

# IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

10 anni di monitoraggi  
tra mare e laguna di Venezia  
2004 - 2015



*Editors*

*P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi*



Questo volume riassume i principali risultati dei "Monitoraggi degli effetti dei cantieri prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari" condotti a partire dal 2004 nell'ambito degli Studi B.6.72 B/1 - B/11 del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle Acque di Venezia), affidati al Consorzio Venezia Nuova e sviluppati da CORILA.

#### **Alta sorveglianza**

Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto  
- Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle  
Acque)

Ufficio Salvaguardia di Venezia  
*Giampietro Mayerle, Fabio Riva,  
Valerio Volpe, Maria Adelaide Zito*

#### **A cura di**

CORILA  
*Editors: Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà,  
Paola Del Negro, Luigi Tosi*

#### **Con i contributi specialistici di**

CORILA  
*Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà, Chiara Dall'Angelo*  
Dipartimento di Biologia, sezione di Etologia, Università di Pisa  
*Natale Emilio Baldaccini*

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino  
*Alessandro Casasso, Antonio Di Molfetta, Rajandrea Sethi*

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale,  
Università degli Studi di Padova (DICEA-UNIPD)  
*Giampaolo Di Silvio*

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara  
*Renzo Cremonini, Patrizio Fausti, Maria Carmen Guerra,  
Andrea Santoni, Giuliano Scalpelli Quiqueto,  
Nicolò Zuccherini Martello*

Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia (DAIS-UNIVE)  
*Marco Anelli Monti, Francesco Cavarro, Francesca Coccon,  
Piero Franzoi, Vyrion Georgalas, Elisa Morabito, Fabio Pranovi,  
Simone Redolfi Bristol, Giovanni Sburlino, Patrizia Torricelli,  
Matteo Zucchetta*

© Copyright CORILA  
Consorzio per il Coordinamento delle Ricerche  
inerenti al sistema Lagunare di Venezia

S. Marco 2847, Palazzo Franchetti  
30124 Venezia

Tel. +39-041.2402511 - pec: corila@pec.it

direzione@corila.it

www.corila.it

This work is licensed under a  
Creative Commons Attribution 4.0 International License.  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Stampa Nuova Jolly, Padova 2017

#### **Coordinamento generale**

Consorzio Venezia Nuova  
*Fabio Beraldin, Giovanni Cecconi, Claudia Cerasuolo,  
Massimo Gambillara*

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima,  
Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR)  
*Franco Belosi, Daniela Cesari, Daniele Contini*

Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche  
(ISMAR-CNR)  
*Giuliano Lorenzetti, Giorgia Manfè, Marco Sigovini,  
Davide Tagliapietra, Luca Zaggia*

Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali,  
Consiglio Nazionale delle Ricerche (IDPA-CNR)  
*Andrea Gambaro*

Museo di Storia Naturale di Venezia  
*Luca Mizzan, Marco Uliana, Cecilia Vianello*

SELC soc. coop.  
*Isabelle Cavalli, Emiliano Checchin, Daniele Curiel,  
Daniele Mion, Chiara Miotti, Andrea Rismondo, Francesco Scarton*

Università IUAV di Venezia  
*Marco Della Puppa, Marco Mazzarino*

*Francesco Barbieri, Elena Elvini, Leonardo Ghirelli,  
Lorenzo Zanella*

*Tutti i rapporti relativi ai monitoraggi dei cantieri del MOSE sono  
a disposizione al sito web [www.monitoraggio.corila.it](http://www.monitoraggio.corila.it).*

*La presente relazione scientifica è parte delle attività finanziate  
dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato  
Interregionale per le Opere Pubbliche del Veneto - Trentino  
Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (PROVV.OO.PP.), già  
Magistrato alle Acque di Venezia (MAG.ACQUE), tramite il  
concessionario Consorzio Venezia Nuova (CVN).*

*Tutte le figure, salvo quelle di cui è indicata esplicitamente la  
fonte, sono di proprietà di CORILA e degli autori.*

*Le affermazioni qui riportate sono di responsabilità degli autori  
e non necessariamente sono condivise dal Provveditorato  
o dal Concessionario.*



# Una visione olistica, multidisciplinare e integrata per il Piano di monitoraggio della costruzione del MOSE

## *A holistic, multidisciplinary and integrated vision for the monitoring plan of the MOSE's construction*

Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà

### Introduzione

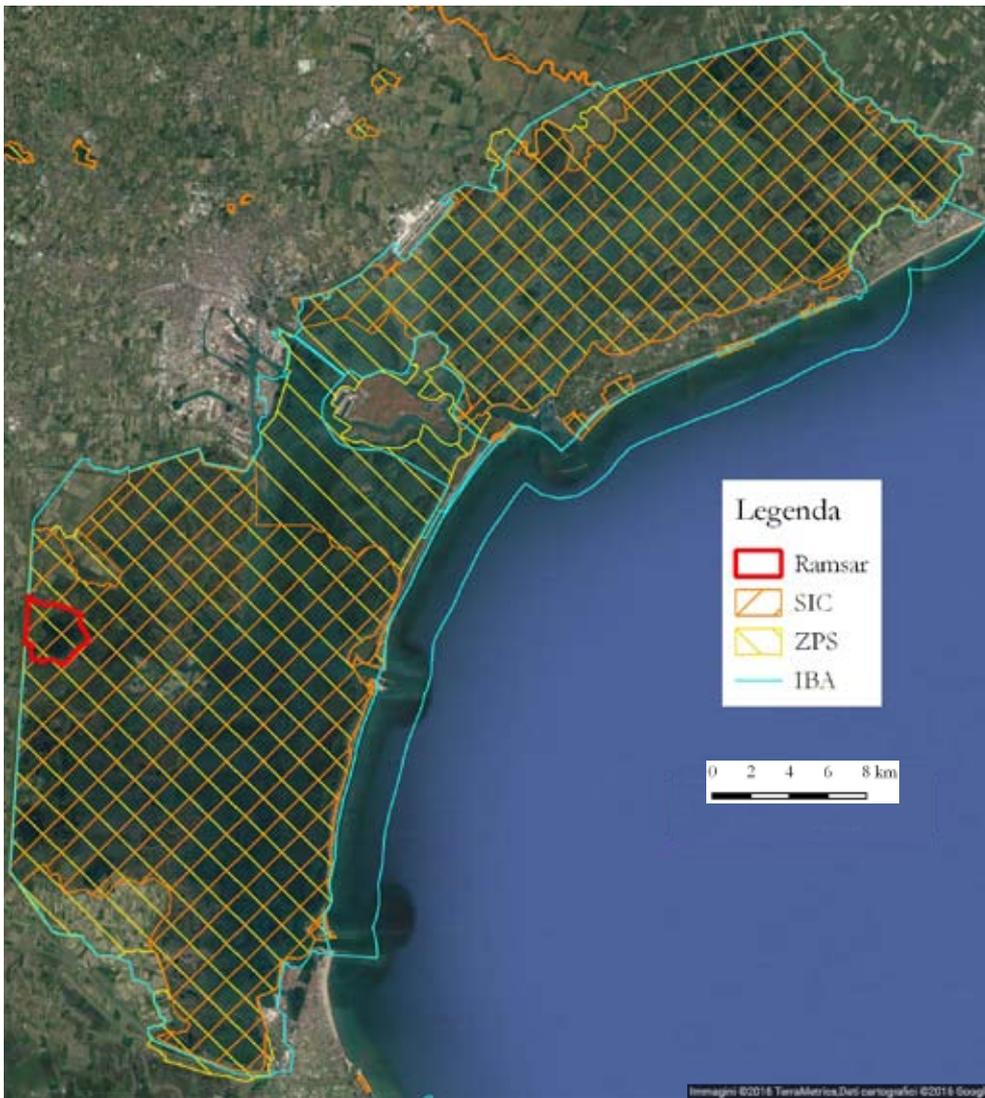
#### ***La laguna di Venezia: caratteristiche fisiografiche ed ecologiche***

La laguna di Venezia ha una superficie di circa 550 km<sup>2</sup> di cui soltanto l'8% è occupata da terra emersa: la città di Venezia, una cinquantina di isole minori, i litorali, le valli da pesca arginate e le casse di colmata artificiali. Essendo un sistema di transizione tra terra e mare, è influenzata dalla marea che si espande rapidamente attraverso i canali; essi occupano circa l'11% della superficie, mentre il restante 80% è occupato da velme, piane fangose non vegetate che emergono solo in occasione di eccezionali basse maree, e aree barenicole vegetate, occasionalmente sommerse dall'alta marea. La profondità media della laguna centrale e meridionale è di circa -1,8 m, mentre quella della laguna nord è di circa -1,3 m (Guerzoni e Tagliapietra, 2006).

Divisa dall'Adriatico da un lungo cordone litoraneo, la laguna mantiene la connettività col mare attraverso le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia (figura 1).

La connessione con il bacino scolante, che ha una superficie di circa 1.850 km<sup>2</sup> e ospita insediamenti agricoli, industriali e urbani (Regione del Veneto, 2000), è garantita da 9 principali immissari che convogliano in laguna acque piovane e fluviali. L'attuale estensione del bacino scolante è molto più ridotta di quella che 6.000 anni fa (Gatto e Carbognin, 1981) permise la formazione della laguna grazie al trasporto di detriti dai monti; infatti, dal XV secolo in poi, ed in particolare dal XVI secolo, la Repubblica di Venezia volle deviare le foci di importanti fiumi alpini, portandole dalla laguna al mare. Attualmente il volume complessivo di acqua dolce trasportata dai fiumi è valutato intorno ai 1.000.000 m<sup>3</sup>/anno (Regione del Veneto, 2000) e, nonostante il trasporto solido sia limitato, l'apporto di sostanze nutritive (azoto, fosforo) ed inquinanti (organici ed inorganici) è oggetto di una particolare attenzione, anche normativa (DM 23/04/1998, DM 16/12/1998, DM 09/02/1999, DM 30/09/1999).

