Nazionale dei Lincei, p. 433, Roma 1959.
- Datei C., Dronkers J.J.: *Considerazioni sulla nota del prof. G. Supino: La marea nella Laguna di Venezia*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi, Vol. XII, pp. 185-203, 1972.
- Datei C.: *Sulla propagazione della marea in una laguna schematica*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi, Vol. V, pp. 43-80, 1973.
- De Bernardi A.: *Inventario di riconoscimento delle opere esistenti in laguna in opposizione alle prescrizioni del Regolamento di Polizia Lagunare del 1841*, Venezia 1843-44, in *La laguna di Venezia – Atlante II*, a cura di G. Magrini, Venezia 1934.

- Defina A.: *Two dimensional shallow flow equations for partially dry areas*, Water Resources Research, vol. 36, 11, pp. 3251-3264, ISSN: 0043-1397, 2000.
- Defina A., Carniello L., Fagherazzi S., D'Alpaos L.: *Self organization of shallow basins in tidal flats and salt marshes*, Journal of Geophysical Research - Earth Surface 112, F03001, doi:10.1029/2006 JF000550, 2007.
- Dipartimento IMAGE - Univ. di Padova: *Analisi sperimentale del moto ondoso generato da un natante in campo di moto confinato*, Comune di Venezia, Padova 2004.
- Dipartimento IMAGE - Univ. di Padova: *Studio sull'evoluzione dell'idrodinamica lagunare dal tempo del Dénaix ai giorni nostri*, Resp. della ricerca L. D'Alpaos, Padova 2005.
- Dipartimento IMAGE - Univ. di Padova: *Effetti idrodinamici conseguenti ad un incremento delle resistenze al moto alle bocche di porto della laguna di Venezia mediante l'inserimento di opere fisse*, Comune di Venezia 2006.
- Di Silvio G., D'Alpaos L.: *Validità e limiti di un modello unidimensionale nella propagazione di onde lunghe in campi di moto con caratteri parzialmente bidimensionali*, XIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Milano, 21-23 settembre 1972.
- Di Silvio G.: *Delimitazione topografica di una laguna a marea: implicazioni idrodinamiche e morfologiche*, Convegno di Studi nel Bicentenario della Conterminazione Lagunare, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Venezia 1992.
- Dronkers J.J.: *Des considérations sur la marée de la lagune de Venise*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi, Vol. XII, pp. 81-106, 1972.
- Fagherazzi S., Carniello L., D'Alpaos L., Defina A.: *Critical bifurcation of shallow microtidal landforms in tidal flats and salt marshes*, Proceedings of the National Academy of Sciences, 103 (22): 8337-8341, 2006.
- Filiasi J.: *Memorie storiche dei Veneti primi e secondi*, Venezia 1794-98.
- Fossataro G.: *I lavori di scavo sulla barra del porto di Lido*, Giornale del Genio Civile, 1912.
- Gallavresi F., Carbognin L.: *Il sollevamento del suolo mediante iniezioni quale intervento a salvaguardia di zone altimetriche deficitarie. L'applicazione a Venezia come caso peculiare*, Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi, Vol. X, pp. 33-47, Venezia 1987.
- Gambolati G., Teatini P., Ferronato M., Strozzi T., Tosi L.: *On the uniformità of anthropogenic Venice uplift*, Terra Nova, 00, 1-7, 2009.
- Gasparini L.: *La sistemazione dei corsi d'acqua attigui alla città di Padova*, Giornale del Genio Civile, 1923.
- Ghetti A.: *Etudes concernants les problèmes hydrodynamiques de la lagune de Venise*, XVIII Congrès de l'AIHR, Cagliari, 1979.
- Ghetti A.: *I problemi idraulici della laguna di Venezia*, Supplemento n. 1 del Giornale Economico, Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura, Venezia, aprile 1974.

