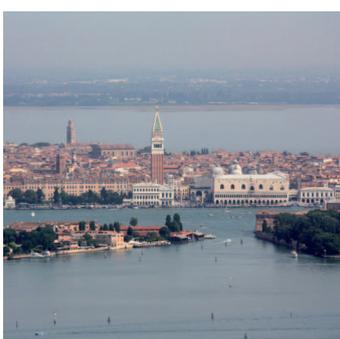


# IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

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



*Editors*

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



# IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

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

*Editors*

*P. Campostrini, C. Dabalà - CORILA*

*P. Del Negro - OGS*

*L. Tosi - CNR Istituto di Scienze Marine*



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](mailto:direzione@corila.it)

[www.corila.it](http://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.*

# INDICE

- 7 Presentazione
- 9 Prefazione
- 13 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
- 37 Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del MOSE  
*Temporal analysis of bird communities in Venice lagoon during the construction of the MOSE*  
Francesca Coccon, Natale Emilio Baldaccini
- 67 Le specie di interesse conservazionistico nidificanti nella laguna aperta: anni 2013-2015  
*Bird species of conservation concern breeding in saltmarshes and dredge islands of the lagoon of Venice: years 2013-2015*  
Francesco Scarton
- 89 Il rumore prodotto dalle attività di cantiere durante la realizzazione del MOSE  
*Noise produced by the construction sites activities of the MOSE*  
Patrizio Fausti, Renzo Cremonini, Maria Carmen Guerra, Giuliano Scalpelli Quiqueto, Andrea Santoni, Nicolò Zuccherini Martello
- 123 Valutazione dell'impatto atmosferico della costruzione del MOSE  
*Atmospheric impact assessment of the MOSE construction*  
Franco Belosi, Daniele Contini, Daniela Cesari, Elena Elvini, Andrea Gambaro, Elisa Morabito

- 163 I coleotteri delle spiagge con dune alle bocche di porto della laguna di Venezia  
*Beetle fauna of the beach-dune systems at the lagoon of Venice inlets*  
Lorenzo Zanella, Marco Uliana, Francesco Barbieri e Francesco Scarton
- 199 Le comunità macrobentoniche delle pozze di sifonamento della diga degli Alberoni  
*Benthic communities of siphonal pools at the foot of the Alberoni breakwater*  
Chiara Miotti, Luca Mizzan, Andrea Rismondo, Cecilia Vianello, Emiliano Checchin
- 227 Le falde idriche in prossimità dei cantieri del MOSE  
*Shallow aquifers close to the MOSE building sites*  
Alessandro Casasso, Rajandrea Sethi, Antonio Di Molfetta
- 243 La vegetazione terrestre nelle aree prossime ai cantieri  
*Terrestrial vegetation in the areas close to construction sites*  
Isabelle Cavalli, Leonardo Ghirelli, Daniele Mion, Francesco Scarton, Giovanni Sbulino
- 275 La torbidità e l'idrodinamica nelle aree interessate dai cantieri alle bocche di porto  
*Monitoring of turbidity and hydrodynamics in the construction sites at the inlets*  
Giampaolo Di Silvio, Luca Zaggia, Chiara Dall'Angelo, Giuliano Lorenzetti, Giorgia Manfè
- 311 Le dinamiche distributive delle praterie a fanerogame marine delle bocche di porto  
*Temporal dynamics of distribution of marine seagrasses located near the lagoon inlets*  
Daniele Curiel, Chiara Miotti, Matteo Zucchetta, Andrea Rismondo
- 353 La comunità bentonica: breve storia alle bocche di porto  
*Benthic community at the Venice lagoon inlets: a brief history*  
Davide Tagliapietra, Marco Anelli Monti, Emiliano Checchin, Daniele Curiel, Chiara Miotti, Fabio Pranovi, Marco Sigovini

- 375 Ingresso e distribuzione di uova, larve e giovanili di teleostei marini in laguna di Venezia: connettività mare-laguna e funzione di nursery  
*Fish eggs, larvae and juveniles entrance and distribution into the Venice lagoon: sea-lagoon connectivity and nursery functioning*  
Francesco Cavraro, Simone Redolfi Bristol, Vyrion Georgalas, Patrizia Torricelli, Matteo Zucchetta e Piero Franzoi
- 411 Comunità bentoniche degli affioramenti rocciosi (tegnùe) nelle aree di bocca di porto (Lido e Malamocco)  
*Benthic communities of rocky outcrops distributed near the Lido and the Malamocco inlets*  
Daniele Curiel, Chiara Miotti, Luca Mizzan, Andrea Rismondo
- 439 Il porto di Venezia e i cantieri del MOSE: individuazione e analisi delle potenziali interrelazioni  
*The port of Venice and the MOSE construction sites: identification, analysis and main evidences of potential correlations*  
Marco Mazzarino, Marco Della Puppa
- 451 Elenco degli autori



# PRESENTAZIONE

Roberto Linetti

Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche

Veneto – Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia

Venezia e la sua laguna disporranno a breve del sistema di difesa dalle acque alte per la salvaguardia e la conservazione del patrimonio artistico, architettonico, ambientale e conseguentemente delle attività socio – economiche che permettono a questa città, meravigliosa ed unica al mondo, di continuare ad essere viva.

Il Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche di Venezia (già Magistrato alle Acque), contestualmente all'apertura dei cantieri delle opere di regolazione delle maree alle bocche di porto, attraverso il concessionario Consorzio Venezia Nuova, si è impegnato sin dal 2004 ad avviare un programma di monitoraggio degli effetti diretti ed indiretti dei cantieri sulle matrici ambientali e sull'economia dei settori potenzialmente impattati dall'esecuzione delle opere, che sono tutt'ora in corso, e ne ha garantito la continuità in tutti questi anni.

Numerosi sono i parametri che sono stati monitorati, che comprendono sia quelli per i quali esiste una relazione sufficientemente chiara di causa-effetto (tra cui ad esempio la torbidità delle acque, le emissioni in aria, il rumore, i livelli di falda, la portualità) sia quelli relativi agli ecosistemi di pregio per i quali gli effetti possono manifestarsi successivamente alla realizzazione delle attività di cantiere o anche per cause differenti e non connesse alle attività di cantiere.

Per questo importante compito, il Provveditorato Interregionale ha previsto il coinvolgimento del CORILA, Consorzio per il coordinamento delle Ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia, ente vigilato dal Ministero dell'Università e della Ricerca, a cui fanno capo le Università Ca' Foscari di Venezia, l'Università IUAV, l'Università di Padova, il CNR e l'OGS, che ha raggruppato molti tecnici e ricercatori esperti delle matrici interessate.

Questo volume nasce dall'esigenza di far conoscere ad un pubblico sempre più vasto i principali risultati dei rilievi e delle indagini eseguite da oltre 10 anni nell'ambito dei "Monitoraggi degli effetti dei cantieri prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", al fine di condividere e comunicare lo stato e l'andamento delle comunità biologiche nel complesso contesto del sistema lagunare, dove non sempre è facile definire la relazione tra le cause e gli effetti.

Questi risultati costituiscono un importante patrimonio di conoscenze, non solo per la funzione che hanno svolto di controllo dell'andamento dei diversi parametri durante la fase di realizzazione delle opere alle bocche:essi rappresentano anche un fondamentale riferimento per Enti ed Amministrazioni che avranno il compito in futuro di gestire e monitorare il territorio lagunare, una volta che saranno in funzione le nuove opere di difesa di Venezia dalle acque alte, valutandone gli effetti.



# PREFAZIONE

Pierpaolo Campostrini

Nel 2016 si contano cinquant'anni dalla disastrosa alluvione del 4 novembre 1966 che pose a rischio fisico la sopravvivenza della città di Venezia. Fu un evento eccezionale, mai verificatosi fino ad allora, che causò un vero e proprio “shock” in tutto il mondo, mettendo in luce le speciali fragilità della città lagunare: negli anni successivi fu chiaro che strumenti ordinari non sarebbero stati adeguati a fronteggiare il problema. La moderna salvaguardia di Venezia ha quindi il suo fondamento normativo nella Legge 16 aprile 1973, n. 171, il cui incipit contiene una dichiarazione che vale la pena ricordare per esteso. (Art.1) “La salvaguardia di Venezia e della sua laguna è dichiarata problema di preminente interesse nazionale. La Repubblica garantisce la salvaguardia dell’ambiente paesistico, storico, archeologico ed artistico della città di Venezia e della sua laguna, ne tutela l’equilibrio idraulico, ne preserva l’ambiente dall’inquinamento atmosferico e delle acque e ne assicura la vitalità socioeconomica nel quadro dello sviluppo generale e dell’assetto territoriale della Regione. Al perseguimento delle predette finalità concorrono, ciascuno nell’ambito delle proprie competenze, lo Stato, la Regione e gli Enti locali”. Tutti gli strumenti anche legislativi che seguirono non posero in discussione questi fondamentali principi, che ancora oggi suonano attuali e ampiamente condivisi.

La stessa legge individuava come primo compito dello Stato (Art.7) la “regolazione dei livelli marini in laguna, finalizzata a porre gli insediamenti urbani al riparo dalle acque alte”. Peraltro, la tutela ambientale della laguna è pure obiettivo strategico, indissolubilmente legato a quello della tutela dei centri abitati. Il connubio (obbligato, ma non banale) tra queste due “tutele” è l’origine principale e quasi il *leit-motiv* di tante accese discussioni che si sono susseguite, travalicando spesso dal piano tecnico a quello politico, prospettando soluzioni con impostazioni del tutto diverse fra loro.

Pertanto, anche dopo essere addivenuti ad una scelta tecnica di principio sulla soluzione da intraprendere (sostanzialmente contenuta nel c.d. “Progettone” del 1983 e nel progetto di massima del 1992 riguardo le barriere mobili alle bocche di porto), l’iter attuativo del compito primario dello Stato in merito alla regolazione dei livelli marini in laguna è stato oggetto di numerose e complicate vicissitudini preliminari, sia di tipo tecnico che amministrativo, e pure nella fase realizzativa del MOSE\*, iniziata nel 2003, non è rimasto esente da problemi.

Questo volume intende offrire un contributo tecnico-scientifico, specifico e completo, rispetto l’effettivo rapporto esistito tra la realizzazione delle opere di regolazione della marea e l’ambiente circostante.

\* La parola MOSE è nata come acronimo di MODulo Sperimentale Elettromeccanico, poi è venuta ad indicare il sistema di difesa nel suo complesso; un ulteriore allargamento all’insieme delle opere connesse è indicato spesso come Sistema MOSE.

Tale relazione “cantieri-ambiente”, nella fase che ha preceduto l’avvio dei lavori ed anche dopo il loro avvio, fu considerata uno dei principali motivi di preoccupazione da parte di molti, tanto da costituire uno dei punti principali evidenziati nei diversi ricorsi avverso l’opera, presentati da associazioni varie e dal Comune di Venezia negli anni (tutti rigettati dal TAR e dal Consiglio di Stato) e nella procedura d’infrazione aperta a fine 2005 dalla Commissione Europea contro lo Stato Italiano, poi chiusasi con l’archiviazione dell’aprile del 2009.

CORILA conduce dal 2004 il Piano di Monitoraggio degli effetti dei cantieri del MOSE sulle matrici ambientali e sull’economia dei settori che potevano risultare impattati dall’esecuzione delle opere. Tale Piano di Monitoraggio è stato eseguito inizialmente per conto del Magistrato alle Acque di Venezia (MAV) e dopo la sua abolizione nel 2014, per conto del Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia, sulla base di Disciplinari approvati dal Comitato Tecnico di Magistratura del MAV (dal 2014 Comitato Tecnico Amministrativo del Provveditorato) e per effetto di contratti con il Concessionario di Stato Consorzio Venezia Nuova (CVN).

Il Piano di Monitoraggio degli effetti prodotti dai cantieri alle bocche di porto ha avuto la validazione da parte del Ministero dell’Ambiente attraverso ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) dal 2010 al 2013. Dal 2014 è subentrata ad ISPRA la Regione del Veneto che svolge la stessa funzione attraverso la propria Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV).

L’esistenza e la conduzione da parte di un ente indipendente di un Piano di Monitoraggio articolato, nonché i primi risultati da esso provenienti, furono tra le motivazioni che portarono il Governo nazionale alla decisione di continuare la realizzazione del progetto del MOSE già in essere (Relazione del Ministro Antonio Di Pietro, riunione del Comitato 22/11/2006) e la Commissione Europea ad archiviare la procedura d’infrazione. A più riprese, diversi atti amministrativi ne hanno sottolineato l’importanza.

Invero, la costruzione del MOSE richiede l’esecuzione di grandi lavori di ingegneria in zone del litorale veneziano preziose e fragili dal punto di vista ambientale: in queste aree sono stati designati Siti di Importanza Comunitaria (ai sensi della direttiva 92/43/CEE) e ZPS (Direttiva 79/409/CEE) e come tali facenti parte della rete “Natura 2000”. Inoltre la laguna di Venezia, identificata come IBA (Important Bird Area) 064 “Laguna Veneta”, rientra tra le aree di interesse mondiale per la protezione dell’avifauna.

Nell’area prossima alle bocche di porto sono inoltre presenti habitat di interesse alienico (sia come ripopolamento che come cattura), nonché di sfruttamento turistico (con diverse densità). Infine, attraverso le bocche di porto passano le navi che, attraverso il Porto di Venezia ed il Porto di Chioggia, alimentano l’economia della regione e di una vasta area europea.

Quanto sopra brevemente tratteggiato sottolinea come l’elaborazione del Piano di Monitoraggio e la sua conduzione da parte di CORILA rappresentò e rappresenta l’assunzione da parte della comunità scientifica di una grande responsabilità di tipo civico, al fine del concreto realizzarsi di un intento stabilito dal Legislatore nazionale e largamente condiviso in tutto il mondo: permettere di salvare Venezia assieme all’ambiente naturale che contiene questa millenaria ed unica città. Tale consapevole intendimento si accompagna alle sfide scientifiche che saranno spiegate nei prossimi capitoli.

Infatti, di sfide scientifiche si tratta e non di semplice applicazione della miglior tecnica disponibile. Riteniamo del tutto superati i tempi nei quali una parte degli scienziati guardava con sufficienza alle attività di monitoraggio, quasi fossero semplici ripetizioni di cose già note. In queste pagine, se ce ne fosse ancora residuo bisogno, si dimostra come l’attività di acquisizione dati in un ambiente così complesso richieda tutto il rigore e tutta la “visione” richiesta dall’acquisizione dati provenienti da un esperimento scienti-

fico. La misura è parte spesso essenziale del processo di comprensione dei fenomeni. Misurazioni corrette non sempre sono sufficienti ad indirizzare scelte corrette, ma l'assenza di misurazioni o, peggio, misurazioni sbagliate portano a scelte certamente errate.

Infine, i nostri ricercatori hanno forse avuto anche il ruolo della sentinella, la cui semplice presenza opera una dissuasione da comportamenti illegittimi, ma soprattutto hanno dimostrato come la conoscenza sia sempre la migliore prevenzione dei disastri ambientali.

Per la complessa fase di gestione del sistema di regolazione delle maree, ormai alle porte, le conoscenze acquisite rimangono preziose e la capacità del sistema scientifico ad essere utile definitivamente dimostrata.



# 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

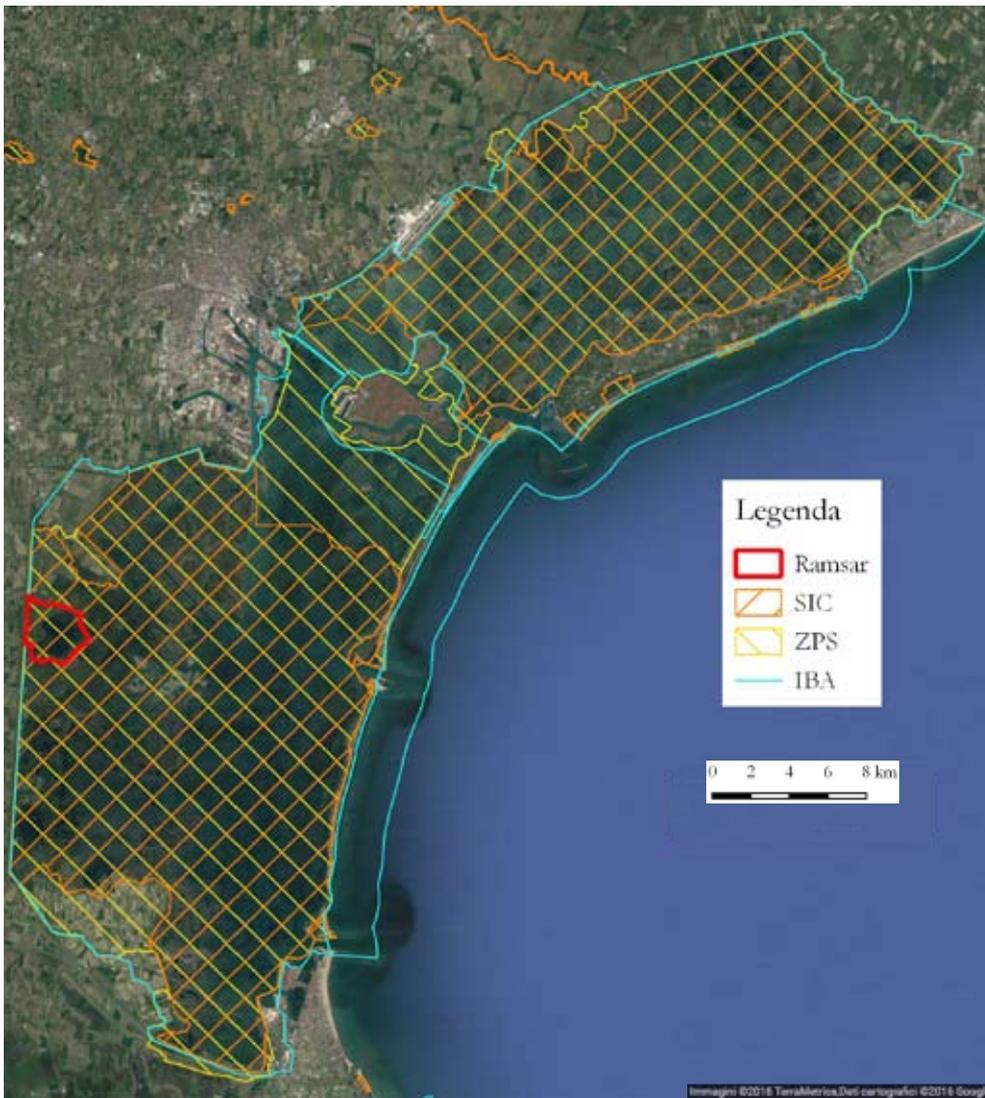
#### ***La laguna di Venezia: caratteristiche fisiografiche ed ecologiche***

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 (quali 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.

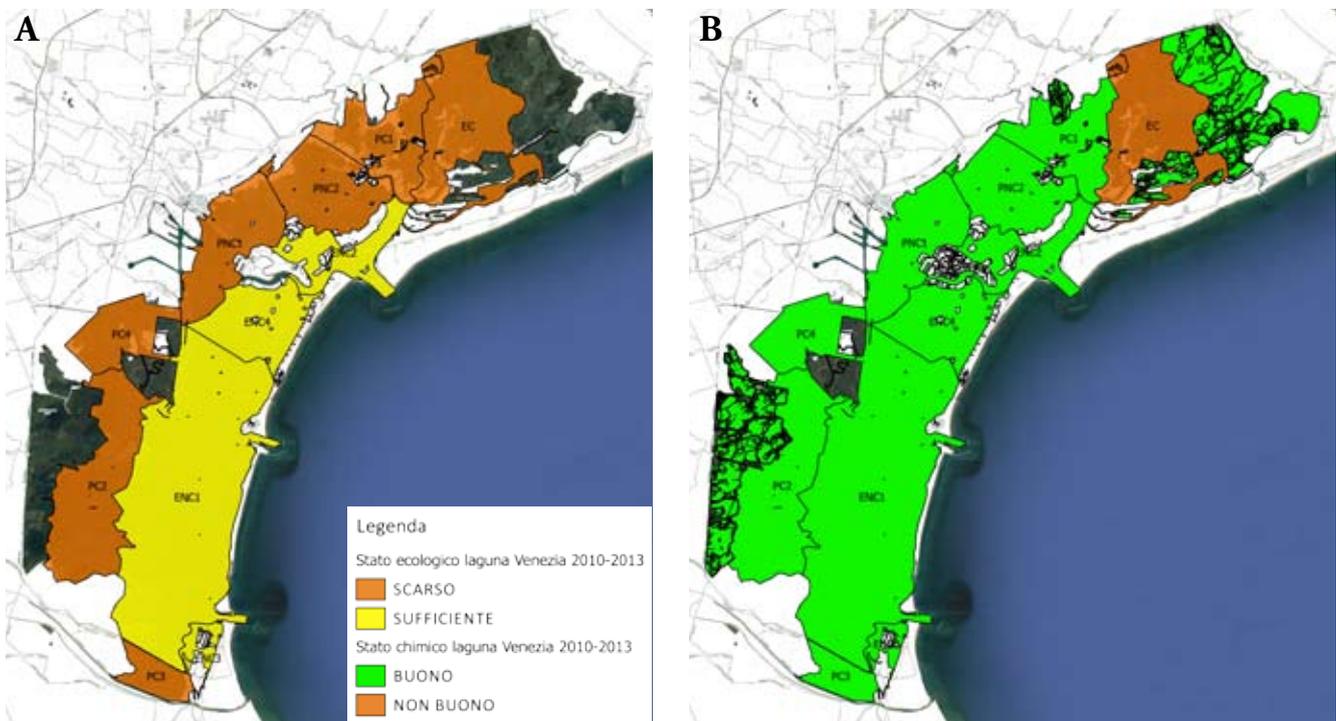
Infine, buona parte della laguna avrebbe le caratteristiche per far parte delle aree umide di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar (1971) che attualmente, di tutta la laguna, considera la sola Valle Averte (circa 5 Km<sup>2</sup>, figura 1).

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>.

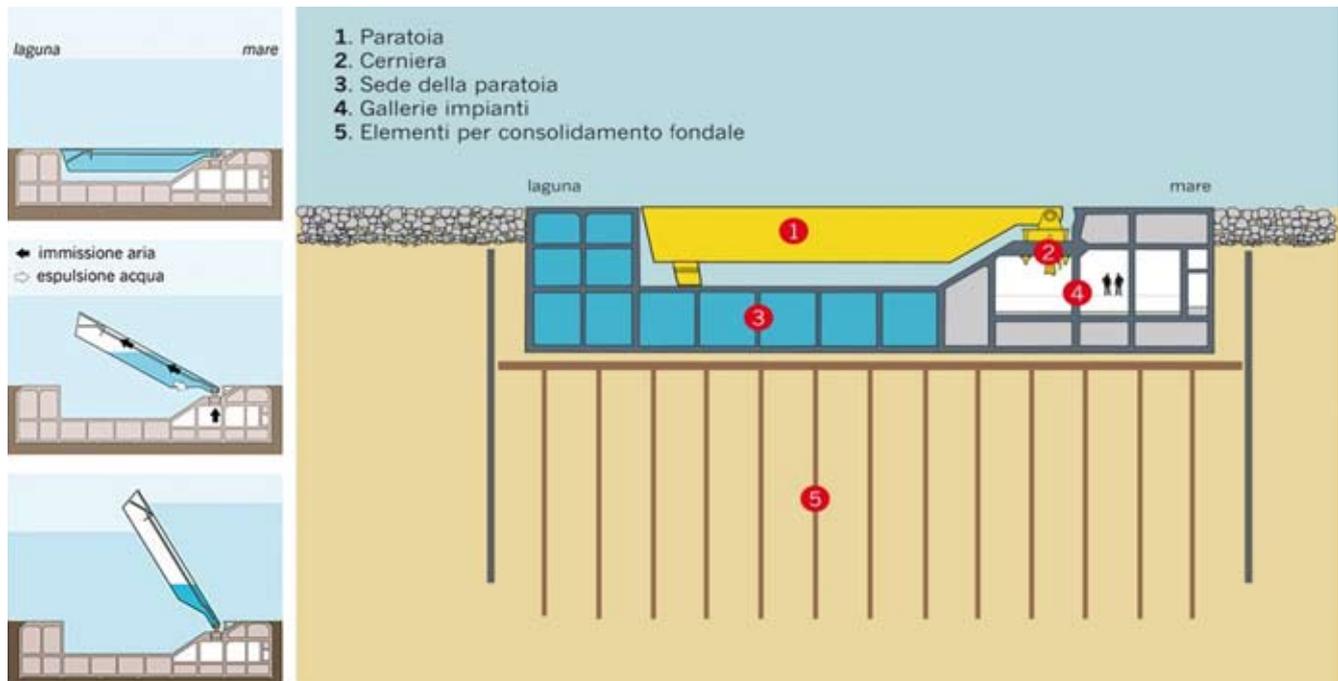
Le "cerniere" vincolano le paratoie ai cassoni e ne consentono il movimento; le paratoie, infatti, normalmente piene d'acqua e adagiate sul fondo, possono venir sollevate, in circa 30 minuti, attraverso l'immissione di aria compressa, che le svuota dall'acqua e ne permette l'emersione (figura 4). Quando 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 palancoolato, 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.

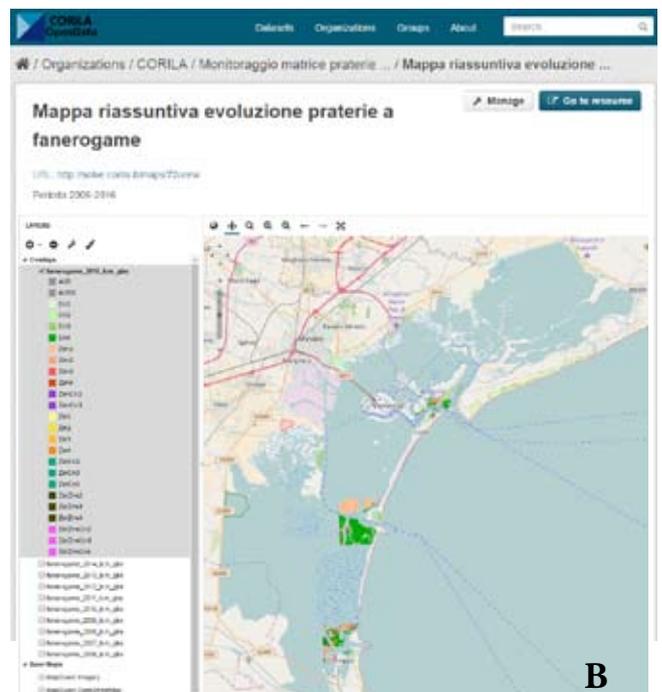
Le attività di monitoraggio vengono eseguite da una quindicina di Unità Operative, composte da tecnici e ricercatori di tutti gli Enti soci di CORILA e di primarie Università italiane (per un totale massimo annuo di una novantina di persone direttamente coinvolte), i cui Responsabili riferiscono alla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

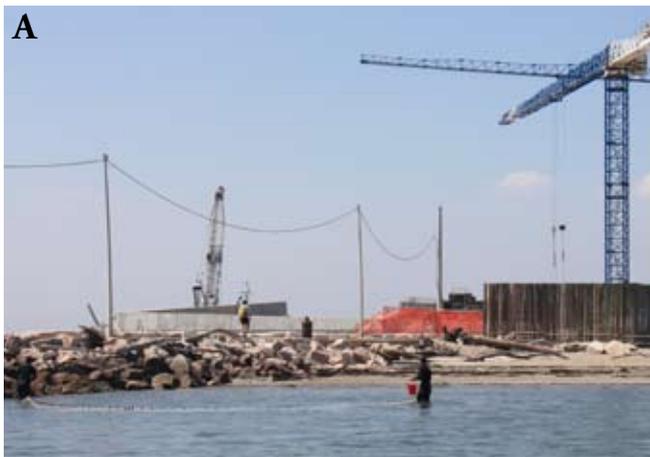
L'elemento determinante del Piano di monitoraggio è costituito dal lavoro della comunità scientifica e dall'integrazione dei risultati delle diverse attività. Non sussiste, nel panorama nazionale, un altro esempio di impegno complessivo e multidisciplinare di paragonabile ampiezza e complessità, su una 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.

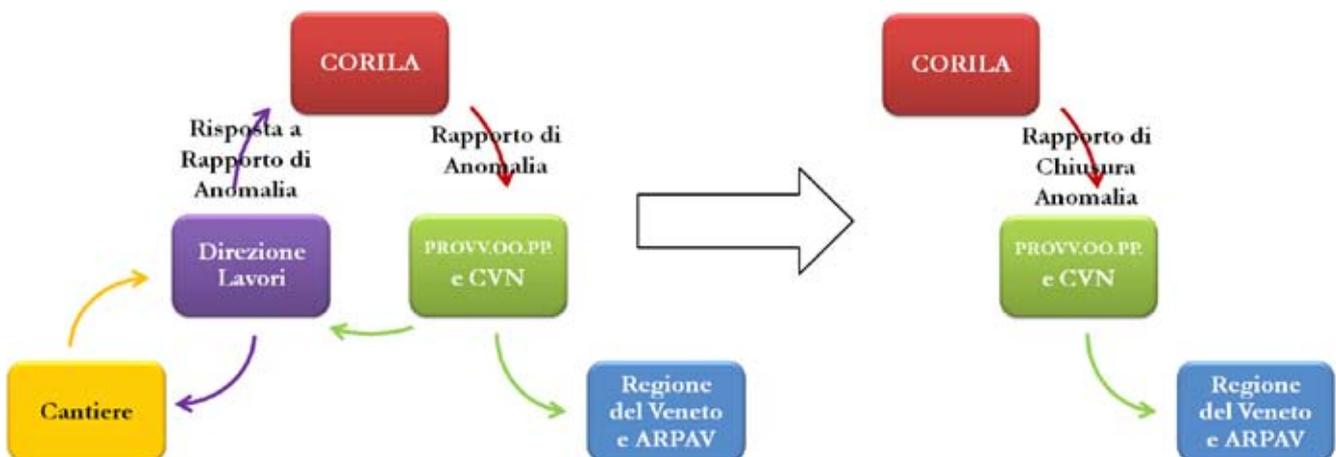
Le misure di mitigazione che vengono suggerite riguardano sia l'adozione di strutture per l'abbattimento fisico dell'emissione perturbativa alla sorgente (quali insonorizzazione dei macchinari, posizionamento di barriere fonoassorbenti, panne per la limitazione della dispersione della torbidità, schermature 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 grappolo 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**

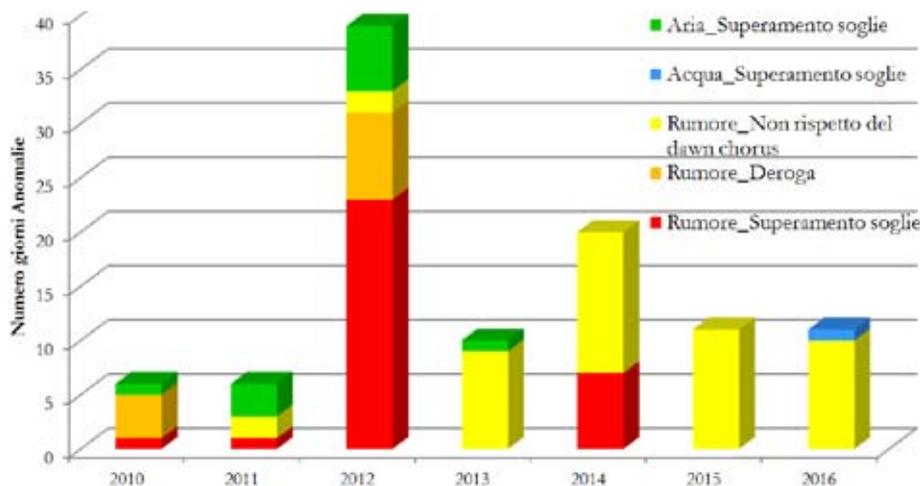
I cantieri, attraverso il Consorzio Venezia Nuova, sono sempre stati a conoscenza dei limiti ambientali imposti e della sussistenza di specifici controlli. La loro organizzazione *ab origine* ha mirato a rispettare tali limiti. I sistemi automatici di rilevazione ed i numerosi operatori sul campo hanno 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 Morgantin, 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.



# **Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE**

## ***Temporal analysis of bird communities in Venice lagoon during the construction of the MOSE System***

Francesca Coccon, Natale Emilio Baldaccini

### **Introduzione**

Nel 2003 hanno preso avvio in laguna di Venezia i lavori per la realizzazione del Sistema MOSE, un insieme di barriere mobili collocate alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, atte a separare temporaneamente la laguna dal mare nei casi di alte maree eccezionali, così da salvaguardare la città di Venezia e mitigarne gli effetti sull'ecosistema. Il progetto, ancora in fase di realizzazione, ricade in un'area di particolare valore naturalistico-ambientale per l'immenso patrimonio biologico che la caratterizza. La laguna di Venezia infatti è la più importante zona umida italiana di livello internazionale (Convenzione di Ramsar) ed è ampiamente rappresentata all'interno della rete ecologica europea "Natura 2000" (Direttive 92/43/CEE "Habitat" e 2009/147/CE "Uccelli"), con una Zona di Protezione Speciale estesa all'intero bacino lagunare (ZPS IT3250046-Laguna di Venezia), due Siti di Importanza Comunitaria (SIC IT3250030-Laguna medio-inferiore di Venezia; SIC IT3250031-Laguna superiore di Venezia) e due zone SIC/ZPS situate attorno alle bocche di porto (IT3250003-Penisola del Cavallino: biotopi litoranei e IT3250023-Lido di Venezia: biotopi litoranei). Inoltre, la laguna veneta costituisce la più estesa tra le Important Bird Areas (IBA) nazionali, con il maggior numero di specie di interesse comunitario da preservare (Gariboldi *et al.*, 2000; Brunner *et al.*, 2002).

Data l'importanza ambientale e conservazionistica delle aree interessate dai cantieri per la costruzione del MOSE, per le quali il nostro Paese si è assunto vincolanti impegni nei confronti dell'Unione Europea finalizzati al mantenimento e salvaguardia degli habitat e delle specie in esse presenti, a partire dal 2005 ha preso avvio un Piano di Monitoraggio con l'obiettivo di documentare l'esistenza di eventuali fenomeni di disturbo conseguenti ai lavori alle bocche di porto sull'avifauna. I rilevamenti hanno coinvolto siti di interesse comunitario rappresentativi dei principali habitat presenti in laguna e sono stati condotti durante tutto l'anno, dalla nidificazione allo svernamento passando per i periodi di migrazione primaverile e autunnale, così da seguire in modo continuativo ed esaustivo l'evoluzione specifica e quantitativa delle comunità e documentarne lo status nelle varie fasi del ciclo biologico degli uccelli.

Tale monitoraggio risulta unico nel suo genere non solo per la vastità dell'area interessata dai rilevamenti e il periodo decennale durante cui si è protratto, ma soprattutto perché ha permesso di descrivere le variazioni qualitative e quantitative annuali ed inter-annuali delle comunità terrestri e acquatiche, mettendo in evidenza i mutamenti inter-

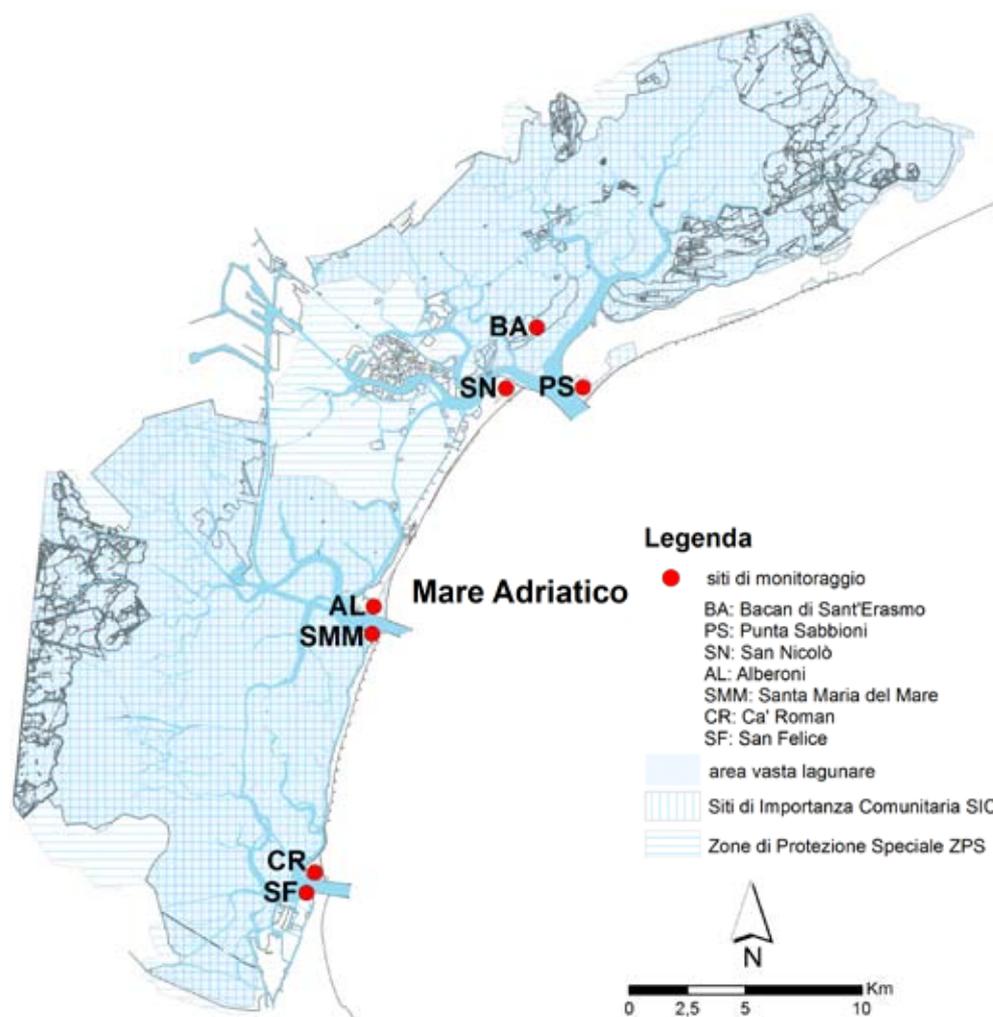
venuti nei diversi siti e definendo le tendenze cui le comunità sono andate incontro nel tempo. Se è vero infatti che sono disponibili numerosi studi sull'avifauna presente in laguna di Venezia, dai Progetti Atlante condotti a livello locale (Bon e Scarton, 2012; Bon e Stival, 2013; Bon *et al.*, 2014), ai risultati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti IWC, iniziati in laguna nel 1993 (Basso e Bon, 2015 e precedenti), ai lavori condotti da alcuni Autori sull'utilizzo delle barene, naturali e artificiali, come siti di alimentazione, sosta e nidificazione da parte di numerose specie acquatiche (Scarton, 2005; Scarton *et al.*, 2009; Scarton, 2010; Scarton *et al.*, 2013a; Scarton, 2014), altrettanto non si può dire per studi che evidenzino l'evoluzione quantitativa delle comunità ornitiche e le tendenze cui esse sono soggette.

In questo lavoro sono esposti i risultati della analisi dei dati raccolti durante il monitoraggio condotto tra il 2005 e il 2015 nei siti di Punta Sabbioni, San Nicolò, Alberoni, Santa Maria del Mare, Ca' Roman, San Felice, Bacan di Sant'Erasmus e bacino lagunare aperto all'escursione di marea (figura 1). Tale analisi viene presentata in un momento particolarmente significativo dello stato di esecuzione del MOSE, a quasi conclusione dei lavori di maggior portata dell'intero progetto. L'obiettivo è quello di descrivere l'evoluzione temporale delle comunità ornitiche presenti nei siti monitorati e di rilevare possibili variazioni, indicative di modificazioni ecologiche in atto. In particolare questa analisi intende:

- a) valutare le comunità ornitiche proprie dei diversi siti sotto il profilo conservazionistico, evidenziando i cambiamenti intervenuti nella occorrenza di specie incluse nelle categorie di minaccia IUCN, ovvero presenti nell'Allegato I della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli";
- b) caratterizzare dal punto di vista trofico le comunità proprie dei siti costieri monitorati, valutando i cambiamenti intervenuti nella occorrenza delle singole classi al fine di evidenziare possibili stati di sofferenza degli habitat cui esse sono legate o eventuali alterazioni dell'ambiente che caratterizza tali siti;
- c) valutare gli andamenti delle popolazioni nidificanti nei siti costieri mediante applicazione dell'Indice Puntiforme di Abbondanza (IPA);
- d) valutare le variazioni intervenute nella comunità ornitica propria del Bacan di Sant'Erasmus attraverso lo studio degli andamenti di tre specie target rilevate nell'area sin dall'inizio del monitoraggio e quindi utili per evidenziare eventuali modificazioni sul lungo periodo.

Il fattore causale primo che viene considerato nella presente analisi è rappresentato dai lavori per la costruzione del MOSE che hanno interessato e tuttora interessano l'area monitorata. È infatti noto che i rumori derivanti da macchine operatrici ed altre attività antropiche non solo possono influenzare parametri descrittivi delle comunità ornitiche quali la composizione in specie e la numerosità, ma possono altresì recare un danno fisiologico e modificazioni comportamentali sui singoli individui (Rheindt, 2003; Dooling e Popper, 2007; Brumm e Slabbekoorn, 2005; Slabbekoorn e Ripmeester 2008). Tuttavia, una relazione causale certa non è dimostrabile a priori in quanto nel periodo considerato possono essere intervenuti fattori ambientali plurimi e pressioni antropiche diverse dal MOSE, a causare modificazioni nelle comunità ornitiche e di conseguenza dei parametri ecologici utili a valutarne lo stato. Ne sono un esempio la sempre più frequente sommersione delle barene naturali nel periodo primaverile-estivo ed il crescente disturbo antropico sui litorali che hanno portato ad una modifica dell'habitat di nidificazione di alcune specie come fratino, *Charadrius alexandrinus*, e fraticello, *Sternula albifrons*, passate da nidificare sulle spiagge del litorale veneziano alle barene naturali prima e a quelle artificiali nell'ultimo decennio. Risultati questi messi in evidenza dal contributo di F. Scarton contenuto nel presente volume.

1. Delimitazione delle zone SIC e ZPS presenti in laguna di Venezia e siti interessati dalle attività di monitoraggio dell'avifauna.



## Materiali e metodi

### Area di studio e raccolta dati

Le attività di monitoraggio dell'avifauna hanno preso avvio nell'aprile 2005 e stanno tuttora proseguendo. I rilevamenti hanno interessato dapprima le sole zone SIC/ZPS di Punta Sabbioni, Alberoni, Ca' Roman (d'ora in poi "siti costieri maggiori") ed il Bacan di Sant'Erasmo, poiché rappresentano le aree più prossime ai cantieri e sono dunque potenzialmente più suscettibili di accusarne gli effetti (figura 1). I dati sono stati raccolti da ornitologi professionisti durante tutto l'anno, così da documentare le varie fasi del ciclo biologico dell'avifauna (nidificazione, svernamento e migrazioni), utilizzando diverse tecniche di censimento a seconda delle caratteristiche delle specie da monitorare, del periodo dell'anno e della morfologia dell'area di studio (Bibby *et al.*, 1998; Bibby *et al.*, 2000). Nella fattispecie, nei siti costieri è stato utilizzato il metodo del transetto che consiste nell'effettuare un percorso rettilineo (transetto), a velocità moderata (1,5 km/ora circa), annotando gli individui di tutte le specie osservate o udite durante il tragitto e distinguendo fra quelli osservati entro una fascia di 50 m da ambo i lati del transetto (IN) e quelli esterni a tale fascia (OUT). Tale tecnica risulta particolarmente vantaggiosa in quanto può essere applicata in tutte le stagioni e consente di censire un considerevole numero di specie. Nell'ottica di fornire un campione rappresentativo dei siti indagati, in ciascuna area sono stati individuati tre transetti ortogonali all'arenile ed un quarto transetto parallelo alla li-

nea di spiaggia. Il metodo di censimento per transetti è stato alternato, nel solo periodo riproduttivo (aprile-agosto), con il metodo dei punti di ascolto. Ciò al fine di individuare le specie nidificanti nell'area di studio e descriverne il relativo uso degli habitat presenti. Tale tecnica consente infatti di contattare con maggior facilità anche le specie più difficili da osservare (come nel caso dei passeriformi) attraverso l'ascolto dei canti da un certo numero di stazioni di rilevamento (punti di ascolto) opportunamente scelte. Risulta inoltre particolarmente indicata per ambienti eterogenei e con una fitta copertura vegetazionale in cui la contattabilità è inferiore. Per ciascun sito sono state quindi individuate nove stazioni fisse ed ognuna di esse è stata visitata dai rilevatori per 10 minuti registrando tutti gli individui visti o sentiti e separando i contatti tra interni ed esterni ad un raggio di 100 m (Hutto *et al.*, 1986). Nel caso del Bacan di Sant'Erasmus invece, date le peculiarità ambientali del sito, sono state censite esclusivamente le specie acquatiche tramite conteggio diretto degli individui avvistati; tale tecnica risulta infatti particolarmente indicata per il censimento di anatidi, ardeidi e limicoli, specie che caratterizzano quest'area.

In un primo momento la frequenza di campionamento nei siti costieri maggiori indagati era di una uscita a settimana nel periodo di nidificazione (tra aprile e agosto) con alternanza di tipologia di campionamento (punti di ascolto/transetto) e di una uscita ogni quindici giorni nei mesi restanti (solo transetti). Al Bacan invece sono state pianificate uscite quindicinali durante tutto l'anno, condotte nei giorni di picco massimo di marea (in tali condizioni infatti gli animali possono essere conteggiati con maggior facilità mentre sono raggruppati presso i posatoi o roost di alta marea), cui si aggiungevano quattro uscite serali nel periodo precedente la migrazione autunnale, nei mesi di luglio e agosto, per documentare l'uso dell'area come roost notturno pre-migratorio.

A partire dal quarto anno di monitoraggio (maggio 2008), si è optato per un ampliamento dei target del monitoraggio allo scopo di:

- a) documentare eventuali variazioni delle comunità ornitiche in tutta l'area ecologicamente coinvolta dagli interventi alle bocche di porto;
- b) contestualizzare le osservazioni relative alle comunità ornitiche insistenti nelle aree prossime ai cantieri e al Bacan di Sant'Erasmus;
- c) documentare l'effettivo utilizzo da parte dell'avifauna delle velme e barene artificiali realizzate, nei bacini nord e sud lagunari, nell'ambito dei lavori per la costruzione del MOSE e valutarne il successo o meno.

Le indagini pianificate hanno dunque incluso il monitoraggio dei tre siti costieri di San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice (d'ora in poi "siti costieri minori") (a San Felice le uscite in campo sono iniziate a maggio 2009), in cui i rilevamenti per punti di ascolto venivano effettuati con cadenza quindicinale. A ciò si è aggiunto il rilevamento di limicoli e sterne in area vasta lagunare, condotto in ambo i bacini lagunari, nord e sud, mediante conteggio diretto da imbarcazione nelle giornate di picco massimo di marea (figura 1). Tale rilevamento, con frequenza mensile, è stato inizialmente condotto nel solo periodo invernale (tra ottobre e marzo), per poi essere esteso a tutto l'anno a partire dal sesto anno di monitoraggio (maggio 2010). Ciò con l'obiettivo di rilevare le variazioni qualitative e quantitative cui sono soggette le comunità ornitiche lagunari nel corso dell'anno. Parallelamente, onde evitare di incrementare ulteriormente lo sforzo di campionamento, di per sé già elevato, è stata ridotta la frequenza di campionamento nelle aree costiere. Pertanto, nei siti di Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman si è passati ad attuare rilevamenti quindicinali con sessioni alterne tra transetti e punti di ascolto nel solo periodo compreso tra marzo e agosto, che comprende la fase di nidificazione per un gran numero di specie, dall'arrivo delle prime specie nidificanti fino all'involto dei piccoli, mentre rilievi mensili per transetto nei mesi restanti; a San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice invece sono stati condotti rilievi mensili per punti di ascolto durante tutto l'anno.

## **Analisi dei dati**

L'andamento di presenza delle comunità ornitiche nei diversi siti è stato analizzato utilizzando metodi statistici sia univariati che multivariati.

Sono stati analizzati:

- a) i dati raccolti tra aprile 2005 e dicembre 2015 nei siti costieri di Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman con il metodo dei transetti e quelli registrati al Bacan di Sant'Erasmo nello stesso periodo;
- b) i dati dei punti di ascolto registrati a San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice da maggio 2009 a dicembre 2015;
- c) i dati rilevati in area vasta lagunare da maggio 2010 a dicembre 2015.

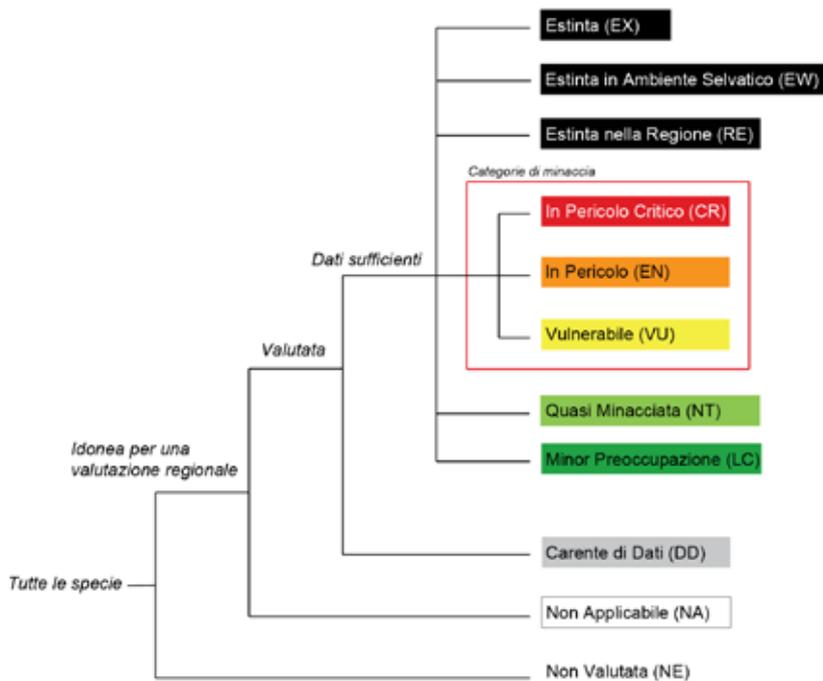
Utilizzando i dati di abbondanza media mensile per specie, sono stati calcolati i seguenti indici:

- ricchezza specifica (S), che rappresenta il numero di specie rilevate in ciascun sito in un determinato periodo dell'anno, indipendentemente dalla loro abbondanza e frequenza di osservazione;
- numero totale di individui (N), ovvero la somma delle abbondanze delle singole specie campionate in ciascun sito in un determinato periodo dell'anno;
- indice di equiripartizione di Pielou (J) (Pielou, 1966), che valuta il grado di uniformità nella distribuzione degli individui tra le diverse specie ed è massimo quando tutte le specie sono presenti con la stessa abbondanza mentre ha valori bassi quando c'è una sola specie abbondante e numerose specie rare;
- indice di diversità di Shannon (H) (Shannon e Weaver, 1963), che esprime sia la ricchezza in specie (numero di specie entro la comunità) sia l'equitabilità della comunità ed assume valori crescenti all'aumentare del numero di specie e della loro uniformità all'interno della comunità mentre tende a zero quanto più la ripartizione è sbilanciata a favore di una sola specie.

Le specie rilevate sono state suddivise in classi di rischio di estinzione secondo la Lista rossa europea degli uccelli (EU 27 Red List Category, BirdLife International 2015) che segue ed accorpa i criteri e le categorie della Lista rossa IUCN (IUCN 2012) per la definizione dello status di ciascuna specie. Tale lista classifica le specie in otto categorie di minaccia sulla base di valutazioni quantitative relative al trend demografico, alle dimensioni e struttura della popolazione ed alla distribuzione delle specie. Le classi sono ordinate secondo il criterio del rischio di estinzione crescente: dalla categoria "A minor preoccupazione (LC, Least Concern)", adottata per le specie che non rischiano l'estinzione nel breve o medio termine, a quella "Estinta (EX, Extinct)", applicata alle specie per le quali si ha la definitiva certezza che anche l'ultimo individuo sia deceduto (figura 2).

Per ciascun sito è stata calcolata la percentuale di specie minacciate e la percentuale di specie incluse nell'allegato I della Direttiva Uccelli (2009/147/CE) sul totale rilevato nel corso del monitoraggio, con l'obiettivo di valutare le aree di studio da un punto di vista conservazionistico. Inoltre, per ogni categoria di minaccia IUCN (NT, VU, EN, CR) e per le specie incluse nell'allegato I della Direttiva Uccelli è stato calcolato il rapporto tra il numero di individui e il numero di specie contattate per mese (Indice N/S) ed è stata utilizzata la media annuale di tale rapporto per descrivere l'andamento temporale delle singole classi.

Data l'elevata eterogeneità ambientale che caratterizza i siti costieri, costituiti da ambienti dunali e retrodunali, fasce boscate e specchi d'acqua salmastra, le specie qui rilevate sono state altresì suddivise in base alle loro abitudini alimentari, che ne rispecchiano



2. Categorie di rischio di estinzione della Lista rossa IUCN (da BirdLife International, 2015).

le esigenze ecologiche. Sono state così definite quattro categorie trofiche: carnivori, che comprende i rapaci (diurni e notturni) e specie ittiofaghe e che si nutrono di molluschi e di altri invertebrati marini, come ad esempio i limicoli; granivori, tra cui vi sono i columbidi oltre a diverse specie di passeri e fringillidi; insettivori, che raggruppa le specie la cui dieta è costituita in maniera prevalente da insetti tra cui troviamo silvidi, picchi, rondini e rondoni; onnivori, che include le specie che si cibano sia di materiale vegetale (ad esempio semi, grano e frutta) che di quello animale (ad esempio insetti, pesci e crostacei) come gli anatidi e alcune specie sinantropiche come le cornacchie e i gabbiani reali. Per ciascuno dei siti costieri è stata quindi calcolata la percentuale di presenza delle singole classi trofiche come misura indiretta della struttura e delle tipologie di habitat presenti ed è stata utilizzata la numerosità media annuale di tali classi per descriverne l'andamento temporale.

I dati ottenuti mediante punti di ascolto registrati nei siti costieri maggiori e minori tra marzo e agosto sono stati utilizzati per calcolare un Indice Puntiforme di Abbondanza (IPA). A tale scopo è stato attribuito un punteggio ad ogni contatto a seconda dello status degli individui contattati ( $p=1$  specie con evidenti segnali di nidificazione;  $p=0.5$  specie che non presenta evidenti segnali di nidificazione) e l'indice IPA è stato calcolato suddividendo il totale dei contatti rilevati in un certo sito in un determinato periodo dell'anno per il numero di punti di ascolto effettuati. Tale indice fornisce una stima dell'abbondanza della comunità ornitica nel periodo riproduttivo, pesata sulle specie nidificanti nell'area. L'andamento dell'indice IPA negli anni di monitoraggio è stato analizzato mediante una esplorazione grafica dei dati utilizzando il metodo dei boxplot.

Relativamente al Bacan di Sant'Erasmus, è stato inoltre effettuato un approfondimento su tre specie target: fratino, *Charadrius alexandrinus*, pivieressa, *Pluvialis squatarola*, e piovanello pancianera, *Calidris alpina*. Tali specie sono state selezionate in quanto:

- specialiste della fascia tidale che caratterizza l'area di studio;
- indicatrici della comunità di limicoli;
- rilevate nel sito sin dall'inizio del monitoraggio e dunque particolarmente indicate per rilevare variazioni sul lungo periodo.

Per ciascuna specie è stato calcolato un indice di abbondanza media mensile, non con-

siderando ai fini delle analisi i dati relativi alle uscite serali. Tale parametro è stato utilizzato per descrivere l'andamento delle specie target nell'area del Bacan nel corso degli anni.

Le analisi multivariate hanno previsto l'individuazione della tendenza degli indici ecologici e matematici sopra descritti utilizzando il metodo della media mobile, che consente di catturare il trend dei dati in modo fedele senza perdere di vista le variazioni che si sono succedute nel tempo. Inoltre, è stata valutata la significatività delle variazioni osservate nel corso del monitoraggio utilizzando test statistici parametrici o non parametrici a seconda della distribuzione dei dati.

Per contestualizzare le osservazioni fatte al Bacan di Sant'Erasmus, l'andamento delle specie target rilevato in quest'area è stato confrontato con quello da esse evidenziato nell'intero bacino lagunare mediante una ispezione grafica dei dati. Infine, a verifica della attendibilità dei risultati emersi dal monitoraggio, è stato utilizzato il test di correlazione di Pearson per confrontare i dati di presenza media di limicoli e sterne (calcolati sul periodo novembre-gennaio), rilevati in laguna tra il 2008 e il 2015, con i dati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti (IWC, International Waterfowl Census), qui registrati nello stesso periodo. I censimenti IWC vengono svolti dal 1993 in area vasta, nel mese di gennaio, con lo scopo di ottenere una stima verosimile della popolazione delle specie svernanti in laguna.

I dati sono stati analizzati utilizzando i software PRIMER v6 (Clarke e Gorley, 2006) e R versione 3.0.2 (R Core Team, 2013). Per tutte le analisi la significatività statistica è stata posta a  $P < 0.05$ .

## Risultati

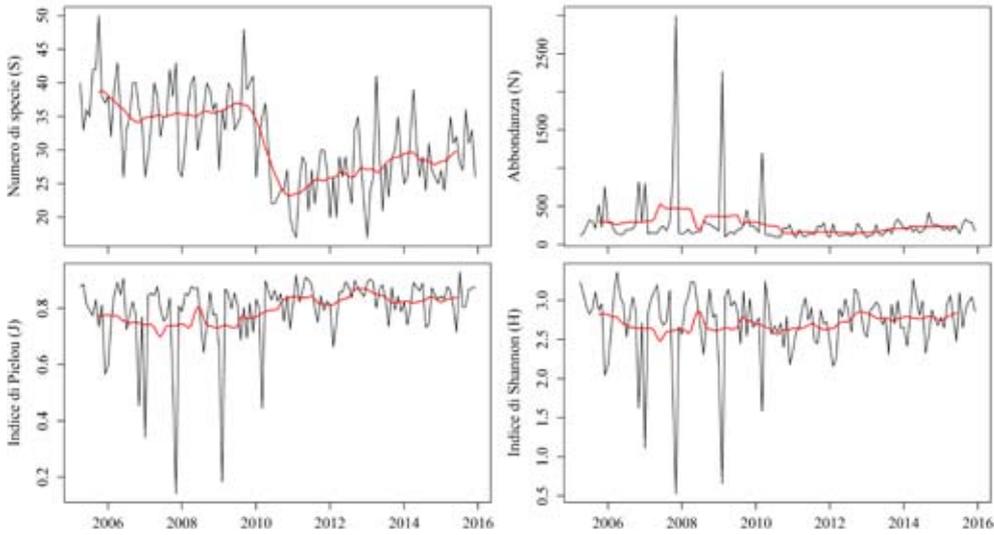
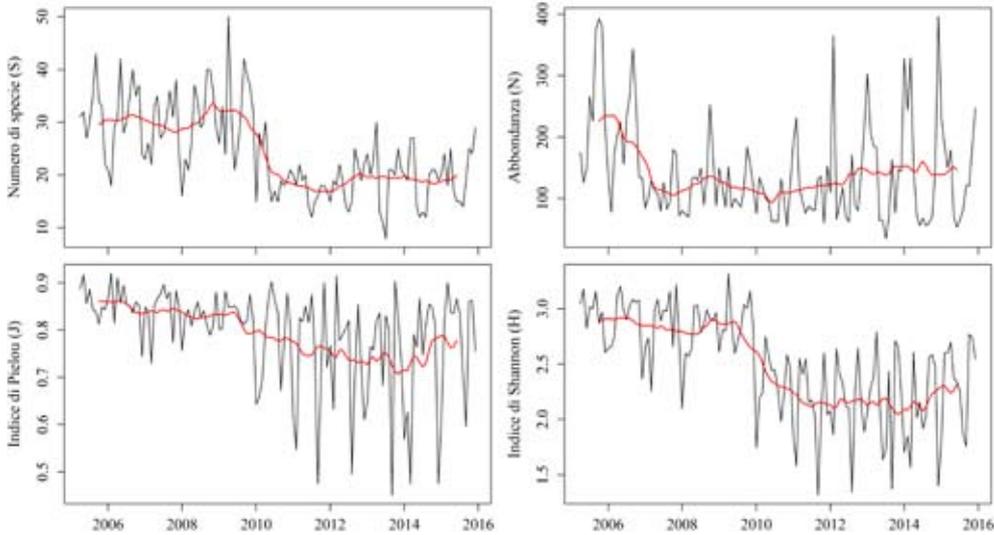
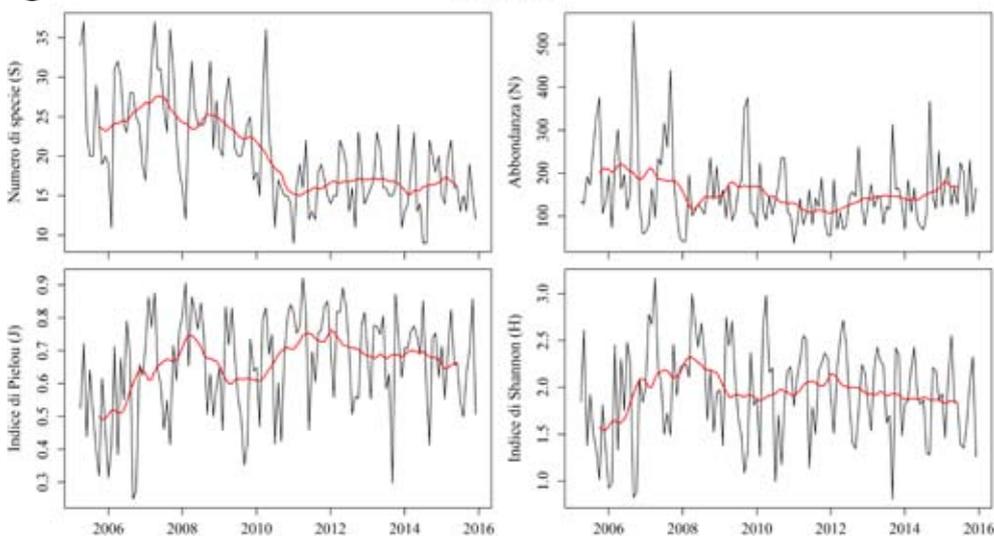
### **Andamento degli indici ecologici nei siti monitorati**

#### *Alberoni, Ca' Roman e Punta Sabbioni*

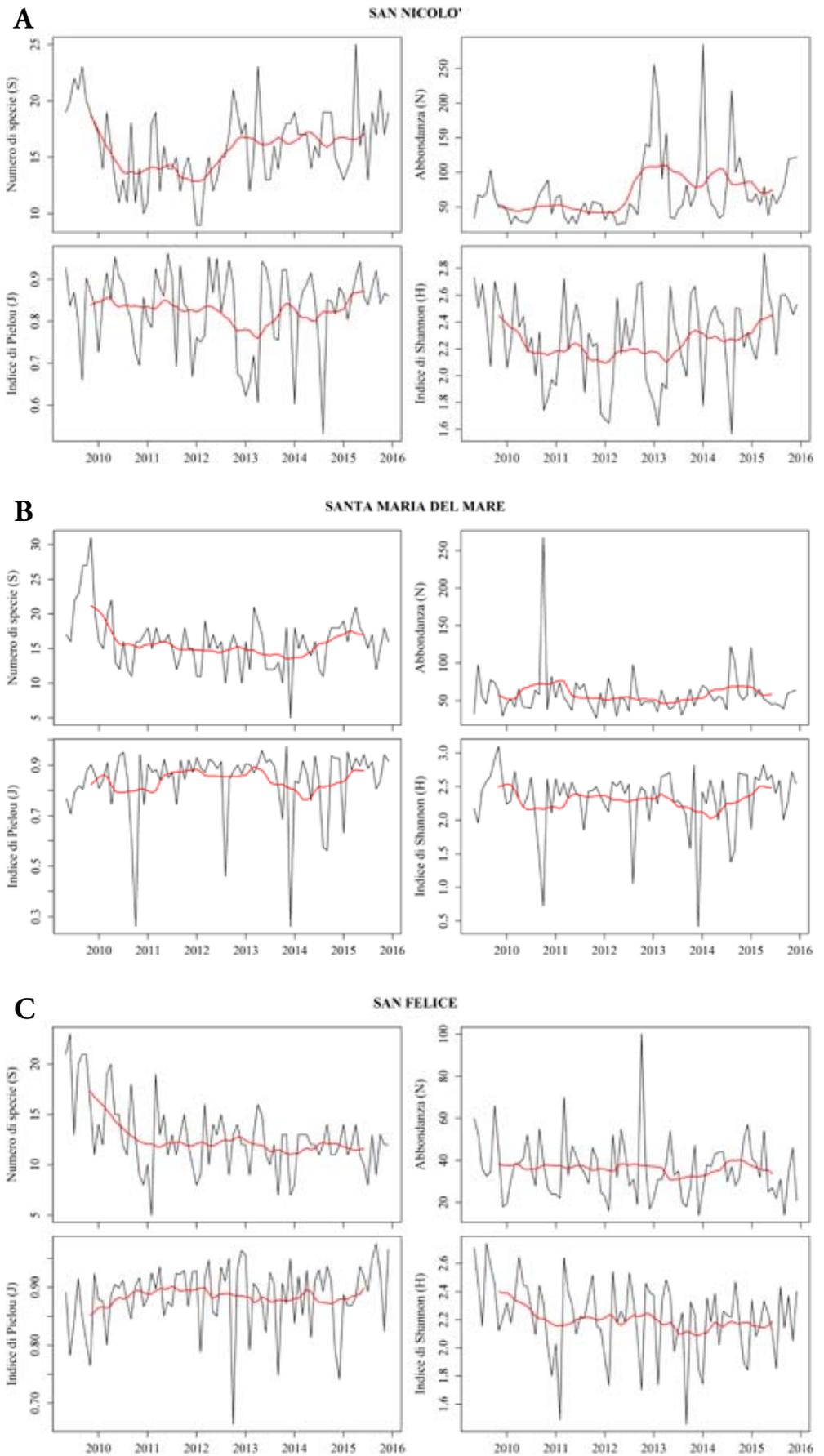
Nei tre siti costieri maggiori l'indice di ricchezza specifica  $S$  è variato significativamente nel tempo (in tutti i casi  $P < 0.05$ ). Ad Alberoni e Ca' Roman il numero di specie è diminuito nel 2010 e si è poi stabilizzato su valori inferiori rispetto ai primi anni di monitoraggio, mentre a Punta Sabbioni il trend è ritornato positivo a partire dal 2011. L'indice di abbondanza  $N$  è variato significativamente a Punta Sabbioni (Friedman test,  $\chi^2_{10} = 37.067$ ,  $P = 5.509e^{-05}$ ), dove si osserva un calo nel 2010 ed un assestamento della numerosità su un valore medio mensile di 200 individui nel periodo 2011-2015 e ad Alberoni (Friedman test,  $\chi^2_{10} = 35.627$ ,  $P = 9.755e^{-05}$ ) dove si evidenzia una netta contrazione nel 2007 cui segue un trend positivo a partire dal 2010. A Ca' Roman, invece, le variazioni dell'indice sono risultate non significative (Friedman test,  $\chi^2_{10} = 17.3862$ ,  $P = 0.066$ ) (figura 3).

Sono state inoltre rilevate delle variazioni temporali significative nell'indice di equitabilità  $J'$ . A partire dal 2010 è stato evidenziato un andamento positivo dell'indice a Punta Sabbioni e Ca' Roman, ad indicare un aumento della equiripartizione della comunità ornitica in questi siti, mentre ad Alberoni si è osservato un evidente calo (figura 3).

Ancora, l'indice di Shannon  $H$  è variato significativamente ad Alberoni (Friedman test,  $\chi^2_{10} = 66.2828$ ,  $P = 2.302e^{-10}$ ) con una diminuzione a partire dal 2010 che indica come la comunità tenda ad essere dominata da poche specie. Diversa la situazione rilevata negli altri due siti in cui le variazioni dell'indice sono statisticamente non significative (Punta Sabbioni: Friedman test,  $\chi^2_{10} = 8.9899$ ,  $P = 0.533$ ; Ca' Roman: Welch test,  $F_{10,46} = 1.542$ ,  $P = 0.155$ ) indicando come le specie siano variate nel tempo nella stessa misura (figura 3).

**A****PUNTA SABBIONI****B****ALBERONI****C****CA' ROMAN**

3. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittivi delle comunità ornitiche rilevate nei siti costieri di Punta Sabbioni (A), Alberoni (B) e Ca' Roman (C) tra aprile 2005 e dicembre 2015.



4. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittivi delle comunità ornitiche rilevate nei siti costieri di San Nicolò (A), Santa Maria del Mare (B) e San Felice (C) tra maggio 2009 e dicembre 2015.

### San Nicolò, Santa Maria del Mare, San Felice

Variazioni temporali significative dell'indice di ricchezza specifica S sono state osservate anche nei tre siti costieri minori (in tutti i casi  $P < 0.05$ ). A San Nicolò è stato evidenziato un calo del numero di specie fino al 2012 cui è seguito un aumento dei valori dell'indice; a Santa Maria del Mare il calo della ricchezza specifica si è verificato fino a dicembre 2013 con conseguente ripresa nel 2014 e 2015, mentre a San Felice è stato rilevato un trend negativo tra il 2009 e il 2015 (figura 4).

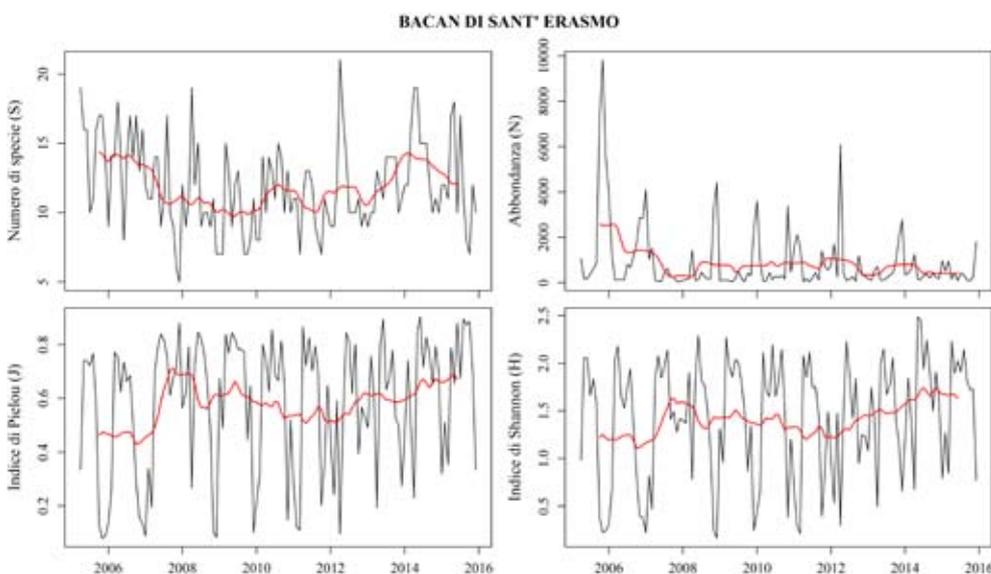
L'indice di abbondanza N è variato significativamente soltanto a San Nicolò (Friedman test,  $\chi^2_6 = 17.702$ ,  $P = 0.007$ ), dove si osserva un aumento della numerosità nel 2013 ed un successivo assestamento dell'indice su valori visibilmente più elevati rispetto ai primi anni di monitoraggio. Negli altri due siti invece le fluttuazioni inter-annuali dell'indice sono risultate statisticamente non significative, ad indicare una certa stabilità della numerosità della comunità ornitica nel corso del monitoraggio (figura 4).