La laguna di Venezia è un ambiente microtidale, con un'escursione massima di marea di circa 1 m. Lo scambio mare-laguna con ritmo bidiurno rappresenta la forzante principale dell'ecosistema lagunare. La struttura morfologica è articolata (Amos *et al.*, 2010): la rete di canali convoglia la corrente di marea con velocità decrescenti dalle zone prossime alle bocche, dove le correnti sono più intense, alle aree più interne che sono caratterizzate da un modesto idrodinamismo e da un ridotto ricambio idrico. I tempi di residenza, infatti, raggiungono i 20 giorni nelle parti più interne, prossime alla gronda.



1. La laguna di Venezia. Sono evidenziate le aree protette secondo le normative comunitarie ed internazionali. Dati mappa ©2016 Google.

L'idrodinamismo determina forti gradienti di salinità, con valori decrescenti dal mare verso l'interno e che influenzano fortemente ogni ecotono. La morfologia complessa definisce un insieme composito di habitat, rilevanti per i servizi ecosistemici offerti e caratterizzati da specie endemiche, alcune di elevato pregio.

L'antropizzazione del sistema rappresenta la più importante fonte di disturbo ecologico: diversi tipi di scarichi civile, industriale ed agricolo, circolazione di numerose imbarcazioni a motore, pesca meccanizzata delle vongole, ecc. Il sistema lagunare è infatti caratterizzato da una moltitudine di attività umane: piccoli e medi centri abitati sono distribuiti lungo il perimetro della laguna, il litorale e alcune isole. Il bacino scolante è prevalentemente a uso agricolo e industriale e, in particolare, a Porto Marghera sono presenti ancora alcune industrie chimiche. Il "centro storico" di Venezia registra oltre 10 milioni di presenze turistiche ogni anno, come "notti spese" nel 2015 (Comune di Venezia, 2016), cui si aggiunge un numero ingente di turisti "visitatori" (ovvero che non pernottano in città), la cui stima è incerta, comunque superiore ad 12 milioni/anno; il porto veneziano è uno dei porti più importanti in Italia (25 milioni di tonnellate di merci all'anno e 1,6 milioni di passeggeri delle navi da crociera nel 2015) (Comune di Venezia, 2016), così come l'aeroporto, che, con l'aeroporto di Treviso, rappresenta il terzo Sistema aeroportuale italiano (Rapporto Censis, 2014). Sull'area lagunare pesano, inoltre,

attività legate a pesca tradizionale, trasporto di persone e merci, attività ricreative.

A causa di queste pressioni, cui si aggiungono quelle dovute ai cambiamenti del clima e della perdita altimetrica rispetto al livello del mare (Relative Sea Level Rise) (Carbognin e Tosi, 2002; Carbognin *et al.*, 2010), la laguna veneziana, nonostante la sua capacità di resilienza, è a rischio di calo sostanziale degli habitat caratteristici, cui consegue necessariamente la perdita di biodiversità e dei servizi ecosistemici caratterizzanti.

La laguna di Venezia è la più vasta zona umida del Mediterraneo ed uno dei siti più importanti per la popolazione ornitologica mediterranea, sia per quanto riguarda gli svernanti (410 mila uccelli svernanti censiti nel gennaio 2015; Basso e Bon, 2015) che i nidificanti. Sono state recentemente censite 140 specie di uccelli, che rappresentano circa il 55% delle specie note per l'Italia, di cui 112 sono nidificanti "certe" (Bon *et al.*, 2014). Molte tra queste specie hanno una distribuzione areale ristretta, legata alle zone umide, e sono caratterizzate da popolazioni esigue, minacciate nella loro sopravvivenza.

La costa è in continua evoluzione: l'apporto di sedimenti fluviali e marini, la forza del vento e del mare, l'effetto della vegetazione terrestre, unitamente all'intervento antropico, modellano la morfologia locale influenzando l'ecosistema.

Il litorale veneziano, nelle aree in prossimità delle bocche di porto, è caratterizzato dal susseguirsi di fasce parallele di vegetazione spontanea (Guerzoni e Tagliapietra, 2006; Bon *et al.*, 2014). Man mano che ci si allontana dalla linea di costa si possono incontrare:

- un vasto arenile con la battigia priva di piante ma con materiale spiaggiato sia di origine organica che inorganica (anche antropica); alle spalle vi è una rada ed effimera copertura vegetale pioniera, cui segue la prima comunità perenne che, benchè discontinua, crea gli iniziali ostacoli al trasporto eolico di sabbia, che qui si accumula;
- una fascia di prime dune mobili con specie psammofile, soprattutto *Ammophila arenaria*, seguite da dune stabilizzate dalla vegetazione, che possono raggiungere anche altezze di 8-9 m. La serie continua con dune costiere fisse a vegetazione erbacea, muschi e licheni, che sono denominate "dune grigie" (con comunità vegetali riferibili al *Tortulo-Scabiosetum*), habitat di interesse comunitario secondo la Direttiva Habitat;
- un ambiente retrodunale, con morfologia complessa, ove i rilievi asciutti si alternano a depressioni umide a canneto (con, ad esempio, *Phragmites australis*); qui si alternano praterie a copertura compatta, specie alofile a giunchi (quali associazioni *Puccinellio festuciformis-Juncetum maritimi*) e specie igrofile. Queste aree sono habitat specifico per specie di vegetali (quali *Salicornia veneta* e *Kosteletzkya pentacarpos*) nonché di anfibi di interesse conservazionistico. Dietro a tali ambienti si trovano, a volte, comunità di

2. Barene in laguna sud (A) e litorale in prossimità del centro abitato di Pellestrina (B).



arbusti, legati o meno ad ambienti umidi, alternati a comunità di specie erbacee (quale l'associazione a *Eriantho-Schoenetum*);

- nelle aree non occupate dagli insediamenti umani, segue un ambiente che è stato oggetto di piantumazione di specie alloctone e quindi ora occupato principalmente da pineta artificiale a *Pinus pinea* e *Pinus pinaster*, boscaglia a latifoglie e arbusti.

I moli foranei, costruiti nel XIX secolo per contrastare la naturale tendenza all'interimento dei canali e consentire l'accesso a Venezia a navi con maggiore stazza ed opera viva, delimitano le bocche di porto e ne influenzano la morfologia (Amos *et al.*, 2010). Mentre su tali substrati rocciosi antropogenici si sono costituiti stabili e ricchi ecosistemi (la comunità vegetale è composta da macroalghe che si dispongono a differenti profondità, favorendo l'insediamento di organismi zoobentonici e di ittiofauna richiamata dalla presenza di questi habitat), le aree più interne alle tre bocche di porto sono caratterizzate dalla presenza di praterie a fanerogame (*Zostera marina*, *Cymodocea nodosa* e *Nanozostera noltii*). Esse svolgono una doppia fondamentale funzione ecologica: hanno un importante ruolo per il mantenimento della morfologia lagunare, sono aree di "nursery" per la fauna ittica (anche per specie di interesse comunitario quali il nono, *Aphanius fasciatus*, e il ghizzetto, *Knipowischia panizzae*, o commerciale quale l'orata, *Sparus aurata*) e per l'epifauna bentonica sessile e vagile. Anche nella Water Framework Directive (2000/60/EC) si individuano queste macrofite quali elementi indicatori di livello integrato e riassuntivo delle condizioni dell'intero corpo lagunare.

Anche le aree litoranee veneziane sono sottoposte ad una intensa pressione antropica che ne provoca una riduzione di superficie, in quanto sede di alcuni centri abitati (Lido, Malamocco, Pellestrina, Chioggia, ecc.) interessati da turismo balneare, transito di navi (petroliere, cargo, da crociera), pescherecci e imbarcazioni da diporto. A titolo di puro esempio, è probabile che il drastico calo lungo i litorali veneziani di alcune specie di uccelli nidificanti di interesse comunitario, quali fratino, *Charadrius alexandrinus*, e fraticello, *Sternula albifrons*, evidente nell'ultimo decennio (Bon *et al.*, 2014), sia dovuto principalmente alla elevata pressione antropica, soprattutto estiva, oltre che alla degradazione degli habitat di nidificazione. L'ambiente litoraneo è quindi in continua evoluzione, sia dal punto di vista morfologico che funzionale.

### **La laguna di Venezia: classificazione normativa**

La legge italiana ha riconosciuto una "specialità" per Venezia e la sua laguna anche per la tutela ambientale. Sono molte le disposizioni legislative che si sono susseguite negli anni riguardo l'ambiente lagunare sia come provvedimenti *ad hoc* sia come specificazioni di leggi valide per tutto il territorio nazionale; non è questo il luogo per offrire un loro compendio.

Risulta invece utile allo scopo di questo volume richiamare le disposizioni derivanti dall'applicazione di normative comunitarie ed internazionali.

In particolare, la laguna è soggetta alla considerazione di due importanti dispositivi dell'Unione Europea: Rete Natura 2000 e Direttiva Quadro sulle Acque (Water Framework Directive 2000/60/EC-WFD).

Nella Rete Natura 2000 sono compresi (figura 1):

- due Siti di Importanza Comunitaria (SIC): la Laguna medio-inferiore di Venezia (SIC IT3250030) e la Laguna superiore di Venezia (SIC IT3250031), individuati per la presenza di habitat e specie presenti negli allegati I e II della Direttiva "Habitat" 92/43/CEE,
- una Zona di Protezione Speciale (ZPS): la Laguna di Venezia (ZPS IT3250046),
- e due zone SIC/ZPS situate attorno alle bocche di porto (IT3250003-Penisola del Cavallino: biotopi litoranei e IT3250023-Lido di Venezia: biotopi litoranei),

identificate per la presenza di specie di cui all'allegato I della Direttiva "Uccelli" 79/409/CEE, ora Direttiva 2009/147/CE.

Secondo la WFD, la laguna di Venezia fa parte del bacino idrografico delle Alpi orientali, ricompresa nella subunità idrografica "Bacino scolante, laguna di Venezia e mare antistante". Nell'ambito del Piano di Gestione previsto dalla Direttiva<sup>1</sup>, in applicazione del Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 131/2008, nella laguna di Venezia sono stati individuati 14 corpi idrici, di cui 11 *naturali* e 3 *fortemente modificati* (Valli laguna nord, Centro storico e Valli laguna centro sud).

