

# Litorali e Lagune del Nord Est

*Maurizio Ferla, Franco Crosato, Manuela Ragazzo*  
*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*

## Premessa

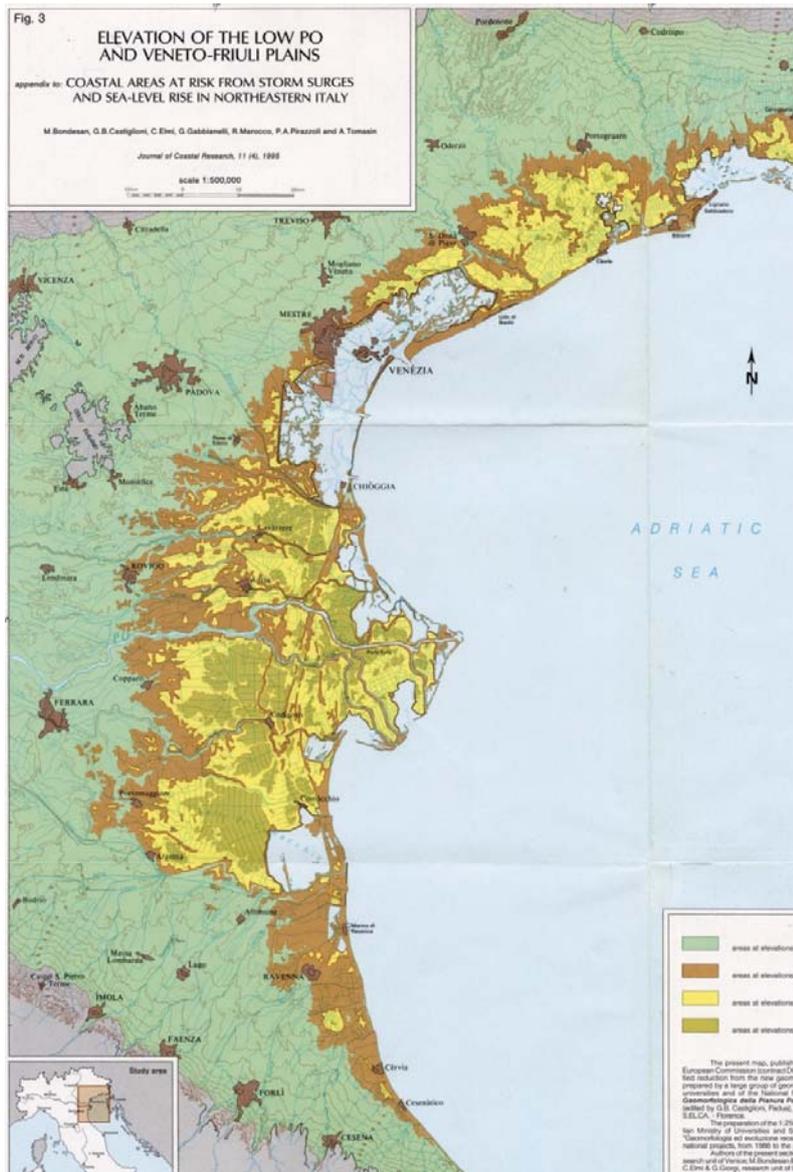
Il 5 ottobre 2012 si è tenuto a Mestre, presso l'Auditorium del Centro Servizi della Provincia di Venezia, il Convegno dal titolo "Aree costiere del Nord Adriatico e gestione delle alluvioni: attuazione della Direttiva 2007/60/CE sulla gestione dal rischio alluvione" organizzato dalla Sezione Veneta dell'Associazione Idrotecnica Italiana in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e con il patrocinio dello IUAV di Venezia, del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale dell'Università di Padova e della Provincia di Venezia. Il dibattito si è focalizzato sull'attenzione che occorre adottare per giungere, al 2015, ad una efficace e coordinata gestione del rischio di alluvioni secondo le indicazioni della Direttiva 2007/60/CE in un'area costiera che interessa tre Distretti Idrografici, attraversando le regioni Friuli Venezia Giulia, Veneto ed Emilia Romagna.

Riprendendo gli spunti principali emersi nel corso del Convegno, con questo contributo vengono delineati alcuni aspetti peculiari il tema della conservazione dei litorali veneti e delle lagune, in un articolato e complesso approccio che fa riferimento alla moderne Direttive Europee in tema ambientale. In particolare, le direttive che affrontano la matrice acqua sono votate alla individuazione di strategie di gestione di uno sviluppo sostenibile che mette insieme obiettivi di mantenimento e di raggiungimento del buono stato ecologico delle acque superficiali e sotterranee, obiettivi di tutela dal rischio dalle inondazioni, obiettivi di arresto di fenomeni di degrado ambientale nei bacini lagunari, obiettivi di gestione integrata delle zone costiere ed obiettivi di tutela e salvaguardia dell'ambiente marino.

## 1. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA COSTIERA NORD ADRIATICA

Il territorio italiano comprende circa 7.700 km di coste e litorali, pari a circa il 16,7% del Mediterraneo. Si stima che circa 2,9 milioni di persone risiedano nella zone costiere del nostro Paese, il 40% nella sola parte Nord-Adriatica, quella più esposta al rischio di inondazione perché storicamente soggetta a importanti fenomeni di subsidenza naturale ed antropica, perché solcata dai tronchi terminali arginati dei grandi corsi d'acqua del Nord Italia (Po, Adige, Piave e Tagliamento) in parte provenienti anche dalla vicina Slovenia (Isonzo), perché esposta a violente mareggiate, in generale associate ad eventi di *alta marea eccezionale*, e infine perché soggetta alle conseguenze della crescita relativa del livello medio del mare dovuta all'effetto combinato di eustatismo e subsidenza.

La caratteristica principale della fascia costiera pianeggiante dell'Alto Adriatico è la sua incerta definizione e la sua continua evoluzione. Un insieme di fiumi, disposti a pettine, dal Reno all'Isonzo, per migliaia di anni hanno trasportato verso le foci enormi quantità di detriti e di sabbie, e si sono "combinati" con le variazioni eustatiche del livello medio del mare, in modo da formare un discontinuo avanzamento della costa, interrotta da un eccezionale sistema di foci, estuari e lagune. Questa incertezza spazio-temporale di suolo, rilevati dunosi, aree depresse, acque dolci e acque salate, è sempre stata conseguenza delle diverse condizioni climatiche, a scale diverse, conseguenza di continui e tendenziali processi geo-morfo-climatici e di impulsivi eventi



**Fig. 1** - Altimetria dei territori tra il Delta del Po e la bassa pianura Veneto-Friulana (Fonte: Bondesan et al., 1995).

meteo (siccità, tempeste, alluvioni, maree). Una condizione di perpetua variabilità che ha imposto una continua alternanza di condizioni marittime, ovvero di situazioni paludose, avanzamenti e arretramenti delle linee dunose, formazione di lagune e scomparsa di altre, per interrimento o per invasione marina. Lo scenario attuale presenta una molteplicità di assetti costieri, anche per il decisivo intervento dell'uomo che ha continuamente modificato questo particolare ambiente costiero.

La Fig. 1, che correda una memoria scientifica pubblicata nel 1995 dalla rivista *Journal of Coastal Research* (Bondesan et al., 1995), illustra l'altimetria di questa porzione di territorio caratterizzata da aree pianeggianti collocate a quote molto basse, in gran parte soggiacenti il livello medio del mare. Il litorale si estende per circa 350 km tra la foce dell'Isonzo e la costa romagnola ed è formato da spiagge sedimentarie con pendenze molto dolci anche nella parte sommersa (2 m/km). In numerosi tratti sono state realizzate opere di difesa per contrastare i fenomeni di erosione su circa il 60% del litorale.

I tronchi fluviali terminali dei grandi fiumi Nord orientali, che raccolgono le acque dai grandi bacini montani e li convogliano nella parte settentrionale del Mare Adriatico, sono delimitati da poderose arginature, frutto della plurisecolare azione intrapresa dall'uomo per contrastare la forza distruttiva delle alluvioni oppure, come nel caso dell'opera della Serenissima, per deviare i corsi naturali e scongiurare l'interrimento del bacino lagunare dovuto alle torbide trasportate durante le piene. Il transito delle piene all'interno di questi grandi corridoi fluviali, con fondo alveo pensile per lunghi tratti, avviene a quote idrometriche molto elevate rispetto al piano campagna che in qualche caso raggiungono i 7-8 metri.

Tra le aste terminali dei grandi fiumi scorrono anche importanti corsi d'acqua minori che si originano per risorgiva nell'alta pianura veneto-friulana, attraversano città importanti come Treviso (Sile) o Portogruaro (Lemene), e recapitano, in tutto o in parte, le loro acque all'interno delle lagune o in mare. Le acque dei territori a quote più basse, che non possono raggiungere il mare per via naturale, vengono raccolte attraverso una fitta rete di canali e quindi sollevate verso la rete dei corsi d'acqua principali o verso le lagune attraverso una miriade di impianti idrovori gestiti

dai Consorzi di Bonifica. Soffermandosi solo sulla situazione del Veneto l'estensione di territorio al di sotto del l.m.m. supera i 100.000 Ha, tuttavia il controllo delle acque affidato agli impianti idrovori si estende su una superficie ben più ampia di quella strettamente sottostante il l.m.m. e che raggiunge circa 400.000 ha.

La continuità territoriale è altresì interrotta dalla presenza di numerose lagune, di estensione e profondità diverse, in genere formatesi sia per l'avanzamento verso mare dei fiumi presenti alle estremità (*attanagliamento*), sia per l'avanzamento del mare all'interno, nei tratti di maggior debolezza dei cordoni dunosi (bocche lagunari), sia infine per la combinazione di questi due processi. Il quadro attuale delle lagune, anch'esso frutto di secolari azioni della natura e dell'uomo e che si estendono per oltre 80.000 Ha, può essere schematizzabile come segue:

- lagune a marea diversamente regolate (Venezia, Marano Grado, ecc.);
- lagune chiuse all'espansione della marea, comunque debolmente alimentate anche dalle acque dolci di falda o da infiltrazioni (Comacchio, ecc.);
- lagune interrate e prosciugate e utilizzate per l'agricoltura (Laguna di Eraclea);
- lagune come le precedenti, ma restituite artificialmente all'acqua (sistemi di fitodepurazione).

Si tratta di sistemi di rilevante pregio ambientale e per questo sottoposte al particolare regime di tutela previsto da varie direttive europee (Habitat, Avifauna). Inoltre la loro tutela assume un carattere di estrema importanza anche per gli aspetti relativi alla tutela della qualità ecologica delle loro acque attraverso il Piano di Gestione previsto dalla Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE). Per quanto riguarda inoltre il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, previsto dalla collegata Direttiva 2007/60/CE, le lagune assumeranno quindi particolari e diversi significati e tutte queste realtà andranno censite, descritte e analizzate nel loro funzionamento idraulico ed ambientale.

Un ultimo, ma tutt'altro che secondario, aspetto che caratterizza la fascia costiera pianeggiante del Nord Adriatico è il fenomeno della subsidenza, naturale ed antropica, con tassi storici ed attuali assai differenziati da punto a punto in ragione della natura del sottosuolo, ma anche in ragione dell'intensità dell'attività di estrazione di acque sotterranee per diversi usi (sospese da più di 40 anni solo nell'immediato entroterra della Laguna di Venezia) o per estrazione di gas nel Delta del Po o al largo delle coste romagnole.

## 2. CONDIZIONI METEOMARINE

Come è noto, l'azione delle onde generate dal vento e le escursioni della marea sono, assieme alle correnti, le forzanti principali che regolano i processi morfodinamici che interessano i litorali e le lagune. I venti che caratterizzano le condizioni dell'Alto Adriatico sono quelli provenienti dai settori di ENE (Bora) e da SSE (Scirocco). I primi sono quelli che soffiano con maggiore forza e con più frequenza ma, rispetto ai litorali veneziani e al Delta del Po, insistono su un tratto di mare poco esteso, con un fetch mediamente di circa 100 km. I secondi invece, pur soffiando in genere con intensità meno elevate, risultano allineati con l'asse longitudinale dell'Adriatico e quindi scaricano la loro forza su un tratto di mare molto più lungo, pari a circa 800 km. Ne consegue che, in condizioni di particolare persistenza, i venti di Scirocco possono generare onde al largo dei litorali Nord Adriatici di altezza assai considerevole (Fig. 2).

Si stima che in occasione delle storiche mareggiate del 4 novembre 1966 e del 22 dicembre 1979, le onde al largo dei litorali di Lido e Pellestrina raggiunsero valori di altezza significativa (SWH) superiori ai 6 metri (*Cavaleri, 1999*). Per completezza bisogna aggiungere che per il Golfo di Trieste e per buona parte il litorale friulano compreso tra Grado e la foce dell'Isonzo, il moto ondoso generato dai venti dai quadranti di SSO (Libeccio) assume una qualche rilevanza in considerazione di un fetch di circa 150 km.

Misure puntuali di onde generate da vento (altezza massima, altezza significativa, direzione, periodo, ecc.) vengono eseguite in Alto Adriatico da vari soggetti. La serie di dati più importante è sicuramente quella ottenuta attraverso le osservazioni raccolte presso la Piattaforma Oceanografica CNR posizionata più di 40 anni fa a circa 8 miglia al largo del litorale veneziano (Fig. 3). Si tratta di una struttura metallica fissata su un fondale di circa 16 metri che ospita sistemi di monitoraggio di vari enti per l'acquisizione di parametri che coprono vari aspetti di interesse meteorologico, marino, biologico, ecc. Tra questi, merita di essere ricordato il sistema di misurazione di onde da vento gestito dallo stesso CNR ISMAR di Venezia operativo dal 1978 e che ha consentito di costruire una delle più lunghe serie di dati ondametrici direzionali.

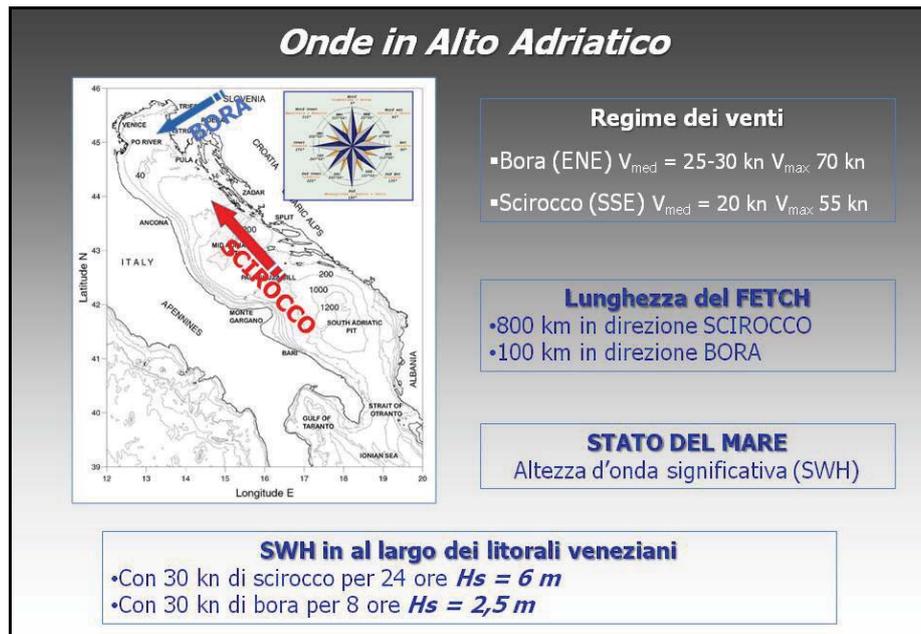


Fig. 2 - Sintesi dei caratteri meteo-marini del Mar Adriatico (Fonte: ISPRA).



Fig. 3 - Piattaforma Oceanografica CNR al largo dei litorali veneziani (Fonte: [www.ismar.cnr.it](http://www.ismar.cnr.it)).

Altri sistemi di misurazione puntuali di parametri d'onda da vento fanno invece ricorso all'impiego di boe oceanografiche come nel caso della Rete Ondametrica Nazionale gestita da ISPRA composta da 14 boe ormeggiate al largo dei mari italiani di cui 4 lungo l'Adriatico (Monopoli, Isole Tremiti, Ancona e Venezia). La rete, attivata nel 1992 con sole 8 boe, è stata nel corso degli anni ammodernata ed ampliata e sicuramente rappresenta il sistema più esteso per il monitoraggio, anche in tempo reale, di dati relativi ai mari italiani ([www.telemisura.it](http://www.telemisura.it)). Altre Boe ondametriche sono altresì presenti in Alto Adriatico posizionate in particolare al largo del litorale friulano ed all'interno del Golfo di Trieste. Si tratta di sistemi noti come *boe MAMBO*, messi in esercizio dalla Regione Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale della Protezione Civile in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale di Trieste (OGS). La copertura dei dati è mediamente dell'80% con una variabilità dipendente dall'epoca di varo di ciascuna boa e, naturalmente, dai periodi più o meno lunghi di temporaneo disservizio.

Un altro fattore importante che caratterizza la parte settentrionale dell'Adriatico è la marea che, a causa dei bassi fondali, della conformazione chiusa, stretta ed allungata del bacino, si presenta durante le sizige con escursioni intorno al metro, le più elevate di tutto il Mediterraneo assieme a quelle che si registrano nel Golfo di Gabes (Tunisia). Per contro, nella parte meridionale del bacino (Canale d'Otranto) la marea presenta escursioni più contenute nell'ordine dei 20-25 cm.

La propagazione dell'onda di marea in Adriatico avviene attorno ad un punto anfidromico, ove l'ampiezza della marea è nulla, situato a metà tra Ancona e Zara. Il flusso di marea entra dal Canale d'Otranto, percorre il Mar Adriatico in senso antiorario con una velocità di propagazione di circa 130 km/h, risale la costa dalmata in direzione Nord, lambisce l'Istria e prosegue verso Trieste. Successivamente ruota verso Ovest, passando per Grado, Lignano, Caorle e la costa veneziana, lambisce il Delta del Po, per poi tornare verso Ancona e completare il suo ciclo ad Otranto dopo circa 12 ore e 24 minuti (*Polli, 1961*), con il nuovo flusso di marea proveniente dal Mar Ionio. Questa rotazione, detta "anfidromia", deriva dalla composizione degli effetti di una oscillazione longitudinale della marea, con una oscillazione trasversale che si sviluppa nel mare a causa della rotazione terrestre.

Oltre che da fattori astronomici, le oscillazioni del livello della marea vengono influenzate da fattori meteorologici, tra i quali i più rilevanti sono le variazioni di pressione atmosferica e l'azione del vento. La pressione atmosferica è data dalla forza che le masse d'aria esercitano sulla superficie terrestre, la sua azione si estende anche sui mari e sugli oceani, comprimendoli in relazione alla sua intensità: a valori di bassa pressione corrispondono valori più elevati dei livelli marini e viceversa (effetto barometrico inverso). L'effetto del vento risulta invece più complesso in quanto dipende dalla sua forza, direzione, durata, nonché dalla forma e dall'estensione del bacino su cui insiste l'azione di trascinamento sulla superficie marina. In particolare, come conseguenza di tale fenomeno, lungo i litorali o i perimetri lagunari esposti all'azione del vento si possono osservare temporanei rialzi del livello (*wind-set-up*) che possono incidere sui processi morfodinamici o accrescere le sollecitazioni sulle difese costiere.

Nell'Adriatico settentrionale, i fattori meteorologici che scatenano le più violente mareggiate determinano anche temporanei sovrarzi della marea che possono superare anche di più di un metro le normali oscillazioni astronomiche. La componente meteorologica che più incide nel determinare variazioni mareali è costituita dal persistere di venti di Scirocco (dai settori di SE), in combinazione con il transito al di sotto dell'arco alpino di campi di bassa pressione di origine Nord Atlantica. Sono queste le condizioni tipiche che generano eventi di *alta marea eccezionale* che esaltano la potenza distruttiva delle mareggiate e determinano allagamenti nei centri abitati lagunari e costieri. Inoltre, in un bacino semichiuso caratterizzato da particolari caratteristiche morfologiche come l'Adriatico, al cessare dell'impulso meteorologico che causa il rialzo della marea nelle parti settentrionali, le condizioni di equilibrio con la restante parte del bacino si ripristina-

no solo dopo alcuni giorni di calma durante i quali si generano delle oscillazioni libere (sesse), tra i litorali Nord Adriatici ed il Canale d'Otranto, la cui ampiezza va via via smorzandosi. L'innesco di queste oscillazioni, la cui principale lungo l'asse NO-SE ha un periodo di circa 21 ore e 33 minuti (Polli, 1962), può causare nella parte a Nord il rialzo dei livelli di marea di entità anche considerevoli se il picco massimo della sessa si trova in fase con il massimo di marea astronomica.