- Ghetti A., Batisse M.: *The overall protection of Venice and its lagune*, Nature and Resources UNESCO, Vol. XIX, No. 4, October-December 1983.
- Imberger J.: *Dynamics of the Venice Lagoon – Final Report*, Report N. ED 605 JI, CWR, University Western Australia, 1991.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Climate Change: The Scientific Basis*, Edited by J.T. Houghton *et al.*, Cambridge Univ. Press, New York, 2001.
- Lane F.C.: *Venice. A maritime Republic*, Johns Hopkins University Press, 1973.
- Leonardi P.: *Cause geologiche del graduale sprofondamento di Venezia e della sua Laguna*, Istituto Venete SS.LL.AA., Atti del Convegno per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia, Venezia 1960.
- Lanzoni S., Seminara G.: *On tide propagation in convergent estuaries*, Journal of Geophysical Research-Oceans, 103(C13), 30.793-30.812, 1998.
- Lanzoni S., Seminara G.: *Long term evolution and morphodynamic equilibrium of tidal channels*, Journal of Geophysical Research-Oceans, 107(C1), art. 3001, 2002.
- Leonardi P.: *Fenomeni e problemi geologici di Venezia*, 1° Convegno Nazionale di Studi sui Problemi della Geologia Applicata, ANGI, Verona 1969.
- Magistrato alle Acque: *Esame dei piani organici delle opere giudicate adatte, dagli utenti, al miglioramento delle valli*, Venezia 1943.
- Magistrato alle Acque: *Voto n. 232 del 22 Dicembre 1944 del Comitato Tecnico sulle Provvidenze per le valli da pesca della Laguna di Venezia*, Venezia 1944.
- Magrini G.: *Carta topografica idrografica militare della laguna di Venezia rilevata dal capitano Augusto Dénaix negli anni 1809-10-11*, Atlante Primo, Stamperia Ferrari, Venezia 1934.
- Marani M., Belluco E., D'Alpaos A., Defina A., Lanzoni S., Rinaldo A.: *On the drainage density of tidal networks*, Water Resources Research, vol. 39, No.2, 1040, doi:10.1029/2001WR001051,2003.
- Marani M., D'Alpaos A., Lanzoni S., Carniello L., Rinaldo A.: *Biologically-controlled multiple equilibria of tidal landforms and the fate of the Venice lagoon*, Geophys. Res. Lett., 34, L11402, doi:10.1029/2007GL030178, 2007.
- Marchi E.: *Sulla stabilità delle bocche lagunari a marea*, Rend. Fis. Mat. Accademia dei Lincei, 9, 137-150, 1990.
- Matticchio B.: *Effetti idrodinamici prodotti da opere fisse alle bocche di porto della laguna di Venezia – Idrodinamica locale e resistenze idrauliche*, Parte I, Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA., Tomo CLXII, Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia 2004.
- Mencini G.: *Venezia acqua e fuoco*, Il Cardo Editore, Venezia 1996.
- Miazzi M.: *Analisi degli effetti prodotti dall'inserimento di barene artificiale nella laguna di Venezia*, Tesi di laurea, Rel. A. Defina, Università di Padova, a.a. 2006-2007.
- Miliani L.: *I lavori di sistemazione della foce lagunare di Chioggia*, L'ingegnere, 1938.

- Ministero dei Lavori Pubblici e Ministero dell'Agricoltura: *Bonifica e vallicoltura nei riguardi idraulici, igienici ed economici*, Roma 1937.
- Miozzi E.: *Venezia nei secoli – La Laguna*, Vol. III, Venezia, 1968.
- Osservatorio naturalistico della laguna - Comune di Venezia: *Atlante della laguna*, Marsilio Editori, Venezia 2006.
- Pavanello G.: *Antichi Scrittori d'Idraulica Veneta*, Prefazione al Vol. I, Venezia 1919.
- Perosini G.: *Il porto di Malamocco nella laguna di Venezia*, Giornale del Genio Civile, 1891.
- Principia R.D.: *Comparison of two barriers of gate systems-Hydrodynamic study*, La Ciotat, 2009.
- Rinaldo A., Botter G., Bertuzzo E., Uccelli A., Settin T., Marani M.: *Transport at basin-scales, 2. Applications*, Hydrology and Earth System Sciences, 10, 31-48, 2006.
- Romanin S.: *Storia documentata di Venezia*, P. Naratovicht Tipografo Editore, Venezia 1853-1861.
- Rusconi A.: *Il Comune Marino a Venezia*, Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, Pubblicazione n. 157, Venezia 1983.
- Schrefler B.A., Ricceri G., Achilli V., Menin A., Salomoni V.A.: *Ground displacement data around the city of Ravenna do not support uplifting Venice by water injection*, Terra Nova, 21, 144-150, 2009.
- Seminara G., Lanzoni S., Bolla Pittaluga M., Solari L.: *Estuarine patterns: An Introduction to their Morphology and Mechanics*, in: *Geomorphological Fluid Mechanics*, edited by N. J. Balmforth and A. Provenzale, Lecture notes in Physics, Springer Verlag, Berlin, pp. 455-499, 2001.
- Seminara G., Lanzoni S., Solari L., Bolla Pittaluga M., *Estuarine patterns: An Introduction to their Morphology and Mechanics*, *Geomorphological Fluid Mechanics*, edited by N. J. Balmforth and A. Provenzale, Lecture notes in Physics, Springer Verlag, Berlin, pp. 455-499, 2001.
- Stefanon L.: *Effetti dei grandi canali navigabili sull'idrodinamica della laguna di Venezia*, Tesi di laurea, Rel. L. D'Alpaos, Università di Padova, a.a. 2006-2007.
- Stefanon L., Defina A., Lanzoni S., Susin F., D'Alpaos L.: *Caratteristiche morfologiche di reti a marea generate in laboratorio*, XXXI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, 9-12 settembre 2008.
- Stefanon L., Carniello L., D'Alpaos A., Lanzoni S.: *Experimental analysis of tidal network growth and development*, comunicazione personale degli autori, accettato per la pubblicazione a Continental Shelf Research, 2009.
- Supino G.: *La marea nella Laguna di Venezia*, Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi, Vol. V, pp. 163-184, Venezia 1972.
- Tambroni N., Seminara G.: *Are inlets responsible for the morphological degradation of Venice lagoon?*, Journal of Geophysical Research – Earth Surface, 111, F03013, 2006.
- Thetis: *Campagne di misura di parametri chimici e fisici per la valutazione della*