Le valli da pesca vengono definite come corpo idrico fortemente modificato poiché è stato artificialmente bloccato lo scambio di acque con la laguna circostante. Si tratta quindi di zone che a tutti gli effetti presentano alterazioni delle caratteristiche idromorfologiche come risultato di alterazioni generate dall'attività umana.

Tutti i corpi idrici della laguna di Venezia sono stati preliminarmente classificati come "a rischio" e pertanto è stato applicato a tutti il monitoraggio operativo, come riportato nel Piano di Gestione.

Al termine del primo ciclo di monitoraggio 2010-13, è stata fatta una valutazione complessiva sia dello stato ecologico che dello stato chimico (figura 3), formulando una proposta di classificazione che è stata recepita nel Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque di marzo 2016.

La presenza di importanti popolazioni di uccelli ha portato l'associazione Bird International ad identificare, nel 2003, circa 70.000 ettari della laguna di Venezia come "Important Bird Areas-IBA", area prioritaria per la conservazione degli uccelli.

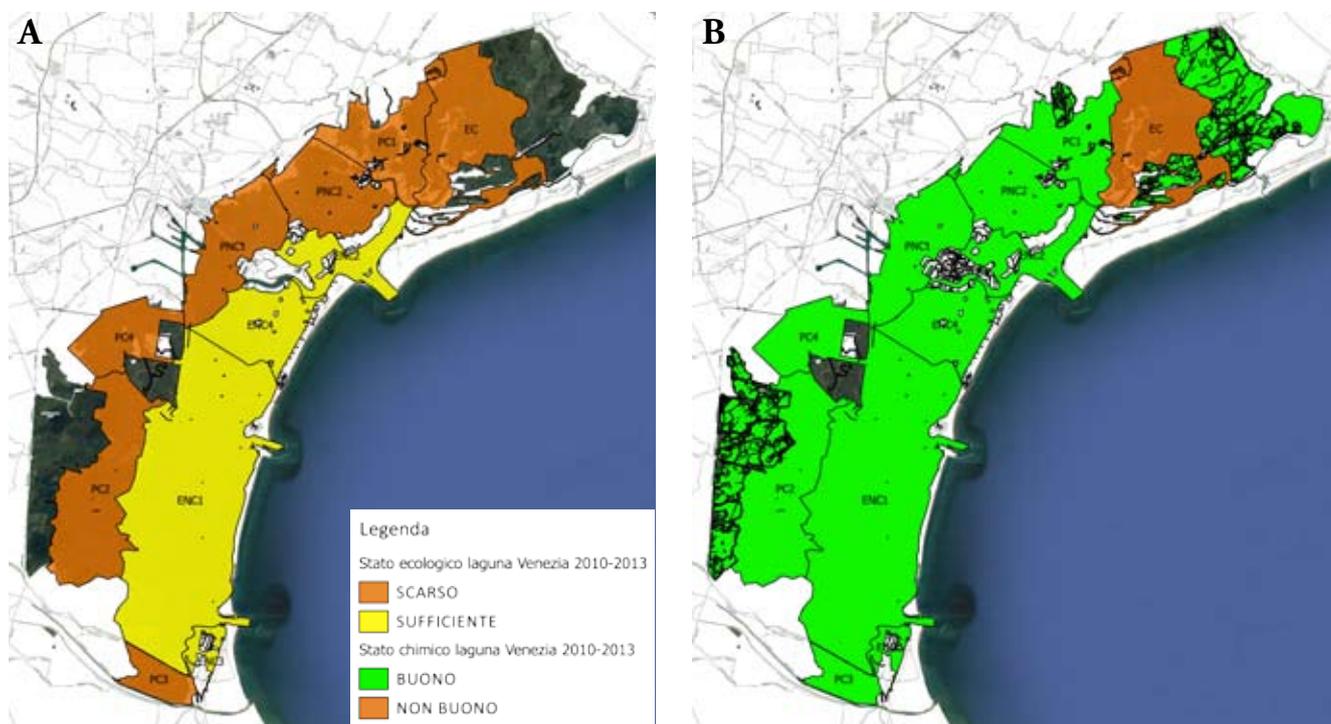
Infine, buona parte della laguna avrebbe le caratteristiche per far parte delle aree umide di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar (1971) che attualmente, di tutta la laguna, considera la sola Valle Averte (circa 5 Km<sup>2</sup>, figura 1).

3. La laguna di Venezia, secondo la attuale classificazione Direttiva 2000/60/CE (Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque, 2016), suddivisa in Corpi Idrici:

A) stato ecologico della Laguna;

B) stato chimico.

<sup>1</sup> [www.alpiorientali.it](http://www.alpiorientali.it)



## Lo scambio mareale ed il fenomeno dell'acqua alta

La marea è un fenomeno dovuto all'attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna e dal Sole sulle grandi masse oceaniche. Poiché il Mediterraneo è un mare di ridotte dimensioni, l'escursione di marea è contenuta; tuttavia, a motivo della sua posizione all'estremità di un bacino semichiuso, l'area dell'alto Adriatico è soggetta alle più ampie escursioni di marea nell'intero Mediterraneo, sino a circa 100 cm in fase di sizigie (ovvero nei periodi di luna nuova o luna piena). A Venezia la marea astronomica descrive una curva di tipo prevalentemente semidiurno, con due massimi e due minimi nelle 24 ore. Il volume medio giornaliero di acqua scambiata, due volte al giorno, tra laguna e mare è notevole, ovvero circa 400 milioni di m<sup>3</sup> (Gačić *et al.*, 2002).

Il fenomeno dell'“acqua alta” è determinato da eventi meteo marini occasionali (vento e pressione barometrica), che da soli possono creare innalzamenti del livello marino maggiori di un metro e che sono generalmente accompagnati da oscillazioni di livello tra nord e sud dell'Adriatico (Trincardi *et al.*, 2016). I fenomeni di acqua alta sono temporanei: durando mediamente, salvo situazioni eccezionali, circa due ore e mezza.

L'eustatismo e la subsidenza, rispettivamente il fenomeno a scala globale che si riferisce all'aumento del volume dell'acqua principalmente dovuto allo scioglimento dei ghiacci ed all'incremento della temperatura degli oceani, e il processo a scala regionale di abbassamento del suolo generato da tettonica, consolidazione dei sedimenti, estrazione di fluidi dal sottosuolo, hanno portato all'aumento del livello mare relativo. Tale innalzamento è di circa 26 cm (Trincardi *et al.*, 2016), valutato come valore medio nel centro storico per il periodo 1908-2016. È da tener presente che il RSLR è estremamente variabile nelle aree costiere ed il valore medio calcolato per la città di Venezia è poco rappresentativo per l'intera laguna, in quanto la subsidenza è molto eterogenea (Tosi *et al.*, 2013); per il bacino lagunare sono stati misurati valori di subsidenza fino a sei volte superiori a quelli rilevati nel centro storico (Tosi *et al.*, 2016).

L'aumento del livello medio del mare è il principale responsabile della frequenza degli allagamenti del centro storico (assieme all'eventuale aumento dell'intensità degli eventi estremi); gli eventi eccezionali sopra i 140 cm, quota alla quale viene allagato il 59% della città (Comune di Venezia, 2015), sono avvenuti “solo” 18 volte dal 1897 ad oggi, di cui solo 5 sino alla fine degli anni '60 (compreso l'evento del 1966) e ben 9 dal 2000 in poi.

Il V rapporto della Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) indica un *range* di possibile innalzamento del livello medio mare al 2100 (a livello globale, rispetto ai valori del 2000), a causa dei cambiamenti climatici nei differenti scenari, compreso tra 17 e 82 cm. Le previsioni riferite al Mediterraneo sono ancora più incerte, date le sue caratteristiche di bacino semichiuso, nel quale l'effetto di aumento di salinità dovuto all'evaporazione contrasta l'effetto di espansione dovuto all'aumento di temperatura. I modelli attuali mostrano inoltre che l'intensità degli eventi meteo marini estremi nell'alto Adriatico potrebbe diminuire nelle prossime decadi (Lionello *et al.*, 2016).

### Il MOSE: non solo semplici paratoie

Il Sistema MOSE per la difesa degli abitati della laguna di Venezia dagli allagamenti ha l'obiettivo di rendere possibile una separazione momentanea tra mare e laguna, durante i fenomeni meteo marini più intensi che provocano un rialzo del livello marino.

Il cuore del MOSE consiste in 78 paratoie metalliche mobili ed indipendenti, tutte di larghezza pari a 20 m, ma diverse come lunghezza (da 18,5 a 29 m) e spessore (da 3,6 a 5 m), raccolte in quattro schiere alle tre bocche di porto, in grado di isolare la laguna dal mare durante gli eventi di alta marea superiori ad una quota prestabilita. Esse

sono così raccolte: due schiere di paratoie di 21 e 20 elementi alla bocca di porto di Lido, la più ampia, collegate da un'isola artificiale; una schiera di 19 paratoie alla bocca di porto di Malamocco; una schiera di 18 alla bocca di porto di Chioggia. Le paratoie sono alloggiate in "cassoni", pesanti strutture in calcestruzzo adagiati all'interno di una trincea scavata nel fondale marino, preventivamente consolidato tramite infissione di pali o con iniezioni di cemento. Le dimensioni dei cassoni variano a seconda della lunghezza delle paratoie che devono contenere, a loro volta proporzionali alla profondità del canale di bocca: si va dai più piccoli di Lido (60x36x8,7m) fino ai più grandi di Malamocco (60x48x11,55m). I cassoni di alloggiamento, allineati tra di loro, costituiscono lo sbarramento della bocca vero e proprio, mentre quelli "di spalla" permettono l'interfaccia tra i cassoni di alloggiamento e l'aggancio con la terraferma, con al proprio interno le vie per far scendere impiantistica e maestranze. Le strutture più imponenti delle barriere sono quelle di spalla, alte fino a 28 m a Malamocco, e che hanno una superficie di 60 m per 24 m. In totale per le tre bocche di porto sono stati realizzati 35 cassoni<sup>2</sup>.