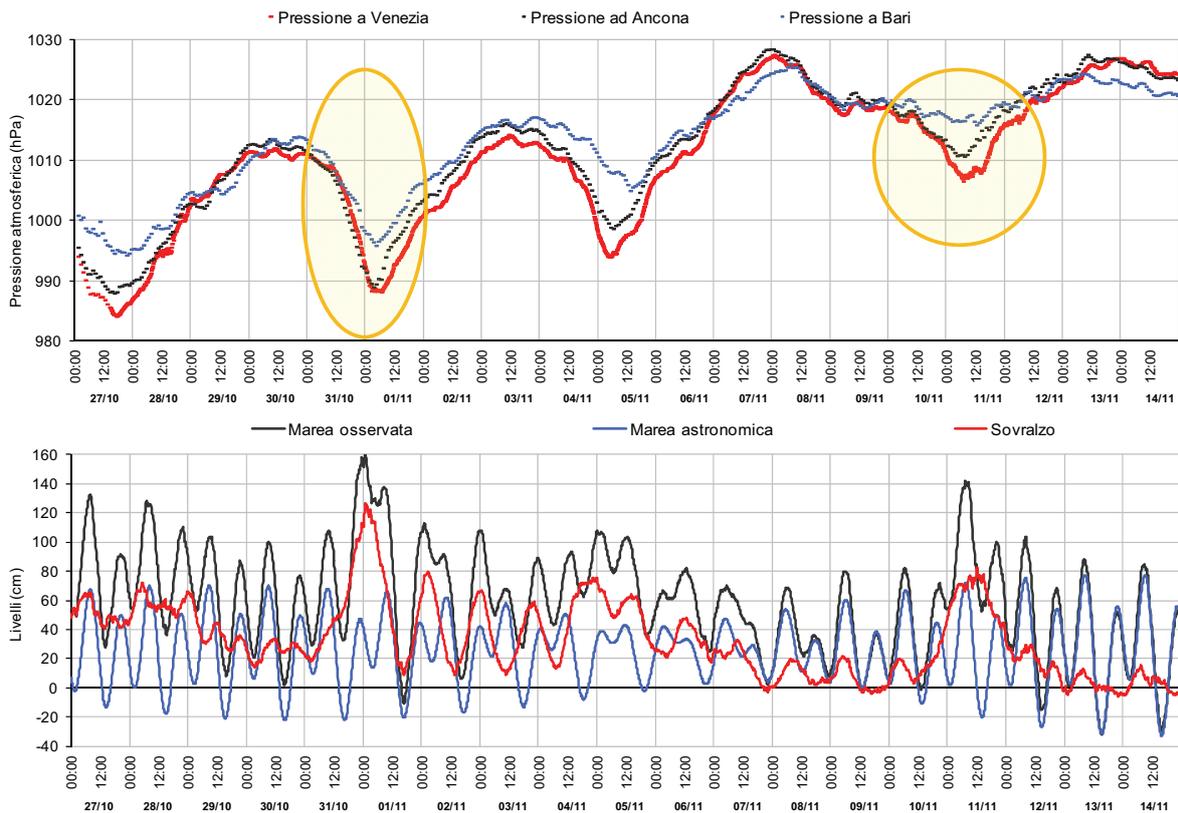
Tra la fine del mese di ottobre e la prima decade di novembre 2012, i litorali Nord Adriatici sono stati interessati da una serie di ripetute violente mareggiate sostenute anche da persistenti condizioni di alta marea eccezionale. Diffusi sono stati i fenomeni erosivi lungo le spiagge con notevoli quantità di sabbia trascinata dalle onde verso il largo e necessità di successiva pulizia e ripristino degli arenili (Fig. 4).



**Fig. 4** - Venezia litorale degli Alberoni. Esiti della mareggiata del 1 novembre 2012 con interessamento della prima linea del cordone dunale (Fonte: [www.venezialberoni.com](http://www.venezialberoni.com)).

I grafici di Fig. 5 danno un'idea della correlazione tra l'abbassamento della pressione atmosferica e il fenomeno di rialzo della marea registrato presso la stazione mareografica posizionata sulla Piattaforma Oceanografica CNR a circa 8 miglia al largo del litorale veneziano. La parte superiore del grafico rappresenta infatti l'andamento della pressione registrata lungo la costa Adriatica presso le stazioni di Venezia, Ancona e Bari evidenziando una successione di impulsi barici a distanza di pochi giorni l'una dall'altro. Particolarmente significativo è risultato quello osservato la notte tra il 31 ottobre e il 1 novembre, con un abbassamento di ben 21 hPa in meno di 20 ore determinando, anche con la complicità del vento di Scirocco nella parte centro meridionale dell'Adriatico, un sovrizzo di quasi 130 cm intorno a mezzanotte. Il livello massimo complessivo della marea, rappresentato dalla linea nera nel grafico in basso della figura, è risultato di 160 cm sopra lo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS), lievemente anticipato rispetto alla condizione di massimo sovrizzo (linea rossa).

Altri due impulsi sono seguiti a quello del 31 ottobre, di cui il più significativo è risultato quello del 12 novembre ove la condizione di massimo sovrizzo di circa 80 cm (linea rossa) è coincisa pressappoco con la condizione di massimo astronomico della marea (linea blu) prossima alla condizione di sizigia, dando luogo ad una punta massima di circa 140 cm sullo ZMPS.



**Fig. 5** - Eventi di alta marea eccezionale in Alto Adriatico registrati tra la fine del mese di ottobre e la prima metà del mese di novembre 2012 (Fonte: dati ed elaborazioni ISPRA).

Molto si discute oggi sui possibili effetti dei cambiamenti climatici sui processi meteo-marini che influenzano le aree costiere. Per quanto riguarda il Nord Adriatico sono interessanti i risultati emersi dal Progetto Europeo FP7 denominato THESEUS ([www.theseusproject.eu](http://www.theseusproject.eu)) riguardante il litorale romagnolo ove sono stati investigati gli scenari di inondazione conseguenti a possibili cambiamenti climatici e innalzamento del livello marino. L'analisi è stata condotta partendo dai data set meteorologici ottenuti da un downscaling regionale di un modello climatico globale (scenario A1B) includendo il periodo di controllo 1960-1990. Le proiezioni per lo scenario 2070-2100 sono state utilizzate per costruire le forzanti di 2 modelli idrodinamici applicati sul Mare Adriatico, con dettaglio sull'area costiera settentrionale, per la ricostruzione della proiezione dei livelli e delle onde (SHYFEM e WWM). Le conclusioni dello studio sono state le seguenti:

- i cambiamenti nella statistica della velocità e direzione del vento, nell'arco dei prossimi 100 anni, saranno minimi;
- durante il secolo corrente l'evento di mareggiata dovuto alla meteorologia (*storm surge*) tenderà ad aumentare nella sua entità massima mentre l'altezza d'onda sembra diminuire.

Per quanto riguarda il Nord Adriatico, tutto sarà strettamente legato al cambiamento globale. Ci saranno differenze regionali e locali nell'innalzamento dei mari ma non è pensabile che l'evoluzione globale degli oceani non abbia riflessi nel Nord Adriatico. Il futuro dipenderà quindi in modo cruciale dall'innalzamento del livello marino. Pur essendovi altri temi molto importanti (sedimenti, biodiversità, moto ondoso), il punto centrale sarà proprio la crescita del livello marino e la sua stima appropriata aiuterà a definire gli scenari futuri (Umgiesser, 2012).

Sulla base degli sviluppi ottenuti, nell'ambito dello stesso progetto THESEUS è stato studiato in particolare il caso applicativo di vulnerabilità costiera lungo un tratto del litorale romagnolo in

corrispondenza della Città di Cesenatico ove, come in molte località dell'Alto Adriatico, il fattore predominante legato al rischio di allagamento è la marea e, nella prospettiva degli effetti delineati dal cambiamento climatico, il parametro d'inondazione più rilevante resta sempre il livello d'acqua dovuto a *storm surge*. Tale rischio diviene ancor più evidente nelle zone in cui la subsidenza ha modificato (negativamente) l'equilibrio dinamico che si era creato nel tempo. In merito alla pericolosità è stato evidenziato che l'alluvione avviene in tempi così rapidi da non consentire piani di evacuazione preventiva. Inoltre le velocità della corrente durante l'allagamento risultano generalmente modeste, (inferiori a 0,6 m/s) e sono evidentemente condizionate dalle linee difensive costiere (Ruol, 2012).

### 3. LA LAGUNA DI MARANO E GRADO

#### 3.1 Morfologia e caratteristiche idrografiche

La Laguna di Marano e Grado è un ambiente di transizione compreso tra la bassa pianura friulana ed il Mare Adriatico. Essa è delimitata ad Est dalla foce lagunare di Primero e ad Ovest dalla foce del Tagliamento e si sviluppa lungo un arco di circa 32 km per una larghezza media di 5 km. L'estensione della sua superficie, di 160 km<sup>2</sup>, la colloca al secondo posto per importanza, dopo quella di Venezia, fra le lagune del nostro Paese. Essa comunica con il Mare Adriatico attraverso sei bocche, Lignano, S. Andrea, Porto Buso, Morgo, Grado e Primero che interrompono il naturale cordone litoraneo. Ad eccezione della bocca di Morgo, ciascuna delle altre 5 bocche sottende porzioni di bacino lagunare di un certo rilievo (Fig. 6).

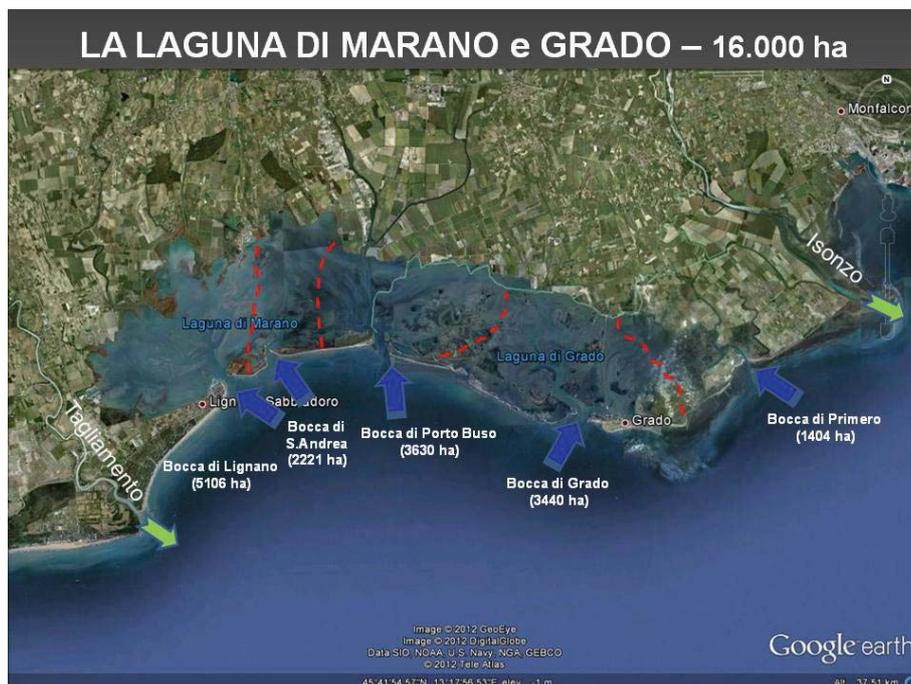


Fig. 6 - La Laguna di Marano-Grado e le sue foci (Fonte: elaborazioni ISPRA su immagine GoogleEarth).

La genesi delle due parti, quella occidentale di Marano e quella orientale di Grado, è dominata da distinte fenomenologie sviluppatesi in epoche diverse che riguardano da un lato l'evoluzione morfologica della foce del Tagliamento e dall'altro i processi di trasformazione della pianura alluvionale dominata dalle divagazioni dei tratti planiziali dei fiumi Isonzo, Torre e Natisone. L'attuale configurazione della parte Ovest, quella di Marano, è il risultato della concomitanza di alcuni fattori quali l'innalzamento del livello medio del mare, la subsidenza della pianura prospri-

ciente, l'apporto di sedimento da parte del Tagliamento e il conseguente avanzamento verso mare del suo delta con conseguente separazione di un originario complesso lagunare che si estendeva ad Ovest fino alla foce del Livenza (la Laguna di Caorle). La Laguna di Marano si presenta come uno specchio d'acqua poco profondo (circa 1 m) attraversato da alcuni canali che dalle bocche Lignano, S. Andrea e Porto Buso mettono in comunicazione con il mare le foci endolagunari di alcuni fiumi, in gran parte di risorgiva, che attraversano la pianura Friulana quali lo Stella, il Turgnano, il Cormor, il Corno (Marocco *et al.*, 1996).

La parte orientale, cosiddetta Laguna di Grado, ha una evoluzione più recente e rappresenta il più giovane complesso lagunare nell'area Nord Adriatica. Circa 4.500 anni fa l'area era caratterizzata da un grande apparato deltizio quando i complessi lagunari più occidentali risultavano già formati. Tale circostanza è testimoniata da numerose campagne geognostiche che indicano come i terreni delle isole interne alla laguna facciano parte dei depositi alluvionali del complesso isontino. Il Natisone, oggi affluente del Torre e quest'ultimo dell'Isonzo, sino alla metà del V secolo d.c. scorreva sotto le mura di Aquileia e sboccava in mare in prossimità dell'abitato di Grado con un percorso indipendente dalle foce dell'Isonzo posizionata più ad Est in un'ampia zona paludosa esposta all'ingressione marina. La formazione sostanzialmente recente della laguna è testimoniata anche dalle tracce di fauna lagunare risalenti a circa 1.200 anni fa, dal ridotto spessore dei depositi lagunari, dall'elevata superficie barenicola e dalla testimonianza di numerose strutture di epoca Romana presenti nei fondali lagunari (Dorigo, 1965; Marocco, 2004). La profondità media dello specchio lagunare gradese è lievemente più bassa rispetto a quella della Laguna di Marano con un reticolo di canali più articolato grazie ad una maggiore estensione delle aree emerse. I caratteri di propagazione della marea sono invece praticamente uniformi per le due parti della laguna. Le registrazioni mareografiche mostrano infatti che l'onda di marea si propaga dalle bocche lagunari verso le estremità del reticolo di canali con un ritardo di circa 40 minuti. L'ampiezza della marea di sizigia, da poco più di 1 m alle bocche, si attenua a circa 80 cm in prossimità dei tratti terminali del reticolo di canali (Dorigo, 1965; Ferla *et al.*, 2008).

La campagne delle misure di corrente eseguite negli anni '50 e '60 del secolo scorso, in occasione della stesura della prima carta idrografica della laguna, rappresenta la prima indagine completa sugli aspetti relativi all'efficienza idraulica delle bocche lagunari. L'elaborazione di queste misure, e le registrazioni delle escursioni della marea, hanno fornito le prime stime dirette su portate e volumi scambiati dalla laguna con il mare attraverso le 6 bocche di Lignano, S. Andrea, Porto Buso, Morgo, Grado e Primero. Il risultato fu che, a metà del secolo scorso, la laguna scambiava con il mare poco meno di 110 milioni di metri cubi durante un ciclo completo di marea. Le bocche più attive risultò essere quella di Lignano con un volume scambiato, in media tra le fasi di flusso e quelle di riflusso, di poco più di  $40 \times 10^6 \text{ m}^3$  pari a circa il doppio di quello scambiato dalla bocca di Grado. Anche la bocca di Porto Buso risultava più attiva di quella di Grado con circa  $27 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Più modesti i volumi in transito alle altre bocche di Primero ( $6,0 / 7,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), di Morgo ( $1,7 / 1,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) e S. Andrea ( $9,7 / 11,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Di un certo interesse risultarono anche i valori massimi di velocità puntuale variabili dai poco più di 1,2 m/s rilevati alla bocca di Lignano ai 1,1 m/s a quella di S. Andrea, entrambi con escursione di marea di 109 cm. Più contenuti i valori rilevati per Porto Buso pari a 1,0 m/s e per Grado 1,0 m/s con escursione di marea di circa 102 cm. Significativo il valore di 1,16 m/s alla bocca di Morgo con escursione di marea di 110 cm. Il valore meno elevato risultò di 0,82 m/s rilevato alla bocca di Primero con escursione di marea di 109 cm (Dorigo *op.cit.*).

Misure di velocità e di portata più recenti furono eseguite nel 2006 a cura dell'Autorità di Bacino Regionale del Friuli V.G. ponendo in luce una nuova stima del volume scambiato dalla Laguna di Marano Grado con il Mare Adriatico nel corso di un ciclo di marea con escursione di 1 metro. La nuova stima che viene proposta è di un volume complessivo circa  $125 \times 10^6 \text{ m}^3$ , che quindi appare aumentato rispetto alle stime degli anni '50 e '60 del secolo scorso. Ciò è stato messo in

relazione alla probabile riduzione dell'apporto di acque dolci dai fiumi di risorgiva che sfociano nella laguna. Con esclusione della bocca di Morgo, non considerata nel corso dei rilievi del 2006, le nuove misurazioni hanno evidenziato un aumento dell'influenza della bocca di Porto Buso sul volume totale scambiato, passando da un 27% del secolo scorso all'attuale 35%. Ciò è confermato, in termini assoluti, anche dai valori di volume stimato passato dai  $25 \times 10^6 \text{ m}^3$  degli anni '50 ai  $40 \times 10^6 \text{ m}^3$  del 2006. Tale circostanza è da porre in relazione agli interventi realizzati negli ultimi 50 anni in questa porzione di bacino lagunare con la realizzazione dei moli guardiani per assicurare maggiore pescaggio per la navigazione lungo la bocca, l'escavazione e la rettifica del tracciato del tratto lagunare del canale Aussa-Corno di accesso alla zona industriale (1970) e lo scavo di un nuovo canale per il collegamento tra la città di Marano Lagunare e Porto Buso. Si tratta di trasformazioni che hanno pesantemente inciso sull'equilibrio lagunare con uno spostamento verso Ovest del partiacque tra i bacini di Porto Buso e S. Andrea.

Di converso, si registra una minore incidenza del contributo della bocca di Lignano che passa da un 44% ad un più recente 35% sul volume totale. In termini assoluti la porzione di volume scambiato è tuttavia rimasta sostanzialmente immutata rispetto agli anni '50, nonostante i numerosi interventi di scavo di nuovi canali che hanno modificato l'assetto del reticolo idrografico. Vi è comunque da osservare una riduzione della sezione della foce lagunare, passata dai circa  $3.900 \text{ m}^2$  degli anni '50 e '60 a  $2.400 \text{ m}^2$  del 2006. La larghezza stessa della foce è passata dai circa 500 m della metà del secolo scorso ai circa 300 m del 2006 con uno spostamento verso Est dell'asse della bocca.

Sostanzialmente invariati appaiono invece i contributi della bocca di Grado e di Primero sia in termini assoluti che percentuali. Tuttavia, per la bocca di Grado le misure del 2006 evidenziano un certo incremento delle velocità e una riduzione delle escursioni di marea. Ciò probabilmente è da porre in relazione alle principali trasformazioni subite dopo gli anni '50 dal bacino lagunare sotteso alla bocca ove si sono osservate riduzioni delle superfici emerse e la dismissione di alcune valli da pesca con conseguente aumento delle superfici aperte alla libera espansione della marea. Queste considerazioni sull'aumento stimato dei volumi scambiati alle bocche portano ad una indicazione di maggiore vivacità idrodinamica confermata anche da una riduzione delle durate dei cicli di ricambio idrico almeno per le zone più prossime alle bocche. Le misure del 2006, estese anche alle foci endolagunari dei fiumi di risorgiva, hanno evidenziato anche una contemporanea riduzione dei contributi di acqua dolce correlabile alla riduzione dei livelli della falda freatica in tutta la bassa pianura Friulana. Ciò potrebbe comportare un aumento della salinità delle acque lagunari con conseguenze indesiderate sulla flora e sulla fauna (*Ret, 2006*).

Altri importanti parametri che concorrono a definire i caratteri del bacino lagunare sono quelli proposti dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque negli anni '60 relativi alla suddivisione delle superfici della sola Laguna di Grado esposte alla libera espansione di marea in zone parziali sulla base dell'altimetria delle zone emerse e/o sommergibili e della batimetria di quelle sommerse. Si tratta nel complesso di  $7.603,6 \text{ Ha}$ , pari all'86,4% della superficie totale della sola Laguna di Grado ( $8.804,0 \text{ Ha}$ ) ed al netto dei circa  $1.200 \text{ Ha}$  occupati da valli da pesca. Sulla base delle predette valutazioni le zone emerse (isole) si estendevano per  $235,6 \text{ Ha}$  (2,7%), mentre le barene, intese come zone, sommergibili solo durante le maree di sizigia, le cui quote sono comprese tra i 25 cm e i 50 cm sopra il l.m.m., si estendevano per poco più di  $89 \text{ Ha}$  pari ad appena l'1,0% della superficie del bacino lagunare di gradese<sup>31</sup>. Le zone comprese tra +25 cm e -25 cm rispetto al l.m.m. ammontavano a  $3.218,7 \text{ Ha}$  (36,5%), il basso fondale compreso tra -25 cm e -50 cm sotto il l.m.m. ammontava a  $1.678,4 \text{ Ha}$  (19,1%) e infine ghebi e canali, sotto i -50 cm rispetto al l.m.m., occupavano  $2.381,6 \text{ Ha}$  pari al 27,1% del bacino gradese (*Dorigo, op. cit.*).

<sup>31</sup> Con termine di *barena* si indicano generalmente tutta una serie di superfici naturali di differente morfologia, al di sopra del livello medio di marea contraddistinte da una fitta vegetazione alofita di tipo *Salicornietum* e *Spartinetum* (Gatto et al., 1992).

Storicamente non si dispongono di analoghe informazioni organicamente raccolte sui caratteri morfologici relativi alla parte occidentale e cioè alla cosiddetta Laguna di Marano. Tuttavia, recenti studi condotti dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste hanno consentito di acquisire elementi utili per delineare il processo di trasformazione subito nell'ultimo sessantennio dalle superfici a barena in questa porzione di bacino lagunare. Analisi di tipo aerofotogrammetrico, assistite con l'uso di GIS, hanno evidenziato, per il 2007, superfici a barena estese per complessivi 498,43 Ha localizzate soprattutto lungo il margine interno della laguna con alcune protrusioni verso l'interno del bacino. Le barene poste al margine della laguna costituiscono una frangia pressoché continua lungo il margine di conterminazione lagunare, con ampiezza estremamente variabile e con morfologia e vegetazione che si discosta da quella classica delle barene. Una ulteriore area a barena è quella posta sul lato Nord dell'Isola di Martignano che, pur risultando in origine abbastanza estesa e ben conformata, ha subito una forte riduzione nel corso degli ultimi decenni.

Nel complesso vi è da dire che l'estensione delle superfici a barena nella Laguna di Marano ha subito negli ultimi 50 anni variazioni significative in ragione di una combinazione di cause naturali ed antropiche. Dall'analisi effettuata sulle levate aeree del 1954 e 1990 si è infatti constatato un iniziale incremento delle superfici di barena pari a 38,47 ha. Questo dato risulta alquanto singolare se si considera anche l'alto tasso di subsidenza che sembra interessare questa zona, valutato con un valore medio annuo di 1,0 cm/anno. Ciò induce a ritenere che le perdite verticali sarebbero compensate dall'apporto e dall'espansione laterale di materiale. Le aree lagunari ad Ovest di Marano sembrano essere state quelle ove, nel periodo 1954-1990, si sia registrata la maggior crescita in termini di superficie barenicola probabilmente a causa degli apporti sedimentari provenienti dal fiume Stella e in misura minore di quelli relativi al fiume Cormor. Nello stesso tempo è necessario evidenziare come, nello stesso periodo, circa 11,7 Ha di barene siano stati cancellati da interventi antropici diretti.