L'indice di equiripartizione J non ha evidenziato variazioni temporali significative, ma è fluttuato entro un range abbastanza ristretto in tutti i siti.

L'indice di Shannon H ha mostrato differenze significative soltanto a San Nicolò (Welch test,  $F_{6,31} = 2.934$ ,  $P = 0.021$ ), con un andamento negativo fino al 2013 ed una successiva crescita fino al 2015. Ciò indica una maggior complessità del popolamento ornitico in questo sito negli ultimi anni. A San Felice, invece, sebbene le variazioni non siano risultate significative, si è osservato un calo dell'indice di diversità H tra il 2009 e il 2015, evidenziando una regressione del grado di maturità dell'ecosistema (figura 4).

### Bacan di Sant'Erasmus

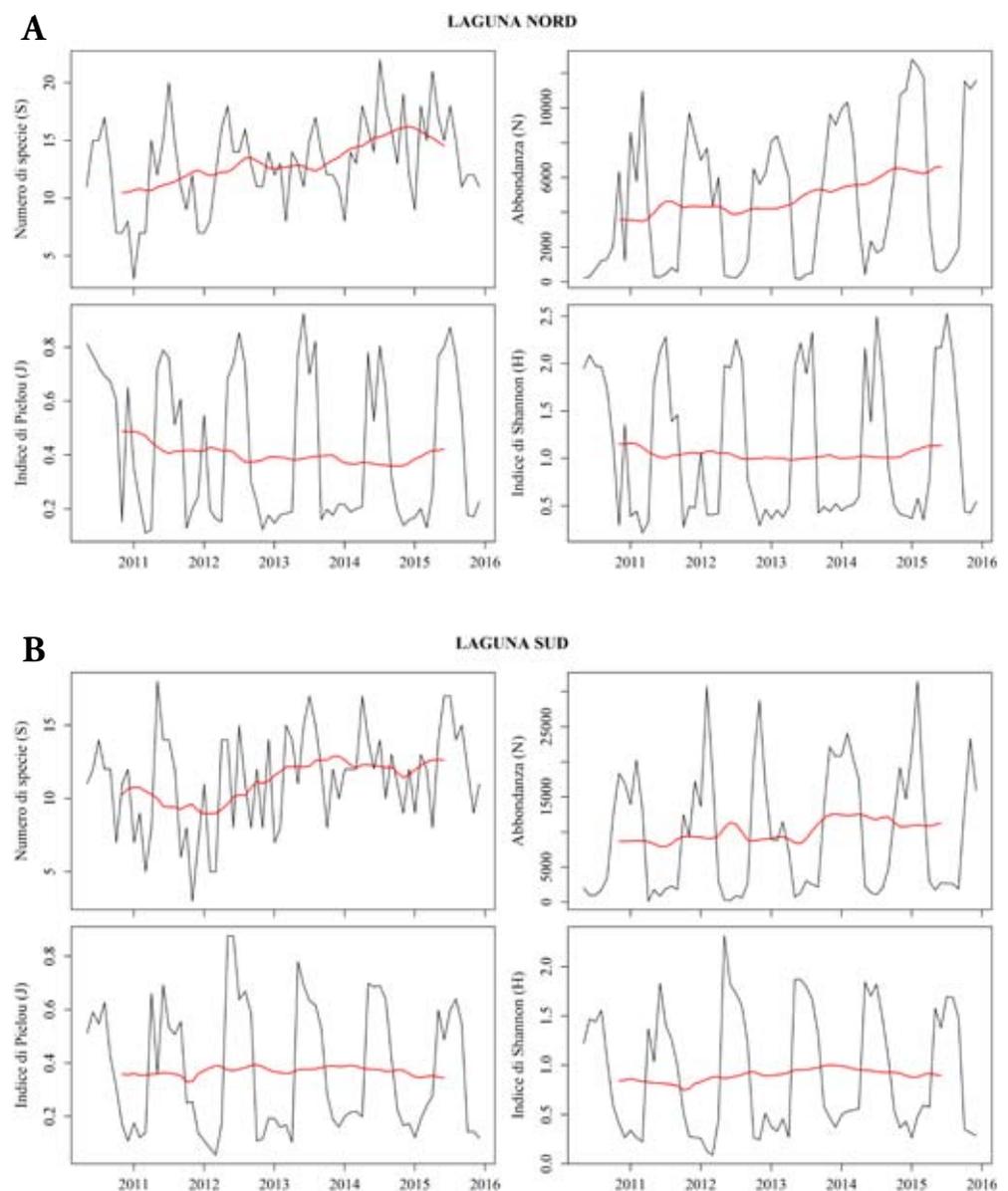
Al Bacan di Sant'Erasmus sono state evidenziate delle variazioni temporali significative relativamente a tutti gli indici ecologici considerati (Friedman test, Ricchezza specifica:  $\chi^2_{10} = 25.673$ ,  $P = 0.004$ ;; Abbondanza totale:  $\chi^2_{10} = 20.808$ ,  $P = 0.022$ ; Indice di Pielou:  $\chi^2_{10} = 23.293$ ,  $P = 0.009$ ; Indice di Shannon:  $\chi^2_{10} = 22.444$ ,  $P = 0.013$ ). Per quanto riguarda l'indice di ricchezza specifica S è stato osservato un calo del numero di specie tra il 2008 e il 2012 con successiva ripresa fino al 2015. L'indice di abbondanza N mostra una netta contrazione nel 2007 cui segue un assestamento della numerosità su un plafond inferiore rispetto agli inizi del monitoraggio, mentre l'indice di Pielou e l'indice di Shannon aumentano visibilmente a partire dal 2008 ad indicare una maggiore uniformità ed una crescita della complessità della comunità ornitica (figura 5).



5. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittivi della comunità ornitica rilevata al Bacan di Sant'Erasmus tra aprile 2005 e dicembre 2015.

### Area vasta lagunare

L'analisi dell'andamento degli indici ecologici nei due bacini lagunari nord e sud ha evidenziato delle variazioni temporali significative dell'indice di ricchezza specifica  $S$  in entrambi i casi (ANOVA test, Laguna Nord:  $F_{1,66}=8.938$ ,  $P=0.003$ ; Laguna Sud:  $F_{1,66}=5.457$ ,  $P=0.022$ ), con un evidente trend positivo tra il 2010 e il 2015. Si osserva inoltre un considerevole aumento dei contingenti; ciò nonostante, le variazioni temporali dell'indice di abbondanza risultano statisticamente significative nel solo bacino settentrionale (Friedman test,  $\chi^2_5=20.571$ ,  $P=0.0009$ ). In nessun caso, l'indice di equiripartizione  $J$  ha evidenziato delle variazioni significative negli anni, quanto piuttosto delle oscillazioni entro un range abbastanza ristretto. L'indice di Shannon  $H$  invece ha mostrato delle differenze temporali significative nel bacino meridionale (Friedman test,  $\chi^2_5=12.571$ ,  $P=0.027$ ), evidenziando un trend in aumento. Ciò indica come la laguna sud tenda ad essere caratterizzata da una comunità ornitica equiripartita e sufficientemente complessa. Il trend dell'indice di Shannon in laguna nord risulta invece stabile indicando come, in quest'area, le specie siano variate nel tempo nella stessa misura (figura 6).



6. Andamento e media mobile degli indici ecologici descrittivi delle comunità ornitiche (uccelli acquatici) rilevate nel bacino lagunare settentrionale (A) e meridionale (B) tra maggio 2010 e dicembre 2015.

## Valutazioni conservazionistiche

Circa il 90% delle specie contattate nei siti costieri è risultato “A Minor Preoccupazione” (LC), il 3% “Quasi Minacciato” (NT) e il 6% minacciato, in quanto appartenente alla categoria “Vulnerabile” (VU) e, nel caso di una sola specie, alla categoria “In pericolo” (EN), rappresentata dal voltapietre, *Arenaria interpres*, osservato a Ca’ Roman nel mese di agosto 2015. Per quanto concerne le specie incluse nell’allegato I della Direttiva Uccelli, nel corso del monitoraggio sono state rilevate 20 specie a Punta Sabbioni e Ca’ Roman e 14 specie ad Alberoni che rappresentano rispettivamente il 15%, 17% e 12% del totale. Nei siti costieri minori sono state invece rilevate 9 specie a San Nicolò, 11 specie a Santa Maria del Mare e 6 a San Felice costituenti rispettivamente il 9,5%, 11,6% e 8,7 dell’intera comunità (tabella 1).

Più rilevante sotto il profilo conservazionistico risulta il Bacan di Sant’Erasmus in cui il 20% delle specie contattate (60) è risultato minacciato (con l’1,6% “In Pericolo critico” (CR), il 5% EN e il 13% VU), il 7% NT ed il restante 73% LC. Inoltre, il 33,3% (20 specie) delle specie registrate in quest’area sono incluse nell’Allegato I della Direttiva Uccelli (tabella 1). La presenza di un numero così elevato di specie di interesse conservazionistico in un’area di estensione limitata come quella del Bacan di Sant’Erasmus (pari a 406 Ha) rende questo sito di particolare importanza e la salvaguardia del suo habitat indispensabile per la tutela e la conservazione di tali specie.

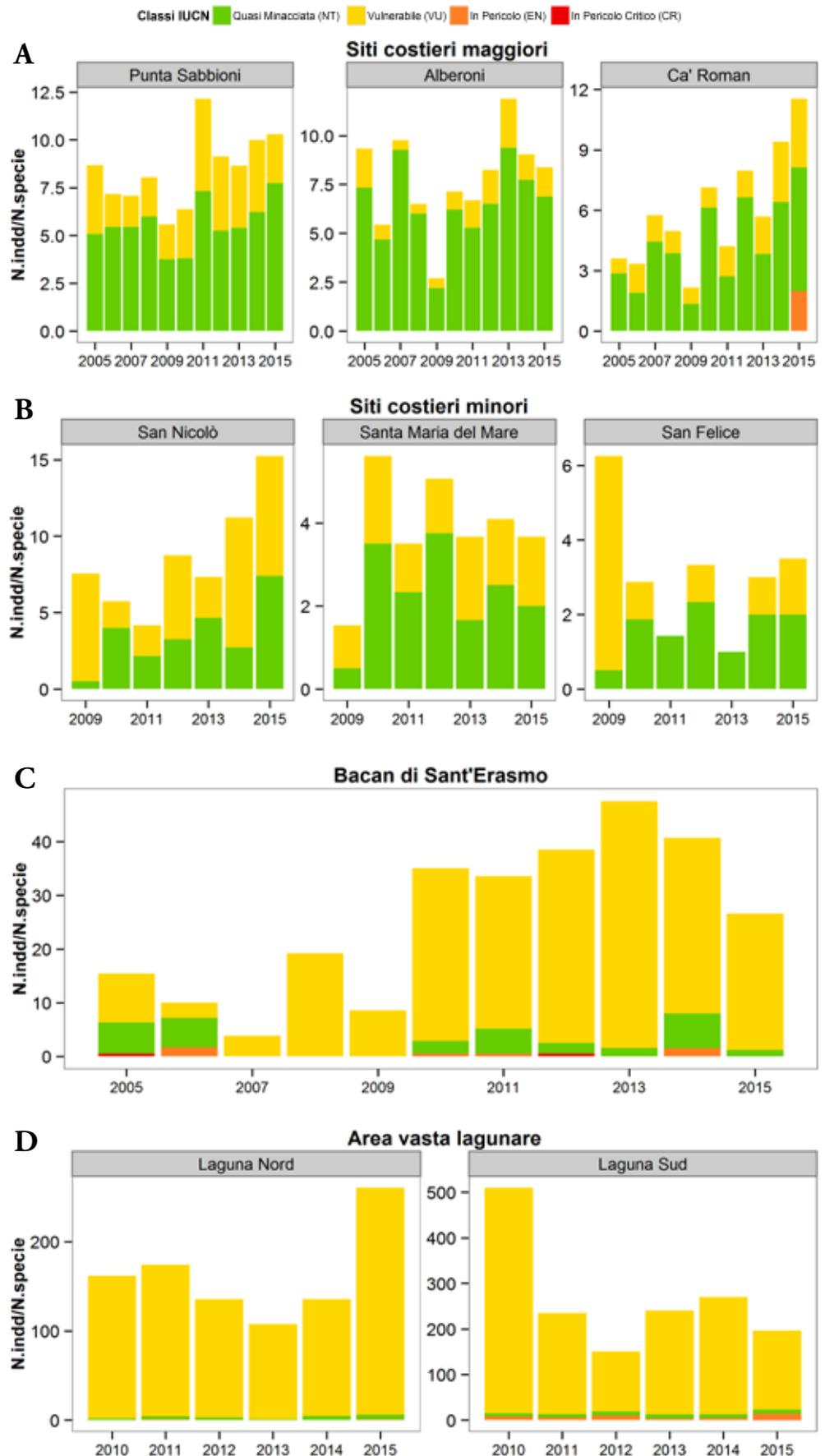
Una situazione analoga è stata riscontrata in laguna di Venezia, con il 19% delle specie rilevate (58 specie) in stato di minaccia, di cui il 2% circa CR, il 5% EN e il 12% VU. L’8,6% delle specie è risultato NT e il 72,4% LC. Inoltre, anche in questo caso, è stata rilevata la presenza di 19 specie (costituenti il 32,7% dell’intera comunità) incluse nell’allegato I della Direttiva Uccelli (tabella 1).

L’andamento dell’indice N/S calcolato per la categoria NT è risultato positivo in tutti i siti costieri monitorati evidenziando un aumento della numerosità di individui appartenenti a tale categoria a parità di numero di specie. Relativamente alla categoria VU, l’andamento è positivo in tutti i casi ad eccezione di San Felice, in cui è stato registrato un trend negativo ad indicare una contrazione del numero di individui appartenenti a tale classe, e di Santa Maria del Mare che mostra un trend stabile, indicando come il rapporto tra numerosità e numero di specie non sia variato negli anni. La classe di minaccia CR è esclusa da tale descrizione in quanto nel corso del monitoraggio è stata rilevata una sola specie appartenente a tale categoria nel sito di Ca’ Roman (figura 7A e B).

Al Bacan di Sant’ Erasmus è stato rilevato un trend negativo dell’indice N/S per quanto concerne la categoria NT, indicando una riduzione della numerosità a parità di numero

	N totale specie	Categorie IUCN					% Specie minacciate	%NT	% LC	Direttiva Uccelli Allegato I	
		CR	EN	VU	NT	LC				N specie	% specie sul totale
Punta Sabbioni	135			9	4	122	6,67	2,96	90,37	20	14,81
Alberoni	118			6	4	108	5,08	3,39	91,53	14	11,86
Ca’ Roman	119		1	9	4	105	8,40	3,36	88,24	20	16,81
San Nicolò	95			5	3	87	5,26	3,16	91,58	9	9,47
Santa Maria del Mare	95			8	3	84	8,42	3,16	88,42	11	11,58
San Felice	69			3	2	64	4,35	2,90	92,75	6	8,70
Bacan di Sant’Erasmus	60	1	3	8	4	44	20,00	6,67	73,33	20	33,33
Area vasta lagunare	58	1	3	7	5	42	18,97	8,62	72,41	19	32,76

Tabella 1. Totale delle specie rilevate, percentuale di specie minacciate secondo la Lista rossa europea degli uccelli (EU 27 Red List Category) e di specie incluse nella Direttiva Uccelli (2009/147/CE) per ciascun sito monitorato.

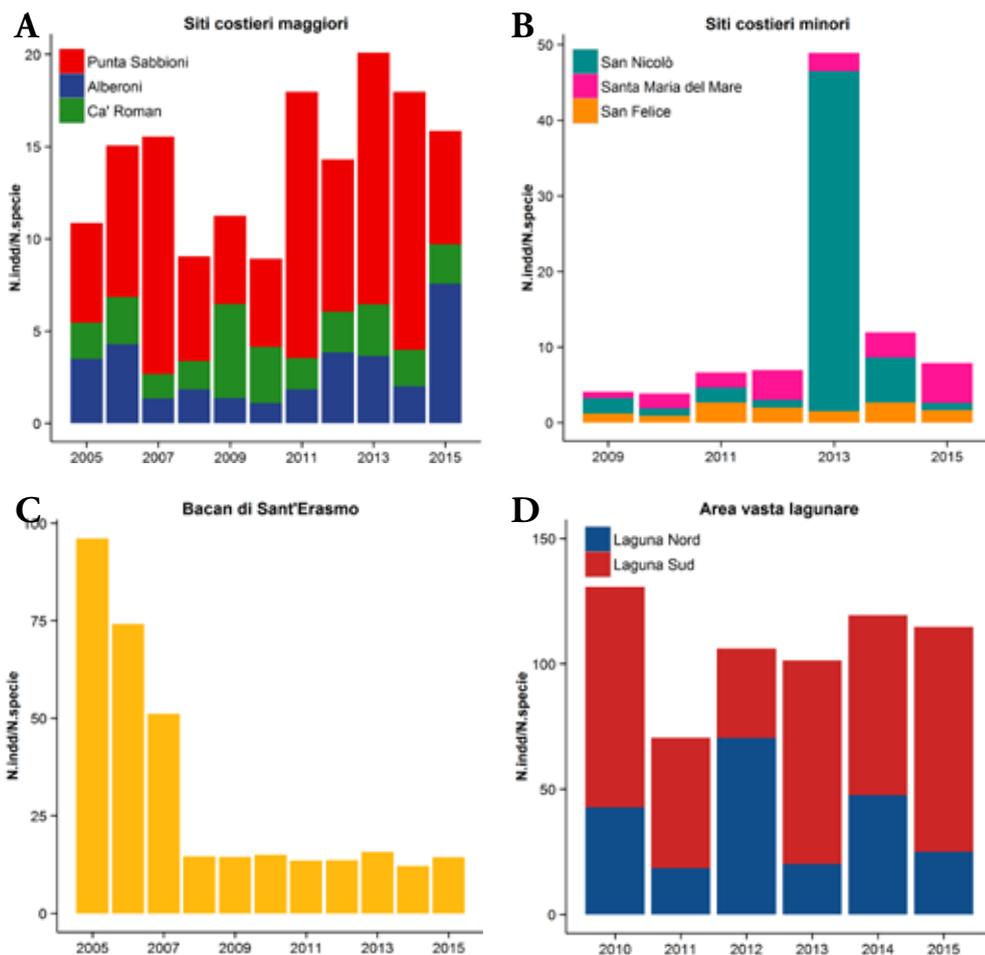


7. Media annuale del rapporto tra numero di individui e numero di specie (Indice N/S) calcolato per le specie incluse nelle categorie di minaccia IUCN rilevate nei siti costieri maggiori tra il 2005 e il 2015 (A), nei siti costieri minori nel periodo 2009-2015 (B), al Bacan di Sant'Erasmo nel periodo 2005-2015 (C) e nei due bacini lagunari nord e sud tra il 2010 e il 2015 (D).

di specie. Per la classe VU si osserva invece un sostanziale aumento dell'indice a partire dal 2010 evidenziando un aumento del numero di individui appartenenti a tale categoria (a tale innalzamento dell'indice contribuisce in maniera sostanziale l'aumento dei contingenti di chiurlo maggiore, *Numenius arquata*, registrato nell'area negli ultimi sei anni di monitoraggio). Le altre due classi di minaccia (EN e CR) sono state rilevate solo sporadicamente nel sito e non è quindi possibile descriverne l'andamento (figura 7C).

In laguna nord è stato rilevato un trend positivo dell'indice N/S relativamente alle classi NT e VU evidenziando un aumento dei contingenti appartenenti a tali categorie a parità di numero di specie. Sporadici gli avvistamenti di specie appartenenti alla classe EN. Per quanto concerne la laguna sud l'andamento dell'indice per la categoria NT è risultato pressoché stabile ad indicare come numerosità e numero di specie siano variate negli anni in maniera proporzionale. Si rileva poi un trend negativo per la classe VU, segno di un sensibile aumento del numero di specie appartenenti a tale classe, mentre nel caso della classe EN, il trend è positivo ad indicare un aumento della numerosità a parità di numero di specie. La categoria di minaccia CR è esclusa da tale descrizione in quanto nel corso del monitoraggio è stata rilevata un'unica specie appartenente a tale classe nel solo bacino meridionale (figura 7D).

L'indice N/S calcolato per le specie incluse nell'allegato I della Direttiva Uccelli rilevate nei siti costieri maggiori nel corso del monitoraggio ha mostrato un andamento positivo nel caso di Punta Sabbioni e Alberoni indicando un impoverimento del numero di specie prioritarie ed un parallelo aumento della numerosità di individui per specie. A Ca' Roman invece l'andamento dell'indice è risultato stabile, indicando come numerosità e



8. Media annuale del rapporto tra numero di individui e numero di specie (Indice N/S) calcolato per le specie incluse in Allegato I della Direttiva Uccelli rilevate nei siti costieri maggiori tra il 2005 e il 2015 (A), nei siti costieri minori nel periodo 2009-2015 (B), al Bacan di Sant'Erasmo nel periodo 2005-2015 (C) e nei due bacini lagunari nord e sud tra il 2010 e il 2015 (D).

numero di specie siano variati in maniera proporzionale negli anni (entrambi gli indici N ed S hanno subito un leggero calo nel corso del monitoraggio) (figura 8A).

Nei siti costieri minori, si osserva un trend positivo dell'indice N/S in tutti i casi. Tuttavia, mentre a San Nicolò e Santa Maria del Mare tale aumento è determinato da una crescita della numerosità di individui a parità di numero di specie, a San Felice si rileva una considerevole riduzione del numero di specie prioritarie. Ciò che fa innalzare sensibilmente l'indice a San Nicolò è il rilevamento di un cospicuo numero di gabbiani corallini, *Larus melanocephalus*, (N=85) nel mese di aprile 2013 (figura 8B).

Diversa la situazione rilevata al Bacan di Sant'Erasmus, in cui si osserva un trend negativo dell'indice, con una netta contrazione tra il 2007 e il 2008. Tale andamento è causato da una riduzione della numerosità degli uccelli mentre il numero di specie incluse in Allegato I è rimasto pressoché invariato negli anni. Ciò indica una tendenza alla equidistribuzione degli individui fra le varie specie (figura 8C).

Per quanto concerne l'area vasta lagunare, nel bacino settentrionale l'andamento dell'indice N/S risulta in leggero calo indicando un aumento del numero di specie prioritarie ed una maggiore equidistribuzione degli individui fra di esse. In laguna sud invece, fatto salvo per la contrazione registrata nel 2011 e 2012 causata da una riduzione del numero di individui rilevati, l'andamento risulta tendenzialmente stabile ad indicare un equilibrio nel rapporto tra numerosità e numero di specie di interesse conservazionistico (gli indici N ed S sono variati in maniera proporzionale negli anni) (figura 8D).

### **Caratterizzazione trofica delle comunità costiere**

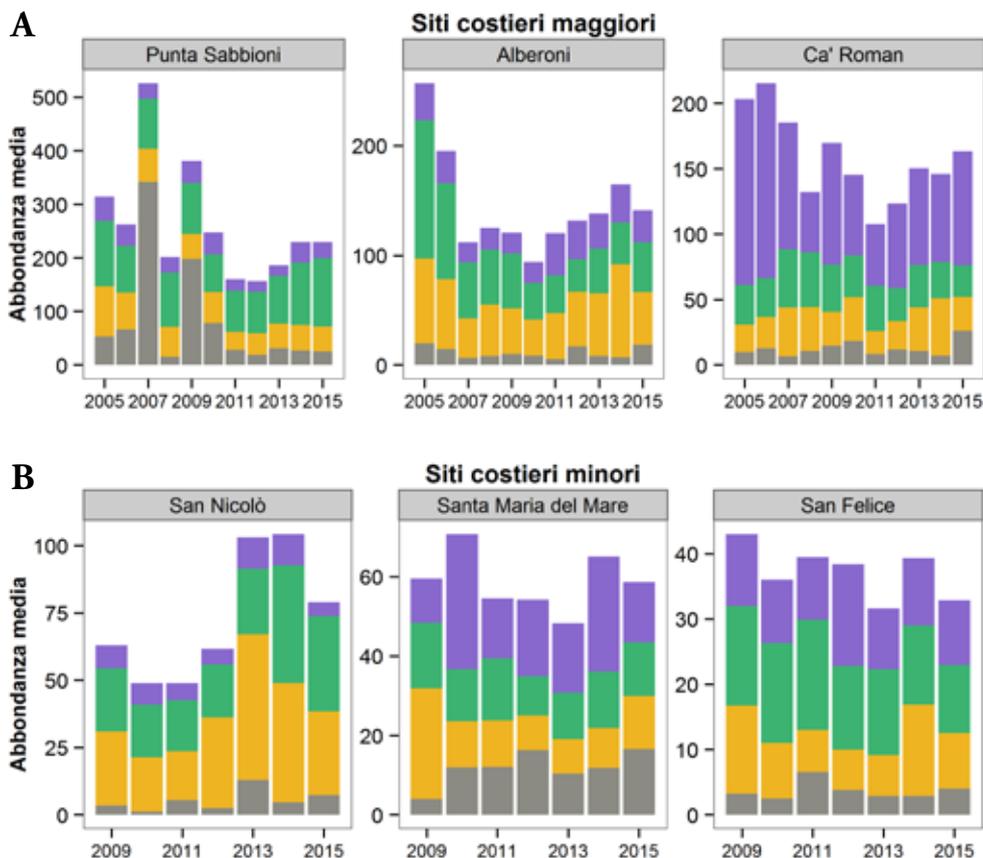
La caratterizzazione trofica delle comunità costiere ha evidenziato a Punta Sabbioni una prevalenza di specie predatrici insettivore e carnivore, costituenti rispettivamente il 37% e il 31% della comunità ornitica. Il sito degli Alberoni è risultato caratterizzato dai gruppi insettivori e granivori per il 73%, mentre a Ca' Roman prevalgono le specie onnivore per il 53%. Nel caso dei siti minori, si rileva a San Nicolò una predominanza di specie insettivore e granivore, pari al 76% della comunità; a Santa Maria del Mare una leggera prevalenza di specie onnivore (33%), mentre i restanti gruppi risultano equamente ripartiti. A San Felice infine si osserva una dominanza delle specie insettivore (37%) e onnivore (30%) (tabella 2).

Osservando l'andamento delle singole classi trofiche si rileva a Punta Sabbioni un calo delle specie carnivore tra il 2009 e il 2010 ed una stabilizzazione su un plafond inferiore rispetto ai primi anni di monitoraggio tra il 2011 e il 2015. Diminuiscono anche le specie granivore e onnivore mentre le specie insettivore mostrano un trend stabile negli anni. Diversa la situazione nel sito di Alberoni in cui si rileva un trend pressoché stabile delle classi dei carnivori, granivori e onnivori (nel caso dei granivori si nota una contrazione nel periodo centrale del monitoraggio, tra il 2007 e il 2010 ed una successiva ripresa negli ultimi cinque anni fino a toccare valori simili a quelli registrati nei primi anni di studio), mentre gli insettivori evidenziano uno spiccato trend negativo. Nel caso di Ca' Roman invece si osserva una lieve crescita del gruppo dei carnivori, un andamento

Tabella 2. Percentuale di presenza delle singole classi trofiche rilevate nei siti costieri maggiori e minori.

	<b>Percentuale di presenza dei gruppi (%)</b>			
	<b>Carnivori</b>	<b>Granivori</b>	<b>Insettivori</b>	<b>Onnivori</b>
<b>Punta Sabbioni</b>	30,92	20,48	36,57	12,03
<b>Alberoni</b>	7,58	36,62	36,23	19,57
<b>Ca' Roman</b>	7,89	18,48	20,82	52,81
<b>San Nicolò</b>	9,91	37,71	37,72	14,66
<b>Santa Maria del Mare</b>	21,56	20,82	24,15	33,48
<b>San Felice</b>	8,92	24,31	37,06	29,71

Categorie trofiche ■ carnivora ■ granivora ■ insettivora ■ onnivora



9. Classificazione delle specie per categoria trofica. Abbondanza media annuale dei gruppi trofici rilevati nei siti costieri maggiori nel periodo 2005-2015 (A) e nei siti costieri minori nel periodo 2009-2015 (B).

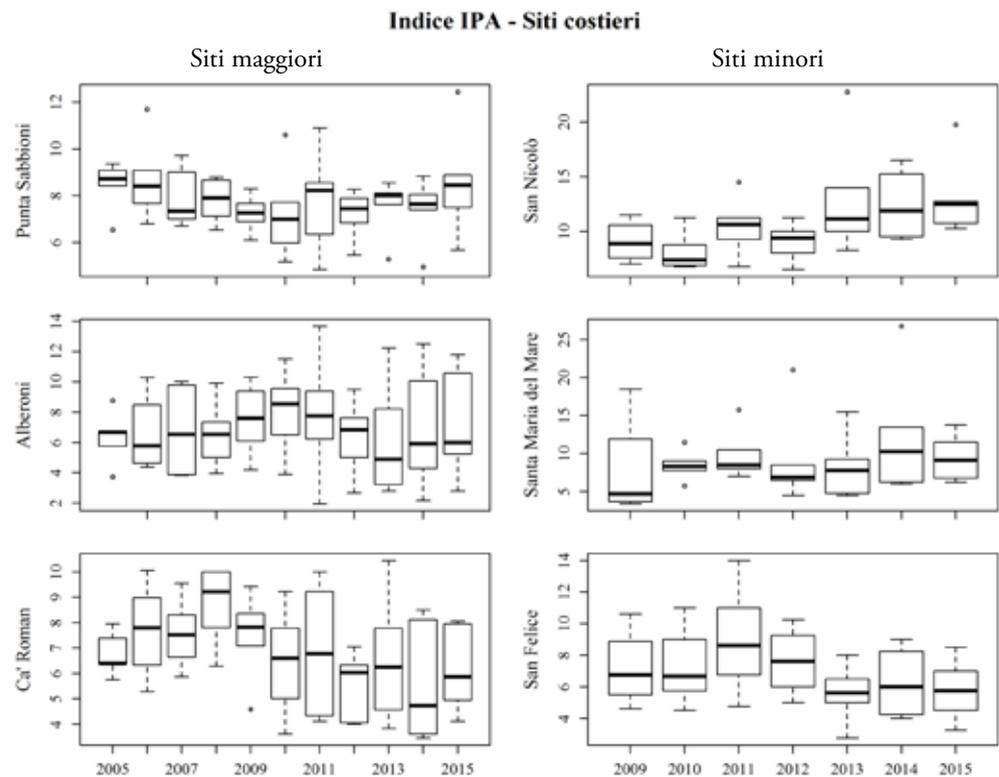
pressoché stabile di granivori e insettivori mentre gli onnivori diminuiscono in maniera sostanziale (figura 9A).

Relativamente ai siti minori, a San Nicolò si osserva un trend positivo di tutte le classi trofiche, specialmente di quella insettivora e granivora, ad eccezione del gruppo degli onnivori che mostra un leggero calo. A Santa Maria del Mare aumentano le specie carnivore e onnivore, gli insettivori mostrano un andamento stabile negli anni, mentre la classe dei granivori evidenzia un drastico calo nel 2010 cui tuttavia segue una stabilizzazione delle presenze negli anni successivi. A San Felice infine si rileva un trend negativo degli insettivori mentre le classi trofiche restanti risultano stabili (figura 9B).

### Andamento dell'Indice Puntiforme di Abbondanza IPA (periodo riproduttivo) nei siti costieri

Il grafico in figura 10 mostra l'andamento dell'indice IPA calcolato per i siti costieri maggiori e minori. A Punta Sabbioni si osserva un trend negativo dell'indice fino al 2010 ed una successiva ripresa a partire dal 2011, ad Alberoni un trend positivo fino al 2010 con un successivo calo sino al 2013 ed un lieve aumento negli ultimi due anni di monitoraggio, mentre a Ca' Roman uno spiccato trend positivo fino al 2008 cui ne segue uno negativo sino al 2015. Per quanto concerne i siti costieri minori invece il trend dell'indice IPA risulta positivo a San Nicolò e Santa Maria del Mare, mentre è negativo a San Felice a partire dal 2012 ad indicare una graduale diminuzione della popolazione nidificante in quest'area negli ultimi anni di monitoraggio.

10. Boxplot dell'indice IPA nei sei siti costieri. L'indice si riferisce al solo periodo riproduttivo marzo-agosto ed è stato calcolato per il periodo 2005-2015 nei siti maggiori (a sinistra) e per il periodo 2009-2015 nei siti minori (a destra).

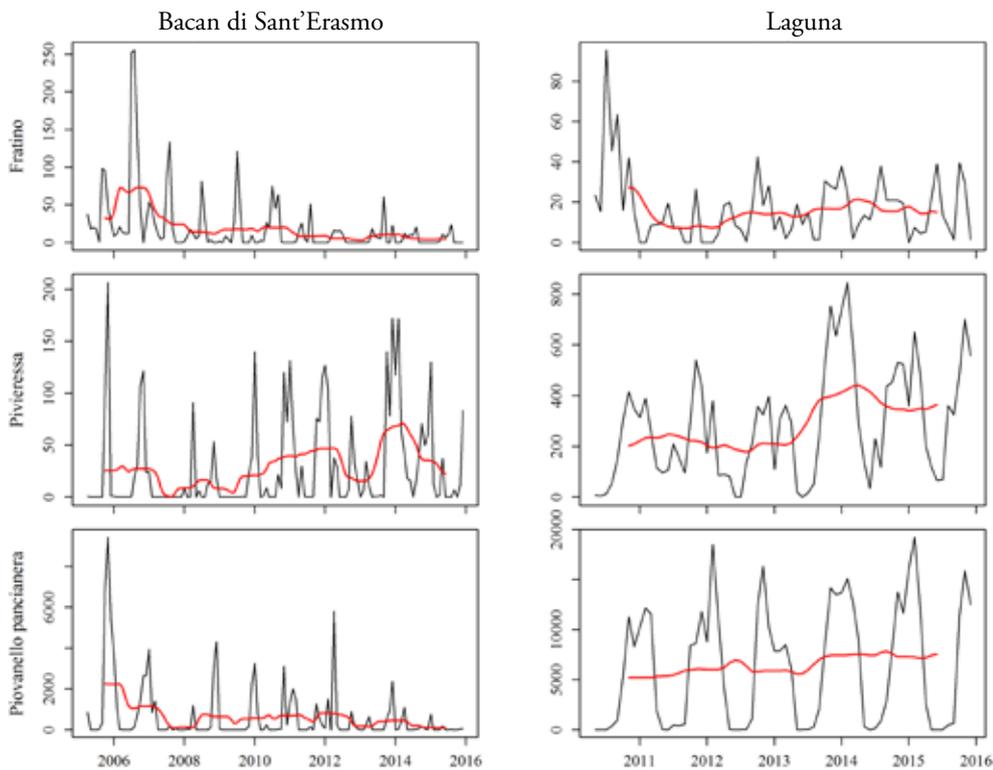


### **Andamento delle specie target al Bacan di Sant'Erasmo e in area vasta lagunare**

L'analisi dell'andamento della abbondanza delle tre specie target al Bacan di Sant'Erasmo ha evidenziato un trend negativo di piovanello pancianera e di fratino ed uno positivo nel caso di pavieressa. Ciò nonostante, le variazioni temporali dell'indice sono risultate statisticamente significative nel solo caso di fratino e pavieressa (Friedman test, fratino:  $\chi^2_{10}=32.137$ ,  $P=0.0003$ ; pavieressa:  $\chi^2_{10}=33.153$ ,  $P=0.0002$ , in entrambi i casi  $P<0.05$ ), indicando come tali specie abbiano subito dei cambiamenti sostanziali nel numero di effettivi registrati in quest'area nel corso del monitoraggio. Nel caso di piovanello pancianera invece le variazioni dell'indice sono risultate non significative (Friedman test,  $\chi^2_{10}=14.707$ ,  $P=0.143$ ). Si rileva infatti una contrazione nel 2007 cui segue una stabilizzazione delle abbondanze su un plafond inferiore rispetto a quelle rilevate nei primi anni di monitoraggio, verso cui i dati non mostrano alcun segno di riavvicinamento (figura 11). Il declino e successivo assestamento osservato in questo sito è stato causato da una massiva traslocazione dei contingenti di piovanello pancianera dall'arenile del Bacan verso altre aree del complesso lagunare, prima fra tutte la lunata della bocca di porto di Lido, regolarmente utilizzata dalla specie come posatoio di alta marea dall'ottobre 2011 (figura 12).

L'andamento delle specie target in area vasta lagunare è risultato differente da quello rilevato al Bacan di Sant'Erasmo per quanto concerne il piovanello pancianera. In laguna infatti la popolazione di tale specie risulta in crescita, raggiungendo nel mese di febbraio 2015 una numerosità media per bacino lagunare di 19.235 individui, picco massimo finora registrato. Il fratino ha evidenziato un calo nel 2011 cui segue una leggera ripresa ed un assestamento a partire dal 2013, mentre la pavieressa presenta un trend positivo anche in area vasta (figura 11).

Infine, è stata rilevata una correlazione statisticamente significativa tra i dati di moni-



11. Andamento e media mobile della abbondanza media mensile di fratino, *Charadrius alexandrinus*, pivieressa, *Pluvialis squatarola* e piovanello pancianera, *Calidris alpina*, registrata al Bacan di Sant'Erasmus tra aprile 2005 e dicembre 2015 (a sinistra) e in area vasta lagunare tra maggio 2010 e dicembre 2015 (a destra).

toraggio e i dati IWC relativamente alla presenza di limicoli e sterne svernanti in laguna (Pearson test,  $P=0.008$ ,  $r=0.845$ ) (figura 13). Entrambi i rilevamenti hanno infatti evidenziato un trend positivo delle comunità ornitiche lagunari (cfr. figura 14 e figura 6). Tale risultato evidenzia la generale situazione di positività che si rileva all'interno del complesso lagunare.

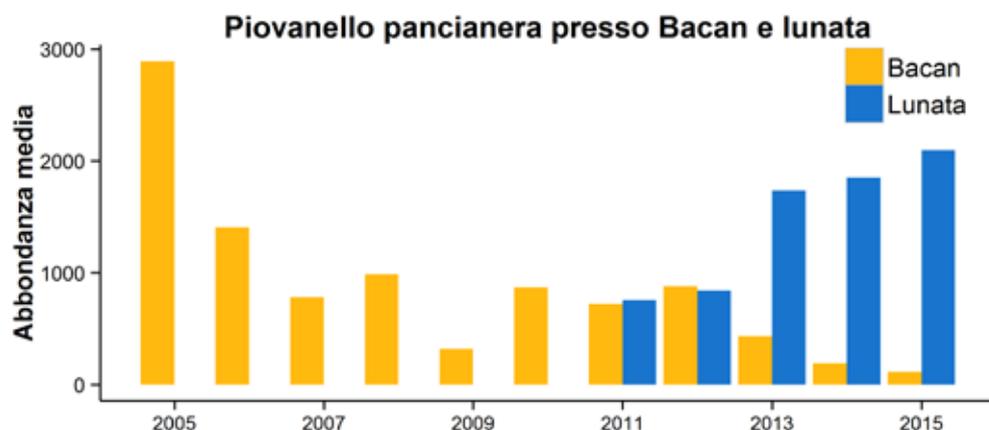
## Discussione

I risultati ottenuti hanno permesso di tracciare l'andamento delle comunità ornitiche lagunari in un periodo di elevato impatto antropico, caratterizzato da una diffusa e persistente presenza umana, associata a lavorazioni rumorose spesso al di sopra di 60 dB(A), dunque perturbative per l'avifauna. L'evoluzione temporale delle comunità, puntualmente seguita durante tutte le fasi del ciclo biologico dell'avifauna, ha mostrato tuttavia andamenti disomogenei con effetti differenti nei vari siti monitorati.

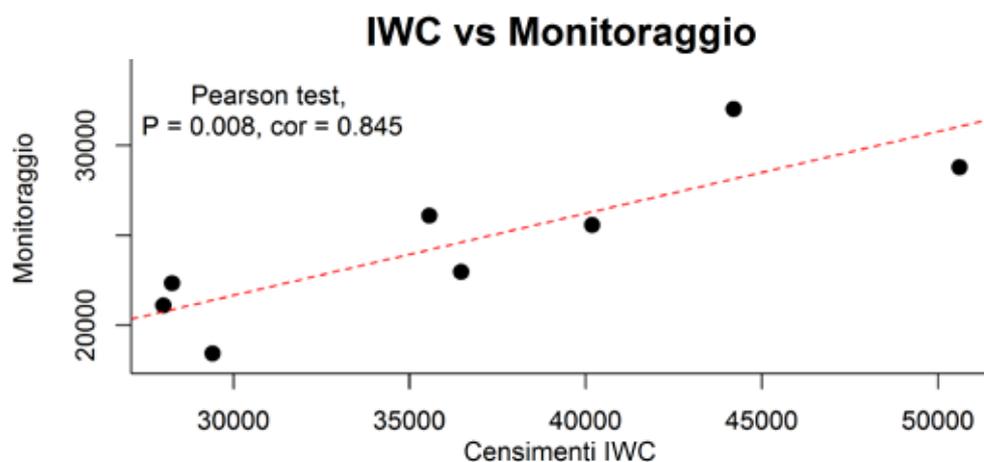
Nei siti costieri maggiori, monitorati sin dal 2005 (Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman), è stata osservata una generale riduzione del numero di specie nell'anno 2010 (figura 3). In seguito, a partire dal 2011, è stato evidenziato, a Punta Sabbioni e Ca' Roman, un aumento della equidistribuzione delle specie che indica la tendenza verso un ecosistema più stabile e maturo. Ad Alberoni, invece, è seguito un incremento della numerosità ed un drastico calo sia dell'equitabilità ( $J'$ ) sia della diversità del popolamento ( $H$ ) ad indicare una comunità sottoposta ad un forte stress, caratterizzata da un basso numero di specie e con una forte gerarchia di abbondanza (ovvero la maggior parte delle specie sono fortemente dominanti e poche altre sono scarsamente rappresentate).

I risultati del monitoraggio hanno evidenziato come, anche nei siti costieri minori di San Nicolò, Santa Maria del Mare e San Felice si sia verificata, nel 2010, una contrazione del numero di specie (figura 4). A San Felice, in particolare, si osserva, dal 2009

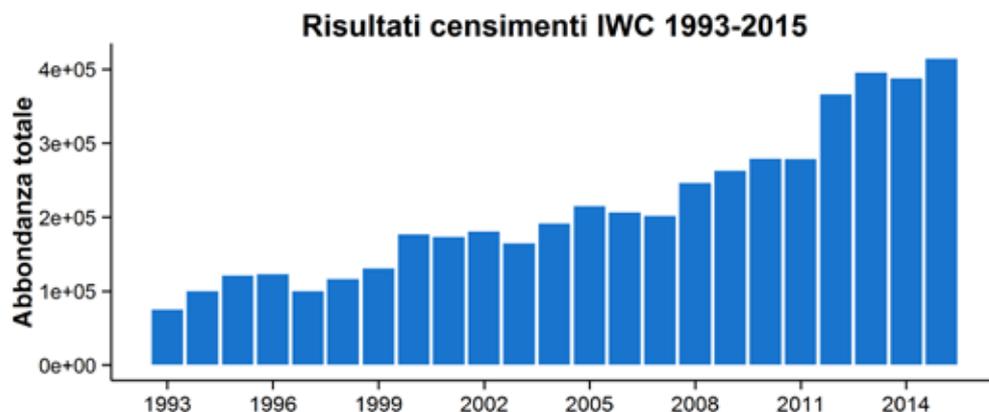
12. Abbondanza media di piovanello pancianera, *Calidris alpina*, registrata al Bacan di Sant'Erasmus e presso la lunata della bocca di porto di Lido. Si nota uno spostamento degli individui verso la lunata a partire dal 2011.



13. Correlazione esistente tra i dati rilevati nell'ambito del Piano di Monitoraggio e dei censimenti IWC nel periodo di svernamento 2008-2015.



14. Abbondanza di uccelli acquatici svernanti in laguna di Venezia tra il 1993 e il 2015 (da Basso e Bon, 2015 e precedenti).



al 2015, un andamento negativo sia dell'indice di ricchezza specifica  $S$  sia dell'indice di diversità  $H$  a conferma che l'ecosistema è caratterizzato da un basso grado di biodiversità, con poche specie dominanti ed altre scarsamente rappresentate; potrebbe trattarsi di un ecosistema giovane o di un ecosistema sottoposto ad una condizione di stress. A San Nicolò invece l'indice di diversità del popolamento  $H$  aumenta, evidenziando una progressiva maggior complessità del popolamento ornitico. Presso il Bacan di Sant'Erasmus la numerosità è diminuita nettamente nel 2007 e successivamente l'indice di abbondanza si è stabilizzato su valori inferiori rispetto ai primi anni di monitoraggio. A ciò si contrappone tuttavia un aumento dell'uniformità e della diversità  $H$  del popolamento a partire dal 2008 ad indicare una crescita della comples-

sità della comunità ornitica, confermata dall'aumento del numero di specie a partire dal 2012 (figura 5). Dall'insieme delle informazioni raccolte si può ipotizzare che il Bacan di Sant'Erasmus stia evolvendo verso un ecosistema più maturo in cui la frequenza delle specie è ben distribuita, contrariamente a quanto rilevato nei primi anni di monitoraggio in cui la comunità era dominata da poche specie come, ad esempio, il piovanello pancianera.

È dunque possibile affermare che le comunità ornitiche dei siti costieri e del Bacan di Sant'Erasmus siano state influenzate dalle lavorazioni per la costruzione del MOSE, come è del resto deducibile dal calo del numero di specie osservato, rispettivamente, nel 2010 e nel 2007. Tali contrazioni dei parametri ecologici descrittivi delle comunità ornitiche sono imputabili alla rumorosità dei cantieri, in particolare a quelle attività con emissioni rumorose superiori ai 70 dB(A), come la battitura pali o le opere di trivellazione; attività queste che sono state concentrate nei primi anni di monitoraggio, periodo concomitante con i maggiori cambiamenti registrati nello stato delle comunità ornitiche. Tale tesi è sostenuta dal recente Studio B.6.72 B/11, in cui è stata verificata, per i siti costieri di Alberoni e Ca' Roman, l'esistenza di una correlazione significativamente negativa tra livello di rumore in dB(A) e indici ecologici di presenza ornitica.

Pur sottolineando tali negative interferenze, negli ultimi anni si sta assistendo, in tutti i siti monitorati, ad una ripresa o ad una stabilizzazione dei parametri descrittivi delle comunità ornitiche, riavvicinandosi a quanto ci si possa attendere dalla specificità dei siti oggetto di studio. È noto infatti che gli uccelli possono differenzialmente controbattere condizioni di stress e di disturbo (Rheindt, 2003; Walker *et al.*, 2006; Gill, 2007) tornando rapidamente alle loro normali attività e pattern comportamentali (Rees *et al.*, 2005; Baudains e Lloyd, 2007). I siti monitorati non hanno evidentemente perso la loro attrattività nei confronti dell'avifauna che in essi trova ancora habitat almeno parzialmente idonei per la sosta, l'alimentazione e la nidificazione.

Risultati del tutto positivi si sono al contrario ottenuti monitorando le comunità dell'area vasta lagunare, allorché ci si allontani dai siti di cantiere. Sia nel bacino settentrionale sia in quello meridionale si è registrato, tra il 2010 e il 2015, un forte incremento della ricchezza specifica e della numerosità di individui, indicando un ambiente complesso, caratterizzato da diverse tipologie di habitat (laguna viva, velme, barene naturali e artificiali), in grado di ospitare un numero sempre più elevato di specie e di individui (figura 6). Tale risultato coincide con quanto riportato in letteratura (Bon *et al.*, 2014) che evidenzia un trend positivo degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia, annoverando attualmente la presenza di 186 specie svernanti e di 140 specie nidificanti, valori nettamente superiori a quanto riportato negli atlanti provinciali precedenti (Stival, 1996; Bon *et al.*, 2000).

L'importanza dei siti monitorati è altresì sottolineata dalla presenza di specie di interesse conservazionistico e con un diverso grado di minaccia, che risultano in numero particolarmente elevato al Bacan di Sant'Erasmus e in laguna aperta (tabella 1). I nostri risultati consentono una valutazione complessivamente positiva riguardo alle specie incluse nelle categorie di minaccia IUCN evidenziando, nella maggior parte dei casi, un aumento della numerosità delle categorie a parità di numero di specie contattate. Fanno eccezione San Felice e la laguna sud, in cui è stato rilevato un trend negativo della classe "Vulnerabile" causato da un lato da una riduzione dei contingenti a parità di numero di specie, dall'altro da un sensibile aumento del numero di specie appartenenti a tale classe. Egualmente, al Bacan di Sant'Erasmus si è osservata una riduzione della numerosità della classe "Quasi Minacciata" a parità di numero di specie (figura 7).

La situazione si discosta da quella sopra descritta per quanto concerne le specie incluse nell'Allegato I della Direttiva Uccelli: queste diminuiscono nei siti costieri maggiori, aumentano in numerosità, a parità di numero di specie, nei siti minori (ad eccezione di

San Felice dove si osserva una contrazione del numero di specie prioritarie nel corso del monitoraggio) e tendono all'equidistribuzione degli individui al Bacan di Sant'Erasmus e in laguna aperta. Tale tendenza è causata dalla riduzione del numero di individui a parità di numero di specie al Bacan, mentre in laguna da un aumento del numero di specie prioritarie (figura 8).

I risultati ottenuti dimostrano uno sfruttamento, continuativo negli anni, dei siti monitorati da parte delle specie minacciate e prioritarie ed evidenziano la necessità di adottare tutte le misure di conservazione opportune per tutelare tali specie come, ad esempio, una corretta gestione degli habitat, la protezione dei nidi per le specie nidificanti a terra o la limitazione e delocalizzazione del disturbo antropico nel periodo riproduttivo, come la presenza di bagnanti, le attività nautico-sportive, il transito di motoveicoli e di cani sciolti sui litorali o l'abbandono incontrollato di rifiuti, specialmente nel periodo riproduttivo.

In relazione alla caratterizzazione trofica delle comunità ornitiche, i siti costieri monitorati sono risultati caratterizzati dalla presenza preponderante di specie insettivore e granivore, maggiormente specializzate dal punto di vista alimentare e ecologico (tabella 2 e figura 9). Soltanto a Ca' Roman è stata registrata una prevalenza di specie onnivore. È stata evidenziata una netta contrazione delle specie insettivore ad Alberoni e a San Felice, probabile indice di una alterazione strutturale dell'habitat boschivo cui tali specie sono strettamente legate. Al contrario, a San Nicolò e a Ca' Roman è emersa una riduzione delle specie generaliste, tipiche di ambienti marginali e antropizzati, di cui un esempio lampante è il gabbiano reale. Gli altri gruppi trofici mostrano una condizione di stabilità a Ca' Roman ed un andamento positivo a San Nicolò. Tale risultato consente una valutazione positiva per questi due siti, indicando uno stato di salute degli ambienti naturali in essi presenti ed un grado di disturbo trascurabile. È stato infatti dimostrato che le specie sensibili o specialiste (ovvero quelle legate ad habitat specifici) tendono ad essere rilevate in paesaggi meno frammentati e con un minor grado di disturbo antropico rispetto alle specie generaliste (Devictor *et al.*, 2008). A Punta Sabbioni invece si osserva un calo delle specie carnivore, come sterne e limicoli, portando a pensare ad uno stato di sofferenza della fascia litoranea, probabilmente in parte causata dalla balneazione e dallo sfruttamento turistico del sito durante il periodo estivo che ne provoca sia il degrado che una riduzione di superficie utile per gli uccelli.

Le popolazioni nidificanti nei siti costieri hanno delineato una tendenza alla diminuzione negli ultimi anni di monitoraggio ad Alberoni, Ca' Roman e San Felice (figura 10). Tali risultati concordano con quanto riportato in letteratura, in cui si evidenzia nell'ultimo decennio un drastico calo di alcune specie nidificanti lungo i litorali del Comune di Venezia, quali fratino e fraticello; quest'ultima specie non è più stata osservata come ni-

15. Esemplare di fratino, *Charadrius alexandrinus*. La specie risulta in forte calo nel nostro Paese tanto da essere classificata come "In Pericolo" (EN) nella Lista Rossa nazionale. In laguna di Venezia si sta assistendo, nell'ultimo ventennio, ad un crollo delle coppie nidificanti nei litorali e ad un parallelo aumento di quelle insediate sulle barene lagunari (Foto di M. Basso).



dificante nei siti di indagine negli ultimi anni (Scarton *et al.*, 2001; Scarton *et al.*, 2007). Il declino di tali specie nei siti monitorati è probabilmente da imputarsi alla elevata pressione antropica cui sono soggetti i litorali, in particolar modo nel periodo estivo, oltre al degrado degli habitat cui esse sono legate per la nidificazione. Migliore la situazione negli altri tre siti (Punta Sabbioni, San Nicolò e Santa Maria del Mare) in cui è stato rilevato un andamento positivo dell'indice IPA a partire dal 2010 (figura 10). Questo risultato è di particolare importanza in quanto indica che tali aree soddisfano i bisogni delle specie, note per essere particolarmente esigenti nel periodo riproduttivo (presenza di habitat idonei alla nidificazione, sufficienti risorse trofiche e ripari dai predatori).

Gli andamenti delle abbondanze delle specie target hanno evidenziato una differenza tra il Bacan di Sant'Erasmus e l'area vasta lagunare relativamente al piovanello pancianera: mentre al Bacan la specie diminuisce, in laguna aperta si ha un forte incremento della popolazione (figura 11). Tale risultato appare in linea con quanto riportato in bibliografia circa il continuo aumento di piovanelli pancianera svernanti in laguna di Venezia: si è passati dai 10.800 individui registrati nel gennaio 1993 ai 37.587 individui rilevati nel 2015 (Basso e Bon, 2015). Tale valore risulta nettamente superiore alla soglia dell'1% della relativa popolazione nazionale (criterio dell'1% della Convenzione di Ramsar), che si attesta sui 65-79.000 individui svernanti (Birdlife International, 2015), rendendo la laguna di Venezia il più importante sito di sverno per questa specie a livello nazionale. Dunque, il declino di piovanello pancianera registrato al Bacan di Sant'Erasmus risulta compensato da un aumento dei contingenti di tale specie nel complesso lagunare, indicando una ridislocazione delle presenze all'interno della laguna. Risultato questo messo in evidenza dal massivo spostamento della specie dall'arenile del Bacan, che fino alla metà degli anni Duemila costituiva il principale posatoio della specie (Bon *et al.*, 2014), verso la lunata della bocca di porto di Lido (figura 12). Ciò indica uno sfruttamento degli habitat artificiali di neoformazione presenti in laguna da parte delle specie ornitiche. Tale utilizzo è confermato dagli studi di alcuni Autori che hanno dimostrato una progressiva e crescente tendenza degli uccelli acquatici ad utilizzare le barene artificiali lagunari per l'alimentazione, la nidificazione e la sosta (Scarton e Valle, 1999; Scarton, 2005; Scarton *et al.*, 2009; Scarton, 2014). Ne è un esempio il fratino che, negli ultimi venti anni, ha progressivamente abbandonato i litorali veneziani come siti di nidificazione per insediarsi sulle barene naturali prima e su quelle artificiali successivamente (Scarton *et al.*, 2013b; Scarton, 2017, in questo volume). I nostri risultati tuttavia hanno evidenziato una tendenza alla diminuzione di questa specie sia al Bacan che in area vasta. La specie infatti è in declino in tutto il territorio nazionale avendo registrato negli ultimi 10 anni un calo del 50% dei nidificanti (Peronace *et al.*, 2012). Risulta in calo anche come svernante, passando dai 59 individui registrati in laguna di Venezia nel gennaio 1993 ai



16. Esempi di piovanello pancianera, *Calidris alpina*, posati su delle paline in laguna sud. La popolazione svernante di questa specie risulta in forte incremento in laguna di Venezia essendo più che triplicata in un ventennio circa (1993-2015) (Foto di M. Basso).

48 dell'inverno 2015 (Basso e Bon, 2015).

Diversa la situazione per pивieressa che mostra un generale aumento nel corso del monitoraggio, evidenziando un andamento prettamente stagionale con picchi di presenza nel periodo di migrazione post-riproduttiva e dello svernamento. La laguna di Venezia rappresenta il terzo sito italiano per entità del nucleo svernante di questa specie, dopo la laguna di Grado-Marano e Panzano e il parco del Delta del Po (Zenatello *et al.*, 2014), con una media di 1.256 individui svernanti nel gennaio 2011-2015 (Basso e Bon, 2015).

Infine, i dati del monitoraggio sono risultati correlati significativamente con i dati IWC (figura 13) indicando la validità dei metodi di campionamento impiegati ai fini del progetto e l'attendibilità dei risultati emersi dalle analisi.

I risultati esposti in questo lavoro vanno oltre la contingenza dei lavori alle bocche di porto e assumono un valore generale per l'intero comprensorio lagunare, in particolare per la corretta gestione dei siti di interesse comunitario in esso presenti. L'attività di monitoraggio condotta a partire dal 2005 ha consentito di acquisire una ingente mole di dati, permettendo di passare da una fase di conoscenza qualitativa e descrittiva delle comunità ornitiche presenti nei siti in esame (check-list e fenologia delle specie) ad una conoscenza quantitativa (incidenza numerica e trend di presenza delle specie). Tali informazioni si configurano come uno strumento di supporto decisionale utile per una corretta programmazione e gestione territoriale, in equilibrio tra necessità di salvaguardia ambientale e realizzazione di grandi opere.

## Conclusioni

Nelle comunità ornitiche proprie dei diversi siti monitorati è intervenuto un processo evolutivo, come testimoniato dalle variazioni dei parametri ecologici descrittivi delle comunità stesse.

Il periodo di osservazione decennale ha permesso di inquadrare bene i mutamenti intervenuti, facendoli ritenere non tanto delle variazioni casuali momentanee, bensì delle effettive tendenze a cui le comunità sono andate incontro nel tempo. Tali andamenti tuttavia non sono univoci e questa è una delle evidenze principali a cui il Monitoraggio ha portato; le analisi degli andamenti degli indici ecologici effettuate hanno infatti dimostrato chiaramente come alcune delle comunità monitorate sono andate incontro a fenomeni depauperativi, altre sono state interessate da un tangibile arricchimento in termini di numero di specie e di numerosità degli individui ed altre ancora risultano tendenzialmente stabili.

La eterogeneità delle fenomenologie riscontrate ammette una lettura complessa e proiettata sui vari cambiamenti intervenuti in laguna nel periodo qui considerato. Innegabilmente i lavori alle bocche di porto hanno mutato lo stato dei luoghi, per la perdurante presenza dei cantieri, per la occupazione fisica di aree considerevoli, ovvero per la creazione ex novo di elementi, quali infrastrutture portuali o barene artificiali per riutilizzare i sedimenti movimentati dai lavori alle bocche di porto stesse. Ciò ha creato disponibilità di siti di nidificazione o di riposo prima inesistenti, ben presto e massivamente sfruttati dalle specie acquatiche (Anseriformi e Caradriformi); nell'area vasta lagunare, infatti, le comunità ornitiche sono risultate in una condizione di espansione numerica generalizzata, salvo limitate eccezioni (Scarton, 2017, in questo volume). Ciò depone a favore della capacità portante della laguna, in grado di ospitare frazioni significative delle popolazioni svernanti e nidificanti delle specie acquatiche del Palearctico occidentale, alcune delle quali di particolare importanza conservazionistica.

Al contrario, le comunità degli ambienti costieri prospicienti le bocche di porto, domi-

nate in questo caso da Passeriformi, hanno subito modelli evolutivi differenti, in taluni casi negativi, con cambiamenti significativi dei parametri descrittivi del loro stato popolazionistico.

In un quadro così complesso di cambiamenti intervenuti, appare difficile trovare un fattore causale ad essi comune. La laguna veneta è un'area densamente antropizzata, ricca di infrastrutture e siti produttivi; soprattutto è, dal punto di vista ecologico, un'area tipicamente aperta, soggetta ad una elevata dinamicità e complessità dei flussi energetici, con spesso imprevedibili andamenti dei parametri ambientali. Delle comunità ornitiche lagunari fanno parte contingenti migratori di grande portata che determinano cambiamenti nella biodiversità di tali comunità lungo tutto il corso dell'anno. Portata, intensità, composizione specifica dei flussi migratori sono elementi del tutto indipendenti dallo stato lagunare, che potrà o meno accoglierli ma non certo determinarli.

Inoltre, l'individuazione dei fattori responsabili delle tendenze negative riscontrate in alcune delle comunità ornitiche monitorate risulta piuttosto difficile, dal momento che non sono disponibili dei dati di controllo, puntuali e ripetuti, inerenti comunità ornitiche presenti in siti analoghi a quelli indagati, ma lontani dalle bocche di porto, da utilizzarsi per confronto.

Fatti incontrovertibili sono gli incrementi registrati nel numero di uccelli acquatici svernanti in laguna, fenomeno comune a molte aree del nostro Paese, ma anche segno della disponibilità di siti di sosta, alimentazione e nidificazione che la laguna può offrire agli uccelli stanziali e migratori. Alcune specie di Limicoli, che avevano abbandonato aree di riposo notturno dove ampiamente si congregavano all'inizio del monitoraggio, sono state successivamente ritrovate in nuove localizzazioni prima inesistenti e dunque sono semplicemente andate incontro a fenomeni di dislocazione ma non di depauperamento popolazionistico.

Le comunità dei siti costieri, localizzati in stretta vicinanza con le bocche di porto, hanno evidenziato, in taluni casi, uno stato di sofferenza; tuttavia, alle flessioni in essi registrate ha fatto seguito un diverso grado di recupero. Tali siti, essendo stati designati come aree SIC/ZPS, rivestono una importanza prioritaria e come tali risulta ineludibile la loro salvaguardia e conservazione.

Durante il monitoraggio non sono stati individuati fattori causali responsabili dei cambiamenti dello stato popolazionistico delle comunità di queste aree, se non quelli derivanti dalla contiguità con le aree di cantiere. Due sono i siti che sembrano aver subito i maggiori effetti sulle loro comunità ornitiche, nella fattispecie Alberoni e San Felice, nonostante le misure di mitigazione per la tutela faunistica e ambientale imposte ai cantieri. Tali mitigazioni hanno compreso sia l'adozione di apparati silenziatori capaci di abbassare i livelli acustici provenienti dalle macchine operatrici più rumorose, come quel-



17. Stormo di piovanelli pancianera, *Calidris alpina*, in volo sopra una barena artificiale in laguna sud e censitore al lavoro per stimarne il numero di individui (Foto di M. Basso).

le per la battitura dei pali o per la trivellazione, sia la sospensione degli interventi che producono un forte rumore e/o vibrazioni nelle ore immediatamente successive all'alba, nel periodo riproduttivo; il primo mattino, infatti, è il momento di massima attività canora ("dawn chorus"), in cui le attività comportamentali connesse con la conquista del territorio, con il corteggiamento e con la successiva nidificazione hanno la massima efficacia biologica.

Nonostante i suddetti accorgimenti, i risultati esposti nel recente Studio B.6.72 B/11 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2016) hanno indicato un effetto negativo della sorgente rumorosa proveniente dai cantieri, in particolare delle attività con emissioni superiori ai 70 dB(A), sulle comunità ornitiche dei siti costieri prospicienti i cantieri; infatti, come accennato nell'introduzione, i rumori derivanti da cantieri non solo sono in grado di determinare effetti negativi sulla composizione in specie e sulla abbondanza relativa delle comunità ornitiche ad essi esposte, ma possono anche causare un danno diretto all'apparato uditivo di alcune delle specie presenti (Rheindt, 2003; Dooling e Popper, 2007). Ancora, i rumori derivanti dalle attività antropiche possono essere causa di una sovrapproduzione di ormoni corticosteroidi, indice di uno stato di stress degli individui oltre che di un mascheramento del canto di specie canore (ordine Passeriformi) (Brumm e Slabbekoorn, 2005; Slabbekoorn e Ripmeester 2008). Queste due situazioni sono state verificate nelle comunità ornitiche monitorate rispettivamente all'interno dello Studio B.6.72 B/3 (MAG.ACQUE-CORILA, 2008; Albores-Barajas *et al.*, 2012) e dello Studio B.6.72 B/9 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2014; Baldaccini *et al.*, 2014), dimostrando come in esse abbiano operato sia fattori di stress che fattori di mascheramento della comunicazione intraspecifica.

Ciò porta a ritenere la rumorosità dei cantieri il fattore causale primo della contrazione del popolamento ornitico osservata nei siti costieri nei primi anni di monitoraggio. Non a caso le attività più rumorose e perturbative, quali la battitura pali, la vibro-infissione delle palancole o le opere di trivellazione, sono state condotte tra il 2008 e il 2011, periodo concomitante con i maggiori cambiamenti registrati nello stato di tali comunità. Tuttavia non si possono escludere altri fattori concausali, primo fra tutti la pesante pressione antropica riscontrabile nei siti monitorati specialmente nel periodo estivo, che possano aver contribuito in maniera sostanziale alla diminuzione della diversità e numerosità dei popolamenti ornitici osservata nei siti costieri nel corso degli anni.

Ciò detto, dai risultati emersi in questo lavoro che mostrano in taluni casi un recupero, in altri una stabilizzazione delle comunità costiere, appare ragionevole pensare che, una volta tornati i livelli sonori entro la soglia di accettabilità per l'avifauna (< 60 dB(A)) e una volta concluse le fasi esecutive dei cantieri, tali comunità possano recuperare gli assetti popolazionistici loro propri, a meno che nel frattempo non siano intervenuti altri fattori, non direttamente legati ai lavori, a determinare una evoluzione sfavorevole delle condizioni ambientali dei territori su cui insistono le comunità o ancora dei cambiamenti popolazionistici di larga scala a carico delle specie che le compongono.

## Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va ai rilevatori, Lucio Panzarin e Marco Basso, che hanno condotto i censimenti nel corso di questi dieci anni. Un ringraziamento particolare va a Mauro Bon per la proficua collaborazione scientifica che si è protratta durante tutto il monitoraggio. Si ringraziano infine quanti hanno collaborato sin dagli esordi del monitoraggio e che hanno reso possibile la realizzazione di questo lavoro, dai supervisori scientifici, a Cecilia Soldatini, Yuri Albores-Barajas e Simone Tenan, a Federico Riccato e Riccardo Fiorin di Laguna Project, che hanno condotto le imbarcazioni con cui sono stati effettuati i censimenti in laguna.

## Bibliografia

- Albores-Barajas Y.V., Baldaccini N.E., Möstl E., Soldatini C. (2012) Use of captive bred Passerines to monitor human disturbance using corticosterone metabolites. *International Journal of Biology* 4: 39-46.
- Baldaccini N.E., Campostrini P., Coccon F., Dabalà C., Fausti P., Santoni A., Soldatini C. (2014) Birds and noise: the MOSE yards case (Lagoon of Venice, Italy). Fifth International Symposium Monitoring of mediterranean Coastal Areas. Problems and Measurements Techniques. Livorno, June 17-19: pp. 807-816.
- Basso M. & Bon M. (2015) Censimento degli uccelli acquatici svernanti in provincia di Venezia, Gennaio 2015. Provincia di Venezia-Servizio Caccia e Pesca. Relazione non pubblicata.
- Baudains T. P. & Lloyd P. (2007) Habituation and habitat changes can moderate the impacts of human disturbance on shorebird breeding performance. *Animal Conservation* 10: 400-407.
- Bibby C., Jones M., Marsden S. (1998) Expedition Field Techniques: Bird Surveys. Royal Geographical Society, London.
- Bibby C. J., Burgess N.D., Hill, D.A., Mustoe, S.H. (2000) Bird Census Techniques. Academic Press, London.
- BirdLife International (2015) European red list of birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Bon M. & Scarton F. (a cura di) (2012) Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012). Provincia di Venezia-Assessorato alla caccia.
- Bon M. & Stival E. (a cura di) (2013) Uccelli di laguna e di città. L'atlante ornitologico nel comune di Venezia 2006-2011. Marsilio Ed., Venezia.
- Bon M., Cherubini G., Semenzato M., Stival E. (a cura di) (2000) Atlante degli uccelli nidificanti in provincia di Venezia, Provincia di Venezia. Servizi Grafici Editoriali, Padova.
- Bon M., Scarton F., Stival E., Sattin L., 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.
- Brumm H. & Slabbekoorn H. (2005) Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior* 35: 151-209.
- Brunner A., Celada C., Rossi P. and Gustin M. (2002) Sviluppo di un sistema nazionale delle ZPS sulla base delle rete delle IBA (Important Bird Areas). LIPU-BirdLife Italia-Ministero Ambiente, Servizio Conservazione Natura, Roma. .
- Clarke K. & R. Gorley (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
- Devictor V., Julliard R., Jiguet F. (2008) Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos* 117: 507-514.
- Dooling R.J. & Popper A.N. (2007) The effects of highway noise on birds. The California Department of Transportation Division of Environmental Analysis. Sacramento, CA.
- Gariboldi A., Rizzi V., Casale F. (2000) Aree importanti per l'avifauna in Italia. LIPU, Parma.
- Gill J.A. (2007) Approaches to measuring the effects of human disturbance on birds. *Ibis* 149: 9-14.

- Hutto R.L., Pletschet S.M., Hendricks P. (1986) A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk* 103: 593-602.
- IUCN (2012) IUCN red list. Categories and criteria: Version 3.1. Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2006-13) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Avifauna. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Peronace V., Cecere J.G., Gustin M., Rondinini C. (2012) Lista Rossa 2011 degli uccelli nidificanti in Italia. *Avocetta* 36: 11-58.
- Pielou, E.C. (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13: 131-144.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2016) Studi B.6.72 B/9-B/11. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Avifauna. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>
- Rees E.C., Bruce J.H., White G.T. (2005) Factors affecting the behavioural responses of whooper swans (*Cygnus c. cygnus*) to various human activities. *Biological Conservation* 12: 369-382.
- Rheindt F.E. (2003) The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution?. *Journal fur Ornithologie* 14: 295-306.
- Scarton F. (2005) Breeding birds and vegetation monitoring in recreated salt marshes of the Venice lagoon. In: Fletcher C. A., Spencer T., (eds). *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon*. State of Knowledge. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 573-579.
- Scarton F. (2010) Long term decline of a Common Tern (*Sterna hirundo*) population nesting in salt marshes in Venice lagoon, Italy. *Wetlands* 30: 1153-1159.
- Scarton F. (2014) Occurrence and habitat use of five waders in the Lagoon of Venice (Italy) [in Italian]. *Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia* 65: 163-179.
- Scarton F. (2017) Le specie di interesse conservazionistico nidificanti nella laguna aperta. In "Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia", P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA, Venezia.
- Scarton F. & Valle R. (1999) The use of dredge islands by birds in northern Adriatic lagoons. *Avocetta* 23: 75-75.
- Scarton F., Scattolin M., Valle R. (2001) Interventi di pulizia degli arenili e conservazione delle popolazioni nidificanti di Fraticello *Charadrius alexandrinus* Linnaeus, 1758 e fraticello *Sterna albifrons* Pallas, 1764: un esempio nei litorali veneziani. *Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia Suppl.* 51: 199-201.
- Scarton F., Baldin M., Scattolin M. (2007) Fraticello, *Charadrius alexandrinus* Linnaeus, 1758, fraticello, *Sterna albifrons* Pallas, 1794 e gruccione, *Merops apiaster* Linnaeus, 1758 nidificanti lungo i litorali del Comune di Venezia: aggiornamento al 2005. *Lavori Società Veneziana Scienze Naturali* 32: 77-79.