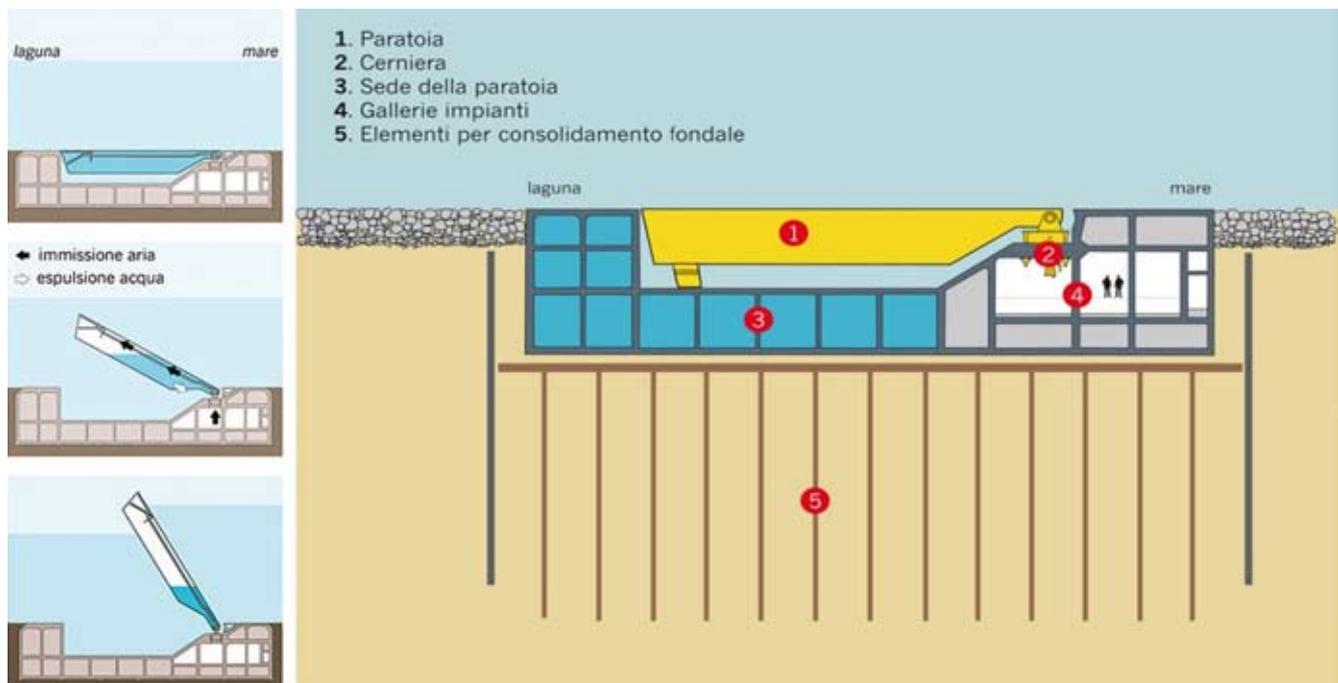
Le "cerniere" vincolano le paratoie ai cassoni e ne consentono il movimento; le paratoie, infatti, normalmente piene d'acqua e adagate sul fondo, possono venir sollevate, in circa 30 minuti, attraverso l'immissione di aria compressa, che le svuota dall'acqua e ne permette l'emersione (figura 4). Quando la marea cala, le paratoie vengono di nuovo riempite d'acqua e fatte riadagiare nei cassoni.

Per assicurare il mantenimento della navigazione da e per la laguna anche durante i periodi di chiusura delle barriere e non interrompere le attività del Porto di Venezia sono state realizzate conche di navigazione: alla bocca di porto di Malamocco per il passaggio delle navi di maggiori dimensioni dirette a Porto Marghera, mentre alle bocche di Lido e a Chioggia le conche sono dimensionate per il passaggio di imbarcazioni da diporto e pescherecci.

La realizzazione del MOSE ha richiesto inoltre interventi ingenti di rafforzamento dei moli foranei e la costruzione di strutture in scogliera in mare (lunate), per la limitazione del moto ondoso nell'area di bocca.

<sup>2</sup> I dati riguardo alle paratoie ed i cassoni, così come altre informazioni generali sul MOSE, sono presi dal sito [www.mosevenezia.eu](http://www.mosevenezia.eu)

4. Movimento delle paratoie del MOSE che, in fase di emersione, fungono da barriera che separa temporaneamente il mare Adriatico dalla laguna di Venezia (dal sito [www.mosevenezia.eu](http://www.mosevenezia.eu)).



## La realizzazione del MOSE: i lavori alle bocche di porto in breve

I lavori per la realizzazione del MOSE hanno preso avvio, contemporaneamente alle tre bocche di porto, nel 2003<sup>3</sup>. La costruzione ha visto 18 chilometri di cantieri lineari a terra e in mare, coinvolgendo direttamente o indirettamente quasi 4000 addetti. Durante tutti questi anni, i cantieri hanno utilizzato un numero elevato di macchine, attrezzature e materiali da costruzione.

Nella consapevolezza che i cantieri avrebbe insistito in aree molto delicate dal punto di vista ambientale, essi sono stati subito organizzati in maniera da interferire il meno possibile con il territorio limitrofo: i cantieri sono stati in gran parte allestiti su spazi acquei provvisori e la movimentazione di macchinari e materiali avviene principalmente via mare per non gravare sul sistema viario del litorale. Inoltre, il normale transito delle imbarcazioni attraverso le bocche di porto non è stato interrotto che in brevi e cruciali fasi di cantiere.

Di seguito, è presentata la descrizione delle principali lavorazioni eseguiti in ciascuna bocca di porto, con particolare riferimento a quelle più rilevanti dal punto di vista degli impatti.

Data la larghezza della *bocca di porto di Lido* (figura 5), qui sono state realizzate 2 schiere di paratoie: una nel canale Lido-Treporti, largo 420 m e profondo 6 m, e una nel canale Lido-San Nicolò, largo 400 m e profondo 12 m, raccordate ad una isola artificiale, che contiene gli edifici tecnologici di controllo per il funzionamento delle due barriere, costruita appositamente a partire dal 2005.

Le aree che sostengono i cassoni sono state delimitate dai palancolati di barriera e dragate rispettivamente fino a quota -13 m e -16 m e quindi consolidate, con jet grouting a Lido-Treporti e con pali di consolidamento in cemento armato a Lido-San Nicolò.

Sul lato nord della bocca (cantiere di Punta Sabbioni), in un'area prima esclusivamente

<sup>3</sup> Sito web <http://opencantieri.mit.gov.it>



5. Bocca di porto di Lido con le opere previste dal Sistema MOSE (dal sito [www.mosevenezia.eu](http://www.mosevenezia.eu)).

marina, è stato realizzato il “porto rifugio”, costituito da due bacini collegati da una conca di navigazione. Il bacino lato mare è stato temporaneamente messo all’asciutto ed impermeabilizzato, realizzando una tura per mezzo di palancoato metallico e diaframma plastico. Quest’area nel periodo 2006-2014 è stata usata come area di cantiere per la costruzione dei cassoni di alloggiamento delle paratoie per la barriera del canale di Lido-Treporti. L’impianto di betonaggio era ubicato all’interno dello stesso cantiere. Costruiti i cassoni, la tura è stata riallargata e i cassoni sono stati trasportati, in galleggiamento, al centro del canale, posizionati sul fondale e zavorrati (anno 2012). Tra il 2012 e il 2014 sono state installate tutte le paratoie e sono in corso di svolgimento test di sollevamento.

Sul lato sud della bocca, cantiere di San Nicolò, i 7 cassoni di alloggiamento ed i 2 cassoni di spalla, posizionati nel periodo 2013-2014 sul fondale consolidato, sono stati costruiti nel cantiere di Malamocco.

All’esterno della bocca, la diga foranea, o lunata, costruita nel periodo 2010-2012, è lunga 1000 m.

Il canale della *bocca di porto di Malamocco* (figura 6) è largo 380 m e profondo 14 m. Il consolidamento del fondale all’interno del recesso di barriera è stato eseguito tramite l’infissione di pali in cemento armato.

All’esterno della bocca di porto, verso sud, è stata costruita, nel 2003/06, la scogliera curvilinea (lunata) lunga circa 1300 m che smorza le correnti di marea e delimita un bacino di acque calme a protezione della conca di navigazione per il transito delle navi dirette al Porto di Venezia, la costruzione della quale è terminata nel 2014.

Nello stesso anno sono stati affondati i 9 cassoni in calcestruzzo per l’alloggiamento delle paratoie nel canale di Malamocco. Essi sono stati costruiti tra il 2009 ed il 2013, assieme ai cassoni destinati al canale di Lido-San Nicolò, nell’ampio cantiere provvisorio ubicato nel lato sud della bocca di porto, ove è stato posizionato anche l’impianto di betonaggio. Ciascuno dei cassoni è stato varato tramite una speciale piattaforma mobile (denominata Syncrolift) e trasportato in galleggiamento fino al sito di destinazione, ove è stato ca-



6. Bocca di porto di Malamocco con le opere previste dal Sistema MOSE (dal sito [www.mosevenezia.eu](http://www.mosevenezia.eu)).



7. Bocca di porto di Chioggia con le opere previste dal Sistema MOSE (dal sito [www.mosevenezia.eu](http://www.mosevenezia.eu)).

lato e zavorrato in maniera definitiva.

Gli edifici di controllo per il funzionamento del Sistema sono ubicati in prossimità della conca, nel lato sud della bocca di porto.