Tra il 1990 e il 2007 si assiste invece ad un'inversione della tendenza con una riduzione areale delle barene del 5,3 % passando da 526,1 a 498,4 Ha. Osservando nel dettaglio la riduzione di superficie è stata attribuita a due fenomeni distinti. Da un lato buona parte della perdita, per 17,8 Ha su 27,7, è dovuta ad interventi antropici e si trova concentrata sull'Isola di Martignano, per la costruzione di strutture per l'acquacoltura e l'allevamento di bivalvi. L'altro intervento è costituito dall'eliminazione di una barena di circa 4 Ha che ora si trova inglobata nella cassa di colmata nei pressi del porto di Marano. Dall'altro lato si rilevano anche importanti fenomeni erosivi, in parte bilanciati da alcune zone ripascitive, localizzati su barene di margine canale, ad esempio il canale di Marano, in cui il traffico di natanti è consistente. In altri casi i fenomeni erosivi sembrano legati a moto ondoso naturale come attesta l'esposizione a Bora di questi particolari siti come le barene a Nord della darsena di Aprilia Marittima. Diverso è il caso del lato Nord dell'Isola di Martignano ove la riduzione di superficie di è riferita ad un probabile annegamento. L'analisi puramente visiva delle foto aeree avrebbe infatti evidenziato una regressione della vegetazione ed una conversione da barena a velma che solo un'analisi diretta del sito potrebbe chiarirne meglio la dinamica specifica (*Fontolan et al., 2010*).

Un aggiornamento organico delle caratteristiche delle superfici che compongono il bacino lagunare è oggi auspicabile grazie ai dati disponibili dopo la rilevazione integrale delle batimetrie eseguita nel 2011 dalla disciolta Autorità di Bacino Regionale i cui compiti sono stati rilevati direttamente dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

### **3.2 Caratteri antropici: valli da pesca, l'area industriale, il turismo**

La Laguna di Marano-Grado, come oggi si presenta, è il risultato di un complesso rapporto tra uomo e ambiente. L'indagine storica, ed in particolare quella supportata da cartografia, porta a

ritenere che, fino alla prima metà dell'800, l'influenza antropica sia stata pressoché ininfluenza. Le fonti più antiche riferiscono che il controllo esercitato la Serenissima rimase pressoché ininterrotto a partire dalla prima metà del '400. Ciò è testimoniato da un'accurata rete di canali interni realizzata dai veneziani per il controllo dell'area attraverso vie di navigazione che mettevano in comunicazione il Tagliamento e l'Isonzo. Terrapieni di fango, denominate "motte", erano i luoghi sui cui le poco numerose popolazioni locali, dedite alla caccia e alla pesca, realizzavano modeste abitazioni denominate "casoni". Queste tipologie abitative oggi sono entrate a far parte delle tradizioni e della cultura della Laguna di Grado, spesso convertite ad uso turistico-alberghiero (Fig. 7).



**Fig. 7** - Casoni nella Laguna di Marano-Grado (Fonte: [www.settemuse.it](http://www.settemuse.it)).

L'attività di pesca è senz'altro fra le quelle praticate sin dai tempi dei primi insediamenti. Una svolta tuttavia la si registra nella prima metà dell'800 quando prende corpo, anche nella Laguna di Marano-Grado, la pratica dell'allevamento ittico in valle con conseguente riflesso sull'utilizzazione degli spazi lagunari. La pratica della vallicoltura prevedeva la delimitazione dello spazio acqueo con opere che col passare del tempo hanno acquisito il carattere di stabilità con arginature fisse elevate fino ai 2-3 m sopra il l.m.m. e il controllo dei flussi di marea attraverso apposite aperture presidiate da chiaviche azionate in ragione delle esigenze della produzione. Un primo censimento, proposto a metà del secolo scorso da parte dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, dava per la sola parte orientale, quella di Grado, un'indicazione di poco più di 1.200 Ha pari a circa il 16% della superficie lagunare. Le valli risultavano in massima parte concentrate nel bacino di Primero con 547 Ha, cui seguiva quello di Grado con 317 Ha, quello di Porto Buso con 243 Ha e infine quello di Morgo con 95 Ha (*Dorigo, op. cit.*). Sostanzialmente immutata appariva la situazione censita dal Comune di Grado sul finire degli anni '80 del secolo scorso ma con una maggiore incidenza nel bacino di Porto Buso ove la superficie di valle censita raggiungeva i 444 Ha mentre in quello di Grado scendeva a poco più di 200 Ha. Ciò è stato dovuto a vari fattori quali ad esempio la costruzione della Valle Noghera (220 Ha) nel bacino di Porto Buso e la perdita di spazi vallivi a favore di un'esplosiva espansione urbanistica nell'area gradese (*Gatto et al., 1992*). Tradizionalmente meno diffusa è la pratica delle valli da pesca nella Laguna di Marano con una superficie complessiva attualmente stimata intorno ai 300 Ha (*Cosolo et al., 2006*). L'insediamento delle valli da pesca non è tuttavia l'unico esempio di intervento antropico che storicamente ha esercitato una rilevante pressione sull'ambiente lagunare. Numerose

sono infatti le opere realizzate, durante quasi tutto il '900, ed in particolare la bonifica dei territori perilagunari con sottrazione di circa il 30% del sistema lagunare gradese. Altri aspetti importanti sono la delimitazione della conterminazione lagunare verso la pianura friulana con argini in pietra a coronamento dell'opera di bonifica, la realizzazione delle dighe foranee al porto di Grado (1927-1934), la costruzione dei moli guardiani a Porto Buso (1964-1969), il collegamento viario Belvedere-Grado cosiddetta *Strada Mosconi* (1901-1910), la realizzazione del tronco terminale della linea navigabile Litoranea Veneta. Un elemento di forte pressione sulla laguna è scaturito, nel secondo dopoguerra, dallo sviluppo di aree industriali nell'immediato entroterra con conseguenze assai gravi per la qualità delle acque e dei sedimenti lagunari. Dal 2001 la parte centrale della laguna, assieme alla parte centrale della bassa pianura friulana, sono state inserite tra i siti di bonifica di interesse nazionale a causa del grave stato di inquinamento dei sedimenti depositati sui fondali dei canali ed in particolare allo stato di contaminazione causato da sversamenti di mercurio dovuto alla produzione di cellulosa nello stabilimento di Torviscosa. L'inquinamento da mercurio nelle acque, iniziato nel 1949, ha cominciato ad attenuarsi solo dopo il 1970 e solo dopo il 1984 sono stati adottati efficienti sistemi di recupero per azzerarne il rilascio. Si stima che lo sversamento complessivo di mercurio in laguna sia stato dell'ordine dei 184.000 kg con una concentrazione in sedimento di circa 11 g/m<sup>2</sup>. In considerazione dell'elevata neurotossicità di tale elemento, anche a basse dosi nella catena alimentare, si può affermare che la Laguna di Marano-Grado è un'area ad elevata pericolosità sanitaria ed ambientale e gran parte delle sue acque sono precluse all'attività di molluschicoltura (Cicuttini, 2010).

La particolare condizione di degrado ambientale nella Laguna di Marano-Grado è stata oggetto, nel 2002, di un intervento del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile con la dichiarazione dello stato di emergenza e la nomina di un Commissario Straordinario *ad acta*. L'attività Commissariale, conclusasi nel dicembre 2012, è stata orientata a dare corpo alle necessarie operazioni di dragaggio dei canali con l'individuazione di appositi siti per il collocamento in sicurezza dei fanghi. Un'attività assai complessa che, purtroppo, ha avuto anche risvolti giudiziari tuttora in corso.

Ulteriori elementi di crisi si sono registrati, negli ultimi anni, nel settore della vallicoltura per una molteplicità di cause quali lo scadimento della qualità delle acque all'interno della valli per promiscuità tra acque meteoriche e acque salate, la deossigenazione a causa di fenomeni eutrofizzazione, la presenza di parassiti dovuta alla differente salinità, la cattiva circolazione delle acque lagunari e il loro debole ricambio per il progressivo interrimento dei canali. Anche il settore agricolo ha purtroppo giocato un ruolo negativo con l'introduzione delle monoculture, la chimizzazione dei trattamenti colturali, l'adozione di una produzione intensiva non sostenibile, e la progressiva eliminazione di boschetti, siepi e zone erbose con riduzione dell'habitat tipico delle zone umide ad elementi isolati troppo esigui per fare sistema tra loro. Un ulteriore elemento di pressione di origina agricola è l'inquinamento delle acque da nitrati. Ciò, nel 2008, ha indotto la Regione Friuli V.G. a dichiarare il bacino scolante in Laguna di Marano-Grado zona vulnerabile ai sensi delle Direttiva Europea 91/676/CE. Il Piano di Gestione delle Acque del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (PDG-AO), adottato nel febbraio del 2010, ha quindi classificato i relativi corpi idrici del bacino scolante a rischio rispetto agli obiettivi di qualità fissati dalla Direttiva 2000/60/CE e dal D.Lgs 152/2006. Lo stesso PDG-AO ha tuttavia classificato come buono lo stato ecologico dei corpi idrici lagunari individuandone 4 come *fortemente modificati*, rappresentati dalla Riserva Naturale Regionale della Val Cavanata (FM1), dalle aree lagunari delimitate dal ponte di Belvedere che collega la cittadina di Grado ad Aquileia, che hanno subito una consistente modificazione del regime idrologico a causa della costruzione del ponte e che comprendono alcune valli da pesca (FM2 e FM3) e dalla porzione di bacino lagunare tra la bocca di Grado e quella di Porto Buso indicata come corpo idrico FM4 delimitato da valli da pesca e da terre emerse (Fig. 8).



**Fig. 8** - Suddivisione dei tipi in corpi idrici nella Laguna di Marano-Grado (Fonte: PDG-AO, [www.alpiorientali.it](http://www.alpiorientali.it)).

Un cenno infine alle pressioni sull'ambiente lagunare dovute allo sviluppo delle attività turistiche, con una massiccia espansione urbanistica concentrata soprattutto sul litorale in corrispondenza delle cittadine di Grado e Lignano, e l'insediamento di numerosi porti turistici a favore della nautica da diporto.

### 3.3 Il rischio di inondazione dell'area circumlagunare e lo stato del litorale

A partire dai primi del '900, e fino alla fine della seconda guerra mondiale, l'area lagunare venne interessata da una lunga serie di opere di bonifica per preservare dall'allagamento le aree poste al di sotto del livello del mare, sconvolgendo a volte la preesistente idrografia. Lungo il margine interno della laguna, la fascia bonificata si estende in media su una larghezza di 2 km nella parte occidentale e centrale, e per oltre 5 km nella parte orientale. L'opera di bonifica intrapresa dal *Consorzio per la Trasformazione Fondiaria della Bassa Friulana* comportò, nel caso di terreni con quote negative, la realizzazione di una fitta rete di canali a servizio di una moltitudine di impianti idrovori nonché la costruzione di protezioni arginali per difendere le aree bonificate dal rischio di ingressione delle acque lagunari in occasione di eventi di alta marea eccezionale. Le prime arginature, costituite esclusivamente da terra, si dimostrarono insufficienti in occasione dell'eccezionale evento del 4 novembre del 1966, nel corso del quale per il concomitante effetto delle piogge e dell'elevato livello della marea, si formarono numerose rotte lungo buona parte degli argini fluviali e di margine lagunare. La violenza della mareggiata provocò numerosi sfondamenti del cordone litoraneo e il cedimento delle difese costiere. L'acqua salmastra penetrò per oltre 1 km nel retroterra del cratere lagunare mescolandosi con le acque di esondazione fluviale generando massicci e persistenti allagamenti di tutto il circondario perilagunare, ove le acque ristagnarono per molti giorni in conseguenza dell'inevitabile entrata in crisi del sistema di drenaggio meccanico.

A seguito di questa inondazione di origine marina, che oltre ad interessare le cittadine di Grado e Lignano sul litorale interessò anche l'abitato di Marano Lagunare in prossimità del contermine occidentale della laguna, si rese necessario un poderoso intervento, durato circa un decennio (1968-1976), di ripristino e rialzo degli argini per circa 65 km di gronda lagunare e per oltre 100 km di sponda fluviale. Per quanto riguarda i tratti arginali posti a difesa dalle acque lagunari e

dei tratti di litorale direttamente esposti all'azione del moto ondoso, l'elemento comune era rappresentato dalla quota di sommità posta a 3,00 m sopra il l.m.m. e dalla protezione con pietrame della scarpata contro laguna o verso mare. Il materiale utilizzato per il rialzo ed il rinforzo di questi corpi arginali venne prelevato in situ utilizzando depositi di sedimento ed in minima parte con prelievi da cave di prestito. La maggior parte dei rilevati è quindi formata con materiale pelitico-torboso escavato in laguna in prossimità dell'argine con notevoli contenuti d'acqua (70%) e modeste proprietà geotecniche. È stato inoltre sottolineato che in nessun tratto arginale è stato previsto l'impiego di dispositivi di protezione contro le filtrazioni.

La questione della funzionalità di queste opere di difesa passiva è stata oggetto di diverse e ripetute valutazioni già a partire dagli anni immediatamente successivi al loro completamento. In linea teorica, la quota di 3 m della sommità arginale assicurerebbe un certo margine di sicurezza rispetto ai più severi eventi di alta marea eccezionale sinora registrati. Va tuttavia tenuto in considerazione che, per effetto della subsidenza e dell'innalzamento del l.m.m., i tempi di ritorno associabili ai predetti eventi tenderanno a ridursi e di conseguenza tenderà a diminuire il margine di sicurezza garantito della predetta quota arginale.

D'altra parte, l'esperienza e le considerazioni sulla natura argillosa dei materiali impiegati e sulle caratteristiche costruttive stesse delle sezioni arginali, inducono ancora una maggiore attenzione. La compattazione stessa dei materiali ha modificato nel tempo l'assetto iniziale per cui gran parte delle sommità arginali risultano oggi a quote inferiori a quella dei 3 m. Cedimenti ed erosioni, che hanno avuto come conseguenze esondazioni ed invasione di acqua marina, si sono ripetuti nel corso degli eccezionali eventi del dicembre 1979 e dell'ottobre 1980. Sebbene le situazioni critiche registrate in queste occasioni non abbiano raggiunto le condizioni estreme dell'evento del 4 novembre 1966, molte delle situazioni critiche si sono verificate negli stessi punti in cui si verificarono in occasione di quel memorabile evento. Tale circostanza, insieme alla coincidenza dei punti di rotta con le posizioni dei plaeoalvei, portano a ritenere che le cause di instabilità dei rilevati siano da ricercarsi nei fenomeni di sifonamento che si innescano alla base del corpo arginale e quindi le aree allagate nel 1966 sono da ritenersi ancora soggette a quel tipo di pericolosità (*Marocco et, al., op. cit.*).

Un recente studio della Protezione Civile della Regione Friuli V.G., basato sulla ricognizioni integrale delle quote degli argini di conterminazione lagunare, ha consentito di individuare e classificare le varie situazioni di criticità oggi presenti. Questo studio rappresenta un elemento di sicuro interesse per la redazione della mappe della pericolosità e del rischio, e quindi per il Piano di Gestione del Rischio alluvioni che, in base alla Direttiva 2007/60, dovrà essere adottato entro il 2015.

Sempre in tema di valutazione del rischio da inondazioni marine bisognerà inoltre tener conto delle condizioni stesse del litorale tra Tagliamento ed Isonzo separa la laguna dal mare esposto all'azione delle mareggiate provenienti dai settori di Libeccio (SW) e di Scirocco (SE). In particolare il settore più occidentale del litorale (Lignano, Isola di Martignano, Isola di S. Andrea) risente maggiormente della mareggiate da Scirocco che, nella parte più orientale, arrivano leggermente attenuate e ruotate da (S-SSE) per effetto della rifrazione dovuta alla penisola Istriana.

In generale, buona parte del litorale risulta sottoposto a fenomeni erosivi a tratti intensi. Le opere di difesa costiera, laddove esistenti, hanno dimostrato più volte di essere insufficienti per contenere le mareggiate con tempi di ritorno non particolarmente elevati (30-40 anni). Un'analisi puntuale e completa sullo stato del litorale Friulano venne proposta nel 1987 da Brambati nell'ambito di uno studio commissionato dalla Regione Autonoma Friuli V.G. finalizzato a definire ipotesi di intervento per il recupero ambientale e la valorizzazione della fascia costiera (*Brambati, 1987*). Vale la pena richiamare le principali indicazioni emerse da tale studio in gran parte ancora valide in quanto basate, in larga misura, da analisi dell'evoluzione della linea di riva a scala storica, cioè riguardante un periodo di tempo superiore ai 50 anni.

Il tratto di litorale tra la foce del Tagliamento e la bocca di Lignano, che rappresenta una delle maggiori aree di sfruttamento turistico dell'Adriatico, è esposto in parte ad erosione e in parte a progressione. La parte in erosione è quella più prossima alla foce fluviale ove negli anni 60-70 furono realizzati alcuni pennelli trasversali in pietrame. Da segnalare quello più lungo, posizionato in sinistra della foce, sarebbe stato ritenuto in parte responsabile di una certa accentuazione del fenomeno erosivo nella parte centrale del tratto di litorale e per tale motivo ne sarebbe stata ridotta la lunghezza. Più stabile risulterebbe la parte più orientale ove la spiaggia avrebbe registrato avanzamenti anche dell'ordine dei 100 m. Va tuttavia segnalato il degrado delle dune fagocitate dalla crescente espansione urbanistica e spesso utilizzate come serbatoio di sabbia per il ripascimento dell'arenile (Figg. 9 e 10).



**Fig. 9** - Litorale di Lignano (UD) (Fonte: <http://www.trievolution.it>).



**Fig. 10** - Lignano, dune e città (Fonte: G. Moretti).



**Fig. 11** - Litorale di Lignano. Mareggiata del 1.12.2008 (Fonte: Protezione Civile Regione FVG).



**Fig. 12** - Litorale Lignano. Mareggiata del 1.12.2008 (Fonte: Yacht Club Lignano).

Il tratto di litorale corrispondente all'Isola di Martignano è stato interessato, in tempi relativamente recenti, da alcune opere di chiusura delle rotte dell'originario arenile causate dal succedersi delle mareggiate. Negli ultimi decenni ha invece preso corpo un maestoso banco sabbioso parallelo al vecchio arenile separato dal sistema barenicolo insulare da un canale parallelo alla linea di riva (Fig. 13).



**Fig. 13** - Isola di Martignano (Fonte: GoogleEarth).

Il tratto di litorale corrispondente all'Isola di S. Andrea è pressoché allo stato naturale fatta eccezione del molo guardiano alla bocca di Porto Buso (Fig. 14). La spiaggia è stretta e non presenta forme di sfruttamento turistico intensivo.

Il tratto di litorale tra Porto Buso e il Porto di Grado è caratterizzato da diffusi sistemi di banchi sabbiosi (banco dell'Anfora, banco d'Orio, banco di Tratauri) più stabili verso le estremità. Il bilancio dei volumi, all'epoca dello studio Brambati, appariva in negativo con perdita di volumi di sabbia in superficie, in particolare dai cordoni dunali.

Il tratto di litorale tra il Porto di Grado e la bocca di Primero (Fig. 15) è, al pari del litorale di Lignano, sede di intense attività di sfruttamento turistico. Fatta eccezione del tratto prospiciente il



**Fig. 14** - Laguna di Marano-Grado. Bocca di Porto Buso (Fonte: GoogleEarth).



**Fig. 15** - Laguna di Marano-Grado. Bocca di Primero e l'Isola di Grado (Fonte: GoogleEarth).

centro storico della cittadina di Grado, protetto da un'opera longitudinale rigida di retrospiaggia, l'arenile si presenta stabile lungo il primo tratto, quello sopraflutto al molo guardiano del portocanale, mentre per il restante tratto si presenta in fase erosiva anche in conseguenza della scarsa qualità del manto sabbioso, fine e polversoso, costituito da materiale di refluentamento di caratteristiche scadenti. Procedendo verso Est, fino a Punta Barbacale, le caratteristiche della sabbia diventano di tipo lagunare e quindi particolarmente esposte all'azione delle mareggiate. In conseguenza della pendenza molto bassa, il fondale è molto basso con acque torbide e fangose. Da P.

Barbacale e Primero la situazione non cambia molto e l'antistante Banco della Mula di Muggia protegge la spiaggia dalle mareggiate ma indebolisce la circolazione delle acque, portando la tendenza evolutiva di questo tratto verso un ambiente barenicolo.

#### 4. IL LITORALE VENETO TRA LE FOCI DEL TAGLIAMENTO DELL'ADIGE

Le coste e i litorali sono entità dinamiche che naturalmente tendono a trasformarsi per l'azione di modellamento da parte del moto ondoso e delle maree. In un sistema non antropizzato l'arretramento o l'avanzamento della linea di costa porta alla traslazione delle morfologie e le nuove forme raggiungono l'equilibrio senza creare scompensi di nessun tipo. In un sistema antropizzato, come il caso del litorale veneto compreso tra la foce del Tagliamento e quella dell'Adige, la presenza di insediamenti urbani, industriali e turistici irrigidisce la posizione della linea di costa generando condizioni di squilibrio e conseguente aumento del rischio per i beni dell'uomo, che per difendersi cerca di contrastare i dinamismi naturali. Pochi sono i casi in cui sopravvivono sistemi integri di duna e spiaggia.

Da svariati decenni, si osserva una generale tendenza erosiva del litorale con arretramenti, che in qualche caso sono stati dell'ordine di qualche centinaio di metri, causati da fattori naturali e non: la crescita del l.m.m., la subsidenza naturale ed antropica, le mareggiate, la drastica riduzione di trasporto solido dei fiumi (dighe, escavazioni), l'urbanizzazione incontrollata della costa. In questo panorama le soluzioni non possono che essere un accomodamento dei processi in corso ed è in quest'ottica vanno visti gli interventi di protezione e ripascimenti dei litorali. Tutto ciò implica la messa a sistema di un uso razionale del materiale sabbioso integrando le disponibilità dei depositi di piattaforma off shore con quelli derivanti da depositi naturali sottocosta ancora disponibili localmente come ad esempio nel caso della foce del Tagliamento o alla bocca di Lignano in Laguna di Marano-Grado. In questo senso, un aiuto importante può venire dall'uso di SIT gestionali che consentano una valutazione aggiornata dei computi dei bilanci sedimentari (*Fontolan, 2012*). Il tutto in un'ottica di una migliore pianificazione ispirata a principi di gestione integrata della aree costiere (ICZM) ove vengano tenuti in considerazione gli scenari di vulnerabilità del territorio anche in prospettiva di modificazioni ambientali già in corso come ad esempio l'innalzamento del l.m.m.