- Scarton F., Baldin M., Valle R. (2009) L'avifauna acquatica nidificante nelle barene artificiali della laguna di Venezia. *Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia* 60: 127-141.
- Scarton F., Cecconi G., Cerasuolo C., Valle R. (2013a) The importance of dredge islands for breeding waterbirds. A three-year study in the Venice Lagoon (Italy). *Ecological Engineering* 54: 39-48.
- Scarton F., Cecconi G., Valle R. (2013b) Use of dredge islands for a declining European shorebird, The Kentish Plover *Charadrius alexandrinus*. *Wetlands Ecology and Management* 21: 15-27.
- Shannon C.E. & Weaver W. (1963) *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Champaign IL .
- Slabbekoorn H. & Ripmeester E.A. (2008) Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology* 17: 72-83.
- Stival E. (1996) *Atlante degli uccelli svernanti in provincia di Venezia*. Grafiche Italprint, Treviso.
- Walker B.G., Boersma P.D., Wingfield J.C. (2006) Habituation of adult magellanic penguins to human visitation as expressed through behavior and corticosterone secretion. *Conservation Biology* 20: 146-154.
- Zenatello M., Baccetti N., Borghesi F. (2014) Risultati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti in Italia. Distribuzione, stima e trend delle popolazioni nel 2001-2010. ISPRA, Serie Rapporti, 206/2014.

## Summary

With over 370.000 birds recorded each year in the wintering period and the largest number of species of European Community interest, the lagoon of Venice has an exceptional value to bird conservation. Considering the environmental importance of the areas interested by the MOSE construction yards, in order to preserve the integrity of the habitats a Monitoring Program was started in 2005 with the aim to check the possible disturbances of the works on birds. Here, we present results of surveys conducted in the period 2005-2015 with the aim to describe the temporal evolution of bird communities within the study sites. At the beginning, such monitoring activities were focused only on the SCI/SPA areas of Punta Sabbioni, Alberoni, Ca' Roman and Bacan Sant'Erasmus. Afterwards, starting from the fourth year, surveys were extended to the coastal sites of San Nicolò, Santa Maria del Mare, San Felice and to the entire lagoon open to tidal expansion. Our results show that birds have been influenced by the MOSE construction yards, revealing substantial changes in the ecological parameters descriptive of the status of bird communities within the study areas. Such changes were positive in some cases while negative in some others. The exploitation of the study sites by a considerable number of priority and threatened species has been also highlighted. Finally, this study pointed out a general positive situation in the whole lagoon, where a significant increase of biodiversity and abundance of individuals has been found. This suggests a high carrying capacity of the lagoon of Venice. The Monitoring Plan represents a real investigation on the effects of the MOSE yards on bird communities within the study area. This allowed us to adopt all the appropriate actions to protect the monitored sites and preserve habitats and species present in them. More importantly, the Monitoring allowed us to move from a qualitative and descriptive knowledge on birds, both migratory and resident, which exploit the lagoon to a quantitative one. The latter much more useful for management purposes of the territory. Information presented in this paper can be used as a decision support tool for a proper planning and management of the lagoon, in equilibrium between the necessity of environmental protection and the development of man-made infrastructures.



# **Le specie di interesse conservazionistico nidificanti nella laguna aperta: anni 2013-2015**

## ***Bird species of conservation concern breeding in saltmarshes and dredge islands of the lagoon of Venice: years 2013-2015***

Francesco Scarton

### **Premessa**

La laguna di Venezia è ampiamente riconosciuta a livello internazionale per l'eccezionale valore per la conservazione dell'avifauna. Con una media di 370.000 uccelli svernanti nel gennaio 2011-2015 (Basso e Bon, 2015), essa risulta infatti tra i siti più rilevanti dal punto di vista ornitologico lungo le coste del Mediterraneo. Non da meno è la situazione delle specie nidificanti, con popolazioni di dimensioni significative che utilizzano la laguna nel periodo riproduttivo, durante il quale le loro scelte di habitat si fanno più esigenti e vincolanti. La laguna di Venezia costituisce la più importante zona umida italiana ed è ampiamente rappresentata all'interno della rete ecologica europea "Natura 2000", istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli", con una Zona di Protezione Speciale estesa all'intero bacino lagunare (ZPS IT3250046-Laguna di Venezia), due Siti di Importanza Comunitaria (SIC IT3250030-Laguna medio-inferiore di Venezia; SIC IT3250031-Laguna superiore di Venezia) e due zone SIC/ZPS situate attorno alle bocche di porto (IT3250003-Penisola del Cavallino: biotopi litoranei e IT3250023-Lido di Venezia: biotopi litoranei).

Tra le specie acquatiche nidificanti numerose rivestono una particolare importanza in quanto presentano una distribuzione ristretta, limitata alla zone umide, oppure hanno popolazioni numericamente esigue, in precario stato di conservazione. A causa di ciò, tali specie risultano incluse in Direttive comunitarie, Convenzioni internazionali o in Liste Rosse sia nazionali che internazionali. La laguna assume dunque una speciale rilevanza per la conservazione di specie, altrove rare se non addirittura rarissime, rappresentando su scala nazionale la più estesa Important Bird Area (IBA) tra le aree umide, con il maggior numero di specie di interesse comunitario da preservare (Gariboldi *et al.*, 2000; Brunner *et al.*, 2002).

Le indagini ornitologiche condotte nel periodo 2013-2015 nella laguna aperta e di seguito riassunte rappresentano la continuazione di un monitoraggio dell'avifauna acquatica iniziato, almeno per alcune specie, già nei primi anni Ottanta del secolo scorso, e forniscono dati sullo stato ed il trend delle popolazioni di acquatici nidificanti, da utilizzarsi come base di confronto per i successivi anni, quando il MOSE sarà operativo. Tra il 1983 e il 1984 venne condotto il primo censimento esaustivo di tutte le specie di Laridi e Sternidi presenti nella laguna di Venezia, coordinato a livello locale dal Museo Civico di Storia Naturale di Venezia. I risultati vennero pubblicati assieme a quelli delle altre

zone umide italiane (Fasola, 1986) e rappresentano a tutt'oggi il primo e finora unico censimento a livello nazionale di tutte le colonie di Laridi e Sternidi.

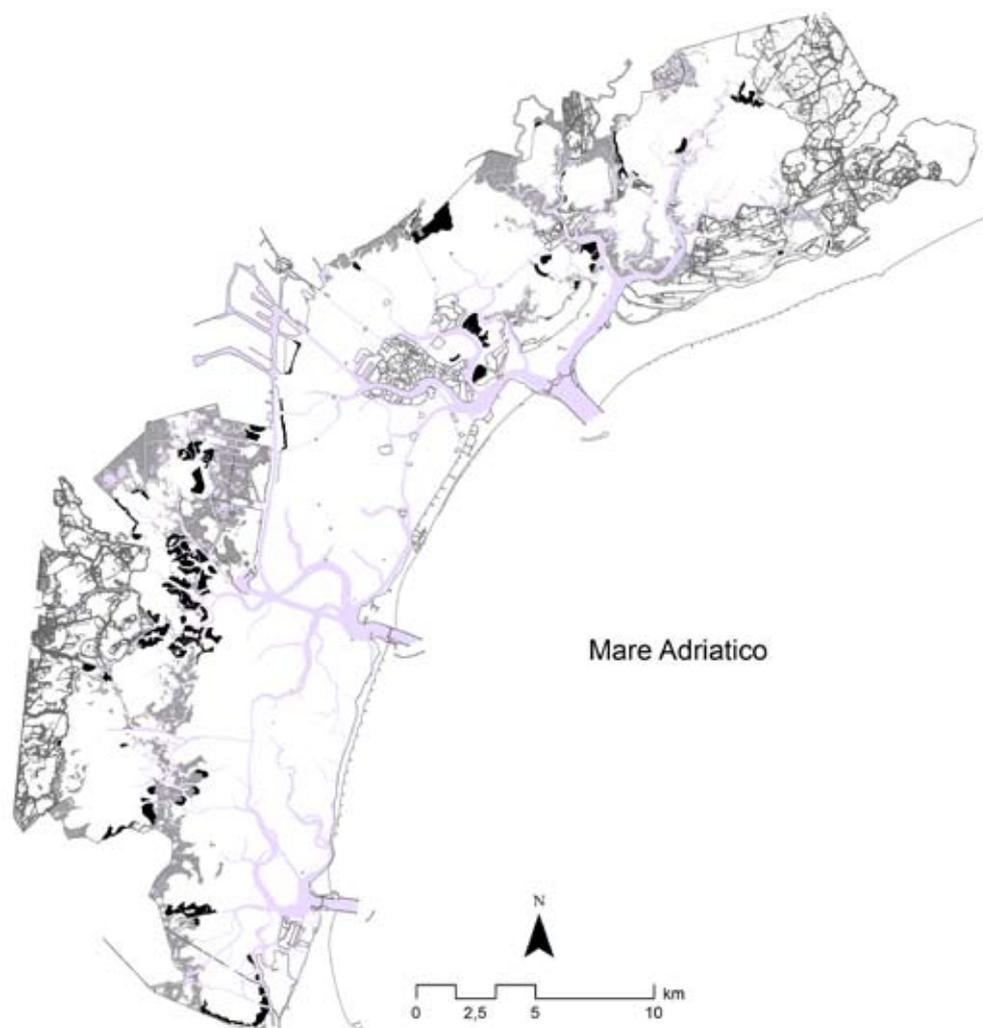
Dopo il 1984 seguirono alcuni anni di pressoché totale assenza di indagini nella laguna di Venezia (ma si veda Manzi *et al.*, 1992 per cavaliere d'Italia *Himantopus himantopus* e avocetta *Recurvirostra avocetta*) fino al 1989 quando, per conto della Regione Veneto, vennero ripresi i censimenti delle colonie di Laridi e Sternidi. Negli anni successivi questi vengono realizzati per conto di Enti Pubblici (Magistrato alle Acque di Venezia, ora Provveditorato alle Opere Pubbliche del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia) o autonomamente da privati (gli ornitologi S. Borella, F. Scarton, R. Valle e la Società SELC soc. coop.) Sono da citare anche gli esaustivi censimenti del Gabbiano reale *Larus michahellis* condotti sull'intero bacino lagunare nel 2003 da Soldatini *et al.* (2009).

I risultati relativi ai censimenti condotti fino al 2012 nella laguna di Venezia sono stati pubblicati su riviste scientifiche a carattere locale o nazionale (Scarton e Valle, 1997; 1998; Scarton e Valle, 2015), internazionale (Scarton, 2008; 2010) e in volumi divulgativi (Scarton *et al.*, 2010). Pur con alcune limitazioni i censimenti delle colonie nidificanti nella laguna aperta di Venezia costituiscono uno dei monitoraggi faunistici più lunghi tra quelli condotti in Italia; tra questi si citano i censimenti degli Ardeidi in Lombardia, attivi dal 1972 (Fasola *et al.*, 2010), dei Laridi e degli Sternidi nidificanti nelle Valli di Comacchio dal 1977 al 2001 (Brichetti e Foschi, 2006) o quello degli uccelli svernanti, condotti ininterrottamente in laguna di Venezia e nelle altre umide italiane sin dai primi anni Novanta del secolo scorso (Bon e Scarton, 2012).

Si deve aggiungere che le valli da pesca e le casse di colmata sono sempre state escluse dai censimenti effettuati dal 1989. L'entità complessiva delle popolazioni nidificanti nell'intera laguna di Venezia, quindi non solamente nel bacino aperto all'espansione di marea, può pertanto essere solo stimata. I litorali sono invece sempre stati inclusi, ed i risultati indicano come tra la foce del Piave e quella del Brenta si contano al massimo qualche decina di coppie del solo fratricello. Più significativa è la presenza di Laridi e Sternidi nidificanti nelle valli da pesca, mai interessate da censimenti esaustivi e simultanei; tale lacuna è certamente rilevante, come verrà discusso più avanti. Le casse di colmata B e D/E, nonostante l'elevato valore ornitologico solo raramente sono state oggetto di censimento (Scarton *et al.*, 2000); l'unica specie tra i Laridi o gli Sternidi che vi abbia mai nidificato è il gabbiano reale, che fino ad anni recenti si riproduceva con una popolazione di rilevanti dimensioni, stimata in alcune migliaia di coppie (Scarton *et al.*, 2000; Soldatini *et al.*, 2009).

Risultano invece meno estesi nel tempo i dati disponibili relativamente alle barene artificiali, realizzate a partire dalla fine degli anni Ottanta del secolo scorso (Scarton *et al.*, 2013a). Soltanto dieci anni più tardi sono stati effettuati per conto di Magistrato alle Acque di Venezia-Conorzio Venezia Nuova i primi censimenti parziali (Scarton *et al.*, 1995). Successivamente i dati sono stati raccolti in maniera opportunistica (Scarton, *oss. pers.*) e un monitoraggio pluriennale di tutte le barene artificiali presenti nel bacino lagunare è iniziato nel 2005 ed è proseguito fino al 2011, con la sola eccezione dell'anno 2008 e parzialmente del 2012. Censimenti esaustivi di tutte le specie nidificanti sono ripresi nel 2013, fino al 2015. I risultati sono stati pubblicati su riviste scientifiche sia a carattere locale (Scarton *et al.*, 2009) che internazionale (Scarton, 2005; Scarton *et al.*, 20013a e 2013b; Scarton and Montanari, 2015).

Lo scopo di questo lavoro è quello di presentare i dati acquisiti nell'ambito del monitoraggio degli effetti dei cantieri alle bocche di porto nel 2013-2015 sugli uccelli acquatici nidificanti in laguna aperta, inserendoli in un contesto ventennale di conoscenze progressive.



1. Laguna di Venezia, con evidenziate le barene naturali (in grigio scuro) e quelle artificiali (in nero).

## Area di studio

I censimenti sono stati effettuati nell'intero bacino lagunare aperto all'espansione di marea. Sulle barene naturali, circa 3600 ha (Mion *et al.*, 2010), possono potenzialmente insediarsi le colonie di Laridi e Sternidi. In realtà vi sono ampie aree barenali che non hanno mai ospitato colonie negli ultimi vent'anni; fino a pochi anni orsono la maggior parte delle colonie, in alcuni anni la totalità, si localizzava infatti nel settore centro meridionale del bacino lagunare (figura 1). Negli anni successivi colonie di buone dimensioni si sono invece insediate anche nel settore settentrionale. Le colonie di Laridi e Sternidi occupano sulle barene naturali quasi esclusivamente i cumuli di vegetazione spiaggiata, legname e più raramente di conchiglie che si rinvengono ai margini delle barene o al loro interno (figura 2). La presenza di questi ammassi di materiale spiaggiato è pertanto di fondamentale importanza e condiziona pesantemente l'insediamento delle colonie di Laridi e Sternidi.

Le barene artificiali sono distribuite in tutto il bacino lagunare, per quanto siano più numerose in quello centro meridionale (figura 1). Nel 2015 erano presenti circa 130 barene artificiali con un'estensione complessiva di 1320 ettari ed una media di circa 10 ettari. Vedute aeree a bassa quota sono riportate nelle figure successive; mentre le barene artificiali da poco realizzate sono in massima parte prive di copertura vegetale, quelle di



2. Colonia di beccapesci su cumuli di conchiglie spiaggiate; sullo sfondo l'isola di Murano.

più vecchia realizzazione presentano una buona copertura vegetale e una discreta variabilità morfologica (figure 3 e 4).

Meno importante ma comunque regolare è l'utilizzo di altri siti prettamente artificiali, quali botti da caccia, ruderi di casoni lagunari, motte ed isolotti, isole artificiali di maggiori dimensioni. Generalmente questi siti ospitano colonie molto piccole, con meno di una decina di coppie, ma nell'Isola delle Tresse si sono recentemente insediate colonie più grandi.

## Metodi di indagine

Per la localizzazione delle colonie di Laridi e Sternidi sulle barene naturali sono stati applicati i metodi adottati ininterrottamente dal 1989, che seguono quanto indicato dalla letteratura specialistica (Fasola, 1986; Steinkamp *et al.*, 2003; Gagliardi e Tosi, 2012). Tutta la laguna aperta è stata percorsa alla ricerca delle colonie delle specie considerate: gabbiano comune *Chroicocephalus ridibundus*, gabbiano corallino *Larus melanocephalus*, fraticello *Sternula albifrons*, beccapesci *Sterna sandvicensis*, sterna comune *Sterna hirundo*. Il gabbiano reale è molto comune nei siti artificiali ma finora non ha mai nidificato nelle barene naturali. La presenza delle colonie è generalmente indicata dall'andirivieni di adulti da e verso il sito di nidificazione, o dal volo continuo di adulti al disopra del sito stesso. Questo peculiare comportamento facilita l'individuazione a distanza delle colonie medio-grandi; le colonie più piccole possono invece facilmente sfuggire all'osservazione a distanza ed è pertanto necessario effettuare visite ripetute soprattutto nelle aree lagunari più interne.

Per "sito di nidificazione" si intende sempre il luogo (barena naturale, barena artificiale, spiaggia, botte da caccia, ecc.) dove si è osservata la nidificazione di almeno due coppie; come "colonia" si intende un gruppo di almeno due coppie che nidifichino nello stesso sito. Le nidificazioni singole sono molto rare; non vengono considerate come una "colonia" e non sono state conteggiate nei totali di seguito riportati. Una volta identificata la possibile presenza di una colonia, si è proceduto a sbarcare nel sito e ad effettuare un veloce conteggio dei nidi di ciascuna specie contenenti uova e/o pulcini, definiti nella letteratura scientifica con il nome di "nidi attivi". Le visite si sono sempre protratte per

non più di 30 minuti, per ridurre il disturbo alle coppie nidificanti e con la presenza al massimo di due operatori in contemporanea, oltre al conducente dell'imbarcazione. Le visite sono state effettuate sempre tra le ore 8 e le 14, evitando periodi di maltempo o con marea superiore a +0.60 m s.l.m., livello che comporta l'inizio della sommersione delle barene naturali e una conseguente notevole agitazione negli animali.

Ogni colonia è stata visitata almeno due volte nel corso del periodo maggio-luglio degli anni 2013-2015. Il numero di coppie nidificanti nella colonia è stato considerato pari al numero minimo censito di nidi attivi in ciascuna visita. Di ognuna delle due visite si è considerato, per ottenere la stima della popolazione nidificante in laguna aperta, il valore maggiore tra i due. A supporto delle attività condotte da imbarcazione e soprattutto al fine di individuare la presenza di colonie medio-grandi eventualmente sfuggite all'osservazione, è stato effettuato nel mese di giugno di ciascun anno un rilievo aereo della laguna aperta. Il volo è stato effettuato con velivolo Partenavia P66/C, ad ala alta. La quota di volo è stata di circa 1000 piedi; in base alle norme di sicurezza non è consentito scendere a quote più basse. In aereo hanno preso posto il pilota ed uno o due rilevatori, muniti di binocolo e macchine fotografiche.

Nelle barene artificiali si è proceduto invece al censimento delle specie di elevato valore conservazionistico, ossia le specie acquatiche nidificanti che risultano: 1) incluse nell'Allegato 1 della Direttiva Uccelli 2009/147/CE e/o 2) aventi qualifica di "specie minacciata" (ossia con status di CR-Critically Endangered, EN-Endangered o VU-Vulnerable) nella recente Lista Rossa 2011 degli Uccelli Nidificanti Italiani, curata da Peronace *et al.* (2012). Le specie che soddisfano i criteri descritti sono volpoca *Tadorna tadorna*, cavaliere-

3. Gruppo di barene artificiali in corso di ultimazione (Volo SELC, foto I. Cavalli).



4. Barene artificiali realizzate da oltre venti anni (Volo SELC, foto I. Cavalli).



re d'Italia, avocetta e fratino *Charadrius alexandrinus* oltre a gabbiano comune, gabbiano corallino, fraticello, beccapesci e sterna comune. In base alla Lista Rossa degli Uccelli Italiani, quattro specie sono considerate "minacciate", di cui due "in pericolo-EN" e due "vulnerabili-VU". Tra le specie monitorate fratino e fraticello sono quelle che in Italia hanno lo status di conservazione più critico, seguite da volpoca e beccapesci.

Ciascuna barena artificiale è stata visitata due volte nel periodo maggio-luglio. Il metodo per i censimenti, in accordo con quanto eseguito negli ultimi anni (Scarton *et al.*, 2013a e 2013b), è stato il seguente:

- controllo con binocolo 10-12 x 50 o cannocchiale 30-60 x 70 da una distanza di 200-300 metri, usualmente da imbarcazione o in alcuni limitati casi da terra, al fine di una preliminare verifica delle specie presenti, quindi prima che queste reagiscano alla presenza dell'osservatore;
- una volta scesi, i rilevatori hanno percorso l'intera estensione delle barene artificiali, stimando il numero di coppie o di singoli adulti presenti e contando il numero di nidi attivi rinvenuti.

Le visite ai siti di nidificazione hanno avuto sempre durata inferiore ai 45 minuti e sono state effettuate tra le 8 e le 14, in condizioni meteo buone e in assenza di alte maree sostenute. Il grado di certezza circa la presunta nidificazione delle specie presenti è diverso a seconda del tipo di osservazioni effettuato. Di seguito si specificano le tre categorie che sono state utilizzate, con livelli di certezza crescente, in accordo con i Progetti Atlante recentemente condotti a livello locale e nazionale (ad es. Bon *et al.*, 2014 per la provincia di Venezia):

- nidificazione possibile: specie osservata durante la stagione riproduttiva in ambiente adatto e al di fuori dei periodi migratori;
- nidificazione probabile: coppia osservata in ambiente e periodo riproduttivo favorevoli; territorio permanente, presunto dal rilevamento di comportamento territoriale ripetuto più volte nella stessa stagione; adulti in corteggiamento; parata, esibizione o visita a un possibile sito di nidificazione; comportamento irrequieto o richiami di allarme da parte di adulti;
- nidificazione certa: parata di distrazione o simulazione di ferita; nido usato o gusci d'uovo vuoti depositi durante il periodo dell'indagine; giovani non volanti o involati recentemente o pulcini con piumino; adulti visti in incubazione; adulti con imbeccata, nido con uova, nidi con giovani visti o sentiti.

In questo capitolo si sono considerate "nidificanti" in un sito solo le specie per le quali sono stati raccolti indizi di nidificazione "probabile" o "certa". Il numero di coppie presenti in ciascun sito è stato quindi stimato sulla base del numero di nidi con uova e pulcini o del numero di adulti che attuavano i comportamenti sopra descritti. Si tratta quindi di un risultato che tiene conto sia di dati oggettivi (il numero di nidi attivi) che di un giudizio esperto (il numero di coppie desunto dagli adulti allarmanti) e come tale deve ritenersi più correttamente una stima, più che un vero e proprio censimento. Come per le barene naturali, si è considerato il valore maggiore tra i due minimi.

Nei censimenti delle specie acquatiche coloniali sono insite alcune inevitabili imprecisioni, che possono dipendere sostanzialmente da:

- errori nel conteggio dei nidi; mancata osservazione di nidi, nascosti tra la vegetazione; differenze intrinseche dovute ad operatori diversi. Queste limitazioni sono poco rilevanti nel monitoraggio lagunare, in quanto si tratta quasi sempre di colonie medio-piccole;
- diverso calendario di nidificazione tra specie che nidificano in uno stesso sito. La sfa-

satura tra le diverse specie spiega la necessità di effettuare almeno due visite nel corso della stagione riproduttiva, per stimare il numero “vero” di coppie che si sono riprodotte in un determinato sito;

- scomparsa di una colonia, generalmente a causa di forte maltempo, e successivo reinse-diamento delle coppie o parte di esse nello stesso sito o in altri siti, in precedenza non occupati. Questo può portare a doppi conteggi delle stesse coppie. Per questo motivo si è preferito effettuare le “prime visite” tra i primi di maggio e inizio giugno e tutte le “secondo visite” tra la metà di giugno e fine luglio; intervalli di censimento più ristretti, benché auspicabili, sono in pratica improponibili data l’ampia superficie lagunare e l’elevato numero di siti da monitorare.

Per la valutazione dei trend di popolazione sul medio e lungo periodo si è utilizzato il software TRIM (Trends and Indices for Monitoring data-versione 3.53: Pannekoek and Van Strien, 2005), appositamente ideato per l’analisi di dati provenienti da monitoraggi ornitologici e largamente utilizzato nella recente letteratura scientifica (ad es. Longoni *et al.*, 2014). Il software classifica i trend in sei possibili categorie in base alla presenza, o meno, di variazioni annue statisticamente significative e superiori al 5%. Le categorie codificate nell’output del software sono: incremento marcato/incremento moderato/stabilità/diminuzione moderata/diminuzione marcata/andamento incerto. Il software restituisce anche un valore di probabilità. In base a quanto suggerito da Voříšek *et al.* (2008), poiché si sono analizzati censimenti completi nel tempo e nello spazio, è stata scelta l’opzione “Time Effects Model”, con il comando “overdispersion” impostato su “off” e quello “serial correlation” su “on”.

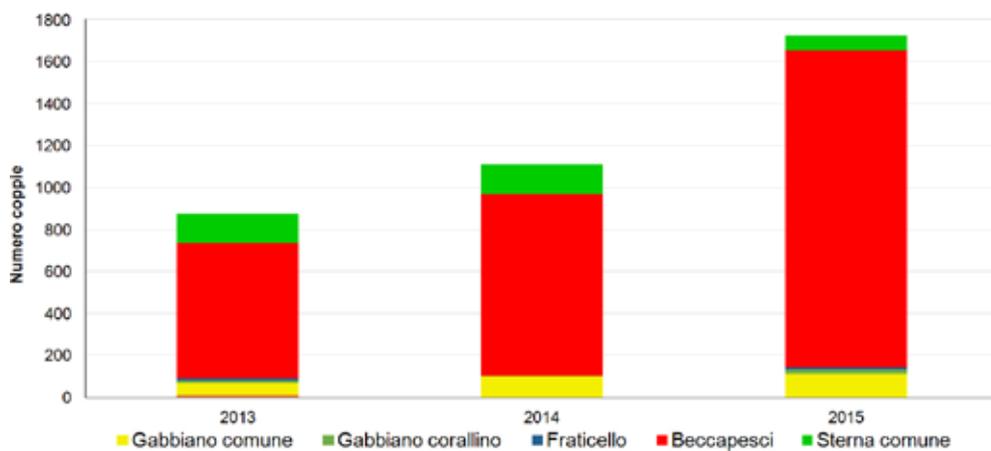
## Risultati

La disponibilità di dati pienamente confrontabili per un triennio consente di valutare in modo esauriente le dimensioni delle popolazioni nidificanti, che nel caso degli uccelli acquatici possono notoriamente evidenziare forti fluttuazioni da un anno all’altro. Di seguito si riassumono i risultati salienti per il triennio 2013-2015, articolati prima secondo le tre tipologie di sito di nidificazione e successivamente riassunti per singola specie. Analisi sul lungo (1989-2015) o medio (2006-2015) periodo vengono espone nelle pagine successive.

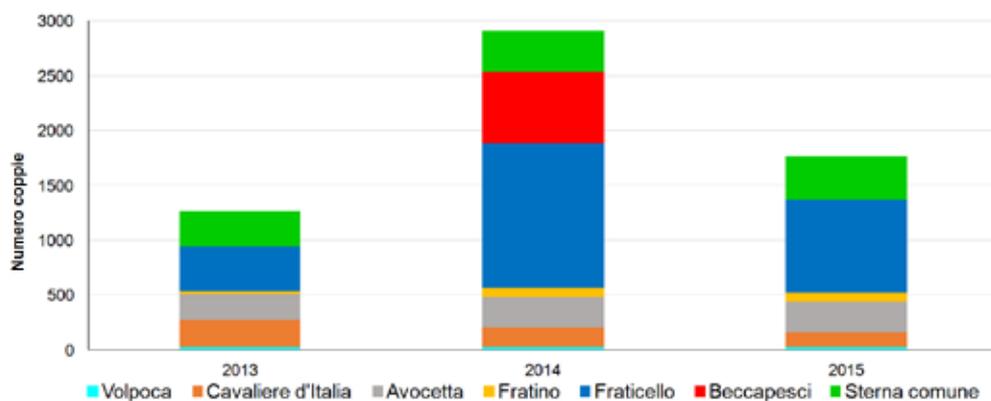
### **Le colonie sulle barene naturali**

Ogni anno sono state censite da quattro a cinque colonie, costituite da un minimo di 10 coppie e un massimo di 1549 coppie. La media nel triennio è risultata pari a 264 coppie (deviazione standard =  $\pm 457.5$ ) mentre la mediana, molto più bassa, si è asse-stata su 42 coppie a causa della presenza di 3 sole colonie di grandi dimensioni mentre le altre risultavano composte da un numero di coppie variabile tra 10 e 305. Le colo-nie erano ubicate quasi esclusivamente nel bacino lagunare centro-meridionale; l’unica eccezione è costituita da una piccola colonia ubicata nei pressi di Murano. In ciascuno dei tre anni la colonia di maggiori dimensioni si trovava sempre nella stessa barena, che viene occupata pressoché ininterrottamente da oltre venti anni.

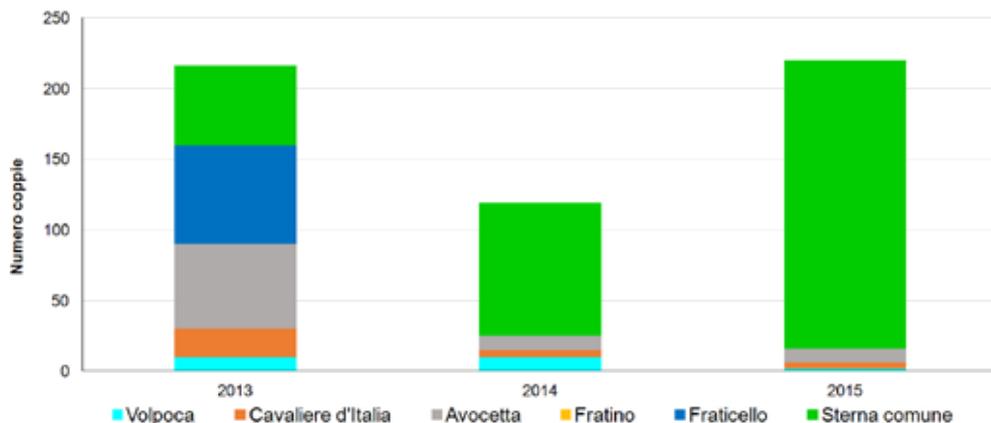
L’andamento osservato nel triennio evidenzia un incremento delle presenze, con valo-ri raddoppiati dal 2013 al 2015; l’incremento si deve soprattutto al beccapesci, che ha più che raddoppiato le proprie presenze (figura 5). Con circa 1000 coppie mediamente presenti nel triennio, questa specie è di gran lunga la più abbondante tra quelle che si riproducono sulle barene naturali. Per altre quattro specie, i valori medi risultano pari



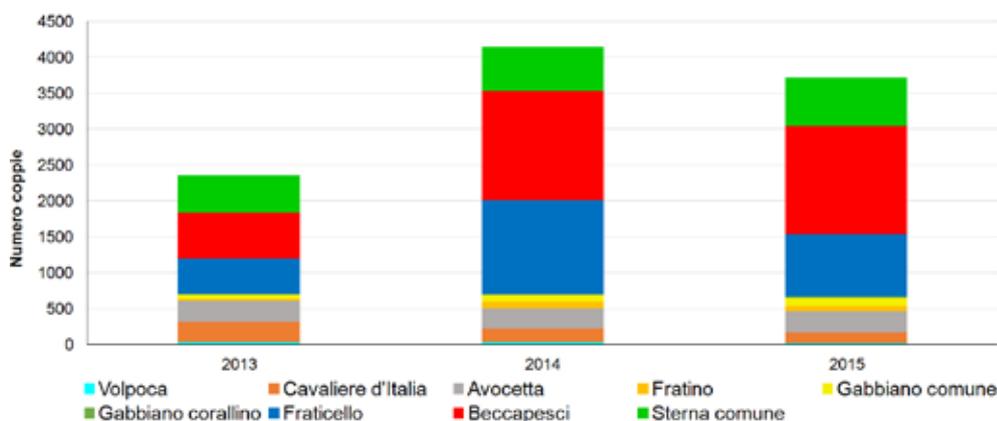
5. Coppie di Laridi e Sternidi nidificanti nelle barene naturali della laguna aperta.



6. Specie ad elevato valore conservazionistico nidificanti nelle barene artificiali della laguna aperta. I dati sono riportati come numero di coppie.



7. Numero di coppie nidificanti nei siti artificiali della laguna aperta.



8. Numero di coppie nidificanti censite nel triennio in tutti i siti di monitoraggio.

a 117 coppie per la sterna comune, a 90 coppie per il gabbiano comune e a poco più di 9 coppie per il fraticello e il gabbiano corallino. Non sono state accertate nidificazioni di altre specie, sebbene vi siano state sporadiche osservazioni di una rarissima Sterna di Rueppell *Sterna bengalensis* nei pressi di una colonia della laguna sud.

### **Le specie nidificanti sui siti di origine artificiale**

Durante i tre anni di indagine circa 50 barene artificiali, delle 120-130 presenti, sono state utilizzate per la riproduzione da una o più delle specie considerate. Il numero massimo di specie presenti in una barena artificiale è stato pari a 5; delle 9 specie target soltanto due (gabbiano comune e gabbiano corallino) non hanno mai nidificato in una barena artificiale. La figura 6 presenta il totale delle coppie nidificanti nel triennio in esame: si può osservare il picco raggiunto nel 2014 e la preponderanza del fraticello rispetto alle altre specie. Il beccapesci ha nidificato in massa solo nel 2014, mentre le rimanenti specie hanno utilizzato le barene artificiali in tutto il triennio. Mediamente, ogni anno hanno nidificato 1982 ( $\pm$  845) coppie.

Come specificato nel paragrafo “Area di studio” nell’eterogenea categoria definita “siti di origine artificiale” rientrano tutte le altre tipologie di siti di nidificazione accumulati dall’aver origine prettamente artificiale. Sei specie hanno utilizzato questi siti in misura più o meno regolare. Tra tutti spicca l’Isola delle Tresse, ubicata nella II Zona Industriale di Marghera e che, pur essendo tuttora utilizzata per lo stoccaggio controllato di fanghi provenienti dal dragaggio di canali della città di Venezia, è stata scelta come sito di nidificazione da diverse specie. La figura 7 evidenzia la preponderanza numerica, nei siti artificiali, della sterna comune, seguita dal fraticello; la media annuale è, nel complesso, di 185 ( $\pm$  57.2) coppie.

### **Andamento nel triennio di monitoraggio**

In media sono state censite 3.404 coppie ( $\pm$  933.2), con un netto incremento tra il 2013 e il 2014 seguito da un assestamento nell’anno successivo (figura 8). La variazione si deve al nuovo insediamento nel 2014 di quasi 900 coppie di beccapesci e di altrettante di fraticello; quest’ultima specie è peraltro diminuita l’anno successivo, in accordo con le tipiche forti fluttuazioni interannuali che le sono proprie.

Da osservare che l’insieme delle rimanenti sette specie è risultato estremamente stabile, essendo compreso tra un minimo di 1.222 coppie (anno 2013) e un massimo di 1.342 (anno 2015). Questa stabilità non si riferisce a tutte le specie: volpoca e cavaliere d’Italia sono risultate infatti in calo mentre gabbiano comune e sterna comune in discreto aumento.

### **Andamenti e distribuzione per ciascuna specie**

Dopo aver analizzato i dati secondo le tre tipologie di ambienti di nidificazione, vengono valutate le informazioni raccolte per ognuna delle nove specie oggetto di monitoraggio. Ad integrazione dei dati ottenuti nel triennio sono state aggiunte altre informazioni o stime relative a siti non monitorati, quali le barene naturali che non presentavano colonie di Laridi o Sternidi e le casse di colmata B e D/E e le valli da pesca. Per i litorali sono invece disponibili dati ornitologici ottenuti in altra linea di monitoraggio (Coccon e Baldaccini, 2017 questo volume). Nella perdurante assenza di censimenti esaustivi per l’intera laguna di Venezia, che quindi includano anche le valli da pesca, si sottolinea che le stime di seguito presentate circa l’entità delle diverse popolazioni lagunari vanno considerate con la necessaria cautela.

### *Volpoca*

Per questa specie perdura e si incrementa negli anni il divario tra il numero di individui adulti o subadulti osservati nella laguna aperta durante il periodo primaverile-estivo, dell'ordine delle diverse centinaia e sempre più rilevante, e l'effettivo numero delle coppie nidificanti. La popolazione nidificante nel complesso dei siti monitorati permane infatti su livelli modesti, circa 30 coppie. Non si sono osservate nidificazioni nelle barene naturali occupate dalle colonie di Laridi e Sternidi, ma è certo che alcune coppie di volpoca si riproducono in altre barene naturali; è inoltre presente un buon nucleo di nidificanti nelle casse di colmata B e D/E, oltre che in alcune valli da pesca. Complessivamente la popolazione lagunare può essere stimata a meno di 100 coppie.

### *Cavaliere d'Italia*

La diffusione di questa specie sulle barene artificiali è buona, con una media nel triennio di circa 200 coppie. Altre colonie sono state rilevate su alcune barene naturali e nel settore centro-meridionale della cassa di colmata D/E. La specie nidifica anche in diverse valli da pesca; si può pertanto stimare la presenza nell'intero bacino lagunare di 400-600 coppie.

### *Avocetta*

La presenza di questa specie nel complesso dei siti monitorati è risultata rilevante, con una media nel triennio di 300 coppie. Pochissime coppie sono invece presenti nelle rimanenti barene naturali; modesta la presenza nelle casse di colmata, mentre sono note diverse colonie nelle valli da pesca. Si può pertanto stimare nidifichino 500-600 coppie nell'intera laguna.

### *Fratino*

Di notevole interesse risulta la presenza sulle barene artificiali di circa 60 coppie, distribuite in una quindicina di siti. Scarsissimo invece il numero di coppie negli altri comparti lagunari: non è mai stata osservata nidificare nelle barene naturali e qualche coppia è forse presente in alcune valli da pesca, ma non sono disponibili dati di dettaglio. I litorali veneziani hanno ospitato nel 2013-2015 al massimo una ventina di coppie (Coccon e Baldaccini, 2017 questo volume). L'intera popolazione lagunare nel triennio 2013-15 si dovrebbe aggirare tra le 80 e le 100 coppie.

### *Gabbiano comune*

Attualmente è l'unica specie, tra i Laridi e gli Sternidi della laguna aperta, che non si riproduce sulle barene artificiali; è probabile che la sua marcata preferenza per i margini di "ghebi" e "chiari" con folta vegetazione alofila sia una delle cause, essendo questo particolare ambiente ben poco diffuso nelle barene artificiali. Nelle barene naturali sono state osservate circa 90 coppie. È nota la nidificazione del gabbiano comune in due valli da pesca della laguna nord (Valle Sacchetta e Valle Saccagnana), dove sono presenti almeno 70-80 coppie. Di conseguenza l'intera popolazione lagunare può essere stimata a 160-170 coppie.

### *Gabbiano corallino*

Questa specie è risultata pressoché assente nel triennio in esame dalla laguna aperta, con solo dieci coppie che si sono riprodotte su una-due barene naturali. Da pochi anni è nota la presenza del gabbiano corallino in almeno due valli da pesca della laguna nord, le già citate Sacchetta e Saccagnana. Complessivamente si può stimare per tutta la laguna una popolazione di 210-310 coppie.

### *Fratricello*

Da diversi anni la specie ha praticamente abbandonato il complesso delle barene naturali come sito di nidificazione seguendo un comportamento già evidenziato da molti anni nei litorali, per nidificare esclusivamente su barene artificiali di recente realizzazione (Scarton e Valle, 2015). Nella laguna aperta hanno nidificato circa 900 coppie, con un picco di 1.315 nel 2014. Il fraticello si riproduce regolarmente in diverse valli da pesca, mentre nel periodo 2013-2015 le sue presenze lungo i litorali si sono pressoché azzerate (Coccon e Baldaccini, 2016). L'intera popolazione lagunare può essere stimata nel triennio 2013-2015 a 1200-1300 coppie, in netto aumento rispetto agli anni precedenti.

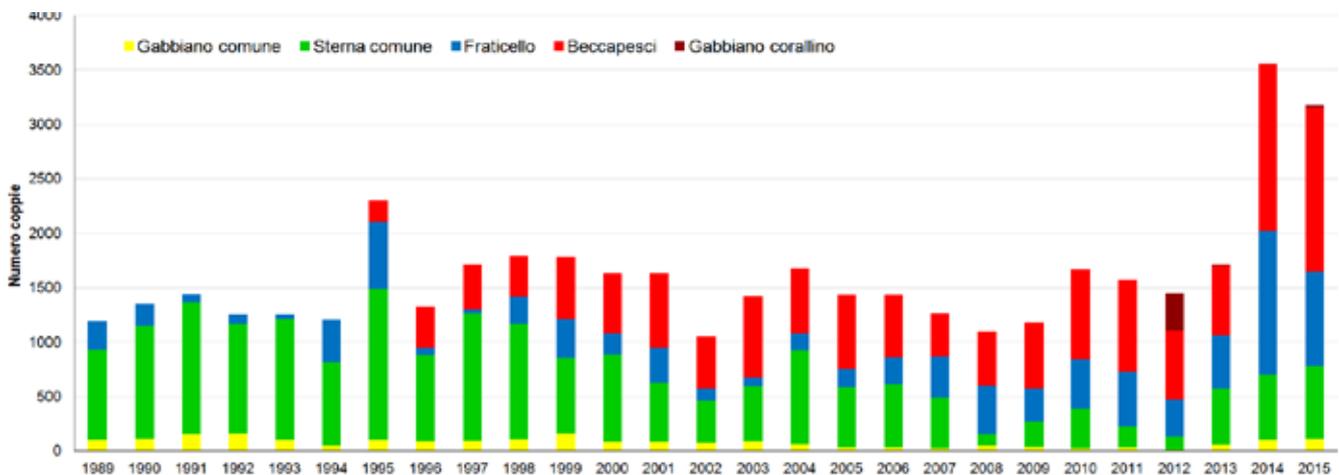
### *Beccapesci*

Il beccapesci non aveva mai utilizzato siti artificiali per nidificare; nel 2014 una colonia di grandi dimensioni, è probabile si trattasse della maggiore di tutt'Italia, si è insediata su una barena artificiale nei pressi di Murano. Nel triennio la specie ha comunque preferito le barene naturali. La nidificazione di poche coppie nelle valli da pesca è risultata del tutto occasionale per cui l'abbondanza totale per l'intera laguna di Venezia coincide con quella relativa alla sola laguna aperta, quindi circa 1200 coppie.

### *Sterna comune*

9. Andamento della popolazione nidificante delle cinque specie monitorate in laguna di Venezia, valli da pesca escluse, dal 1989 al 2015.

La sterna ha nidificato in laguna aperta con circa 600 coppie, di cui la maggior parte ubicata su barene artificiali e altri siti di origine antropica; l'insediamento su questa tipologia di siti è peraltro molto recente. Colonie di modeste dimensioni sono note in diverse valli da pesca, per cui la popolazione lagunare può essere stimata a 800-900 coppie.



## Gli andamenti delle popolazioni di acquatici sul medio e lungo periodo

### Andamento dei Laridi e degli Sternidi nidificanti nella laguna aperta: anni 1989-2015

Come scritto in precedenza, il monitoraggio dei Laridi e degli Sternidi nidificanti nella laguna aperta di Venezia è iniziato nel 1989; con i dati acquisiti nel 2015 si può disporre di una serie di 27 anni di dati, certamente sufficiente per evidenziare i trend di abbondanza delle popolazioni nel lungo periodo. Per un'analisi più dettagliata degli andamenti, benché relativi ad un periodo di poco più breve, si rimanda a Scarton e Valle (2015).

I risultati dei censimenti condotti nel periodo 1989-2015 nella laguna aperta e nei litorali, escludendo le sole valli da pesca, sono presentati nella figura 9.

Le abbondanze delle cinque specie nidificanti seguono evidenti fluttuazioni, con una periodicità di 6-7 anni piuttosto regolare fino al 2013; nel 2014 e 2015 si osserva il netto incremento dovuto a beccapesci e fraticello. Il grafico illustra anche gli andamenti delle singole specie; si può osservare la progressiva riduzione della sterna comune, culminata nel 2008, cui poi fa seguito un discreto recupero che iniziato nel 2012 risulta tuttora in atto. Molto diverso l'andamento per il beccapesci, insediatosi in laguna nel 1995 e successivamente aumentato fino al picco del 2014. La popolazione di fraticello è rimasta tra il 2007 ed il 2013 attorno alle 400 coppie, per poi quasi triplicare nel 2014 e diminuire parzialmente nell'anno successivo.

I gabbiani, sia il comune che il corallino, seguono andamenti molto diversi: il gabbiano

SPECIE	Media 1989-2015	Deviazione standard	Media 2006-2015	Deviazione standard
Gabbiano comune	78.0	42.9	45.9	34.4
Gabbiano corallino	14.0	67.3	37.9	109.8
Fraticello	323.2	277.8	533.1	321.7
Beccapesci	508.6	398.7	805.2	398.8
Sterna comune	689.3	344.1	388.8	207.9
<b>Totale popolazione</b>	<b>1613.1</b>	<b>573.7</b>	<b>1810.9</b>	<b>846.3</b>

Tabella 1. Numero medio di coppie nidificanti sull'intero periodo di monitoraggio e negli ultimi dieci anni.

SPECIE	Giudizio	Variatione annua %	P
Gabbiano comune	Forte incremento	+ 10.9	<0.01
Fraticello	Forte incremento	+ 12.6	<0.01
Beccapesci	Forte incremento	+ 11.7	<0.01
Sterna comune	Moderato incremento	+ 5.8	<0.01
Totale popolazione	Forte incremento	+ 10.4	<0.01

Tabella 2. Trend per le quattro specie di Laridi e Sternidi nidificanti con regolarità e per il totale popolazione (cinque specie): anni 2006-2015. Viene riportato anche il giudizio ottenuto mediante il software TRIM riguardo al trend.

SPECIE	Giudizio	Variatione annua %	P
Gabbiano comune	Incerto	- 5.5	-
Fraticello	Forte incremento	+ 6.8	<0.01
Beccapesci	Forte incremento	+ 5.5	<0.01
Sterna comune	Forte decremento	- 5.3	<0.05
Totale popolazione	Moderato incremento	+ 1.5	<0.01

Tabella 3. Trend per le quattro specie di Laridi e Sternidi nidificanti con regolarità e per il totale della popolazione, includendo anche il gabbiano corallino: anni 1989-2015. Viene riportato anche il giudizio ottenuto mediante il software TRIM riguardo al trend.

comune, tradizionale utilizzatore delle barene naturali, ha una popolazione sempre modesta; il gabbiano corallino, nuovo colonizzatore della laguna, dopo pochi anni si sposta *en masse* nelle valli da pesca, abbandonando per motivi sconosciuti le certamente più insidiose barene naturali. In Tabella 1 si presentano le abbondanze medie di coppie nidificanti relative all'intero periodo e all'ultimo decennio per ciascuna specie.

Per verificare la significatività statistica dei diversi andamenti descritti, sono stati elaborati con il software TRIM sia i dati relativi all'intero periodo disponibile (1989-2015) che quelli relativi all'ultimo decennio (2006-2015), più adatti a descrivere la situazione recente delle diverse specie. I risultati sono presentati nelle Tabelle 2 e 3; non è stato analizzato il trend per il gabbiano corallino, perché presente in un numero troppo esiguo di anni.

Il quadro che ne risulta è certamente positivo nel breve periodo: tutte le quattro specie considerate risultano in aumento, con tassi di crescita annui che raggiungono il 12.6% per il fraticello. Nel lungo periodo la situazione appare più articolata: fraticello, beccapesci e sterna comune incrementano le proprie popolazioni, mentre la sterna comune risente della fase di forte calo osservata nei primi anni Duemila, che stava portando alla totale scomparsa di questa specie dalla laguna aperta. Numeri esigui e forti variazioni interannuali non consentono di esprimere giudizi statisticamente significativi per il gabbiano comune. L'intera popolazione di Laridi e Sternidi risulta, nel lungo periodo, in moderato incremento seppure con un tasso annuo molto contenuto.

### La specie nidificanti sulle barene artificiali: anni 2006-2015

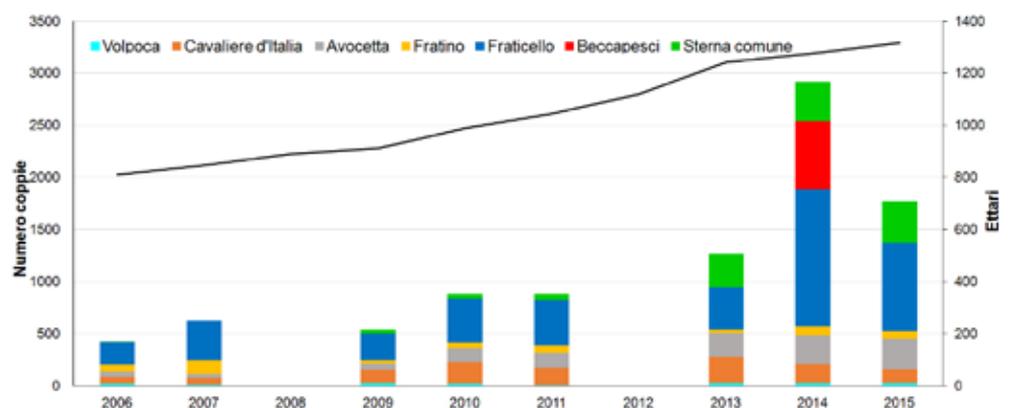
Per le specie considerate di interesse conservazionistico si dispone di dati relativi alle barene artificiali dal 2006 fino, con qualche lacuna, al 2015 (figura 10).

La popolazione nidificante appare in regolare crescita tra il 2006 ed il 2013, certamente anche in funzione dell'estensione sempre maggiore di barene artificiali. Negli ultimi due anni si osserva un brusco aumento nel 2014 ed un calo nell'anno successivo. I dati evidenziano la consolidata importanza che le barene artificiali hanno acquisito per l'avifauna acquatica di pregio, soprattutto per fraticello, cavaliere d'Italia e avocetta.

## Conclusioni

I risultati acquisiti nel corso del 2013-2015 hanno permesso di quantificare la distribuzione e l'abbondanza di nove specie di interesse conservazionistico in laguna di Venezia. Si è potuto documentare come alcune specie evidenzino popolazioni stabili mentre altre presentano forti fluttuazioni tra un anno all'altro. Ciò non può che confermare l'importan-

10. Estensione delle barene artificiali (linea continua) e numero coppie in esse nidificanti. Non sono disponibili dati per il 2008 e il 2012.



tanza di monitoraggi ad elevata frequenza, se non annuale almeno biennale, per le specie di uccelli acquatici presenti in un'area così vasta e diversificata come la laguna aperta.

Ulteriori e concomitanti indagini sarebbero certamente necessarie per valutare correttamente le variazioni osservate e, soprattutto, individuarne le cause scatenanti. È auspicabile si vada a studiare la dieta delle specie prettamente ittiofaghe, valutare il successo riproduttivo, analizzare la distribuzione spaziale degli adulti durante il periodo della nidificazione mediante l'utilizzo di individui marcati con anelli colorati, ancor meglio se dotati di trasmettitori radio o satellitari. Queste indagini, ormai comuni in zone umide europee ed extraeuropee, non sono mai state condotte nel bacino lagunare, a sfatare l'opinione ricorrente e diffusa "che ormai in laguna tutto sia stato studiato".

Per le specie qui considerate, che presentano nicchie ecologiche più o meno ampie e in alcuni casi molto diverse tra loro, il quadro che emerge è generalmente positivo: molte sono stabili o in incremento sul breve (2013-2015), medio (1996-2015) e lungo (1989-2015) periodo, a conferma che le condizioni ambientali della laguna aperta e delle acque marine ad essa prossime sono tuttora molto favorevoli alla presenza di importanti nuclei di specie di uccelli di interesse conservazionistico.

Non mancano tuttavia elementi di possibile criticità come la scomparsa pressoché totale del fraticello dai litorali veneziani, la forte riduzione del fratino negli stessi habitat e la progressiva riduzione della popolazione di cavaliere d'Italia nelle barene artificiali.

Le barene naturali si confermano aree di elevato valore per la nidificazione di una delle specie più importanti sotto il profilo conservazionistico, come il beccapesci; per questo sternide la laguna ospita la popolazione più grande in Italia e molto probabilmente una delle maggiori del Mediterraneo. Le barene artificiali ospitano invece la maggioranza, in alcuni casi la totalità, delle coppie di un'altra specie di particolare valore, quale il fraticello; la sua popolazione lagunare nel corso degli ultimi trent'anni ha cambiato l'habitat di nidificazione, passando dalle spiagge del litorale veneziano alle barene naturali prima e a quelle artificiali nell'ultimo decennio. È probabile che ciò costituisca una risposta adattativa rispettivamente al disturbo antropico sui litorali ed alla sempre più frequente sommersione delle barene naturali nel periodo primaverile-estivo.

I risultati acquisiti nel corso del monitoraggio 2013-2015 permettono di aggiornare la valutazione dell'importanza, sotto il profilo meramente quantitativo, delle popolazioni nidificanti nell'area oggetto di indagine e nell'intera laguna di Venezia rispetto al totale italiano. Le stime ufficiali più recenti per le popolazioni di tutte le specie nidificanti in Italia sono quelle pubblicate in Nardelli *et al.* (2015). Come specificato dagli stessi Autori di quella pubblicazione, in diversi casi i dati ufficiali si riferiscono in realtà all'inizio del Duemila, non essendovi né stime né soprattutto censimenti più recenti; ciò a dimostrazione delle gravi lacune che tuttora affliggono le conoscenze faunistiche, anche ornitologiche, nel nostro Paese. È evidente pertanto che i confronti presentati vanno presi con

	Siti di monitoraggio	Altre aree lagunari (stima)	Totale laguna Venezia	Italia
Volpoca	30	50-70	80-100	300
Cavaliere d'Italia	200	200-400	400-600	3000-4000
Avocetta	300	200-300	500-600	1900-2000
Fratino	60	20-30	80-90	1500-1900
Gabbiano comune	90	60-90	150-180	500-1000
Gabbiano corallino	10	200-300	210-310	2500-4000
Fraticello	900	300-400	1200-1300	2000-3500
Beccapesci	1200	0	1200*	800
Sterna comune	600	200-300	800-900	4000-5000

\*La popolazione lagunare nel triennio risulta superiore alle ultime stime italiane.

Tabella 4. Numero medio di coppie nidificanti nel 2013-15 per i siti monitorati, totale stimato per la laguna di Venezia e confronto con le stime (Nardelli *et al.*, 2015) disponibili per l'Italia.

cautela, essendo diversi i periodi di indagine, e possono portare ad evidenti incongruenze; eclatante è il caso del beccapesci, per il quale in laguna di Venezia è presente negli ultimi anni una popolazione superiore a quanto ufficialmente stimato per l'intera Italia. Con queste necessarie premesse, nella Tabella 4 si sintetizzano i dati ornitologici raccolti nell'ambito dei monitoraggi finora condotti, unitamente a stime per le aree non direttamente interessate (barene non utilizzate da Laridi e Sternidi; casse di colmata B e D/E; valli da pesca), al totale per l'intera laguna di Venezia e alle stime per tutt'Italia. Si può osservare come per tutte le specie la laguna ospiti almeno l'1% del totale nazionale, una soglia spesso utilizzata per definire un sito di importanza nazionale per gli uccelli acquatici. Sette specie su nove superano il 10% del totale, mentre per fraticello e beccapesci i valori sono ben superiori al 50% del totale italiano. In conclusione, si auspica che oltre alle necessarie attività di monitoraggio standardizzato vengano adottate nel bacino lagunare le necessarie attività di gestione e conservazione dei siti, siano essi naturali o artificiali, che vengono utilizzati per la nidificazione da queste importanti popolazioni di uccelli acquatici.

## **Ringraziamenti**

Un particolare ringraziamento va ai colleghi (M. Baldin, E. Checchin, D. Longo) che hanno condiviso le numerose uscite in campo.



Volpoca (foto F. Scarton).



Cavaliere d'Italia (foto F. Scarton).



Avocetta (foto F. Scarton).



Pulcino di fratino (foto F. Scarton).



Gabbiano comune (foto F. Scarton).



Gabbiani corallini (foto F. Scarton).



Pulli di fraticello (foto F. Scarton).



Beccapesci (foto M. Basso).



Sterna comune (foto F. Scarton).

## Bibliografia

- 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. e Scarton F. (2012) Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012). Provincia di Venezia-Assessorato alla caccia. 198 pp.
- Bon M. e Stival E. (2013) Atlante ornitologico del comune di Venezia. Marsilio Editore.
- 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.
- Brichetti P. e Foschi U.F. (2006) Evoluzione delle popolazioni di Laridae e Sternidae nidificanti nelle Valli di Comacchio nel periodo 1977-2001. *Avocetta* 30: 41-50.
- Brunner A., Celada C., Rossi P. and Gustin M. (2002) Sviluppo di un sistema nazionale delle ZPS sulla base delle rete delle IBA (Important Bird Areas). LIPU, 734 pp.
- Coccon F. e Baldaccini N. E. (2017) Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE. In "Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia", Campostrini P., Dabalà C., Del Negro P., Tosi L. (editors), CORILA.
- Fasola M. (red.) (1986) Distribuzione e popolazione dei Laridi e Sternidi nidificanti in Italia. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina*, 11.
- Fasola M., Rubolini D., Merli E., Boncompagni E. and Bressan U. (2010) Long-term trends of heron and egret populations in Italy, and the effects of climate, human-induced mortality, and habitat on population dynamics. *Popul Ecol* 52:59-72.
- Gagliardi A. e Tosi G. (a cura di) (2012) Monitoraggio di Uccelli e Mammiferi in Lombardia. Tecniche e metodi di rilevamento. Regione Lombardia, Università degli Studi dell'Insubria, Istituto Oikos.
- Gariboldi A., Casale F. e Rizzi V. (2000) Aree importanti per l'avifauna in Italia, LIPU.
- Longoni V., Rubolini D., Pinoli G., Fasola M. (2014) Andamento delle popolazioni di uccelli acquatici svernanti in Lombardia: 2002-2013. *Rivista Italiana di Ornitologia. Research in Ornithology*: 84: 3-66.
- Manzi R., Stival E. e Tiloca G. (1992) Il cavaliere d'Italia (*Himantopus himantopus*) e l'avocetta nel Veneto (*Recurvirostra avocetta*). Regione del Veneto, 42 pp.
- Mion D., Ghirelli L., Cazzin M., Cavalli I. e Scarton F. (2010) Vegetazione alofila in laguna di Venezia: dinamiche a breve e medio termine. *Lavori Società Veneziana Scienze Naturali* 35: 57-70.
- Nardelli R., Andreotti A., Bianchi E., Brambilla M., Brecciaroli B., Celada C., Dupré M., Gustin F., Longoni V., Pirrello S., Spina F., Volponi S. e Serra L. (2015) Rapporto sull'applicazione della Direttiva 147/2009/CE in Italia: dimensione, distribuzione e trend delle popolazioni di uccelli (2008-2012). ISPRA, Serie Rapporti, 219/2015.
- Pannekoek J. and. Van Strien A.J. (2005) TRIM 3 Manual Trends and Indices for Monitoring Data. Research paper no. 0102. CBS Voorburg. The Netherlands: Statistics Netherlands.
- Peronace V., Cecere J.C., Gustin M. e Rondinini C. (2012) Lista Rossa 2011 degli uccelli nidificanti in Italia. *Avocetta* 36: 11-58.

- Scarton F. (2005) Breeding Birds And Vegetation Monitoring In Recreated Salt Marshes Of The Venice Lagoon. In: Fletcher C. A. and Spencer T., (eds). *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon*. State of Knowledge Cambridge University Press, Cambridge. 573-579.
- Scarton F. (2008) Population Trend, Colony Size and Distribution of Little Terns in the Lagoon of Venice (Italy) between 1989 and 2003. *Waterbirds* 31: 35-41.
- Scarton F. (2010) Long term decline of a Common Tern (*Sterna hirundo*) population nesting in salt marshes in Venice lagoon, Italy. *Wetlands* 30: 1153-1159.
- Scarton F. and Montanari M. (2015) Use Of Artificial Intertidal Sites By Birds In A Mediterranean Lagoon And Their Importance For Wintering And Migrating Waders. *Journal of Coastal Conservation* 19: 321-334.
- Scarton F. e Valle R. (1997) Laridae e Sternidae nidificanti in laguna di Venezia; anni 1995-1996. *Riv. ital. Orn.* 67: 202-204.
- Scarton F. e Valle R. (1998) Osservazioni preliminari sulla biologia riproduttiva del Becapesci *Sterna sandvicensis* in laguna di Venezia. *Lavori Società Veneziana Scienze Naturali* 23: 37-42.
- Scarton F. and Valle R. (2015) Long-Term Trends (1989-2013) In The Seabird Community Breeding In The Lagoon Of Venice (Italy). *Research in Ornithology* 85: 21-30.
- Scarton F., M. Baldin, and Valle R. (2009) L'avifauna acquatica nidificante nelle barene artificiali della laguna di Venezia. *Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia* 60: 127-141.
- Scarton F., Borella S., Borgoni N., Richard J., Semenzato M. (1995) Interventi sperimentali per favorire la nidificazione di larolimicoli su barene artificiali in laguna di Venezia. *Avocetta* 19: 26.
- Scarton F., Cecconi G., Cerasuolo C. and Valle R. (2013a) The importance of dredge islands for breeding waterbirds. A tree-year study in the Venice Lagoon (Italy). *Ecological Engineering* 54: 39-48.
- Scarton F., Cecconi G. and Valle R. (2013b) Use of dredge islands by a declining European shorebird, the Kentish Plover *Charadrius alexandrinus*. *Wetlands ecology and management* 21: 15-27.
- Scarton F., Curiel D., Rismondo A., Franco A., Franzoi P., Pranovi F., Zucchetta M. e Torricelli P. (2010) Risorse naturali e biodiversità. In *Magistrato alle Acque di Venezia. Stato dell'ecosistema lagunare veneziano*. Marsilio Editore: 103-145.
- Scarton F., Semenzato M., Tiloca G., Valle R. (2000) L'avifauna nidificante nelle casse di colmata B e D/E (non-Passeriformes): situazione al 1998 e variazioni intercorse negli ultimi venti anni. *Bollettino del Museo civico di Storia Naturale di Venezia* 50: 249-261.
- Soldatini C., Albores-Barajas Y.V., Mainardi D. and Torricelli P. (2009) A widespread gull population in a complex wetland: habitat specific methods to census breeding pairs. *Avocetta* 33: 205-210.
- Steinkamp M., Peterjohn B., Byrd V., Carter H. and Lowe R. (2003) Breeding Season Survey Techniques for Seabirds and Colonial Waterbirds throughout North America. <http://www.waterbirdconservation.org./pubs/PSGManual03.PDF>
- Voříšek P., Klvaňova A., Wotton S. and Gregory R.D. (editors) (2008) *A best practice guide for wild bird monitoring schemes*. First edition, CSO/RSPB.

## Summary

The lagoon of Venice has been since many years recognized as a site of national, sometimes international, importance for birds, waterbirds in particular. Since 2007 it has been designated as a Special Protection Area, according to the 147/09 EU Birds Directive; for several species, the lagoon hosts breeding populations which make significant fractions of the whole Italian populations.

In the lagoon of Venice saltmarshes are nesting sites for several species of waders and seabirds; beside these intertidal habitats, man-made sites called “dredge islands” have gained considerable importance as breeding sites over the last twenty years. Colonies or single nests of the nesting species must often face the risk of being flooded or destroyed by high tides or wind-generated waves during the nesting season, which spans from early April to late July. For seabirds such as terns and gulls a survey of the colonies occurring each year in the lagoon has been performed since 1989, resulting in one of the longest monitoring on birds made in Italy.

A detailed surveys of the breeding sites of nine species of conservation concern, i.e. listed as Vulnerable in the Italian Red List on in Annex I of the Birds Directive, has been made between 2013 and 2015; the main findings are presented here. The species considered were Shelduck *Tadorna tadorna*, Black-winged Stilt *Himantopus himantopus*, Avocet *Recurvirostra avosetta*, Kentish Plover *Charadrius alexandrinus*, Black-headed Gull *Chroicocephalus ridibundus*, Mediterranean Gull *Larus melanocephalus*, Little Tern *Sterna albifrons*, Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*, Common Tern *Sterna hirundo*.

A rich and diverse assemblage of species nested each year: on average, there were 3,400 breeding pairs, scattered among 4-6 saltmarshes and 50-60 dredge islands. Many waders and seabirds clumped together in colonies, which could range in size from a few pairs to about 1,500 pairs.

Colonies of gulls and terns have been regularly found each year, both at saltmarshes and dredge islands; the commonest species was the Sandwich Tern, with 1,200 pairs on average, followed by the Little Tern (900 pairs). For the former species, the lagoon of Venice is the most important Italian breeding site, and one of the largest in the whole Mediterranean; for the latter species, at least 50% of the estimated Italian population occurs at dredge islands. Seabird population trends over the medium (2006-2015) and long (1989-2015) periods show an increase in four species out of five. This indicates as the lagoon still offers suitable conditions, in terms of food resources and nesting places, for these species, which are important components of the ecosystem and may be used as environmental indicators.

Among waders, about 300 pairs of Avocet occur each year, only at dredge islands; the Black-winged Stilt is less abundant (200 pairs) and it is the only species which showed a population decrease in the study period. The occurrence of 60-90 pairs of Kentish Plover at dredge islands is remarkable, since this is the largest population of this species in the northern Adriatic, where once it was widespread in the littoral strip.

The results obtained during the 2013-2015 make a solid knowledge basis on abundance and distribution in the lagoon of Venice of nine species of environmental concern. This will be instrumental in evaluating possible future environmental changes due to, among other factors, the operational phase of the mobile barriers.





# **Il rumore prodotto dalle attività di cantiere durante la realizzazione del MOSE**

## **Noise produced by the construction sites activities of the MOSE**

Patrizio Fausti, Renzo Cremonini,  
Maria Carmen Guerra, Giuliano Scalpelli Quiqueto,  
Andrea Santoni, Nicolò Zuccherini Martello

### **Introduzione**

Il rumore prodotto dalle attività di cantiere è generalmente considerato come un'attività temporanea ed è regolamentato in maniera diversa da quello di altre sorgenti. Per i cantieri, la legislazione italiana prevede la possibilità di ottenere deroghe rispetto ai valori limite previsti per le situazioni consuete, con applicazione di vincoli specifici ai livelli sonori e alla loro durata. In alcune situazioni, in particolare per cantieri di lungo periodo e per aree molto estese, è difficile trovare procedure semplici per applicare le deroghe. Nei casi in cui le aree di cantiere siano vicine ad aree naturali protette, con possibile impatto sull'avifauna e altri animali, è auspicabile individuare altre procedure per garantire che i livelli sonori rimangano inferiori alle soglie potenzialmente critiche.

Nel caso della costruzione del sistema di barriere mobili per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna dalle acque alte, il rumore prodotto dai cantieri è una componente dell'impatto delle attività di costruzione che richiede un'accurata analisi. Tra le operazioni di cantiere necessarie per la realizzazione del MOSE che possono indurre un significativo inquinamento acustico si possono annoverare: battitura pali di consolidamento dei fondali, anche in considerazione del numero di pali battuti (circa 1500 per ogni canale di bocca); trivellazione orizzontale nei pressi dell'oasi di Alberoni, alla bocca di porto di Malamocco; dragaggio; preparazione di calcestruzzo, in particolare presso l'impianto di betonaggio di Ca' Roman, bocca di Chioggia; lavorazioni varie e di compattazione degli argini; movimentazione di materiali e pietrame nella piarda di Alberoni; realizzazione e successivo smantellamento dell'isolotto artificiale per l'esecuzione della teleguidata Lido-Arsenale, nei pressi del Forte Sant'Andrea (bocca di porto di Lido); circolazione di betoniere in ognuna delle bocche di porto, ecc.

Per questo motivo, nell'ambito del Piano di monitoraggio sono state inserite le misurazioni delle emissioni del rumore sia per valutare l'inquinamento acustico negli edifici residenziali situati in prossimità dei cantieri che per segnalare livelli sonori critici, così da ridurre il rischio di potenziali impatti sull'avifauna presente nelle aree naturalistiche circostanti, e mantenere un effetto sentinella nei confronti dei cantieri. Il monitoraggio del rumore ha avuto quindi i seguenti obiettivi:

- verifica dei livelli sonori giornalieri, confronto con i limiti consentiti dalla legislazione ed eventuale emissione dei Rapporti di Anomalia;
- valutazione della propagazione del rumore dei cantieri nelle aree circostanti per l'individuazione delle sorgenti specifiche responsabili dei superamenti delle soglie;
- verifica delle attività rumorose nella fascia oraria protetta relativa al periodo di nidificazione e riproduzione degli uccelli;



1. Postazioni di lungo periodo e per misure brevi.  
A) San Nicolò, postazione lungo periodo; B) San Nicolò, vista aree cantieri e postazione per misure brevi; C) Forte San Andrea, postazione lungo periodo; D) Forte San Andrea, vista isola provvisoria e postazione per misure brevi; E) Santa Maria del Mare, postazione lungo periodo; F) Santa Maria del Mare, vista Piarda di Alberoni e postazione per misure brevi; G) Ca' Roman, postazione lungo periodo; H) Ca' Roman, postazione per misure brevi.

- verifica dei livelli sonori su intervalli temporali brevi, per migliorare il processo di identificazione delle situazioni critiche che potrebbero creare disturbo all'avifauna o mascheramento del canto;
- indicazione delle possibili misure di mitigazione.

Nella fase iniziale del monitoraggio è stata effettuata la valutazione del clima acustico esistente nelle aree oggetto degli interventi in assenza di attività cantieristica (“stato zero”) e, con l’inizio delle attività di costruzione delle barriere mobili del Sistema MOSE, a fine 2004 è stato avviato il monitoraggio vero e proprio delle emissioni di rumore. Esso è stato effettuato per lunghi periodi (minimo una settimana) con campionamento in continuo in concomitanza dello svolgimento delle attività di cantiere più rumorose. La battitura pali e la trivellazione orizzontale delle canalizzazioni di cavi sono due esempi di attività particolarmente impattanti (la prima per intensità e durata, la seconda per durata e vicinanza alle aree naturali protette) per le quali sono stati eseguiti monitoraggi ripetuti negli anni ed analisi dettagliate.

Oltre alle misure in continuo, le misurazioni di breve durata hanno permesso la creazione di un database di sonogrammi attraverso cui, durante gli anni di monitoraggio, è stato possibile riconoscere facilmente la maggior parte delle lavorazioni effettuate dai cantieri. Per far fronte alle incertezze nelle rilevazioni (nuove lavorazioni, di attività contemporanee, o di eventi estranei al cantiere che generano livelli sonori significativi) queste misurazioni sono state corredate con la registrazione dell’audio; la registrazione sonora permette anche di effettuare ulteriori analisi in post processing, che hanno contribuito per esempio a investigare più approfonditamente il fenomeno di mascheramento delle attività di cantiere sul canto dell’avifauna.