- reimmissione in laguna di Venezia di parte delle portate del fiume sul Brenta*, Rapporto finale, 2006.
- Umgiesser G.: *Valutazione degli interventi morbidi e diffusi sulla riduzione delle punte di marea a Venezia, Chioggia e Burano*, Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA., Tomo CLXII, Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia 2004.
- Umgiesser G.: *Effetti idrodinamici prodotti da opere fisse alle bocche di porto della laguna di Venezia – Riduzione delle punte di marea ed effetti sul ricambio idrico*, Parte II, Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA., Tomo CLXII, Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia 2004.
- Umgiesser G., De Pascalis F., Ferrarin C., Amos C. L.: *A model of sand transport in Treporti channel: northern Venice lagoon*, Ocean Dynamics, n. 56, 2006.
- Visentin E.: *Effetti della vegetazione sull'attenuazione del moto ondoso*, Tesi di laurea, Rel. L. D'Alpaos, Università di Padova, a.a. 2006-2007.
- Zendrini B.: *Memorie storiche dello stato antico e moderno delle lagune di Venezia*, Tomo I e II, Stamperia del Seminario, Padova 1811.

STAMPATO NEL MESE DI GIUGNO 2010
DA CIERRE GRAFICA

Via Ciro Ferrari, 5 - 37066 Sommacampagna (VR)
tel. 045 8580900 - fax 045 8580907
www.cierrenet.it

All'indirizzo internet www.istitutoveneto.it è possibile effettuare una ricerca, per autore e per titolo, delle pubblicazioni dell'Istituto a partire dal 1840.

Nel corso del 2008 ha preso avvio l'acquisto on-line dei volumi dell'Istituto ed è consultabile anche la forma digitale degli «Atti dell'IVSLA» (a partire dal n. 165, 2006-2007).

I volumi possono essere acquistati presso l'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti (fax 041.5210598) oppure tramite il distributore CIERREVECCHI Srl (fax 049.8840277)

LUIGI D'ALPAOS, ingegnere, è professore ordinario di Idrodinamica nell'Università degli Studi di Padova. Esperto nella modellazione matematica dei fenomeni propagatori, da sempre la sua attività ricerca è stata dedicata allo studio del comportamento idraulico dei grandi sistemi idrografici, in generale, e dei bacini a marea, in particolare. In questo ambito si segnalano i suoi contributi su alcuni aspetti fondamentali dell'idrodinamica e della morfodinamica lagunare, con particolare riferimento ai problemi che più direttamente interessano la laguna di Venezia.



1810-2010
Bicentenario
Istituto Reale
di Scienze Lettere
ed Arti



In copertina:

Scorcio della laguna di Venezia (© foto Roiter)

Progetto grafico della copertina:
Paolo Roggero design

Da alcuni decenni la laguna di Venezia sta sperimentando gli effetti negativi di intensi processi erosivi e di una perdita netta di sedimenti fini negli scambi laguna-mare. Le cause dei processi in atto sono solo in minima parte riconducibili ai fenomeni naturali della sommersione, essendo dimostrato il ruolo negativo degli interventi realizzati dall'uomo soprattutto nel corso degli ultimi due secoli. Se si guarda alla morfologia lagunare, le opere in fase di realizzazione per la difesa dalle acque alte lasciano aperti alcuni interrogativi, mentre è preoccupante l'idea di potenziare ulteriormente il canale Malamocco-Marghera, i cui esiti nefasti per la laguna sono documentati in tutta la loro drammaticità. In un tale contesto, a salvaguardia della morfologia lagunare, non sono più procrastinabili interventi finalizzati alla mitigazione dei processi di risospensione dei sedimenti dai bassifondi della laguna e alla reintroduzione, come un tempo, di acque e di sedimenti di origine fluviale.

ISBN 978-88-9599-621-9



9 788895 996219 >

€ 35,00