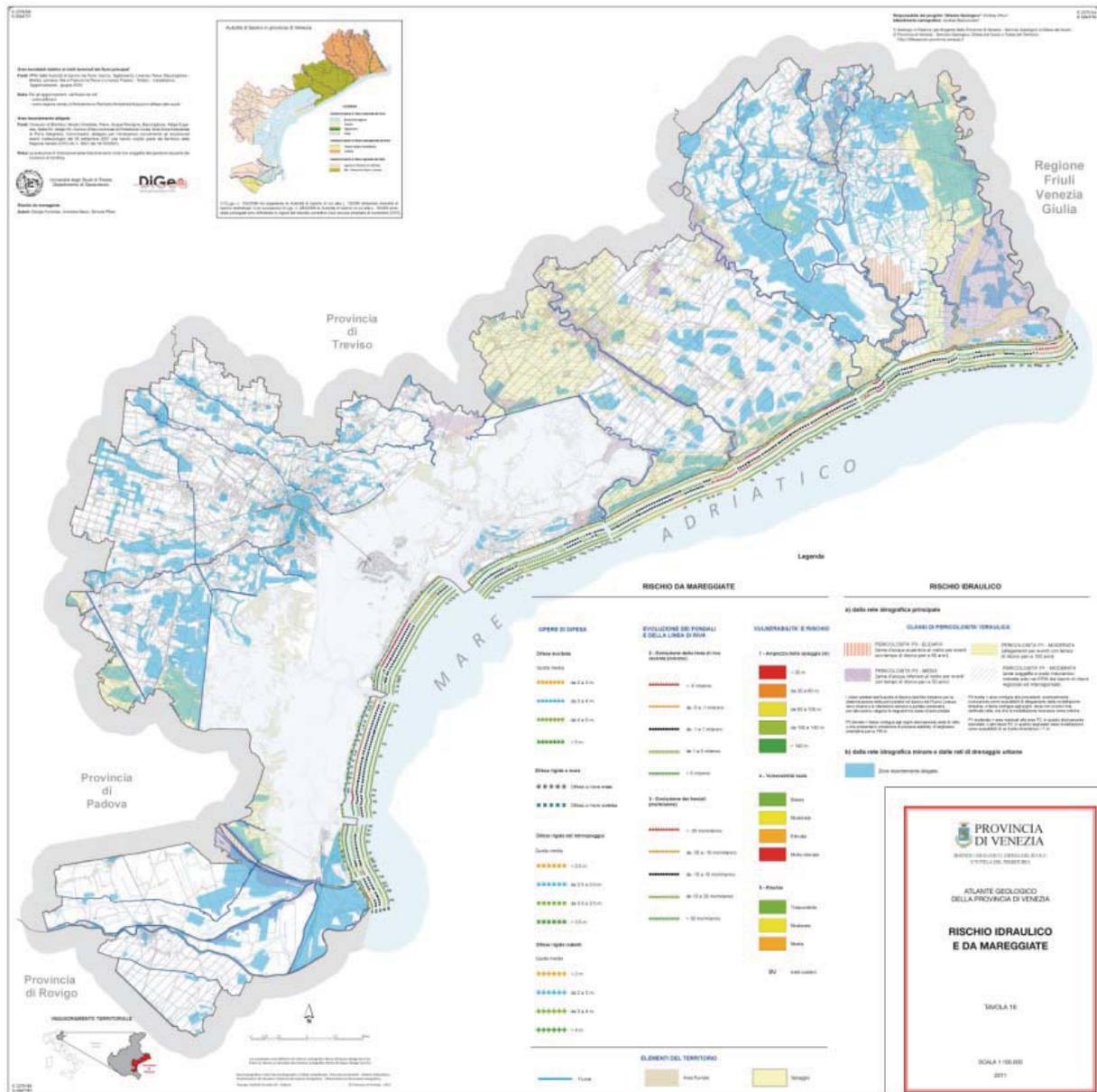
Una delle più recenti analisi dello stato del litorale e di classificazione in termini di vulnerabilità rispetto al rischio di mareggiata è stata proposta e applicata, anche con successivi aggiornamenti, per la stesura del Programma di Previsione e Protezione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia (*Fontolan et al., 2011*).

L'analisi, condotta secondo metodologie già applicate in altre realtà geografiche dell'area adriatica, mostra che l'esposizione al rischio di esondazione marina della fascia costiera veneziana è dovuta principalmente alle basse quote del territorio ed alla scarsa capacità dissipativa delle spiagge, spesso compromesse dalla ricordata massiccia urbanizzazione. La vulnerabilità del territorio immediatamente retrostante il litorale è ricorrentemente testimoniata dalle conseguenze delle mareggiate tra le quali la più disastrosa resta quella del 4 novembre 1966 a seguito della quale vennero realizzate la maggior parte delle difese oggi esistenti e rinforzate quelle preesistenti.

La vulnerabilità e il rischio da mareggiata sono stati illustrati attraverso la cartografia a scala 1:100.000 di cui alla figura 16. Da questa analisi emerge che, degli oltre 69 km di litorale indagati, il 78% ricade entro un campo di bassa vulnerabilità dovuta principalmente alla presenza di imponenti opere rigide di protezione già storicamente presenti, come i *murazzi*<sup>32</sup> lungo il litorale

<sup>32</sup> I *murazzi* realizzati nel sec. XVIII dalla Serenissima a protezione dei litorali di Pellestrina e Sottomarina, sono imponenti muraglioni formati in massi di pietra d'Istria squadrati e disposti a file regolari uniti con malta di calce e pozzolana.

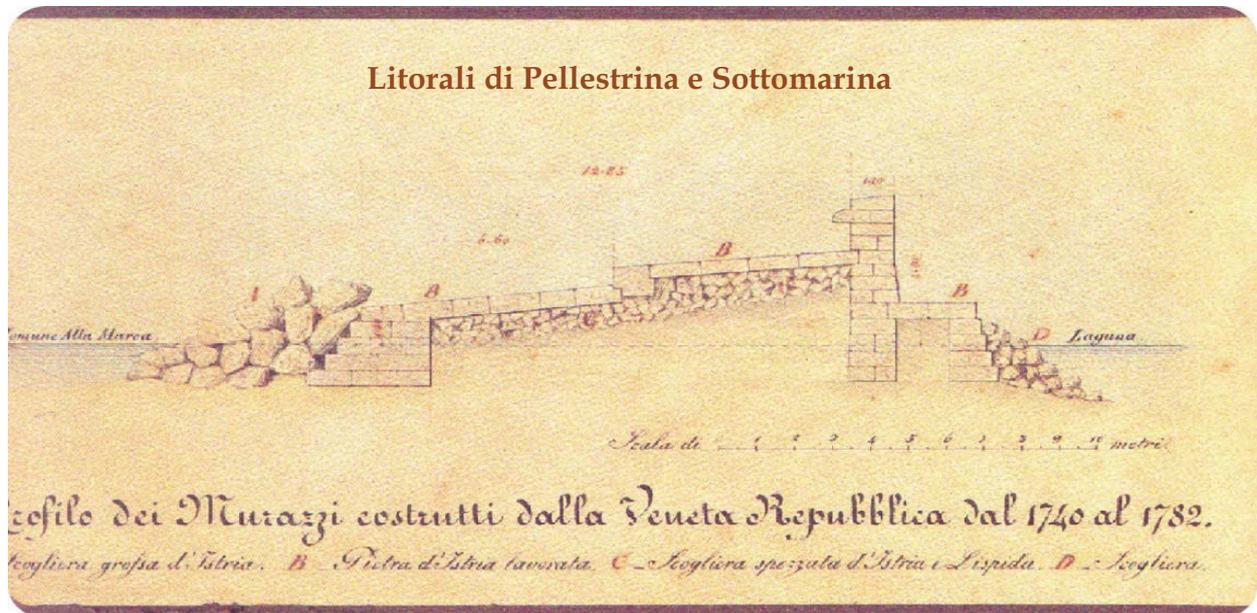
di Lido, Pellestrina e Sottomarina o come quello davanti il centro abitato di Caorle (Figg. 17 e 18) . Dopo la mareggiata del 1966 la tendenza erosiva è stata contrastata con la realizzazione di opere radenti o di restrospiaggia lungo alcuni tratti del litorale di Eraclea, di Duna Verde e di Jesolo.



**Fig. 16** - Carta del rischio idraulico e da mareggiate (Fonte: Tavola n. 16 allegata a “Atlante geologico della Provincia di Venezia” - AA.VV. - Provincia di Venezia, 2011).

Va inoltre ricordato che, a partire degli anni '90 del secolo scorso, il Magistrato alle Acque è intervenuto su gran parte dei tratti del litorale in relazione a quanto previsto del Piano Generale degli Interventi per la Salvaguardia della Laguna di Venezia. La tecnica di intervento è stata quella del cosiddetto ripascimento protetto attraverso il refluitamento di circa 7 milioni di metri cubi di sabbia prelevate da un residuo di spiaggia fossile al largo dei litorali veneziani (Stura, 2004). Tra gli esempi più significativi vanno ricordati la ricostruzione di circa 9 km di spiaggia lungo il litorale di Pellestrina con il sistema delle celle chiuse al largo con berma sommersa a (-

1,50 m), e la protezione di un tratto di 11 km del litorale di Cavallino mediante difese sporgenti costituite da 32 pennelli in massi lapidei cui è affidata la funzione di trattenuta della sabbia sopraflutto (Fig. 19).



**Fig. 17** - Profilo dei murazzi realizzati lungo il litorale veneziano dalla Serenissima (tratto da P. Marcon, Carta Storica delle Principali Vicende ed opere idrauliche dei fiumi, laguna, porti e litorali della Venezia dal principio del Secolo XIV fino ai giorni nostri – 1878. Archivio di Stato di Venezia).



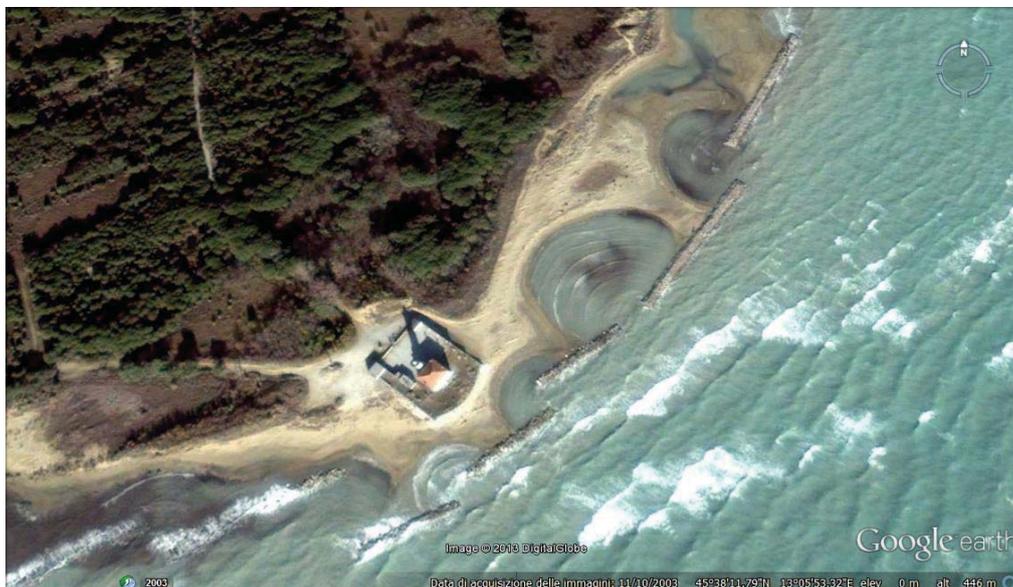
**Fig. 18** - Il murazzo di Caorle dopo la mareggiata del 1 novembre 2012 (Fonte: L. Porciello).

Nel caso specifico di Pellestrina le opere realizzate hanno la funzione di contrastare l'elevato livello di vulnerabilità del litorale caratterizzato da una tendenza erosiva riferibile a cattive condizioni morfologiche quali l'assenza di spiaggia e la moderata/elevata pendenza del fondale. Nel caso del Cavallino le opere hanno portato all'ampliamento dell'arenile e ad una riduzione sensibile del rischio di inondazione.



**Fig. 19** - Esempi di interventi di ricostruzione protezione del litorale veneziano eseguiti a partire dalla seconda metà degli anni '90 del secolo scorso (Fonte: elaborazioni ISPRA su immagini GoogleEarth).

In altri tratti, ove il litorale presenta comunque condizioni morfologiche negative, la tendenza erosiva è in parte contrastata dalla presenza di un sistema dunale, in virtù soprattutto delle quote elevate. È il caso della parte orientale del litorale di Bibione ove tuttavia sono presenti anche opere radenti, costituite da scogliere parallele alla linea di riva come ad esempio quelle a protezione del faro di Punta Tagliamento (Fig. 20).



**Fig. 20** - Litorale di Bibione (VE). Faro di Punta Tagliamento e scogliere di protezione della spiaggia (Fonte: GoogleEarth).

Sistemi di dune residue, più o meno antropizzate, con quote e caratteristiche di efficienza tali da mitigare la vulnerabilità potenziale, sono presenti ancora lungo numerosi tratti del litorale di Bibione ed in alcuni tratti di quello di Sottomarina, Lido e Caorle. In numerosi casi sono altresì presenti difese di retrospiaggia, non molto elevate, che consentono ancora di compensare la vulnerabilità del litorale.

Ad una classe di vulnerabilità moderata sono stati classificati circa il 18% di tratti di litorale per un'estensione complessiva di circa 16 km ove le condizioni morfologiche ed evolutive, solo parzialmente mitigate da eventuali difese presenti, portano a condizioni al momento non ancora critiche. In questa categoria, caratterizzata in alcuni casi da un sistema spiaggia-difesa morbida, rientrano buona parte del tratto di Isola Verde (Fig. 21), il tratto del litorale di Jesolo a ridosso del lato Nord della foce del Piave (Fig. 22), un breve tratto prossimo alla foce del Brenta-Bacchiglione del litorale di Sottomarina. In questi casi il sistema spiaggia-difesa morbida può



**Fig. 21** - Litorale di Isola Verde tra le foci dell'Adige e del Brenta-Bacchiglione. Effetti della mareggiata del 11 novembre 2012 (Fonte: G. Assalone).



**Fig. 22** - Litorale di Jesolo alla foce del Piave. Alternanza di un tratto a bassa vulnerabilità (lato Sud) ed un tratto a vulnerabilità moderata (lato Nord), con effetti della mareggiata del 11 novembre 2012 (Fonte: G. Assalone).

garantire un'efficace azione di contrasto agli effetti erosivi del moto ondoso anche se, in occasione di mareggiate di notevole intensità e significativa durata, come quelle occorse nel novembre 2012, ne possono incrementare il grado di vulnerabilità. In questa categoria rientrano anche tratti del litorale di Jesolo, in prossimità di Ca' Savio, e di quello di Bibione Pineda. Qui la mancata gestione delle dune residue, con eccessiva antropizzazione e mancata protezione non garantiscono sicurezza a lungo termine.



**Fig. 23** - Litorale di Bibione. Lama di Revellino (Fonte: GoogleEarth).



**Fig. 24** - Litorale di Valle Vecchia. Porto Baseleghe (Fonte: GoogleEarth; data di acquisizione luglio 2003).

Sempre nella categoria della vulnerabilità moderata rientrano alcuni contesti erosivi localizzati in alcuni tratti del litorale di Eraclea, di Valle Vecchia (Fig. 24) ed ancora di Bibione in prossimità della Lama di Revellino (Fig. 23).

Nella categoria a vulnerabilità elevata rientra solo il 4% del litorale per un'estensione complessiva di 3 km caratterizzati dall'assenza di difese naturali o di opere di protezione in contesti mode-

ratamente/fortemente erosivi con ridotta capacità dissipativa delle spiagge. Trend fortemente erosivi, con superfici di spiaggia ridotte, sono stati identificati in due casi ove la dinamica è strettamente legata alla vicinanza di bocche o foci fluviali.

Altri casi sono localizzati in due tratti lungo il litorale di Jesolo (il primo di circa 1.000 m in prossimità dell'Ospedale a Mare e il secondo, più ad Est, in corrispondenza di Jesolo Pineta) ove la spiaggia, seppure refluita ed ampliata, compensa solo parzialmente il contesto erosivo a causa dell'acclività dei fondali. Nel primo caso, la presenza di settori fortemente urbanizzati porta a considerare questo contesto ad un livello di rischio di tipo medio confermato anche dai danneggiamenti lamentati in occasione delle più violente mareggiate. In questa zona, l'assenza di difesa dalle acque alte, rende critica la situazione anche in occasione di eventi di mareggiata con tempo di ritorno di soli 10 anni.

Va in generale precisato che, storicamente, il litorale di Jesolo soffre di problemi cronici di erosione e rischio mareggiata a causa soprattutto di un'espansione edilizia assai intensiva iniziata negli anni '50 del secolo scorso con occupazione dello spazio litoraneo a discapito del cordone dunoso che venne in gran parte smantellato (Fig. 25). La mareggiata del 4 novembre 1966 aveva ben messo in luce la gravità della situazione successivamente ripropostasi in varie occasioni, come nel corso dei più recenti eventi del novembre 2012. È il caso di ricordare che, tra il 1998 e il 2002, il Magistrato alle Acque, in accordo con la Regione Veneto ed il Comune di Jesolo, realizzò un importante intervento di ripascimento su un tratto di 10 km impiegando 600.000 m<sup>3</sup> di sabbia, prolungando la metà dei pontili su pali esistenti, realizzandone di nuovi, e completando le opere con una struttura di protezione di retrospiaggia, costituita da un'ampia gradonata con sommità a quota 2,50 m s.l.m., e con la ricostruzione di circa 2,5 km di dune a ridosso della foce del Piave (Volpe, 2008).



**Fig. 25** - Estremità Ovest del litorale di Jesolo. Esempio di urbanizzazione con occupazione dello spazio costiero con l'ottica della massima aderenza al mare (Fonte: G. Assalone).

## 5. LA LAGUNA DI VENEZIA

### 5.1 Caratteri antropici e morfologici

“La Laguna di Venezia è costituita dal bacino demaniale marittimo di acqua salsa che si estende dalla foce del Sile alla foce del Brenta ed è compreso fra il mare e la terraferma. Essa è separata dal mare da una lingua di terra, fortificata per lunghi tratti artificialmente, in cui sono aperte le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, ed è limitata verso la terraferma da una linea di confine chiamata **conterminazione lagunare**”. Questa è la definizione della Laguna di Venezia riportata dalla Legge n. 366 del 5 marzo 1963, rubricata come “Nuove norme per la tutela delle lagune di Venezia e di Marano-Grado”. Si tratta di particolari disposizioni (estese anche alla Laguna di Marano-Grado) orientate al mantenimento del cosiddetto buon regime lagunare e che disciplinano in linea generale attività come la pesca, la navigazione, lo scarico di acque e di materiali, il dragaggio dei canali, l’uso di spazi acqui, ecc.

Lo spirito di queste norme connota quella peculiarità del problema lagunare che, sul piano storico e culturale, può essere ricondotto alle pratiche di buon governo adottate sin dal tempo della Serenissima, poi trasferite nel Regolamento lagunare del periodo austriaco (1848) e che oggi, in buona parte, ritroviamo ancora nel corpo delle leggi emanate dallo Stato Italiano per la tutela della Laguna di Venezia. Esigenze politiche, strategiche, militari, ed in una certa misura anche ambientali, avevano indotto i governanti della Serenissima a mantenere sempre alta l’attenzione sulle questioni riguardanti la difesa della laguna, adottando speciali misure di governo delle acque e del territorio e dando vita, nel contempo, a poderosi interventi quali la diversione delle foci dei grandi corsi d’acqua (Po, Piave, Sile, Brenta) per allontanarne le torbide dal bacino lagunare, o come il rinforzo dei cordoni litoranei (Murazzi) quale baluardo contro la minaccia delle mareggiate che con ricorrenza sfondavano le sottili isole del litorale.

All’epilogo della sua millenaria storia (1797), la Serenissima lasciò una laguna già sostanzialmente antropizzata la cui tendenza evolutiva, nei secoli successivi, sarebbe stata ulteriormente condizionata da una molteplicità di nuovi fattori antropici, in gran parte tuttora presenti, che nel corso del XIX secolo, ed ancor più nel corso del XX, avrebbero esercitato un’influenza assai marcata nei riguardi del regime idraulico della stessa laguna e della morfologia propria dell’ambiente lagunare.

La Laguna di Venezia è ancora oggi definita un ambiente di transizione a carattere cosiddetto microtidale, cioè a bassa profondità media (circa 1 m) ed escursione di marea dell’ordine del metro. Lo specchio lagunare si estende per circa 55.000 Ha che, grosso modo, possono essere così ripartiti:

- 43.000 Ha sono occupati da zone a perenne sommersione, e cioè canali e bassi fondali (0÷1 m);
- 9.000 Ha sono zone a periodica sommersione (barene);
- 3.000 Ha sono zone sempre emergenti (isole).

Ovviamente tale ripartizione non è rimasta immutata nei secoli. Le cartografie lagunari (Figg. 26 e 27), realizzate con rigorosi criteri di rilievo topografico e batimetrico già a partire dalla prima metà dell’800, pongono in luce un progressivo decadimento della morfologia dell’ambiente lagunare (ghebi, canali, barene, velme, ecc.) ed in particolare una progressiva tendenza all’appiattimento dei fondali della laguna media ed inferiore che oggi appare sempre più simile ad una baia.