La trattazione delle pagine seguenti riporta dapprima una descrizione di materiali e metodi con una breve sintesi delle apparecchiature utilizzate, l’indicazione della metodica di analisi dei dati e la descrizione della procedura per la valutazione del possibile mascheramento del canto degli uccelli. Nella seconda parte si riportano alcune considerazioni sui risultati del monitoraggio ambientale del rumore e delle verifiche fatte, facendo riferimento ad alcuni casi e lavorazioni specifiche, alla caratterizzazione di sorgenti sonore e di interventi di mitigazione. In appendice sono stati riportati i riferimenti normativi e legislativi principali, a livello europeo e nazionale.

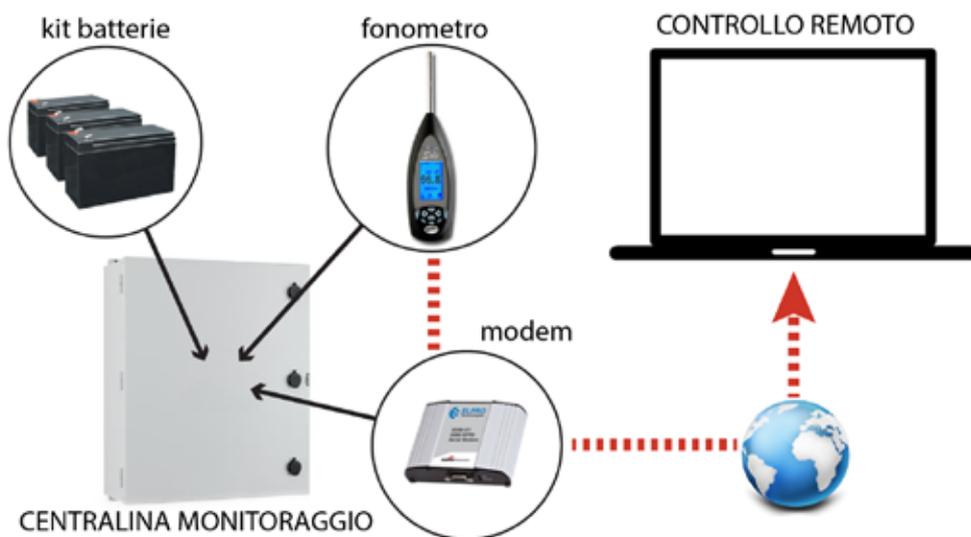
## **Materiali e metodi**

### ***Strumentazione di misura***

L’acquisizione dei dati acustici è stata effettuata impiegando dei fonometri, strumenti per la misurazione dei livelli di pressione sonora e degli spettri, con l’espressione dei risultati nella scala dei decibel (dB). Il microfono rappresenta il trasduttore fonometrico in grado di convertire la pressione acustica in un segnale elettrico. Il microfono è collegato a un preamplificatore che adatta l’impedenza in uscita minimizzando le perdite di segnale.

Tali strumenti permettono di rilevare sia i livelli sonori istantanei (con le varie costanti di tempo fast, slow, impulse, ecc.) che i livelli sonori equivalenti, cioè basati su una media energetica in un intervallo di tempo. I livelli sonori equivalenti sono quelli che si utilizzano generalmente per il confronto con i limiti di legge (per la descrizione della normativa vigente, si veda APPENDICE – Quadro normativo e legislativo).

La strumentazione deve essere calibrata, con apposito calibratore acustico, prima dell’inizio e al termine di ogni misurazione. Inoltre è necessario tarare il sistema di misura



2. Schema della catena di misura allestita per i monitoraggi di lungo periodo.

ogni due anni presso un laboratorio accreditato.

Per monitorare la rumorosità del cantiere sono stati effettuati rilievi in continuo, in periodi che presentavano particolari criticità. Sin dalla prima campagna di misurazione, avvenuta alla fine del 2004, per intervenire tempestivamente al verificarsi di rumori eccedenti i limiti o altre anomalie della strumentazione, è stato implementato un sistema di monitoraggio con la possibilità di accedere da remoto alla *time history* del livello di pressione sonora misurato in tempo reale (figura 2).

L'unità di monitoraggio utilizzata per il cantieri del Sistema MOSE è costituita da un fonometro integratore collegato a un modem di trasmissione dati, entrambi alimentati da un kit di batterie al piombo che garantiscono un'autonomia fino a 2 settimane. Il tutto è inserito all'interno di un box in materiale plastico, adatto all'esposizione di eventi climatici e dotato di sistema di allacciamento a palo e un'asta di sostegno per unità microfonica da esterno (figura 2). Sono stati utilizzati fonometri integratori modello SOLO della 01dB, di classe I, con campionamento al secondo e analizzatore di spettro in bande di terzi di ottava. Il fonometro analizzatore è dotato di trasduttore microfonico da campo libero modello 212 della MCE e di unità per misure in ambiente esterno composta da uno schermo anti-vento e anti-pioggia e da un sistema para-uccelli. I dati misurati vengono trasmessi in tempo reale ad un server dedicato, attraverso il protocollo GPRS, utilizzando la rete GSM. È possibile accedere al server on line per visualizzare i profili temporali misurati in tempo reale oppure definendo *query* su specifici periodi (figura 3). È inoltre possibile scaricare i dati per una successiva elaborazione che permette di ottenere gli spettri sonori e i sonogrammi. Gli stessi dati vengono inviati dal sistema giornal-

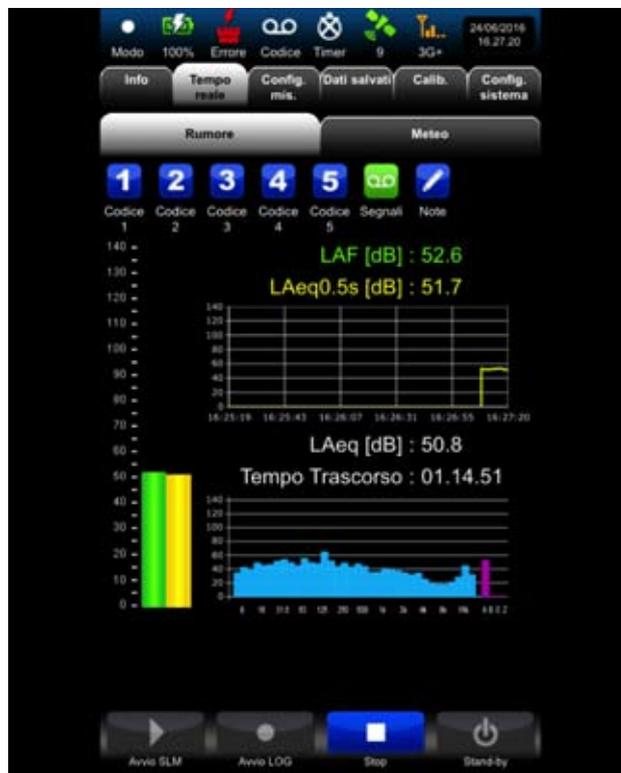


3. Esempio di visualizzazione da remoto della *time history* del livello di pressione sonora misurato da una centralina di monitoraggio in tempo reale.

mente a una serie di indirizzi e-mail prestabiliti.

In affiancamento al monitoraggio in continuo sono state effettuate misurazioni di breve durata, generalmente tra i 15 e i 30 minuti, con lo scopo di individuare le caratteristiche della rumorosità indotta da certe lavorazioni di cantiere e successivamente essere in grado di riconoscere tali attività dai sonogrammi forniti dalle centrali di monitoraggio di lungo periodo. Nel caso delle misurazioni di breve durata, infatti, è sempre presente un operatore sul luogo di monitoraggio che può annotare ogni singolo evento che influenza i livelli di pressione misurati. Facendo affidamento solo ai dati accessibili da remoto, invece, può essere difficile associare in modo inequivocabile un sonogramma a una specifica attività. Per le misurazioni di breve durata è stato generalmente utilizzato un fonometro B&K modello 2250, in grado di acquisire tutti i parametri acustici necessari per eseguire qualsiasi tipo di analisi dei dati acustici e di eseguire contestualmente la registrazione audio del segnale.

Nell'ultimo periodo di monitoraggio è stato utilizzato anche un fonometro di ultima generazione, modello DUO della 01dB, che integra, all'interno della scocca protettiva, una centralina di monitoraggio completa. L'innovazione principale introdotta in questa nuova generazione di strumenti per il monitoraggio del rumore ambientale è rappresentata dai sistemi di connettività integrati nello strumento, che implementa 3G e Wi-Fi, permettendo un totale controllo dello strumento da remoto (figura 4). Utilizzando un computer, un tablet o uno smartphone, oltre alla visualizzazione in tempo reale dei parametri misurati è possibile controllare diverse funzioni, come l'accensione e lo spegnimento dello strumento, così come attivare o disattivare le diverse opzioni. Inoltre, quando la registrazione sonora è attiva, l'audio può essere ascoltato in tempo reale telefonando al numero della SIM inserita nello strumento. L'autonomia degli strumenti, grazie alle batterie integrate, è stata notevolmente migliorata, garantendo 50-60 ore di misurazioni. Tuttavia, in caso di monitoraggi più estesi, e in assenza di allaccio alla rete elettrica, è necessario utilizzare kit di batteria aggiuntivi che devono essere alloggiati all'interno di un apposito box per esterno.



4. Esempio di una delle schermate di controllo online di una stazione di monitoraggio integrata nel fonometro (modello DUO della 01dB).

## **Metodica di analisi dei dati**

I risultati del monitoraggio di rumore hanno permesso di eseguire diversi tipi di verifiche ed elaborazione dei dati.

La prima verifica, eseguita per ogni giornata di monitoraggio, ha riguardato i livelli sonori nei periodi di riferimento diurni e notturni che sono stati confrontati con i limiti previsti dalla legislazione vigente (riportata in appendice). Nei casi di valori dei livelli sonori superiori a quelli previsti dalla legislazione, è stata fatta innanzitutto una analisi dei profili temporali e dei sonogrammi degli interi periodi rilevati per individuare gli eventi rumorosi principali (attività di cantiere intensa, eventuali passaggi di aerei o imbarcazioni rumorose, ecc.) e di eventuali fenomeni meteorologici con influenza sulla rumorosità misurata (vento, pioggia, mareggiate, ecc.). Allo scopo di valutare il contributo delle attività dei cantieri sui livelli sonori equivalenti dei periodi diurni e notturni, è stata quindi eseguita la separazione dei contributi delle attività di cantiere rispetto agli altri eventi e sono stati ricalcolati i livelli sonori determinati dalle sole attività di cantiere; questi ultimi sono stati confrontati con i limiti di legge. Le elaborazioni sono state eseguite per ciascuna giornata di monitoraggio e i risultati sono stati inseriti nelle schede giornaliere con i dati orari e nelle tabelle riepilogative dei valori dei periodi diurni e notturni, unitamente alle informazioni relative ai dati meteo.

Un altro tipo di verifica, correlata con la legislazione vigente, è stata quella del criterio differenziale (vedere APPENDICE). Questa verifica è stata eseguita occasionalmente e solo quando sono state eseguite misurazioni in prossimità di ricettori residenziali.

Una ulteriore verifica è stata l'elaborazione dei dati di rumorosità delle attività di cantiere eseguite negli intervalli di tempo stabiliti per la protezione del periodo di nidificazione e riproduzione degli uccelli (15 Aprile - 30 Giugno); sono state infatti previste delle fasce orarie, indicate alla Direzione Lavori, nelle quali dovevano essere sospese le attività rumorose. Tali fasce orarie sono state così ripartite: dalle 05:00 alle 09:00 nel periodo 15 - 30 Aprile; dalle 04:30 alle 08:30 per il periodo 1 - 31 Maggio; dalle 04:00 alle 08:00 per il periodo 1 - 30 Giugno.

È stata inoltre introdotta una specifica verifica per migliorare il processo di identificazione di situazioni critiche che potrebbero creare disturbo o impatto sugli uccelli. La procedura è stata strutturata in due fasi. Nella prima fase sono stati controllati e misurati i livelli di rumore dovuti al cantiere in intervalli di 30 minuti, calcolando il corrispondente livello in dB(A), per verificare l'eventuale superamento di un valore di soglia, pari a 60 dB (A), concordato con gli esperti dell'avifauna. La seconda fase è stata prevista per le sole situazioni di superamento del valore di soglia; in questi casi, lo spettro sonoro delle attività di cantiere che hanno determinato il superamento della soglia e lo spettro sonoro del canto degli uccelli sono stati confrontati, al fine di verificare i possibili effetti di mascheramento di intelligibilità del canto. Ulteriori dettagli sono riportati nel paragrafo successivo.

### **Procedura per la verifica del potenziale mascheramento del canto degli uccelli**

Uno degli effetti più critici dell'elevata rumorosità è il mascheramento dei toni e la successiva riduzione dell'intelligibilità del messaggio sonoro tra gli uccelli. Eppure l'attuale normativa ambientale, sia italiana che europea, non prevede specifici riferimenti in merito ai fenomeni di disturbo arrecabili alle componenti faunistiche dell'ambiente; per le aree naturali, quali quelle delle Oasi di Alberoni e Ca' Roman, vengono generalmente adottati i limiti di Classe I proposti dal D.P.C.M. 14/11/97, pari a 50 dB(A) nel periodo diurno e 40 dB(A) nel periodo notturno (limiti di immissione) e 45 dB(A) nel pe-

riodo diurno e 35 dB(A) nel periodo notturno (limiti di emissione) ma non vi è alcuna relazione comprovata che tali limiti possano essere effettivamente adeguati per l'avifauna presente.

Non essendoci dei veri limiti normativi, allo scopo di poter dare un'indicazione dell'impatto antropico sull'integrità sonora delle aree protette, la WHO (World Health Organization, 1999) nella "Guidelines for Community Noise" raccomanda un valore basso del parametro R, definito dal rapporto "soundscape/noise"

$$R = 20 \log(\text{noise/soundscape})$$

R rappresenta il rapporto tra le immissioni di rumore all'interno di un'area protetta ed il rumore di fondo. Tale parametro indica che un ambiente naturale indisturbato, lontano da qualunque manifestazione sonora di origine antropica, è sicuramente integro; ma la stessa cosa si può dire di un ambiente naturale in cui la presenza antropica assume caratteri storici formando così una componente stabile del paesaggio sonoro. Questo implica che l'habitat tipico di una determinata specie avicola potrebbe diventare anche quello in cui un rumore di origine antropica è una presenza costante (Berretti *et al.*, 2004). È il caso del rumore continuo prodotto dal traffico a ridosso di ambienti naturali, in cui possono verificarsi fenomeni di adattamento degli habitat presenti; d'altra parte, l'effetto del rumore generato dal traffico nel tempo può sicuramente essere meno dannoso dei danni che si possono arrecare invece durante la fase cantieristica di costruzioni delle strade stesse. Questo perché, mentre la presenza continua del rumore tipico da traffico stradale può comunque diventare un disturbo a cui abituarsi, l'attività cantieristica, connotata da rumore maggiore rispetto a quello stradale e spesso di natura impattiva e vibratoria, può non creare le stesse condizioni di adattamento.

Uno degli effetti più critici dell'elevata rumorosità è il mascheramento dei toni, che determina riduzione dell'intelligibilità del messaggio sonoro tra gli uccelli. Tale fenomeno dipende da numerosi fattori, tra cui:

- caratteristiche della sorgente;
- tipo ed intensità del segnale emesso dall'uccello;
- distanze d'influenza.

La distanza d'influenza dipende in primo luogo dall'attenuazione dovuta alla distanza (pari in campo libero a 6 dB per ogni raddoppio della distanza); oltre a ciò, si può avere un eccesso di attenuazione sonora dovuto alla fonoassorbimento della vegetazione, e in funzione dell'umidità e della temperatura dell'aria.

Per una corretta valutazione del potenziale mascheramento del canto degli uccelli a causa del rumore prodotto dalle attività di cantiere, a partire dal 2011 sono state adottate delle procedure valutative specifiche, allo scopo di migliorare il metodo di identificazione delle criticità che potrebbero creare eventuale disturbo o impatto sulla comunicazione tra uccelli. Questi criteri, però, non permettono di quantificare direttamente l'impatto del rumore sull'avifauna, cioè non correlano direttamente la rumorosità delle attività di cantiere e i dati di abbondanza e distribuzione delle singole specie target.

Nella procedura specifica per l'avifauna, fermo restando la validità dei limiti di legge previsti in base alla classificazione acustica del territorio (cfr APPENDICE "Quadro normativo e legislativo"), sono state sviluppate in maniera più dettagliata le analisi temporali e spettrali, impostando le seguenti due fasi di verifica::

- fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali specifici, di 30 minuti, calcolando il corrispondente livello equivalente in dB(A) e confrontando il valore ottenuto con valori di soglia;
- fase 2: confronto tra lo spettro sonoro delle attività di cantiere e lo spettro sonoro del

canto degli uccelli. Questo confronto può essere eseguito sia sugli spettri in terzi di ottava ottenuti dalle apparecchiature normalmente utilizzate per il monitoraggio, sia utilizzando eventuali registrazioni audio.

#### *Fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali specifici*

Sulla base di considerazioni qualitative è stato individuato, in collaborazione con gli esperti dell'avifauna del Piano di monitoraggio, l'intervallo di 30 minuti come quell'intervallo per il quale la persistenza di un livello sonoro elevato può determinare una effettiva interferenza per l'intelligibilità del canto tra gli uccelli; si ritiene che eventi sonori di durata inferiore a 30 minuti non vadano a modificare sostanzialmente il meccanismo di scambio delle informazioni tra gli animali. Ovviamente rumori di breve durata ma di elevati livelli sonori, come i rumori impulsivi, possono determinare altri effetti di disturbo, ma non comportano un persistente mascheramento del segnale sonoro.

Il valore di soglia del livello complessivo in dB(A), da utilizzare in presenza di una sorgente sonora di durata pari ad almeno 30 minuti, dovrebbe tenere conto di diversi fattori come il rumore di fondo, le specie di uccelli, la distanza reciproca, l'attenuazione sonora del canto determinata da vegetazione, terreno, ostacoli, ecc. Per quanto riguarda le diverse specie di uccelli si deve considerare la diversa potenza sonora del canto, la posizione del canto (da terra, dagli alberi e in volo), l'area di influenza e altri fattori. In considerazione di tutti questi aspetti la scelta di un valore di soglia non può essere che approssimata. Per questo motivo il superamento di un eventuale valore di soglia del livello complessivo in dB(A) è utilizzato solo per individuare potenziali situazioni critiche per l'avifauna.

Per individuare un valore di soglia appropriato per questo scopo si riportano alcune considerazioni preliminari basate sul significato di alcuni livelli sonori di riferimento.

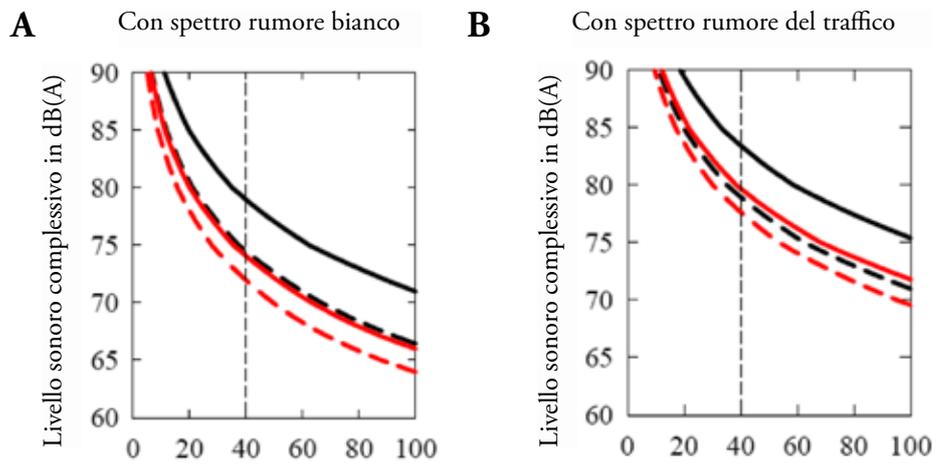
Come prima considerazione si riporta il seguente esempio: un valore del livello sonoro di 50 dB(A) ottenuto mediando energeticamente su 16 ore è equivalente ad un livello sonoro di 65 dB(A) ottenuto mediando su 30 minuti quando nelle restanti 15 ore e 30 minuti il rumore è trascurabile. Questo significa che il valore di soglia di 65 dB(A) su 30 minuti è un valore massimo che, in caso di superamento, determina anche il superamento del valore limite di immissione di 50 dB(A), che, si ricorda, è utilizzato come soglia dalla legislazione vigente per le aree protette collocate in Classe I. Inoltre, sulla base della stessa considerazione si può osservare che il valore di soglia di 60 dB(A) su 30 minuti determinato da una specifica sorgente, in caso di superamento, determina anche il superamento del valore limite giornaliero di emissione di una specifica sorgente di rumore, pari a 45 dB(A).

Una ulteriore considerazione riguarda il rumore residuo presente nelle aree SIC (Siti di Importanza Comunitaria ai sensi della Direttiva 92/43/CEE) in assenza di attività di cantiere. Sulla base delle attività di monitoraggio pluriennale si è visto che il rumore residuo è variabile mediamente tra 40 e 45 dB(A) durante il periodo notturno e tra 45 e 50 dB(A) durante il periodo diurno.

Si deve pertanto assumere il valore di 50 dB(A) come valore della rumorosità delle attività di cantiere che non determina impatti aggiuntivi rispetto alle attività antropiche presenti nell'area, visto che questo valore viene frequentemente raggiunto anche in assenza di attività di cantiere.

Per individuare valori di soglia appropriati per il monitoraggio del rumore prodotto dai cantieri MOSE, oltre alle considerazioni preliminari sopra esposte che determinano il campo di livelli sonori nel quale individuare le soglie specifiche, sono stati utilizzati dati di letteratura che correlano la massima distanza di comunicazione efficace tra gli uccelli ed il livello complessivo in dB(A). Nei grafici di figura 5 (Lohr *et al.*, 2003) sono ripor-

5. Distanze massime teoriche di comunicazione (linea continua: soglie di rilevamento; linea tratteggiata: soglie di discriminazione) per pappagallini (linee nere) e alcune specie di fringuelli (linee rosse), con rumore bianco (spettro piatto, A) e rumore da traffico (B). La linea tratteggiata verticale rappresenta la distanza tipica di influenza (40 metri) per molte specie di passeriformi (Lohr *et al.*, 2003).



tati due esempi delle correlazioni qui utilizzate, effettuate per due specie di uccelli (pappagallini e fringuelli) con due diversi tipi di rumore ambientale.

Nei grafici si può osservare come, per le due specie di uccelli citate, per le quali è stato rilevato un livello sonoro del canto piuttosto elevato, livelli di rumore ambientale anche superiori a 60 dB(A) non interferiscano con la comunicazione per distanze fino a 100 metri ed oltre.

Tali grafici, essendo riferiti solo a due specie di avifauna, non possono essere generalizzati per tutte le altre specie. I valori riportati permettono però di poter assumere il valore di 60 dB(A) come idoneo alla discriminazione del canto, per molti contesti e molte specie anche se dotate di potenza sonora del canto inferiore a quella delle due specie considerate nello studio suddetto.

Nel caso dei cantieri del MOSE, il rumore descritto come spettro piatto da Lohr *et al.* (stessa energia per ciascuna frequenza) può essere rappresentativo di rumori tipo vibroinfissione pali o palancole, mentre il rumore da traffico, con maggiori componenti a bassa frequenza, risulta simile a quello prodotto da escavatori, draghe o apparecchiature a motore.

Sulla base delle considerazioni su esposte è stato pertanto assunta come soglia per il livello complessivo, in dB(A), in presenza di una o più sorgenti sonore relative all'attività di cantiere di durata pari ad almeno 30 minuti, il valore di 60 dB(A).

Il superamento di tale soglia a causa delle attività di cantiere è stato considerato come situazione critica, ed ha portato alla esecuzione delle analisi ed elaborazioni descritte nella successiva fase 2.

#### *Fase 2: analisi in frequenza e confronto tra gli spettri delle attività di cantiere e del canto degli uccelli*

Il canto degli uccelli si può manifestare in un campo di frequenza che va solitamente da 1000 a 10000 Hz. La maggior parte delle attività di cantiere ha invece uno spettro molto più ricco alle frequenze medio-basse, soprattutto per la presenza di motori o ventole. A parità di livello sonoro complessivo, i due spettri potrebbero essere completamente diversi e quindi il mascheramento del canto potrebbe essere trascurabile.

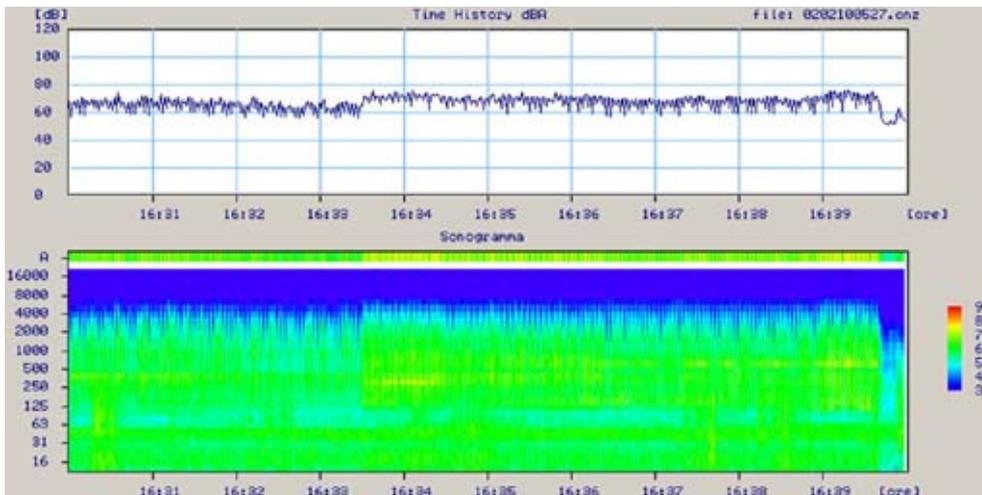
Per determinare un potenziale effetto di mascheramento dei toni, determinato sia da interferenze in termini di frequenza che da sovrapposizioni in termini di livelli sonori, si sono analizzati e confrontati gli spettri sonori e i profili temporali del canto degli uccelli e delle specifiche attività di cantiere.

La procedura proposta tiene anche in considerazione le indicazioni utilizzate in letteratura in situazioni analoghe (Dooling and Popper, 2007).

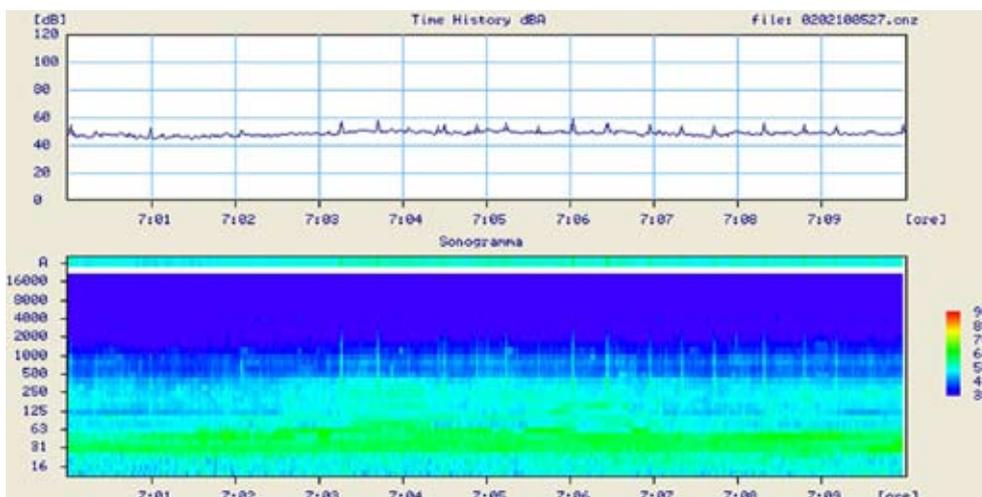
## Risultati

Il monitoraggio acustico condotto durante il susseguirsi delle varie attività nei cantieri del MOSE ha dato indicazioni fondamentali per una programmazione delle lavorazioni più rumorose, mirata alla limitazione delle criticità relative agli orari e ai siti sensibili, con riferimento sia ai ricettori residenziali che alla salvaguardia dell'avifauna.

Complessivamente sono state eseguite misurazioni di lungo periodo in 38 diverse postazioni, di cui 8 per la valutazione ante operam e 30 per il monitoraggio delle varie attività di cantiere. La maggior parte di queste postazioni sono state utilizzate solo nei primi anni, per una valutazione della propagazione del rumore nelle aree circostanti ai cantieri, mentre alcune, considerate maggiormente significative, sono state usate come riferimento permanente per i dieci anni del monitoraggio, anche per una valutazione dell'andamento dei livelli sonori nel tempo. Di queste 38 postazioni di misura, 20 sono ubicate nell'area della bocca di Lido (Punta Sabbioni, San Nicolò e Baccan), 10 nella bocca di Malamocco (Alberoni, Santa Maria del Mare e San Pietro in Volta) e 8 nella bocca di Chioggia (Ca' Roman e Sottomarina). Complessivamente sono state eseguite circa 1900 giornate di monitoraggio da novembre 2004 ad aprile 2015, inviando circa 50 Rapporti di Anomalia relativi a circa 150 giornate in cui si sono verificati soprattutto superamenti di limiti assoluti di immissione diurni oppure lavorazioni rumorose nella fascia mat-

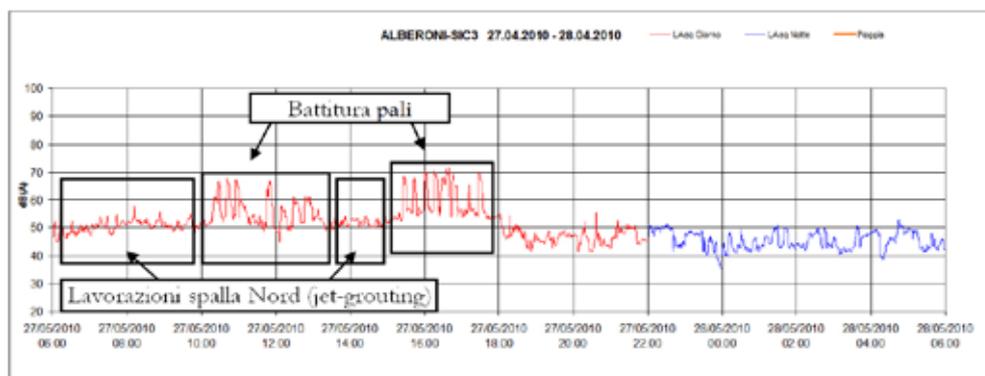


6. Profilo temporale e sonogramma rilevati in data 27 maggio 2010, estratto di 10 minuti relativo all'operazione di battitura pali.



7. Profilo temporale e sonogramma rilevati in data 27 maggio 2010, estratto di 10 minuti relativo al rumore prodotto da una fase del jet-grouting.

8. Profilo temporale tipo dei livelli al minuto con gli eventi più significativi, postazione ALBERONI-SIC3, giornata del 27 maggio 2010, bocca di porto di Malamocco.



tutina di sospensione per la protezione dell'avifauna (Campostrini e Dabalà, in questo volume, 2017).

Tra tutte le misurazioni effettuate durante le lavorazioni, quelle più impattanti in termini di rumorosità sono state la battitura dei pali, la vibro-infissione delle palancole, le movimentazioni del pietrame e la realizzazione dei diaframmi plastici. La criticità non è dipesa soltanto dalla potenza sonora generata dai macchinari ma anche dalla distanza tra le sorgenti di rumore e le aree o i ricettori sensibili dove venivano collocate le centraline di monitoraggio.

In alcune occasioni, in concomitanza con la rilevazione del rumore prodotto dai cantieri, si sono verificati degli eventi non attinenti alle specifiche lavorazioni che hanno determinato una rumorosità elevata nelle postazioni di misura. Si tratta, ad esempio, dell'entrata in funzione dei nautofoni in giornate particolarmente nebbiose, presenti nella bocca di Chioggia e nella bocca di Malamocco, le esercitazioni dei vigili del fuoco nei pressi dell'aeroporto Nicelli a San Nicolò, alcuni eventi sportivi o turistici, ecc.

Nelle figure 6 e 7 si riportano alcuni esempi di sonogrammi, mentre in Figura 8 si riporta un report giornaliero tipico, con gli eventi che hanno caratterizzato in maniera più significativa la giornata di riferimento, nel caso specifico battitura pali e jet-grouting, presso il lato nord della bocca di porto di Malamocco.

### ***Caratterizzazione dell'attività di setacciatura a Punta Sabbioni, in vicinanza di un ricettore residenziale***

L'attività di setacciatura, rilevata in maniera persistente in quasi tutte le giornate di monitoraggio tra il 15 e il 25 febbraio 2011 (figura 9) presso il lato nord della bocca di porto di Lido, veniva eseguita scuotendo la benna dell'escavatore. Questo generava rumori impulsivi ripetuti.

9. Postazione di misura breve (A) e particolare dell'attività di setacciatura (B) presso Punta Sabbioni.





10. Individuazione della postazione di misura breve di fronte ai ricevitori residenziali e dell'attività di setacciatura a Punta Sabbioni.

Nella postazione di monitoraggio denominata SABBIO1 (figura 10) la rumorosità dovuta a questa attività era risultata facilmente percepibile ma di intensità piuttosto limitata (livelli inferiori a 50 dB(A)), data la distanza di circa 250 m dall'escavatore. Per questo motivo il 25 febbraio era stata effettuata una misurazione di breve durata (circa 10 minuti) con acquisizione del segnale audio di fronte alla residenza più vicina a tale attività (figura 10). La distanza tra la postazione di misura e l'attività era di circa 40 m, mentre tra la postazione di misura e il ricevitore residenziale più vicino era di circa 20 m.

In figura 11 è riportato il profilo temporale della misurazione di breve durata, con indicate le fasi di setacciatura e il passaggio dei veicoli nella strada antistante e, in figura 12, un sonogramma ricavato dal segnale audio e riferito a circa 2 minuti di misura. Riguardo a questo sonogramma, l'acquisizione di dati audio era stata effettuata utilizzando una frequenza di campionamento di 24 kHz, che aveva permesso di rilevare valori fino a 10 kHz; i segnali audio registrati erano stati elaborati in modo da ottenere dei sonogrammi caratterizzati da una risoluzione temporale e in frequenza più fitta rispetto ai sonogrammi rilevati dalle centraline di lungo periodo; le centraline di lungo periodo infatti rilevano uno spettro in terzi di ottava, mentre il sonogramma calcolato per la misura breve ha una risoluzione in frequenza costante pari a 11.7 Hz.

Dal profilo temporale era risultato che l'attività di setacciatura, epurata da eventi estranei come il passaggio di automobili, era caratterizzata da un livello equivalente compreso tra 65 e 67 dB(A). Il livello di rumore residuo, cioè in assenza di attività, rilevato poco prima delle 10:19:00, si attestava invece sui 45 dB(A).

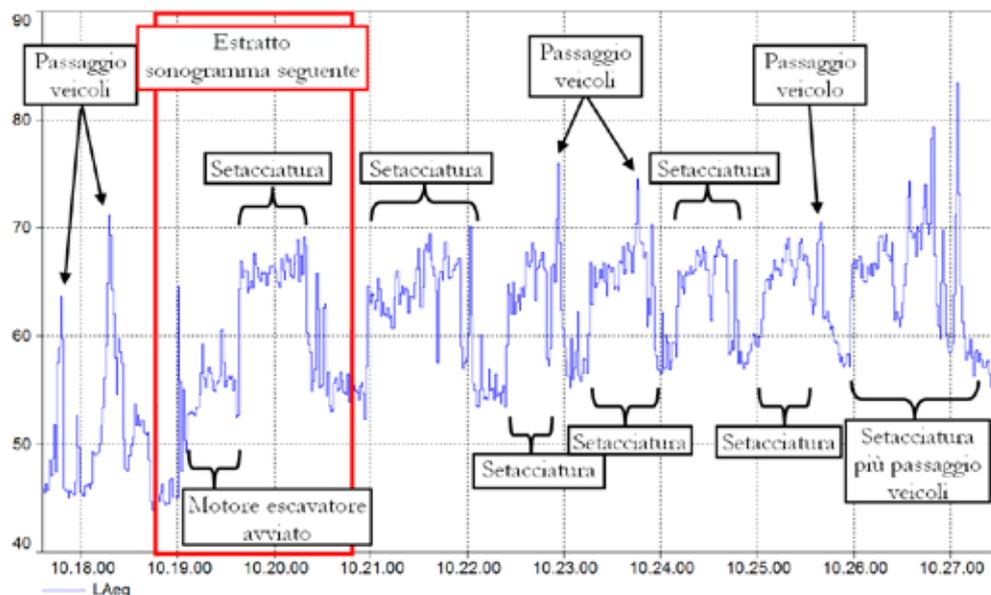
Inoltre, l'attività di setacciatura era caratterizzata da rumori impulsivi con frequenze comprese tra 500 e 4000 Hz, dovuti al movimento delle parti meccaniche della benna. Era presente anche un forte rumore a bassa frequenza, dovuto al funzionamento del motore dell'escavatore.

La misurazione di breve durata aveva evidenziato che l'attività di setacciatura effettuata nel cantiere di Punta Sabbioni era tale da arrecare disturbo alle residenze più vicine. Dal punto di vista legislativo, inoltre, tale attività determinava sicuramente il superamento del limite differenziale all'interno dei ricevitori residenziali, pari a 5 dB(A) di giorno e 3 dB(A) di notte (vedere APPENDICE).

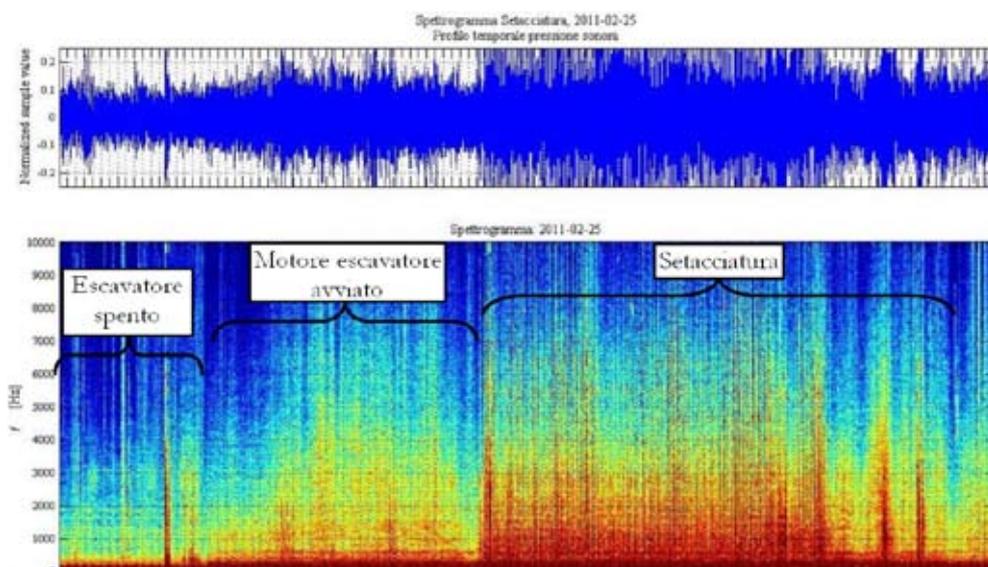
Per questi motivi era stato consigliato di trovare soluzioni meno rumorose per effettuare tale attività o prevedere interventi di schermatura. In alternativa era stato proposto di spostare l'attività in aree meno problematiche, lontane da ricevitori residenziali o da aree SIC.

A partire dal mese di aprile l'attività di setacciatura era stata effettivamente spostata sulla piarda di Alberoni, presso la bocca di porto di Malamocco. Nonostante nell'area fosse

11. Profilo temporale al secondo della misura breve eseguita il 25 febbraio 2011 a Punta Sabbioni, con evidenziato il periodo relativo al sonogramma seguente (figura 12) e con indicate le attività di setacciatura e il passaggio di veicoli di fronte allo strumento.



12. Sonogramma e profilo temporale della durata di 2 minuti registrati il 25 febbraio 2011 tra le 10:18:48 e le 10:20:48 nella postazione di misura breve a Punta Sabbioni, relativi all'attività di setacciatura.



presente un ricettore sensibile, cioè la casa di riposo di S. Maria del Mare, e un'oasi protetta, ad Alberoni, la rumorosità di tale attività era stata rilevata con livelli estremamente bassi e tali da non arrecare disturbo nelle due aree citate, sia per la distanza elevata verso la casa di riposo (oltre 400 m) che per la protezione acustica svolta dai cumuli di pietra-me verso l'oasi.

### Valutazione del possibile mascheramento sull'avifauna

Il periodo di monitoraggio 26-29 aprile 2010 (figura 13), in presenza di attività di battitura pali, era finalizzato ad ottenere un riscontro della rumorosità per l'avifauna: erano stati analizzati e confrontati gli spettri sonori e i profili temporali del canto degli uccelli e delle attività di cantiere per determinare un potenziale effetto di mascheramento dei toni, determinato sia da interferenze in termini di frequenza che da sovrapposizioni in termini di livelli sonori.



13. Individuazione della postazione di misura ALBERONI-SIC3 e delle zone in cui sono presenti le attività di cantiere, alla bocca di porto di Malamocco.

La battitura di ciascun palo aveva una durata variabile da 5 a 8 minuti; tra due battiture consecutive intercorrevano circa 10-20 minuti. Per la battitura pali era stato impiegato un dispositivo con due gru battipalo posizionate rispettivamente su un carrello che corre su binari che percorrono i lati lunghi del motopontone (figura 14). Ogni gru battipalo era in grado in infiggere fino a 14 pali in un giorno, pertanto durante una giornata lavorativa potevano essere battuti fino a 28 pali. Considerando un numero di 28 pali battuti in un giorno per una durata media di 7 minuti l'uno, si era osservato che l'attività di battitura poteva occupare al massimo il 20% del periodo diurno.

Per ogni giornata di misura erano stati analizzati i profili temporali al minuto (fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali di 30 minuti) ed erano stati individuati gli intervalli di tempo di 30 minuti in cui le attività di cantiere avevano comportato un superamento del livello equivalente di soglia, pari a 60 dB(A).

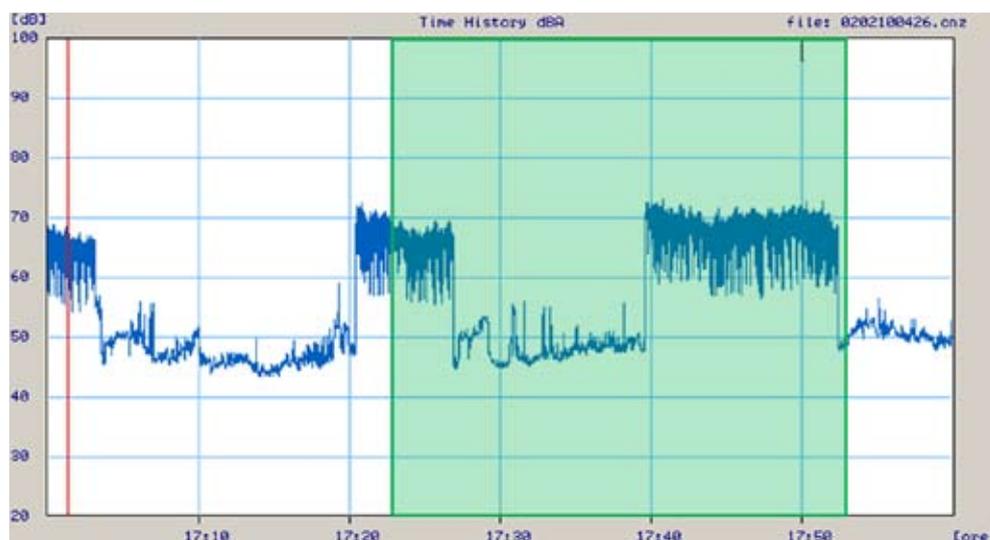
Nel periodo considerato, il livello soglia di 60 dB(A) su 30 minuti era stato frequentemente superato anche con livelli molto elevati, fino a circa 69 dB(A). A titolo di esempio si riporta, in figura 15, un intervallo di tempo con livello sonoro superiore a 60 dB(A) ed un sonogramma (figura 16) riferito ad un estratto di 10 minuti dove si può già osservare che il campo delle frequenze del canto degli uccelli rilevato in questo caso ha componenti in frequenza che vengono chiaramente schermate dallo spettro dell'attività di cantiere considerata.

Successivamente (fase 2: analisi in frequenza e confronto tra spettro attività di cantiere e canto degli uccelli) erano state analizzate le diverse tipologie di canto degli uccelli rilevate durante il periodo considerato, al fine di confrontarle con lo spettro dell'attività di battitura pali che determinava il superamento del livello soglia su 30 minuti. Nelle fi-



14. Macchina battipalo utilizzata nella bocca di Malamocco.

15. Profilo temporale al secondo del giorno 26 aprile 2010, bocca di porto di Malamocco: si osserva un intervallo di 30 minuti (17:23 – 17:53, evidenziato dalla finestra verde) con livello sonoro di 66.2 dB(A).



16. Sonogramma con spettro in terzi di ottava di una fase di battitura pali del 26 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, con individuazione in rosso del canto degli uccelli alle bande centrate tra 1600 e 2500 Hz; il canto degli uccelli, nel campo di frequenze di interesse, risulta schermato dalle attività di cantiere.

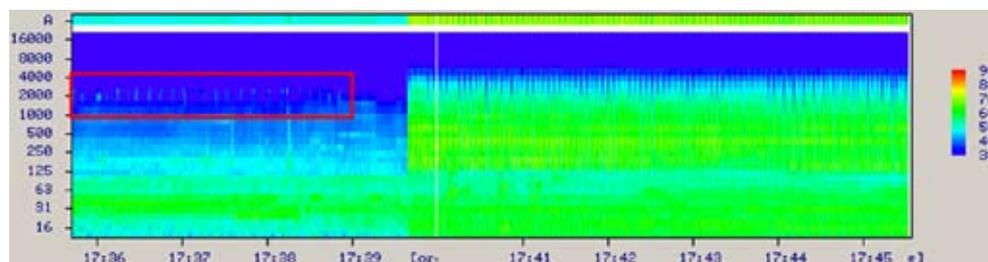
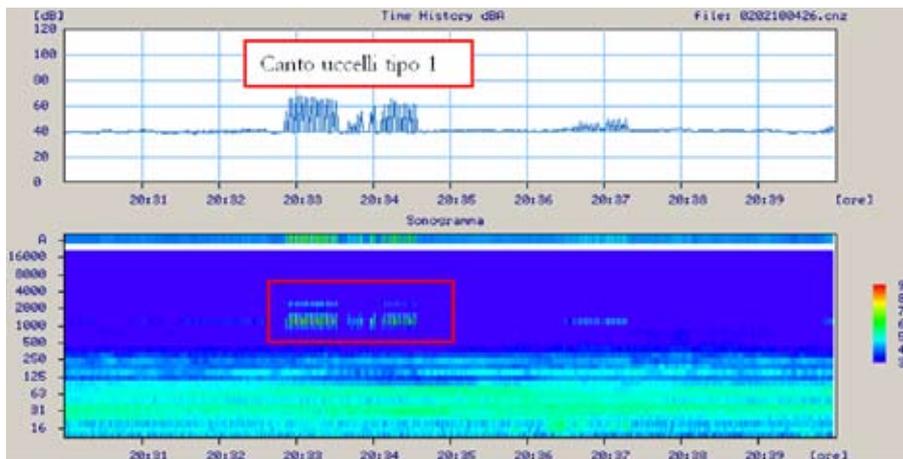


figure 17-20, a titolo di esempio, si riportano i sonogrammi e gli spettri di 2 tipologie di canto degli uccelli, rispetto alle 6-7 tipologie individuate nell'arco delle quattro giornate monitorate, e lo spettro dell'attività di battitura pali (figura 21).

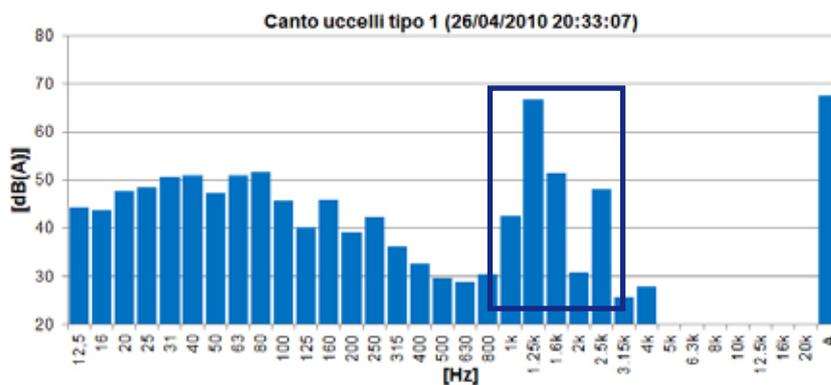
Le figure 22 e 23 riportano i grafici di confronto tra gli spettri delle due diverse specie di uccelli e lo spettro della battitura pali. Nella prima figura è riportato un esempio in cui il canto uccelli viene quasi totalmente schermato dal rumore della battitura pali ad esclusione della banda a 1250 Hz, dove però il maggior livello sonoro non è sufficiente a garantire intelligibilità. Nella figura 23, invece, si osserva come il canto uccelli venga marginalmente mascherato dal rumore della battitura pali; alle frequenze di vocalizzo degli uccelli (da 6300 a 10000 Hz), in particolare, è presente una differenza di livello tra canto uccelli e rumore battitura compresa tra 15 e 25 dB, sufficiente a garantire l'intelligibilità del canto. Ovviamente questo confronto è influenzato dalla distanza reciproca tra gli uccelli e tra questi e la sorgente di rumore.

La procedura di verifica dell'eventuale disturbo del rumore sull'avifauna, applicata al periodo di monitoraggio dal 26 al 29 aprile 2010 nella postazione di ALBERONI-SIC3, aveva quindi evidenziato che l'attività di battitura pali era in grado di determinare frequentemente il superamento del livello equivalente soglia di 60 dB(A) su 30 minuti.

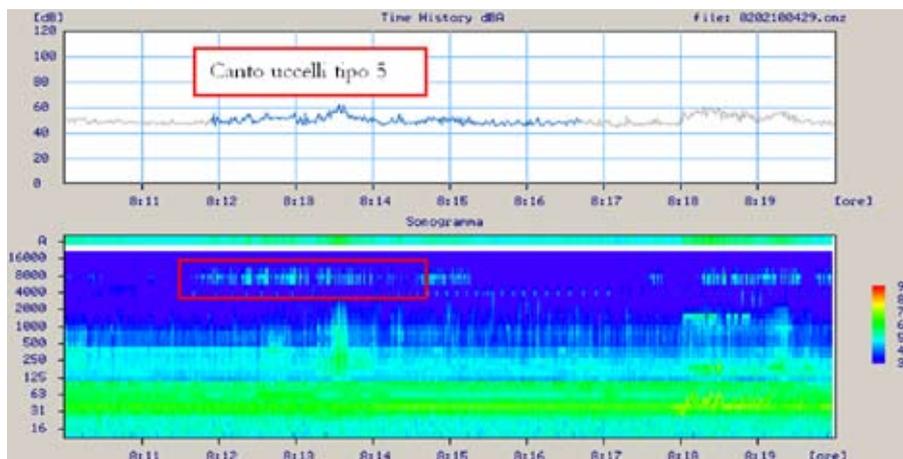
Dai dati analizzati, l'attività di battitura pali aveva uno spettro tipico che interessava le bande da 12.5 a 5000 Hz. Il canto degli uccelli, a seconda della specie, variava da 1000 a 10000 Hz; di conseguenza le tipologie di canto con frequenze pari o inferiori al 5000 Hz potevano essere parzialmente o completamente mascherate dalla rumorosità della battitura pali.



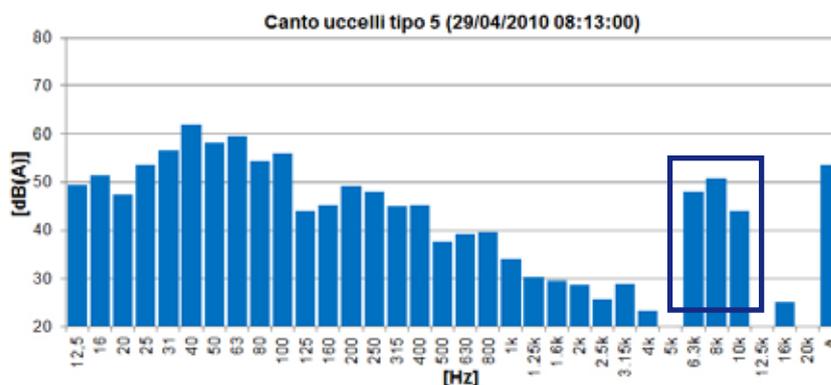
17. Profilo temporale al secondo e sonogramma di 10 minuti rilevati il 26 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, riferiti al canto degli uccelli di tipo 1, in un periodo in cui non era presente l'attività di cantiere (alle 20:33 circa). Il canto di tipo 1 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava con frequenze centrali comprese tra 800 e 2500 Hz.



18. Spettro in terzi di ottava del canto degli uccelli di tipo 1 riportato nel sonogramma di figura 17. Il canto di tipo 1 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava con frequenze centrali comprese tra 800 e 2500 Hz (nel rettangolo).

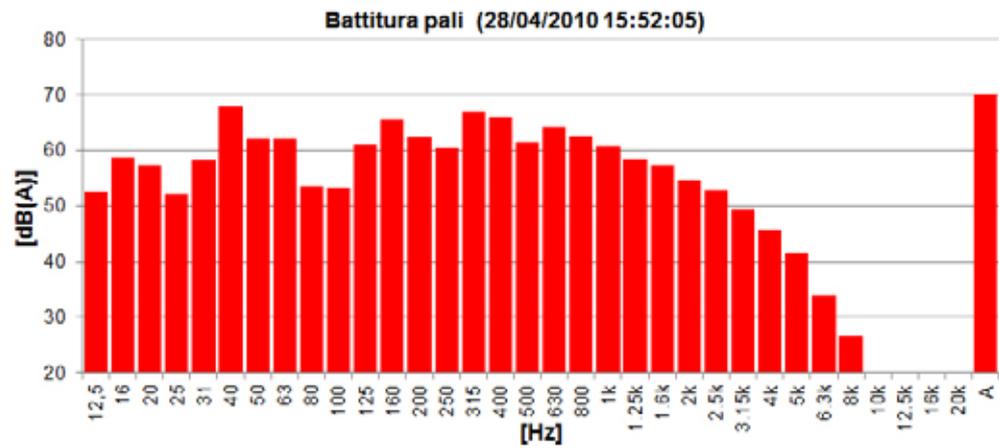


19. Profilo temporale al secondo e sonogramma di 10 minuti rilevati il 29 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, riferiti al canto degli uccelli di tipo 5, in un periodo in cui era presente attività di cantiere (alle 08:12 circa). Il canto di tipo 5 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava tra 5000 e 12500 Hz, con picco a 8000 Hz.

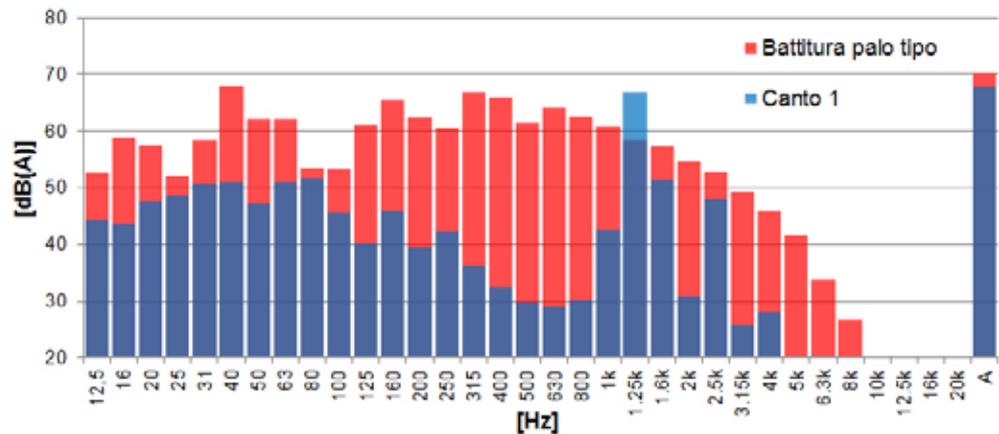


20. Spettro in terzi di ottava del canto degli uccelli di tipo 5 riportato nel sonogramma di figura 19. Il canto di tipo 5 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava tra 6300 e 10000 Hz (nel rettangolo).

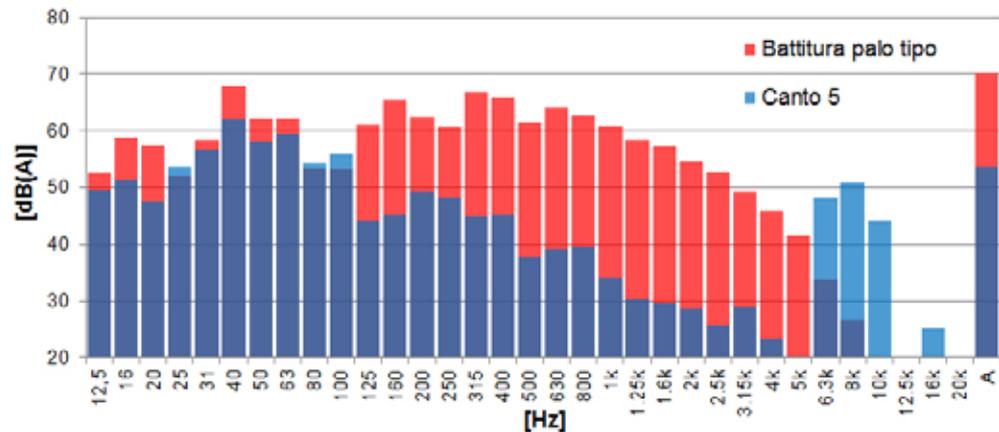
21. Spettro in terzi di ottava della battitura palo tipo, rilevato alla bocca di porto di Malamocco il 28 aprile 2010.



22. Confronto tra lo spettro del canto uccelli di tipo 1 e quello della battitura pali. Il canto degli uccelli, in blu, viene quasi totalmente schermato dal rumore della battitura palo, in rosso, ad esclusione della banda a 1250 Hz, dove però il rapporto segnale rumore è comunque insufficiente.



23. Confronto tra lo spettro del canto uccelli di tipo 5 e quello della battitura pali. In questo caso il canto degli uccelli, in blu, non viene mascherato dal rumore della battitura pali, in rosso; alla frequenze di vocalizzo degli uccelli (da 6300 a 10000 Hz), in particolare, è visibile una differenza di livello sonoro compresa tra 15 e 25 dB.



Ad ogni modo, secondo una serie di studi presenti in letteratura (Dooling and Popper, 2007), per la discriminazione del canto gli uccelli hanno bisogno di un elevato rapporto segnale-rumore, detto “rapporto critico”, pari a 15-25 dB, a seconda delle specie. Occorre però considerare che gli uccelli sono in grado di impiegare strategie per migliorare la percezione del segnale; queste strategie includono la rotazione della testa per la scansione dell’ambiente, l’aumento del livello della voce (Wood and Yezerinac, 2006), il prolungamento della comunicazione e lo spostamento. Ognuno di questi fattori può da solo migliorare la comunicazione in ambiente rumoroso di 10-15 dB. Pertanto, pur tenendo conto dei probabili effetti di mascheramento del canto durante

l'attività di battitura pali ad Alberoni, con durata di circa 8 minuti per un palo, si ritiene che gli uccelli siano in grado di mettere in atto strategie per mantenere la comunicazione tra di loro.

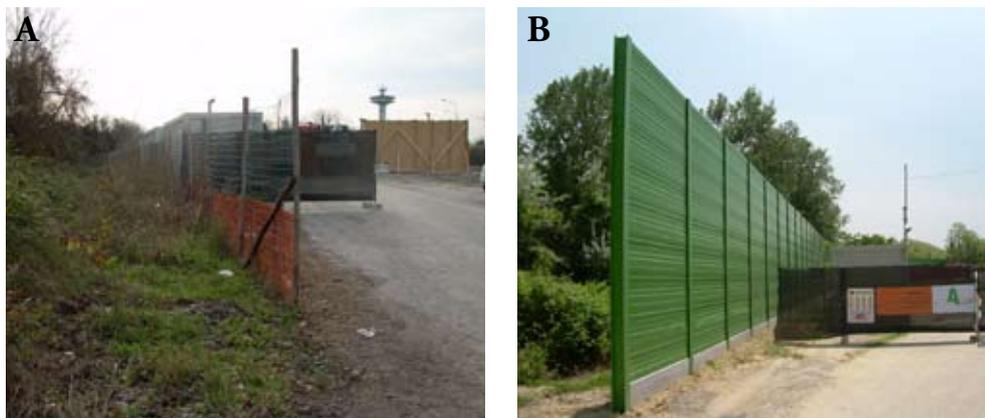
A seguito dei risultati delle misurazioni eseguite nel periodo 26-29 aprile 2010, l'attività di battitura pali nel recesso di spalla nord presso la bocca di Malamocco, inizialmente programmata per la primavera 2012, era stata spostata all'autunno successivo in quanto nei mesi aprile-giugno, periodo di nidificazione e riproduzione dell'avifauna, erano da evitare attività rumorose.

### **Valutazione dell'efficacia della barriera acustica realizzata ad Alberoni per mitigare il rumore delle trivellazioni orizzontali**

La barriera (figura 24), la cui posizione è indicata in figura 25, era stata realizzata per proteggere l'avifauna presente all'interno dell'area SIC di Alberoni, nei pressi della bocca di Malamocco, dal rumore generato dalle attività di trivellazione orizzontale teleguidata presenti all'interno dell'area di cantiere.

La valutazione dell'efficacia fonoassorbente della barriera era stata effettuata prendendo in considerazione i valori misurati nel periodo di tempo antecedente alla realizzazione della barriera, tra il 22 novembre e il 22 dicembre 2007, e nel periodo di tempo successivo alla realizzazione della stessa, tra il 6 e il 22 maggio 2008. In entrambi i periodi erano state rilevate le attività di trivellazione orizzontale.

L'attività di trivellazione era caratterizzata da componenti in frequenza comprese tra 20 e 3000 Hz circa, con i livelli più elevati fino a 125 Hz. Nelle figure 27 e 28 si possono notare i sonogrammi tipici delle fasi di trivellazione più rumorose, rilevati nella postazione di misura prima e dopo la realizzazione della barriera.



24. Foto della zona di ingresso al cantiere ad Alberoni, alla bocca di Malamocco, prima (A) e dopo (B) la realizzazione della barriera.

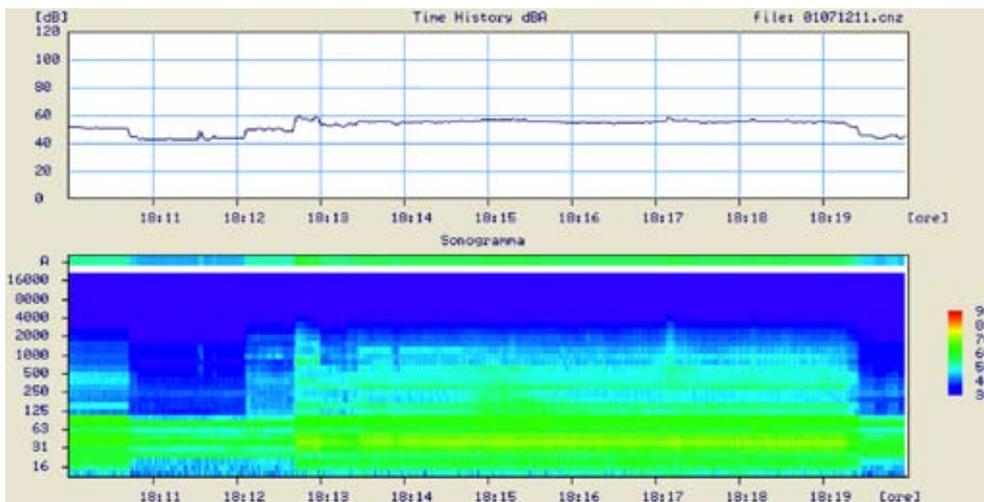


25. Individuazione postazione di misura ALBERONI-SIC1 e posizione indicativa della barriera, alla bocca di porto di Malamocco.

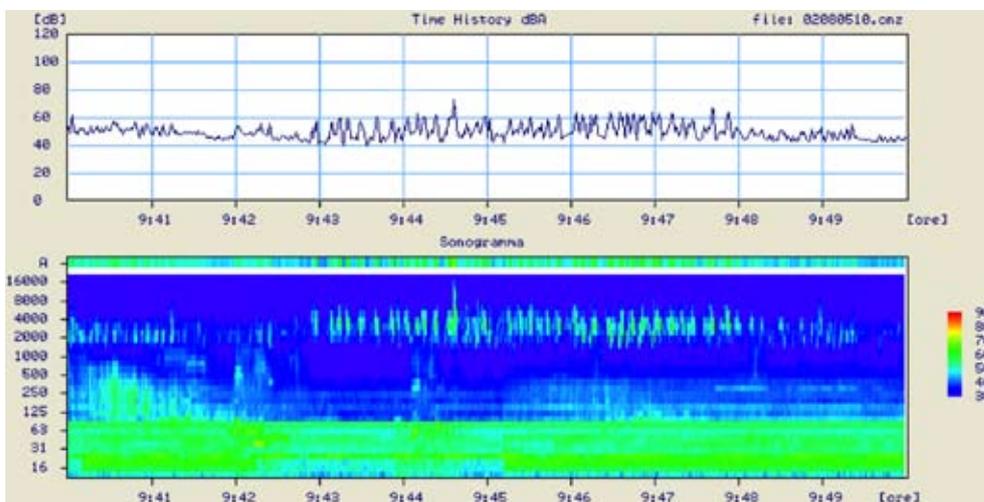
26. Foto della zona di cantiere del cavidotto ad Alberoni. Si possono notare la macchina per la trivellazione orizzontale (al centro), il gruppo idraulico schermato dalla pannellatura fonoassorbente (sulla sinistra) e la barriera acustica (in verde sullo sfondo).



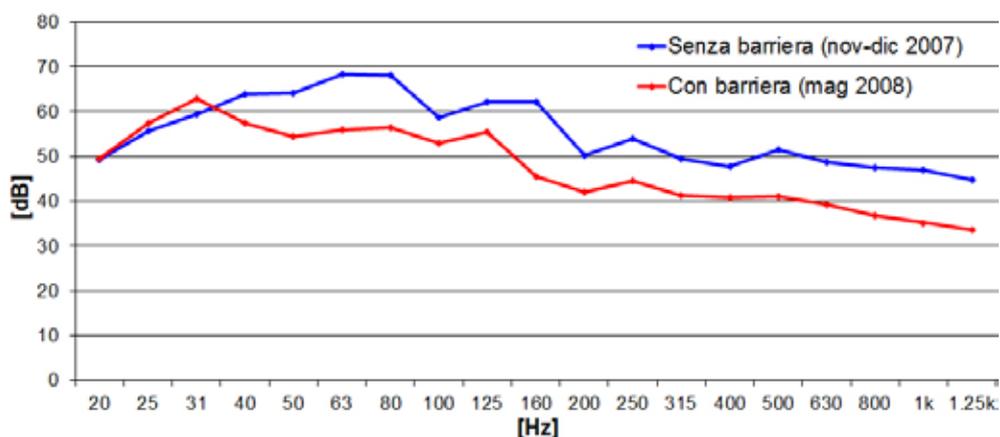
27. Profilo temporale e sonogramma rilevati ad ALBERONI-SIC1 in data 11 dicembre 2007, prima della realizzazione della barriera. Si può notare la fase più rumorosa dell'attività di trivellazione orizzontale tra le 18:13 e le 18:19 circa.



28. Profilo temporale e sonogramma rilevati ad ALBERONI-SIC1 in data 10 maggio 2008, dopo la realizzazione della barriera. Si può notare la fase più rumorosa dell'attività di trivellazione orizzontale, a partire dalle 09:45 circa, e la presenza del canto degli uccelli, caratterizzato da componenti in frequenza comprese tra 1600 e 10000 Hz.



Il confronto era stato effettuato considerando, per ognuna delle giornate monitorate, un intervallo di tempo di 5 minuti rappresentativo della fase di trivellazione più rumorosa, da cui erano stati estrapolati i valori dei livelli sonori al secondo per le frequenze tra 20 e 1250 Hz, escludendo dunque le frequenze superiori, così da rendere le condizioni al contorno il più possibile omogenee. Era stato poi calcolato il livello medio di ogni frequenza dell'intero periodo antecedente



29. Spettro dei livelli medi rilevati nella postazione ALBERONI-SIC1, alla bocca di Malamocco, in assenza (in blu) e in presenza (in rosso) della barriera.

e dell'intero periodo successivo alla realizzazione della barriera, in modo tale da ottenere uno spettro medio (tra 20 e 1250 Hz) dei livelli rilevati nella postazione ALBERONI-SIC1 sia in assenza che in presenza della barriera. I risultati, riportati in figura 29, avevano evidenziato che la realizzazione della barriera aveva comportato un'attenuazione dei livelli sonori di circa 10 dB(A); le attenuazioni più evidenti si erano avute alle bande di 63, 80 e 160 Hz e per le bande tra 500 e 1250 Hz.

Pur non avendo esaminato le frequenze superiori, per la contemporanea presenza del canto degli uccelli, considerando che una barriera acustica ha prestazioni ottimali soprattutto alle frequenze medio-alte, era prevedibile che l'attenuazione per le bande superiori a 1250 Hz fosse stata ancora più elevata.

### Valutazione dell'efficacia degli schermi acustici del dispositivo di battitura pali utilizzato nella bocca di Chioggia

Le misurazioni brevi, effettuate in data 29 agosto, 11 settembre e 23 settembre 2008, e le misurazioni di lungo periodo, eseguite nella postazione CAROMA1 dal 29 agosto al 21 settembre 2008, erano volte a valutare l'efficacia delle schermature acustiche installate nel dispositivo di battitura pali utilizzato nel cantiere operativo presso la spalla nord della bocca di porto di Chioggia, in prossimità dell'Oasi di Ca' Roman (Figura 30).



30. Individuazione delle posizioni di misura "A", "B" e della zona in cui era presente la battitura dei pali, presso la bocca di porto di Chioggia. L'immagine è relativa al periodo in cui era stata effettuata la valutazione, agosto-settembre 2008.