Nel lato nord della *bocca di porto di Chioggia* (figura 7), a Ca' Roman, è in corso di realizzazione il porto rifugio con doppia conca di navigazione e doppio canale per il transito di piccole imbarcazioni da diporto e pescherecci. Tra il 2008 ed il 2014 il bacino lato mare, delimitato da palancolato, è stato temporaneamente messo all'asciutto, impermeabilizzato e usato come area provvisoria di cantiere per la costruzione dei 6 cassoni di alloggiamento delle 18 paratoie di questa barriera e dei 2 cassoni di spalla. Essi sono stati posati nel canale di Chioggia, largo 360 m e profondo 11 m, nell'estate del 2014 dopo che il fondale, dragato fino alla quota circa -22 m, era stato consolidato con pali in acciaio nel periodo 2008-09. Anche in questo caso l'impianto di betonaggio era ubicato all'interno dello stesso cantiere di Ca' Roman.

Nel terrapieno sul lato sud della bocca, a Sottomarina, costruito a ridosso della sponda preesistente, sono in fase di ultimazioni i principali fabbricati e gli impianti per il funzionamento delle paratoie.

All'esterno della bocca di porto è presente la lunata di circa 500 m, la cui costruzione è terminata nel 2004.

## Il Piano di monitoraggio

### Storia ed impostazione del Piano di monitoraggio

Il Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia) attraverso il concessionario di Stato, Consorzio Venezia Nuova, ha affidato a CORILA la progettazione e l'esecuzione del Piano di monitoraggio, in considerazione delle sue competenze e terziarietà sia

nei confronti dei costruttori sia dell'Ente di supervisione. CORILA si è avvalso dei più aggiornati strumenti e delle più aggiornate competenze coinvolgendo dodici Istituzioni ed Enti di ricerca nazionali e alcune aziende specializzate.

Il Piano di monitoraggio, iniziato contemporaneamente ai lavori di costruzione del MOSE, nel 2004, ha preliminarmente stabilito i parametri ambientali ed economici che potessero rappresentare indicatori precoci di modificazioni ambientali. Con il passare degli anni e in considerazione dei risultati ottenuti e dell'avanzamento dei lavori, i parametri da verificare si sono ridotti; le attività concrete del Piano vengono infatti definite annualmente.

Un punto di partenza per l'identificazione delle grandezze da considerare nel Piano è stato lo Studio di Impatto Ambientale (SIA) degli interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea, redatto nel 1997 dal Magistrato alle Acque-Consorzio Venezia Nuova; esso indicava infatti alcune misure da effettuarsi in fase di costruzione dell'opera. Tale documento tuttavia non fu mai ufficialmente adottato nel processo di approvazione dei lavori. Inoltre, dal momento della redazione del SIA, sono intervenute alcune modifiche sia nella legislazione regionale, nazionale ed europea che nelle normative collegate, le quali impongono o suggeriscono l'effettuazione di determinate misure ambientali.

In aggiunta, è apparso evidentemente necessario considerare le modifiche al progetto MOSE, intervenute successivamente alla redazione del SIA (ad es. la realizzazione delle cosiddette "opere complementari").

Sulla base di questo complesso di indicazioni, nel Piano di monitoraggio redatto da CORILA ed approvato dal Magistrato alle Acque vengono considerate due tipologie di parametri: i parametri diretti, per i quali esiste una relazione chiara e immediata di causa-effetto tra disturbo generato dalle attività di cantiere ed impatto prodotto, ed i parametri indiretti, dove la relazione causa-effetto è più complessa, ma che possono evidenziare situazioni di stress anche dopo l'esecuzione delle attività di cantiere, o per cause diverse dalla attività di cantiere.

Sono stati pertanto inizialmente esclusi dal Piano intenti di approfondimento conoscitivo generale del funzionamento ambientale, né sono stati trattati settori e luoghi per i quali il nesso causa-effetto con le attività di costruzione fosse, al presente stato delle conoscenze, troppo vago ed incerto.

Tenendo conto anche delle risorse disponibili, la scelta del numero delle misure (in senso tipologico, spaziale e temporale) è stata effettuata adottando un criterio di rilevanza, associato ove possibile all'uso di modelli numerici, validati attraverso l'esecuzione delle misure dirette previste.

I parametri che sono stati individuati come i più significativi fanno parte dei seguenti 5 ambiti o matrici, dove i principali impatti correlati sono indicati tra parentesi:

- Acqua (effetto della torbidità prodotta da scavi, variazioni di trasporto solido e idrodinamica alle bocche di porto);
- Aria (effetti di rumore, polveri e gas prodotti dal cantiere);
- Suolo (variazione dei livelli piezometrici dovuti allo scavo delle "ture");
- Ecosistemi di pregio (effetti su: vegetazione terrestre e marina; invertebrati terrestri endemici; invertebrati acquatici insediati nelle "pozze di sifonamento"; macrozoobenthos alle bocche di porto; comunità bentoniche delle "tegnùe"; uova, larve e giovanili di specie ittiche; avifauna);
- Economia (effetti su pesca, turismo, porto).

Almeno inizialmente, il Piano di monitoraggio ha considerato gli effetti ambientali nelle sole immediate vicinanze delle attività di cantiere alle bocche di porto, ed ha comunque sempre escluso la valutazione dell'esecuzione di opere che avessero luogo in cantieri diversi (es. per la prefabbricazione componenti) od i luoghi di approvvigionamento dei

materiali. Inoltre, non ha volutamente preso in considerazione il destino dei materiali dragati e gli effetti del loro eventuale uso, come ad esempio il ripascimento di fondali o la ricostruzione di barene.

Un primo incremento dei parametri e dei luoghi di indagine è avvenuto però già il secondo anno di attività, su sollecito della Commissione Europea che, come conseguenze della procedura d'infrazione 4762/2003 per violazione dell'art. 4 della Direttiva 79/409/CEE (Direttiva "Uccelli") e alla successiva messa in mora complementare 4763/2003 per violazione delle Direttive 79/409/CEE e 92/43/CEE (Direttiva "Habitat"): la CE impose di estendere i monitoraggi alle praterie a fanerogame, dalla sola bocca di Lido, alle tre bocche di porto e di includere anche i monitoraggi agli invertebrati terrestri-coleotteri e agli invertebrati acquatici delle pozze di sifonamento, su suggerimento del Comune di Venezia.

In alcuni casi, attività di campo previste inizialmente, una volta diminuite le attività di cantiere in grado di generare impatti, sono state nel tempo rimodulate o sostituite con altre: ad esempio, le misure dirette della qualità dell'aria sono state sostituite progressivamente con simulazioni modellistiche.

Al contrario, a seguito dell'evidenziarsi di situazioni di criticità, il Piano iniziale è stato integrato con attività aggiuntive specifiche che aiutassero a contestualizzare e comprendere meglio gli eventi in atto, anche al fine di imputarli o meno alle lavorazioni in corso alle bocche di porto. È il caso, ad esempio, delle comunità ornitiche proprie del Bacan, alla bocca di porto di Lido, ove nel 2007 fu registrata una contrazione della biodiversità e della numerosità di individui. In questo caso, l'anno successivo è stato avviato un monitoraggio degli uccelli limicoli esteso a tutta l'area lagunare, parallelamente ad uno studio innovativo a carattere sperimentale per la misura dello stress individuale degli uccelli. Queste attività sono state decisive per rassicurare riguardo il sostanziale rispetto delle

8. La configurazione delle tre bocche di porto della laguna di Venezia con il MOSE, le stazioni e le aree indagate nel corso dei 10 anni di monitoraggio.

A) Bocca di porto di Lido;  
B) Bocca di porto di Malamocco;  
C) Bocca di porto di Chioggia.

Dati mappa ©2016 Google.





comunità ornitiche lagunari.

In generale, il metodo base delle misurazioni di monitoraggio ambientale è il confronto, per ciascun parametro, con un valore soglia. Tali valori di riferimento, quando non già precisamente indicati dalla normativa vigente (europea, nazionale, regionale), sono stati definiti sulla base di misurazioni storiche, di attività di modellazione dedicate o come risultato delle attività iniziali; vengono aggiornati, ove necessario, nel corso degli anni.

In particolare, il Piano ha previsto, in una prima fase, la definizione dello “stato indisturbato di riferimento” con le sue variabilità naturali (stato *ante operam*) che, fungendo da confronto, permette di discriminare gli eventi direttamente imputabili ai cantieri. Per la definizione di tale stato è stato necessario, oltre che effettuare misure dirette, assumere le informazioni già raccolte delle Istituzioni che conducono indagini ambientali nell’area interessata o posseggono dati di interesse: Regione del Veneto, ARPAV, ISPRA, Provincia di Venezia, Comune di Venezia, CNR, Università, ecc.

Nel 2005 sono iniziate le misurazioni, le quali si compongono sia di campagne di monitoraggio brevi e ripetute, che di misurazioni in continuo per lunghi periodi. Alcune delle attività di misura in campo sono state mirate specificatamente a fornire una caratterizzazione delle diverse lavorazioni che avvenivano nei cantieri. Il disturbo ecologico, infine, è stato attentamente studiato considerando anche i possibili effetti cumulativi e di lungo periodo.

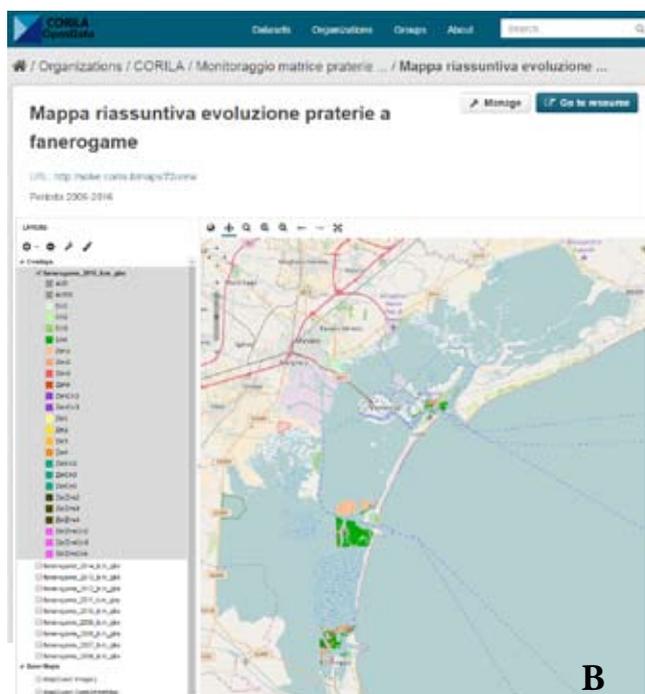
Le attività di monitoraggio vengono eseguite da una quindicina di Unità Operative, composte da tecnici e ricercatori di tutti gli Enti soci di CORILA e di primarie Università italiane (per un totale massimo annuo di una novantina di persone direttamente coinvolte), i cui Responsabili riferiscono alla Direzione di CORILA.