Uno degli indici più evidenti di questo processo è rappresentato dalla drastica riduzione di estensione dalle superfici occupate da barene, cioè da quelle aree lagunari pianeggianti di modesta elevazione (qualche decina di centimetri sul l.m.m.), a substrato limo-argilloso, che vengono

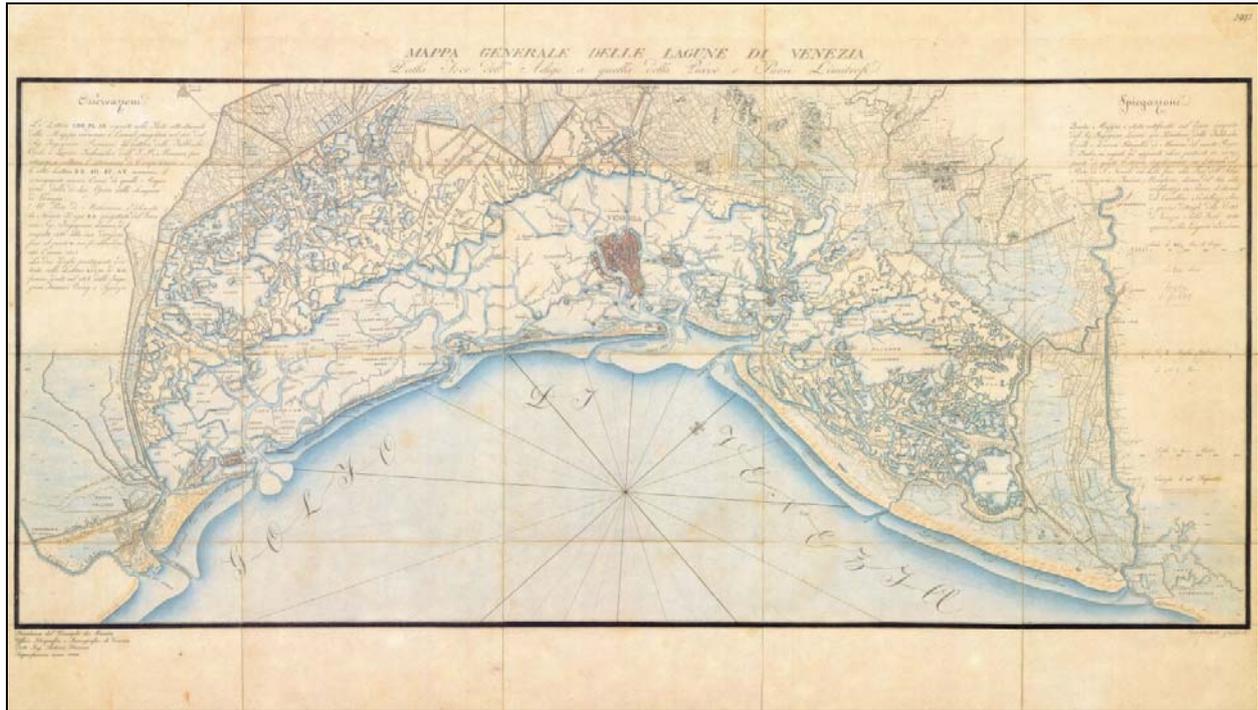


Fig. 26 - Mappa generale delle lagune di Venezia - 26 agosto 1822 (B. Combatti).

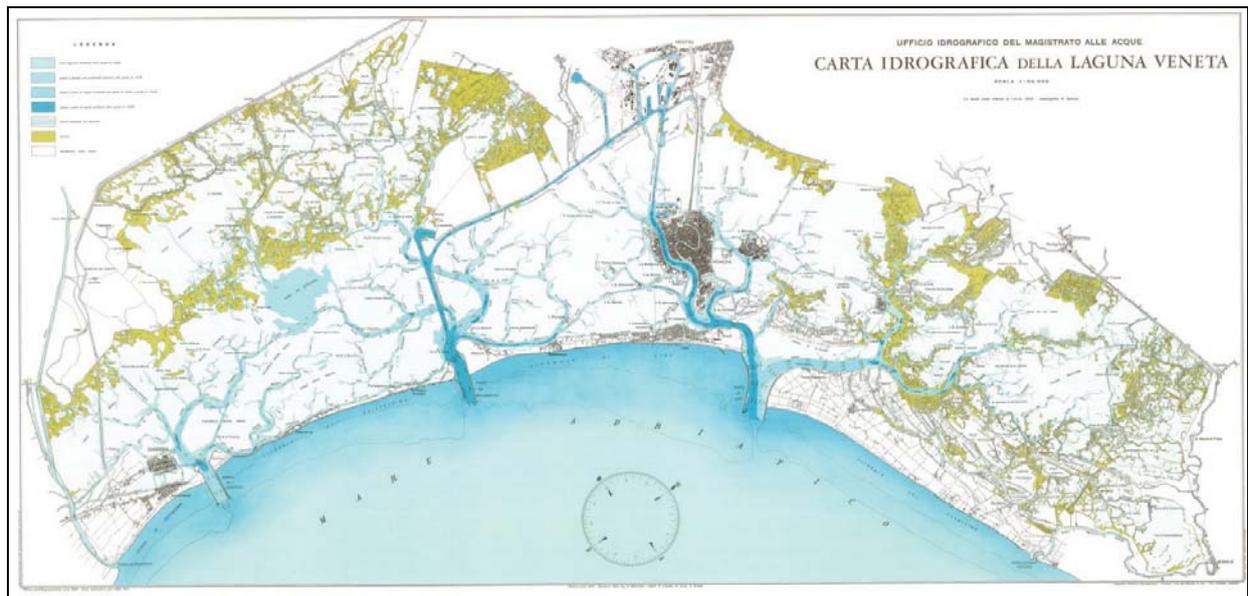


Fig. 27 - Carta Idrografica della Laguna di Venezia. Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque (1961-81).

sommerse in occasione delle più significative alte maree. Si tratta di superfici a forma variabile contraddistinte da un bordo rialzato e da una parte centrale più depressa. Il loro assetto definisce l'articolazione dei canali a basso fondale che si estendono verso le zone più interne della laguna favorendo quindi la penetrazione della marea e il naturale ricambio idrico. Dal punto di vista naturalistico le barene costituiscono peraltro un ambiente particolarmente favorevole per varie specie di uccelli, sia stanziali che migratorie, e proprio per questo motivo queste aree oggi sono sottoposte allo speciale regime vincolistico sancito dalle direttive europee sulla tutela dagli habitat e delle specie aviarie (Fig. 28).

È stato calcolato che dal 1810 ad oggi sono scomparse barene per circa 8.500 Ha a causa dell'interrimento di una porzione prossima al contermine della laguna Sud (Bonifica della Brenta) provocato dalla temporanea reintroduzione della foce del Brenta in laguna (definitivamente estromesso solo alla fine del XIX secolo), della realizzazione di casse di colmata destinate all'insediamento ed espansione della zona industriale di Porto Marghera, della realizzazione dell'aeroporto "Marco Polo", dell'azione erosiva dovuta in parte alle correnti di marea e in parte al moto ondoso causato dal vento e dal traffico dei natanti. In particolare l'effetto dell'azione erosiva è stato quello di attivare un meccanismo di progressivo trasferimento di sedimento dalle barene verso i bassi fondi ed i canali.



**Fig. 28** - Barene nella Laguna di Venezia (Fonte: G. La Penna).

Sebbene la scomparsa di estese aree barenicole rappresenti l'aspetto più evidente posto in luce dall'analisi della cartografia storica e recente, una seconda e non meno importante evidenza del degrado morfologico riguarda l'approfondimento dei fondali lagunari ed in particolare delle zone d'acqua che interessa la laguna centrale e meridionale. Sulle cause degli odierni processi erosivi si è posta l'attenzione nelle armature delle bocche di porto lagunari, che hanno determinato comportamento dissimetrico alle bocche tra fasi di flusso e riflusso, ben evidenziato con la modellazione matematica, che determina un allontanamento del getto nella fase di riflusso proiettato lontano dai moli causando una perdita netta di sedimenti. Ma l'aspetto più grave per il degrado morfologico della laguna è derivato dallo scavo dei canali lagunari navigabili. Il traffico navale è infatti responsabile della formazione di correnti secondarie che causano il sollevamento di sedimenti dai bassi fondali adiacenti che poi si depositano all'interno del canale, da dove poi devono essere dragati per mantenere un adeguato pescaggio per la navigazione. L'effetto del canale Malamocco-Marghera sulla laguna centrale è stato devastante. In questa parte la profondità dei bassi fondali, che un tempo era di 40 cm, oggi supera i 2 metri.

I processi evolutivi storicamente documentati vedono, nel '500, una laguna con ampie superfici barenicole. Nel XVII secolo, la diversione dei fiumi ridusse drasticamente l'apporto di sedimen-

to con conseguente diminuzione delle barene e aumento delle zone d'acqua. Tuttavia la quota dei fondali rimane costante perché non vi sono perdite di sedimenti, nel senso che quello che perdevano le barene andava a beneficio del bassofondo. Sostanzialmente possiamo dire che fino ai primi del '900 la laguna era caratterizzata dal mantenimento dei processi erosivi in direzione orizzontale. È a partire dal 1930, con l'escavo dei primi canali a servizio della prima zona industriale nell'area di Marghera, che si sviluppano processi erosivi in direzione verticale e conseguente approfondimento dei fondali.

In definitiva i risultati oggi disponibili attraverso la modellazione matematica evidenziano che i tassi di deposito di materiale sono nulli o molto bassi. La simulazione dei processi evolutivi su scala temporale a lungo termine, mettendo nel conto anche gli scenari di crescita relativa del l.m.m., mostrano che, se non si porrà seriamente mano alla questione del degrado morfologico, nel giro di pochi decenni i fondali della parte centrale della laguna si attesteranno verso una condizione di equilibrio con profondità pari a 2,50 m circa. Questo significa che la laguna perderà i suoi tipici caratteri ambientali e somiglierà sempre di più ad un braccio di mare. Un indice del comportamento attuale della laguna è dato dall'ampliamento del fondale dei Settemorti, a cavallo del partiacque tra la laguna centrale e quella meridionale, documentato dal confronto delle batimetrie dei primi del '900 con quelle relative ai rilievi del 2003 (*D'Alpaos, 2012*).

## 5.2 Eustatismo e subsidenza

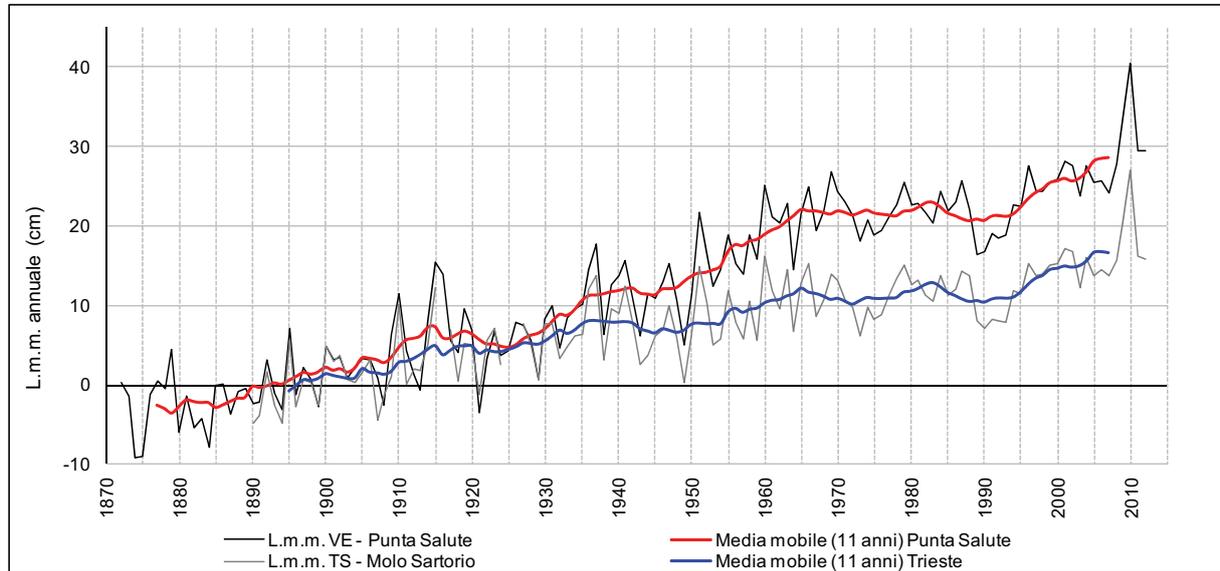
Uno studio condotto dal Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica (IMAGE) dell'Università di Padova (*Marani et al. 2007*), evidenzia, già per il 2050 ed in assenza di qualunque intervento di contrasto, uno scenario di futura esasperazione della marinizzazione dello specchio lagunare. Ciò in ragione di un tasso di crescita relativa del l.m.m. ipotizzato sulla base delle risultanze contenute nell'AR3 dell'IPCC relativamente alla crescita globale del l.m.m. (*IPCC, 2001*) e sulla base di un tasso di subsidenza naturale valutata a scala locale di 1,5 mm/anno (*Carbognin et al., 2005*). Tuttavia, la crescita relativa del l.m.m. nell'area veneziana non può spiegare da sola l'entità degli approfondimenti dei fondali lagunari sinora osservati. Lo dimostrano le elaborazioni sulle registrazioni mareografiche, raccolte a Venezia sin dal 1872, che ci dimostrano come dalla fine del XIX secolo il l.m.m. è salito mediamente di circa 30 cm rispetto al suolo della città lagunare. Il trend di crescita su tutto il periodo ultrasecolare è stato stimato sul valore medio di circa 2,43 mm/anno (*Ferla et al., 2007*).

Tuttavia tale crescita non è attribuibile soltanto all'eustatismo globale dovuto all'espansione delle masse oceaniche e allo scioglimento delle calotte polari. Nel caso della Laguna di Venezia la crescita del l.m.m. è altresì associata ad un effetto di subsidenza dovuta al costipamento degli strati argillosi e sabbiosi del sottosuolo Nord Adriatico. Durante il secolo appena trascorso, tale effetto è stato esasperato a causa del massiccio e diffuso prelievo di acque sotterranee attuato nell'immediato entroterra veneziano, tra i primi anni '30 e la fine degli anni '60, per alimentare l'acquedotto della zona industriale di Porto Marghera.

L'effetto combinato dei fenomeni di eustatismo e di subsidenza ha quindi dato luogo a Venezia ad una crescita relativa del l.m.m. con una tendenza più marcata tra i primi anni '30 e la fine degli anni '60, ed una significativa impennata a partire dagli anni '50, proprio per l'effetto indotto dall'intensificarsi dei prelievi d'acqua dalle falde del sottosuolo veneziano, poi definitivamente proibiti solo a partire dai primi anni '70.

Per separare gli effetti dell'eustatismo da quelli della subsidenza locale propria del territorio veneziano, si è soliti confrontare la serie storica del l.m.m. annuale ricavato attraverso le registrazioni raccolte da ISPRA presso la stazione mareografica di Punta della Salute, con quella del l.m.m. annuale ricavato attraverso le registrazioni mareografiche, anch'esse ultracentenarie, raccolte dal CNR-ISMAR di Trieste presso la stazione mareografica di Trieste Molo Sartorio (Fig.

29). Quest'ultima stazione infatti risiede geologicamente su una piattaforma rocciosa e quindi non è affetta da quei fenomeni di costipamento propri dei profondi substrati argillosi che caratterizzano la Laguna di Venezia. Quindi la crescita del l.m.m. osservata in questa stazione in oltre un secolo di osservazioni, può essere considerata, con buona approssimazione, come dovuta al solo fenomeno di eustatismo.



**Fig. 29** - Confronto tra l'andamento del l.m.m. annuale registrato nel periodo 1872-2012 presso le stazioni mareografiche di Venezia - Punta della Salute e Trieste - Molo Sartorio (Fonte: elaborazioni ISPRA su dati ISPRA e CNR-ISMAR di Trieste).

L'esame del grafico in figura 29 evidenzia che l'andamento delle due serie storiche comincia a divergere significativamente a partire dai primi anni '30 del secolo scorso, per riprendere un andamento sostanzialmente parallelo a partire dai primi anni '70. È stato quindi calcolato che i circa 30 cm di crescita relativa del l.m.m. a Venezia sono dovuti mediamente per 14,6 cm ad eustatismo e 13,4 cm a subsidenza. Quest'ultima sarebbe stata causata per circa 8 cm all'estrazione di acqua sotterranea per uso industriale tra gli anni '30 e gli anni '60 del secolo appena trascorso, e per circa 5 cm per subsidenza naturale propria del sottosuolo lagunare.

È stato recentemente osservato che, secondo la carta idrografica della Laguna di Venezia redatta sulla base del rilievo eseguito dall'Ufficio del Genio Civile nel 1901, le profondità d'acqua nella zona centrale della Laguna di Venezia risultavano di circa 50 cm sotto il l.m.m. contro i circa 145 cm oggi rilevabili attraverso i rilievi eseguiti nel 2003 dal Magistrato alle Acque per mezzo del Consorzio Venezia Nuova. Questi ultimi valori appaiono evidentemente troppo lontani da quelli che si ottengono sovrapponendo alle profondità indicate dalla carta del 1901 il contributo dovuto alla crescita relativa del l.m.m. (*D'Alpaos, 2010*).

Considerazioni sostanzialmente analoghe erano state già riscontrate nel 1987 dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque attraverso il confronto delle batimetrie lagunari rilevate dal medesimo Ufficio nelle due distinte occasioni in cui vennero redatte dapprima la carta Idrografica della Laguna negli anni '30 e poi nella successiva edizione del '70. Tali confronti posero in luce che in questo periodo i fondali della parte centrale si erano abbassati di circa 28 cm, valore apprezzabilmente più basso rispetto ai circa 15 cm attribuibili all'effetto della crescita relativa del l.m.m. durante il medesimo periodo cui, evidentemente, ha contribuito molto la subsidenza indotta dai citati prelievi di acqua sotterranea ad uso industriale (*Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, 1987*).

### 5.3 Gli effetti del vento e del traffico acqueo

Tra i risultati di maggior rilievo emersi a seguito di tali indagini va segnalata l'importanza assai limitata delle correnti di marea sul fenomeno della risospensione dei sedimenti, fortemente coesivi (argille), di cui sono composti i fondali lagunari con effetti apprezzabili lungo i maggiori canali navigabili e comunque limitatamente ai tratti più vicini alle bocche.

Di ben altro impatto per la laguna sono invece i fenomeni di risospensione generati dalle onde da vento (e dalla navigazione). Va in primo luogo ricordato che l'orientamento della Laguna di Venezia fa sì che il suo asse principale si trovi in posizione sub-parallela alla direzione di provenienza dei venti di Bora (ENE) che rappresentano i venti dominanti della traversia del mare antistante la laguna. La loro intensità può superare i 10 m/s (20 kn circa) e mantenersi per 6-8 ore con punte fino a 20 m/s (40 kn circa). Il vento di Bora, spirando sulle ampie distese d'acqua del bacino lagunare, oltre a determinare significativi fenomeni di insaccamento verso i margini centro meridionali del conterminare lagunare, è altresì in grado di generare onde di altezza dell'ordine del metro proprio grazie alla significativa lunghezza del fetch lagunare lungo la direzione ENE. Conseguentemente le velocità delle particelle d'acqua al fondo raggiungono valori tali da generale sforzi tangenziali di attrito che superano i valori critici propri dei sedimenti dei bassi fondali di natura molto fine ( $d_{50} = 20-40$  micron). I sedimenti risospesi dal vento vengono trascinati dalle correnti di marea verso i canali minori e quindi, via via in direzione dei canali principali ove, per effetto delle maggiori velocità della corrente, essi tendono ad essere trascinati verso le bocche e quindi estromessi verso il mare.

Non meno importante, nel riguardi del degrado morfologico, sono gli effetti dovuti alla navigazione. Le altezze d'onda provocate da battelli in transito lungo i canali si propagano verso le adiacenti zone d'acqua meno profonde con un'azione erosiva che dipende dalla velocità di navigazione. Esperienze condotte dal Comune di Venezia su onde generate da battelli tipici della realtà lagunare hanno posto in luce che il legame tra velocità ed altezza d'onda può essere espresso con una legge di potenza con esponente compreso tra 1,5 e 2.

Diverso ma non meno distruttivo è l'effetto provocato dalle correnti indotte dai volumi d'acqua dislocati dalle navi che procedono lungo i canali navigabili che spazzano i bassifondi adiacenti erodendone i fondali e facilitando il convogliamento dei sedimenti risospesi verso i canali stessi ove il materiale trova modo di depositarsi. Recenti esperienze di misurazione in campo aperto della torbidità generata dal passaggio di navi lungo il canale Malamocco Marghera hanno evidenziato concentrazioni di sedimento di oltre 400 mg/l lungo la colonna d'acqua al di sopra dei bassi fondali. Tali valori risultano superiori di ben 30 volte rispetto al corrispondente valore di fondo della torbidità propria di questa area e di circa 10 volte maggiore rispetto alla concentrazione media associabile al trasporto solido alle bocche di porto (*Rapaglia et al., 2011*). Non vanno infine dimenticati gli effetti provocati dall'attività di raccolta di molluschi spesso condotta anche illecitamente attraverso sistemi che sono assolutamente devastanti per i fondali lagunari (turbosoffianti).

### 5.4 Il ruolo delle valli da pesca

Nel processo generale di trasformazione morfologica della laguna non va dimenticata la vicenda che riguarda le valli da pesca, cioè quelle estese porzioni dello specchio lagunare posizionate a ridosso del conterminare lagunare ed adibite all'allevamento di specie ittiche destinate al mercato alimentare (Fig. 30).

Si tratta di circa 9.400 Ha di superfici acquee interne alla linea di conterminazione lagunare (pari a circa il 17% della laguna) oggi totalmente sottratte alla libera espansione della marea. Tali superfici sono delimitate da arginature continue elevate fino a quote superiori ai più elevati livelli

delle alte maree e con scarpata lato laguna rivestita in pietrame per poter resistere all'attacco del moto ondoso provocato dal vento e dal traffico lagunare (fig. 31). Il collegamento con le acque lagunari è consentito soltanto a mezzo di alcuni varchi presidiati da paratoie ricavate in seno al corpo arginale per consentire il ricambio idrico durante alcuni giorni all'anno (di norma nel periodo autunnale) in dipendenza del ciclo di produzione delle specie allevate (Fig. 32).



**Fig. 30** - Laguna di Venezia meridionale. Val Morosina e Valle Ghebo Storto (Fonte: G. La Penna).



**Fig. 31** - Argine di perimetrazione di una valle da pesca nella Laguna di Venezia (Fonte: M. Ferla).



**Fig. 32** - Chiavica di collegamento in corrispondenza dell'argine di perimetrazione di una valle da pesca nella Laguna di Venezia (Fonte: M. Ferla).