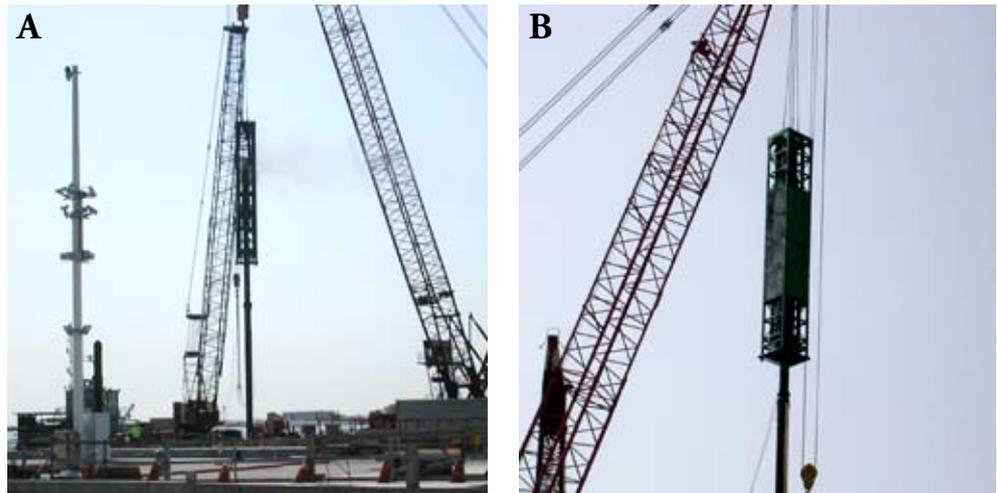
Per le misure brevi effettuate in data 29 agosto e 11 settembre 2008 erano state utilizzate due postazioni di misura, come indicato in Figura 30. Le misure brevi del 23 settembre erano state eseguite in parte nelle stesse postazioni di misura del 29 agosto ed in parte in postazioni diverse, questo perché la macchina battipali era stata spostata verso il centro della bocca di Chioggia di circa 60 m.

Nelle tre giornate in cui sono state eseguite misurazioni brevi il dispositivo di battitura pali si trovava in condizioni acusticamente diverse:

- 29 agosto: la macchina battipali non presentava nessuna schermatura acustica;
- 11 settembre: alla macchina battipali era stata applicata una schermatura acustica (Figura 31);
- 23 settembre: la macchina battipali era stata spostata dalla posizione iniziale e la schermatura presentava una piccola apertura (Figura 32).

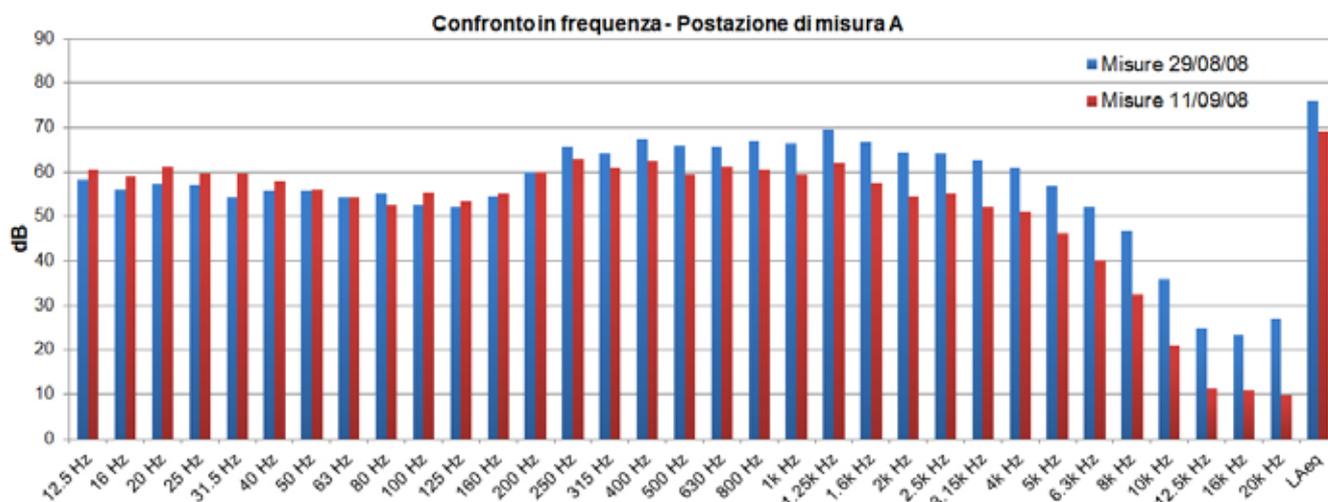
Tra le misure del 29 agosto e quelle del 11 settembre 2008, a parità di distanza, la riduzione del livello equivalente nell'intervallo di battitura risultava piuttosto elevata: tra 6 e 9 dB(A) rispettivamente per le postazioni "A" e "B". Lo stesso effetto della schermatura non era stato invece riscontrato confrontando le misure il 23 settembre, quando era stato osservato un certo peggioramento. Queste differenze erano state determinate sia dalla variabilità delle singole battiture che dalla presenza di un'apertura quadrata sulla schermatura durante le misurazioni del 23 settembre 2008 (figura 32).

31. Foto della macchina battipalo prima (A) e dopo (B) l'installazione della schermatura acustica. Foto scattate, rispettivamente, in data 29 agosto e 11 settembre 2008 presso la bocca di porto di Chioggia.

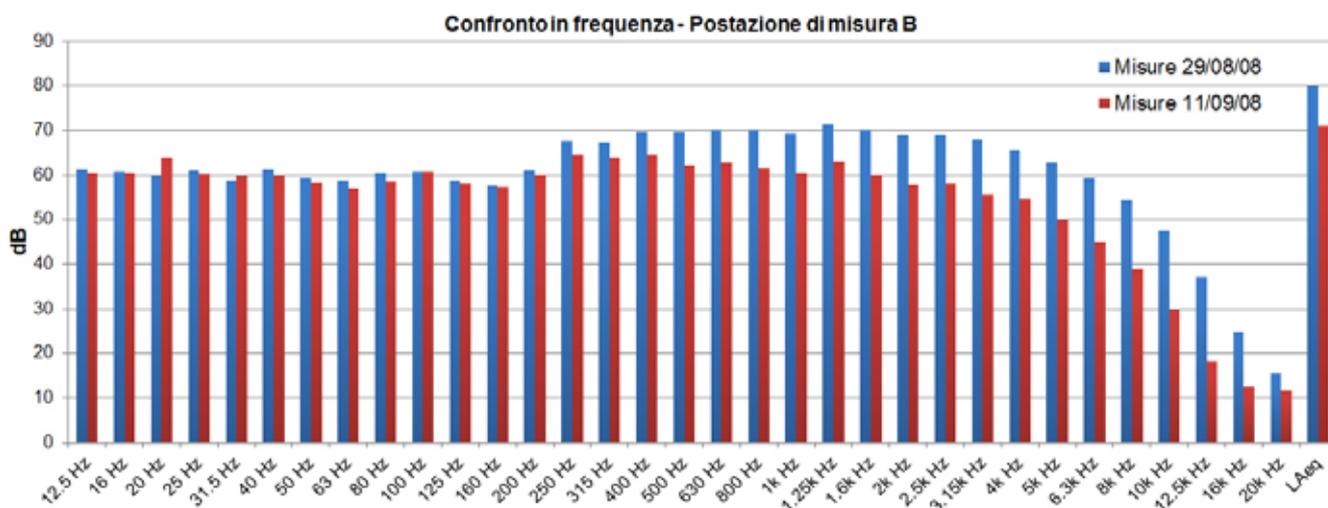


32. Foto della macchina battipalo scattata in data 23 settembre 2008 presso la bocca di Chioggia. Si nota la presenza di un foro di forma quadrata, evidenziato in rosso, sulla schermatura acustica. Il foro era stato inserito per problemi di sicurezza e necessità di controllo visivo.





33. Confronto in frequenza dei livelli misurati nella postazione “A” i giorni 29 agosto (in blu) e 11 settembre (in rosso) 2008 alla bocca di porto di Chioggia.



34. Confronto in frequenza dei livelli misurati nella postazione “B” i giorni 29 agosto (in blu) e 11 settembre (in rosso) 2008 alla bocca di porto di Chioggia.

Eseguendo inoltre un confronto in frequenza sulle misure brevi eseguite il 29 agosto e l’11 settembre 2008 era stato possibile notare come la schermatura avesse avuto un’efficacia molto ridotta alle basse frequenze e via via maggiore verso le alte frequenze (figura 33 e figura 34).

## Considerazioni conclusive

Il monitoraggio del rumore è stato messo in atto fin dall’inizio delle attività di costruzione del MOSE, collocandosi all’interno di una valutazione più completa, che comprende tutte le varie matrici ambientali.

Negli oltre dieci anni di monitoraggio le risorse coinvolte sono state indirizzate soprattutto all'analisi e al controllo delle attività di cantiere più rumorose tenendo conto anche della vicinanza con i ricettori residenziali sensibili e con le aree naturalistiche. Nei primi anni le misurazioni sono state eseguite in un elevato numero di postazioni distribuite su un territorio piuttosto vasto, così da poter valutare sia l'eventuale superamento delle soglie prefissate che l'estensione dell'area impattata, al variare della distanza dalle sorgenti di rumore. Negli anni successivi il numero di postazioni utilizzate è stato ridotto a quelle ritenute maggiormente significative, sia per quanto riguarda i ricettori residenziali che per quanto riguarda le aree naturalistiche, tenendo conto, in quest'ultimo caso, sia della ubicazione dei cantieri che della distanza dalle altre sorgenti; in alcuni casi, per tenere conto della variabilità sul territorio delle principali sorgenti di rumore, sono state aggiunte nuove postazioni di misura.

Nel corso degli anni l'attività di monitoraggio si è sempre più concentrata sulla tutela delle aree naturalistiche di pregio, e meno sulla verifica del superamento delle soglie nei ricettori residenziali. Questa scelta è stata dettata da varie motivazioni che tengono conto sia della progressiva diminuzione delle attività più rumorose eseguite in vicinanza dei ricettori residenziali che come conseguenza della procedura di infrazione da parte dell'Unione Europea, in merito alla tutela dell'avifauna e degli habitat comunitari.

L'evoluzione del monitoraggio del rumore nel corso degli anni, oltre che sulla distribuzione e scelta delle postazioni, si è espletato quindi anche sulla tipologia di verifiche eseguite. Nei primi anni del monitoraggio queste riguardavano principalmente l'applicazione dei criteri previsti dalla legislazione sul rumore ambientale, in particolare il controllo sui *limiti assoluti di immissione ed emissione* per tutti i tipi di ricettori, sulla base della classificazione acustica del territorio, nonché le considerazioni e la stima basate sul *criterio differenziale* per i ricettori residenziali. Negli anni successivi è stato aggiunto dapprima il controllo delle attività rumorose nel momento del "dawn chorus", cioè nella fascia oraria mattutina immediatamente successiva all'alba nel periodo della nidificazione dell'avifauna (15 aprile - 30 giugno), e successivamente (a partire dal 2011) la procedura per la stima di eventuali mascheramenti sul canto degli uccelli determinati dalle attività di cantiere più impattanti.

Nel corso del monitoraggio del rumore sono state eseguite anche valutazioni per la caratterizzazione acustica di specifiche sorgenti sonore e la valutazione dell'efficacia di interventi di mitigazione attuati.

Il monitoraggio acustico di lungo periodo ha permesso un controllo in tempo quasi reale dei livelli di rumore dovuti alle fasi di lavorazione ed ha determinato, nei casi di mancato rispetto delle soglie e degli accordi, l'invio di Rapporti di Anomalia. Come conseguenza le imprese di costruzione hanno spesso modificato l'intensità e gli orari di lavorazione di alcune attività, così da limitare il disturbo ambientale. D'altro canto si è frequentemente riscontrato che le attenzioni da parte delle imprese scattavano solo in presenza delle centraline di monitoraggio del rumore e pertanto si è avuto un importante effetto sentinella e di stimolo.

In conclusione, il monitoraggio ha consentito da una parte di stimolare gli interventi di riduzione del rumore alla fonte, modulando ad esempio le attività giornaliere, dall'altra di inserire delle vere e proprie opere di mitigazione atte a salvaguardare i ricettori sensibili.

Inoltre, partendo dalle registrazioni audio in affiancamento alle misure di lungo periodo e alle misure brevi, sono state caratterizzate sia le attività di cantiere sia gli eventi estranei (come eventi meteo, passaggi di imbarcazioni o sorvoli di aerei) normalmente presenti nelle aree di studio. Le analisi successive hanno permesso di ottenere un database di sonogrammi e spettri in frequenza cui far riferimento per il riconoscimento delle varie attività lavorative e sorgenti estranee.

Alla luce delle analisi condotte in questi dieci anni è emerso che il rumore prodotto dai cantieri del MOSE non sembra aver determinato effetti permanenti rilevanti sulla riduzione della comunità ornitica della zona lagunare (vedere anche Coccon e Baldaccini, 2017).

Per quanto riguarda l'impatto sui ricettori residenziali, il rumore ha sicuramente avuto un effetto di disturbo soprattutto nei primi anni di attività di cantiere, specialmente in prossimità della zona residenziale di Punta Sabbioni. Tale effetto si è anche manifestato con lamentele e proteste da parte della popolazione, dovute sia al rumore che ad altre problematiche come l'emissione di polveri, la perdita di attività turistica, ecc. La realizzazione di una barriera acustica su un tratto del lungomare di Punta Sabbioni, unitamente alla riduzione delle attività più rumorose e alla messa in atto di misure di compensazione, hanno determinato un riequilibrio di posizioni e una riduzione dell'esigenza di eseguire monitoraggi.

In conclusione non si può fare a meno di riconoscere l'assoluta unicità di questa lunga esperienza, con una così corposa quantità di dati raccolti e di analisi prodotte e con una collaborazione scientifica con un così ampio gruppo di esperti, con l'obiettivo comune di ridurre i rischi per l'ambiente e l'ecosistema lagunare determinati dalla realizzazione di una così "grande opera".

## Ringraziamenti

Il monitoraggio è stato svolto dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, con il supporto della società spin-off Materiacustica srl, nell'ambito delle attività di monitoraggio coordinate dal CORILA.

Durante i dieci anni di attività, numerosi colleghi e consulenti hanno collaborato; in particolare, oltre agli autori, si vogliono ringraziare (scusandomi per eventuali dimenticanze): Miguel Ausejo Prieto, Federica Bettarello, Paolo Bonfiglio, Andrea Cerniglia, Andrea Farnetani, Alice Feletti, Nicola Verdolin, Matteo Michelacci, Francesco Pompoli, Nicola Prodi, Massimo Zambello, Sara Zanella, Marco Zanetti.

Un ringraziamento particolare alla direzione e al personale amministrativo e tecnico del Dipartimento di Ingegneria.

## Appendice - Quadro normativo e legislativo

L'attività di controllo del rumore prodotto dalle diverse fasi di cantiere si inserisce in un contesto ben strutturato sia dal punto di vista legislativo che dal punto di vista delle metodologie e strumentazione, sebbene, per alcune specifiche attività di controllo non previste dalla legislazione vigente, le soglie di riferimento e le procedure di attuazione siano state concordate successivamente all'avvio delle attività.

### **Sintesi legislazione europea**

Con la Direttiva 2002/49/CE del 25 giugno 2002 il Parlamento Europeo ha evidenziato l'importanza della tutela delle persone dal rumore ambientale, in particolare nelle zone edificate, nei parchi pubblici, nelle aree rilevanti dal punto di vista storico e naturalistico, nei pressi delle scuole, degli ospedali e di altri edifici e aree particolarmente sensibili al rumore.

L'obiettivo della Direttiva è quella di definire un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, fornendo inoltre una base per lo sviluppo di misure comunitarie di contenimento del rumore generato dalle principali sorgenti di disturbo (traffico e infrastrutture, attrezzature utilizzate all'aperto, macchinari mobili, ecc.).

Nel testo viene sottolineata la necessità di fissare metodi comuni di valutazione del rumore ambientale e una definizione dei valori limite, in base a descrittori armonizzati atti alla determinazione dei livelli sonori. Agli Stati membri è demandato il compito di stabilire concretamente tali valori limite tenendo conto tra l'altro della necessità di applicare il principio della prevenzione per preservare zone silenziose negli agglomerati.

Tra le novità che apporta la Direttiva Europea spiccano la definizione di nuovi parametri descrittori acustici ( $L_{den}$  e  $L_{night}$ ) e l'imposizione della mappatura acustica strategica in determinate zone di interesse, la cui priorità dovrebbe essere oggetto di piani di azione elaborati dalle autorità competenti previa consultazione con il pubblico. In attuazione alla Direttiva Europeo lo Stato Italiano ha promulgato il Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n° 194.

Per quanto riguarda i macchinari in funzione presso i cantieri in cui sono previste le attività alle bocche lagunari, gli stessi sono regolamentati da normativa europea, ovvero devono possedere i requisiti di conformità previsti dalla Direttiva 2000/14/CE e dall'attuativo Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262. Tale Decreto disciplina i valori di emissione acustica, le procedure di valutazione della conformità, la marcatura, la documentazione tecnica e la rilevazione dei dati sull'emissione sonora relativi alle macchine ed alle attrezzature destinate a funzionare all'aperto, al fine di tutelare sia la salute ed il benessere delle persone che l'ambiente.

### **Sintesi legislazione nazionale e regionale**

La legislazione nazionale sul controllo dell'inquinamento acustico fa riferimento sostanzialmente alla legge quadro n° 447 del 26-10-95 e ai suoi decreti attuativi, in particolare al DPCM 14-11-97 sui limiti delle sorgenti sonore.

La legge quadro sull'inquinamento acustico stabilisce “i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico”, stabilendo le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni in termini di determinazione dei criteri e attuazione degli stessi tramite provvedimenti e normative.

La legislazione si basa sul concetto di *classificazione acustica del territorio*, cioè la suddivi-

sione in zone omogenee a diversa destinazione d'uso, a ciascuna delle quali competono diversi valori dei limiti di rumorosità ammissibile.

In presenza di classificazione acustica del territorio sono previsti due diversi tipi di valori limite da applicare:

- *valori limite di emissione*: i valori massimi che possono essere emessi da una sorgente sonora, misurati nell'area circostante la sorgente stessa ed in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità;
- *valori limite di immissione*: i valori massimi emessi dal complesso delle sorgenti sonore considerate, misurate in prossimità dei ricettori. I valori limite di immissione sono distinti in:
  - a) *valori limite assoluti di immissione*, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
  - b) *valori limite differenziali di immissione*, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo; si applicano soltanto all'interno degli ambienti abitativi.

Vengono inoltre definiti anche i seguenti valori dei livelli di rumore:

- *valori di attenzione*: il valore del livello di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente;
- *valori di qualità*: i valori del livello di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge.

I valori limite di emissione, quelli assoluti di immissione, così come i valori di attenzione e qualità sono tabellati in funzione della classe di destinazione d'uso del territorio ed in funzione del periodo diurno o notturno.

I valori limite differenziali di immissione, che si applicano esclusivamente all'interno degli ambienti abitativi, valgono 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno. Tali limiti non si applicano quando il livello di immissione, misurato a finestre aperte, è inferiore a 50 dB(A) di giorno ed a 40 dB(A) di notte, ovvero quando, a finestre chiuse, tali valori sono inferiori rispettivamente a 35 dB(A) diurni e 25 dB(A) notturni. I limiti differenziali non si applicano, tra l'altro, al rumore prodotto dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime.

Le attività di cantiere e tutte le *attività temporanee* sono trattate dalla legislazione in maniera diversa dalle altre sorgenti specifiche. La Legge Quadro prevede, infatti, che per le attività temporanee rumorose siano previste autorizzazioni in deroga ai limiti di immissione previsti dal DPCM 14-11-97. Alle Regioni spetta il compito di fornire le modalità mentre ai comuni compete il rilascio delle autorizzazioni in deroga. In materia di attività temporanee, la Circolare 6 settembre 2004 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, pubblicata sulla G.U. n.217 del 15-9-2004, prevede che: "Premesso che spetta alle Regioni, ai sensi dell'art. 4 della legge n. 447/1995, disciplinare le modalità di rilascio delle autorizzazioni comunali per lo «svolgimento di attività temporanee e di manifestazioni in luogo pubblico o aperto al pubblico qualora comportino l'impiego di macchinari o di impianti rumorosi», si ritiene tuttavia opportuno, ai fini di un più omogeneo trattamento della questione, che per quanto riguarda tali attività, la richiesta di deroga all'autorità competente sia effettuata sulla base di apposita valutazione di impatto acustico dei seguenti valori limite assoluti di immissione: diurni, notturni (qualora, ai fini della tutela della popolazione nella condizione che risulta essere la più fastidiosa, non sia possibile sospendere l'attività temporanea notturna), nonché dei valori limite differenziali, fatta salva comunque la verifica del rispetto dei limiti previsti dalla deroga stessa".

La circolare del 6-9-2004 prevede, quindi, che la deroga debba essere richiesta sia per i limiti assoluti che per i limiti differenziali.

La deroga va richiesta al Sindaco del comune in cui si svolge l'attività temporanea.

La richiesta di autorizzazione in deroga non è un atto obbligatorio ma diventa indispensabile quando si prevede che l'attività di cantiere determini un superamento dei limiti. La richiesta va effettuata in anticipo rispetto all'apertura del cantiere.

Le modalità di richiesta delle autorizzazioni in deroga, come visto, dipendono dalle regioni e dai comuni interessati. La concessione della deroga ai limiti previsti dal DPCM 14-11-97, non significa che l'attività del cantiere può essere svolta senza limiti sulle emissioni rumorose. Saranno i comuni a stabilire le modalità, i tempi, gli orari, e i livelli sonori da rispettare.

La legge regionale Veneto n. 21 del 10 maggio 1999 "Norme in materia di inquinamento acustico", in merito alle emissioni sonore da attività temporanee (articolo 7) prevede che:

1. "Il comune può, ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera h) della legge n. 447/1995, autorizzare deroghe temporanee ai limiti di emissione, qualora lo richiedano particolari esigenze locali o ragioni di pubblica utilità. Il provvedimento autorizzatorio del comune deve comunque prescrivere le misure necessarie a ridurre al minimo le molestie a terzi e i limiti temporali di validità della deroga."
2. "Nei cantieri edili i lavori con macchinari rumorosi sono consentiti dalle ore 8.00 alle ore 19.00, con interruzione pomeridiana individuata dai regolamenti comunali, tenuto conto delle consuetudini locali e delle tipologie e caratteristiche degli insediamenti."

L'articolo 81 della Legge Regionale n. 11 del 13 aprile 2001 stabilisce alla lettera c) del comma 1 che è funzione specifica dell'ARPAV predisporre i criteri da osservare per la predisposizione della documentazione di impatto acustico, ai sensi del l'articolo 4, comma 2, lett. d) della legge regionale 10 maggio 1999, n. 21.

Con la Delibera del Direttore Generale ARPAV, DDG n. 3 del 29.01.2008, sono stati approvati due documenti:

1. "Definizioni ed Obiettivi generali per la realizzazione della documentazione in materia di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della LQ n. 447/1995";
2. "Linee guida per la elaborazione della documentazione di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della LQ n. 447/1995".

Nel primo dei documenti sopra elencati si fa riferimento anche a valutazioni specifiche di impatto acustico su ecosistemi o su singole specie biologiche, prevedendo l'uso di "parametri e metodi di valutazione diversi, basati sulle più aggiornate conoscenze scientifiche in materia".

Il secondo documento indica le modalità della stesura di una relazione di Valutazione di Impatto Acustico per varie tipologie di sorgenti rumorose, tra cui anche attività produttive temporanee o permanenti.

### **Valori limite per i siti in esame in assenza di deroga**

Sulla base della legislazione vigente e della presenza o meno di classificazione acustica al momento dell'esecuzione dei monitoraggi, nelle aree interessate dalla rumorosità prodotta dalle attività cantieristiche alle bocche di porto sono stati considerati i limiti di seguito riportati. All'interno delle abitazioni, a finestre aperte e chiuse, valgono inoltre i limiti differenziali pari a 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno.

*Punta Sabbioni, comune di Cavallino-Treporti*

In assenza di classificazione, sul suo territorio sono stati considerati i limiti provvisori riportati nel DPCM 1-3-91 e confermati anche nel DPCM 14-11-97.

Zonizzazione Urbanistica	Limite diurno L <sub>Aeq</sub> dB(A)	Limite notturno L <sub>Aeq</sub> dB(A)
Tutto il territorio nazionale	70	60

*Aree prospicienti le bocche lagunari, comune di Venezia*

Il comune di Venezia ha adottato la classificazione acustica e quindi sono stati considerati sia i *limiti di emissione* che i *limiti di immissione* relativi alle diverse classi acustiche. Molte delle aree lagunari sono classificate in *classe I* poiché zone naturalistiche protette o aree di pregio particolare. In queste aree i limiti assoluti sono i seguenti:

CLASSE I	Limite diurno L <sub>Aeq</sub> dB(A)	Limite notturno L <sub>Aeq</sub> dB(A)
Limiti di immissione	50	40
Limiti di emissione	45	35

*Aree prospicienti la bocca di Chioggia, comune di Chioggia*

Il comune di Chioggia ha adottato la classificazione acustica e quindi sono stati considerati sia i *limiti di emissione* che i *limiti di immissione* relativi alle diverse classi acustiche. In prossimità della bocca di Chioggia ci sono aree classificate in *classe I* ed aree classificate in *classe II*.

Per la classe I valgono i seguenti limiti assoluti:

CLASSE I	Limite diurno L <sub>Aeq</sub> dB(A)	Limite notturno L <sub>Aeq</sub> dB(A)
Limiti di immissione	50	40
Limiti di emissione	45	35

Per la classe II valgono i seguenti limiti assoluti:

CLASSE II	Limite diurno L <sub>Aeq</sub> dB(A)	Limite notturno L <sub>Aeq</sub> dB(A)
Limiti di immissione	55	45
Limiti di emissione	50	40

**Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21.12.2001, n. 443), Commissione VIA, rev. 1 del 4 settembre 2003 - rumore**

Le Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21.12.2001, n. 443), predisposte dalla Commissione Speciale di Valutazione di Impatto Ambientale (Rev. 1 del 4 settembre 2003), riportano prescrizioni sulla modalità di esecuzione dei monitoraggi, sulle caratteristiche delle apparecchiature, sui requisiti da controllare, sui tempi di misura e sulla distribuzione spaziale delle postazioni. Per quanto riguarda la fase *ante operam*, le Linee Guida stabiliscono che

il PMA deve prevedere il rilevamento di un adeguato scenario di indicatori acustici atti a rappresentare lo “stato di bianco”, cui riferire l’esito dei successivi monitoraggi. Nella fase in corso d’opera, si prescrive inoltre che il PMA deve prevedere il controllo dell’evolversi della situazione ambientale, al fine di verificare che la dinamica dei fenomeni acustici sia coerente rispetto alle previsioni del SIA, il controllo delle emissioni acustiche delle lavorazioni e dei traffici indotti dal cantiere al fine di evitare il manifestarsi di emergenze specifiche o di adottare eventuali misure integrative di mitigazione degli impatti. Con riferimento alla fase *post operam*, si stabilisce che il PMA deve prevedere la verifica degli impatti acustici intervenuti nelle fasi di pre-esercizio ed esercizio dell’Opera, l’accertamento della reale efficacia degli eventuali provvedimenti posti in essere per garantire la mitigazione dell’impatto acustico sia sull’ambiente antropico circostante, sia sull’ambiente naturale, la predisposizione di eventuali nuove misure per il contenimento del rumore aggiuntive a quelle previste nel SIA. Viene stabilito che il riferimento per tutte le attività di monitoraggio deve essere il rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente e, pertanto, la loro articolazione temporale deve essere orientata a fornire dati confrontabili con i limiti della normativa, diurni e notturni, e in funzione della tipologia dell’Opera. L’individuazione delle aree sensibili in cui realizzare i monitoraggi deve essere effettuata sulla base delle caratteristiche del territorio in cui si propaga il rumore originato dall’Opera (orografia del terreno, presenza di elementi naturali o artificiali schermanti, presenza di condizioni meteorologiche favorevoli), delle caratteristiche geometriche, tipologiche e di emissione della sorgente in esame, della classificazione acustica del territorio interessato, prestando la massima attenzione alla presenza di centri abitati e ai ricettori sensibili di classe I. Le tipologie di postazioni devono quindi permettere la verifica del rispetto dei limiti assoluti di zona in facciata agli edifici, la verifica delle emissioni sonore nei punti di controllo appositamente scelti nell’ambiente esterno e la verifica dei limiti differenziali all’interno delle abitazioni nei casi della loro applicabilità (specie nella fase di cantiere).

## Bibliografia

- Circolare 6 settembre 2004, “Interpretazione in materia di inquinamento acustico: criterio differenziale e applicabilità dei valori limite differenziali”.
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n° 194.
- Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262.
- Delibera del Direttore Generale ARPAV, DDG n. 3 del 29 gennaio 2008.
- Direttiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell’8 maggio 2000 sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l’emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all’aperto.
- Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- Direttiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 novembre 2009 concernente la conservazione degli uccelli selvatici.
- Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche.
- DPCM 14 novembre 1997 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”.
- Legge Regionale 9 dicembre 1993, n. 50 “Norme per la protezione della fauna selvatica e per il prelievo venatorio”.
- Legge Regionale Veneto n. 11 del 13 aprile 2001.
- Legge Regionale Veneto n. 21 del 10 maggio 1999, “Norme in materia di inquinamento acustico”.
- Baldaccini E., Campostrini P., Coccon F., Dabalà C., Fausti P., Santoni A., Soldatini C. (2014) Birds and noise: the Mose yards case (lagoon of Venice, Italy). Proceedings of Fifth International Symposium: Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: problems and measurement techniques, Livorno (Italy) 17-18-19 June 2014, Edited by: Fabrizio Benincasa, published by: CNR-IBIMET December 2014, ISBN: 978-88-95597-19-5.
- Berretti C.A., Garavoglio S., Masoero M. (2004) Acustica biocentrica: un nuovo percorso per la verifica di impatto acustico delle aree naturali, Atti del 31° Convegno Nazionale AIA. Venezia, 5-7 maggio 2004.
- Campostrini P., Dabalà C. (2017) Una visione olistica, multidisciplinare ed integrata per il Piano di monitoraggio della costruzione del MOSE. In “Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia”, P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA.
- Coccon F., Baldaccini E. (2017) Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE. In “Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia”, P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA.
- Dooling R. J., Popper A. N. (2007) The effects of highway noise on birds. Environmental BioAcoustic LLC.
- Fausti P., Campostrini P., Dabalà C., Caniato M., Guerra M. C., Santoni A., Zuccherini Martello N. (2016) Noise generated from large construction sites: Measurements and possible mitigations. Proc. of the 22nd International Congress on Acoustics, Buenos Aires – 5 to 9 September, 2016.
- Lohr B., Wright T.F. & Dooling R. J. (2003) Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of a signal. Animal Behaviour, 65, 763–777.

Wood W.E., Yezerinac S.M. (2006) Song sparrow (*Melospiza Melodia*) song varies with urban noise. The American Ornithologists' Union.

World Health Organization (WHO) (1999) Guidelines for Community Noise, Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela (eds), Geneva.

## Summary

Noise generated from activities in construction sites is usually considered, within environmental noise legislation, as a specific case, together with other temporary activities. The Italian legislation allows for the introduction of a waiver with respect to the standard noise limit values. When the duration of the activities and the areas involved in the construction sites are very large and the type and localisation of the noisiest activities change in time, it is very difficult to find a simple procedure to apply the waiver. It is also important to evaluate differently the situation in which the noisy activities affect the population in residential areas from those cases in which the sites are close to protected natural areas, with a possible impact on birds and other animals. Therefore, it is necessary to carry out specific procedures to guarantee that the noise levels remain below the thresholds adopted for the various situations.

In the case of the construction of a mobile barrier system for the safeguard of the city of Venice from intruding tidal waters, a monitoring plan was organised and performed. The noise problems related to the construction sites has been an important part of the monitoring plan, although smaller with respect to other potential impact.

Since the early beginning of the construction activities, at the end of 2004, noise emission monitoring was conducted in order to evaluate the noise disturbance in some of the residential buildings close to the sites and also to evaluate possible effects on the presence of bird communities in the surrounding areas.

Noise monitoring was carried out during the construction activities considered to be the noisiest and most disturbing. Long term (minimum one week) noise monitoring was undertaken on the most sensitive positions. The measurement stations were equipped with a GSM modem for remote connection, with a data transmission system in order to provide real time visualization of the monitoring.

In addition to the long period surveys scheduled by the agreements, additional measurements were occasionally made at various distances from noise sources, in order to evaluate the noise propagation of the activity and the noise levels induced on the surrounding areas in order to have a better understanding of the sources responsible for exceeding the noise threshold and the dimension of the affected areas.

The results of the long term noise monitoring permitted different types of verifications. The first was related to the reference period levels which were compared with the allowed limits; daily reports were produced and in occurrence of levels above the limit, formal advisory warnings were issued. In those cases in which measurements were made in residential buildings, the differential limits were also evaluated. The second was related to the verification of the noisy activity in the time intervals agreed for the protection of the nesting period of the birds. The third verification was introduced to improve the process of identifying critical situations that could create disturbance or impact on birds. The procedure consisted of two phases; a first checking phase of the noise levels due to the construction site at intervals of 30 minutes, by calculating the corresponding level in dB(A) and comparing the obtained value with the limit value adopted of 60 dB(A). In case this value was exceeded, in the second phase the sound spectrum of construction activities and the sound spectrum of the birdsong were compared in order to verify possible masking effects on intelligibility of the latter.

Many different activities were monitored during more than ten years of construction. The pile driving and the horizontal drilling of cable ducts were arguably among the noisiest, the first for its intensity and duration, the second for its duration and its proximity to the natural protected areas.

Having defined the pile driving activity as the most significant from the standpoint of noise emission and considering the number of piles to be inserted (approximately 1500

for every inlet), an attempt to reduce noise emission was made by the construction company. The dimension of the machinery was very large and the starting height of the hammering did not permit the possibility to reduce the noise on the propagation paths. The only possibility was to intervene directly on the structure of the machinery, very close to the driving hammer, using an enclosure to encapsulate the main impact noise source. The first results were satisfying, considering a noise mitigation of almost 10 dB(A). After the first application, for safety reasons, part of the enclosure needed to be opened, to permit visibility and avoid creating a fire hazard. Therefore, the following experimental measurements show a reduction of 5-6 dB(A).

Regarding the horizontal drilling activity, the realization of a noise barrier gave a noise mitigation of approximately 10 dB(A). This result was considered positive, taking into account that the noise was mainly at the low-medium frequency bands and that the activity was performed using different machineries distributed in quite a large area.



# Valutazione dell'impatto atmosferico della costruzione del MOSE

## *Atmospheric impact assessment of the MOSE construction*

Franco Belosi, Daniele Contini, Daniela Cesari, Elena Elvini, Andrea Gambaro, Elisa Morabito

### Introduzione

La laguna di Venezia è soggetta a diverse fonti di inquinamento atmosferico dovute ad emissioni provenienti da attività industriali, impianti per la produzione di energia elettrica, impianti petrolchimici, termovalorizzatori, riscaldamento domestico, emissioni da traffico marittimo e terrestre (trasportate dalla terraferma) ed emissioni provenienti dalla lavorazione del vetro.

La costruzione delle barriere mobili alle bocche della laguna di Venezia (MOSE) rappresenta una ulteriore potenziale pressione, per le emissioni dovute ai mezzi off-roads terrestri e marittimi, per la movimentazione di terreno e pietrame e per il sollevamento di polveri, nelle aree di cantiere, dovuto all'azione del vento.

Al fine di valutare l'eventuale impatto atmosferico dovuto alle attività di costruzione delle barriere mobili, è stato predisposto ed attuato un articolato Piano di monitoraggio che nel corso degli anni si è modificato sulla base delle lavorazioni svolte e dei risultati acquisiti.

La strategia di monitoraggio ha preso in esame gli inquinanti individuati dalla legislazione europea ed italiana come indicatori della qualità dell'aria (DM 60 del 2002 e D.Lgs. 155/2010).

Nello specifico gli inquinanti oggetto del monitoraggio sono stati:  $PM_{10}$  (cioè il particolato con dimensioni inferiori a  $10 \mu m$ ) e la sua composizione elementare, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sia in fase gassosa che particellata, i gas  $NO_x$ ,  $NO_2$  e CO. L'attività di monitoraggio si è estesa inoltre alla raccolta delle deposizioni atmosferiche.

La figura 1 riporta la dislocazione alle tre bocche di porto delle stazioni di misura per i diversi inquinanti considerati.

La strategia di elaborazione dei dati acquisiti si è basata sul confronto dei risultati delle misure svolte in campo con i valori legislativi di riferimento, con valori di soglia ottenuti da elaborazioni svolte in assenza di attività cantieristiche e per mezzo di correlazioni con i parametri meteorologici. Inoltre, la comparazione fra i dati acquisiti ed i parametri meteorologici (principalmente direzione e velocità del vento) ha costituito una analisi molto importante ai fini della individuazione di eventi di pressioni ambientali dovuti alle attività cantieristiche piuttosto che alle condizioni generali di inquinamento presenti in laguna.

In aggiunta alle misure puntuali, un ulteriore strumento per valutare l'impatto sulla qualità dell'aria delle attività dei cantieri è consistito nell'utilizzo di tecniche di modellazione mediante la applicazione di un modello numerico di dispersione di inquinanti in atmosfera.



1. Stazioni di monitoraggio alle bocche di porto di A) Lido, B) Malamocco, C) Chioggia.  
 Immagine aerea da Google Earth.

## Materiali e metodi

Lo schema generale della procedura di elaborazione dei dati acquisiti con misure sperimentali puntuali è stato così caratterizzato:

- confronto delle concentrazioni medie di un dato inquinante fra periodi di attività cantieristica e periodi di assenza di lavorazioni (giorni festivi, ferie, ecc.);
- correlazioni fra le concentrazioni degli inquinanti e le condizioni meteorologiche (intensità e direzione del vento) al fine di identificare le sorgenti responsabili;
- confronto con i valori obiettivo e valori limite previsti dalla legislazione vigente e con soglie elaborate all'interno della attività di monitoraggio e riviste periodicamente.

Di seguito vengono descritti in dettaglio i materiali ed i metodi utilizzati per i singoli parametri rilevati e per la tecnica di modellazione impiegata.

### Monitoraggio del $PM_{10}$

Il  $PM_{10}$  rappresenta la frazione di particolato atmosferico con dimensioni inferiori a 10  $\mu m$  ed ha una elevata probabilità di essere inalato e quindi di penetrare all'interno delle vie respiratorie. Diversi studi epidemiologici riportano correlazioni fra le concentrazioni di  $PM_{10}$  e la frequenza di effetti sanitari negativi (Pope and Dockery, 2006; Aphekom 2011). Per questo, a partire dal 1994 (DM 25/11/94), la legislazione italiana sulla qualità dell'aria ha introdotto l'obbligo di monitorare il  $PM_{10}$  in sostituzione delle polveri totali sospese.

La frazione di particolato  $PM_{10}$  è stata monitorata in tempo reale a Punta Sabbioni, da dicembre 2004 ad aprile 2013, per mezzo di un campionatore basato sulla diffusione della luce da parte delle polveri campionate (LSPM10, Unitec, Ferrara, Italy, figura 2).

Il sistema di campionamento è costituito da una pompa che aspira l'aria alle portate e alle condizioni previste dalla legislazione italiana (DM 60, 2002 e D.Lgs. 155/2010) permettendo la determinazione, per mezzo della tecnica gravimetrica, del contenuto di polveri  $PM_{10}$  sul filtro. Prima di raggiungere il filtro le particelle percorrono una camera di misura attraversata da un fascio di luce bianca; l'interazione della radiazione luminosa con il particolato aerosospeso provoca un segnale diffuso che viene elaborato e conver-



2. Stazione di monitoraggio del  $PM_{10}$  a Punta Sabbioni (Circolo Vela).



3. Stazioni di monitoraggio del PM<sub>10</sub> lungo la strada dei Murazzi (A), e presso le abitazioni (B).

tito in una concentrazione di aerosol. La centralina fornisce una concentrazione media oraria di PM<sub>10</sub> con la possibilità di accedere al dato non elaborato di concentrazione di particolato alla frequenza di una misura ogni 6 minuti.

A fianco del campionatore di particolato è stata posizionata una stazione meteorologica (MET 3000R) equipaggiata con sensori standard (direzione e velocità del vento, temperatura, pressione ed umidità dell'aria). I valori orari medi acquisiti sono disponibili sia su computer che on line.

Sono state considerate per il PM<sub>10</sub> tre diverse soglie di riferimento: il valore limite legislativo di 50 µg m<sup>-3</sup> come concentrazione media giornaliera; una soglia di concentrazione media oraria ottenuta dalle concentrazioni in assenza di attività lavorative nel periodo temporale dalle ore 8 alle ore 20 (soglia diversa per i mesi invernali ed estivi); una soglia per il sollevamento eolico, ottenuta dalle concentrazioni medie misurate prima dell'inizio delle attività cantieristiche in condizioni di vento con velocità superiori a 4 m s<sup>-1</sup> e vento proveniente dalla spiaggia di Punta Sabbioni.

Al fine di monitorare eventuali rilasci di breve durata (anche inferiori all'ora) di polveri PM<sub>10</sub> dalle aree di cantiere verso recettori sensibili (centri abitati, case di cura, ristoranti, ecc) sono state svolte delle campagne di misura su base mensile (un campionamento della durata di due/tre giorni al mese) alternando la bocca di Lido con quella di Malamocco, con due centraline mobili funzionanti in parallelo (Dust Track, TSI), anche esse basate sulla diffusione della luce. Le misure sono state svolte nel periodo compreso tra maggio 2006 ed aprile 2011. Lo schema generale di misura prevedeva il posizionamento di una centralina all'interno di uno dei cantieri mentre la seconda nei pressi dei recettori sensibili.



4. Dust Track all'interno del cantiere (A) e presso la casa di cura Santa Maria del Mare (B).

La figura 3 mostra un caso particolare di impiego delle centraline mobile lungo la strada dei Murazzi sull'isola di Pellestrina, nel centro abitato, per determinare il contributo di  $PM_{10}$  alle abitazioni presenti lungo la strada, dovuto al passaggio di mezzi pesanti impiegati nel cantiere del MOSE (MAG.ACQUE-CORILA, 2009).

La figura 1 mostra la posizione delle centraline per la misura della concentrazione di  $PM_{10}$  a Malamocco. La stazione POLV16 è collocata all'interno del cantiere, mentre l'altra stazione (POLV15) è situata vicino alla casa di cura Santa Maria del Mare (figura 4: sulla sinistra POLV15 e sulla destra POLV16).

### **Composizione elementale del $PM_{10}$**

Studi sperimentali, sia in vitro che in vivo, hanno evidenziato effetti dannosi per la salute umana dovuti alla presenza di Cadmio, Nichel, Arsenico e Piombo nel particolato inalato (Air Quality in Europe, 2013). Per questo motivo la normativa prevede di misurare il contenuto dei metalli pesanti nel  $PM_{10}$ . La presenza di specifici elementi, oltre a identificare il rischio per la salute umana, può contribuire ad identificare le sorgenti di  $PM_{10}$  (Querol *et al.*, 2004; Contini *et al.*, 2012).

I campionamenti di  $PM_{10}$  per la determinazione della sua composizione elementale (in particolare di metalli pesanti) sono stati periodicamente svolti alle tre bocche della laguna: Chioggia, Malamocco e Punta Sabbioni.

I tre siti di campionamento, ubicati nei pressi dei rispettivi cantieri del MOSE, risultano approssimativamente allineati lungo la direttrice NNE-SSW e distanziati l'uno dall'altro circa 12 km (figura 1). I campioni giornalieri sono stati raccolti dal 2007 al 2014 in diverse campagne di misura (generalmente della durata di due settimane ciascuna), distribuite fra la stagione invernale (gennaio/febbraio) e quella estiva/autunnale (settembre/ottobre) di ciascun anno di monitoraggio.

I campionamenti sono stati svolti utilizzando centraline sequenziali (16 filtri di capacità a basso volume (Skypost PM-TCR Tecora) alla portata di  $2.3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (figura 5). Le polveri sono state raccolte su filtri in fibra di quarzo Sartorius (diametro 47 mm) preventivamente decontaminati in laboratorio, secondo la procedura descritta da Capodaglio *et al.* (1994) e Buccolieri *et al.* (2005), e prepesati con bilancia analitica (risoluzione  $\pm 10 \mu\text{g}$ ). Dopo il campionamento i filtri (compresi i bianchi di campo) sono stati nuovamente pesati per la determinazione gravimetrica e successivamente analizzati per la determina-



5. Campionatore sequenziale di  $PM_{10}$  utilizzato nei monitoraggi del MOSE.

zione degli elementi inorganici.

Le concentrazioni di Vanadio (V), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Nichel (Ni), Rame (Cu), Zinco (Zn), Arsenico (As), Molibdeno (Mo), Cadmio (Cd), Antimonio (Sb), Tallio (Tl) e Piombo (Pb) nel  $PM_{10}$  sono state determinate mediante spettrometria di massa (ICP-QMS, Agilent 7500I) presso l'Istituto di Dinamica dei Processi Ambientali del CNR (IDPA-CNR, Venezia).

Anche se il monitoraggio non è stato effettuato continuativamente nell'anno per motivi di carattere logistico ed economico, i valori obiettivo di Ni, As, Cd e il valore limite per il Pb, indicati nei decreti DM 60 e D.Lgs 155/2010, sono stati considerati come valori di riferimento. Al fine di evidenziare eventuali contributi dovuti alle attività cantieristiche sono state confrontate le medie giornaliere relative ai periodi di attività con quelle dei periodi di sospensione dei cantieri stessi.

### **Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)**

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici sono composti ad alto peso molecolare. La pericolosità di alcuni IPA deriva dalla loro semi-volatilità che li rende particolarmente mobili attraverso le varie matrici ambientali. Il particolato atmosferico per la sua elevata superficie specifica presenta una elevata capacità di adsorbimento degli IPA. L'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha fino ad ora classificato 48 diversi IPA come probabili o possibili cancerogeni per l'uomo (IARC, 2009).

Gli IPA sono stati raccolti per mezzo di un campionatore ad alto volume (AirFlowPUF, Tish Environmental Inc., Village of Cleves, OH) che permette di separare la fase gassosa e la fase aerosol (figura 6). Quest'ultima viene raccolta su filtri in fibra di quarzo (QFF) della porosità di 1  $\mu m$  e del diametro di 102 mm (SKC Inc.), mentre la fase gassosa è raccolta su una spugna in poliuretano (PUF) dello spessore di 75 mm e diametro di 65 mm (SKC Inc.). Il sistema di campionamento mantiene una portata costante di  $0.3 m^3 min^{-1}$ . L'estrazione degli IPA dai PUF e dai filtri è stato effettuato presso il Centro Studi Microinquinanti Organici (CSMO) di Voltabarozzo (Pd), utilizzando il metodo EPA 8270 D.

Il campionamento degli IPA è stato effettuato per un periodo di 10 anni, da novembre 2005 a novembre 2014, nei siti PAH1 a Punta Sabbioni e PAH2 a Malamocco (figura 1). Ogni anno sono state svolte 2-3 campagne, della durata di 14 giorni, a seconda delle



6. Campionatore ad alto volume per gli IPA a Malamocco.

attività cantieristiche in atto. Durante ogni campagna sono stati raccolti 8 filtri (48/72 ore di campionamento ciascuno). Dato che le concentrazioni degli IPA in atmosfera seguono un andamento stagionale, con valori più elevati nei periodi freddi dell'anno per le emissioni da riscaldamento domestico, e la loro ripartizione fra la fase gassosa e quella particellata è dipendente dalla temperatura atmosferica, le campagne di misura sono state condotte sempre negli stessi periodi dell'anno: in settembre e gennaio/febbraio a Malamocco, in novembre e febbraio a Punta Sabbioni. A partire dal mese maggio 2014 la concentrazione di IPA è stata misurata soltanto presso il cantiere di Malamocco poiché l'attività cantieristica a Punta Sabbioni era notevolmente ridotta.

La legislazione nazionale (D.Lgs. 155/2010) stabilisce un valore obiettivo annuale per il Benzo(a)Pyrene (BaP) nella frazione  $PM_{10}$  di  $1 \text{ ng m}^{-3}$ . Dato che all'inizio del monitoraggio era stato previsto di controllare la concentrazione di BaP nel particolato totale, e non nel  $PM_{10}$ , si è deciso di non modificare lo schema di misura per favorire la continuità storica dei dati acquisiti. La misura di BaP nel particolato totale risulta inoltre più conservativa rispetto alla determinazione del contenuto di BaP nel solo  $PM_{10}$ .

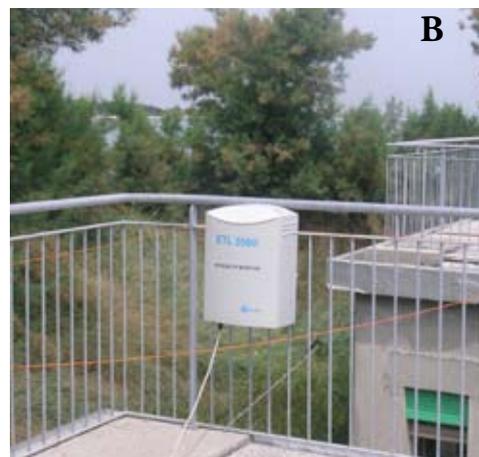
I valori ottenuti per il BaP sono stati confrontati con le concentrazioni medie mensili ottenute da ARPAV nelle stazioni di Circonvallazione e Bissuola: è stata utilizzata la concentrazione media mensile del mese nel quale sono stati effettuati i campionamenti per il monitoraggio dei cantieri del MOSE in considerazione della forte dipendenza degli IPA dalla temperatura dell'atmosfera.

### Composti gassosi

Il D.Lgs. 155/2010 prevede anche il monitoraggio di composti gassosi, fra i quali:

- il biossido di azoto ( $NO_2$ ), il cui valore limite orario di  $200 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$  non può essere superato più di 18 volte/anno e il valore limite annuale deve essere pari a  $40 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ;
- il monossido di carbonio (CO), il cui valore limite di  $10 \text{ mg m}^{-3}$  va inteso come media massima giornaliera (su 8 ore);
- gli ossidi di azoto ( $NO_x$ ), il cui valore limite per la vegetazione è pari a  $30 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$  all'anno.

I campionamenti di questi composti gassosi, dovuti alle emissioni dei mezzi navali e terrestri ma anche alle emissioni industriali, sono stati effettuati utilizzando un sensore a stato solido a film sottile (ETL2000, Unitech srl, Ferrara) che permette una risoluzione temporale oraria (figure 1 e 7). I dati sono stati raccolti da maggio 2006 ad aprile 2014, con cadenza mensile (una settimana di campagna di misura), presso Punta Sabbioni e Malamocco.



7. Centralina per la misura dei gas. Punta Sabbioni (A) e Malamocco (B).

La validità dei dati acquisiti è stata verificata considerando la soglia minima di rilevanza dei sensori utilizzati, cioè  $0.1 \text{ mg m}^{-3}$  per CO,  $10 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$  per NO<sub>x</sub> e  $5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$  per NO<sub>2</sub>. I valori di concentrazione ottenuti sono stati confrontati con i valori limite previsti dalla legislazione vigente per ogni singolo composto (D.Lgs. 155/2010). Anche in questo caso, sono stati confrontati i valori di concentrazione dei diversi composti misurati nei giorni lavorativi (dalle 8 alle 20) con i valori di concentrazione misurati nei periodi di inattività degli stessi giorni (dalle 21 alle 7 di ogni giorno), nei giorni festivi e durante le ferie.

## **Deposizioni atmosferiche**

Al fine di verificare eventuali ricadute di inquinanti, organici ed inorganici, sui terreni circostanti i cantieri, si sono monitorate le deposizioni atmosferiche.

Sono stati utilizzati deposimetri passivi, posizionati ad un metro dal suolo, composti da due contenitori: uno in polietilene per i composti inorganici e l'altro in vetro per i composti organici (figura 8). Prima della raccolta, il contenitore in polietilene è stato ripetutamente lavato con acqua Milli-Q al 2% di acido nitrico (HNO<sub>3</sub> Suprapure), mentre quello in vetro è stato pulito con solventi organici. Al termine del periodo di raccolta le quantità depositate sono state versate in contenitori di polietilene a bassa densità (LDPE) per i composti inorganici e in vetro per i composti organici. Le quantità raccolte sulle pareti sono state lavate e filtrate su filtri in nitrato di cellulosa (contenitore inorganici) o su filtri in fibra di quarzo (contenitore organici).

La raccolta delle deposizioni atmosferiche è avvenuta per un periodo di 5 anni, da giugno 2005 a marzo 2010. Sono state effettuate due campagne all'anno (giugno-ottobre e dicembre-marzo) ed in ciascuna sono stati ottenuti tre campioni, la cui raccolta è durata un mese ciascuno. Complessivamente sono stati raccolti più di cento campioni in sei diversi siti delle bocche di porto della laguna. La figura 1 mostra la posizione della raccolta delle deposizioni atmosferiche: i deposimetri D1-D4 sono stati posizionati presso la bocca di Lido, D5 presso Malamocco e D6 a Chioggia.

Per studiare eventuali contributi dovuti al cantiere ed il loro andamento spaziale, presso Punta Sabbioni sono stati posizionati quattro deposimetri a diverse distanze dal cantiere: il deposimetro D1, posizionato all'interno dell'area cantieri, per monitorare le emissioni dirette; D2 posizionato diverse centinaia di metri da D1 all'esterno dell'area cantieri; D3 alla stessa distanza da D1 ma in posizione sopraelevata (circa 3 m dal suolo) per evitare interferenze locali; D4 posizionato alla distanza di circa 2 km dai cantieri in un'area non interessata da emissioni dirette (scuola elementare S. Pertini, Punta Sabbioni). Questi deposimetri hanno raccolto le deposizioni atmosferiche in simultanea da gennaio 2005 a maggio 2006.

I dati di precipitazione sono stati registrati dalla stazione meteorologica posizionata a Punta Sabbioni (Circolo Vela), vicino ai deposimetri D2 e D3, dalla stazione di misura dell'ARPAV vicino al deposimetro D4 e dalla stazione di Ceppe (gestita dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti-ex Magistrato alle Acque di Venezia) vicino al deposimetro D5.

Le analisi dei microinquinanti organici sono state condotte presso il Centro Studi Microinquinanti Organici (CSMO) di Voltabarozzo (Pd) mentre le analisi degli inquinanti inorganici presso l'Istituto IDPA del CNR (la metodologia seguita è riportata in Gambaro *et al.*, 2009).

Dato che non esistono limiti legislativi per le deposizioni atmosferiche, sono stati considerati i limiti in vigore in alcuni paesi della Comunità Europea (EC, 2001) e dati ottenuti dalla letteratura scientifica (Rossini *et al.*, 2005; Rossini *et al.*, 2005b; MAG. ACQUE, 2009).

8. Deposimetro bulk per la misura dei flussi di deposizione atmosferica a Punta Sabbioni.



### **Elaborazioni modellistiche**

Le tecniche di modellazione sono un importante strumento di aiuto per la valutazione della qualità dell'aria, secondo la Direttiva sulla valutazione e gestione della qualità dell'aria 96/62/CE recepita in Italia con il D.Lvo. 4 agosto 1999 n. 351, e rappresentano uno strumento fondamentale per la realizzazione di piani e programmi di miglioramento e mantenimento della qualità dell'aria, secondo le indicazioni del DM 60 del 2002. Più recentemente, in seguito all'adozione della nuova Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, il D.Lgs. 155/2010 ha riorganizzato tutta la materia, definendo in particolare nuovi "criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi", con particolare riferimento alle tecniche di modellizzazione.

Pur con le innumerevoli incertezze intrinseche nel modello (le equazioni fisiche e chimiche vengono inserite nel modello tramite formule approssimate, le variabili spaziali e temporali sono discretizzate) ed esterne (incertezza sull'input meteorologico e sulla stima delle emissioni di inquinanti), i risultati di un calcolo modellistico forniscono informazioni che un monitoraggio tramite misure dirette, effettuate in singoli punti del territorio, non può dare e, inoltre, permettono di evidenziare il contributo complessivo delle diverse fonti inquinanti. In sintesi con i modelli di diffusione è possibile:

- ottenere campi di concentrazione anche nelle aree all'interno delle zone ove non esistono stazioni di misurazione o estendere la rappresentatività spaziale delle misure stesse;
- comprendere le relazioni tra emissioni e immissioni, discriminare i contributi delle diverse sorgenti alle concentrazioni in una determinata area (source apportionment) e determinare i contributi transfrontalieri e quelli derivanti da fenomeni di trasporto su larga scala (per esempio, le polveri sahariane);
- integrare e combinare le misurazioni effettuate tramite le stazioni di misurazione in siti fissi, in modo tale da ridurre il numero;
- valutare la qualità dell'aria nelle zone in cui non sono presenti stazioni di misurazione;
- prevedere la qualità dell'aria sulla base di scenari ipotetici di emissione o in funzione di variazioni delle condizioni meteorologiche;
- valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera.

Un modello numerico è costituito da equazioni, risolte al calcolatore, che traducono le relazioni tra le variabili fisiche e chimiche del sistema che si sta studiando (in questo caso l'atmosfera, le sue interazioni con la superficie terrestre e marina, la presenza di sostanze

chimiche inquinanti e le reazioni con i componenti dell'atmosfera) e la loro evoluzione temporale. Le variabili in esame devono essere quantificate in modo da descrivere proprio la situazione che si sta analizzando: quindi, nel caso di un modello di dispersione di inquinanti in atmosfera, vanno introdotti nel modello i valori che descrivono le caratteristiche della superficie terrestre o marina della regione esaminata, la quantità delle sostanze emesse dalle varie fonti inquinanti e immesse in atmosfera, e le variabili meteorologiche, che costituiscono il "motore" che porta alla diffusione degli inquinanti.

Per lo studio dell'impatto dei cantieri del MOSE è stato utilizzato il sistema modellistico denominato CALPUFF (Scire *et al.*, 1990a,b), abbinato al suo pre-processore meteorologico CALMET, applicato su tre aree geografiche dell'ampiezza di 20x20 km<sup>2</sup> comprendenti le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

CALPUFF è un modello di dispersione atmosferica non stazionario e multispecie che simula gli effetti di una meteorologia variabile nello spazio e nel tempo sul trasporto, la trasformazione e la rimozione degli inquinanti. CALPUFF viene utilizzato su scale che vanno dalle centinaia di metri alle centinaia di chilometri dalle sorgenti. Esso include sia algoritmi su scale spaziali ridotte, sia algoritmi su grandi scale spaziali (rimozione degli inquinanti per effetto di deposizione umida e secca, trasformazione chimica).

CALPUFF e CALMET sono stati considerati dall'EPA (Environmental Protection Agency), nelle linee guida sui modelli della qualità dell'aria, come modelli preferiti. Sono ampiamente utilizzati anche nel nostro paese e in particolare, fra gli altri, la Agenzia Regionale ARPA Veneto li utilizza quale strumento modellistico a supporto decisionale per le politiche della qualità dell'aria.

CALPUFF può descrivere sorgenti puntiformi, volumetriche, areali e lineari. Un sistema modellistico come CALMET/CALPUFF può correttamente riprodurre fenomeni quali la stagnazione degli inquinanti (calme di vento), il ricircolo dei venti, e la variazione temporale e spaziale delle condizioni meteorologiche.

Il modello viene implementato con le caratteristiche morfologiche della regione di interesse tramite matrici di orografia e uso del suolo.

Le informazioni necessarie per l'applicazione modellistica sono costituite dai dati meteorologici, provenienti da stazioni al suolo e da misure in quota, che il modello diagnostico CALMET provvede ad interpolare su tutto il dominio di calcolo. I dati al suolo sono ottenuti da 40 stazioni (con anemometro a 10 m di altezza in pianura e a 5 m di altezza in zona montuosa) di cui 9 stazioni sinottiche dell'Aeronautica Militare e 30 stazioni della rete del Centro Meteorologico di Teolo; a questi si aggiungono i dati della stazione off-shore gestita dal Comune di Venezia e posizionata sulla piattaforma del CNR al largo della laguna di Venezia e i dati delle stazioni 5 e 23 gentilmente forniti dall'Ente Zona Industriale di Porto Marghera. Per i dati verticali CALMET è inizializzato con tre radiosondaggi (Milano-Linate, Udine-Campoformido e Bologna-San Pietro Capofiume).

L'uscita di CALMET permette di predisporre, con cadenza oraria, l'input meteorologico e micrometeorologico per il modello di dispersione CALPUFF. Quest'ultimo richiede come dati ingresso le caratteristiche delle sorgenti emissive (tipologia, durata ed intensità). Nel caso in esame ciò ha richiesto la quantificazione delle attività dei cantieri (utilizzo di mezzi a motore, sia terrestri che acquei, presenza di aree sterrate su cui la circolazione dei mezzi e l'azione del vento provoca risollevarimento di polveri), a partire dalla quale si effettua, applicando metodologie riportate nella letteratura tecnica e scientifica, una stima dei quantitativi di inquinanti (ossidi di azoto e polveri) immessi in atmosfera. Per la stima delle emissioni legate alle attività dei cantieri, secondo quanto previsto nel Disciplinare Tecnico, sono stati forniti i dati relativi ai mezzi impiegati in ciascun cantiere, suddivisi per zone di lavoro e mesi, in termini di numero di mezzi per numero di giorni e percentuali di utilizzo. La procedura applicata per stimare i diversi fattori di emissione fa riferimento alla metodologia EMEP-CORINAIR (European Monitoring

and Evaluation Programme-CORe INventory AIR emissions).

Inoltre, per l'applicazione dello schema chimico che porta alla determinazione delle concentrazioni di NOx e NO<sub>2</sub>, sono richiesti i valori di ozono misurati in una o più stazioni di riferimento per l'area in esame. Le emissioni di PM<sub>10</sub> primario e NOx da combustione nei mezzi di cantiere vengono modellizzate come sorgenti volumetriche, mentre le emissioni di PM<sub>10</sub> per risollevarimento da aree sterrate sono più adeguatamente introdotte nel modello come sorgenti areali.

## Risultati

### Monitoraggio del PM<sub>10</sub>

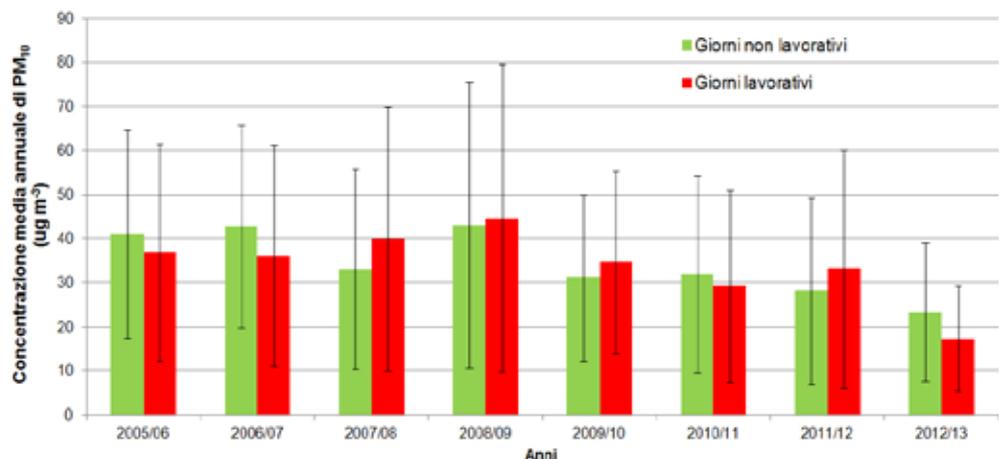
La figura 9 riporta il valore medio delle concentrazioni orarie di PM<sub>10</sub> nel periodo 2005-2013. Le medie orarie sono state suddivise fra giorni lavorativi e giorni non lavorativi (festività, periodo di ferie). La suddivisione fra periodi di lavoro e di chiusura dei cantieri ha lo scopo di evidenziare eventuali incrementi nel livello medio di concentrazione delle polveri nel caso di rilascio da parte dei cantieri.

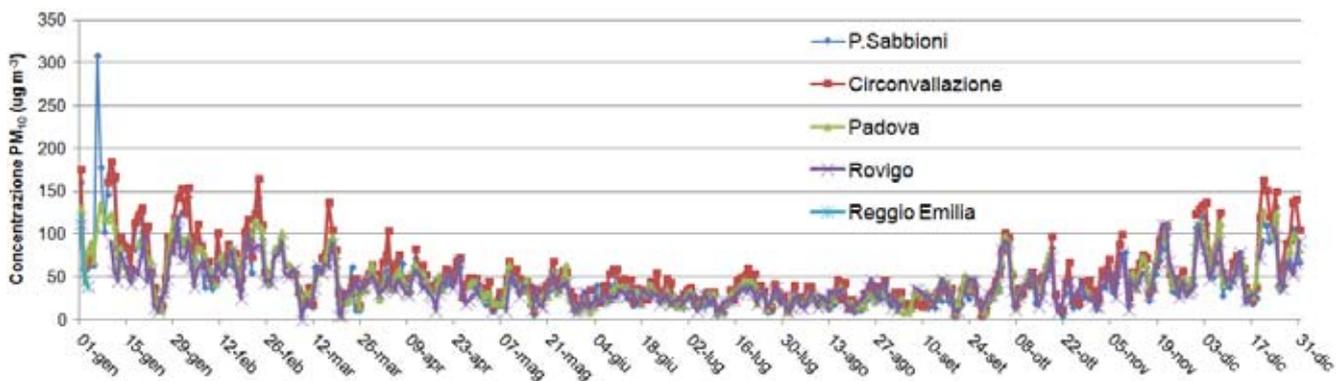
Come si nota dalla figura, i risultati non mettono in evidenza differenze statisticamente significative tali da evidenziare un diverso andamento nelle concentrazioni di particolato fra giorni di attività di cantiere e periodi di cantiere chiuso.

Un aspetto interessante, emerso durante gli anni di monitoraggio, riguarda la correlazione spaziale fra i livelli di concentrazione. La figura 10 riporta, per l'anno 2007, preso a titolo di esempio, le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> in diverse stazioni di misura: quella relativa al monitoraggio dei cantieri (Punta Sabbioni) e quelle gestite dalle ARPA Veneto ed Emilia-Romagna. I risultati ottenuti applicando il coefficiente di correlazione lineare evidenziano una correlazione significativa (maggiore di 0.75) fra le concentrazioni di PM<sub>10</sub> misurate tra Punta Sabbioni e quelle misurate a Rovigo, mentre la correlazione tra le concentrazioni di PM<sub>10</sub> misurate tra Punta Sabbioni e quelle misurate nelle stazioni di Reggio Emilia risulta inferiore (dell'ordine di 0.6). Ciò significa che esiste un andamento simile fra le concentrazioni di particolato presenti nella laguna di Venezia e nella regione Veneto, mentre per quanto riguarda l'Emilia-Romagna la meteorologia risulta disaccoppiata da quella presente nel Veneto.

Infatti, la maggior parte dei superamenti medi giornalieri di PM<sub>10</sub> a Punta Sabbioni (concentrazioni superiori a 50 µg m<sup>-3</sup>) avvengono anche in altre stazioni del Veneto e quindi non sono dovuti ai cantieri quanto piuttosto ad una situazione di inquinamento a scala regionale.

9. Concentrazioni medie di PM<sub>10</sub> per anno di monitoraggio suddivise fra periodi lavorativi e non lavorativi a Punta Sabbioni. Nel grafico è riportata anche una deviazione standard rispetto alla media.



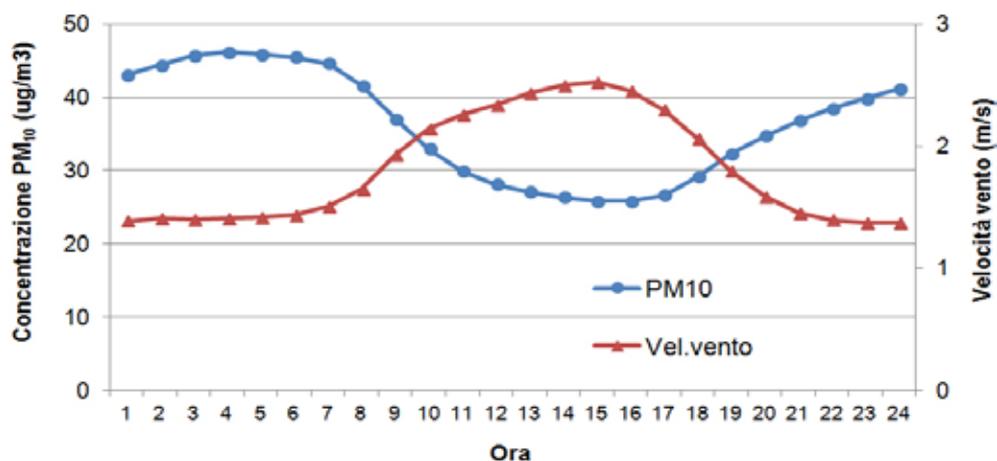


10. Concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> in diverse stazioni di monitoraggio (anno 2007).

La figura 11 mostra la concentrazione di PM<sub>10</sub> e la velocità del vento del “giorno tipo”, ottenuto considerando i dati dell’intero periodo di campionamento. Si osserva una anticorrelazione fra i livelli di concentrazione e la velocità del vento: in condizioni di maggiore intensità del vento i valori di concentrazione di particolato diminuiscono. Inoltre si osserva il tipico andamento presente in condizioni di brezza di mare: nella parte centrale della giornata la brezza marina provoca la diminuzione dell’inquinamento, mentre nelle ore notturne si hanno valori di concentrazione di PM<sub>10</sub> più elevate; ciò è dovuto principalmente alla minore turbolenza dell’atmosfera nelle ore notturne a seguito della assenza della radiazione solare. Quindi in queste ore il rimescolamento dell’atmosfera risulta minore rispetto alle ore diurne determinando un accumulo delle sostanze inquinanti rilasciate al suolo. Occorre notare, come rilevato in letteratura (Santi *et al.*, 2010), che i sistemi ottici di misura del particolato sono influenzati dalla umidità relativa e quindi, in presenza di valori elevati di quest’ultima, le concentrazioni possono aumentare; per questo motivo l’impiego di sensori ottici di particolato risulta significativo in un contesto di confronto fra valori relativi, come svolto durante il monitoraggio, piuttosto che considerare i singoli valori assoluti delle concentrazioni.

Al fine di evidenziare eventuali eventi di emissione di particolato da parte del cantiere di Punta Sabbioni, alla scala temporale oraria, è stato valutato l’andamento della serie temporale delle concentrazioni medie orarie di particolato. In particolare è stato considerato sia il confronto, come già detto, fra le concentrazioni misurate in orari di attività e di non attività dei cantieri, sia incrementi improvvisi dei livelli di concentrazione (superamento del valore limite orario) in presenza di vento proveniente dalla direzione dove si trova il cantiere rispetto al sensore di misura.

Ciascuno di questi eventi è stato analizzato e, in presenza di valori o andamenti “ano-



11. Giorno tipo a Punta Sabbioni per il PM<sub>10</sub> e la velocità del vento.

12. Esempio di rilascio di polveri dovuto al transito di mezzi pesanti all'interno del cantiere di Punta Sabbioni.



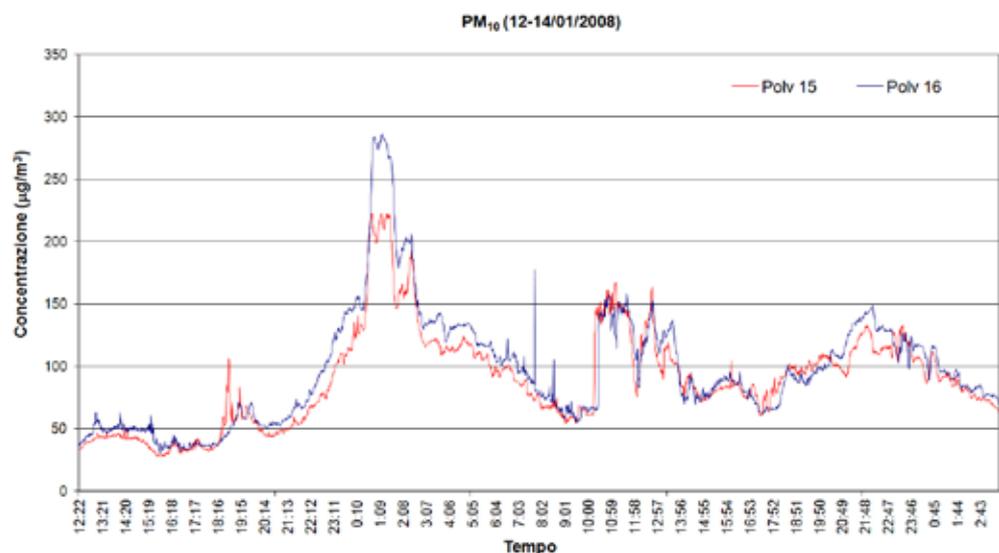
mali”, è stato inviato alla Direzione Lavori dei cantieri un Rapporto di Anomalia, con la richiesta di avere dettagli sulle attività svolte in quel dato momento. Nella maggiore parte dei casi tali eventi sono risultati conseguenti alle particolari condizioni atmosferiche presenti nel territorio e non dovuti alle specifiche attività in corso in cantiere in quel dato momento.