Lo sforzo di reportistica è imponente. Oltre ai rapporti di ogni campagna di misura, raccolti mensilmente, i rapporti di analisi dei dati e di valutazione del sistema, in integrazione con informazioni prodotte da altri Enti, hanno cadenza quadrimestrale ed annuale e sono liberamente disponibili sul sito web pubblico [www.monitoraggio.corila.it](http://www.monitoraggio.corila.it) (figura 9). Sul sito, inoltre, è possibile visualizzare e interrogare informazioni geografiche che mostrano l’evoluzione negli anni di specifici tematismi. Documenti, mappe e dati fanno infatti parte di un unico catalogo formato e condiviso attraverso i più recenti standard

9. Nel sito dedicato al Piano di monitoraggio è possibile leggere e scaricare i rapporti prodotti (A) nonché visualizzare mappe tematiche (B).



A



B

web: ogni fonte di informazione è documentata attraverso la compilazione di metadati allineati alle recenti direttive del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali.

### ***Il ruolo di CORILA: dal coordinamento tecnico-scientifico, all'analisi dei risultati, alla gestione amministrativa***

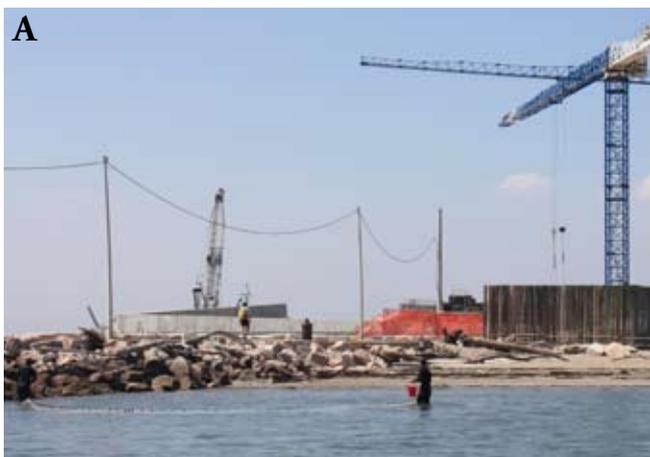
L'elemento determinante del Piano di monitoraggio è costituito dal lavoro della comunità scientifica e dall'integrazione dei risultati delle diverse attività. Non sussiste, nel panorama nazionale, un altro esempio di impegno complessivo e multidisciplinare di paragonabile ampiezza e complessità, su una problematica di una tale portata per la costruzione di una "grande opera" civile, per un tempo così lungo.

CORILA non rappresenta solo una sigla per comprendere i diversi gruppi, né un semplice connettore amministrativo per raccogliere e distribuire le risorse economiche necessarie all'esecuzione, ma è una struttura di coordinamento e indirizzo in grado di sostenere, anche dal punto di vista operativo, tutto l'impianto dei monitoraggi e soprattutto garantire la supervisione scientifica complessiva sull'insieme delle attività.

In modo assai schematico, questi sono stati e sono tuttora i principali compiti svolti dalla struttura operativa di CORILA nell'ambito del Piano di monitoraggio:

- identificazione del gruppo di lavoro, formato da Enti scientifici e da ditte specializzate; costituzione e gestione del Comitato Tecnico di Supervisione, il gruppo di esperti costituito dai Responsabili di Area e di Matrice; rapporti tecnico-amministrativi con gli interessati e con le Istituzioni di provenienza; completamento della squadra operativa, mediante la contrattualizzazione di professionalità esterne agli Enti di ricerca;
- redazione delle specifiche per il Disciplina Tecnico e dell'offerta economica collegata; definizione delle attività da svolgere; assistenza all'approvazione del Piano presso gli Enti Pubblici preposti alla verifica ed alla autorizzazione;
- gestione delle comunicazioni e dei rapporti sia con Magistrato alle Acque (ora Provveditorato alle OO.PP.) che con il Concessionario Consorzio Venezia Nuova, sia con gli altri EEPP aventi titolo in materia; collaborazione con l'Ente validatore (vedi par. successivo);
- selezione, acquisto e gestione di una parte della strumentazione; messa a disposizione di una imbarcazione idonea e di conduttori esperti;
- pianificazione delle attività di campo e coordinamento del personale; emissione di rapporti di avanzamento periodici; risoluzione tempestiva delle problematiche, anche di relazione con i cantieri; sopralluoghi presso i cantieri per l'aggiornamento dell'avanzamento dei lavori;
- elaborazione di parte delle informazioni raccolte, in collaborazione con i gruppi operativi; lettura critica delle relazioni periodiche prodotte dai gruppi ed agevolazione dell'interscambio dei risultati delle diverse matrici indagate, in un'ottica multidisciplinare; gestione del Database contenente i dati e le informazioni prodotte; gestione della procedura di Anomalia (vedi paragrafo successivo);
- contabilità dei lavori e rendicontazione, gestione amministrativa dei contratti con le Istituzioni esecutrici, persone e ditte esterne;
- divulgazione dei risultati in ambito tecnico/scientifico e comunicazione sia agli Enti pubblici che al pubblico in generale, anche attraverso la realizzazione di brochures informative; allestimento e controllo/aggiornamento dei contenuti del sito web.

CORILA ha utilizzato e fatto crescere al suo interno delle professionalità specifiche e dedicate, in grado di rapportarsi sia con i cantieri che con gli Istituti di ricerca; ha svolto un ruolo di raccordo istituzionale sia con le Istituzioni italiane che con quelle europee, garantendo trasparenza e facilità di accesso alle informazioni.



### **Le attività di validazione per conto del Ministero dell'Ambiente e della Regione del Veneto**

Al fine di favorire la chiusura della procedura di infrazione, nel 2009 lo Stato italiano ha assicurato alla Commissione Europea l'assunzione da parte del Ministero dell'Ambiente della funzione di garante della corretta conduzione dei monitoraggi e del rispetto delle regole comunitarie. Ciò ha generato un Accordo di Programma per l'attività di controllo del monitoraggio dei cantieri e delle misure di compensazione del MOSE, tra il Ministero dell'Ambiente, il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti-Magistrato alle Acque di Venezia e la Regione del Veneto; in tale quadro, il MATTM si è avvalso di ISPRA.

Nel 2013, un nuovo Accordo di Programma prevede che la Regione del Veneto, nell'ambito delle proprie competenze, subentri ad ISPRA nel prosieguo delle attività di controllo e verifica del monitoraggio dei cantieri del Sistema MOSE e delle misure di compensazione, conservazione e riqualificazione ambientale nel rispetto delle Direttive e prescrizioni comunitarie.

10. Esempi di differenti tipologie di monitoraggio:
- A) Campionamento di postlarve e giovanili di pesci con sciabica;
  - B) Rilievi avifauna con binocolo;
  - C) Misura della torbidità: sistema CTD-Minirosette, per caratterizzazione fisica della colonna d'acqua e prelievo campioni, e strumentazione LISST-100X per definizione spettro granulometrico dei solidi sospesi;
  - D) Misurazioni del rumore con fonometro portatile.

## Segnalazioni di Anomalie e misure di mitigazione e di compensazione

Sulla base di quanto sopra, dal 2010 è stata ottimizzata, assieme ad ISPRA, una procedura da attuare nel caso si rilevino superamenti dei limiti previsti; tale procedura (figura 11), prevede l'immediato invio da parte di CORILA al Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia di un "Rapporto di Anomalia" che descrive l'accertata situazione di criticità, eventualmente accompagnato da suggerimenti per la realizzazione di accorgimenti/sistemi di mitigazione tesi a eliminare o diminuire il ripetersi di altre similari anomalie. Dopo la risposta da parte dei cantieri e della Direzione Lavori, CORILA verifica l'efficacia delle misure di mitigazione adottate e produce un "Rapporto di chiusura anomalia", se i problemi vengono risolti o, in caso contrario, trasmette un nuovo "Rapporto di Anomalia" e prosegue i monitoraggi.

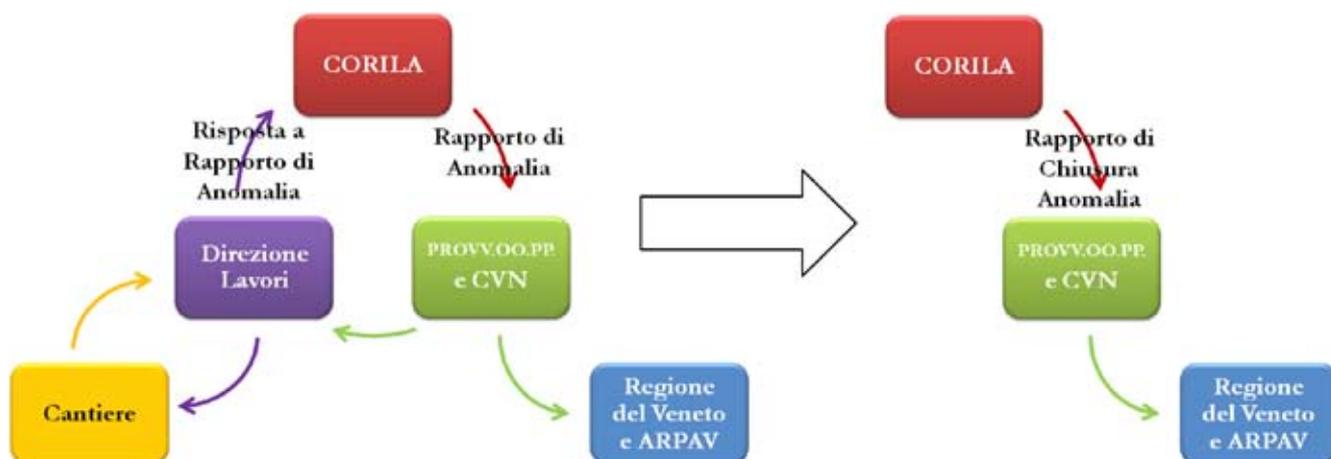
Le misure di mitigazione che vengono suggerite riguardano sia l'adozione di strutture per l'abbattimento fisico dell'emissione perturbativa alla sorgente (quali insonorizzazione dei macchinari, posizionamento di barriere fonoassorbenti, panne per la limitazione della dispersione della torbidità, schermature contro l'emissione di gas, bagnatura del terreno e pavimentazione delle strade interne ai cantieri per diminuire la risospensione di polveri) sia il suggerimento di pratiche da utilizzare al ripetersi di simili condizioni ambientali/meteorologiche.