La posizione oggi occupata dalle valli da pesca è quella che un tempo, prima della estromissione delle foci fluviali, era occupata da quell'ambiente di transizione tipico della laguna e cioè da barene, ghebi e specchi d'acqua di modesta estensione. Questo ambiente un tempo veniva chiamato

*laguna morta* a causa della debolezza con cui le correnti di marea riuscivano a raggiungere tali zone per effetto delle dissipazioni subite nell'attraversamento della fascia barenale. Ciò in contrapposizione a quella che invece veniva definita *laguna viva* ossia quelle porzioni di superfici occupate da canali e bassi fondi, comprese la fasce barenale e le bocche lagunari ove risultava più efficace il ricambio delle acque lagunari assicurato dall'alternanza dei cicli di marea.

La progressiva e drastica riduzione di apporto di sedimenti conseguente all'estromissione dei fiumi, assieme alla crescita relativa del l.m.m., hanno comportato una sostanziale modificazione morfologica del bacino lagunare a vantaggio dell'espansione degli specchi d'acqua nella laguna morta ove, anche grazie alla progressiva marinizzazione delle acque, le condizioni ambientali diventavano più adattabili all'attività di allevamento ittico. È più che verosimile ritenere che tali cambiamenti favorirono l'insediamento delle valli da pesca nelle posizioni in cui oggi si trovano. La vicenda delle valli da pesca nella Laguna di Venezia è sempre stata assai controversa per vari motivi. Una pluridecennale vicenda giudiziaria, tutt'altro che conclusa, riguarda la titolarità dei diritti reali tra il Demanio dello Stato e i privati che le gestiscono. La gestione stessa di tali spazi è stata subordinata al rispetto dei regolamenti lagunari, almeno sulla carta, ove era previsto che le valli dovevano comunque consentire la libera espansione delle maree e il loro uso era concesso in via temporanea. Ancora nell'800 i varchi di collegamento con la laguna delle valli cosiddette *arginate* o *semi-arginate* erano presidiati con graticci di canna palustre (*cogolere, parè di grisiole*) quindi permeabili al flusso della marea.

Grossomodo a partire dall'immediato ultimo dopoguerra (1945) le valli da pesca sono state chiuse in via permanente. In tempi più recenti l'interesse sulle valli da pesca si è riaperto in occasione del dibattito sui provvedimenti più idonei atti ad attenuare il colmi di marea nei centri storici lagunari in occasione delle più severe acque alte. A questo proposito è stata ampiamente dimostrata la sostanziale inefficacia ingegneristica di eventuali provvedimenti di riapertura delle valli il cui contributo alla eventuale attenuazione dei colmi nei centri abitati resta dell'ordine di pochi centimetri.

Ben diversa sarebbe invece l'efficacia di qualche eventuale provvedimento di riapertura di alcune valli da pesca in associazione all'incremento degli apporti di sedimento di origine fluviale (sistema Brenta-Bacchiglione) per ripristinare in alcune aree lagunari l'antico ambiente di transizione, nella prospettiva quindi di poter restituire al sistema parte delle sue tipiche caratteristiche che stanno via via scomparendo.

## 5.5 Piani e programmi per la laguna

La risoluzione delle principali criticità ambientali della Laguna di Venezia è lo scopo principale di numerosi piani e interventi in atto sia nella laguna stessa, che nel territorio circostante. La necessità di salvaguardia e di miglioramento dello stato degli elementi idro-morfologici lagunari trovano risposta principalmente nelle misure riconducibili al Piano Morfologico della Laguna di Venezia (PMLV) redatto per la prima volta nel 1992. Gli obiettivi della sua prima stesura sono riconducibili al Piano Generale degli Interventi (PGI) approvato dal Comitato di indirizzo ex art. 4 della legge 798/84 (cosiddetto "*Comitatone*") nell'adunanza del 19 giugno 1991. La competenza sul PGI venne affidata allo Stato tramite il Ministero dei LL.PP. (oggi Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) in base alla legge speciale 139/92.

Il PGI venne quindi articolato secondo tre principali linee d'azione: difesa dalle acque alte, difesa dalle mareggiate, riequilibrio ambientale rispetto alle quali il Comitato Tecnico del Magistrato alle Acque ha via via approvato, negli ultimi 20 anni, i seguenti progetti:

- il Progetto generale per la difesa locale dalle acque medio alte che ha interessato alcune zone nevralgiche della Città, cosiddetti interventi per "*insulae*" (Tolentini, S. Marco);
- il Progetto delle Opere Mobili alle bocche di porto (MOSE) in corso di realizzazione;

- il progetto di rinforzo del litorale veneziano in gran parte realizzato;
- il progetto di rinforzo dei moli foranei completati nel 2002;
- il Progetto Generale per gli interventi per il recupero morfologico della laguna di cui oggi se ne propone un primo aggiornamento;
- il progetto generale per l'arresto e l'inversione del processo di degrado ambientale della laguna;
- il progetto di allontanamento del traffico petrolifero dalla laguna il cui progetto è oggi in fase di VIA;
- il progetto di fattibilità per la riapertura della valli da pesca all'espansione di marea in parte superato per le questioni cui si è già accennato in precedenza.

Il tutto ovviamente nel rispetto di alcuni principi cardine del corpo delle leggi speciali per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna emanate a partire dalla prima legge 171/73, e cioè: “*Arresto ed inversione del processo di degrado del bacino lagunare e dell’eliminazione delle cause che lo hanno provocato ... nel rispetto delle caratteristiche di sperimentabilità, reversibilità e gradualità contenute nel Voto del Consiglio Superiore dei LL.PP. n° 201 del 1982 (art. 3, c. 1, lett. A, della Legge 798/84)*”.

Il carattere di specialità della legge da cui deriva e la particolare valenza ambientale degli interventi conferiscono al PMLV una rilevanza che va messa in relazione con altri strumenti di pianificazione ed in particolare con quelli che riguardano le attività antropiche, come ad esempio quelli relativi alla portualità, al traffico acqueo e alla pesca che, come è stato dimostrato, rientrano fra le principali cause del degrado eco-morfologico dei bassi fondali e delle barene. Ciò al fine di rendere tali attività più sostenibili e compatibili con le finalità specifiche del piano stesso.

Il nuovo PMLV, attualmente in fase di VAS, prevede una serie di interventi e regolamentazioni con lo scopo di ridurre lo scambio di sedimento tra i bassi fondali e i canali e in generale la risospensione del sedimento, di limitare l'erosione dei margini barenali, di ripristinare i caratteri funzionali della morfologia lagunare, di incrementare l'apporto di sedimenti al bacino lagunare.

A questo proposito va ricordato lo stretto raccordo con il Piano di Gestione relativo al Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (PDG-AO), Sub-Unità Idrografica Bacino Scolante, Laguna di Venezia e mare antistante (ex Direttiva 2000/60/CE e art. 117 del D. Lgs. 152/2006), ove le misure di riequilibrio idromorfologico della laguna sono considerate prerequisito per il raggiungimento/mantenimento dello stato ecologico della laguna stessa rispetto agli obiettivi fissati dalla Direttiva per il 2015 e il 2021. Nell'ambito di tali misure il PDG-AO fa riferimento in modo particolare gli interventi strutturali in corso di attuazione e/o previsti nell'ambito del PMLV predisposto in applicazione alla legislazione speciale per Venezia (ricostruzione strutture morfologiche, aree umide di transizione, trapianti di fanerogame marine, dragaggi canali lagunari) nonché le misure, *strutturali e non*, per ridurre le pressioni idro-morfologiche sulla laguna finalizzate alla riduzione dell'energia ondosa da traffico acqueo e da vento.

In linea generale il PDG-AO prevede un approccio integrato alla protezione delle acque, (sia interne, di transizione, costiere e sotterranee) per il raggiungimento di quelle che sono le finalità proprie della Direttiva, e cioè:

- impedire l'ulteriore deterioramento delle acque;
- proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri e zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici;
- agevolare un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse disponibili;
- perseguire la graduale riduzione degli scarichi delle sostanze prioritarie e l'arresto e la graduale eliminazione delle perdite delle sostanze pericolose prioritarie;
- assicurare la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee;
- contribuire a migliorare gli effetti delle inondazioni e delle siccità.

L'ambito territoriale di riferimento entro cui ricade la Laguna di Venezia è il Distretto Idrografico delle Alpi Orientali. All'interno di ciascun distretto il sistema idrografico ed idrogeologico è stato suddiviso in corpi idrici, che rappresentano l'unità di riferimento per la definizione degli obiettivi di qualità ambientale. Lo stato delle acque superficiali è definito in termini di stato chimico ed ecologico mentre quello delle acque sotterranee in termini di stato chimico e quantitativo. I singoli corpi idrici devono di norma raggiungere il buono stato entro il 2015 anche se sono previste deroghe e proroghe.

La Laguna di Venezia, quindi, è soggetta al PDG-AO che contiene una descrizione e classificazione dei corpi idrici, l'analisi delle caratteristiche, delle pressioni, degli usi e dei monitoraggi a cui è soggetto ogni corpo idrico, il piano di monitoraggio da eseguire e il programma delle misure per raggiungere e mantenere lo stato "buono" in ogni corpo idrico.

Il PDG-AO è in vigore dal 2009 e nel corso del 2012 sono state avviate le attività per il suo primo aggiornamento che la Direttiva Quadro Acque prevede entro il 2015. Va ricordato che, sempre entro il 2015, dovrà essere adottato un altro importante strumento di pianificazione che riguarda le acque del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali e quindi anche la Laguna di Venezia; si tratta del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PDGRA-AO) previsto dalla Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta Direttiva Alluvioni (recepita con D. Lgs. 49/2010) che presenta molti punti in comune con la Direttiva Quadro sulle Acque. La successiva fase di aggiornamento, con scadenza nel 2021, dovrà portare ad una armonizzazione dei due strumenti di pianificazione.

Per quanto riguarda il PDG-AO, nella Laguna di Venezia sono stati individuati 11 corpi idrici naturali cui si aggiungono 3 corpi idrici fortemente modificati (Fig. 33). Le acque dei canali industriali non vengono considerate per la definizione dei corpi idrici, così come le aree portuali, ma, secondo la norma sono da considerare come sorgenti di inquinamento. I corpi idrici della Laguna di Venezia sono stati classificati come tutti "a rischio" di non raggiungere gli obiettivi previsti dalla Direttiva 2000/60/CE.

Lo stato chimico dei corpi idrici della Laguna di Venezia (Fig. 34) è stato definito sulla base del monitoraggio delle sostanze prioritarie da ricercare nella matrice acqua. Lo stato ecologico (fig. 35) è stato definito sulla base del monitoraggio degli EQB che per le acque di transizione sono macrofite, macroinvertebrati bentonici, fitoplancton e fauna ittica, inoltre, concorrono alla classificazione dello stato ecologico anche i parametri fisico-chimici, chimici e idromorfologici a supporto dei parametri biologici.

Il ricorso a valutazioni di tipo integrato ha consentito di analizzare anche la complessità funzionale della laguna e dei processi che al suo interno regolano il destino delle sostanze contaminanti e di interpretare al meglio le molte evidenze disponibili relativamente alle diverse matrici. La classificazione proposta dovrà comunque essere verificata e completata a seguito delle attività di monitoraggio previste dal Piano.

Il programma di misure per raggiungere e mantenere lo stato "buono" dei corpi idrici contenuto nel Piano di Gestione delle Acque prevede:

- misure di base così come definite all'art. 11 comma 3 della Direttiva e sono relative all'attuazione della normativa comunitaria in materia di tutela delle acque, e misure relative a tutte le altre finalità indicate all'art. 11, comma 3 della Direttiva 2000/60 (recupero costi servizi idrici, impiego efficiente e sostenibile dell'acqua, controlli dell'estrazione delle acque dolci superficiali e sotterranee, ecc.);
- misure supplementari: ovvero misure addizionali, introdotte quando le misure di base non risultano sufficienti al conseguimento degli obiettivi ambientali.

Nell'ambito della Laguna di Venezia molte azioni, ritenute fondamentali per il conseguimento degli obiettivi della Direttiva sono già in atto, in particolare attraverso la programmazione del Piano Direttore 2000 e del Piano di Tutela delle Acque della Regione del Veneto che riguardano i corpi idrici del bacino scolante (circa 200.000 Ha), nell'ambito delle attività di salvaguardia

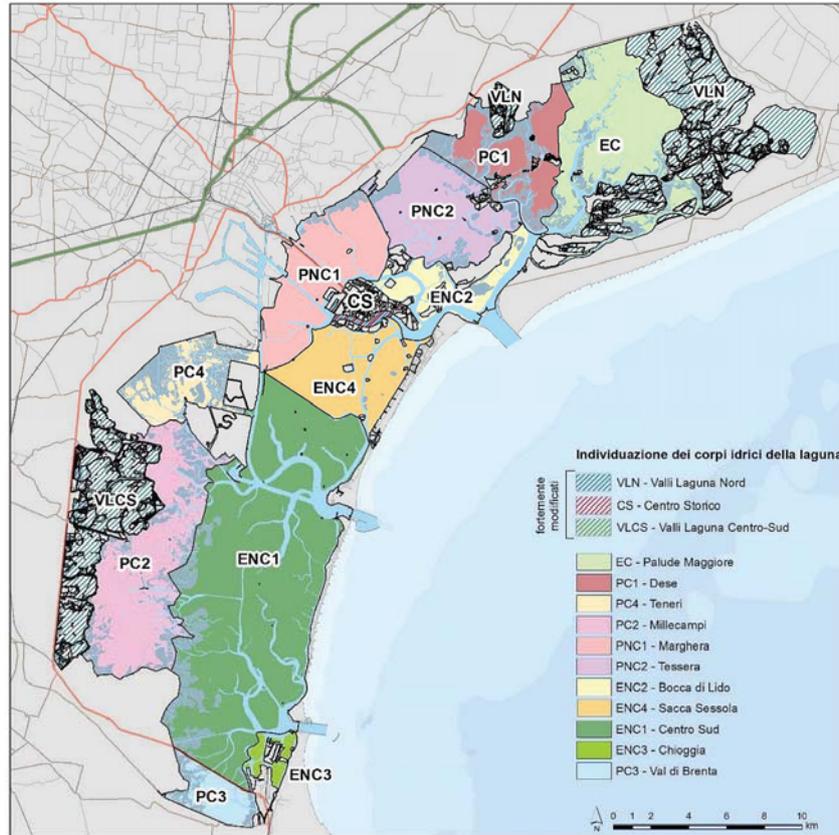


Fig. 33 - Individuazione dei corpi idrici della Laguna di Venezia (Fonte: PDG-AO, [www.alpiorientali.it](http://www.alpiorientali.it)).

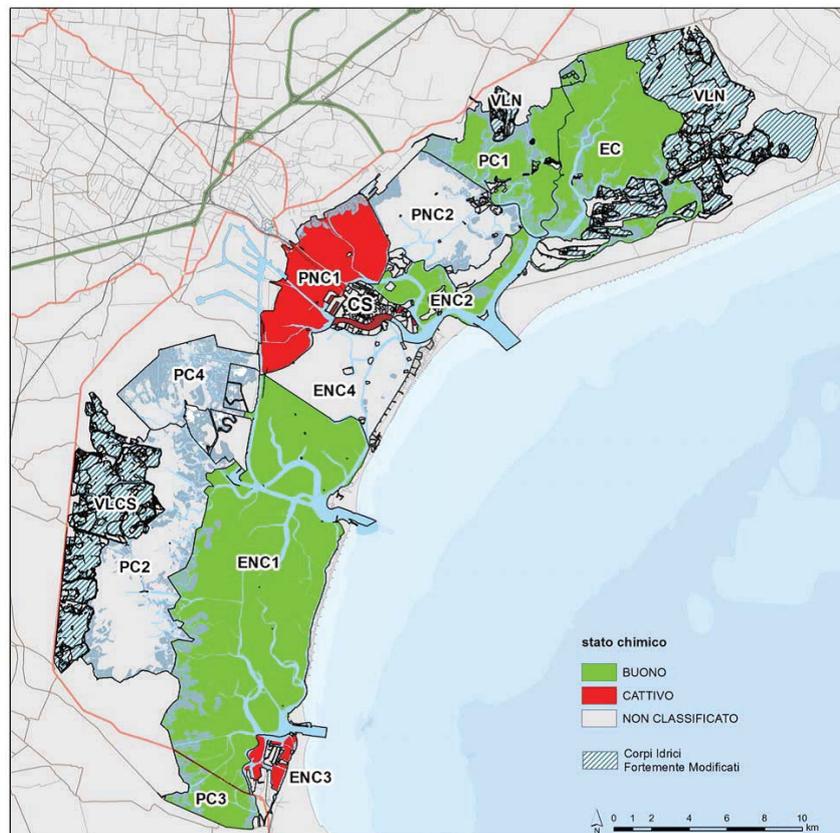
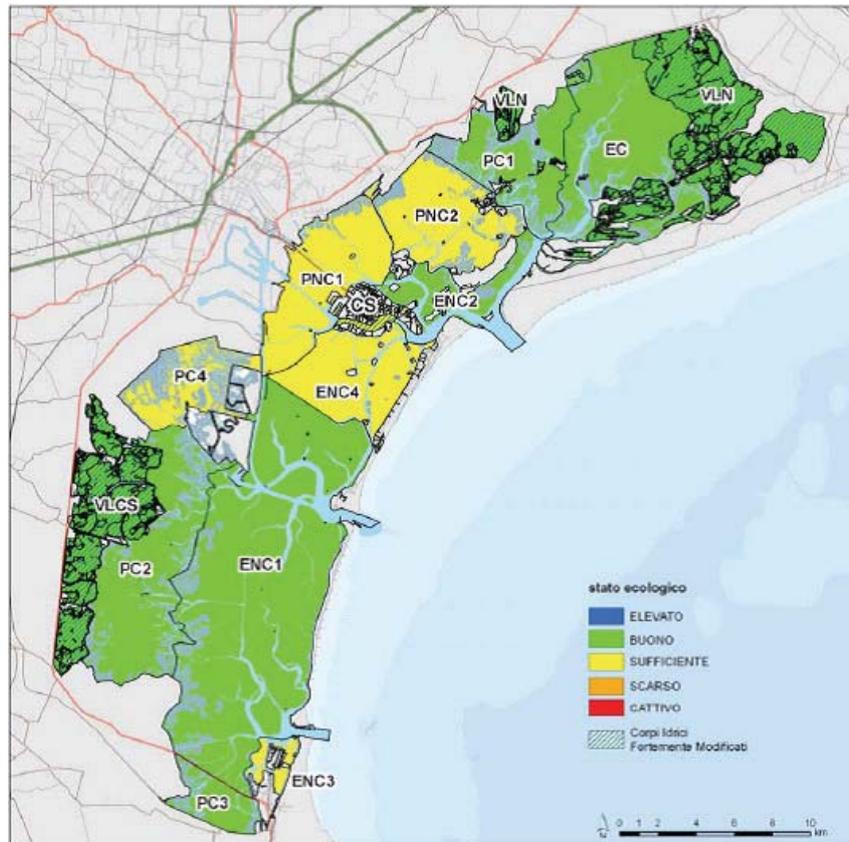


Fig. 34 - Stato chimico dei corpi idrici lagunari (Fonte: PDG-AO, [www.alpiorientali.it](http://www.alpiorientali.it)).



**Fig. 35** - Stato ecologico dei corpi idrici lagunari (Fonte: PDG-AO, [www.alpiorientali.it](http://www.alpiorientali.it)).

previste dalla normativa speciale per Venezia e della normativa generale di tutela della acque (D. Lgs. 152/2006).

Molte di queste azioni trovano riscontro anche nelle particolari misure finalizzate alla rimozione/messa in sicurezza delle fonti di inquinamento legate a terreni e sedimenti contaminati che insistono principalmente su Porto Marghera e sulle aree limitrofe attraverso interventi di bonifica delle aree inquinate comprese nel Sito di Bonifica di Interesse Nazionale, oppure attraverso interventi di messa in sicurezza come il marginamento delle sponde dei canali portuali ed il collettamento e depurazione delle acque di falda contaminate. In particolare tra queste azioni rientra il cosiddetto Progetto Integrato Fusina (P.I.F.) che si pone proprio come raccordo tra le pianificazioni regionali volte al risanamento e alla tutela della Laguna di Venezia, (Piano Direttore 2000, Master Plan per la Bonifica dei Siti Inquinati di Porto Marghera, Modello Strutturale degli Acquedotti del Veneto). Il Progetto Integrato Fusina, il cui accordo fu approvato nel 2006, originariamente nasce dall'idea di coordinare gli interventi per la depurazione spinta dei reflui e di rigenerazione delle acque usate mediante l'implementazione dell'esistente impianto di depurazione di Fusina con un centro di trattamento polifunzionale degli scarichi civili e delle acque di prima pioggia di Mestre, Marghera, Porto Marghera e del Mirese, degli scarichi industriali di Porto Marghera, nonché delle acque di falda inquinate drenate nel corso delle operazioni di bonifica attuate nell'area di Porto Marghera (Corsino et al., 2006). Oggi il P.I.F. nella configurazione attuale che fa seguito alla sottoscrizione di due atti integrativi, rappresenta una piattaforma multifunzionale che costituisce l'infrastruttura di riferimento per la trasformazione dell'area di Porto Marghera in "area ecologicamente attrezzata" in grado di fornire servizi connessi alle varie esigenze di bonifica e riqualificazione delle aree del SIN di Venezia-Porto Marghera e interessate dal mutato scenario socio-economico-ambientale e consente nel complesso, di perseguire in modo integrato alcuni obiettivi (Regione del Veneto, 2012), quali:

- la riduzione dell'inquinamento generato sul bacino scolante e sversato nella Laguna di Venezia, tramite il collettamento e il trattamento spinto dei reflui civili e industriali e la loro estromissione dalla Laguna;
- il trattamento delle acque di falda drenate a tergo dei marginamenti e derivanti dagli interventi di bonifica della falda inquinata;
- l'ottimizzazione della gestione delle risorse idriche, attraverso il riuso delle acque depurate per scopi non potabili all'interno dell'area di Porto Marghera che permetterà di liberare risorse idriche di buona qualità da destinare ad un utilizzo a scopo potabile.

Tra gli altri importanti aspetti affrontati con gli strumenti di pianificazione regionale, ed in particolare con il Piano Direttore 2000, vi è il tema dell'eutrofizzazione sulla base delle specifiche disposizioni, previste per la Laguna di Venezia e per il suo bacino scolante, contenute nel sistema dei decreti ministeriali cosiddetti "Ronchi-Costa" emanati negli anni 1998-99, sulla base dei quali sono stati individuati quegli interventi volti a controllare le immissioni dirette in laguna di acque reflue non depurate dagli insediamenti lagunari o attraverso gli sfiori di fognatura.