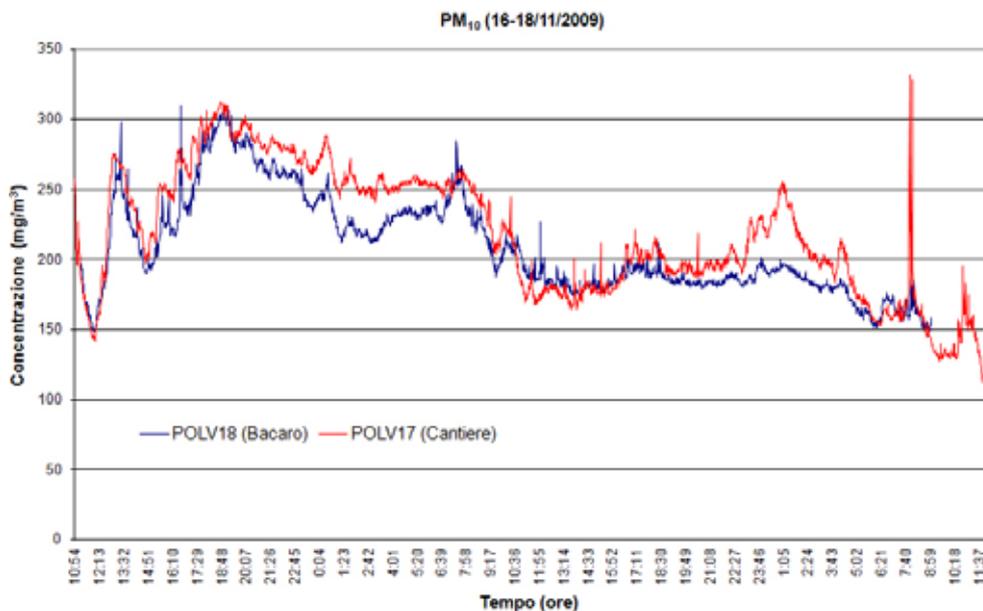
Durante il monitoraggio sono state considerate anche le concentrazioni di particolato ad una scala temporale ancora più breve (minuto) al fine di evidenziare brevi rilasci da parte dei cantieri non visibili nel processo di media giornaliera o oraria. Scopo principale di questa tipologia di monitoraggio, confrontando livelli di concentrazione di particolato all'interno ed all'esterno dei cantieri nelle stesse condizioni, è quello di evidenziare episodi acuti di trasporto di polveri quali quelli evidenti nella figura 12 dovuti, in questo caso, al passaggio di mezzi pesanti su percorsi non asfaltati.

Occorre sottolineare che le concentrazioni di polveri misurate con le due centraline mobili non sono confrontabili direttamente con i valori ottenuti con il metodo gravimetrico (previsto dalla normativa vigente). Infatti i valori, fra queste due diverse metodiche, possono differire notevolmente sia per l'interferenza dell'umidità relativa, già citata, sia per la diversa risposta fornita dai due metodi (quello ottico e quello gravimetrico).

La figura 13 riporta un tipico esempio di monitoraggio, eseguito a Malamocco dal 12

13. Misure di polveri effettuate con le centraline mobili (Dust Track): POLV16 posizionato all'interno del cantiere e POLV15 all'esterno.





14. Misure di polveri effettuate con le centraline mobili (Dust Track): POLV17 posizionato all'interno del cantiere e POLV18 all'esterno.

al 14 gennaio del 2008. Si osserva una sovrapposizione fra le misure ottenute all'interno ed all'esterno del cantiere sia durante le ore notturne che diurne, non evidenziando quindi episodi di trasporto di polveri.

Viceversa la figura 14 riporta un tipico esempio di monitoraggio eseguito a Punta Sabbioni dove risulta evidente un picco di concentrazione di polveri all'interno del cantiere.

Si possono osservare, in entrambi i grafici, dei picchi di concentrazione nelle prime ore del mattino, misurati dalla centralina posizionata all'interno del cantiere. È probabile siano dovuti all'avvio delle macchine di cantiere. Non sono stati comunque osservati eventi di trasporto di polveri verso l'esterno.

La maggior parte delle emissioni di breve periodo all'interno dei cantieri sono dovute al passaggio dei veicoli pesanti o al sollevamento eolico. Per limitare questi episodi risulta fondamentale adottare azioni di mitigazione che, in questo caso, prevedono l'umidificazione dei terreni (figura 15). I monitoraggi di breve periodo hanno permesso quindi di verificare l'applicazione di tali azioni di mitigazione, cosa che non sarebbe stato possibile evidenziare utilizzando metodi più tradizionali di misura basati su medie giornaliere.



15. Bagnatura del terreno all'interno di una area di cantiere per limitare la risospensione di polveri a causa del passaggio di veicoli pesanti.

## Composizione elementale del PM<sub>10</sub>

I campionamenti di PM10 per la determinazione della composizione elementale sono stati effettuati in postazioni prossime ai cantieri fra il 2006 e il 2015 alle tre bocche di porto: Punta Sabbioni, Chioggia e Malamocco.

I risultati medi dei 10 anni di monitoraggio sono riportati nella figura 16.

Gli elementi Ni, As, Cd, e Pb sono soggetti a limiti legislativi (D.Lgs. 155/2010) che identificano valori obiettivo per Ni, As, e Cd ed il valore limite per il Pb.

Nella Tabella 1 sono riportate le concentrazioni medie ottenute presso i siti di misura e quelle determinate da ARPAV presso i siti della propria rete di monitoraggio della qualità dell'aria. Le concentrazioni ottenute nel corso del presente studio sono confrontabili con quelle determinate da ARPAV e paragonabili a quelle ottenute in precedenti studi svolti nell'area lagunare. A titolo di esempio si riporta il caso del Nichel la cui concentrazione, pari a 5, 4 e 14 ng m<sup>-3</sup>, è stata determinata in 3 diversi studi svolti al Lido rispettivamente da Rampazzo *et al.* (2008), Masiol *et al.* (2010) e Toscano *et al.* (2011), tutti valori confrontabili con quanto misurato durante il monitoraggio.

Le concentrazioni misurate durante il monitoraggio sono risultate perciò all'interno dei rispettivi valori obiettivo e limite legislativo, anche se è da osservare che tale confronto è di natura qualitativa in quanto le campagne effettuate non coprono l'anno solare, come invece prevede la normativa.

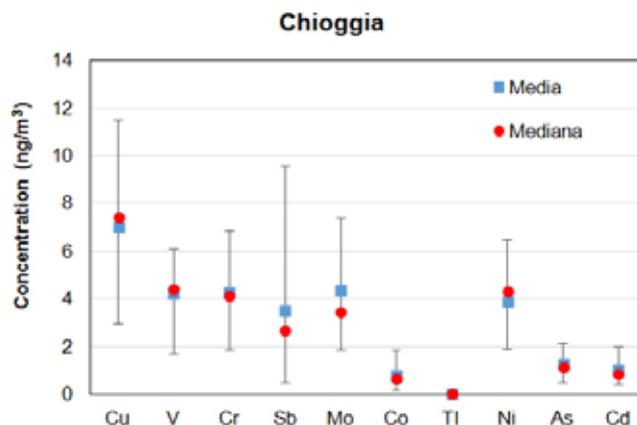
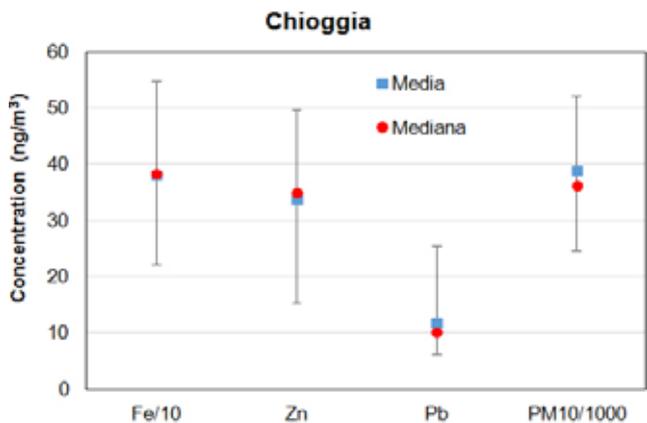
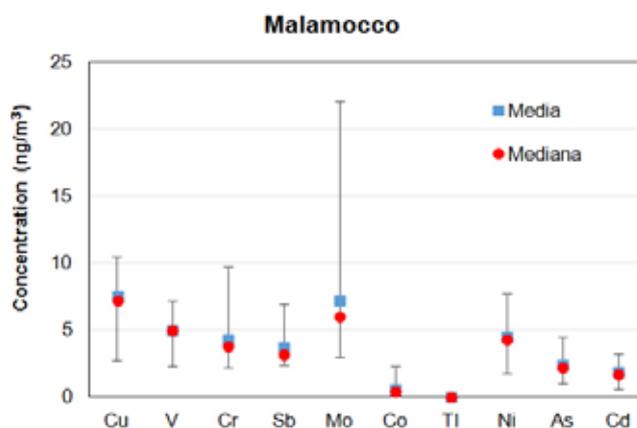
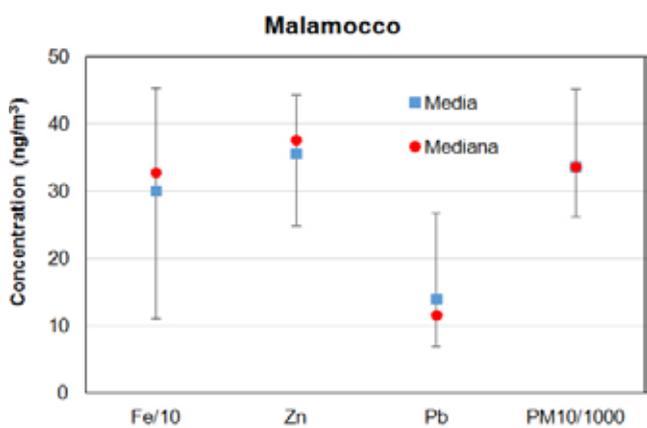
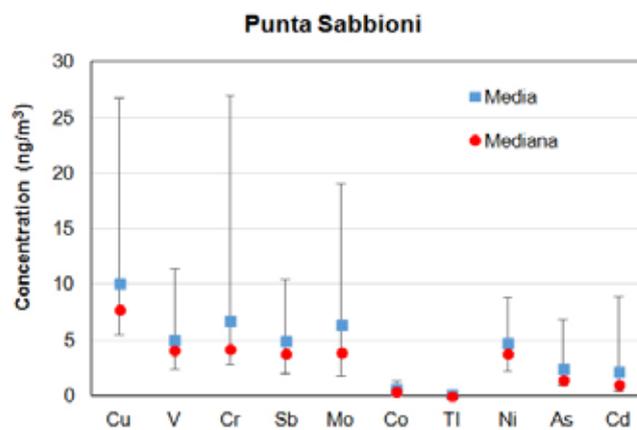
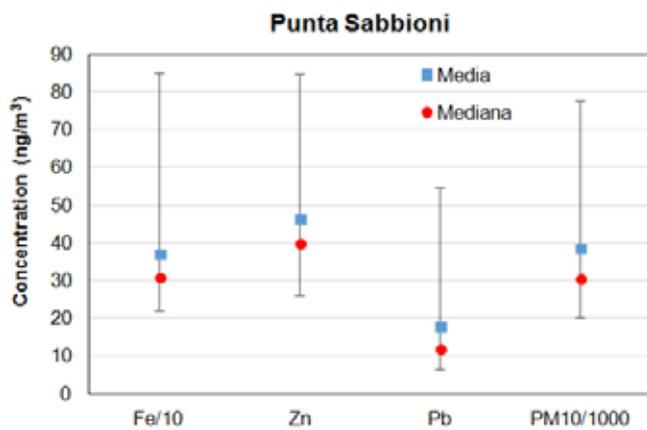
La figura 17 mostra gli andamenti delle concentrazioni assolute e relative (cioè il rapporto fra le concentrazioni di ogni elemento e la concentrazione di PM<sub>10</sub>) per Cd, Ni, e V presso i tre siti di misura alle bocche di porto. Il primo valore (secondo anno di monitoraggio), per quanto riguarda Punta Sabbioni, è relativo ad una sola campagna di misura e quindi meno significativo rispetto agli altri anni. Si osserva un decremento nella concentrazione del Cd a Punta Sabbioni non visibile presso gli altri siti, mentre le concentrazioni di Ni mostrano, sempre a Punta Sabbioni, un generale incremento nel corso degli anni di monitoraggio (incremento meno visibile a Malamocco), che non è tuttavia correlato con un incremento delle concentrazioni di Vanadio.

Vanadio e Nichel sono frequentemente utilizzati come traccianti di emissioni dovute alla combustione di motori diesel, incluse le emissioni da traffico marittimo (Viana *et al.*, 2009; Cesari *et al.*, 2014).

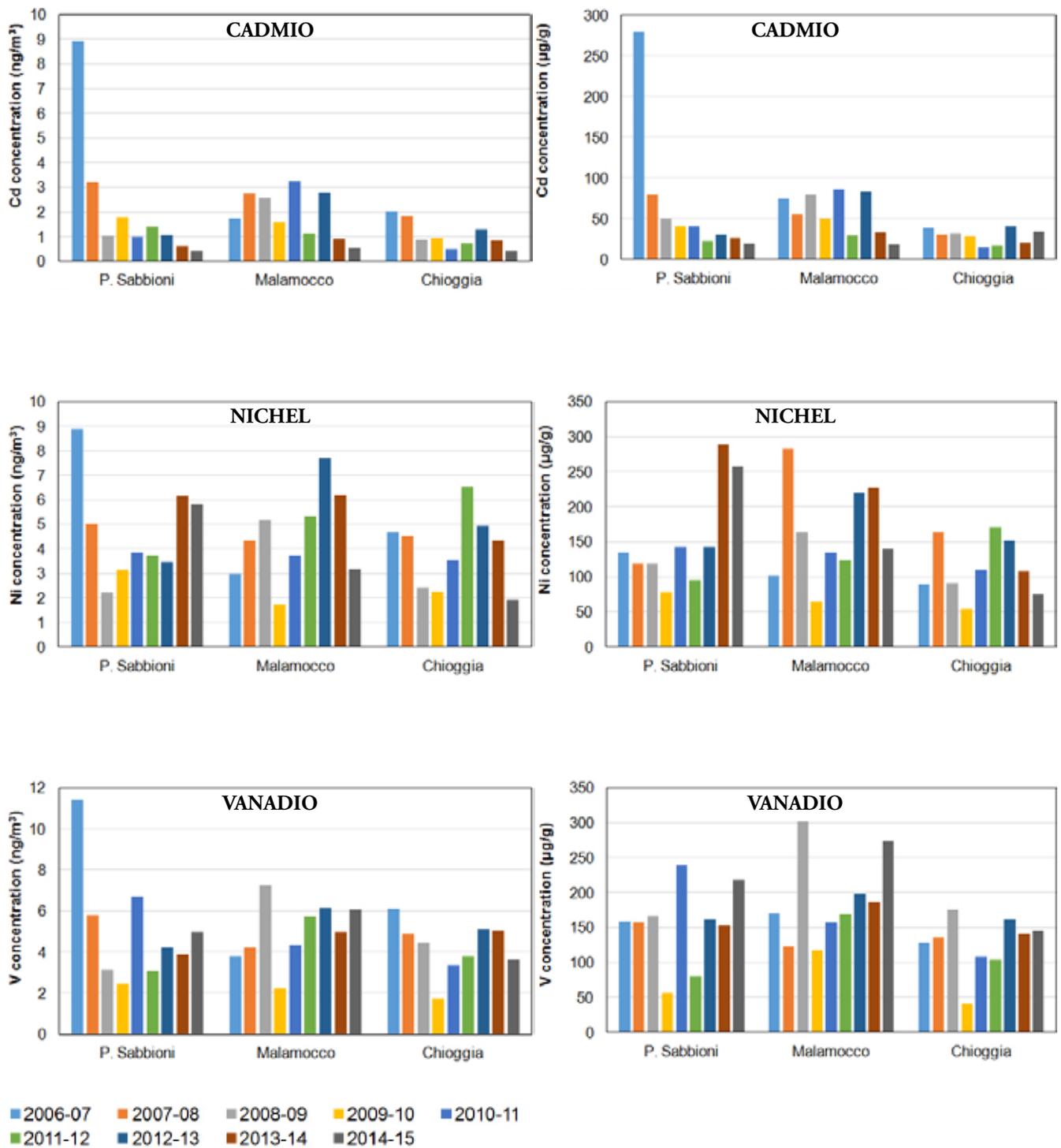
I valori misurati nei giorni lavorativi sono stati confrontati con quelli dei giorni di assenza di attività cantieristica. Nella figura 18 sono riportati i rapporti fra le due medie. Si osserva che le concentrazioni medie nei giorni lavorativi sono di poco superiori a

Tabella 1. Concentrazioni medie (ng m<sup>-3</sup>) dei metalli rilevate nei siti di misura (Chioggia, Malamocco, Punta Sabbioni) e in alcuni siti della rete di Monitoraggio dell'ARPA Veneto.

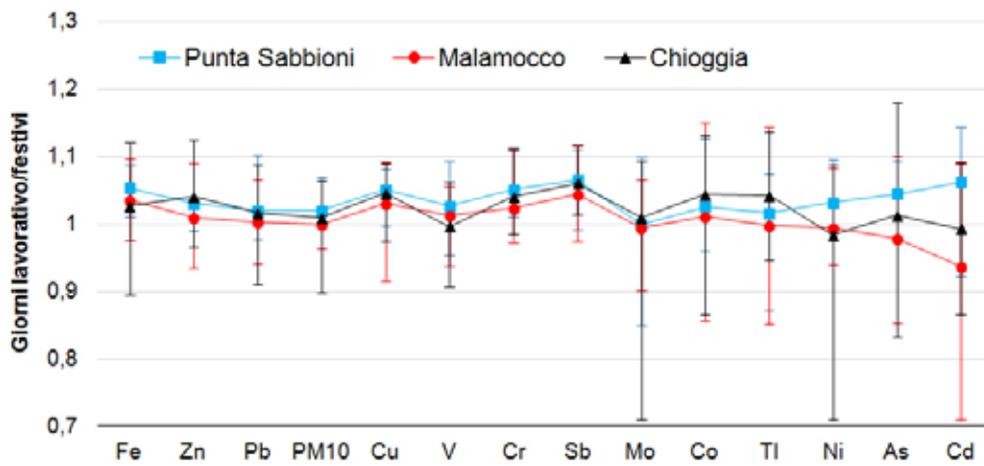
Elemento	Chioggia	Malamocco	Punta Sabbioni	ARPA Veneto (Relazioni Qualità dell'aria 2005-2014)		
				A. Da Mestre	Bissuola	Via Circonvallazione
<b>Nichel</b>	<b>3.9</b> (STD 1.5)	<b>4.5</b> (STD 1.8)	<b>4.7</b> (STD 2.2)	5.5 (2005)	5.4 (2006), 6.9 (2007), 7.2 (2008), 3.9 (2009), 3.8 (2010), 3.2 (2011), 3.2 (2012), 4.6 (2013), 2.9 (2014)	7.1 (2006), 8.7 (2007), 8.3 (2008)
<b>Arsenico</b>	<b>1.3</b> (STD 0.6)	<b>2.4</b> (STD 1.0)	<b>2.4</b> (STD 1.9)	2.9 (2005)	4.5 (2006), 3.4 (2007), 3.0 (2008), 2.3 (2009), 1.8 (2010), 2.2 (2011), 2.1 (2012), 2.9 (2013), 2.1 (2014)	4.3 (2006), 3.5 (2007), 2.7 (2008)
<b>Cadmio</b>	<b>1.1</b> (STD 0.6)	<b>1.9</b> (STD 1.0)	<b>2.2</b> (STD 2.7)	3.7 (2005)	4.1 (2006), 3.5 (2007), 2.8 (2008), 1.9 (2009), 1.6 (2010), 1.7 (2011), 1.4 (2012), 1.3 (2013), 1.8 (2014)	4.2 (2006), 3.2 (2007), 2.4 (2008)
<b>Piombo</b>	<b>11.9</b> (STD 6.3)	<b>14.0</b> (STD 6.2)	<b>18</b> (STD 15.5)	20.1 (2005)	25.4 (2006), 19.0 (2007), 20.0 (2008), 13.8 (2009), 13.8 (2010), 13.4 (2011), 9.0 (2012), 9.0 (2013), 8.0 (2014)	27.8 (2006), 26.2 (2007), 20.0 (2008)



16. Valori mediani e medi di concentrazioni dei metalli nel PM<sub>10</sub> misurate alle tre bocche di porto. La barra di errore rappresenta l'intervallo minimo-massimo della variabilità delle concentrazioni. Il Fe è riportato dividendo la concentrazione per un fattore 10 ed il PM<sub>10</sub> è riportato in µg/m<sup>3</sup>.  
Le barre di errore mostrano la variabilità dei dati ottenuti (intervallo minimo-massimo) rispetto alla media.



17. Andamenti nelle concentrazioni medie assolute (a sinistra) e relative (a destra) di cadmio (sopra), nichel (in centro) e vanadio (in basso) nel PM<sub>10</sub> nei tre siti di misura nel corso degli anni di monitoraggio, dal 2006 al 2015.



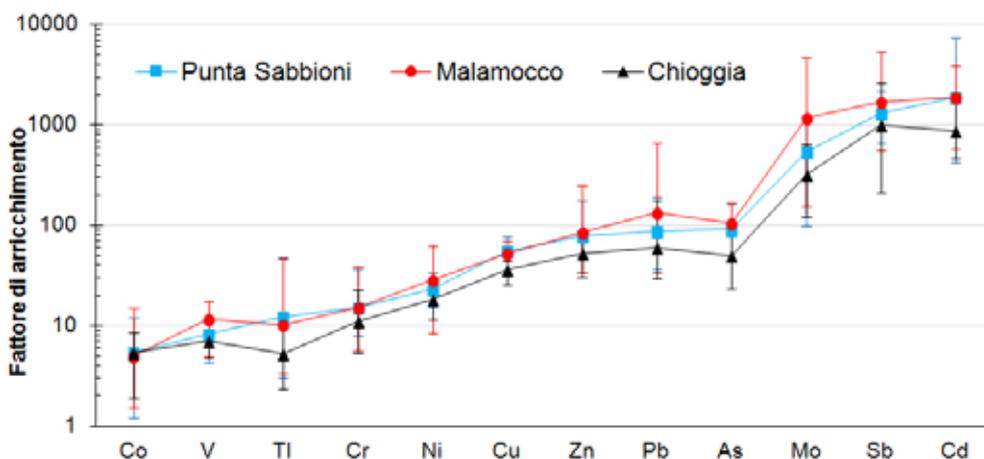
18. Media dei rapporti fra le concentrazioni degli elementi analizzati nel  $PM_{10}$  ottenute nei giorni lavorativi e quelle ottenute nei giorni festivi.

quelle dei giorni festivi ma all'interno della variabilità dei dati (barre degli errori); perciò non si osservano differenze statisticamente significative fra i due periodi.

Sono state anche confrontate le concentrazioni medie, per ciascun elemento, separando le situazioni nelle quali la stazione di misura era sottovento rispetto ai cantieri dalle altre direzioni del vento. Anche in questo caso non si sono rilevate differenze statisticamente significative fra i diversi settori di provenienza del vento (Contini *et al.*, 2012). I fattori di arricchimento crostale "crustal enrichment factors-EFs" sono stati calcolati per identificare contributi antropogenici. I valori di EF possono fornire informazioni sull'origine antropogenica di alcuni elementi e quindi sulle possibili sorgenti di emissioni (Watson *et al.*, 2002, Lu *et al.*, 2007). Valori di EF inferiori a 10 indicano una prevalenza di origine crostale, mentre valori superiori a 20 indicano che quell'elemento ha probabilmente un contributo antropico. Infine valori compresi fra 10 e 20 non permettono di discriminare fra i due casi. (Cesari *et al.*, 2012).

La figura 19 mostra i fattori di arricchimento ottenuti, nel corso del monitoraggio dei cantieri del MOSE, prendendo il Fe come elemento di riferimento, la cui concentrazione crostale è ottenuta da Wedepohl (1995). Anche se Si, Al, Fe e Tl sono generalmente impiegati come elementi di riferimento data la loro abbondanza nella crosta terrestre, in questo caso si è scelto il Ferro in quanto nella laguna di Venezia gli altri elementi potrebbero avere una origine anche antropogenica (Rampazzo *et al.*, 2008; Masiol *et al.*, 2010, Stortini *et al.*, 2009, Toscano *et al.*, 2011).

La figura mostra valori di EF superiori a 20 per Cu, Zn, Pb, As, Mo, Sb, Cd, mentre V, Tl, Cr si trovano nella fascia di non decisione e prossimi a rapporti che indicano una



19. Valori medi di EF calcolati alle tre bocche di porto. Le barre degli errori rappresentano la variabilità nel corso degli anni di monitoraggio.

origine crostale. A Malamocco i fattori di arricchimento per il V e il Ni sono superiori rispetto agli altri siti ed è compatibile con un possibile contributo dovuto al traffico marittimo.

L'analisi statistica relativa al contributo delle varie sorgenti sulla concentrazione delle polveri, cosiddetta analisi di "source apportionment", e la correlazione con i dati meteorologici non ha evidenziato contributi specifici dovuti alle attività cantieristiche. Inoltre il confronto statistico fra i risultati delle misure effettuate presso i tre siti mostra una sostanziale omogeneità nella concentrazione dei metalli nell'area lagunare. (Contini *et al.*, 2012).

### **Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)**

La Tabella 2 riporta i valori medi, minimi e massimi delle concentrazioni di IPA per l'intero periodo di monitoraggio, separando le fasi gas e aerosol.

Le concentrazioni misurate risultano paragonabili a quelle riportate in precedenti studi nella laguna di Venezia (Contini *et al.*, 2011, Gambaro *et al.*, 2004, Gregoris *et al.*, 2014) e inferiori ai dati raccolti in altri siti urbani Europei, quali ad esempio Oporto (Portogallo) con una media di IPA totali di 70 ng m<sup>-3</sup> (Slezakova *et al.*, 2013) e Kocaeli (Turchia) con una media di IPA totali di 108 ng m<sup>-3</sup> (Gaga *et al.*, 2012). Le figure 20 e 21 mostrano un esempio dell'andamento giornaliero delle concentrazioni di IPA rilevate alle bocche di porto, sia nella fase gassosa che aerosol, relativo all'anno di monitoraggio 2012.

Risulta evidente un andamento caratterizzato da valori più elevati di IPA nel periodo invernale rispetto ai periodi primaverile ed estivo; tale andamento riflette, come già ricordato, la stagionalità delle sorgenti di IPA legate al riscaldamento domestico. Si osserva inoltre che le concentrazioni risultano maggiori nella fase gas rispetto alla fase aerosol, come già osservato in letteratura (Gambaro *et al.*, 2004).

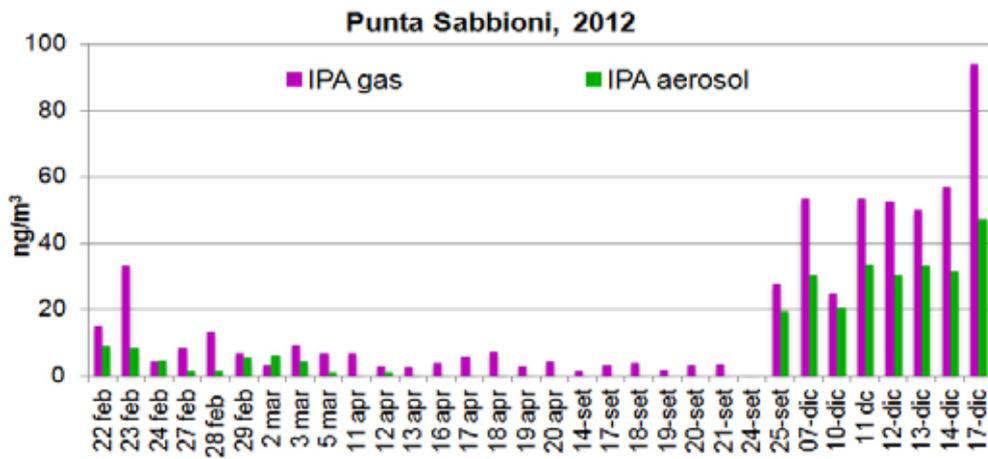
Nelle analisi dei dati relativi agli IPA vengono considerati separatamente le concentrazioni di BaP nella fase aerosol (soggetto al valore obiettivo legislativo di 1 ng m<sup>-3</sup>) e il Fluorantene (fase aerosol), ritenuto significativo per le emissioni diesel (Masplet *et al.*, 1986). Inoltre Khalili *et al.* (1995) hanhno identificato come IPA diesel la somma delle concentrazioni di Naftalene, Acenaftene, Acenaftilene, Fluorene, Fenantrene e BaP. Le figure 22 e 23 mostrano le concentrazioni di BaP, Fluorantene e IPA diesel ottenute nei diversi anni di monitoraggio a Punta Sabbioni e a Malamocco.

Come esempio di elaborazione dei dati si riportano i risultati del monitoraggio relativo agli anni 2013-2014 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2014-2015). La Tabella 3 riporta il confronto fra le concentrazioni di BaP con i rispettivi indici di variabilità stagionale ottenuti dalle misure effettuate da ARPA Veneto e pubblicate nelle Relazioni Regionali della Qualità dell'Aria, in analoghi periodi dell'anno.

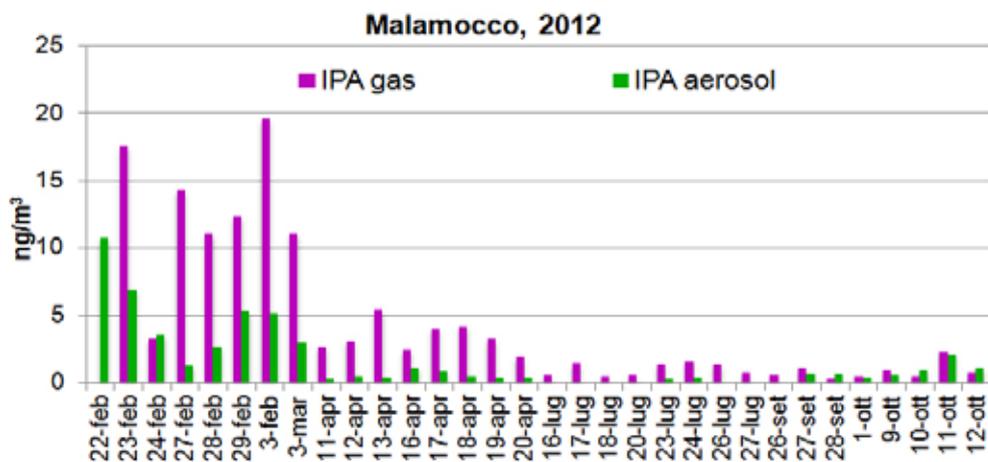
A titolo di esempio nel corso del 2013 presso la stazione di Bissuola, stazione di fondo urbano, è stato osservato un valore medio della concentrazione di B(a)P pari a circa 1.3 ng m<sup>-3</sup> (Relazione Regionale della Qualità dell'Aria 2013, ARPA Veneto), che risul-

Tabella 2. Concentrazioni (ng m<sup>-3</sup>) medie, minime e massime di IPA sia nella fase gassosa che aerosol per 10 anni di misura.

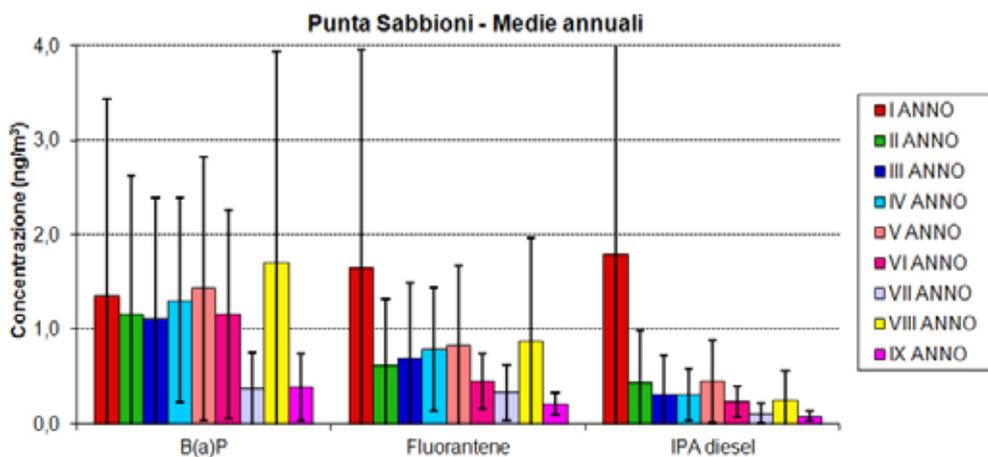
Sito		IPA Particolato	IPA Gas	IPA Totali (particolato+gas)
Punta Sabbioni	Media	9.0	18	27
	Min	0.0	0.6	0.6
	Max	55	120	167
Malamocco	Media	2.0	5.2	7.2
	Min	0.0	0.0	0.5
	Max	18	73	91



20. Concentrazione di IPA nella fase aerosol e gas a Punta Sabbioni per l'anno 2012.



21. Concentrazione di IPA nella fase aerosol e gas a Malamocco per l'anno 2012.



22. Andamento delle concentrazioni di B(a)P, Fluorantene e IPA Diesel negli anni di monitoraggio (Punta Sabbioni), dal 2005 al 2015.

ta inferiore a quello ottenuto durante il monitoraggio.

Dalla tabella si osserva che le concentrazioni medie di BaP, ottenute in tutte le campagne effettuate a Punta Sabbioni ed a Malamocco, sono inferiori al limite legislativo di  $1 \text{ ng m}^{-3}$  ed al valore indicativo della variabilità stagionale.

23. Andamento delle concentrazioni di B(a)P, Fluorantene e IPA Diesel negli anni di monitoraggio (Malamocco), dal 2005 al 2015.

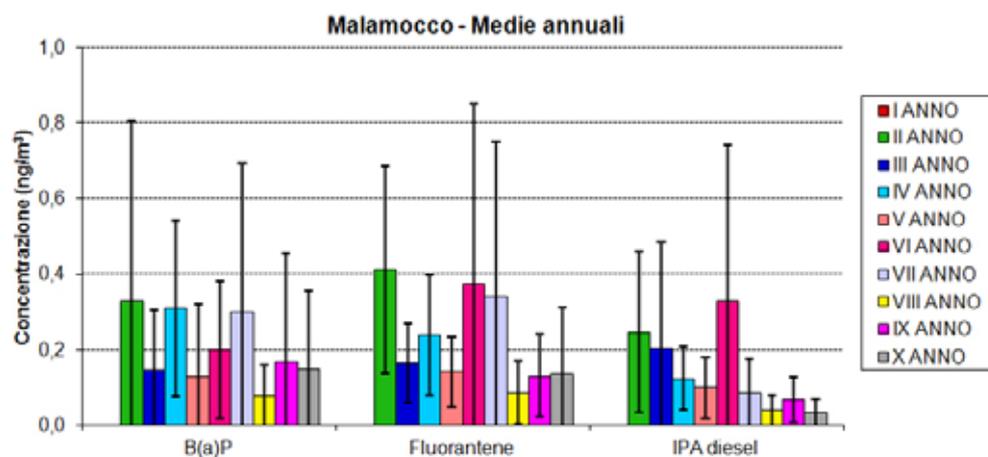


Tabella 3. Concentrazioni medie di BaP a Punta Sabbioni e Malamocco e soglie. L'indice stagionale è ottenuto dalla media annuale incrementata di una deviazione standard per tenere conto della variabilità annuale.

Sito		Media Benzo(a)pirene (ng/m <sup>3</sup> )	Indice stagionale Benzo(a)pirene (ng/m <sup>3</sup> )
Malamocco	<b>1° Campagna: 01/10/13 – 16/10/13</b>		
	Media	0.07	0.8
	Dev. Stand.	0.03	/
	<b>2° Campagna: 14/02/14-03/03/14</b>		
	Media	0.42	2.1
	Dev. Stand.	0.40	/
Punta Sabbioni	<b>3° Campagna: 04/07/13-19/07/13</b>		
	Media	0.01	0.1
	Dev. Stand.	0.01	/
	<b>1° Campagna: 09/11/13-20/11/13</b>		
	Media	0.20	3.4
	Dev. Stand.	0.13	/
Punta Sabbioni	<b>2° Campagna: 14/02/14-03/03/14</b>		
	Media	0.57	2.1
	Dev. Stand.	0.43	/

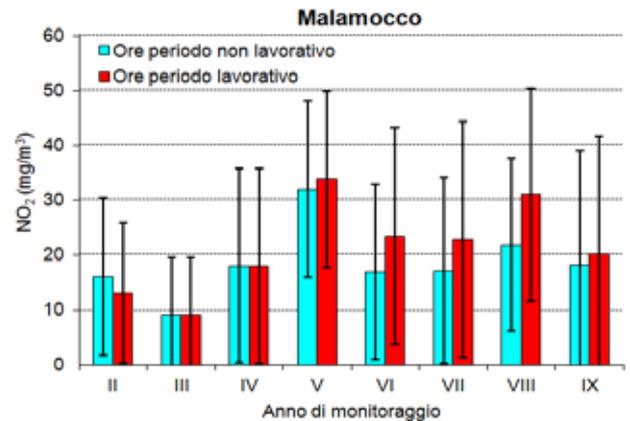
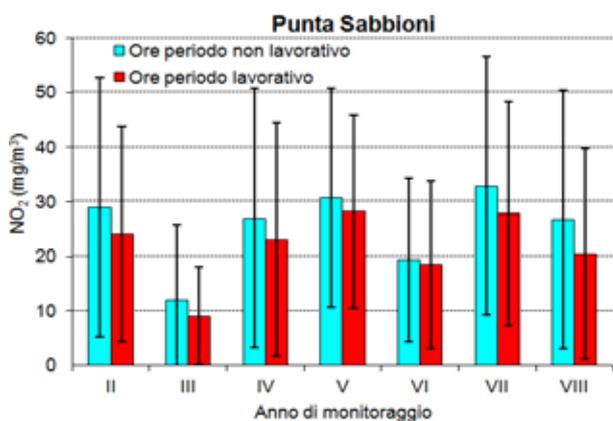
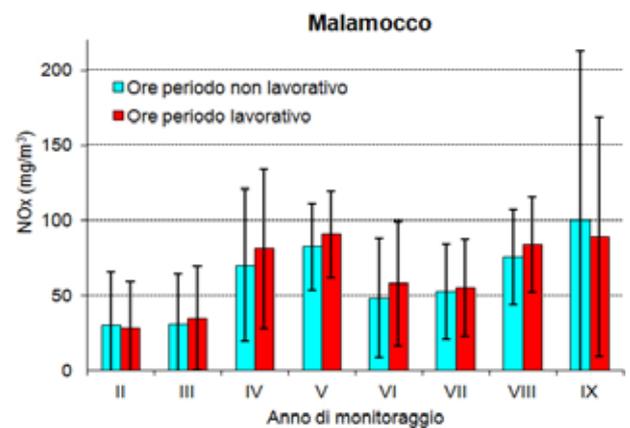
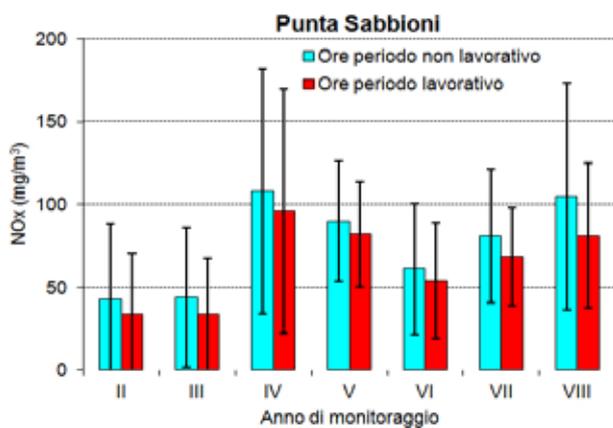
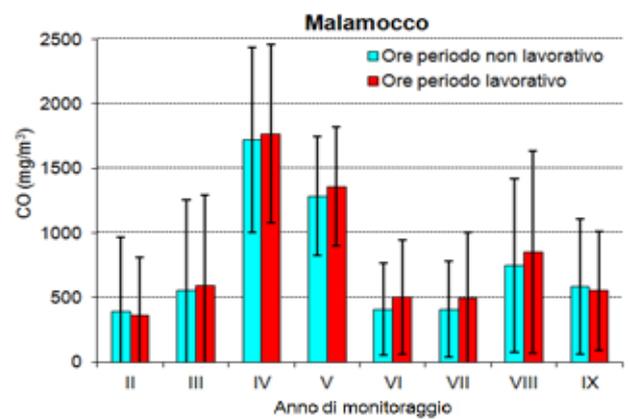
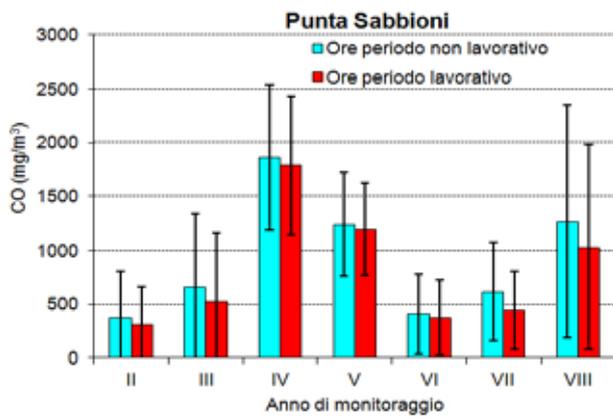
### Composti gassosi

I composti gassosi (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, e CO) sono stati monitorati con la frequenza oraria durante campagne di misura della durata di 8 giorni. I dati sono stati analizzati considerando le medie ottenute nei periodi lavorativi e confrontate con quelle dei periodi festivi o di chiusura dei cantieri. La figura 24 mostra i risultati ottenuti per i diversi anni di monitoraggio per i due siti indagati di Punta Sabbioni e Malamocco. Le analisi non evidenziano differenze statisticamente significative fra i due periodi considerati.

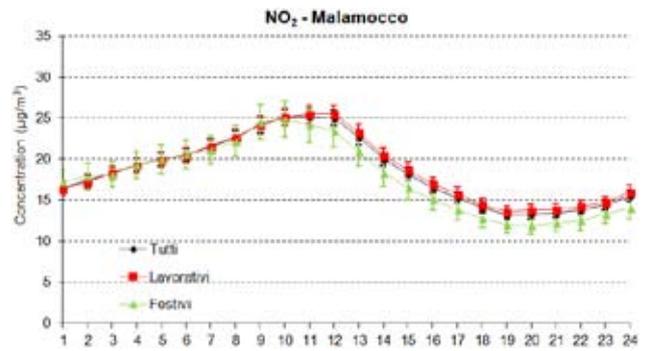
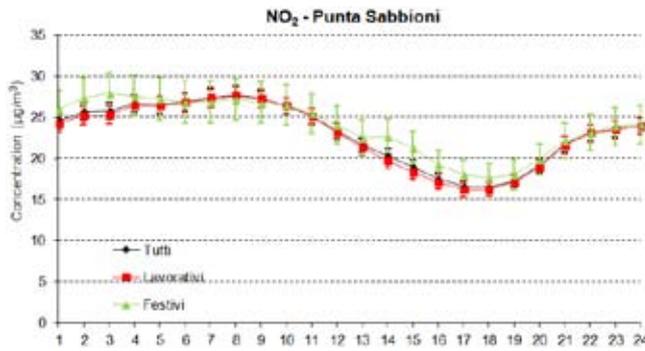
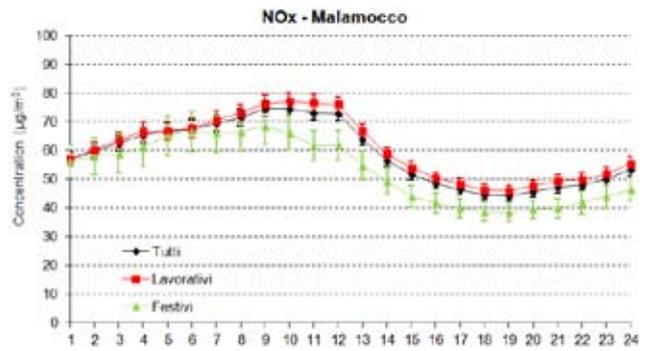
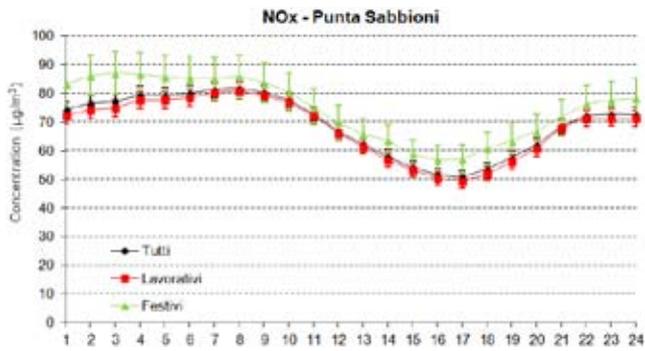
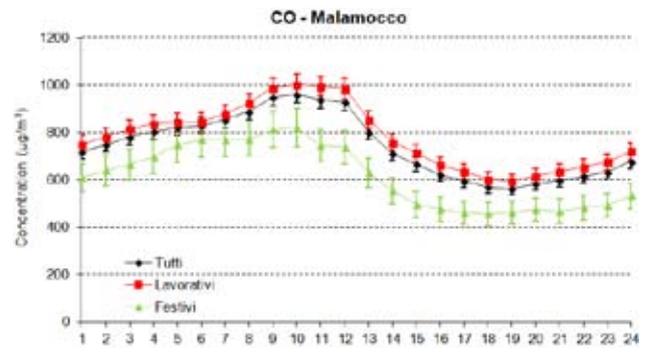
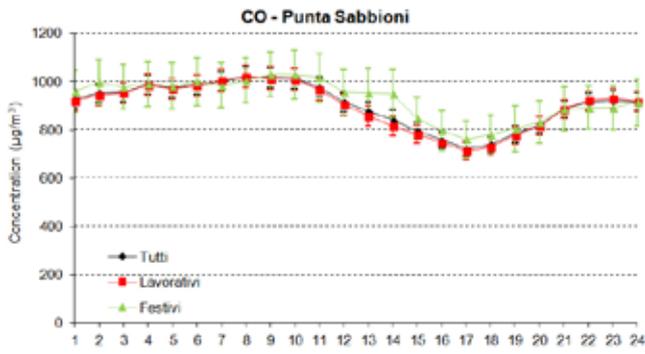
Il “giorno tipo” per ciascun composto gassoso viene riportato nella figura 25.

Il “giorno tipo” a Punta Sabbioni è diverso rispetto a quello di Malamocco: in quest’ultimo i picchi di concentrazione per tutti i gas sono visibili nella mattinata (dalle 9 alle 12) mentre a Punta Sabbioni è visibile l’effetto del regime di brezza che porta a un decremento delle concentrazioni dei gas in quelle ore. In entrambi i siti i “giorni tipo” non sono diversi fra periodi lavorativi e non, fornendo un ulteriore indizio di assenza di contributi specifici e diretti provenienti dalle attività di cantiere. Le concentrazioni dei gas tendono a crescere nelle ore notturne in entrambi i siti mostrando una correlazione con l’andamento dell’altezza dello strato limite atmosferico.

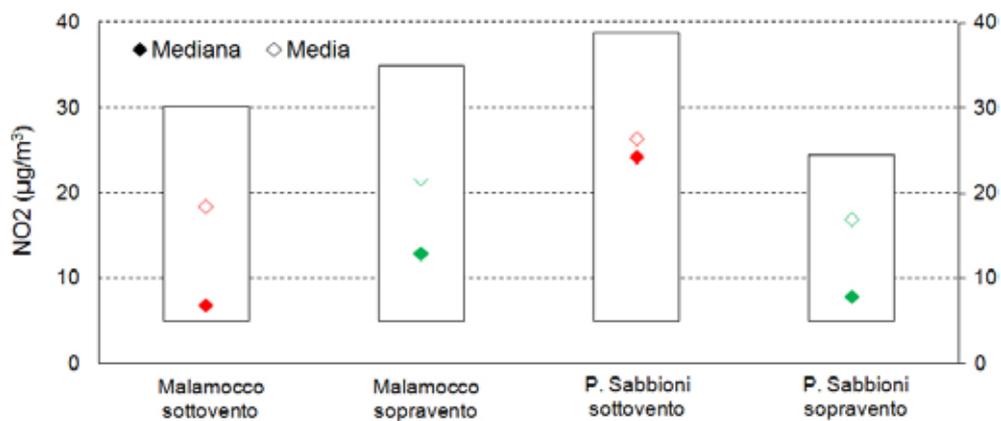
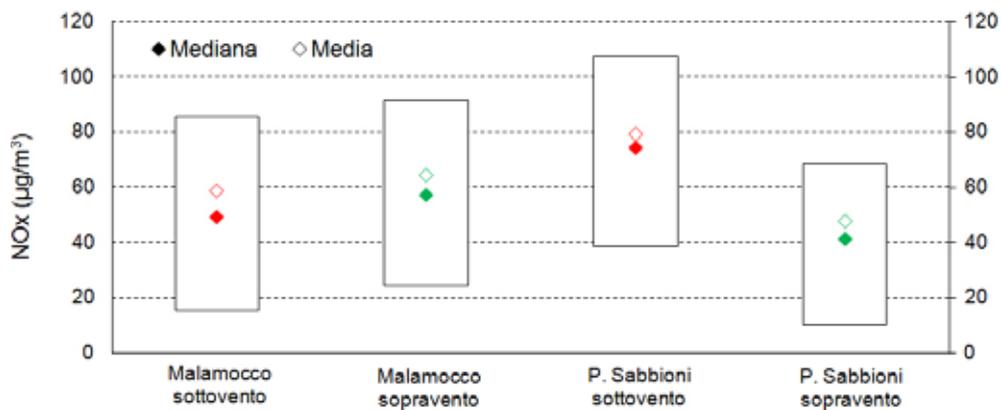
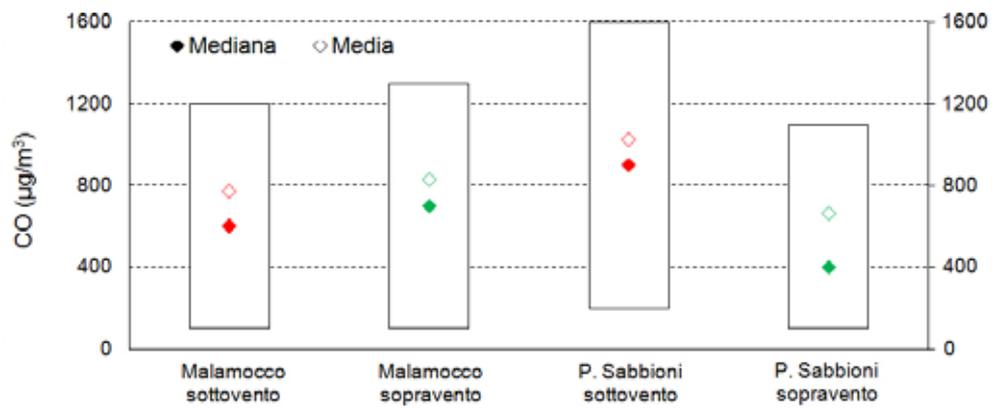
Per indagare più approfonditamente un eventuale contributo dei cantieri del MOSE, le concentrazioni dei gas misurate nelle sole ore lavorative (8-20) sono state raggruppate per settore di provenienza del vento. L’analisi è stata effettuata solo per le ore lavorative



24. Concentrazioni medie di CO, NO<sub>x</sub> e NO<sub>2</sub> ottenute per i periodi lavorativi e non lavorativi a Punta Sabbioni e Malamocco. Le barre di errore rappresentano la deviazione standard, dal 2006 al 2015.



25. “Giorno tipo” festivo e lavorativo per i diversi composti gassosi monitorati. La barra degli errori indica la deviazione standard delle misure.



26. Concentrazioni medie e mediana di CO, NOx e NO<sub>2</sub> calcolate separatamente per settori di sottovento e sopravento rispetto alla posizione dei cantieri a Malamocco e Punta Sabbioni. Il box rappresenta l'intervallo interquartile (fra 25% e 75%). Sono considerate solo le ore lavorative.

(8-20). I risultati sono riportati in figura 26 e mostrano che a Malamocco le differenze fra i diversi settori del vento non sono apprezzabili (considerando l'intervallo interquartile fra 25% e 75%).

A Punta Sabbioni le differenze sono maggiori, anche se dai grafici si osserva che i due box si sovrappongono; non è pertanto da escludere che vi siano stati dei contributi provenienti dalle attività di cantiere, anche se in questo sito la direzione dei cantieri è in linea con quella dell'area industriale di Porto Marghera.

### Deposizioni atmosferiche

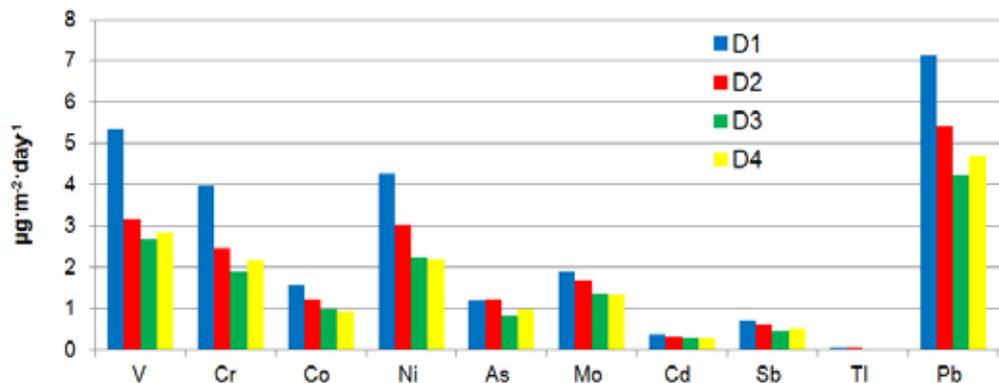
Le figure 27 e 28 riportano le concentrazioni medie delle deposizioni raccolte presso Punta Sabbioni nel periodo dal gennaio 2005 a maggio 2006. I valori di deposizione, sia per gli inquinanti inorganici che per gli organici, risultano più elevati per il deposimetro posizionato all'interno del cantiere (D1). Le differenze con gli altri deposimetri in posizioni diverse esterne al cantiere (D2, D3, D4) sono statisticamente significative.

I valori medi delle deposizioni atmosferiche raccolte all'esterno del sito di costruzione del MOSE risultano confrontabili senza evidenziare una anticorrelazione con l'aumentare della distanza dal cantiere. Da ciò si deduce che l'impatto dovuto alle attività di cantiere risulta confinato in una zona strettamente all'interno dell'area interessata dalle lavorazioni stesse.

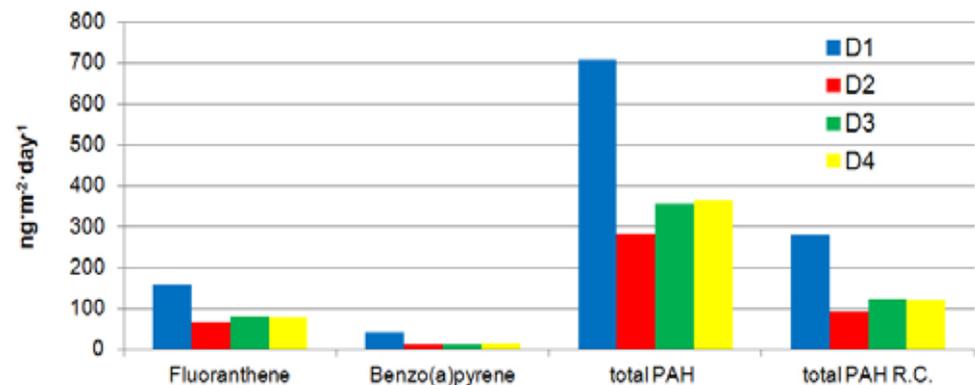
Poiché le deposizioni atmosferiche sono influenzate dalla precipitazione (intensità, tipologia e durata) i flussi di deposizione atmosferica nel deposimetro D4 (considerato come fondo) sono stati confrontati con tre diversi livelli di precipitazione: meno di 40 mm di acqua, fra 40 mm e 80 mm e maggiori di 80 mm.

Come si osserva dalle figure 29 e 30 si hanno maggiori flussi di deposizione in condizioni di elevate regime di precipitazione per i microinquinanti inorganici.

27. Deposizioni atmosferiche medie per i microinquinanti inorganici per i deposimetri D1, D2, D3 e D4 dal gennaio 2005 al maggio 2006.



28. Deposizioni atmosferiche medie per i microinquinanti organici per i deposimetri D1, D2, D3 e D4 dal gennaio 2005 al maggio 2006.

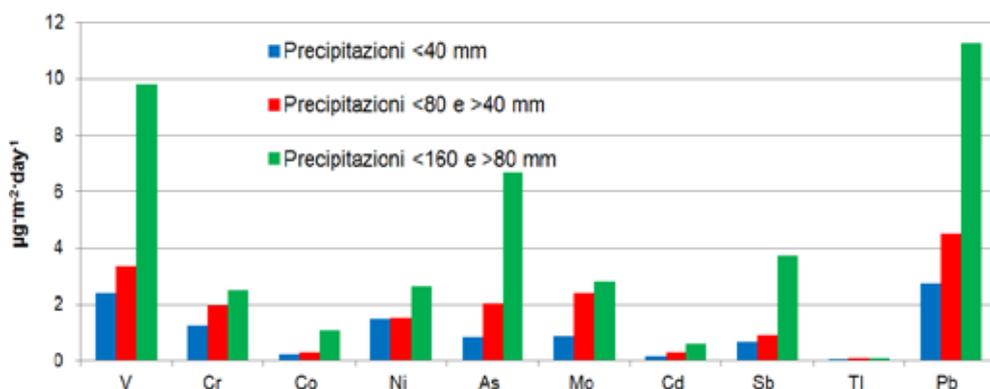


Per i microinquinanti organici si osservano in generale maggiori flussi di deposizione in condizione di precipitazione di media intensità e quindi in generale la correlazione fra flussi di deposizione e precipitazione risulta inferiore rispetto ai microinquinanti inorganici. Occorre considerare anche che gli IPA presentano un andamento stagionale e che i periodi di minore concentrazione (estivo e primaverile) sono anche periodi di minore precipitazione.

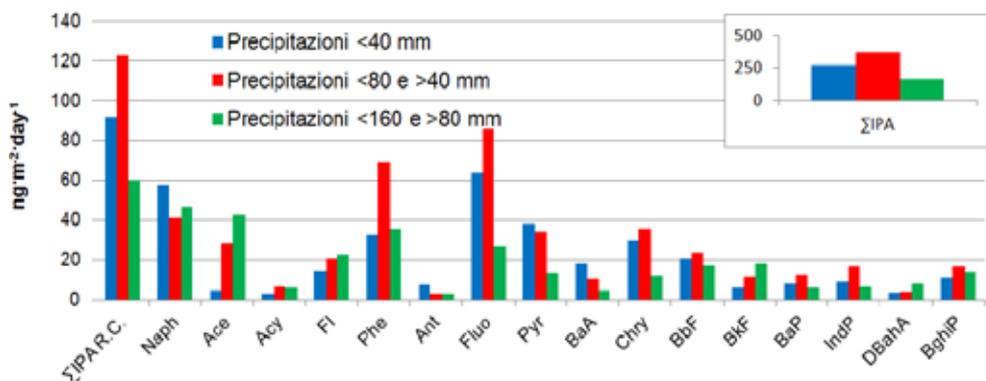
Per le deposizioni ottenute in D4 (in quanto si tratta del deposimetro per il quale è disponibile un numero sufficiente di dati) si è svolta un'analisi statistica PCA (analisi delle componenti principali), considerando come variabili le precipitazioni, i flussi di deposizione dei composti inorganici (As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, Sb, V) e organici: Fluorantene, ΣPAH (IPA totali) e ΣPAH R.C (IPA a rischio cancerogeno). Sono stati omessi i composti le cui concentrazioni sono risultate prossime ai rispettivi limiti di rilevazione. Questa analisi statistica permette di evidenziare eventuali relazioni esistenti tra le variabili e tra i campioni. Le figure 31 e 32 riportano i risultati ottenuti.

Nella figura 31 (score plot della prima componente rispetto alla seconda) vengono evidenziati due gruppi distinti di campioni: l'uno, cerchiato in rosso, che comprende tutti i flussi ottenuti in estate ed autunno e l'altro, cerchiato in blu, i flussi ottenuti nel periodo invernale. Questi due gruppi si distinguono in base all'importanza di alcune variabili che hanno valori diversi per i due gruppi.

L'esame del loading plot (figura 32) permette poi di stabilire che la differenza fra campioni estate-autunno ed inverno è dovuta principalmente a differenze nei flussi dei composti organici. Questa distinzione è in accordo con quanto rilevato in precedenza: i composti organici presentano un andamento stagionale indipendente dalla precipitazione che è più correlata con i flussi dei composti inorganici. Infatti nella figura 33 i campioni del periodo gennaio e ottobre 2009 (Jan-09 e Oct-09) sono separati dagli altri e questo è dovuto principalmente alle precipitazioni correlate con i flussi di As, Cd, Pb, Sb e V.

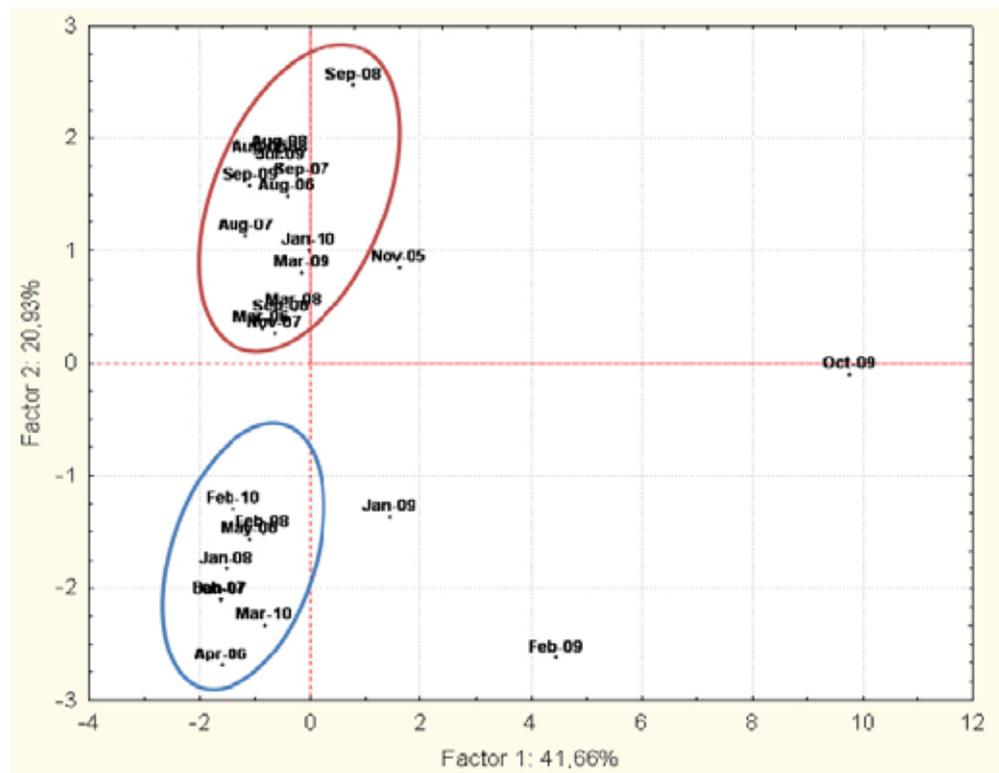


29. Flussi medi di deposizione atmosferica di microinquinanti inorganici nel deposimetro D4, in funzione della precipitazione.

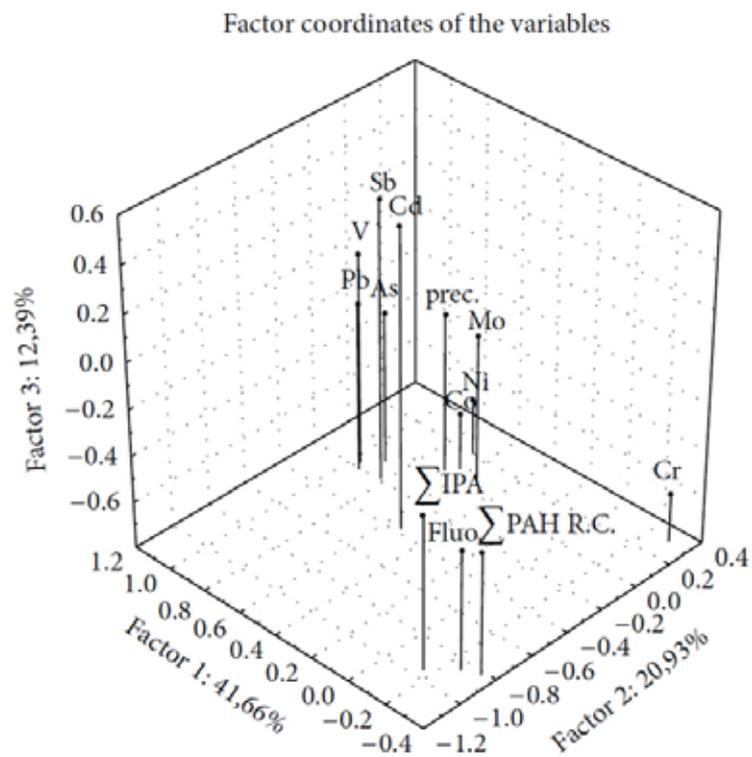


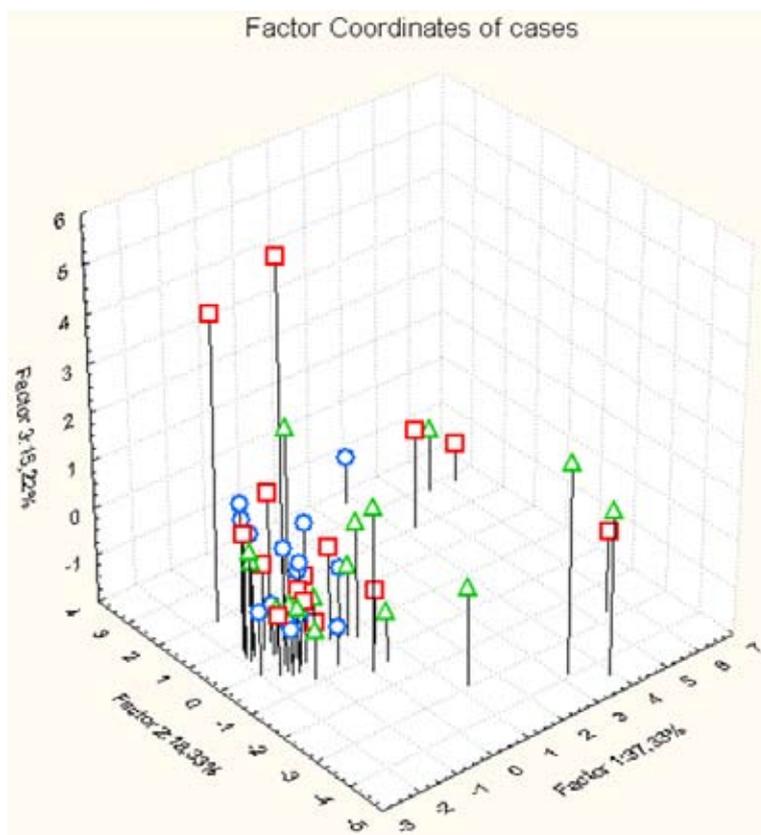
30. Flussi medi di deposizione atmosferica di microinquinanti organici nel deposimetro D4, in funzione della precipitazione. Le deposizioni totali di IPA sono riportate separatamente per la diversa scala.

31. Score plot delle due componenti principali ottenute con l'analisi PCA nei flussi di deposizione ottenuti con il deposimetro D4 (Morabito *et al.*, 2014).



32. Loading plot tridimensionale delle tre prime componenti ottenute con l'analisi PCA (Morabito *et al.*, 2014).





33. Score plot tridimensionale delle prime tre componenti principali ottenute tramite PCA dei flussi di deposizione campionati in D4 (cerchi blu) D5 (quadrati rossi) e D6 (triangoli verdi) da settembre 2006 a marzo 2009 (Morabito *et al.*, 2014).

Per valutare la distribuzione spaziale delle deposizioni atmosferiche sono stati analizzati, tramite la PCA, i flussi di deposizione ottenuti nei periodi di monitoraggio, cioè fra settembre 2006 e marzo 2009, simultaneamente nelle tre postazioni in prossimità dei cantieri, uno per bocca di porto.

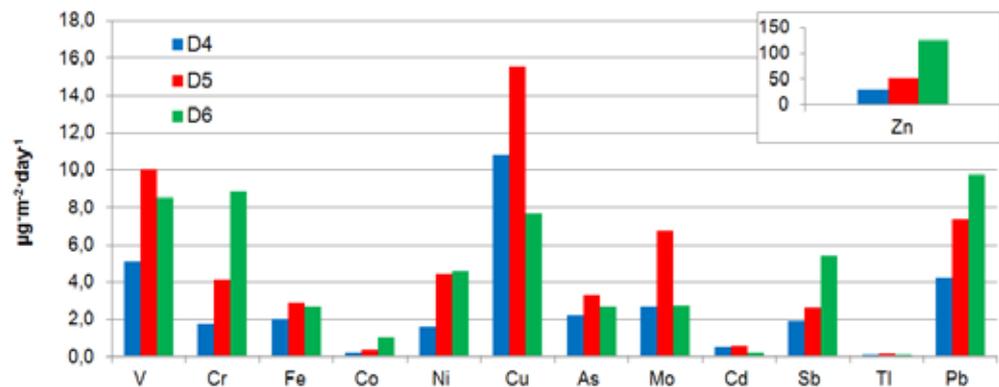
La Tabella 4 riporta i fattori delle variabili, basati sulla correlazione, delle prime tre componenti principali e in figura 33 lo score plot 3D delle prime tre componenti. Gli asterischi (Tabella 4) indicano come sono associate fra di loro le variabili. Ovvero nella prima componente principale incidono maggiormente V, Ni, As, Mo, Cd, Sb, Pb e precipitazione; nella seconda Cr e Co, e nella terza IPA e IPARC.