Per quanto riguarda il monitoraggio della torbidità dispersa, ad esempio, nel corso di versamento di pietrame in condizioni di forti correnti di marea, si raccomanda di concentrare il più possibile l'attività di scarico con benna a grappo in concomitanza con valori minimi della velocità della corrente, immergendo completamente lo strumento in acqua prima dell'apertura, al fine di ridurre al minimo i fenomeni di manipolazione eccessiva di materiali in sospensione.

Una importante misura mitigatrice proposta ed applicata con la collaborazione dei cantieri è la sospensione, nel periodo di nidificazione dell'avifauna (aprile-giugno), delle attività rumorose dei cantieri in orari di particolare sensibilità della comunità ornitica e cioè nelle ore subito successive all'alba (*dawn chorus*), al fine di non interferire con il momento più rilevante del ciclo biologico degli uccelli; infatti è documentato che i rumori di attività antropiche possono causare il mascheramento della comunicazione intraspecifica tramite il canto.

Oltre alle misure di mitigazione, sono state proposte alcune misure di compensazione di carattere generale, da applicare di concerto con gli Enti competenti (Regione del Veneto, Provincia di Venezia, Comuni, ecc.) quali, ad esempio, la predisposizione di sentieri per l'attraversamento obbligato nelle aree di nidificazione di fratino e fraticello; una oppor-

11. La procedura di gestione dei Rapporti di Anomalia.



tuna gestione dei metodi e dei tempi di ripulitura delle spiagge dai detriti, per proteggere sia l'ecosistema tipico dei coleotteri di pregio sia i siti di nidificazione dell'avifauna; il rafforzamento delle attività di sensibilizzazione, informazione ed educazione ambientale in situ per aumentare la conoscenza delle specie di interesse conservazionistico e delle criticità cui sono soggetti i litorali.

### **Il rispetto dei limiti da parte dei cantieri ed altri risultati ancillari**

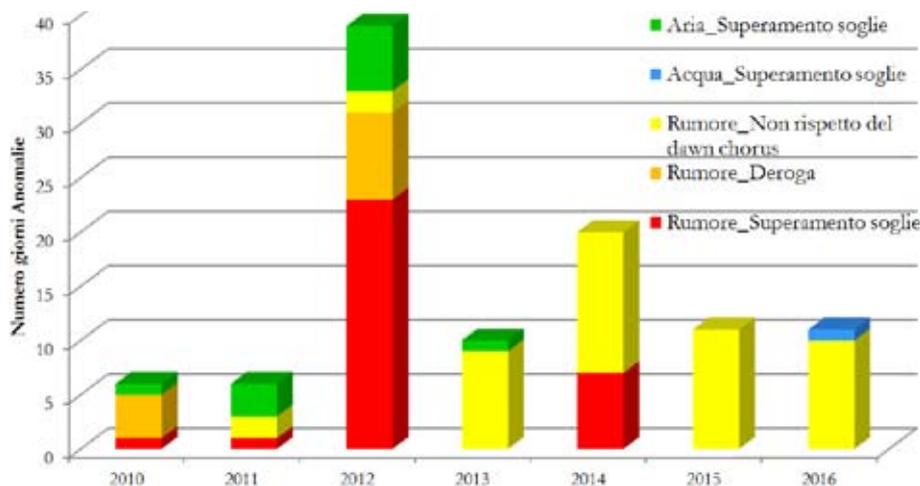
I cantieri, attraverso il Consorzio Venezia Nuova, sono sempre stati a conoscenza dei limiti ambientali imposti e della sussistenza di specifici controlli. La loro organizzazione *ab origine* ha mirato a rispettare tali limiti. I sistemi automatici di rilevazione ed i numerosi operatori sul campo hanno svolto, nei confronti dei cantieri, anche un ruolo simile a quello di una sentinella, la cui sola presenza dissuade dal commettere un'infrazione.

Ciò ha prodotto la scarsa rilevanza complessiva di effetti negativi riferibili ai cantieri, come testimoniano i risultati dei monitoraggi, così come il numero dei Rapporti di Anomalia inviati nel corso degli ultimi 7 anni. Il grafico di figura 12 riassume numero ed origine delle segnalazioni effettuate: la maggior parte di esse riguarda il rumore ed è evidente l'effetto della lavorazione di battitura pali per il consolidamento dei fondali, svolta nel 2012 presso la bocca di Malamocco.

Le numerose misurazioni e le attività modellistiche integrate hanno avuto come scopo l'individuazione non solo dell'eventuale "problema", ma anche della sua sorgente, inclusa la modalità di trasmissione. In generale, la sensibilità della rilevazione doveva mantenersi elevata, al fine di cogliere le prime avvisaglie e non già registrare il danno avvenuto, e la distinzione con le altre potenziali sorgenti e rispetto il valore di fondo naturale ha richiesto un rilevante sforzo intellettuale/scientifico.

In alcuni limitati casi, a testimonianza della complessità dei temi affrontati e nonostante lo svolgimento di attività integrative, non è stata data una completa spiegazione a segnali di disturbo. Ad esempio, i parametri relativi all'epifitismo dei ciuffi fogliari delle fanerogame hanno evidenziato una situazione di attenzione/criticità, ma neppure i risultati di mirate attività integrative, quali l'esecuzione di ulteriori attività di campo e l'utilizzo di modelli matematici sulle variazioni di torbidità e velocità delle correnti alle bocche di porto, hanno permesso di identificare le cause delle variazioni osservate.

Anche se il controllo degli impatti dei cantieri e la loro minimizzazione è sempre stato lo scopo del Piano di monitoraggio, è indubbio che le attività di monitoraggio, protrattesi per oltre un decennio, hanno permesso di ottenere anche altri risultati ancillari relativamente alla conoscenza dei processi ambientali lagunari, alcuni dei quali sono di rilevante



12. Numero di giornate per le quali è stato inviato un Rapporto di Anomalia per anno, da gennaio 2010 ad aprile 2016, suddivise nelle diverse tipologie: "superamento soglie", "mancato rispetto delle prescrizioni delle deroghe del Comune di Venezia sugli orari di sospensione delle attività", "non rispetto degli orari di *dawn chorus*". Tutti i Rapporti di Anomalia sono stati chiusi.

importanza. Essi sono così riassumibili schematicamente:

- una più ampia conoscenza del regime di variabilità di alcune grandezze fisiche prima poco note (a mero titolo di esempio, il  $PM_{10}$  nella zona litoranea, la dinamica dei sedimenti alle bocche, l'interazione tra acqua dolce e salata nelle zone prospicienti le bocche, ecc.);
- un aumento della conoscenza dei fenomeni naturali, grazie al protrarsi in maniera continuativa dei rilievi per un periodo di tempo tanto esteso;
- un aumento della conoscenza di particolari nicchie ecologiche, quali gli ambienti ipersalini delle “pozze di sifonamento” alla bocca di Malamocco;
- l'aggiornamento e l'approfondimento delle conoscenze di alcuni settori in precedenza poco considerati, quali ad esempio le specie entomologiche di particolare interesse conservazionistico del litorale veneziano o la valutazione della connettività ecologica tra mare e acque di transizione attraverso l'analisi approfondita della distribuzione di uova, larve e novellame di specie ittiche migranti;
- lo svolgimento di nuove analisi interdisciplinari, quali ad esempio l'approfondimento della relazione tra le variazioni di torbidità e lo stato delle praterie a fanerogame, oppure lo studio del rapporto tra le emissioni rumorose provenienti dai cantieri e gli effetti sull'avifauna.

## Considerazioni conclusive

Il progetto MOSE è senza dubbio la più grande opera di ingegneria marittima realizzata in tempi moderni in una laguna ed il programma di monitoraggio è parimenti assai esteso.

“Monitorare” non è solo “misurare”; il Piano di monitoraggio ed i suoi esecutori non si sono sottratti dal fornire possibili suggerimenti per limitare le pressioni delle opere, nonché dall'eseguire un esame attento delle azioni di mitigazione eseguite.

Per l'esecuzione del Piano sono state usate le tecniche e gli strumenti di misurazione più aggiornati, basandosi sull'esperienza di primarie Istituzioni scientifiche, con l'ausilio di società tecniche con pluriennale esperienza in laguna di Venezia.

Le attività di monitoraggio fin qui svolte hanno permesso di caratterizzare approfonditamente l'ambiente alle bocche di porto e le diverse fasi di lavoro di cantiere, nonché di definire, ove possibile, i nessi causali delle perturbazioni rilevate. È stato quindi possibile indirizzare limiti e correzioni alle attività di cantiere, proponendo mitigazioni e compensazioni.

13. Primo rinvenimento in laguna di Venezia di Piovanello violetto (indicato dalla freccia), *Calidris maritima*, in uno stormo di Piovanello pancianera, *Calidris alpina*, presso la lunata di Lido; entrambe le specie rientrano nella Direttiva “Uccelli”.