Ulteriori e non meno importanti questioni sono quelle inerenti il miglioramento dello stato degli habitat e la protezione e l'incremento della biodiversità lagunare che trovano riscontro nelle misure individuate dal Piano di Gestione della ZPS della Laguna di Venezia e negli interventi di riqualificazione ambientale e compensazione previsti dal Piano delle misure di compensazione, conservazione e riqualificazione ambientale dei SIC IT 3250003; IT 3250023; IT 3250031; IT 3250030 e della ZPS IT 3250046.

Il programma di misure del PDG-AO recepisce ed integra il vastissimo corpo di azioni già avviate e previste nell'ambito della Laguna di Venezia e del bacino scolante (misure in atto, in corso di realizzazione, progettate) individuando azioni che devono essere continuate nel tempo, integrate o intraprese ai fini del conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale definiti per l'area. Il PDG-AO propone ed integra quindi sia misure di tipo strutturale (interventi), sia misure di tipo non strutturale (divieti, vincoli, concessioni, autorizzazioni, norme, strumenti economici, attività di sorveglianza e controllo, attività conoscitive, formazione/informazione) non previste da altri strumenti di pianificazione e stabilisce gli indirizzi per lo sviluppo futuro delle attività di monitoraggio nella Laguna di Venezia e nel bacino scolante, la necessità di estromissione dalla laguna delle navi petroliere e delle navi cisterna che trasportano sostanze pericolose, alcune azioni connesse con la presenza di sostanze prioritarie nelle acque e la necessità di revisione dei criteri e delle prassi operative per la gestione dei sedimenti nella Laguna di Venezia, soprattutto in termini di approccio alla gestione, e l'adozione di procedure che consentano una maggiore elasticità ed un approccio più sistemico rispetto a quanto attualmente previsto.

## 5.6 I sedimenti lagunari

Ad oggi infatti la gestione dei sedimenti in Laguna di Venezia è regolata dalla legge 360/1991 per la cui applicazione è stato definito un Protocollo d'Intesa del 1993 recante "Criteri di sicurezza ambientale per gli interventi di escavazione trasporto e reimpiego dei fanghi estratti dai Canali di Venezia", che definisce le possibili destinazioni in laguna (per interventi di recupero e ricostruzione morfologica) e fuori laguna delle terre di dragaggio classificate in quattro classi. I sedimenti conformi ai valori della colonna A, B e C della Tabella 1 del protocollo possono essere movimentati e reimpiegati o smaltiti dentro la conterminazione lagunare, in particolare i sedimenti entro colonna A possono essere riutilizzati per interventi di ricostruzione morfologica nella laguna a diretto contatto con l'acqua, mentre i sedimenti entro colonna B o C devono essere conterminati in modo da evitare il diretto contatto con le acque lagunari. Invece i sedimenti che superano colonna C, che sono i più inquinati, devono essere smaltiti fuori dal contermine lagunare. I criteri di classificazione del Protocollo 93, tuttavia, sono esclusivamente di tipo chimico e basa-

to su pochi parametri e numerose evidenze scientifiche raccolte nell'ultimo decennio, a seguito dei numerosi studi condotti in Laguna di Venezia principalmente dal Magistrato alle Acque, hanno dimostrato in particolare come l'attuale divisione esistente fra le prime due classi di sedimenti (Classe A e B) possa essere superata o rivista.

I sedimenti superficiali della Laguna di Venezia sono classificabili per la maggior parte di tipo B o C. Questo da una parte limita enormemente la disponibilità di sedimenti idonei per gli interventi di ripristino morfologico necessari per poter raggiungere gli obiettivi del Piano Morfologico, dall'altra ha portato col tempo all'esaurirsi della capacità di stoccaggio dell'unico sito disponibile per lo smaltimento dei sedimenti entro colonna C individuato nell'Isola delle Tresse di fronte l'area industriale di Porto Marghera. Inoltre la difficoltà di individuare e predisporre idonei e sufficienti siti di impianto di stoccaggio, trattamento e smaltimento dei sedimenti movimentati in relazione al loro grado di inquinamento, e la difficoltà di gestione, per i quantitativi e le caratteristiche di contaminazione, dei sedimenti risultanti oltre colonna C, provenienti soprattutto dai canali all'interno della zona industriale, ha determinato una situazione di criticità che ha impedito la prosecuzione della attività di dragaggio e risanamento dei canali portuali. A partire dal 2001, sono stati sospesi, generalmente, i lavori di ripristino dei fondali dei canali e le necessarie manutenzioni periodiche per eliminare gli effetti del fenomeno di interrimento naturale che riguarda tutti i canali lagunari.

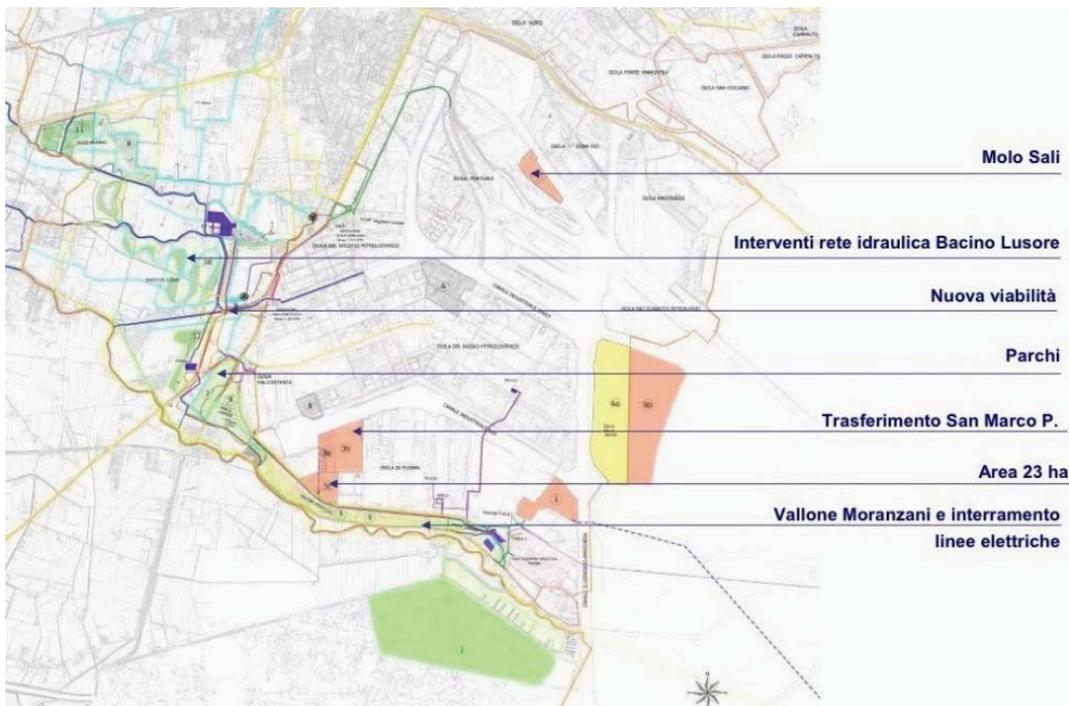
Ciò ha comportato l'instaurarsi di una situazione di criticità dovuta all'interrimento dei canali portuali che ha portato la Capitaneria di Porto di Venezia a emanare il 19 marzo 2004 un'ordinanza che riduceva il pescaggio utile per le navi in transito nel Canale Malamocco-Marghera da 31'06" (9,60 m) a 30' (9,14 m), determinando un pesante decremento del traffico mercantile nel porto di Venezia. A seguito di questa ordinanza e considerata la particolare situazione ambientale di Porto Marghera, a dicembre 2004 è stato dichiarato lo Stato di Emergenza socio economico ambientale dei canali portuali di grande navigazione della Laguna di Venezia e nominato un Commissario Delegato all'Emergenza con il compito di individuare e realizzare tutte le iniziative atte ad eliminare le situazioni di pericolo e pregiudizio per il normale svolgimento delle attività che interessano il Porto di Venezia e di provvedere all'individuazione e realizzazione di siti di recapito finale dei sedimenti dragati sulla base della loro classificazione.

La gestione commissariale è terminata il 31 dicembre 2012 e l'attività di dragaggio dei canali portuali eseguita in questa fase ha consentito al Porto di Venezia di ritornare ai volumi di traffico precedenti alla dichiarazione dello stato di crisi. L'azione Commissariale, assai complessa, ha altresì consentito di individuare modalità di gestione ambientalmente corrette, a costi sopportabili, per i sedimenti di dragaggio meno inquinati (entro C) il cui volume ammontava a circa 5.100.000 m<sup>3</sup>, mentre per i sedimenti a più alti livelli di inquinamento sono state individuate due soluzioni all'interno dell'Accordo di programma cosiddetto "Vallone Moranzani", sottoscritto il 31 marzo 2008 tra Stato, Regione ed Enti Locali (Regione del Veneto, Provincia di Venezia, Comune di Venezia, Magistrato alle Acque e Autorità Portuale di Venezia, Ministero dell'Ambiente, Commissario Delegato).

L'Accordo "Vallone Moranzani" prevede il recupero ambientale di vecchie discariche per i rifiuti speciali che si trovano in località Moranzani a Fusina, in Comune di Venezia, per la messa a dimora dei sedimenti "oltre C" pericolosi, dopo eventuale trattamento di stabilizzazione e inertizzazione, e la realizzazione di una cassa di colmata a ridosso del Molo Sali per i sedimenti "oltre C" non pericolosi, nonché la realizzazione di un impianto per la caratterizzazione e il pretrattamento dei sedimenti (Fig. 36).

Oltre a risolvere le problematiche relative all'individuazione di siti idonei per lo stoccaggio dei sedimenti più inquinati, l'accordo prevede tutta una serie di altri interventi di riqualificazione ambientale dell'area di Malcontenta, in particolare: l'interramento di quattro elettrodotti da 230-380 KV per abbattere i fenomeni di elettrosmog; interventi sulla viabilità comunale, provinciale,

regionale e statale realizzando così la separazione del traffico pesante di transito da quello locale di collegamento tra Malcontenta e Marghera; interventi sulla rete idraulica che presenta situazioni di insufficienza e sofferenza, con creazione di bacini di espansione attrezzati a bosco; la realizzazione di un parco urbano sopra ad una vecchia discarica dismessa a ridosso dell'abitato di Malcontenta; la bonifica di altre discariche dismesse; la creazione di una più ampia cintura verde nel quadrante Sud occidentale di Marghera, da punta Fusina al casello di Villabona che costituirà un "corridoio ecologico" della lunghezza di 4 km con funzioni di separazione fisica, di tipo naturalistico, della zona industriale di Marghera dagli insediamenti abitativi di Malcontenta e di quelli collocati a Sud del Naviglio Brenta; la delocalizzazione dell'area San Marco Petroli; e la riqualificazione ambientale di circa 250 Ha di aree in fregio alla laguna.



**Fig. 36** - Interventi previsti dall'Accordo di Programma Moranzani (Fonte: Regione del Veneto).

## 6. IL DELTA DEL PO

Il Delta del Po si estende a Nord fino al fiume Adige e a Sud fino al Reno, in un territorio completamente al di sotto del livello del mare, fatta eccezione per gli argini, le coste e le dune fossili interne. La parte interessata dai rami attivi del Po, e che comprende il Po di Maistra, il Po Grande o di Venezia, di Tolle, di Gnocca, di Goro, viene definita come "Delta attivo" e si protende nell'Adriatico per molti chilometri. Le attuali condizioni di assetto dei rami del Delta derivano da due fatti storici fondamentali: la rotta di Ficarolo del 1152 e il taglio di Porto Viro del 1604. Con la rotta di Ficarolo, l'assetto idraulico del fiume, assestatosi e consolidatosi fino al basso Medioevo, si viene dunque a spostare verso Nord, riattivando il protendersi del territorio verso il mare. A seguito del nuovo assetto venne anche estromesso il Reno, in precedenza anch'esso affluente del Po.

I grandi mutamenti socio-economici del Cinquecento furono alla base di numerose iniziative di bonifica del territorio. Per prosciugare la grande area paludosa tra Copparo, Codigoro e Mesola (Polesine di Ferrara) gli Estensi avviarono il progetto noto come Grande Bonifica Estense (1566-1572). Il deflusso delle acque di bonifica verso il mare era regolato da due chiaviche principali: la Chiavica dell'Abate (attuale Torre Abate), che permetteva il deflusso nella Sacca dell'Abate, e

la Chiavica di Volano, nel Po di Volano. Nel giro di pochi anni questa grande opera idraulica si dimostrò inefficace in ragione di diversi fattori quali le difficoltà a insediare i terreni prosciugati, un peggioramento climatico (con conseguenti alluvioni), la subsidenza.

Alla fine del Cinquecento il ramo principale del Po (Po di Fornaci) si dirigeva verso Nord ed il costante apporto di detriti cominciava ad allarmare la Serenissima, preoccupata della possibilità che la laguna si occludesse rendendo difficoltoso il passaggio delle imbarcazioni. In questo stesso periodo il potere degli Estensi, duchi di Ferrara, stava volgendo al tramonto e nel 1598 il Ducato ritornò nelle mani della Santa Sede. I veneziani approfittarono di questo momentaneo vuoto politico per effettuare un intervento idraulico progettato da anni, oggi noto come il taglio di Porto Viro, che consentì di indirizzare le acque del Po verso sud.

I lavori, all'avanguardia per l'epoca, iniziarono nel 1600 e si protrassero per quattro anni. Essi consistettero nello scavo di un canale di sei chilometri tra Porto Viro e la Sacca di Goro che al tempo era a Nord di Mesola. Quest'opera segnò lo sviluppo del Delta moderno causando tuttavia non pochi problemi sulle coste: la Sacca di Goro e Porto dell'Abate furono in breve tempo interati dai sedimenti e fu inondato quello di Volano. Il conseguente malfunzionamento delle chiavi decretò la fine della Grande Bonifica Estense; inoltre, per l'apporto di sedimenti del Po di Donzella, il Po di Goro cominciò a piegare verso Sud ingrandendo la Sacca dell'Abate.

Il taglio di Porto Viro e le successive grandi opere di bonifica realizzate a partire dal secolo scorso, in particolare negli anni dal 1900 al 1970, sono i principali fattori della formazione dell'attuale morfologia deltizia. Con gli inizi del XX secolo il fenomeno deposizionale subisce prima un rallentamento e quindi un'inversione, prevalentemente dovuta alla subsidenza innescata dal considerevole emungimento di acque metanifere. Nel periodo compreso tra il 1950 e il 1960 si assiste infatti ad un arretramento della linea di costa, alla conseguente immersione di aree precedentemente formate e allo spostamento verso costa dei banchi sabbiosi. Con la cessazione delle attività estrattive dal sottosuolo, la subsidenza si stabilizza verso valori simili agli anni precedenti al 1940, ma la diminuzione delle portate solide dei rami del Po determina ancora oggi problemi di apporto, particolarmente evidenti sin dalla seconda metà degli anni '60 (*Autorità di Bacino del Fiume Po, 2008*).

Il Delta del Po si presenta oggi come una serie di isole costituite da un'alternanza di zone agricole e zone urbanizzate derivate da interventi di bonifica. Spostandosi verso mare, queste zone lasciano il posto a valli da pesca, per lo più arginate, e a piccole lagune costiere protette da fragili cordoni o scanni sabbiosi (Fig. 37). Dal punto di vista della difesa idraulica, il Delta può essere diviso in due zone: una cosiddetta "chiusa" perché interclusa dai grandi argini delle varie ramificazioni del Po e da un sistema di arginature che costituiscono la 1<sup>a</sup> linea di difesa a mare; la seconda zona, cosiddetta "aperta", più esterna rispetto alla prima, comprende le lagune, sacche arginate ed ambienti umidi separati dal mare da cordoni di dune litoranee. La distinzione in due zone è solo per comodità di schematizzazione dal momento che nella realtà tutto il sistema idraulico presenta numerose interconnessioni.

Restando comunque nell'ambito di questa schematizzazione, il Delta "chiuso" è un territorio dall'altimetria alquanto uniforme, con quote dei terreni praticamente tutte sotto il livello del medio mare (con punte fino a -4 m) e quindi caratterizzato da una serie di "polders" difesi dalle *acque esterne* dalle predette arginature fluviali e marine. La difesa dalle acque zenitali, reflue e di filtrazione è invece affidata ad un sistema di canali e impianti idrovori che le sollevano scaricandole nei tratti terminali dei fiumi o nelle lagune.

La situazione altimetrica è stata aggravata a cavallo tra gli anni '50 e gli anni '70 del secolo scorso a causa della già citata attività di estrazione di gas metano dal sottosuolo che ha causato una subsidenza media di 1,50÷2,00 m con punte anche superiori ai 3 m rendendo più fragili le arginature di difesa dalle acque esterne e dal mare e, nel contempo, più complesso e oneroso il sistema di espulsione delle acque interne.



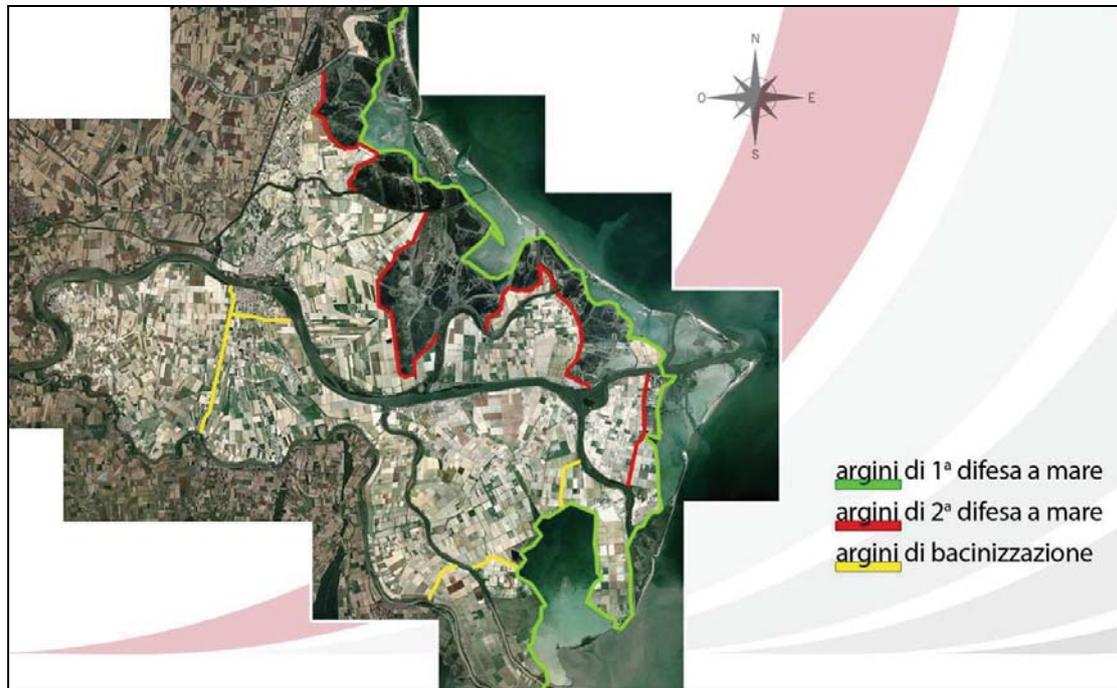
**Fig. 37** - Il Delta del Po e il suo territorio (tratto da L. Tosini - *Il Delta del Po. Situazione idraulica ed interventi di difesa dalle alluvioni*. Presentazione al Convegno All - Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni. Venezia, 5 ottobre 2012).

La sicurezza idraulica della zona chiusa è stata sicuramente migliorata dopo la storica piena del Po che causò l'alluvione del 1951. A seguito di quell'evento diffusi furono interventi di rialzo/ringrosso/rinforzo degli argini e di raddrizzamento della tortuosità di alcuni rami dell'apparato deltizio. Per quanto riguarda poi il rischio di inondazione dall'Adige, per la parte a Nord del Delta, va detto che la situazione idraulica era migliorata a partire dai primi anni '60 grazie all'entrata in esercizio della grande galleria scolmatrice Adige-Garda.

Per quanto riguarda il rischio di inondazioni marine va ricordato che la sistemazione delle arginature di 1<sup>a</sup> difesa a mare è radicalmente cambiata dopo il 1966: rialzi e ringrossi le hanno rese meno vulnerabili rispetto alle mareggiate più violente e inoltre sono state eseguite difese spondali per controllare i fenomeni di erosione. Una seconda linea di difesa a mare è stata realizzata a tergo delle valli da pesca a difesa della cosiddetta zona chiusa, ed altri argini, detti di bacinizzazione (separazione di bacini idraulici), sono stati realizzati a difesa dei centri abitati (fig. 38).

Più complessa appare invece la situazione rispetto al rischio di inondazione derivante dalle acque che piovono all'interno della zona chiusa. L'azione della bonifica nel Delta avviene attraverso un complesso sistema di drenaggio costituito da una imponente rete di canali consorziali (700 km complessivi) e da 38 impianti idrovori fra principali e secondari. La portata complessiva sollevata è di circa 195 m<sup>3</sup>/s per una potenza installata di 14.000 Kw ed un consumo medio annuo di 12.000 Kwh. Tutto ciò ad evidenziare la notevole onerosità del servizio necessario a garantire il prosciugamento e la presenza umana sul territorio. Far fronte in queste condizioni alle esigenze di sviluppo del territorio (espansione urbanistica, miglioramento fondiario), implica un enorme sforzo di adeguamento della capacità dei canali di scolo e degli impianti idrovori, unitamente alla ricerca di soluzioni che consentano processi controllati di laminazione dei deflussi e di mantenimento della capacità di assorbimento dei suoli secondo i principi della cosiddetta invarianza idraulica peraltro già adottati dalle autorità regionali sia con apposite norme in seno alla legislazione relativa alla pianificazione territoriale, sia con appositi provvedimenti adottati nell'ottica di rendere più sostenibili gli interventi edilizi. Nel caso del Delta del Po si tratta di individuare idonee superfici di terreno da allagare in concomitanza delle piene, dando priorità alle aree residuali dell'agricoltura a quelle di naturale espansione degli alvei dei canali di bonifica, a depressioni

naturali dei terreni. In tal modo, con una previsione programmata degli allagamenti è possibile ricostituire i volumi d'invaso sottratti dalle trasformazioni fondiari e quindi regolare il deflusso alla rete di bonifica contenendo a livelli accettabili gli allagamenti indesiderati.