I campioni dei flussi a Punta Sabbioni (cerchi blu) sono tutti raggruppati. Per gli altri due siti (quadrati rossi a Malamocco e triangoli verdi a Chioggia) ci sono molti campioni separati dagli altri a causa del Fattore 1 (in particolare V, Ni, As, e Cd) e Fattore 3 (composti organici).

Variabile	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3
V	0,951 ★	0,021	0,009
Cr	0,528	-0,685 ★	0,249
Co	0,416	-0,799 ★	0,29
Ni	0,847 ★	-0,357	0,112
As	0,741 ★	0,341	-0,157
Mo	0,619 ★	0,028	-0,218
Cd	0,694 ★	0,584	-0,166
Sb	0,547 ★	0,4	-0,14
Pb	0,583 ★	0,214	0,066
ΣPAH	0,11	0,444	0,84 ★
ΣPAH R.C.	-0,023	0,286	0,915 ★
prec	0,584 ★	-0,146	-0,039

Tabella 4. Coordinate dei fattori delle variabili delle prime tre componenti dei flussi in D4, D5 e D6 nel periodo settembre 2006-marzo 2009.

34. Flussi di deposizione medi per i deposimetri D4, D5, D6 da settembre 2006 a marzo 2009. Il Fe è espresso come  $\text{mg m}^{-3} \text{d}^{-1}$ . Le concentrazioni di Zinco sono riportate separatamente.



La figura 34 riporta la distribuzione spaziale delle deposizioni (D4 collocato presso Punta Sabbioni, D5 Malamocco e D6 Chioggia).

La analisi della distribuzione spaziale dei flussi di deposizione (figure 33 e 34) mette in risalto che nell'area vicino a Lido (Laguna Nord) i flussi sono inferiori rispetto alle altre aree lagunari e sono a carattere omogeneo (i cerchi di colore blu sono tutti raggruppati); negli altri siti, posizionati vicino a Malamocco e Chioggia, invece, i flussi di deposizione risultano più variabili (distribuzione dei rispettivi simboli più sparpagliata). È probabile che vicino a Chioggia si osservino interferenze dovute ad altre sorgenti, quali la vicina città di Chioggia e l'area del Po. Nel sito di Malamocco si sono osservati maggiori flussi di deposizione di microinquinanti organici, probabilmente dovuti ai combustibili dei numerosi mezzi marittimi che circolano in quell'area. Infine per tutti gli inquinanti monitorati non si osservano andamenti, crescenti o decrescenti, durante il periodo di monitoraggio.

### Elaborazioni modellistiche

I risultati dei calcoli modellistici sono costituiti da valori orari di concentrazione di  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$  nelle aree di bocche di porto. Essi possono essere presentati in termini di mappe spaziali dei valori di lungo termine (media annuale, n-simo massimo della serie annuale), di medio termine (medie stagionali), di breve termine (medie giornaliere o valori orari) delle concentrazioni dei diversi inquinanti trattati. Inoltre possono essere analizzate le serie temporali dei valori orari o giornalieri, secondo l'inquinante, in punti del dominio che corrispondono a siti sensibili o coincidenti con le stazioni di misura. L'andamento delle ricadute degli inquinanti in funzione della variazione delle condizioni meteorologiche indica come le concentrazioni maggiori siano associate a condizioni meteorologiche stabili (l'atmosfera può essere classificata come stabile quando i moti verticali sono rallentati e l'atmosfera è fortemente stratificata) con vento debole. Si tratta in genere di condizioni notturne, ma la presenza del mare, con inerzia termica tale da creare condizioni molto più stabili di quelle sulla terraferma, induce nel modello meteorologico CALMET (preprocessore del modello di dispersione CALPUFF) l'instaurarsi, in alcuni casi, di condizioni molto stabili anche durante il giorno. È proprio in queste condizioni che il modello simula le ricadute maggiori, con particolare riferimento ai casi in cui si verificano contemporaneamente condizioni di calma di vento.

In tutte le annualità in cui si è applicata la modellistica, cioè dal 2011 al 2014, per tutte e tre le bocche di porto le concentrazioni medie annue stimate sia per il  $\text{PM}_{10}$  che per l' $\text{NO}_2$  scendono rapidamente al di sotto di valori inferiori a  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  non appena ci si allontani dalle aree di cantiere, e risultano inferiori a  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  entro qualche centinaio di metri (3 o 4 chilometri nei casi di maggiore ricaduta). Sommando i valori stimati dal modello, che costituiscono il contributo delle attività di cantiere, al livello di concentrazione di fondo, per il quale si è preso il valore, piuttosto cautelativo, misurato dalla sta-

zione ARPAV di Sacca Fisola, non si segnala alcun rischio di superamento del limite di  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  (valore limite fissato dal D.Lgs. 155/2010 per la protezione della popolazione sia per il  $\text{PM}_{10}$  che per l' $\text{NO}_2$ ), eccetto che per le zone di lavorazione interne ai cantieri. Le figure 35-37 riportano un esempio di mappe di concentrazione al suolo rispettivamente per  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_x$  e l' $\text{NO}_2$ , e il per l'anno 2014 ottenute alle tre bocche di porto. Le aree colorate in rosso rappresentano, per le mappe di  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$ , livelli di concentrazione compresi fra i valori di fondo e  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ . Come valore di fondo per il  $\text{PM}_{10}$  è stata considerata la media annuale misurata dalla centralina ARPAV di Sacca Fisola che per il 2014 risulta pari a  $28 \mu\text{g m}^{-3}$ . Per quanto riguarda l' $\text{NO}_2$  come valore di fondo, ottenuta sempre dalla centralina di Sacca Fisola, si è considerata per il 2014 una concentrazione di  $29 \mu\text{g m}^{-3}$ . Per la figura 37, relativa alla mappa della concentrazione di  $\text{NO}_x$ , invece, il colore rosso è associato a livelli di concentrazione compresi fra  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  e il valore limite per la protezione della vegetazione ( $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

Per tutte e tre le mappe le zone a colore più scuro rappresentano livelli di concentrazione superiori ai rispettivi valori limite.

Per quanto riguarda il  $\text{PM}_{10}$  la figura 35 indica che solo in corrispondenza di un'attività cantieristica più intensa, ma limitata nel tempo, l'estensione dell'area di impatto potenziale, cioè dell'area in cui il modello stima un incremento della media annuale rispetto ai valori di fondo superiore ad  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ , interesserebbe alcuni siti residenziali. In particolare alla bocca di porto di Lido le aree sono sia direttamente a ridosso del cantiere nel comune di Cavallino-Treporti sia sull'isola di Sant'Erasmus, mentre alla bocca di porto di Malamocco viene interessato, marginalmente, l'abitato di San Pietro in Volta.

Anche per gli  $\text{NO}_x$ , il contributo delle attività cantieristiche stimato dal modello non comporta alcun rischio di superamento del limite di  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  per la protezione della vegetazione. Manca in questo caso però un sito di misura significativo che possa essere utilizzato come valore di fondo con il quale verificare se il contributo del cantiere più il fondo porti a situazioni critiche. Ad esempio, stazione di Sacca Fisola riporta un valore medio annuo per il 2014 di  $52 \mu\text{g m}^{-3}$  superiore al valore limite per la protezione della vegetazione di  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ . Tale stazione tuttavia non rispetta le caratteristiche previste dalla normativa per le stazioni di fondo e quindi tale valore è puramente indicativo di un superamento generalizzato di questo valore limite per l'area lagunare indipendentemente dalla presenza dei cantieri.

Per quanto riguarda l' $\text{NO}_2$  occorre distinguere fra valore limite annuale e valore limite orario. Relativamente al valore limite annuale, per le bocche di porto di Malamocco e Chioggia si sottolinea che le concentrazioni medie annue stimate scendono rapidamente al di sotto di valori inferiori a  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  non appena ci si allontani dai confini esterni delle aree di cantiere.

A Lido si riscontra una zona di impatto dei cantieri tra  $5$  e  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  per una porzione dell'Isola di Sant'Erasmus. Pur considerando un livello di concentrazione di background piuttosto cautelativo come quello misurato dalla stazione ARPAV di Sacca Fisola, non si segnala alcun rischio di superamento del limite di  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  per la protezione della popolazione.

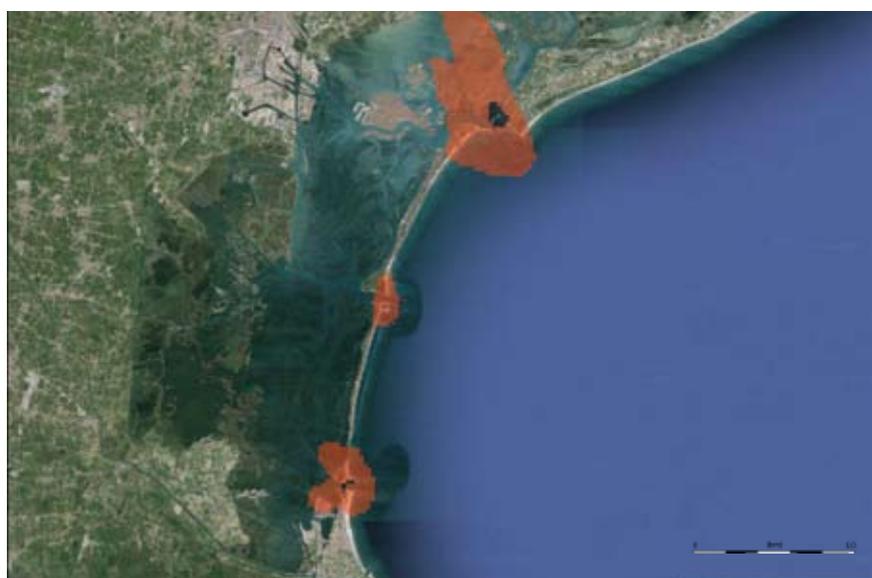
La figura 38 riporta, dall'alto verso il basso, rispettivamente la concentrazione di  $\text{NO}_2$  al 99.8° percentile alla bocca di Lido, Malamocco e Chioggia.

In riferimento al limite orario dell' $\text{NO}_2$  per la protezione della salute, che richiede che non si verifichino in un anno più di 18 superamenti del valore di  $200 \mu\text{g m}^{-3}$ , tenendo conto che al contributo del modello si sommano i contributi relativi a tutte le altre sorgenti emmissive presenti nel dominio. I risultati dello studio modellistico indicano che il rischio di superamento di tale limite di breve durata è generalmente confinato alle aree

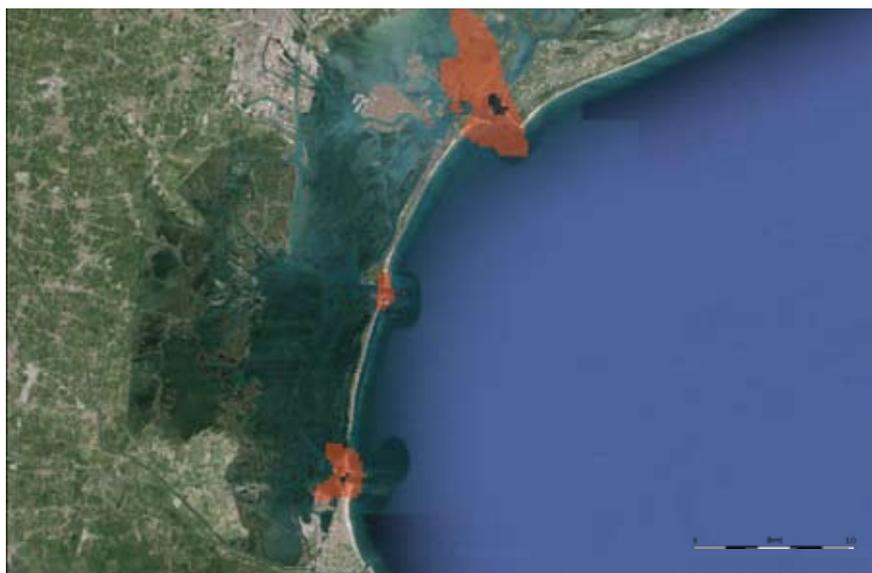
35. Concentrazione media annuale di  $PM_{10}$ -anno 2014. Immagine aerea da Google Earth.

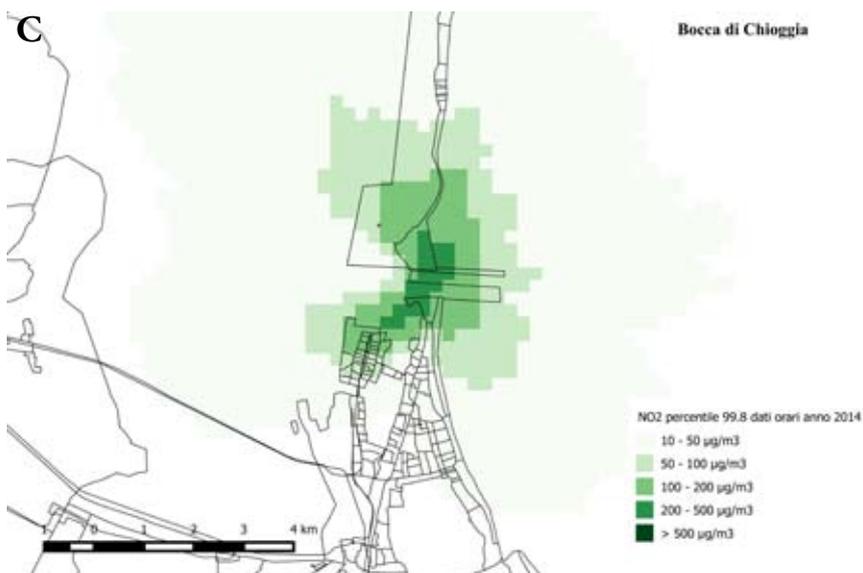
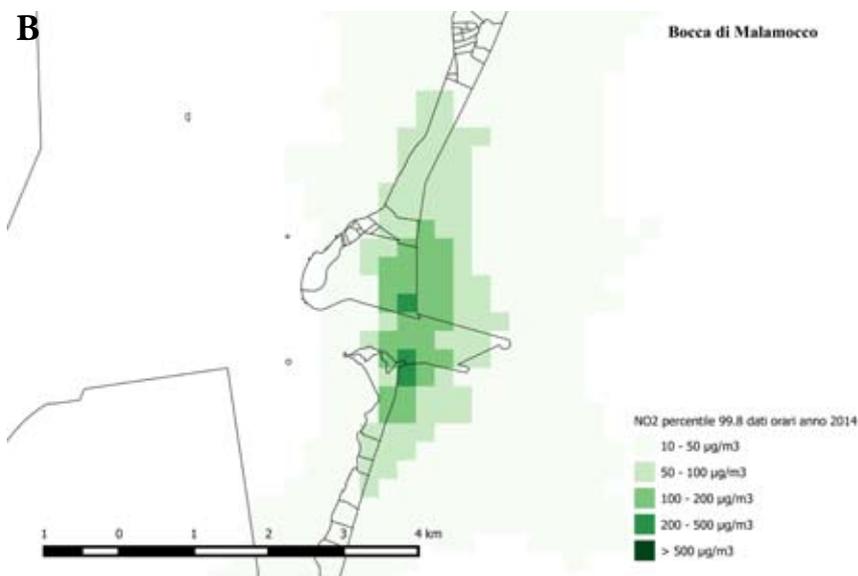
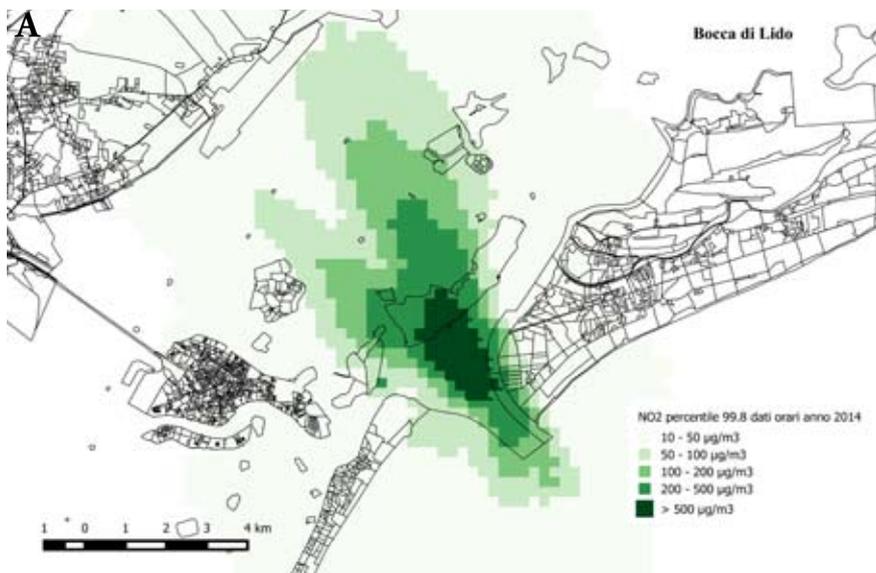


36. Concentrazione media annuale di  $NO_x$ -anno 2014. Immagine aerea da Google Earth.



37. Concentrazione media annuale di  $NO_2$ -anno 2014. Immagine aerea da Google Earth.





38. Percentile 99.8° delle concentrazioni di  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), bocca di Lido (A), bocca di Malamocco (B) e bocca di Chioggia (C).

a ridosso dei cantieri, con le eccezioni di alcuni siti residenziali nella parte sud-ovest dell'isola di Sant'Erasmus, alla bocca di porto di Lido, e una piccola parte dell'abitato di San Pietro in Volta alla bocca di Malamocco.

## Considerazioni conclusive

Le attività svolte nell'ambito del Piano di monitoraggio dei cantieri del MOSE possono essere raggruppate in base alla scala temporale delle singole misure effettuate.

Alla scala temporale più ampia si situano le deposizioni atmosferiche, con durata di campionamento pari a circa un mese. I flussi di deposizione, sia a secco che a umido, rappresentavano, all'epoca della stesura del Piano di monitoraggio, uno dei parametri più tradizionali e utilizzati nella valutazione dell'impatto ambientale di cantieri o insediamenti industriali.

Per inciso, la valutazione dei flussi di deposizione era l'unica attività prevista all'interno dell'iniziale documento relativo allo Studio di Impatto Ambientale (SIA) del Progetto di Massima degli Interventi alle Bocche Lagunari per la Regolazione dei Flussi di Marea.

La raccolta delle deposizioni atmosferiche può, tuttavia, fornire soltanto alcuni elementi qualitativi e parziali sull'eventuale impatto atmosferico di una sorgente. Ciò principalmente perché un periodo di campionamento così ampio non permette, a meno di rilevanti ricadute atmosferiche, di apprezzare lo specifico contributo della sorgente rispetto al fondo, e in secondo luogo, per la relazione fra deposizioni atmosferiche e precipitazioni (quantità, caratteristiche ed intensità), come evidenziato anche dai risultati ottenuti durante il monitoraggio.

Posizionando i deposimetri a distanze diverse dal cantiere, uno nell'area interna del cantiere stesso, è stato possibile escludere ricadute di inquinanti, dovuti ai cantieri del MOSE, così significative da superare l'ampia variabilità dei dati ottenuti con questa tecnica. I risultati, quindi, hanno, in qualche modo, fornito un limite superiore ad eventuali impatti ambientali.

Considerando una scala temporale inferiore si evidenziano le misure di durata giornaliera: concentrazione di IPA, composizione elementale del  $PM_{10}$  e quantità di  $PM_{10}$ . Questa scala temporale viene normalmente utilizzata per misure della qualità dell'aria, come previsto dalla legislazione vigente identificando valori obiettivo per la media giornaliera di  $PM_{10}$ , per il contenuto di Ni, As, Pb e Cd nel  $PM_{10}$  e di BaP come media annuale ottenuta da misure giornaliere. Si tratta di una scala temporale che, correlata ai parametri meteorologici (principalmente direzione ed intensità del vento), permette, soprattutto in periodi di vento con direzioni costanti e ben definite, di potere identificare eventuali contributi provenienti dalla sorgente indagata. Inoltre, potendo confrontare giorni di cantiere aperto con giorni di cantiere chiuso è stato possibile mettere ulteriormente in evidenza eventuali scostamenti nei valori di concentrazione degli inquinanti misurati.

Come si può osservare dai risultati ottenuti, riportati nelle specifiche sezioni, sia per la composizione elementale del  $PM_{10}$  che per la concentrazione di IPA i risultati ottenuti non hanno messo in evidenza contributi specifici dovuti alle attività del MOSE. Inoltre, a questa scala temporale è stato possibile correlare le misure giornaliere di  $PM_{10}$  in laguna con quelle effettuate da ARPA Veneto ed Emilia Romagna ed evidenziare periodi temporali nei quali la dispersione atmosferica delle polveri nell'intero bacino padano era critica.

Naturalmente anche in questo caso, la diversa base statistica di confronto fra giorni lavorativi e non (più numerosi i primi rispetto ai secondi), la presenza di periodi caratterizzati da vento variabile ed eventuali rilasci di intensità tale da non essere evidenziati alle 24 ore, possono avere in qualche modo minimizzato un impatto ambientale. Per-

tanto sono state effettuate misure anche alla scala temporale oraria (composti gassosi e  $PM_{10}$ ). In questo caso le correlazioni fra concentrazione misurata e direzione del vento vengono ad essere più dettagliate permettendo di discriminare fra contributi dovuti alla sorgente monitorata da quelli provenienti da altre sorgenti (ad esempio zona industriale di Porto Marghera, Pianura Padana). Questa analisi più dettagliata ha permesso inoltre di evidenziare il “giorno tipo” per Malamocco e Punta Sabbioni con differenze dovute ai diversi regimi di brezza. Dai risultati ottenuti non si sono osservati contributi provenienti dai cantieri.

Sono state svolte anche misure alla scala temporale di alcuni minuti per il  $PM_{10}$  sia con centralina fissa che mobile, in modo da evidenziare andamenti anomali tali da essere compatibili con casi di trasporto di polveri, anche di breve durata, dalle aree di cantiere (sollevamento eolico di terriccio, movimentazione di mezzi pesanti). Anche in questo caso non si sono verificati eventi significativi di trasporto di polveri. Inoltre questa scala temporale così breve ha permesso di verificare la corretta applicazione delle procedure di mitigazione adottate, principalmente la bagnatura dei piazzali e dei cumuli di terra.

Queste misure temporali ad alta frequenza sono state impiegate per stimare i contributi alle abitazioni circostanti delle emissioni di veicoli pesanti, dovuti ai numerosi trasporti di materiale sulla viabilità ordinaria. Tali contributi sono risultati di scarsa entità.

Infine, pur con tutta la complessità evidenziata, le misure puntuali possono essere scarsamente rappresentative o non in grado di offrire una visione della distribuzione spaziale degli inquinanti. Infatti frequentemente, per motivi logistici, i sistemi di prelievo e di campionamento vengono posizionati non necessariamente nei punti di massima ricaduta che comunque dipendono dalle condizioni atmosferiche e sono quindi variabili. Risulta pertanto fondamentale potere disporre di simulazioni numeriche che forniscono mappe di ricaduta al suolo degli inquinanti in diverse condizioni atmosferiche per poter identificare eventuali criticità ed avvalorare le misure sperimentali svolte.

Da questo punto di vista le simulazioni numeriche effettuate, oltre che confermare quanto ottenuto con le misure sperimentali puntuali, hanno anche permesso di evidenziare come il contributo dovuto alle attività cantieristiche è rimasto limitato, prevalentemente, alle aree di cantiere stesse.

## Ringraziamenti

Il monitoraggio, relativo alla matrice aria, delle eventuali emissioni provenienti dai cantieri installati presso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, ha visto la collaborazione di diverse istituzioni ed enti di ricerca: CORILA, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR) del CNR di Bologna e Lecce, Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (IDPA-CNR) del CNR di Venezia e l'Università Ca' Foscari (Ve).

Numerose persone hanno preso parte alle varie attività svolte nell'ambito del monitoraggio (dai campionamenti, alle analisi di laboratorio ed elaborazione dati). In particolare quanti hanno più stabilmente collaborato (oltre ai già citati autori) sono:

Dott.ssa Elena Barbaro (IDPA-CNR, Venezia)

Dott.ssa Elena Gregoris (IDPA-CNR, Venezia)

Dott. Marco Vecchiato (DAIS, Ca' Foscari, Venezia)

Dott.ssa Roberta Zangrando (IDPA-CNR, Venezia)

## Bibliografia

- Air Quality in Europe 2013 Report. EAA Report N 9/2013, ISSN 1725-9177.
- APHEKOM (2011) Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe. Summary report of the Aphekom project 2008-2011.
- ARPAV (2014) Relazione Regionale Qualità dell'Aria: Anno di riferimento 2013.
- Buccolieri A., Buccolieri G., Cardellicchio N., Dell'Atti A., Elena Tiziana Florio E. T. (2005) PM<sub>10</sub> and heavy metals in particulate matter of the province of Lecce (Apulia, southern Italy). *Annali di Chimica*, 95(1-2), 15-25.
- Capodaglio G., Toscano G., Cescon P., Scarponi G. (1994) Copper complexation in the surface sea water of Terra Nova Bay (Antarctica). *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 55(1-4), 129-148.
- Cesari D., Genga A., Ielpo P., Siciliano M., Mascolo G., Grasso F. M., Contini D. (2014) Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in the harbour-industrial area of Brindisi (Italy): Identification and estimation of the contribution of in-port ship emissions. *Science of Total Environment*, 497-498, 392-400.
- Contini D., Gambaro A., Belosi F., De Pieri S., Cairns W., Donateo A., Zanotto E., Citron M. (2011) The direct influence of ship traffic on atmospheric PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and PAH in Venice. *Journal of Environmental Management*, 92, 9, 2119-29.
- Contini D., Belosi F., Gambaro A., Cesari D., Stortini M. A., Bove M. C. (2012) Comparison of PM<sub>10</sub> concentrations and metal content in three different sites of the Venice Lagoon: An analysis of possible aerosol sources. *Journal of Environmental Sciences*, 24(11), 1954-1965.
- Decreto Ministeriale 25/11/1994.
- Decreto Ministeriale n. 60, 02/04/2002.
- Decreto Legislativo n. 152, 03/08/2007.
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2009) International navigation, national navigation, national fishing and military (shipping)-sec.1.A.3.d Navigation (update March 2011).
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2009) Non-road mobile sources and machinery (land-based emissions)-sec. 1.A.4 Other Mobile (update June 2010).
- European Communities (2001) Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position Paper. Prepared by the Working Group On As, Cd and Ni compounds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Gaga E. O., Ari A., Döğeroğlu T., Çakırca E. E., Machin N. (2012) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrialized city, Kocaeli, Turkey: study of seasonal variations, influence of meteorological parameters and health risk estimation. *Journal of environmental monitoring*, 14: 2219-29.
- Gambaro A., Manodori L., Moret I., Capodaglio G., Cescon P. (2004) Determination of polychlorobiphenyls and polycyclic in the atmospheric aerosol of the Venice Lagoon. *Analytical and Bioanalytical chemistry*, 378: 1806-14.
- Gambaro A., Radaelli M., Piazza R., Stortini M. A., Contini D., Belosi F., Zangrando R., Cescon P. (2009) Organic micropollutants in wet and dry depositions in the Venice Lagoon. *Chemosphere*, 76, 1017-1022.
- Gregoris E., Argiriadis E., Vecchiato M., Zambon S., De Pieri S., Donateo A., Contini

D., Piazza R., Barbante C., Gambaro A. (2014) Gas-particle distributions, sources and health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and polychlorinated naphthalenes (PCNs) in Venice aerosols, *Science of The Total Environment*, 476-7, 393-405.

IARC: International Agency for Research on Cancer (2009) IARC Monogr, on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Complete list of agents evaluated and their classification.

Khalili N. R., Scheff P. A., Holsen T. M. (1995) PAH Source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmospheric Environment* 29, 533-542.

Lu S. L., Longyi S., Minghong W., Zheng J., Xiahoui C. (2007) Chemical elements and their source apportionment of PM<sub>10</sub> in Beijing urban atmosphere. *Environmental Monitoring and Assessment*, 133(1-3), 79-85.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia) (2009) Il monitoraggio SAMANET delle deposizioni atmosferiche nella Laguna di Venezia anno 2007.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2005-2013) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Aria. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Masiol M., Rampazzo G., Ceccato D., Squizzato S., Pavoni B. (2010) Characterization of PM<sub>10</sub> sources in a coastal area near Venice (Italy): An application of factor-cluster analysis. *Chemosphere*, 80(7), 771-778.

Masclat P., Mouvier G., Nikolaou K. (1986) Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons, *Atmospheric Environment*, 20 (3), 439-446.

Pope C. A., Dockery D. W. (2006) Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56, 709-742.

Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2015) Studi B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Aria. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Querol X., Alastuei A., Ruiz C. R., Artinano B., Hansson H. C., Harrison R. M. (2004) Speciation and origin of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in selected European cities. *Atmospheric Environment*, 38, 6547-6555.

Rampazzo G., Masiol M., Visin F., Pavoni B. (2008) Gaseous and PM<sub>10</sub>-bound pollutants monitored in three sites with differing environmental conditions in the Venice area (Italy). *Water Air and Soil Pollution*, 195(1-4), 161-176.

Rossini P., Guerzoni S., Molinaroli E., Rampazzo G., De Lazzari A. (2005a) Atmospheric bulk deposition to the lagoon of Venice part I. Fluxes of metals, nutrients and organic contaminations. *Environmental International* 31, 959-974.

Rossini P., Matteucci G., Guerzoni S. (2005b) Atmospheric fall-out of POPs (PCDD-Fs, PCBs, HCB, PAHs) around the industrial district of Porto Marghera, Italy. *Science of the Total Environment*, 349, 180-200.

Santi E., Belosi F., Santachiara G., Prodi F., Berico M. (2010) Real-time aerosol photometer and optical particle counter comparison, *Il Nuovo Cimento*, 125 B.

Scire J. S., Strimaitis D. G., Yamartino R. J. (1990) Model formulation and user's gui-

- de for the CALMET meteorological model. Prepared for the California Air Resources Board by Sigma Research Corporation, Concord, MA.
- Slezakova K., Pires J. C. M., Castro D., Alvim-Ferraz M. C. M., Delereu-Matos C., Morais S., Pereira M. C. (2013) PAH air pollution at a Portuguese urban area: carcinogenic risks and sources identification. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 3932-45.
- Stortini A. M., Freda A., Cesari D., Cairns W., Contini D., Barbante C., Prodi F., Cescon P., Gambaro A. (2009) An evaluation of the  $PM_{2.5}$  trace elemental composition in the Venice Lagoon area and an analysis of the possible sources. *Atmospheric Environment*, 43(40), 6296-6304.
- Studio di Impatto Ambientale (SIA) del Progetto di Massima degli Interventi alle Bocche Lagunari per la Regolazione dei Flussi di Marea. (Sezione D, Quadro di Riferimento Ambientale, Vol. 2, 1997. N. Elaborato 95.T706-REL-T067.4 Consorzio Venezia Nuova).
- Toscano G., Moret I., Gambaro A., Barbante C., Capodaglio G. (2011) Distribution and seasonal variability of trace elements in atmospheric particulate in the Venice Lagoon. *Chemosphere*, 85(9), 1518-1524.
- Viana M., Amato F., Alastuey A., Monfort E. (2009) Chemical tracers of particulate emissions from commercial shipping. *Environmental Science & Technology*, 43, 7472-7477.
- Watson J. G., Zhu T., Chow J. C., Engelbrecht J., Fujita E. M., Wilson W. E. (2002) Receptor modeling application framework for particle source apportionment. *Chemosphere*, 49(9), 1093-1136.
- Wedepohl K. H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1217-1232.

## Summary

The construction activities of the mobile gates at the Venice Lagoon entrances might impact over several environmental matrixes; among them there are the atmospheric emissions due to off-road and maritime vehicles, heavy duty trucks, stones movement, ecc. Therefore the monitoring plan is made up of samplings of several pollutants.

PM<sub>10</sub> was analyzed on an hourly frequency at Punta Sabbioni by means of a light-scattering type sampler, while PM<sub>10</sub> filters for elemental analysis were collected at the Punta Sabbioni, Malamocco and Chioggia inlets using low volume sequential aerosol samplers (Skypost PM-TCR Tecora). PAHs have been monitored by means of a High Volume sampler (Tisch Environment) using a monitoring strategy based on two sampling campaigns, usually carried out each year at Malamocco (September and January/February), and at Punta Sabbioni (November and February).

Measurements of gaseous pollutant concentrations (CO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) were carried out on an hourly basis using tick film sensors (ETL2000, Unitech srl, Italy) at Punta Sabbioni and Malamocco, for 1 or 2 weeks each month. Furthermore, in order to put in evidence a possible contribution from the construction works of the MOSE, the data have been analysed separating the period of construction activity (between 8 am to 8 pm during working days) and in the period of inactivity (between 9 pm and 7 am during working days and all the day during holydays).

Atmospheric deposition fluxes of organic and inorganic compounds have been measured by means of bulk depositometers positioned at the three lagoon entrances and in a site far distant from the courtyard (elementary school S. Pertini, Punta Sabbioni). The last one is considered not influenced from the construction activities and therefore it gives the deposition reference flux. Two yearly sampling campaigns (June-October and December-March), each made of three samples (one month length) have been performed. The monitoring strategy is fulfilled by deploying numerical models (CALPUFF and CALMET) to compute the spatial distributions of the pollutants concentration levels according to different atmospheric dispersion conditions.

The data elaboration is based on the comparison of each pollutant averaged concentration with its specific thresholds (in some cases legal ones, in other cases obtained through statistical elaboration of data obtained in absence of working activities) and on the correlation with the meteorological parameters (a meteorological mast has been positioned at Punta Sabbioni, while at Malamocco the MAV meteorological stations is used). The comparison of the real time monitored data with the meteorological conditions is very important in case of critical episodes, because it allows the discerning of them as if they are due to the MOSE work activities or as if they are a consequence of a regional bad air quality condition.

Results of PM<sub>10</sub> hourly concentrations show no statistically differences between working and no-working days. Therefore emission from working activities were not so important to give rise higher dust level concentrations (from 2005 to April 2014). An interesting feature of the PM<sub>10</sub> monitoring is the correlation on a regional scale of the concentration levels. Results show a good correlation between the PM<sub>10</sub> concentration recorded at Punta Sabbioni up to Rovigo, while for Reggio Emilia station the correlation coefficient is lower. That means a coupling of the local meteorology between the Venice Lagoon and Veneto Region stronger respect to Emilia Romagna Region. Most of the recorded PM<sub>10</sub> concentration daily averaged limit exceedings at Punta Sabbioni, took place also at other Veneto cities allowing to establish that was not the consequence of the MOSE work activity but, rather, a general pollution event on a regional scale. The comparison of the average concentrations of the different metals in the PM<sub>10</sub> between cases in which the measurement sites are downwind and upwind of the MOSE construction yards

have also been performed. However, the differences associated to the two wind direction sectors were not statistically significant so that a contribution of construction activities to metals concentrations was not evidenced.

As far as the PAH difference in contaminants concentrations between the two sites is not evident, even if it is possible to notice that the concentrations found near the Lido inlet are basically lower than at the Malamocco inlet, especially in the last two years of sampling.

The daily patterns of the gas concentrations at Punta Sabbioni are different with respect to those observed at Malamocco. At Malamocco, peaks in concentrations for all gas are visible in the morning between 8 am and 12 am. At both sites the trends observed in weekdays and holidays are similar. Concentrations during holidays are slightly lower with respect to weekdays at Malamocco site but are comparable for the two periods at Punta Sabbioni site. Average gaseous pollutant concentrations increase in nocturnal hours at both sites showing a correlation with the evolution of the atmospheric boundary-layer that could indicate a trapping of the pollutants in this mixed layer. An evidence of a direct effect of the MOSE construction activities in diurnal hours was not observed.

With respect to the atmospheric deposition, for all pollutants here reported, both inorganic and organic, we cannot observe any long-term trend and neither an increase nor a decrease over the years has been put in evidence in the dataset.

Results from experimental data obtained with field measurements are corroborated by concentration maps from dispersion model simulations, which show concentration levels comparable with the background outside the courtyards.



# I coleotteri delle spiagge con dune alle bocche di porto della laguna di Venezia

## Beetle fauna of the beach-dune systems at the lagoon of Venice inlets

Lorenzo Zanella, Marco Uliana, Francesco Barbieri e Francesco Scarton

### Introduzione

Negli ultimi decenni anche gli insetti, precedentemente trascurati sotto questo punto di vista, sono stati utilizzati, con sempre maggiore importanza, come indicatori della qualità ambientale. Tra i diversi ordini sistematici che ne fanno parte, i Coleotteri rappresentano il gruppo più diversificato; le 360.000-400.000 specie descritte rappresentano all'incirca un quinto delle specie viventi conosciute, stimate in poco meno di 1.900.000 entità (Chapman, 2009). Tale biodiversità deriva da un impressionante processo di radiazione adattativa che ha portato i Coleotteri a colonizzare i più svariati habitat, evolvendo in forme di vita altamente specializzate e talora incapaci di svilupparsi in ambienti diversi da quello di elezione. Proprio questo profondo legame tra alcune specie altamente adattate e gli ecosistemi di appartenenza ha indotto molti ricercatori a proporre l'utilizzo di alcuni Coleotteri come bio-indicatori del grado di conservazione degli ecosistemi più delicati (Brandmayr *et al.*, 2005; Jaulin e Soldati, 2005; Rainio e Niemelä, 2003).

Tra gli ambienti minacciati di scomparsa in cui si possono individuare alcuni coleotteri altamente specializzati vi sono le dune sabbiose delle aree costiere. Gli arenili ancora dotati di sistemi di dune sono in forte declino lungo le coste italiane ed europee, a causa dell'intenso sfruttamento turistico delle spiagge e dell'antropizzazione delle aree litorali. Infatti, le profonde alterazioni ambientali connesse alle attività turistico-balneari sono incompatibili con la salvaguardia di questo delicato ecosistema, che nella stretta fascia di confine tra terra e mare ospita una successione di microhabitat unici e altamente selettivi.

La necessità di interventi a protezione di questi ambienti è stato riconosciuto dalla legislazione comunitaria con la Direttiva Habitat 92/43/CEE che ha individuato nell'allegato I diversi habitat di interesse comunitario connessi alle dune marine, tra i quali i seguenti particolarmente attinenti ai siti di monitoraggio qui considerati:

2110 - Dune mobili embrionali;

2120 - Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche);

2130\* - Dune costiere fisse a vegetazione erbacea (dune grigie), habitat prioritario.

La medesima Direttiva trova attuazione nell'istituzione della rete ecologica Natura 2000, che mira all'identificazione e conservazione di habitat e specie elencati rispettivamente negli allegati I e II. Le aree individuate comprendono Siti di Interesse Comunitario (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS), queste ultime già istituite a seguito della Direttiva Uccelli (79/409/CEE).

I sistemi dunali della costa veneziana sono inseriti nella rete Natura 2000 con i siti "IT3250003 - Penisola del Cavallino: Biotopi litoranei" e "IT3250023 Lido di Venezia: biotopi litoranei".

Nonostante le attività di protezione promosse dalle normative citate, un recente rapporto redatto da ISPRA sullo stato di conservazione di habitat e specie di interesse comunitario in Italia (Genovesi *et al.*, 2014) ha evidenziato che ben 5 dei 12 habitat facenti parte della macrocategoria “Dune marittime e interne” sono in uno stato di conservazione “cattivo” secondo i criteri di qualità adottati internazionalmente.

Un aspetto della normativa che meriterebbe di venire diversamente sviluppato riguarda la mancanza di una visione integrata degli habitat da proteggere. L'identificazione dell'habitat dunale sulle base delle formazioni vegetali caratteristiche, descritte nelle varie norme finalizzate all'interpretazione operativa della Direttiva Habitat, inevitabilmente focalizza l'azione di protezione sulle dune vere e proprie o addirittura parte di esse, trascurando l'arenile antistante. In particolare, viene trascurata l'importanza del detrito vegetale deposto sull'arenile dai moti di marea, che grande rilevanza assume per la conservazione di molte specie legate alla spiaggia. Questo rappresenta una distorsione pericolosa rispetto agli obiettivi di protezione che la norma si propone, poiché le dune costiere e l'arenile compreso tra le dune e il mare rappresentano due componenti indissociabili del medesimo ecosistema. In considerazione del fatto che il criterio guida per l'individuazione e caratterizzazione dell'ambiente da salvaguardare è in genere rappresentato dalla componente vegetazionale, può accadere che la spiaggia, essendo afitoica, non possa beneficiare di alcuna protezione, nonostante ospiti una biodiversità animale specializzata ed a rischio di scomparsa.

La realizzazione delle barriere mobili alle bocche di porto ha rappresentato l'occasione per avviare un articolato programma di monitoraggio multidisciplinare, atto a valutare lo stato di conservazione del sistema costiero con dune del litorale veneziano. In questo contesto operativo è stata anche effettuata una caratterizzazione della qualità ambientale mediante l'analisi dell'entomofauna, che come la vegetazione di questo ambiente si distribuisce secondo esigenze ecologiche molto restrittive e tali da determinarne una zonazione assai precisa ed articolata.

### **Generalità sui Coleotteri delle spiagge con sistemi di dune**

La spiaggia e le dune marine rappresentano due compartimenti di un unico ecosistema dai tratti poco ospitali, difficile da colonizzare sia per specie animali che vegetali. Il substrato è costituito da sabbia, che risulta arida per la scarsità di sostanza organica e la caratteristica capacità drenante. Il sommovimento della sabbia per azione del vento, inoltre, rende estremamente instabile il profilo superficiale della spiaggia e produce un effetto abrasivo su tutto ciò che si trova al di sopra del piano di campagna. Oltre a questo, l'acqua di mare crea naturalmente un aerosol ad elevato tenore salino che investe l'ambiente più prossimo al bagnasciuga e si diffonde per azione del vento verso l'entroterra, subendo un significativo abbattimento per effetto delle dune. La presenza delle dune, infatti, consente l'attenuazione di alcuni fattori di stress ambientale, grazie alla formazione di zone riparate dal vento, alla stabilizzazione del profilo sabbioso dovuto all'insediamento di piante psammofile che, oltre a creare zone d'ombra, introducono materia organica da fotosintesi nell'ecosistema. Resta comunque evidente che tutto l'ambiente sabbioso risulta poco favorevole alla vita sotto il profilo microclimatico. Nel periodo estivo, in particolare, l'escursione termica giornaliera è molto elevata. Sulle dune di Alberoni, in luglio, la temperatura massima superficiale della sabbia si aggira intorno a 58 °C, con punte di 69 °C, per scendere a valori minimi di circa 15°C durante la notte (Giordani Soika, 1959). Gli insetti e gli altri artropodi che popolano questi habitat hanno sviluppato adattamenti di tipo fisiologico, morfologico ed etologico. Ad esempio le cicindele, che tipicamente frequentano l'arenile in pieno sole, sono Carabidi predatori mobilissimi, dotati di zampe esili e molto allungate, che non solo permettono loro di spostarsi con grande velocità sul-



1. Mappa dell'area lagunare veneta e individuazione delle zone interessate dal piano di monitoraggio.  
 L'immagine aerea di Punta Sabbioni (A) evidenzia la ripartizione dell'area nei settori A e B. Le immagini relative ad Alberoni (B) e Ca' Roman (C) si focalizzano invece sui sottosectori individuati nei rispettivi settori A (vedi testo).

la sabbia ma tengono il corpo ben sollevato dalla sabbia rovente minimizzando la superficie di contatto. *Parallelomorpha laevigatus*, invece, presenta zampe anteriori adattate allo scavo nella sabbia e una forma del corpo che gli consente di introdursi nelle gallerie degli Anfipodi Talitridi di cui è predatore specializzato. Molte specie hanno ovviato alle principali ostilità climatiche assumendo un comportamento notturno e restando infossate durante le ore calde, oppure trovando rifugio sotto i depositi umidi di detriti vegetali. Questi ultimi, per lo più rappresentati da foglie di fanerogame e macroalghe depositate dalle correnti marine sopra la linea di battigia, costituiscono il principale apporto di carbonio organico alla spiaggia, altrimenti priva di produzione primaria, ed offrono una rete di microambienti a diversa temperatura e grado di umidità. Dal detrito organico origina la rete trofica dell'arenile, il cui primo livello è composto da organismi saprofiti e detritivori. Su di essi insiste un'articolata comunità di micropredatori che trasferisce l'energia chimica incamerata nella biomassa dei degradatori verso i livelli più elevati della catena alimentare. Molti di questi organismi, inclusi i Coleotteri, risultano estremamente specializzati e si rinvenivano esclusivamente in questo peculiare ambiente.

## Descrizione dei siti e metodologie d'indagine

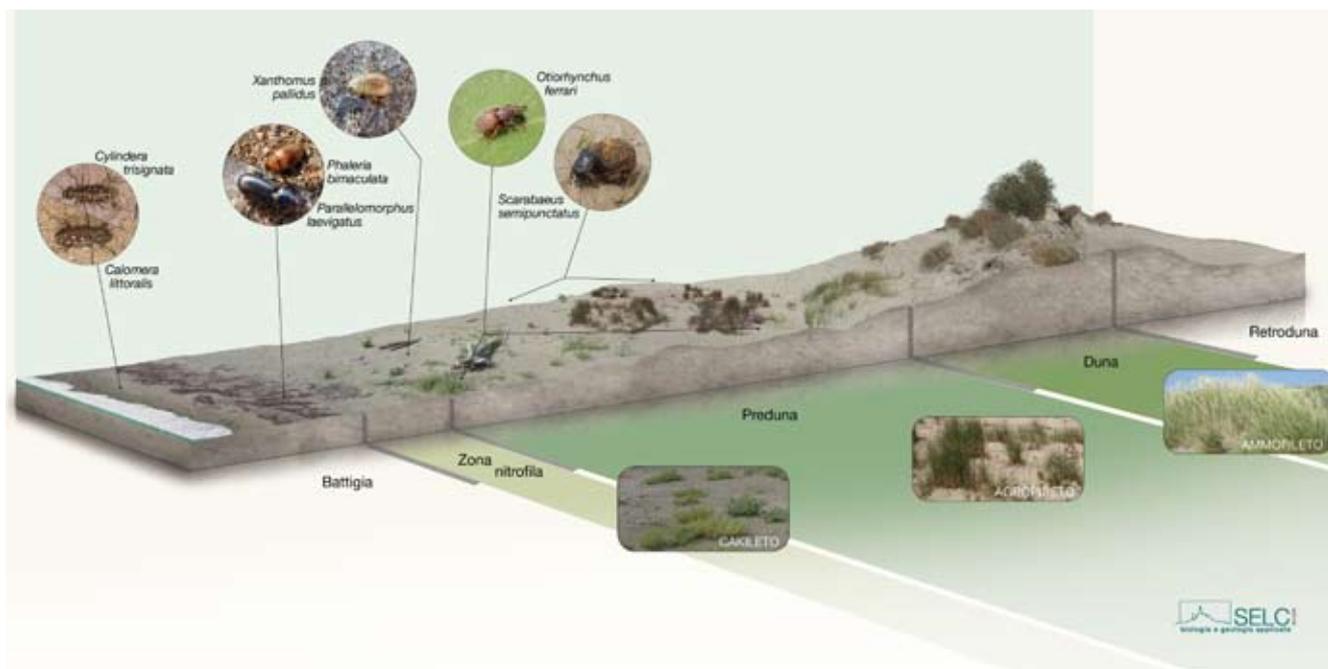
Per monitorare la qualità ambientale del sistema costiero dunale del litorale veneziano sono state individuate aree di studio con estensione variabile tra 17 e 25 ettari nelle fasce costiere adiacenti ai cantieri per la realizzazione delle opere mobili alle bocche di porto della laguna di Venezia. Le località interessate, Ca' Roman (CR), Alberoni (AL) e Punta Sabbioni (PS), sono evidenziate nella planimetria di figura 1.

Ciascuna area è stata suddivisa in due settori, chiamati A e B, rispettivamente in posizione prossimale e distale rispetto ai cantieri. I rilievi sono stati effettuati distintamente nei due settori, al fine di poter valutare eventuali differenze nei popolamenti entomologici riconducibili alla diversa distanza dai cantieri stessi.

A partire dal 2011 il piano di monitoraggio è stato modificato, su richiesta di ISPRA, nei siti CR e AL, limitando la raccolta dei dati al settore A suddiviso in tre sottosectori A1, A2 e A3. Ogni sottosectore, caratterizzato da una larghezza di 50 m, era posizionato rispettivamente in adiacenza al cantiere (A1), in posizione centrale (A2, a circa 200 m) ed in posizione distale rispetto al cantiere (A3, a circa 350 m). La variazione del piano di monitoraggio ha consentito di indagare a scala più dettagliata le eventuali differenze di presenza e abbondanza delle specie indicatrici in rapporto alla vicinanza dei cantieri. Nel sito PS, invece, il cantiere occupava una posizione spostata verso la laguna e non presentava confini a diretto contatto con l'area di interesse, pertanto il disegno sperimentale è

Tabella 1. Tabella descrittiva delle fasce ecologiche individuate negli ambienti studiati e delle specie indicatrici ad essere correlate inserite nel piano di monitoraggio.

Fascia ecologica	Descrizione	Vegetazione tipica	Specie indicatrici considerate
Zona intertidale	Escursione di marea, elevata salinità e umidità	Zona afitoica, eventualmente presenti detriti organici, prevalentemente vegetali, di recente fluitazione	<i>Cylindera trisignata</i> <i>Calomera littoralis nemoralis</i> <i>Dyschiriodes bacillus arbensis</i>
Arenile afitoico	Zona sabbiosa asciutta al di sopra del limite dell'alta marea. Temperature superficiali molto elevate durante le intense insolazioni estive	Zona afitoica, presenti detriti organici, prevalentemente vegetali, a diverso stadio di decomposizione. Sotto i detriti trovano riparo molti piccoli invertebrati. Presenti tronchi di diverso calibro	<i>Cafius xantholoma</i> <i>Remus sericeus</i> <i>Halacritus punctum</i> <i>Phaleria bimaculata adriatica</i> <i>Trachyscelis aphodioides</i>
Preduna	Zona colonizzata dalla vegetazione pioniera, spesso con dune embrionali dal profilo superficiale instabile	<i>Cakile maritima</i> , <i>Xanthium italicum</i> , <i>Eryngium maritimum</i> , <i>Elymus (=Agropyron) farctus</i>	<i>Scarabaeus semipunctatus</i> <i>Isidus moreli</i> <i>Macrosiagon tricuspidatum</i> <i>Mecynotarsus serricornis</i>
Dune	Cordoni dunosi a partire dalla prima duna stabile	<i>Ammophila arenaria</i>	<i>Ammobius rufus</i> <i>Trachyscelis aphodioides</i> <i>Xanthomus pallidus</i> <i>Otiorhynchus ferrarii</i>



2. Schema rappresentativo dell'ecosistema composto da arenile e dune costiere con relativa zonazione di alcune associazioni vegetali e specie-guida animali.

rimasto immutato.

Il piano di monitoraggio si è basato su alcune specie di Coleotteri tipici dell'ecosistema di spiaggia con dune marine (tabella 1), selezionate tra quelle legate alle diverse fasce ecologiche che si succedono procedendo dalla linea di riva verso l'entroterra (figura 2). Durante i primi anni di monitoraggio ciascuna stazione è stata visitata due volte al mese, da marzo a ottobre, a copertura del periodo di maggiore attività entomologica, mentre una singola osservazione è stata condotta nei mesi di febbraio e novembre, per rilevare sia le presenze precoci che quelle più tipicamente autunnali. Successivamente, a partire dal 2011, la frequenza mensile dei sopralluoghi è rimasta inalterata in maggio-giugno, mentre è stata ridotta ad un sopralluogo nei restanti mesi tra marzo e ottobre.

Il rilevamento degli insetti è stato effettuato investigando specificamente i microhabitat preferenziali delle specie di interesse. A tale scopo si è proceduto con tecniche di caccia a vista, mediante vagliatura della sabbia, sollevando a campione cumuli di detrito organico spiaggiato ed eventuali tronchi presenti nell'area di indagine.

La quantificazione delle presenze è stata effettuata secondo i seguenti criteri semi-quantitativi:

- Sporadico. Indicazione esatta degli individui osservati, fino ad un massimo di 4 unità;
- Presente. Corrispondente a 5-20 individui stimati, dato rappresentato con la lettera "P";
- Abbondante. Corrispondente a più di 20 individui stimati, dato rappresentato con la lettera "A".

Per alcune specie di particolare valore ecologico e limitata abbondanza si è ritenuto di registrare il numero esatto di esemplari osservati, ogni qualvolta possibile, al fine di offrire un quadro informativo più completo.

Per analizzare le differenze di condizione ecologica tra i settori A e B di ciascun sito (2007-2010) e tra i sottosettori A1, A2 e A3 dei siti CR e AL (2011-2014), è stato utilizzato l'Indice Entomologico di Conservazione Ambientale (IECA), sviluppato all'inizio del monitoraggio specificamente per questo scopo. Questo indice tiene conto non solo delle classi di abbondanza registrate per ciascuna specie, ma anche della loro sensibilità (S) alle modificazioni ambientali e del numero totale (N) di specie rilevate in ciascuna

Famiglia	Specie	Fedeltà ambientale	Capacità di dispersione	Sensibilità	Predatore	Valore finale S
Carabidae	<i>Cylindera trisignata trisignata</i>	3	0	2	1	6
Carabidae	<i>Calomera littoralis nemoralis</i>	1	0	1	1	3
Carabidae	<i>Dyschiriodes bacillus arbenensis</i>	3	0	3	1	7
Carabidae	<i>Parallelomorpha laevigatus</i>	3	1	3	1	8
Histeridae	<i>Halacritus punctum</i>	3	0	2	1	6
Staphylinidae	<i>Cafius xantholoma</i>	1	0	1	1	3
Staphylinidae	<i>Remus sericeus</i>	3	0	2	1	6
Scarabaeidae	<i>Scarabaeus semipunctatus</i>	2	0	3	0	5
Elateridae	<i>Isidus moreli</i>	3	0	3	1	7
Ripophoridae	<i>Macrosiagon tricuspdatum</i>	2	0	2	1	5
Anthicidae	<i>Mecynotarsus serricornis</i>	2	0	1	0	3
Tenebrionidae	<i>Ammobius rufus</i>	3	1	1	0	5
Tenebrionidae	<i>Phaleria bimaculata adriatica</i>	3	1	1	0	5
Tenebrionidae	<i>Xanthomus pallidus</i>	3	1	2	0	6
Tenebrionidae	<i>Trachyscelis aphodtooides</i>	3	0	1	0	4
Curculionidae	<i>Otiiorhynchus ferrarii</i>	2	1	1	0	4

Tabella 2. Rappresentazione dei valori relativi ai singoli fattori di calcolo che contribuiscono alla definizione della variabile S (sensibilità alle alterazioni ambientali), impiegata nel calcolo dell'indice IECA.

area. La sensibilità, in particolare, si basa sui parametri riportati nella tabella 2 (tra parentesi l'ambito di variazione dei relativi valori):

- fedeltà ambientale (1-3), intesa come possibilità o meno di rilevare la specie anche in habitat diversi da quello considerato;
- capacità di dispersione (0-1), ovvero capacità di volo, da cui dipende la possibilità di ricolonizzazione a partire da siti limitrofi meglio conservati;
- sensibilità alle alterazioni ambientali (1-3), basato sui riscontri di campo circa gli effetti che le attività antropiche (asportazione delle alghe spiaggiate, frequentazione turistica, ecc.) producono sulla condizione di sopravvivenza di ciascuna specie;
- predatore (0-1). Per la posizione elevata nella catena alimentare, gli organismi predatori possono risentire di danni ambientali diretti al proprio micro-habitat, ma indirettamente anche dei fattori di disturbo che modificano l'abbondanza degli organismi che compongono ciascun anello della catena alimentare sottostante.

Per maggiori dettagli sull'indice IECA si rinvia alla descrizione riportata da Zanella *et al.* (2009), tenendo conto che, nell'utilizzo proposto in questo contributo, la massima densità di ciascuna specie è stata riferita all'intera area anziché alle singole fasce ecologiche (intertidale, arenile afitoico, preduna e dune).

I valori IECA ottenuti sono stati sottoposti a verifica della distribuzione normale mediante il test di Kolmogorov-Smirnov, dell'omogeneità delle varianze mediante il test di Bartlett, infine la significatività delle differenze tra i valori medi ottenuti nei diversi siti e nei diversi anni è stata analizzata mediante t-test oppure ANOVA con post-hoc test di Tukey. Tutte le analisi statistiche sono state eseguite utilizzando WinSTAT for Microsoft Excel v. 2007.1.

## Risultati e discussione

Tutte le specie di interesse sono state rilevate ad eccezione di *Dyschiriodes bacillus arbenensis*, un piccolo Carabide alobio, un tempo abbondante ma oggi localmente estinto (le specie rinvenute sono illustrate in calce al presente contributo). Oltre a questo, altre specie sono risultate poco presenti o limitate ad alcune stazioni di monitoraggio. I dati riferibili a ciascuna specie vengono di seguito sintetizzati e commentati, cercando quando possibile di evidenziare le criticità che potrebbero avere influito sullo stato del popolamento. A motivo delle variazioni metodologiche introdotte dal 2011, che hanno interessato il

calendario annuale dei sopralluoghi e introdotto un importante ridimensionamento delle aree di studio di CR e AL, i dati raccolti non risultano del tutto comparabili nel corso degli otto anni di monitoraggio. I ridimensionamenti di frequenza e areale si sono necessariamente ripercossi sulle probabilità di osservazione delle specie, cosicché specie molto rappresentate sono risultate meno abbondanti mentre specie molto sporadiche, benché presumibilmente ancora presenti, sono talora risultate assenti. Questa riduzione di abbondanza coincidente con le variazioni metodologiche non è quindi da interpretare come una perdita di consistenza dei popolamenti. Per sottolineare questo aspetto, comunque, nelle tabelle riepilogative i dati relativi agli anni 2011-2014 sono stati evidenziati da un riquadro, così da richiamare l'attenzione sulla diversità tra i dati raccolti nei due periodi 2007-2010 e 2011-2014.

Per quanto si riferisce invece al sito PS, che ha subito una riduzione nel numero di sopralluoghi ma non un ridimensionamento dei settori (A e B) di campionamento, i dati 2011-2014 risultano comparabili con quelli degli anni precedenti nei limiti delle corrispondenze stagionali e di frequenza.

### *Cylindera trisignata trisignata* (Dejean in Latreille & Dejean, 1822)

Questo Carabidae è un predatore psammo-alobio ed eliofilo che durante il giorno può venire osservato in grande attività lungo la fascia intertidale e la parte più prossima dell'arenile afitoico. Abile corridore e volatore, sviluppa popolazioni molto abbondanti negli ambienti ben conservati, ma risente facilmente delle alterazioni ambientali, come attesta la sua completa scomparsa dagli arenili italiani soggetti a intenso sfruttamento balneare (Audisio, 2002; Cassola, 2002; Ratti, 2001).

I dati (tabella 3) documentano la presenza di questa specie in tutte le stazioni indagate,

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov							
CA' ROMAN	2007	0	0	0	0	0	5	15	0	0	0	0	0				
	2008	0	0	0	0	0	10	P	P	P	8	0	0	0	0	0	
	2009	0	0	0	0	0	0	A	A	A	0	P	0	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	1	2	A	0	0	0	0	0	0	
	2011		0	0	0	0	P	P	P	P	P	0	0	0	0	0	
	2012			0	0	P	P	P	P	P	P	0	0	0	0	0	
	2013			0	0	0	P	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014			0	P	P	P	3	P	0	0	0	0	0	0	0	
	ALBERONI	2007	0	0	0	0	0	A	P	A	P	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	1	P	P	A	P	P	17	0	2	0
2009		0	0	0	0	0	0	A	A	A	P	P	0	P	0	0	
2010		0	0	0	0	0	0	P	A	A	P	P	0	0	0	0	
2011			0	0	0	0	7	0	P	P	P	0	0	0	0	0	
2012				0	0	P	P	P	P	1	0	0	0	0	0	0	
2013				0	0	0	0	P	P	0	0	0	0	0	0	0	
2014				0	P	P	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0	
PUNTA SABBIONI		2007	0	0	0	0	0	A	A	A	P	3	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	A	A	P	A	A	1	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	A	A	A	A	25	1	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	A	A	A	A	A	1	0	0	0	
	2011		0	0	0	0	0	A	A	A	A	0	0	0	0	0	
	2012			0	0	0	0	A	A	5	0	0	0	0	0	0	
	2013			0	0	0	0	A	A	2	0	0	0	0	0	0	
	2014			0	0	7	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 3. Abbondanza di *Cylindera trisignata trisignata* rilevati, per campagna, nel periodo 2007-2014. I colori rappresentano diverse abbondanze: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

con una fenologia compresa tra i mesi di maggio ed agosto, e valori di massima abbondanza concentrati tra la seconda metà di maggio e luglio, mesi in cui sono state osservate le copule.

Sebbene questa specie sia legata al piano intertidale e alla fascia bassa dell'arenile afitoico, sporadici esemplari sono stati talvolta osservati nella preduna e tra le dune. Tale comportamento appare comunque incostante e non è stato registrato durante tutto il periodo di monitoraggio. I risultati ottenuti indicano che la popolazione si è ben conservata, ma a Punta Sabbioni, che fino al 2011 ospitava la popolazione più consistente, si è osservato, nell'ultimo anno, un'importante diminuzione di abbondanza.

### ***Calomera littoralis nemoralis* (Olivier, 1790)**

Questo Carabide Cicindelino assomiglia molto a *Cylindera trisignata trisignata*, con cui condivide l'habitat preferenziale. Diurna, eliofila e psammofila, *C. littoralis* è spiccatamente alofila ma in grado di colonizzare anche habitat sabbiosi fluviali (Audisio, 2002; Magistretti, 1965), grazie anche all'attitudine al volo che le conferisce un'elevata capacità di dispersione.

Come la specie precedente, anche questo insetto risulta fortemente minacciato dalla progressiva scomparsa e profonda alterazione dell'habitat in cui tipicamente si rinviene (Contarini, 1992).

La sua presenza è stata confermata con popolazioni stabili in tutte le stazioni (tabella 4). La fenologia risulta bimodale, con la comparsa tra marzo e maggio della popolazione svernante, che presto si estingue per lasciare posto ad una più abbondante nuova generazione estiva. Questa entra in attività tra la seconda metà di giugno e la prima di luglio, a seconda delle condizioni climatiche, sviluppando la massima abbondanza tra luglio e

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov		
CA' ROMAN	2007	0	5	A P	0 0 0	2	A A A A	10 P	2 0	0 0		
	2008	0	0	11	P 1	0 0	1	A A A A	P 12	2 1	0	
	2009	0	0	6	P 0	1 0	0 0	0	P P A	1 0	0 0	
	2010	0	2	0	3	P 0	0 0	0 0	0	P A	P 0	0 0
	2011	0		P A	3	0 0 0	0	10	7	7	0	
	2012			1	6	0 0 0	0	0	A	P	0	
	2013			6	0 0 0	0	P P	P	A		0	
	2014			3	3 1 1	1	6	1	6	A	1	
ALBERONI	2007	0	0	A 12	0 1	0 2	P	A A A A	P	2 0	0 0	
	2008	0	0	0	P A	0 0	1 0	P	A A P P	5 3	2 0	
	2009	0	0	0	10	P 0	0 0	1 2	0	A P A	0 0	0 0
	2010	0	0	1	1	P 1	0 0	0 0	0 0	2	2 7	0 0
	2011	0		A A	0 0 0	0 0	0	9	P	P	0	
	2012			6	0 0 0	1 0	0	P	2	P	0	
	2013			0	0 0 0	0 2	0	P	4	P	1	
	2014			P	0 0 0	0 4	0	P	P	P	1	
PUNTA SABBIONI	2007		P P	A A	1 1 1	1 0	P	A A A A	P	1 5	1 0	
	2008	0	1	0	A A	P P	1 0	2	A A A A	A	2 13	3 1
	2009	1	0	2	A A A	A 1	0 0	A A A A	A A	6	0 7	0
	2010	0	0	3	P P	3 P	0 0	1	A A A A	P	0 0	1
	2011		1		P 9	1 0 0	0 1	5	A	A	1	
	2012				A A	0 0 0	0	A A	A	4	0	
	2013				A A A	0 0 0	0	A A A	A		1	
	2014				A	1 0 0	0 3	14	A A	A	0	

Tabella 4. Valori di abbondanza di *Calomera littoralis nemoralis* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

agosto, a cui segue una progressiva scomparsa tra settembre e ottobre. Nonostante esistano dei periodi di compresenza, è evidente la complementarità tra la fenologia di questa specie e quella di *C. trisignata*. Anche *C. littoralis* si concentra decisamente nell'intertidale e nella spiaggia asciutta immediatamente prossima, tuttavia questa zonazione risulta meno rigida di quanto osservato per *C. trisignata*. Essendo una specie che sopravvive all'inverno, sporadici esemplari sono stati regolarmente rilevati tra la preduna e le prime dune, sia a inizio primavera che a fine estate, in relazione agli spostamenti da e verso i siti di sverno. Alcune osservazioni sulle dune sono state riportate con una certa regolarità anche in luglio e agosto, nel pieno della stagione riproduttiva, documentando una certa inclinazione della specie ad allontanarsi temporaneamente dal suo habitat ottimale, grazie soprattutto alle buone capacità di volo a cui si è già fatto riferimento.

### ***Dyschiriodes bacillus arbensis* (G. Müller, 1911)**

Questa specie alobia e psammofila non è mai stata rilevata nel corso del monitoraggio. Secondo Müller (1926), all'inizio del secolo scorso *D. bacillus arbensis* era già piuttosto raro lungo il litorale compreso tra la Dalmazia e il Friuli. Lo stesso autore lo segnalava a Lignano, tra le dune litoranee oggi completamente scomparse. Gridelli (1944), invece, verso la metà del '900 ne riportava la presenza molto abbondante presso il litorale di Alberoni e le bonifiche di Punta Sabbioni, individuando nelle sabbie umide del retrospiaggia l'ambiente preferenziale, da cui nelle ore calde di aprile si osservava uno spostamento a volo verso la sabbia umida della spiaggia. Proprio a quest'ultimo habitat si riferiscono le osservazioni di Giordani Soika (1950), secondo cui *D. bacillus arbensis* era ben presente sulla sponda umida di pozze d'infiltrazione presso la diga di Alberoni, localizzato in una ristretta fascia intermedia rispetto al gradiente di umidità del declivio sabbioso. La presenza in ambiente retrodunale, comunque, venne confermata anche da Meggiolaro (1958), che lo cita come componente frequente dell'associazione a Coleotteri rilevata nelle depressioni umide tra le dune più interne di Punta Sabbioni, in ambiente riconducibile allo *Schoenetum*.

Il pendolarismo di questa specie tra l'ambiente retrodunale e le sabbie umide della spiaggia supporta la tesi che la sua scomparsa possa essere riconducibile alle profonde modificazioni delle pozze retrodunali. Si tratta comunque di un'ipotesi non suffragata da dati, stante la difficoltà di individuare ambienti umidi retrodunali ben conservati su cui condurre ricerche mirate.

Ratti (1986) ne ipotizzava l'estinzione dal litorale veneziano già trent'anni fa, confermando tale convincimento più di recente (Ratti, 2001) e segnalando al tempo stesso il ritrovamento della specie nel delta del Po, a Sacca Scardovari (Porto Tolle, 1999, leg. L. Busato) ed a Porto Caleri (Rosolina, 2001, leg. M. Uliana).

### ***Parallelomorpha laevigatus* (Fabricius, 1792)**

Questo Scaritino psammo-alobionte, predatore specializzato e adattato a cacciare gli anfipodi infossati nella sabbia umida (Giordani Soika, 1992), rappresenta certamente una delle specie faunistiche più interessanti e caratteristiche dell'ambiente studiato. È strettamente dipendente dall'habitat della spiaggia e particolarmente vulnerabile alle alterazioni ambientali, anche per la scarsa capacità di dispersione dovuta all'inabilità al volo. Questi tratti rendono *P. laevigatus* un bio-indicatore ideale degli impatti antropici sull'ecosistema indagato. In passato costituiva popolazioni molto consistenti nelle stazioni monitorate, come attesta Contarini (1838) che durante le sue attività di ricerca ne rinveniva centinaia in poco tempo.

Organismo ad attività notturna, almeno allo stadio adulto, trova sotto i detriti vegetali (soprattutto di *Zostera* o sotto legname spiaggiato) un ambiente di rifugio durante le ore

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	
CA' ROMAN	2007	0	0	0	4	2	2	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	3	3	7	3	4	2
	2009	0	0	0	1	1	3	3	1	2	0
	2010	0	0	0	0	3	12	29	4	15	3
	2011	0	0	2	8	3	3	2	5	0	2
	2012			7	2	4	4	4	8	0	3
	2013			0	1	5	4	5	2	1	3
	2014			2	2	8	3	1	0	4	2
	ALBERONI	2007	0	0	0	1	2	1	3	3	1
		2008	0	0	0	0	1	2	1	3	2
2009		0	0	0	1	2	2	1	1	3	
2010		0	0	0	0	15	32	16	10	6	
2011		0	0	12	4	12	7	8	13	0	
2012				0	6	9	4	3	3	0	
2013				5	3	0	6	7	0	8	
2014				5	0	2	2	4	2	5	
PUNTA SABBIONI		2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2012			0	0	0	0	0	0	0	
	2013			0	0	0	0	0	0	0	
	2014			0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 5. Valori di abbondanza di *Parallelomorpha laevigatus* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

diurne. Nel corso delle indagini la specie è stata rilevata tra la parte più alta del piano intertidale e l'arenile afitoico, mentre la sua presenza nella fascia della vegetazione pioniera o delle dune, già segnalata da Müller (1926), è risultata eccezionale. I dati (tabella 5) mostrano che la specie è stata rilevata esclusivamente nei siti CR e AL, mentre risulta localmente estinta a PS.

Laddove ancora presente, *P. laevigatus* sviluppa popolamenti relativamente stabili, ma le abbondanze hanno superato solo eccezionalmente i 20 esemplari per singola campagna di osservazione, mentre l'andamento generale ha mostrato una notevole oscillazione interannuale, con i valori massimi decisamente concentrati nel 2010. Il periodo stagionale di attività è risultato estendersi con continuità da aprile ad ottobre, anche se nel corso dei primi anni di indagine i dati risultavano prevalentemente concentrati tra aprile e luglio, che probabilmente rappresentano il periodo più favorevole.

### ***Halacritus punctum* (Aubé, 1842)**

Questo Isteride si caratterizza per essere uno dei più piccoli coleotteri italiani, superando di poco il mezzo millimetro (Audisio, 2002). *H. punctum*, psammo-alobionte, è legato tipicamente ai detriti organici depositati lungo la fascia intertidale ed immediatamente retrostante, dove si alimenta probabilmente a scapito di piccoli collemboli (Vienna, 1980). Come *P. laevigatus*, anche questa specie sembra strettamente legata ai detriti vegetali depositi dalla marea e si rinviene anche sotto tronchi di varie dimensioni.