Un'alta "sensibilità di monitoraggio" ha reso possibile l'identificazione di tutti i segnali di disturbo per l'ecosistema, anche se non necessariamente a causa delle attività di cantiere; ciò ha permesso di adottare le migliori misure tecniche di mitigazione, ancor prima che dal disturbo si passi al danno ambientale.

Per quanto riguarda le attività economiche oggetto di monitoraggio, non solo si è constatata l'assenza di impatti reali, ma si sono stabilite metodologie ed azioni utili alla valutazione della percezione degli impatti da parte degli operatori interessati, nonché una solida base informativa.

Il Piano di monitoraggio ha permesso da un lato di prevenire possibili danni all'ambiente ed all'economia locale, attuando una meticolosa sorveglianza e valutazione degli impatti, dall'altro di accumulare una serie di informazioni che saranno utili anche nella successiva fase di gestione del sistema, a MOSE realizzato.

Lo schema del Piano di monitoraggio e la sua conduzione rappresentano altresì una importante assunzione di responsabilità da parte della comunità scientifica, che ha espresso una propria capacità di coordinamento interdisciplinare. Tale modello, dalle caratteristiche originali nel nostro Paese, può essere esportabile in altri contesti ed in altri luoghi, non solo italiani.

## **Ringraziamenti**

Si ringraziano le numerose persone della struttura operativa di CORILA che hanno preso parte alle varie attività svolte nell'ambito del monitoraggio. In particolare, quanti hanno più stabilmente collaborato con gli autori del presente testo: Chiara Dall'Angelo, Simona Dalla Riva, Barbara Giuponi, Alessandro Meggiato, Matteo Morgantini, Enrico Rinaldi, Andrea Rosina, Francesca Tonin, Daria Tonini, Giovanni Venier.

## Bibliografia

- Amos C.L., Umgiesser G., Townend I. H. (2010) The coastal morphodynamics of Venice lagoon, Italy: An introduction. *Continental Shelf Research*, 30, 837-846.
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta e Bacchiglione e Autorità di bacino del fiume Adige-Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (2016) Piano di gestione delle acque del Distretto idrografico delle Alpi orientali-Aggiornamento 2015-2021.
- Basso M. e Bon M. (2015) Censimento degli uccelli acquatici svernanti in provincia di Venezia, Gennaio 2015. Provincia di Venezia-Servizio Caccia e Pesca. Relazione non pubblicata.
- Bon M., Scarton F., Stival E., Sattin L. e Sgorlon G. (a cura di) (2014) Nuovo atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia, Associazione Faunisti Veneti, Museo di Storia Naturale di Venezia.
- Carbognin L., Teatini P., Tomasin A., Tosi L. (2010) Global change and relative sea level rise at Venice: what impact in term of flooding. *Climate Dynamics*, vol. 35, 1055-1063.
- Carbognin L., Tosi L. (2002) Interaction between Climate Changes, Eustacy and Land Subsidence in the North Adriatic Region, Italy. *Marine Ecology*, vol. 23, 38-50.
- Comune di Venezia, Assessorato al Turismo (2016) Annuario del Turismo, dati 2015.
- Comune di Venezia, Centro Maree (2015) Atlante Passerelle 2014-2015.
- Gačić M., Kovačević V., Mazzoldi A., Paduan J., Mancero I., Arena F., Gelsi G. (2002) Measuring water exchange between the Venetian Lagoon and the open sea. In *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*, 83 (20), pp. 217-222.
- Gatto P., Carbognin L. (1981) The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification. *Hydrological Sciences Bulletin*, 26:4, 379-391.
- Guerzoni S. e Tagliapietra D. (a cura di) (2006) Atlante della laguna. Venezia tra terra e mare. Marsilio
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Lionello P., Conte D., Marzo L., Scarascia L. (2016) The contrasting effect of increasing mean sea level and decreasing storminess on the maximum water level during storms along the coast of the Mediterranean Sea in the mid 21st century, *Global and Planetary Change*.
- Rapporto Censis (2014) Le comunità locali e l'aeroporto di Venezia Marco Polo: un percorso per crescere insieme sintesi del rapporto finale.
- Regione del Veneto, Segreteria regionale all'ambiente, Direzione tutela dell'ambiente (2000) Piano Direttore 2000. Piano per la prevenzione dell'inquinamento e il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella laguna di Venezia.
- Trincardi F., Barbanti A., Bastianini M., Benetazzo A., Cavaleri L., Chiggiato J., Papa A., Pomaro A., Sclavo M., Tosi L. and Umgiesser G. (2016) The 1966 Flooding of Venice. What Time Taught Us for the Future. *Oceanography*, in press.
- Tosi L., Da Lio C., Strozzi T., Teatini P. (2016) Combining L- and X-Band SAR Interferometry to Assess Ground Displacements in Heterogeneous Coastal Environments: The Po River Delta and Venice Lagoon, Italy. *Remote Sensing*, vol. 8.
- Tosi L., Teatini P., Strozzi T. (2013) Natural versus anthropogenic subsidence of Venice. *Scientific Reports*, vol. 3, 2710.

## Summary

The Venice lagoon is a tidal transition system between land and sea, with an area of about 550 km<sup>2</sup>, of which 8% are occupied by land, around 11% by channels, while the remaining 80% by mudflats and salt marshes. Divided from the Adriatic by two littoral islands, the lagoon maintains connectivity with the sea through the three inlets of Lido, Malamocco and Chioggia. The drainage basin has an area of approximately 1.850 km<sup>2</sup> and it is occupied by farming and industrial settlements, together with urban areas.

Therefore, the lagoon of Venice can be classified as a microtidal environment, where the hydrodynamic circulation is the main driving force: it is constituted by a highly articulated morphological structure, which defines a composite set of environments, characterized by endemic plant and animal species, some of great value, with a high productivity of ecosystem services.

The Venice lagoon is the largest wetland in the Mediterranean and one of the most important sites for the Mediterranean bird population, both in the wintering that nesting. Moreover, almost all the Lagoon is classified as SPA (Directive 79/409/EEC) and some Sites of Community Importance (Directive 92/43/EEC) are adjacent to the inlets. The lagoon is managed, according to the Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC), considering 14 water bodies, of which 11 are “natural” and 3 are “highly modified”. The Management Plan is in charge of the District Authority for the Easter Alps hydrographical basin.

The lagoon is characterized by a high concentration of human activities around the city of Venice, placed in the middle of the lagoon, and of the port, placed on the lagoon border, adjacent to a large industrial area, which in the past accommodated important chemical plants. The sum of anthropogenic pressures and those due to climate changes put the Venice lagoon at risk of substantial loss of unique habitats.

The astronomical tide in Venice describes a semidiurnal curve, with two maxima and two minima in 24 hours. The average daily volume of exchanged water, twice a day, between the lagoon and the sea is about 400 million m<sup>3</sup>. The “acqua alta” (literally “high water”) phenomenon, which causes the flooding of the city pedestrian pavements, is determined by occasional marine weather events (wind and barometric pressure), usually accompanied by oscillations of level of the Adriatic.

The rise in the average relative sea level (due both to subsidence and eustatism) is largely responsible for the increased frequency of flooding of the old town, by making more likely both medium-scale (less than 110 cm) events and the exceptional (over 140 cm) events, when 59% of the city is flooded. The present decadal average number of “acqua alta” events over 110 cm is 6 per year.

The MOSE System has the aim to separate sea and lagoon during the high tide events, preventing the lagoon water level to rise over a given limit (e.g. 100 cm), through a system of 78 metal independently flap gates installed at the inlets, normally placed on the sea bottom and able to rise up when needed.

Its construction started in 2004 and presently is foreseen to end in 2018. During the peak of activity, about 4.000 workers were present in a number of working sites spread along 18 km of cost.

The conception and execution of a wide and integrated Monitoring Plan about the environmental and socio-economic effects of the MOSE construction has been commissioned to CORILA by the Venice Water Authority (now “Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia”), through the State concessioner Consorzio Venezia Nuova.

The Monitoring Plan has two main aims:

- provide a quick feedback of the maintenance of the environment impact level foreseen by the yard activities;
- provide objective elements of the real incidence of the yard activities, considering the variability of the environmental conditions.

The Monitoring Plan, with a particular attention in the area closed to the construction sites, started together with the construction works in 2004, by defining the list of parameters of concern and appropriate thresholds on the basis of historical measurements and a dedicated modeling activity, especially where the legislation do not offer precise indications.

The Plan consists in both real time monitoring and investigation surveys. The ecological disturbance was carefully studied considering also the possible cumulative effects of a work activity lasting more than 10 years.

The MOSE project is undoubtedly the largest civilian work realized in modern times in the Venice lagoon and the monitoring program is also very extensive.

“Monitor” is not only “measure”: in fact, CORILA provided possible suggestions to limit the pressures of the works, as well as careful considerations about mitigation actions.

The monitoring activities allowed also to thoroughly characterize the inlets environment, the different phases of yard activities and to define, where possible, the causal links of the detected disturbance. It was therefore possible to address limitations and corrections to worksite activities, proposing mitigation and compensation.

To have an high monitoring sensitivity allowed the identification of all the interfering signals with the ecosystem, not necessarily caused by the construction activities, and this suggested the adoption of the best technical mitigation measures, before any problem would turn into an environmental damage.

In conclusion, the adoption and the careful conduction of a wide Monitoring Plan during the construction of the MOSE allowed to prevent damages to the environment and to the local economy, controlling the defined thresholds and addressing mitigation and compensation measures when needed. In addition, the related data acquisition provided crucial information that will be useful in the future phase of the MOSE operation.

The monitoring activities involved not only teams of specialists, coming from National Research Institutes and Universities, but also a qualified team on “integrators” in the CORILA’s structure, which was able also to maintain the relationships with several Public Authorities and to provide an appropriate data communication. This model of work is original for Italy and could be exported also elsewhere.