**Fig. 38** - Delta del Po. Argini di difesa a protezione dalla mareggiate. (tratto da L. Tosini - *Il Delta del Po. Situazione idraulica ed interventi di difesa dalle alluvioni*. Presentazione personale al Convegno All - Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni. Venezia, 5 ottobre 2012).

Per quanto riguarda la cosiddetta zona aperta del Delta va ricordato che i maggiori problemi derivano dal degrado delle lagune e dall'erosione dei litorali e delle dune costiere. Le lagune deltizie sono state caratterizzate alla fine degli anni '80 da un degrado senza precedenti che ne ha messo in pericolo non solo l'attività economica ma l'esistenza stessa dal punto di vista della tenuta ambientale. Una delle conseguenze più evidenti fu individuata nella scarsa capacità di ricircolo idrico all'interno delle lagune con il rischio di esasperazione dei fenomeni di inquinamento. Ma, soprattutto, l'aspetto più grave fu la scomparsa della morfologia caratteristica delle lagune, e cioè rete di canali e aree barenicole, a seguito dell'abbassamento dei fondali causato dalla subsidenza dovuta ad estrazione di gas. Si è quindi intervenuti con opere idrauliche di risezionamento dei canali, di ricostruzione di barene e velme, di rinforzo e rialzo degli scanni con risultati positivi dal punto di vista idrodinamico e con benefici tutt'altro che trascurabili per gli aspetti ambientali e produttivi.

Anche gli interventi sulle dune litoranee e sulle relative bocche lagunari sono stati efficaci sia per una migliore regolazione dei flussi di marea e sia ai fini della sicurezza idraulica del territorio. Le dune litoranee costituiscono infatti la "primissima" difesa del territorio deltizio.

Elementi di vulnerabilità risiedono ancora nei processi di erosione che interessano sia la parte a Nord che quella a Sud della cuspidè deltizia. Particolarmente attivi tali fenomeni risultano nella parte Sud rispetto alla foce del Po di Pila ove, negli ultimi 60 anni, l'arretramento della linea di riva di alcuni tratti ha raggiunto profondità massime di 500 m (litorali della Laguna di Bonelli e della Sacca del Canarin).

L'ambito della Sacca di Scardovari è quello in cui si sono osservate le modificazioni morfologiche più consistenti sia per le "aree barenicole" sia per gli scanni che, in circa 60 anni, hanno su-

bito un arretramento di circa 2 Km con un evidente nesso di causalità rispetto ai fenomeni di subsidenza che, tra gli anni '50 e i '60, hanno portato a significativi abbassamenti con variazione dell'ordine di 1,50÷2,00 m di media e in taluni casi anche maggiori.

Oltre alla perdita netta di terre emerse dovute all'aumento del livello relativo del mare, dalle maggiori profondità dei fondali sotto costa è conseguito un incremento dell'azione del mare e quindi un riassetto della linea degli scanni lagunari in posizione più arretrata. Per la cuspideltizia attorno al Po di Pila i dati relativi sempre agli ultimi 60 anni, evidenziano invece un avanzamento verso mare di oltre 800 m. In questo caso è logico ritenere che gli effetti della subsidenza siano stati contrastati dalla tendenza all'accrescimento della cuspideltizia dovuta al trasporto solido nel ramo principale. Sulla parte Nord del Delta la situazione è meno netta; tuttavia l'arretramento dei litorali di Rosolina e Boccasette evidenzia anche qui un'erosione in atto. In ordine al trasporto dei sedimenti da parte del Po e dei suoi rami deltizi non v'è dubbio che nei decenni scorsi ci sia stata una riduzione sulla cui consistenza è difficile fare stime in assenza di quelle sistematiche misure che un tempo venivano eseguite dall'Ufficio Idrografico del Magistrato per il Po.

In definitiva la perdita delle terre emerse, la riduzione spaziale degli scanni e delle barene lagunari ha certamente indebolito il sistema di prima difesa di quella parte di Delta indicato come "aperto" (Tosini, 2012).

È stata ravvisata in varie occasioni la necessità di indirizzare l'impegno per la difesa del territorio dal mare prevedendo il rinforzo degli scanni e la ricostruzione delle aree barenicole. Gli interventi sulle lagune realizzati negli anni '90, e poi quelli gestionali del primo decennio del 2000, hanno ripristinato in parte una morfologia efficace ai fini del ricircolo idrico con la ricostruzione di molte aree barenicole scomparse e l'adeguamento degli scanni. Questi interventi appaiono utilissimi per contrastare il moto ondoso all'interno delle lagune e quindi per ridurre l'energia dell'onda contro le prime difese a mare. L'indebolimento o la mancanza di tali difese metterebbe in grave pericolo l'esistenza stessa delle lagune e il moto ondoso verrebbe ad esaltarsi aumentando la sua energia al piede degli argini di 1° difesa della zona chiusa.

## 7. CONCLUSIONI

Lidi e lagune del Nord Est italiano rappresentano una realtà assai complessa ove l'applicazione del concetto di sviluppo sostenibile richiede la considerazione di una molteplicità di fattori che regolano il rapporto tra territorio e acqua, tra uomo e acqua, tra uomo e territorio. Temi come ad esempio quello della salvaguardia della Laguna di Venezia sono questioni storicamente proprie di sviluppo sostenibile. La legislazione speciale aveva proprio lo scopo di inquadrare in un sistema equilibrato le questioni dello sviluppo socio-economico con quelle della tutela del patrimonio storico, culturale e monumentale di una città unica come Venezia e delle altre realtà urbane (Chioggia, Murano, Burano, ecc.), con quelle della conservazione dei caratteri ambientali propri del bacino lagunare. Sembra francamente difficile immaginare la sopravvivenza di Venezia senza la sua laguna, che nell'insieme rappresentano connotazioni peculiari della cultura del nostro Paese. Come è noto, tutto ciò non ha mancato di suscitare un dibattito assai vivace, spesso polarizzato su fronti contrapposti, che tuttora permane anche in ragione della coesistenza di altre pressanti connesse questioni tuttora aperte: l'utilizzo degli spazi lagunari per la pesca e la molluschicoltura, la presenza dell'area industriale di Porto Marghera, il porto e le attività turistiche e commerciali, il passaggio delle grandi navi da crociera all'interno di Venezia lungo il canale della Giudecca e la regolamentazione dei flussi turistici. L'entrata in esercizio del MO.S.E., il cui termine dei lavori è previsto per la fine del 2016, aprirà una nuova fase della storia lagunare. A questo proposito si è già riaperto il dibattito sulla gestione del rischio di inondazione della città e delle altre realtà urbane lagunari, sull'affidabilità delle previsioni dello stato del mare davanti le

bocche e delle alluvioni nel bacino scolante, sulla individuazione del/dei soggetto/i istituzionale/i che dovrà/dovranno avere la responsabilità di fornire i dati e le previsioni necessarie per attivare la manovre di chiusura/apertura, sull'agibilità del porto durante le fasi, più o meno prolungate, di chiusura delle bocche, ecc.

Sicuramente le problematiche delle altre lagune, per quanto serie ed importanti, non presentano gli aspetti di complessità delineati per la Laguna di Venezia. Tuttavia non si possono disconoscere elementi di affinità sia nel caso della Laguna di Marano-Grado, sia nelle valli e nelle piccole lagune del Delta del Po: scomparsa delle barene, necessità di dragaggio dei canali navigabili, qualità delle acque e dei sedimenti lagunari, protezione dei litorali antistanti, conservazione degli habitat, in molti casi esasperati da problematiche locali come ad esempio quelle relative alla subsidenza di origine antropica.

Non meno complessi sono i temi di sviluppo sostenibile che riguardano il litorale ove le esigenze legate ad un settore economico importante, come il turismo, devono fare i conti con le condizioni di vulnerabilità delle spiagge. Qui infatti il rischio di erosione diffusa è mitigato soltanto attraverso ripetuti interventi di ripascimento che la pubblica amministrazione deve frequentemente mettere in atto per far fronte ai danni causati dalle mareggiate autunno-invernali che portano via ingenti quanti di sabbia dalle spiagge ove le onde scaricano lasciando detriti di ogni genere spesso rilasciati alle foci dalle piene fluviali. A questo proposito, è stato sottolineato come tutto ciò sia il frutto di una situazione di totale squilibrio del litorale, condizione associabile alla concomitanza di vari fattori, molti dei quali di origine antropica: drastica riduzione dell'apporto di sedimento dai fiumi per la presenza di dighe e sbarramenti e per l'attività di estrazione di inerti che per lungo tempo è rimasta incontrollata; eccessiva pressione urbanistica nelle aree a vocazione turistica, talvolta anche con la logica del massimo avvicinamento al mare e conseguente scomparsa di lunghi tratti del cordone dunale; armatura con moli guardiani delle foci lagunari e fluviali che interferiscono con il trasporto litoraneo; subsidenza naturale ed antropica, quest'ultima causata da estrazioni acqua e gas dal sottosuolo nell'entroterra.

Il ripascimento richiede però la necessità di ingenti quantità di sabbia da prelevare al largo dal fondale dell'Adriatico, che comunque non rappresenta una riserva inesauribile. Ciò peraltro implica un'azione di attento studio e ricerca al fine di poter individuare idonee aree di prelievo lontane dagli ecosistemi di pregio (*tegnùe*) di valore assolutamente primario per il mantenimento del buono stato ecologico del mare.

Si capisce quindi che la politica comunitaria in tema ambientale rappresenta una vera e propria svolta, segnando cioè il passaggio dal tradizionale approccio metodologico adottato fin dal secolo scorso, e che vedeva il tema della conservazione dei litorali veneti strettamente associato a quello della conservazione delle lagune e dei loro porti, ad un più articolato e complesso approccio (olistico) che tenga in debito conto tutti gli aspetti ambientali.

Uno dei tratti peculiari di questa nuova fase è il passaggio da politiche basate sulla fissazione di limiti a direttive incentrate sul perseguimento di obiettivi spazialmente e temporalmente definiti a livello comunitario, lasciando comunque larghi margini agli Stati Membri di stabilire le modalità per raggiungerli. Ciò implica necessità di coordinamento tra livelli di governo, coinvolgimento di interessi, partecipazione dei cittadini alle decisioni. Aspetti questi contenuti in una serie di direttive che hanno riguardato la qualità dell'aria, la qualità delle acque, gli inquinanti responsabili dei fenomeni di acidificazione ed eutrofizzazione nonché sui precursori dell'ozono, sui rifiuti, sulla prevenzione e il controllo integrato dell'inquinamento (IPPC) e, non ultima, la Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (2008/56/CE, recepita con D. Lgs. 190/2010) per il conseguimento e il mantenimento del Buono Stato Ambientale dell'ambiente marino entro il 2020.

Parallelamente nel nostro Paese, in virtù della riforma del Titolo V della Costituzione, abbiamo assistito ad una svolta passando dall'Urbanistica al Governo del Territorio. Il concetto di "gover-

no del territorio” non è limitato alla regolazione degli usi del suolo che costituiscono tradizionalmente la disciplina urbanistica. Può essere invece considerato un “ruolo funzionale”, a carattere orizzontale e trasversale che trascende la frammentazione e la separatezza fra diverse materie, tipica dell’apparato amministrativo. Oltre all’urbanistica e alla pianificazione territoriale, l’idea di governo del territorio integra infatti il paesaggio, la difesa del suolo, lo sviluppo locale, la mobilità e le infrastrutture, la protezione degli ecosistemi, la valorizzazione dei beni culturali e ambientali. Si è quindi passati dal “government” alla “governance”, da un solo obiettivo (riduzione della complessità) a molti obiettivi (esplicitazione della complessità), da una informazione centralizzata ad una informazione condivisa, da metodi di ottimizzazione e controllo a sistemi di supporto e monitoraggio. In questo nuovo contesto la Valutazione Ambientale Strategica (VAS) rappresenta un nuovo modo di elaborare e attuare (e coordinare) piani per il governo del territorio in un contesto di *governance*. Perché definisce obiettivi di lungo periodo e traguardi quantificati, prevede la partecipazione della collettività nel processo di costruzione delle scelte, richiede la valutazione delle alternative migliori per raggiungere gli obiettivi e si conclude con il monitoraggio dei risultati mediante l’impiego di opportuni indicatori. La procedura VAS diventa quindi uno strumento di coerenza tra piani di diverso livello e di diverso contenuto (Vittadini, 2012).

Non va tuttavia dimenticato che la VAS in tema di acque presenta alcuni aspetti contraddittori. Prendiamo il caso della Direttiva Quadro 2000/60/CE. Qui è previsto un processo di “Partecipazione attiva” alla elaborazione del Piano di Gestione. Questo processo precede l’introduzione della VAS, di fatto avvenuta più tardi con la Direttiva 2001/42/CE, ma corrisponde agli stessi principi. Un altro caso riguarda i Piani di Gestione del rischio alluvioni, di cui alla Direttiva 2007/60/CE, incentrati sulla prevenzione, sulla protezione e sulla preparazione, che dovranno essere sottoposti a VAS. Non si può nascondere che nel recepimento italiano di queste norme si sia fatta una certa confusione: per i Piani di Gestione delle acque e quelli del rischio alluvioni è prevista sia VAS che Partecipazione attiva, anche se separate. Invece, i Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI), che tra l’altro pongono vincoli anche negli ambiti costieri prossimi alle foci fluviali, sono esenti da VAS.

Occorrerebbe quindi una maggiore chiarezza in tema di normativa che regola l’adozione e l’approvazione dei piani. Il necessario raccordo, da molti auspicato, tra governo del territorio e governo delle acque potrebbe quindi essere riconosciuto attraverso piani costruiti secondo il processo di VAS. Ciò al fine di pervenire a strumenti di prevenzione per l’attivazione di comportamenti consapevoli proprio perché si va a valutare, considerare e ponderare tutti gli aspetti di interferenza con le varie matrici ambientali.

## BIBLIOGRAFIA

**Autorità di Bacino del Fiume Po**, 2008. *Piano stralcio per l’assetto idrogeologico del delta del fiume Po (PAI Delta)*. Relazione Generale.

**Bondesan M., Castiglioni G.B., Elmi C., Gabbianelli G., Marocco R., Pirazzoli P.A. and Tomasin A.**, 1995. *Coastal areas at risk from storm surges and sea-level rise in Northeastern Italy*. Journal of Coastal Research, 11, 4 pp. 1354-1379.

**Brambati A.**, 1987. *Studio sedimentologico e martittimo-costiero dei litorali del Friuli Venezia-Giulia*. Regione Autonoma Friuli V.G., Direzione Regionale dei Lavori Pubblici. Servizio dell’Idraulica, Trieste, 1987.

**Carbognin L., Teatini P., Tosi L.**, 2005. Land subsidence in the Venetian area: known and recent aspects. *Giornale di Geologia Applicata* 1 (2005) 5, pp. 5-11.

**Cavaleri L.**, 1999. *The Oceanographic Tower Acqua Alta: more than a quarter of a century of activity*.

Società di Fisica Italiana.

**Cicuttini M.**, 2010. *La laguna di Marano e Grado*. In *Atti del Convegno Internazionale sulle lagune*. Quaderni di Ca' Vendramin. Periodico del laboratorio Internazionale Delta e lagune. Numero 1, Novembre 2010.

**Commissario Delegato per l'emergenza socio economico ambientale relativa ai canali portuali di grande navigazione della laguna di Venezia**. *L'attività Commissariale (2004-2012)*, Venezia 2013.

**Corsino R., Zanata F.**, 2006. *L'attività della Regione del Veneto per il disinquinamento della Laguna di Venezia*. L'Acqua, n° 2/2006, pp. 9-28.

**Cosolo M., Utmar P., Roppa F., Sponza S.**, 2006 - *Ruolo ecologico delle zone umide costiere del Friuli Venezia Giulia per l'avifauna acquatica: l'importanza delle zone soggette a marea e delle valli arginate*. Workshop Linee guida e casi di studio per la gestione dei siti della rete Natura 2000 in ambienti di transizione, Grado (GO) 7-8 giugno 2006. Edizioni Università di Trieste 197-212 p.

**D'Alpaos L.**, 2010. *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, Memorie, 44, Venezia.

**D'Alpaos L.**, 2012. *La difesa idraulica ed ambientale della laguna di Venezia*. Comunicazione personale al Convegno AII - Sezione Veneta, "Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni". Venezia, 5 ottobre 2012.

**Distretto Idrografico delle Alpi Orientali**, *Piano di Gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali*, Venezia 2009.

**Dorigo L.**, 1965. *La laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici*. Pubblicazione n° 155 dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque. Grafiche Gasparoni Venezia, 1965.

**Ferla M., Cordella M., Michielli L., Rusconi A.**, 2007. *Long term variations on sea level and tidal regime in the lagoon of Venice*. *Eustuarine Coastal and Shelf Science - Special issue: Biodiversity and Ecosystem Functioning in Coastal and Transitional Waters*. Volume 75, issues 1-2, October 2007, pp. 214-222.

**Ferla M., Cordella M., Michielli L., Rusconi A.**, 2008. *Analisi delle variazioni di lungo periodo del livello del mare dell'Area Nord Adriatica e del regime di marea nella laguna di Venezia e di Marano-Grado*. L'Acqua, n° 5/2008, pp. 65-76.

**Fontolan G., Bezzi A., Facin G., Pillon S.**, 2010. *Trasformazioni morfologiche nella laguna di Marano*. Università degli Studi di Trieste. Coastal Group del Dipartimento di Geoscienze.

**Fontolan G., Bezzi A., Pillon S.**, 2011. *Rischio da mareggiata*. In *Atlante Geologico della Provincia di Venezia*. Note Illustrative, pp. 581-600. Provincia di Venezia 2011.

**Fontolan G.**, 2012. *Aspetti geomorfologici ed evolutivi tra la foce dell'Isonzo e i Litorali Romagnoli*. Comunicazione personale al Convegno AII Sezione Veneta "Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni". Venezia, 5 ottobre 2012.

**Gatto F., Marocco R.**, 1992. *Caratteri morfologici ed antropici della laguna di Marano-Grado*. GORTANIA - Atti del Museo Friulano di Storia Naturale, vol. 14 (1992), pagg. 19-42, Udine 31.VII.1996.

**Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC**, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, edited by J.T. Houghton et al., Cambridge University Press, New York (US).

**Marani M., D'Alpaos A., Lanzoni S., Carniello L.**, 2007. *"Biologically-controlled multiple equilibria of tidal land forms and the fate of the Venice lagoon"*. *Geophysical Research Letters*, 34, L11402, doi:10.1029/2007GL030178.

**Marocco R.**, 2004. *La laguna raccontata da un gradese*. Estratto da "La laguna di Grado", Edizioni della Laguna.

**Marocco R., Pessina M.**, 1996. *Il rischio litorale nell'area circumlagunare del Friuli Venezia Giulia*. GORTANIA - Atti del Museo Friulano di Storia Naturale, vol. 17 (1995), pagg. 5-35, Udine 31.VII.1996.

**Ministero dei LL.PP., Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque** (1987). *Variazioni delle superfici componenti il bacino lagunare*. Pubblicazione n° 160, Venezia 1987.

- Polli S.**, 1961. *Sul fenomeno dell'acqua alta nell'Adriatico settentrionale*. Istituto Talassografico Sperimentale, Pubbl. n. 384, Trieste.
- Polli S.**, 1961. *Propagazione della marea nel golfo di Venezia*. Istituto Talassografico Sperimentale, Pubbl. n. 385, Trieste.
- Polli S.**, 1962. *Le sesse (seiches) dell'Adriatico*. Istituto Talassografico Sperimentale, Pubbl. n. 393, Trieste.
- Rapaglia J., Zaggia L., Riklefs K., Gelinis M., Bokuniewicz H.** (2011). Characteristics of ships' depressions waves and associated sediment resuspension in Venice Lagoon. *Journal of Marine Systems*, 85 (2011), pp.45-56.
- Regione del Veneto**, *Il progetto Integrato Fusina e l'utilizzo della fitodepurazione*, Venezia, 20 settembre 2012.
- Ret M.**, 2006. *Bilancio idrologico e circolazione idrica della Laguna di Marano-Grado*. Tesi di laurea. Corso di laurea specialistica in Ingegneria dell'Ambiente e delle Risorse. Facoltà di Ingegneria. Università di Udine.
- Ruol P.**, 2012. *Vulnerabilità delle zone costiere in relazione alle previste variazioni climatiche: un caso applicativo in alto Adriatico*. Comunicazione personale al Convegno AII - Sezione Veneta, "Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni". Venezia, 5 ottobre 2012.
- Stura S.**, 2004. *Erosione e ripascimento delle spiagge*. Atti dei Convegni Lincei 205. XXI Giornata dell'Ambiente. Aree Costiere, Roma 5 giugno 2004, pp. 51-74. Accademia nazionale dei Lincei, Roma, 2004.
- Tosini L.**, 2012. *Il Delta del Po. Situazione idraulica ed interventi di difesa dalle alluvioni*. Comunicazione personale al Convegno AII Sezione Veneta "Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni". Venezia, 5 ottobre 2012.
- Ufficio di Piano**, *Porto Marghera - Riqualificazione ambientale nel sito di bonifica di interesse nazionale*, Venezia 2008.
- Ufficio di Piano**, *La gestione dei sedimenti contaminati nella Laguna di Venezia*, Venezia 2010.
- Umgiesser G.**, 2012. *Processi meteo-marini e cambiamento climatico nelle aree costiere del Nord Adriatico*. Comunicazione personale al Convegno AII - Sezione Veneta, "Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni". Venezia, 5 ottobre 2012.
- Vittadini M. R.**, 2012. *Strumenti per la città e il paesaggio nelle aree costiere del nord Adriatico*. Comunicazione personale al Convegno AII - Sezione Veneta, "Aree Costiere Nord Adriatiche e difesa dalle alluvioni". Venezia, 5 ottobre 2012.
- Volpe V.**, 2008. *Gli interventi del Magistrato alle Acque sui litorali veneti*. In X Savi Sopra la X. Periodico trimestrale di informazione del Magistrato alle Acque di Venezia. Anno 02. Numero 04 -Giugno 2008, pp. 4-25.