I dati raccolti indicano la presenza di *H. punctum* solo a CR e AL, mentre manca a PS. Il periodo fenologico si estende dall'inizio della primavera fino all'inizio dell'autunno, con il maggior numero di reperti concentrato tra aprile e agosto. In generale si rileva una maggiore abbondanza di segnalazioni nel secondo quadriennio, nonostante la riduzione delle

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov								
CA' ROMAN	2007	1	3	3	1	1	0	1	0	0	1	2	2	1	0	0	0	
	2008	0	0	0	0	0	3	5	6	4	2	9	0	3	0	0	0	0
	2009	0	0	P	P	A	P	2	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	4	3	A	P	0	P	0	0	0	0	1	P	0	0	0	0
	2011		0	P	P	P	P	P	2	4	P		0		0			
	2012				5	A	A	A	P	P	A	A	A			3		
	2013				A	A	A	A	P	P		2		0				
2014				A	P	A	P	2	P		0	1		0				
ALBERONI	2007				1	7	0	5	8	4	0	0	1	0	0	0	0	
	2008	0	0	0	0	0	1	4	0	1	3	12	0	A	0	0	0	0
	2009	0	0	P	P	3	A	0	0	6	5	P	P	0	0	0	0	0
	2010	0	7	A	P	A	0	P	1	0	0	0	P	0	P	0	0	0
	2011		0	P	P	P	P	5	P		0	4		0		0		
	2012				P	P	P	P	P		P	0		P		P		
	2013				A	A	A		P	P	1		0		0			
2014				A	A	A		P	P	5		0		0				
PUNTA SABBIONI	2007																	
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2011		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2012				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2013				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 6. Valori di abbondanza di *Halacritus punctum* rilevati nel periodo 2007-2014.

Legenda dei colori:  
 giallo = sporadico;  
 arancio = presente;  
 rosso = abbondante.

aree di indagine che per molte altre specie si è invece tradotta in una fisiologica riduzione dei reperti. La biologia di questa specie resta ancora largamente sconosciuta, comunque l'assenza da PS è certamente riconducibile agli interventi di radicale pulizia dell'arenile con mezzi meccanizzati, che ha impattato su tutte le specie legate al microhabitat del detrito.

### *Cafius xantholoma* (Gravenhorst, 1806)

Specie psammo-alobionte legata al detrito vegetale dell'arenile, ancora presente in tutte le stazioni indagate con popolamenti significativi. Audisio (2002) segnala che questa specie tende a persistere anche in condizioni di "marcata" antropizzazione. Stando ai dati di letteratura, *C. xantholoma* si nutre principalmente di larve e adulti di ditteri che frequentano il detrito organico spiaggiato e in decomposizione (Lott, 2003). Sebbene la cattura di ditteri adulti possa sembrare improbabile, questa osservazione è confermata anche da altri autori, almeno come riferimento all'intero genere *Cafius* (Hammond, 2000). James *et al.* (1971; citato in Hammond, 2000) riferiscono in particolare la predazione di larve e pupe del genere *Fucellia*, sebbene includano anche anfipodi e piccoli cirripedi nella dieta di questi Stafilinidi. Infine, Orth & Moore (1980) ritengono così rilevante l'attività predatoria esercitata dai *Cafius* sui ditteri legati al detrito degli arenili, da osservare che al diminuire di questi Coleotteri si assiste ad un sovrasviluppo dei ditteri stessi negli ambienti costieri nord-americani.

*C. xantholoma* è risultato essere la specie con più estesa curva fenologica, facendo rinvenire esemplari semi-attivi già in febbraio e, con continuità, in tutti i mesi seguenti fino a novembre, mese in cui è stato occasionalmente segnalato con presenze abbondanti (tabella 7: CR 2007 e 2009; AL 2009). Questi dati sembrano tratteggiare un insetto estremamente tollerante verso le escursioni termiche. Le segnalazioni si riferiscono prin-

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov											
CA' ROMAN	2007	22	10	A	14	0	0	0	1	0	P	P	0	0	3	0	A				
	2008	0	16	A	A	A	4	0	0	P	P	P	P	2	P	P	P	P			
	2009	4	A	A	A	A	A	2	0	0	1	P	A	0	A	P	P	P	2	A	
	2010	10	P	A	A	A	P	2	0	0	1	P	P	P	P	A	1	P	A	A	0
	2011		P	A	1	5	A	1	P	P	3	2	2								
	2012			A	P	P	P	P	0	A	P	A									
	2013			7	P	P	A	P	0	0	0	0									
	2014			P	6	P	P	P	0	0	A	P									
ALBERONI	2007		15	1	A	A	P	0	0	0	0	1	P	14	P	0	2	0	0	0	
	2008	1	19	A	A	A	0	0	2	0	A	A	A	A	P	P	P	A	A	P	
	2009	7	5	P	P	P	P	2	A	A	A	A	P	P	0	P	4	4	A		
	2010	P	A	P	A	A	6	3	P	1	A	P	P	P	A	0	A	A	1		
	2011		P	A	A	2	A	2	A	A	2	4	0								
	2012			P	4	P	8	3	0	0	P	A									
	2013			P	P	P	P	P	0	A	2	3									
	2014			P	2	3	P	P	2	0	P	P									
PUNTA SABBIONI	2007		2	3	0	1	1	1	0	0	2	0	5	12	3	0	0	0	0	3	
	2008	0	8	1	3	21	0	1	1	1	1	0	1	7	19	2	A	4	0		
	2009	0	0	0	14	12	1	0	0	A	0	5	4	0	5	2	0	2	8		
	2010	0	5	6	5	7	0	0	0	0	0	3	3	7	3	3	3	0	1		
	2011		0	2	10	0	0	0	0	0	0	8	4	5							
	2012			7	4	3	0	8	0	4	12	15									
	2013			0	0	0	0	0	1	0	0	3									
	2014			7	3	0	0	0	0	0	0	4									

Tabella 7. Valori di abbondanza di *Cafius xantholoma* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

principalmente all'arenile afitoico e intertidale, mentre reperti relativi alla fascia predunale risultano quantitativamente di secondaria importanza. I dati indicano la presenza di popolamenti consistenti e stabili presso CR e AL, assai meno abbondanti invece a PS dove, per di più, si evidenzia una drastica riduzione delle presenze nel corso dell'ultimo biennio.

### **Remus sericeus** Holme, 1837

Questo Stafflinide psammo-alobionte è molto simile nell'aspetto alla specie precedentemente descritta, con cui condivide alcuni caratteri morfologici tipici. Alcuni autori, in effetti, non riconoscono la validità del genere *Remus* e includono le relative specie nel genere *Cafius* (ad esempio Orth & Moore, 1980). Nonostante queste somiglianze morfologiche e la condivisione del microhabitat preferenziale, *R. sericeus* si è dimostrato molto più sensibile alle alterazioni dell'ecosistema e, nei siti monitorati, è risultato presente in misura per lo più sporadica e discontinua.

Sebbene non sia stato possibile reperire in letteratura dati ecologici specificamente riferiti a *Remus sericeus*, sulla base delle osservazioni relative al genere *Cafius* riportate da Orth & Moore (1980) è da ritenere che questi insetti siano dediti prevalentemente alla predazione di larve di ditteri e collemboli, come indicato anche da un brevissimo commento riportato da Coiffait (1974: 334) con riferimento all'intero genere *Remus*.

La specie è stata rinvenuta in tutte le aree monitorate, tra marzo e settembre, secondo una zonazione che riflette quanto già riportato per *C. xantholoma*. Le segnalazioni si riferiscono per lo più a presenze sporadiche, sebbene non siano mancati valori di abbondanza P e, in due casi, anche di grado A. Anche in questo caso la popolazione di PS è nettamente meno consistente, risultando addirittura prossima ai limiti della rilevabilità: nell'ultimo quadriennio sono stati osservati soltanto due esemplari.

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov		
CA' ROMAN	2007	0	3	1	0	0	0	13	0	0	0	
	2008	0	0	1	14	0	0	P	1	0	0	
	2009	0	0	0	1	0	0	4	0	1	A	
	2010	0	0	0	2	P	2	0	0	0	0	
	2011	0	0	0	0	P	0	0	1	0	0	
	2012	0	0	0	0	2	P	0	2	1	0	
	2013	0	0	11	A	4	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	2	2	2	3	1	0	0	0	
	ALBERONI	2007	0	3	0	6	2	1	0	0	2	0
		2008	0	0	0	1	0	1	0	1	0	2
2009		0	0	1	0	0	1	0	3	0	0	
2010		0	1	3	0	P	3	1	0	0	0	
2011		0	0	1	1	3	1	3	2	0	0	
2012		0	0	0	P	1	0	0	0	0	0	
2013		0	0	P	1	0	0	0	0	0	0	
2014		0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	
PUNTA SABBIONI		2007	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
		2008	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1
	2009	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	2012	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 8. Valori di abbondanza di *Remus sericeus* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

### *Scarabaeus semipunctatus* Fabricius, 1792

È una specie macroterma e psammofila, di taglia robusta (15-24 mm), stenotopo e caratteristico di biotopi litorali e sublitorali marittimi (Bellucci *et al.*, 2008; Carpaneto *et al.*, 2007; Lobo *et al.*, 2001). Fino agli anni '60 questo caratteristico Scarabeide stercorario era molto comune lungo il litorale veneziano, dove è sempre stato strettamente legato all'ambiente delle dune. Negli ultimi 50 anni, tuttavia, la specie è divenuta sempre meno presente, rasentando la completa scomparsa. Carpaneto *et al.* (2007) hanno stabilito che nell'ultimo quarto del secolo scorso questa specie ha subito una significativa riduzione di presenza in tutto il territorio italiano. Tale situazione sembra trovare riscontro anche nella maggior parte delle coste mediterranee, come attesta la drastica riduzione delle presenze registrata nello stesso arco di tempo da Lobo *et al.* (2001) in un'area protetta della Camargue, la più estesa area di dune della costa mediterranea francese.

La correlazione tra la consistenza dei popolamenti di scarabeidi stercorari e la disponibilità o qualità di sterco resta in parte oggetto di discussione. Ponel (1993) ha ipotizzato che la disponibilità di sterco umano derivante dalla frequentazione turistica rappresentasse la principale fonte alimentare per questa specie. Ratti (1991) riferisce che presso le spiagge veneziane *S. semipunctatus* si nutre principalmente di sterco umano e di cane, in quanto rappresentano le principali disponibilità offerte dall'ambiente. Carpaneto *et al.* (2007) hanno attribuito all'abbandono della zootecnia estensiva ed alla conseguente riduzione della disponibilità di letame, una delle principali cause di rarefazione di scarabeidi stercorari in Italia.

La riduzione delle disponibilità trofiche rappresenta certamente un elemento di criticità, tuttavia nel caso di *S. semipunctatus* tale argomentazione sembra insufficiente a spiegarne la diffusa scomparsa. Lapijana e Sparacio (2008), ad esempio, analizzando alcuni

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
CA' ROMAN	2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALBERONI	2007	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	2008	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PUNTA SABBIONI	2007	0	1	1	5	1	0	2	0	0
	2008	0	0	4	1	0	0	1	2	0
	2009	0	0	0	1	2	2	0	0	4
	2010	0	0	1	3	3	1	0	5	6
	2011	0	0	11	1	2	1	3	2	3
2012	0	0	2	0	1	4	1	2	0	
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2014	0	0	1	0	0	0	0	1	0	

Tabella 9. Valori di abbondanza di *Scarabaeus semipunctatus* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

ambienti costieri siciliani, indicano nella riduzione di estensione degli habitat idonei una possibile causa del rapido declino degli Scarabeidi coprofaghi più sensibili, a dispetto della persistente disponibilità di letame bovino.

I dati raccolti nel corso delle attività di monitoraggio hanno confermato che questa specie tipica delle dune costiere corre gravi rischi di scomparsa nel litorale veneziano. Contrariamente a quanto osservato per molte delle specie precedenti, *S. semipunctatus* è risultato presente quasi esclusivamente nel sito di PS (tabella 9), sebbene risulti il più compromesso fra i tre considerati. Nei siti di CR e AL sono stati osservati complessivamente solo tre esemplari, l'ultimo dei quali nel 2009, mentre a PS le segnalazioni sono oscillate tra 8 e 26 esemplari per anno tra il 2007 e il 2012, anche qui però mancando quasi completamente nell'ultimo biennio.

Questo dunicolo specializzato è attivo da aprile a settembre, con il massimo delle segnalazioni tra aprile e luglio, mentre reperti isolati si rilevano eccezionalmente agli estremi della curva fenologica, in marzo e ottobre. Quasi tutte le segnalazioni si riferiscono alla zona della preduna o delle dune, anche se occasionalmente può sconfinare nell'arenile afitoico.

### *Isidus moreli* Mulsant & Rye, 1874

Questa specie presenta costumi fossori e, allo stadio adulto, vive preferenzialmente nella fascia predunale tra le radici di *Cakile* (Giordani Soika, 1992). Nel periodo di maggio-giugno si porta in superficie verso il tramonto per compiere brevi voli e dare luogo agli accoppiamenti. Questa fase di attività "aerea" si limita a 2-3 ore, al termine delle quali l'animale torna ad affondarsi nella sabbia. La larva compie un ciclo di 3-4 anni nei tronchi spiaggiati e marcescenti, predando larve di coleotteri saproxilici, quali *Mesites pallidicornis* e *Cossonus linearis*, praticando occasionalmente anche il cannibalismo (Delnatte, 2010).

Tabella 10. Valori di abbondanza di *Isidus moreli* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	
CA' ROMAN	2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011		0	0	0	0	0	0	0	0	
	2012			0	0	0	0	0	0	0	
	2013			0	0	0	0	0	0	0	
	2014			0	0	0	0	0	0	0	
	ALBERONI	2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2010		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011			0	0	0	0	0	0	0	0	
2012				0	0	0	0	0	0	0	
2013				0	0	0	0	0	0	0	
2014				0	0	0	0	0	0	0	
PUNTA SABBIONI		2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011		0	0	0	0	0	0	0	0	
	2012			0	0	0	0	0	0	0	
	2013			0	0	0	0	0	0	0	

La ristretta fenologia dell'adulto, sia in termini di stagionalità che di ritmo circadiano, rende particolarmente difficile l'osservazione di questa specie, sebbene sia una delle più caratteristiche della preduna. Nonostante tali difficoltà, *I. moreli* è stato rinvenuto in tutti i siti di monitoraggio almeno con qualche sporadico esemplare (tabella 10). Sono stati repertati 21 esemplari adulti in luglio ed uno in agosto, di cui 16 esemplari a CR, 4 ad AL e 2 a PS.

La mancanza di segnalazioni, nella letteratura recente, ha presumibilmente indotto Ratti (2002) a includere *I. moreli* tra le specie a rischio di scomparsa, facendo risalire al 1964 le ultime osservazioni per l'area veneziana. In realtà questa specie, pur essendo legata ad un ambiente a rischio, probabilmente presenta popolamenti relativamente consistenti almeno a CR e AL, a dispetto delle sporadiche osservazioni riportate in Tabella 10, la cui scarsa consistenza è presumibilmente da imputare all'insufficiente efficacia delle tecniche di ricerca adottate. A riprova di queste affermazioni, merita di venire menzionato che nel 2006 uno degli autori (M. Uliana) ha effettuato a CR un campionamento notturno con lampada a luce UV, rilevando diverse decine di esemplari (tutti maschi) nell'arco di un paio d'ore. Inoltre, nel corso dei monitoraggi qui considerati, larve attribuibili a questa specie sono state ripetutamente osservate nella fascia predunale e fra le prime dune di CR e AL, dal tardo autunno alla primavera inoltrata, più frequentemente e in maggior numero all'interno di tronchi colonizzati dal curculionide alofilo *Mesites pallidipennis*, ma occasionalmente anche libere sotto tronchi o fra radici di *Ammophila*.

Queste osservazioni confortano l'assunzione che *I. moreli* mantenga una presenza significativa almeno a CR e AL, sebbene non documentabile quantitativamente, mentre a PS la situazione potrebbe essere radicalmente diversa. Qui, infatti, l'ambiente predunale risulta molto ridotto e disturbato, mentre i tronchi vengono sistematicamente rimossi dal sito, mancando così un microhabitat indispensabile per lo sviluppo larvale.

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	
CA' ROMAN	2007	0	0	0	0	4	5	4	0	0	0
	2008	0	0	0	0	2	2	5	3	0	0
	2009	0	0	0	0	0	20	0	3	0	0
	2010	0	0	0	0	0	10	35	0	1	0
	2011	0	0	0	0	4	11	0	0	0	0
	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2013	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ALBERONI	2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2010		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2012		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2013		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2014		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PUNTA SABBIONI		2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 11. Valori di abbondanza di *Macrosiagon tricuspidatum* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

### **Macrosiagon tricuspidatum** (Lepechin, 1774)

Questa specie presenta una distribuzione europeo-mediterranea e nella nostra regione è legata all'ambiente litorale per i tratti termofili e xerofili che ne caratterizzano l'ecologia. Compie il proprio ciclo di sviluppo come parassitoide di vari generi di Imenotteri Eumenidi e forse anche del genere *Megachile* (Ratti, 1999). Gli adulti vengono segnalati lungo la fascia predunale e dunale su infiorescenze di Labiate e Ombrellifere, soprattutto su *Eryngium maritimum* (Ratti, 1999). Secondo Ratti (2002) si tratta di un insetto a rischio di scomparsa.

Nel corso delle attività di monitoraggio *M. tricuspidatum* è stata rilevata solo a CR, quasi esclusivamente tra giugno e luglio, nella fascia predunale e dunale. Non vi sono ipotesi valide, allo stato attuale, per spiegare l'assenza di reperti presso AL e PS. Gli ultimi reperti noti per il Veneto prima del presente monitoraggio, si riferiscono al Lido di Venezia (1963), Punta Sabbioni (1952) e Lido di Jesolo (1954) (Ratti, 2002).

A seguito della riduzione delle aree di indagine (2011-2014), le segnalazioni di *M. tricuspidatum* sono mancate quasi completamente anche a CR, ma poiché l'osservazione di questa specie dipende molto dalla presenza di *Eryngium* in fiore al momento del sopralluogo e queste piante sono poco presenti nelle aree considerate, è verosimile che l'assenza di dati sia prevalentemente dovuta alla variazione delle aree di indagine.

### **Mecynotarsus serricornis** (Panzer, 1796)

Anticide di piccole dimensioni (1,6-2,5 mm), psammobionte e alofilo, è un tipico abitante della preduna e delle dune, anche se è stato rinvenuto su rive sabbiose fluviali (Bucciarelli, 1977; 1980). Si tratta di una specie legata alle fasce vegetate, rilevata quasi

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov							
CA' ROMAN	2007	0	0	0	12	P	A	P	6	P	2	0	4	0	0	0	
	2008	0	0	0	0	0	0	P	P	A	P	3	A	5	A	1	
	2009	0	0	0	0	2	3	0	0	5	3	P	P	14	P	P	
	2010	0	0	0	0	2	A	P	A	4	3	P	4	0	2	0	0
	2011		0	0	0	P	P	P	P	P	P	4		P		0	
	2012			5		0	P	P	P	P	P			2		0	
	2013				0	0	0	P	P	A				P		0	
	2014				0		P	P	P	P	P	2		P		0	
ALBERONI	2007	0	0	0	0	0	P	P	P	1	0	6	2	0	1	0	
	2008	0	0	0	0	0	A	P	A	P	P	3	P	P	3	2	
	2009	0	0	0	0	3	3	0	P	4	0	5	9	4	8	4	
	2010	0	0	0	0	1	2	P	2	3	P	10		0	0	0	
	2011		0	0	0	7	P	P	P	P	P			3		0	
	2012				P	P	P	P	P	P	3			2		0	
	2013				0	0	0	P	P	P	P			4		0	
	2014				1	P	3	0	P	2		0		P		0	
PUNTA SABBIONI	2007	0	0	1	0	14	P	P	P	15	A	16	12	2	0	3	
	2008	0	0	0	0	7	A	A	7	2	9	A	7	A	8	3	
	2009	0	0	1	4	6	15	0	2	0	6	2	4	4	1	2	
	2010	0	0	0	7	8	20	22	12	3	3	4	4	4	5	0	
	2011		0		3	4	0	4	4	9	19		11		7	0	
	2012				0		2	10	16	7	8		8		0	0	
	2013				0		1	2	1	0	0		15		6	0	
	2014				0		6	4	5	3	0		0		4	0	

Tabella 12. Valori di abbondanza di *Mecynotarsus serricornis* rilevati nel periodo 2007-2014.

Legenda dei colori:  
 giallo = sporadico;  
 arancio = presente;  
 rosso = abbondante.

esclusivamente alla base delle piante della preduna e delle prime dune, occasionalmente anche nella spiaggia alta sotto i detriti vegetali più prossimi alla preduna. I dati pluriennali (tabella 12) mostrano che *M. serricornis* è presente in tutti i siti monitorati e la fenologia tipica si estende da maggio a settembre, anche se modeste presenze possono venire registrate ad aprile e ottobre compatibilmente con le condizioni meteorologiche del periodo considerato.

### ***Ammobius rufus* Lucas, 1849**

Tenebrionide a distribuzione ponto-mediterranea (Fattorini, 2002), di piccole dimensioni (2,8-3,3 mm), macrotermo, psammobionte a costumi fossori. Si rinviene infossato tra le radici delle piante della preduna e soprattutto delle dune, con escursione della profondità in relazione alle condizioni di temperatura e umidità del terreno. Secondo Poinel (1993) è una specie adattata a trascorrere tutto il suo ciclo biologico al di sotto della superficie sabbiosa, ma studi condotti sul litorale toscano da Colombini *et al.* (1994) mediante trappole a caduta, attestano che *A. rufus* si sposta anche in superficie, seppure raramente. Dati relativi a campionamenti su ambienti dunali medio-adriatici (Contarini, 1992) e tirrenici (Carpaneto & Fattorini, 2001; Fattorini & Carpaneto, 2001) dimostrano che *A. rufus* può sviluppare popolazioni consistenti e risultare tra i principali componenti della associazione a coleotteri tipica delle dune, arrivando alla densità di 0,32-0,36 es./litro di sabbia tra le radici delle piante psammofile. Simili densità sono riportate anche da Comor *et al.* (2008) per le dune della Camargue (0,5 es./litro di sabbia).

Negli ambienti delle dune veneziane tuttavia questa specie risulta molto meno abbondante, forse a causa della condizione propria dell'area lagunare veneta, caratterizzata da

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov							
CA' ROMAN	2007	0	0	0	5	3	0	0	3	2	0	0	0	1	1	0	0
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2010	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2011		0	0	0	2	0	1	0	2	0	2	0				
	2012			3	0	1	1	1	0	2	P	P					
	2013			0	0	0	3	P	3	0	3	0					
	2014			0	0	1	2	2	7	0	3	2					
	ALBERONI	2007													1	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2009		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2010		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011			0	0	0	0	0	1	1	0	0	0					
2012				0	0	0	3	1	0	2	0	1					
2013				0	0	0	0	4	1	0	4	0					
2014				0	4	0	1	0	1	2	5	0					
PUNTA SABBIONI		2007		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	2012			0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	2013			0	0	0	0	0	0	0	0	0					
2014			0	0	0	0	0	0	0	0	0						

Tabella 13. Valori di abbondanza di *Ammobius rufus* rilevati nel periodo 2007-2014.

Legenda dei colori:  
 giallo = sporadico;  
 arancio = presente;  
 rosso = abbondante.

un'attenuazione del tipico habitat mediterraneo (Ratti, 1986). Bonometto & Canzone-ri (1970) ne hanno riportato la presenza alla base di tamerice e ammofila, senza tuttavia indicare frequenza e abbondanza dei rinvenimenti.

Nel corso del monitoraggio la specie è stata segnalata esclusivamente nelle aree di CR e AL (tabella 13), con la maggior parte dei reperti concentrati nell'ultimo quadriennio a dispetto della riduzione delle aree e del numero di sopralluoghi. I valori di abbondanza non hanno mai superato il grado P.

### *Phaleria bimaculata adriatica* Rey, 1891

È un organismo psammo-alobionte tipico dell'ambiente di spiaggia, dove si rinviene comunemente sotto il detrito organico vegetale, spesso infossato sotto pochi mm di sabbia. Studi svolti nel litorale tirrenico toscano indicano che *P. bimaculata* (nei siti studiati convivente con *P. provincialis*) occupa stabilmente una fascia prossima alla linea di marea, dove conduce attività notturna alimentandosi dei detriti organici deposti dai moti di marea (Colombini *et al.*, 1994; Aloia *et al.*, 1999). Da questa zona, tuttavia, subiscono spostamenti verso le dune in relazione ai cambiamenti stagionali. Prove condotte sia in laboratorio sia in condizioni seminaturali suggeriscono che nella fase di riposo, durante la quale gli animali tendono ad infossarsi, le *Phaleria* si spostano dalla fascia più prossima alla riva verso le dune in relazione all'umidità ed alla granulometria della sabbia.

L'inclusione nelle attività di monitoraggio di specie indicatrici come questa, caratterizzate da elevata fedeltà ecologica ma relativamente tolleranti alle modifiche dell'ambiente, è di notevole importanza. Queste specie, infatti, forniscono preziose informazioni su siti relativamente alterati o disturbati, dove le specie più sensibili e delicate sono ormai completamente scomparse.

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov										
CA' ROMAN	2007	42	14	A	A	A	A	A	A	P	3	3								
	2008	0	16	13	A	A	A	A	A	P	P	P								
	2009	0	1	A	P	A	A	A	1	A	5	A	8	A	P	P	5	0		
	2010	0	0	0	A	P	P	P	P	A	P	A	A	A	A	0	5	3	0	
	2011		3		P	A	A	P	A	A		P	A	A				3		
	2012				P	A	A	A	A	A		P	A	A				P		
	2013				A	A	A	A	A	A		A	P					2		
	2014				P	A	A	A	A	P	P	A		P				P		
	ALBERONI	2007		14	6	A	A	A	A	11	P	A	A	A	A	A	A	P	5	5
		2008	0	19	P	A	A	P	P	P	P	A	A	A	A	A	P	P	P	P
2009		0	0	P	P	P	A	P	A	A	A	A	P	A	P	A	P	2	0	
2010		0	0	4	A	P	1	A	A	P	P	A	0	P	P	P	P	P	2	
2011			5		P	A	A	P	A	P	A	A	A					1		
2012					A	A	P	A	A	A		12		A				A		
2013					A	A	1	A	A	A		P		A				7		
2014					A	A	P	A	A	P		A		A				P		
PUNTA SABBIONI		2007		16	14	P	P	P	7	6	6	9	0	6	7	17	6	8	3	1
		2008	0	0	4	4	A	5	A	0	11	6	A	A	10	A	P	21	22	0
	2009	0	2	6	7	A	A	0	0	1	4	4	7	2	5	A	0	1	1	
	2010	0	0	6	6	8	15	9	5	9	8	6	16		4	1	1	5	0	
	2011		0	4	9	17	3	0	1		0		0		4			1		
	2012				15	22	A	5	6	8		3			1			11		
	2013				2	8	1	3	0	0	0				4			3		
2014				2		0	0	0	0	0				3			4			

Tabella 14. Valori di abbondanza di *Phaleria bimaculata adriatica* rilevati nel periodo 2007-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

*P. bimaculata* è stata rinvenuta in tutti i siti con popolazioni consistenti e attive da marzo a ottobre, con sporadiche presenze anche in novembre (tabella 14). La zona preferenziale è stata confermata nella fascia di arenile prossima alla linea dell'alta marea, ma con una distribuzione piuttosto ampia e correlata alla presenza di posature di detrito organico. A partire dalla fine dell'estate, molti individui si rinvennero infossati alla base delle piante della preduna e talora delle prime dune, ad indicare il progressivo movimento verso le fasce vegetate alla ricerca di siti idonei allo sverno.

Nonostante la tolleranza ecologica che caratterizza questo Tenebrionide, i dati di PS evidenziano una considerevole e progressiva diminuzione di abbondanza nell'ultimo quadriennio, specialmente nei mesi di intensa frequentazione turistica che coincidono con quelli di massima attività dell'insetto. Tale calo delle presenze è giustificato dalla totale rimozione dei detriti organici dalla spiaggia, effettuata con l'impiego di mezzi meccanizzati.

### ***Xanthomus pallidus* (Curtis, 1830)**

Specie psammoalobionte, notturna, a distribuzione atlanto-mediterranea occidentale, è caratterizzata da una fenologia tipicamente autunnale. È considerata un indicatore di elevata qualità ambientale degli arenili con dune (Ferrer & Whitehead, 2002).

Si rinviene in autunno tra i detriti spiaggiati alla base della prima duna. Nel litorale toscano (Burano, GR) questa specie è stata rilevata in attività tra settembre e gennaio, con un netto picco di attività in novembre e singoli reperti tra marzo e maggio (Colombini *et al.*, 1994). Aloia *et al.* (1999) hanno precisato che nello stesso ambiente gli esemplari in fase di riposo venivano spesso rinvenuti sotto detriti spiaggiati e solo raramente alla base delle piante pioniere *Cakile maritima* e *Otanthus maritimus*.

In Veneto, Canzoneri (1966) indica la zona preferenziale della specie compresa tra la fa-

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov		
CA' ROMAN	2007	2	0	0	0	0	0	0	10	3	8	
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	23	1	
	2009	0	0	0	0	0	0	0	9	17	13	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	7	5	9	
	2011		0	0	0	0	0	0	0	11		
	2012			0	0	0	0	0	0	13		
	2013			0	0	0	0	0	0	0		
	2014			0	0	0	0	0	0	0		
ALBERONI	2007		0	0	0	0	0	0	13	2	4	
	2008	0	0	0	0	0	0	0	4	6	3	
	2009	0	0	0	0	0	0	0	7	14	0	
	2010	0	0	0	0	0	0	0	2	11	0	
	2011		0	0	0	0	0	0	0	11		
	2012			0	0	0	0	1	0	0		
	2013			0	0	0	0	0	0	5		
	2014			0	0	0	0	0	P	2		
PUNTA SABBIONI	2007		0	0	0	0	0	0	1	8	1	5
	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2
	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	4
	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	2
	2011		0	0	0	0	0	0	0	5		
	2012			0	0	0	0	0	0	2		
	2013			0	0	0	0	0	0	0		
	2014			0	0	0	0	0	0	2		

Tabella 15. Valori di abbondanza di *Xanthomus pallidus* rilevati nel periodo 2007-2014.

Legenda dei colori:  
 giallo = sporadico;  
 arancio = presente;  
 rosso = abbondante.

scia interessata dai detriti di battigia e la base delle prime dune, tuttavia tanto la zonazione quanto la dieta preferenziale potrebbero variare in relazione alle condizioni ambientali locali. Bonometto e Canzoneri (1970) indicano nelle dune l'area preferenziale di *X. pallidus* nei siti mediterranei extraitaliani e atlantici. Gli stessi autori, inoltre, hanno osservato questa specie arrampicarsi sulle piante di *Ammophila*, comportamento che secondo Canzoneri (1959) si deve alla specifica dieta a base di semi. Secondo Caussanel (1970), *X. pallidus* si nutre principalmente di detrito organico, distinguendosi in questo dal congenere *X. pelucidus*, con cui talvolta convive, che invece si nutre principalmente di semi (Aloia *et al.*, 1999). Ferrer & Whitehead (2002), pur confermando per osservazione diretta l'attitudine di *Xanthomus* ad arrampicarsi sulle piante delle dune, ne interpretano la dieta come essenzialmente onnivora. Esemplari prelevati nelle aree monitorate e mantenuti in cattività si sono alimentati di legno morto e, in minor misura, di resti di spighe di *Ammophila*, delle quali tuttavia non venivano intaccati i semi (teste Uliana in Zanella *et al.*, 2009).

I dati fenologici raccolti nel corso del monitoraggio confermano la presenza della specie in tutti i siti indagati, tra i detriti della spiaggia alta ma soprattutto nella preduna e tra le prime dune. Le segnalazioni sono concentrate in ottobre e novembre, ma due esemplari sono stati rilevati anche in marzo e in agosto (tabella 15). Negli ultimi anni di monitoraggio le presenze sono risultate particolarmente scarse presso CR e PS, dove la specie è talora mancata completamente. In considerazione del breve periodo di attività e della mai elevata abbondanza, è plausibile che l'assenza di osservazioni sia imputabile ad insufficienti sopralluoghi nel periodo favorevole e, per CR, alla riduzione dell'area monitorata. Tuttavia, questo Tenebrionide è stato regolarmente rilevato a CR nel 2011-2012, mentre nel biennio seguente esso è mancato del tutto. È possibile, perciò, che la popolazione di CR sia entrata in una fase di ridotta abbondanza, forse riconducibile a normali variazioni interannuali di lungo periodo. Non sono stati rilevati fattori ambientali sfavo-

revoli che possano aver penalizzato questo particolare sito. Assenze complete di reperti, d'altronde, sono state registrate anche ad AL nel 2012 e a PS nel 2013, attestando come il rilevamento di questa specie autunnale mediante un unico sopralluogo possa dare adito a discontinuità nei dati.

### ***Trachyscelis aphodioides* Latreille, 1809**

È un Tenebrionide psammo-alobionte di abitudini fossorie, dotato di ali funzionali, dall'aspetto simile ad un piccolo Scarabeide. È stato inserito nella lista delle specie da monitorare solo a partire dal 2009.

Secondo Ponel (1993), questa specie condivide rigorosamente l'ambiente frequentato da *Ammobius rufus*, interpretazione che non trova riscontro nei siti monitorati, dove è invece risultata legata alle sabbie litorali dalla linea di battigia fino alle prime piante di amfifila, come anche riportato per la costa francese da Jaulin & Soldati (2005).

L'ecologia di *T. aphodioides* rimane in parte da chiarire, almeno per quanto riguarda la sua interpretazione come specie indicatrice. Jaulin & Soldati (2005) lo considerano sensibile sul piano ambientale e sovente sporadico, molto esigente quanto a grado di umidità e salinità della sabbia. Anche Carpaneto & Fattorini (2001) riportano modeste densità di questa specie indagando le dune della località ben conservata di Casteporziano (Lazio). Comor *et al.* (2008), ne rilevano la netta predominanza in alcuni siti alterati della costa mediterranea francese e lo considerano in grado di avvantaggiarsi opportunisticamente a scapito di altri elementi dunicoli più delicati. Gli stessi autori, comunque, ammettono che le ragioni dell'abnorme proliferazione di *T. aphodioides* in alcuni siti non sono chiare.

La letteratura si focalizza su ricerche condotte in ambiente di duna, mentre, secondo la nostra esperienza, l'habitat preferenziale si ripartisce tra le radici delle piante della preduna e i primi millimetri di sabbia sotto i detriti vegetali dell'arenile. Questa specie è certamente molto tollerante al disturbo antropico, come accade anche per *Phaleria*, ma resta un elemento caratteristico e strettamente legato all'ambiente di spiaggia con dune.

Nel corso del monitoraggio è stato rilevato in tutti i siti, seppure con presenze assai meno abbondanti a PS. La curva fenologica si estende con continuità da aprile a otto-

Tabella 16. Valori di abbondanza di *Trachyscelis aphodioides* rilevati nel periodo 2009-2014. Legenda dei colori: giallo = sporadico; arancio = presente; rosso = abbondante.

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	
CA' ROMAN	2009	0	0	0	0	A	A	A	A	A	0
	2010	0	3	A	P	A	A	A	A	A	0
	2011		0	A	A	A	P	A	A	A	P
	2012			A	A	A	A	A	A	A	A
	2013			P	A	A	A	A	A	P	P
	2014			P	A	A	A	A	A	A	P
ALBERONI	2009	0	0	0	0	A	A	A	A	A	0
	2010	0	P	P	A	A	A	A	A	A	0
	2011		0	A	A	A	A	P	P	P	P
	2012			A	A	A	A	A	A	A	A
	2013			A	A	P	A	A	A	A	P
	2014			A	A	A	A	A	A	P	P
PUNTA SABBIONI	2009	0	0	0	0	7	3	2	4	6	0
	2010	0	3	4	3	10	11	20	10	10	A
	2011		0	1	22	4	7	9	5	9	5
	2012			4	A	8	8	A	A	7	3
	2013			3	4	5	1	1	1	3	6
	2014			10	6	4	9	5	0	0	8

bre, con possibile comparsa precoce in marzo. I dati di abbondanza si sono mantenuti elevati e stabili a CR e AL, mentre a PS è stato osservato un calo delle presenze negli ultimi anni, con particolare riferimento al biennio 2013-2014.

### *Otiorhynchus ferrarii* Miller, 1863

È un Curculionide endemico delle coste sabbiose dell'Adriatico (Italia, Albania), notturno, tipico delle dune, dove durante il giorno vive infossato nella sabbia alla base delle piante, specialmente delle tamerici secondo Audisio (2002).

È risultato presente in tutte e tre le aree monitorate, con popolazioni stabili a CR e AL ma assai sporadico a PS, dove è mancato completamente nel corso del biennio 2013-2014. È stato rinvenuto infossato alla base delle piante della preduna e delle prime dune, soprattutto tra le radici di *Inula crithmoides* e *Cakile maritima*, sulle foglie della quale sono anche stati osservati adulti in alimentazione. Il periodo di attività inizia tra marzo e aprile, a seconda dell'andamento stagionale, per protrarsi fino a settembre-ottobre.

La scarsa presenza di questo Curculionide a PS non ha spiegazioni certe e potrebbe essere il risultato di una serie di concause. Questo sito presenta condizioni di disturbo antropico molto maggiori rispetto agli altri due e sia la morfologia che la vegetazione delle dune risultano assai più compromesse. La preduna, in particolare, è quasi assente, limitando così anche la tipica vegetazione pioniera di questa fascia. *O. ferrarii*, sebbene possa venire rinvenuto un po' in tutta l'area delle dune, trova condizioni particolarmente favorevoli nella preduna e tra le prime dune mobili, dove si rinviene preferenzialmente tra le radici di varie essenze. L'impedimento allo sviluppo di una naturale fascia predunale a PS, soprattutto dovuto agli interventi meccanizzati per la pulizia dell'arenile, potrebbe privare questa specie dei microhabitat più favorevoli, interferendo con l'insediamento di una popolazione più consistente.

	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov									
CA' ROMAN	2007	4	2	4	3	P	28	A	P	27	A	12	5	5	8	4	0	0	
	2008	0	0	0	10	5	8	P	P	P	P	1	A	0	P	2	5	0	
	2009	0	0	5	0	6	2	0	7	0	2	3	1	11	0	0	5	0	0
	2010	0	0	1	3	0	P	P	P	4	0	0	3	10	0	0	1	0	
	2011	0	4	3	1	2	6	11	9	6	P	0	0	0	0	0	0	0	
	2012	0	5	0	P	2	6	P	0	P	6	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	0	0	P	P	P	4	2	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	P	P	9	P	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	
ALBERONI	2007	1	10	3	6	3	P	A	10	7	9	P	4	2	6	5	0	0	
	2008	0	0	0	12	1	6	7	P	P	A	2	P	P	0	P	4	0	3
	2009	0	0	5	1	5	0	0	0	2	0	5	2	3	0	2	0	1	0
	2010	0	0	2	2	5	P	P	3	0	3	0	2	0	9	6	1	0	
	2011	1	P	0	7	5	P	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2012	0	P	P	4	P	7	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	0	8	P	0	3	3	1	4	P	2	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	P	P	2	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PUNTA SABBIONI	2007	0	1	2	1	1	1	0	0	0	3	0	2	1	0	1	0	0	
	2008	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	2009	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	5	0	0	0	2	1	0	
	2010	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2011	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2012	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 17. Valori di abbondanza di *Otiorhynchus ferrarii* rilevati nel periodo 2007-2014.  
 Legenda dei colori:  
 giallo = sporadico;  
 arancio = presente;  
 rosso = abbondante.

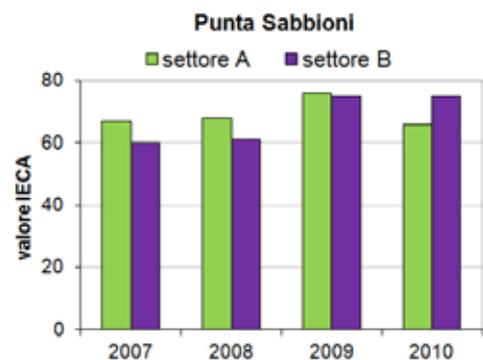
## Valutazione dell'impatto dei cantieri

I possibili impatti dei cantieri per le opere mobili alle bocche di porto sulla fauna a Coleotteri sono stati valutati mediante analisi statistica dei dati raccolti, trattando distintamente quelli del primo quadriennio (2007-2010) da quelli del secondo (2011-2014) a motivo delle importanti variazioni metodologiche che li differenziano.

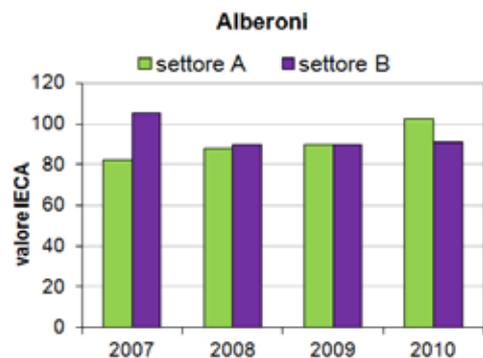
Relativamente al primo quadriennio, i valori IECA ottenuti dai dati rilevati nei settori più prossimi ai cantieri (settori A) sono stati confrontati con quelli registrati nei settori più distanti (settori B), ottenendo i risultati rappresentati in figura 3. Il test-t ha confermato che in nessun sito le due serie di valori mostrano differenze statisticamente significative ( $P > 0,05$ ).

Le serie annuali di valori IECA sono poi state analizzate comparando i sei settori delle tre aree come se fossero indipendenti, mediante test ANOVA con post-hoc test di Tukey, al fine di valutare se in questo insieme vi fossero differenze significative dell'indice di qualità ambientale (figura 4). I valori medi IECA dei settori di CR e AL sono compresi tra 91 e 105, mentre quelli dei settori di PS risultano nettamente inferiori e oscillano tra 68 e 69. L'analisi statistica ha confermato che i settori delle stazioni AL e CR costituiscono un gruppo statisticamente omogeneo, mentre i due settori di PS costituiscono un gruppo di qualità ambientale significativamente inferiore ( $P < 0,01$ ).

PUNTA SABBIONI		
Anno	settore A	settore B
2007	67	60
2008	68	61
2009	76	75
2010	66	75
t-test non significativo ( $P > 0,05$ )		

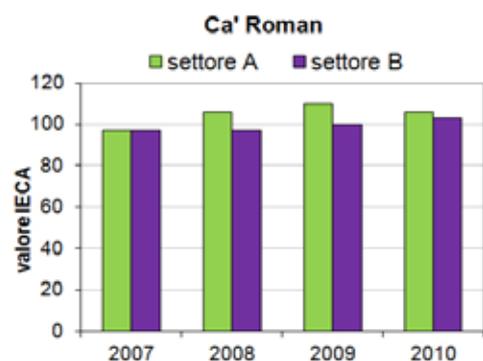


ALBERONI		
Anno	settore A	settore B
2007	82	105
2008	88	90
2009	90	90
2010	102	91
t-test non significativo ( $P > 0,05$ )		

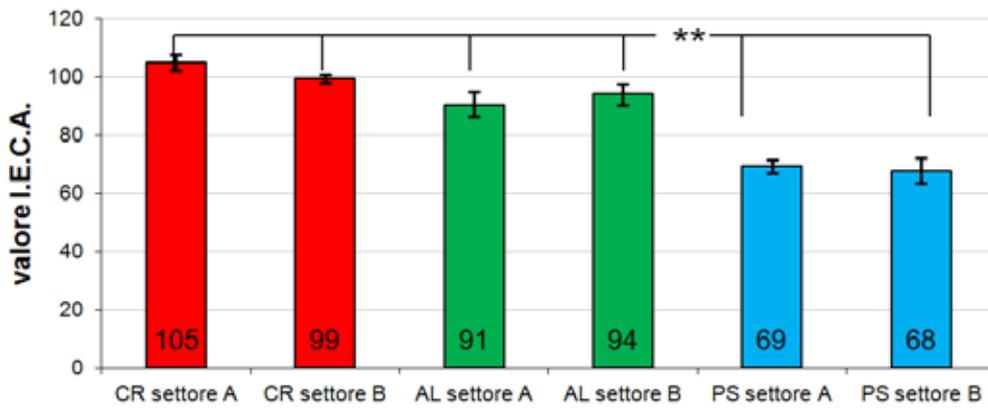


3. Valori di IECA calcolati per ciascun settore dei tre siti di monitoraggio e relativa rappresentazione grafica. La significatività statistica delle differenze tra le serie annuali è stata valutata mediante t-test.

CA' ROMAN		
Anno	settore A	settore B
2007	97	97
2008	106	97
2009	110	100
2010	106	103
t-test non significativo ( $P > 0,05$ )		



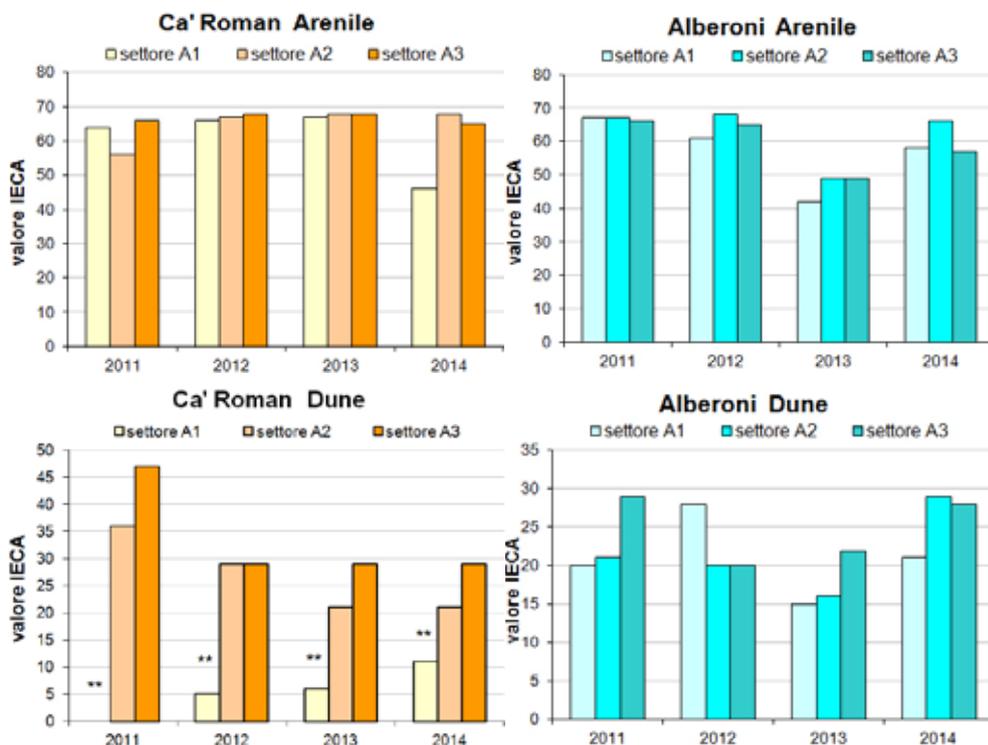
### IECA - Medie 2007-2010



4. Valori medi di IECA (riportati alla base degli istogrammi) calcolati per ciascun settore dei tre siti di monitoraggio (CR, AL, PS) con indicazione dell'errore standard (barre verticali). Le barre orizzontali individuano i due gruppi di istogrammi statisticamente omogenei secondo il test ANOVA con *post hoc* test di Tukey (\*\* =  $P < 0,01$ ).

Questi risultati sono coerenti con l'ipotesi che i vari settori A dei siti monitorati non risentano in modo significativo della presenza dei cantieri rispetto ai settori B, o almeno non in misura tale da determinare una variazione rilevante del loro indice di qualità. Al tempo stesso, tuttavia, si rileva che l'indice di conservazione di PS risulta nettamente inferiore a quelli di CR e AL, come prevedibile sulla base delle importanti assenze di alcune specie tipiche (*P. laevigatus*, *H. punctum*, *M. tricuspидatus*, *A. rufus*) e alla scarsità di presenza di altre (*R. sericeus*, *O. ferrarii*).

Nel secondo quadriennio il monitoraggio di CR e AL si è concentrato nel settore A, in cui sono stati individuati i sottosectori A1-A3. I valori dell'indice IECA sono stati elaborati distintamente per le dune rispetto agli arenili, al fine di individuare con maggior precisione gli eventuali segnali di disturbo. I risultati sono rappresentati in figura 5, da cui si rileva che solo nelle dune del sottosectori A1 di CR si riscontra un calo importante dei valori di IECA, molto significativo anche in base al test statistico adottato ( $P < 0,01$ , ANOVA seguita da *post hoc* di Tukey). Questo impatto del cantiere di CR sulla zona prossimale delle dune trova riscontro anche nelle osservazioni di campo, che attestano lo



5. Valori IECA relativi agli arenili e alle dune di AL e CR, calcolati per i sottosectori A1 (prossimale ai cantieri), A2 (intermedio) e A3 (distale rispetto ai cantieri). Gli asterischi identificano il sottosectore che risulta statisticamente differente rispetto agli altri applicando il test ANOVA con *post hoc* test di Tukey (\*\* =  $P < 0,01$ ).

sviluppo di vegetazione igrofila o euriecia su un'area di circa 50 m di larghezza, in sostituzione di quella xero-psammofila tipica delle dune. Tali circostanze hanno determinato la quasi completa assenza dei Coleotteri tipici in questa parte di sottosettore. Si tratta comunque di un impatto ben confinato alle immediate adiacenze del cantiere, che non trova riscontro già nel sottosettore A2, posto a 200 m dal cantiere stesso.

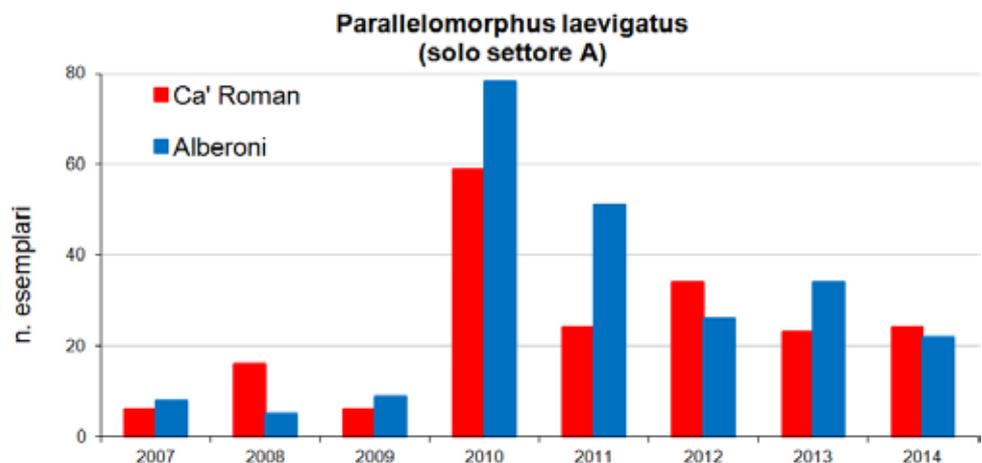
È da evidenziare che in queste aree è previsto uno specifico intervento di riqualificazione nell'ambito del "Piano delle misure di compensazione, conservazione e riqualificazione ambientale dei SIC IT3250003; IT3250023; IT3250031; IT3250030 e della ZPS IT3250046".

### Specie particolarmente minacciate

I dati raccolti hanno confermato la presenza di quasi tutte le specie indicatrici monitorate, con la sola eccezione di *Dyschiriodes bacillus arbensis*, ma al tempo stesso hanno evidenziato la presenza di fattori di stress che talora ne condizionano la sopravvivenza in uno o più dei siti monitorati. Alcune specie meritano di venire segnalate in modo particolare, poiché sono risultate molto sensibili alle condizioni di conservazione di specifici microhabitat dell'ecosistema.

Tra queste va considerato, in primis, il carabide *Parallelomorphus laevigatus*, che nelle coste nord adriatiche è presente con popolazioni morfologicamente differenziate da quelle del restante bacino mediterraneo, tanto che in passato veniva distinto a livello sottospecifico con il nome *P. laevigatus telonensis* (Bonelli, 1813). Nonostante nei cataloghi tassonomici questa sottospecie venga attualmente considerata sinonimo di quella nominotipica (Vigna Taglianti, 1993), senza che peraltro sia noto alcuno studio a supporto di tale decisione, le popolazioni alto adriatiche rappresentano certamente un patrimonio genotipico particolare e unico, che merita di venire tutelato. Anche la forma tipica, comunque, è a rischio di scomparsa in tutto l'areale di distribuzione (Ratti, 2002). La sua eto-ecologia è stata approfonditamente studiata da ricercatori siciliani (Conti *et al.*, 2012), che ne hanno anche documentato la completa scomparsa in due delle quattro spiagge monitorate tra il 1997 e il 2010, mentre in una terza la presenza si è ridotta a pochi esemplari per anno. Le cause del declino sono state, a seconda del sito, il pesante inquinamento e la pulizia meccanizzata delle spiagge per lo sfruttamento turistico.

I dati qui presentati documentano le condizioni ambientali favorevoli dei siti AL e CR, rispettivamente adibiti ad oasi di protezione del WWF e della LIPU, che beneficiano di una gestione dell'arenile compatibile con la conservazione dei microhabitat essenziali. La presenza di *P. laevigatus* è risultata continuativa ma con importanti variazioni annuali di abbondanza, come si vede da figura 6, che per mantenere la comparabilità dei dati



6. Andamento del numero annuale di esemplari registrati nel settore A di AL e CR durante il periodo 2007-2014.

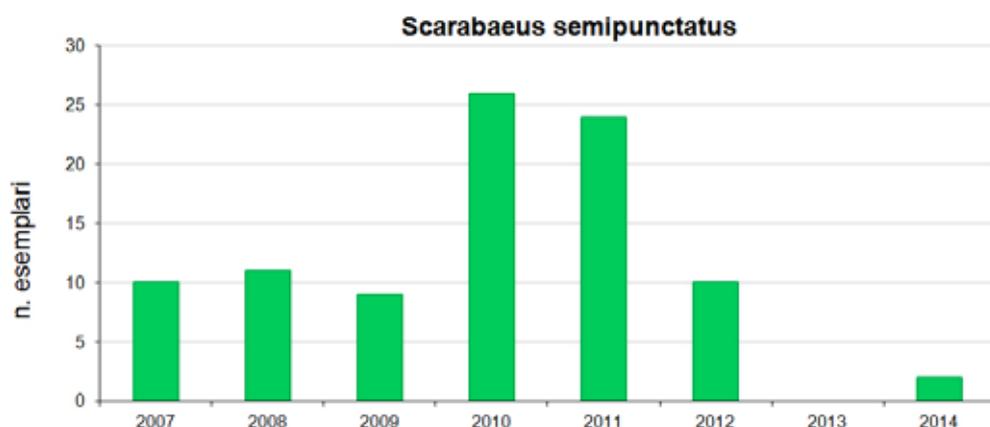
considera solo il settore A di CR e AL. Questi dati dimostrano l'importanza di condurre monitoraggi di lungo periodo, poiché l'acquisizione di valori di abbondanza per periodi limitati può falsare in modo drastico la significatività dei risultati ottenuti.

*P. laevigatus* è invece risultato completamente assente a PS, dove si verificano frequenti interventi di pulizia meccanizzata su tutto l'arenile, con rimozione completa del detrito vegetale e dei tronchi di ogni dimensione. L'eliminazione di questo fondamentale microhabitat si riflette non solo su questo Carabide, ma anche sulle altre specie ad esso legate, quali *H. punctum*, *R. sericeus* e *C. xantholoma*, che in varia misura hanno risentito di tale impatto.

Nell'ambiente di duna vi sono almeno due specie che meritano una particolare attenzione per il rischio di scomparsa a cui sono esposte: *Xanthomus pallidus* e *Scarabaeus semipunctatus*. Il primo è strettamente legato alle dune litorali con cui condivide il rischio di progressiva scomparsa. L'individuazione di zone dunali protette offre certamente discrete probabilità di sopravvivenza, ma è molto importante che in tali ambienti si provveda anche alla tutela della zona di transizione tra arenile e dune, poiché è la zona preferenziale di questa specie. *X. pallidus* si rinviene sovente non solo nella preduna ma anche sotto i detriti vegetali dell'arenile immediatamente antistante. Spesso i piani di salvaguardia prevedono la delimitazione delle dune con barriere volte a scoraggiare l'ingresso di visitatori, lasciando esposto però tutto l'arenile a profonde alterazioni derivanti dallo sfruttamento balneare. Poiché la preduna è un sottoambiente dinamico, che non persiste immutato nello spazio e nel tempo ma si sposta, tali barriere tendono a determinare il brusco passaggio da dune consolidate ad un arenile perfettamente ripulito e calpestato fino a ridosso delle stesse. L'habitat della preduna, di conseguenza, ne risulta fortemente penalizzato, con profondità limitata a 1-2 m o meno, come accade a PS.

*X. pallidus* è fortunatamente ancora presente in tutte e tre le stazioni monitorate, seppure con popolazioni mai abbondanti. La riduzione delle segnalazioni registrata negli ultimi anni di monitoraggio potrebbe essere interamente dovuta alla riduzione dei sopralluoghi nel periodo di attività di questo insetto, tuttavia è opportuno mantenere un elevato livello di attenzione su questa specie.

Un'analisi del tutto particolare va riservata a *Scarabaeus semipunctatus* che, come già evidenziato, risulta ormai rarefatto in tutto il bacino del Mediterraneo. I reperti eccezionali di AL e CR non sembrano sufficienti a sostenere che anche in questi siti sussista una popolazione vitale, mentre a PS le segnalazioni sono state regolari, sebbene ancora una volta caratterizzate da una brusca caduta delle abbondanze nell'ultimo biennio, con una totale assenza di segnalazioni nel 2013 (figura 7). La comprensione di quali siano i fattori che penalizzano così gravemente questa specie rappresenta una sfida scientifica non ancora risolta e un passo indispensabile per poter intraprendere iniziati-



7. Andamento del numero annuale di esemplari registrati a PS durante il periodo 2007-2014.

ve specificamente volte alla sua salvaguardia. Merita qui rilevare che il maggior numero di segnalazioni si è verificato nel 2010-2011, in coincidenza con i valori di massima abbondanza di *P. laevigatus*. Essendo queste due specie legate a comparti dell'ecosistema ben distinti, si potrebbe ipotizzare il verificarsi di condizioni ambientali generali particolarmente favorevoli in tale periodo, o in quello immediatamente precedente, come ad esempio condizioni di temperatura o piovosità idonee a garantire una maggiore sopravvivenza larvale o una maggiore disponibilità di alimento. In tutti i casi, le specie di grossa taglia, come questo coprofago, richiedono maggiori disponibilità trofiche per singolo individuo e questo si traduce in popolazioni con minore densità di individui per unità di superficie. Per conservare popolazioni di dimensioni sostenibili, pertanto, si dovrebbero garantire estensioni di habitat dunale adeguate in termini di superficie minima. Uno studio inteso ad approfondire questi aspetti della dinamica di popolazione di *S. semipunctatus* potrebbe quindi risultare molto utile.

## Conclusioni

L'attività di monitoraggio ha permesso di documentare la presenza di una fauna entomologica ancora relativamente ben preservata, sebbene alcune specie indicatrici presentino distribuzione limitata a una o due stazioni, oppure evidenzino una notevole riduzione delle abbondanze rispetto a quelle attese sulla base di dati storici.

La presenza dei cantieri ha evidenziato un impatto significativo solo nell'area dunale di Ca' Roman, limitatamente ad un'area che si sviluppa per la larghezza di circa 50 m a partire dal confine degli stessi. Qui si è osservato un fenomeno di abbassamento del piano sabbioso con alterazione delle condizioni di umidità, accumulo di materiale lapideo grossolano, sviluppo di vegetazione opportunistica (figura 8). Come conseguenza è stata osservata la scomparsa delle specie tipiche dell'ambiente di duna, tipicamente xero-termofile e psammofile. Nel complesso, comunque, si tratta di un problema ben circoscritto e di estensione molto limitata.

La maggior parte dei fattori di stress ambientale è evidentemente riconducibile alle attività antropiche finalizzate al turismo balneare. L'area maggiormente penalizzata è risultata essere quella di Punta Sabbioni, come evidenziato dall'analisi pluriennale dell'indice IECA (figura 4), che risente evidentemente di una approfondita e frequente pulizia meccanizzata dell'arenile. L'asportazione di tutto il detrito vegetale leggero e pesante



8. Vegetazione opportunistica presente nelle adiacenze del cantiere di Ca' Roman nel 2011, dominata da *Amorphia fruticosa*, pianta di origine nord-americana (foto M. Uliana).

ha già determinato la scomparsa delle specie di arenile più sensibili (*P. laevigatus*, *H. punctum*), ma anche quelle meno delicate (*C. xantholoma*, *P. bimaculata*, *T. aphodioides*) hanno evidenziato negli anni più recenti una diminuzione di abbondanza così evidente da rendere plausibile la loro estinzione locale a breve. La penalizzazione della fauna di arenile è la principale causa di abbassamento dei valori IECA di Punta Sabbioni.

I benefici derivanti dai criteri di gestione adottati a Ca' Roman e Alberoni, finalizzati a principi di tutela ambientale, sono risultati evidenti. A questo proposito, alla luce sia delle osservazioni di campo che della letteratura recente, va richiamata anche l'attenzione sull'importanza di mantenere almeno alcuni tronchi marcescenti nella parte alta dell'arenile. *P. laevigatus* e *H. punctum* sono risultati spesso concentrarsi proprio sotto tronchi marcescenti, e secondo Delnatte (2010) questi sono addirittura indispensabili per il completamento del ciclo biologico di *I. moreli*, le cui larve sono predatori specializzati dell'entomofauna saproxilica. Secondo questo autore, l'abbondanza della popolazione di *I. moreli* è direttamente correlata alla presenza di tronchi marcescenti nella parte alta della spiaggia e nella preduna.

Rimangono aperte alcune questioni irrisolte, tra cui la scomparsa di *S. semipunctatus* dai due siti meglio conservati e la sua sopravvivenza in quello più disturbato, e la presenza di *M. tricuspdatum* limitata a Ca' Roman, nonostante lo stato di conservazione delle dune di Alberoni sembri altrettanto buono.

Per migliorare la gestione degli ambienti costieri e approfondire l'importanza dei diversi microhabitat nell'equilibrio dell'ecosistema, perciò, sono auspicabili specifiche ricerche focalizzate sulle specie entomologiche più minacciate.

## Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare Enrico Ratti, già direttore del Museo di Storia Naturale di Venezia, che ha sostanzialmente contribuito alla progettazione del piano di monitoraggio e partecipato attivamente alla supervisione ed elaborazione dati del primo anno di attività. Infine, siamo grati ad Andrea Pierini (SELC soc. coop.), che con la competenza tecnica e creativa che lo contraddistingue ha preparato la figura 2 riportata nel presente articolo.



*Cylindera trisignata trisignata* in copula (foto M. Uliana).



*Calomera littoralis nemoralis* (foto F. Barbieri).



*Parallelomorphus laevigatus* mentre preda un Anfipode Talitride (foto M. Uliana).



*Halacritus punctum* (foto M. Uliana).



*Cafius xantholoma* (foto F. Barbieri).



*Remus sericeus* (foto F. Barbieri).



*Scarabaeus semipunctatus* mentre separa una porzione di sterco (foto F. Barbieri).



*Isidus moreli* (foto F. Barbieri).



*Macrosiagon tricuspdatum* (foto M. Uliana).



*Mecynotarsus serricornis* (foto F. Barbieri).



*Ammobius rufus* (foto L. Zanella).



*Phaleria bimaculata adriatica* (foto F. Barbieri).



*Xanthomus pallidus* (foto F. Barbieri).



*Trachyscelis aphodioides* (foto F. Barbieri).



*Otorhynchus ferrarii* (foto F. Barbieri).

## Bibliografia

- Aloia A., Colombini I., Fallaci M., Chelazzi L. (1999) Behavioural adaptations to zonal maintenance of five species of tenebrionids living along a Tyrrhenian sandy shore. *Mar. Biol.*, 135: 473-487.
- Audisio P. (2002) Litorali sabbiosi e organismi animali. In: "Dune e spiagge sabbiose", coll. Quaderni Habitat n. 4. Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio in collaborazione con il Museo Friulano di Storia Naturale, pp. 63-117.
- Bellucci S., Barbero E., Agoglitta R., Zunino M. (2008) Il popolamento a Scarabeidi degradatori delle Marche. I. Catalogo sistematico e corologico (Coleoptera Scarabaeoidea). *Memorie Soc. entom. ital.*, 87: 117-155.
- Bonometto L., Canzoneri S. (1970) I Tenebrionidae delle spiagge e dune del litorale di Venezia. *Boll. Mus. civ. Stor. nat. Venezia* 20-21 (1967-68): 223-231
- Brandmayr P., Zetto T., Pizzolotto R. (2005) I Coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità. Manuale operativo. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT) ed., 240 pp.
- Bucciarelli I. (1977) I coleotteri Anticidi della Laguna di Venezia. *Soc. Ven. Sc. Nat. - Lavori*, 2: 15-21.
- Bucciarelli I. (1980) Coleoptera Anthicidae. *Collana Fauna d'Italia*, Edizioni Calderini, Bologna, pp. 240
- Canzoneri S. (1959) Note sugli Xanthomus Muls. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Boll. Soc. ent. ital.*, 89 (9-10): 145-148.
- Canzoneri S. (1966) I Tenebrionidae della Laguna di Venezia. XIV Contributo allo studio dei Tenebrionidi. *Boll. Mus. civ. Stor. nat. Venezia*, 17 (1964): 57-68.
- Carpaneto G.M., Fattorini S. (2001) Spatial and seasonal organisation of a darkling beetle (Coleoptera, Tenebrionidae) community inhabiting a Mediterranean coastal dune system. *Ital. J. Zool.*, 68: 207-214.
- Carpaneto G.M., Mazziotta A., Valerio L. (2007) Inferring species decline from collection records: roller dung beetles in Italy (Coleoptera, Scarabaeidae). *Diversity Distrib.*, 13: 903-919.
- Cassola F. (2002) Le cicindele e le coste: biogeografia e conservazione (Studi sui Cicindelidi, CXIX). *Biogeographia*, 23: 55-69.
- Caussanel C. (1970) Contribution à l'étude du peuplement d'une dune plage et d'une landaise. *Vie et Milieu*, 21: 59-104.
- Chapman A.D. (2009) Numbers of Living Species in Australia and the World. *Australian Biological Resources Study*. Canberra, Australia. 78 pp.
- Coiffait H. (1974) Coléoptères Staphylinidae de la région paléartique occidentale. II. Sous famille Staphylininae, Tribus Philonthini et Staphylinini. *Suppl. Nouvelle Revue d'Entomologie*, 4 (4), 593 pp.
- Colombini I., Chelazzi L., Fallaci M., Palesse L. (1994) Zonation and surface activity of some Tenebrionid beetles living on a Mediterranean sandy beach. *J. Arid Environ.*, 28: 215-230.
- Comor V., Orgeas J., Ponel P., Rolando C., Delettre Y.R. (2008) Impact of anthropogenic disturbances on beetle communities of French Mediterranean coastal dunes. *Biodivers. Conserv.*, 17: 1837-1852.
- Contarini N. (1838) Discorso sopra l'utilità dello studio degli insetti. *Atti Ateneo Veneto* 2: 111-138.

- Contarini E. (1992) Eco-profilo d'ambiente della coleotterofauna di Romagna: 4 - arenile, duna e retroduna della costa adriatica. *Boll. Mus. civ. Stor. nat. Venezia*, 41 (1990): 131-182.
- Conti E., Costa G., Petralia A., Petralia E., Russo C. (2012) Eco-ethology of *Parallelomorphus laevigatus* (Coleoptera, Carabidae): a species to protect. *Atti e Memorie dell'Ente Fauna Siciliana*, 11: 41-49.
- Delnatte J. (2010) A propos d'*Isidus moreli* Mulsant & Rey, 1874, en France (Coleoptera, Elateridae, Elaterinae, Pomachiliini). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 115: 325-338.
- Fattorini S. (2002) The Tenebrionidae (Coleoptera) of a Tyrrhenian coastal area: diversity and zoogeographical composition. *Biogeographia*, 23:103-126.
- Fattorini S., Carpaneto G.M. (2001) Tenebrionid density in mediotyrrhenian coastal dunes: habitat and seasonal variations. *Fragm. Entom.*, 33: 97-118
- Ferrer J., Whitehead P.F. (2002) The Genus *Xanthomus* Mulsant, 1854 (Coleoptera: Tenebrionidae), its evolutionary history and conservation significance. *Ann. Zool., Warszawa*, 52 (3): 383-401.
- Genovesi P., Angelini P., Bianchi E., Dupré E., Ercole S., Giacanelli V., Ronchi F., Stoch F. (2014) Specie e habitat di interesse comunitario in Italia: distribuzione, stato di conservazione e trend. ISPRA, Serie Rapporti, 194/2014.
- Giordani Soika A. (1950) Studi sulle olocenosi V. Vicarianze nella fauna litoriparia del litorale veneto in rapporto alle caratteristiche del terreno. *Boll. Mus. civ. Stor. Nat. Venezia*, 5: 1-16.
- Giordani Soika A. (1959) Ricerche sull'ecologia e sul popolamento delle dune del litorale di Venezia. Le condizioni ambientali. *Boll. Mus. civ. Stor. Nat. Venezia*, 12: 9-59.
- Giordani Soika A. (1992) Crostacei, Insetti ed altri invertebrati. In: "La laguna, Tomo I, Ambiente Fauna e Flora", Corbo e Fiore (Eds), p. 367-393.
- Gridelli E. (1944) In memoria di Angelo Maura. Note su alcune specie di carabidi della laguna veneta. *Mem. Soc. ent. ital.*, 23: 55-70.
- Hammond P.M. (2000) Coastal Staphylinidae (rove beetles) in the British isles, with special reference to saltmarshes. In *British Saltmarshes: Sherwood B.R., Gardiner B.G., Harris T. (Eds) pp. 247-302.*
- Jaulin S., Soldati F. (2005) Les dunes littorales du Languedoc-Roussillon. Guide méthodologique sur l'évaluation de leur état de conservation à travers l'étude des cortèges spécialisés de Coléoptères. OPIE-LR / DIREN-LR, Millas, 58 pp.
- Lapiana F., Sparacio I. (2008) Lo studio degli Insetti nella valutazione della naturalità degli ambienti dunali costieri in Sicilia: Coleoptera e Orthoptera. *Naturalista sicil.*, 32: 411-434.
- Lobo J. M., Lumaret J.-P., Jay-Robert P. (2001) Diversity, distinctiveness and conservation status of the Mediterranean coastal dung beetle assemblage in the Regional Natural Park of the Camargue (France). *Diversity and Distributions*, 7: 257-270.
- Lott D.A. (2003) An annotated list of wetland ground beetles (Carabidae) and rove beetles (Staphylinidae) found in the British Isles including a literature review of their ecology. *English Nature Research Reports*, Report n. 488, 85 pp.
- Magistretti M. (1965) Coleoptera Cicindelidae, Carabidae. Catalogo topografico. *Collana Fauna d'Italia*. Edizioni Calderini. 512 pp.
- Meggiolaro G. (1958) I Pselaphidi (Coleoptera) della laguna di Venezia. *Boll. Mus. civ. Stor. Nat. Venezia*, 11: 131-186.

- Müller G. (1926) I coleotteri della Venezia Giulia. Parte I: Adefaga. Studi entomol., Trieste, 1(2): 1-306.
- Orth R.E., Moore I. (1980) A revision of the species of *Cafius* Curtis from the west coast of North America with notes of the east coast species (Coleoptera: Staphylinidae). Transaction of the San Diego Society of Natural History, 19: 181-211.
- Ponel P. (1993) Coléoptères du Massif des Maures et de la dépression permienne périphérique. Faune de Provence, 14: 5-23.
- Rainio, J., Niemelä, J. (2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity & Conservation, 12: 487-506.
- Ratti E. (1986) Catalogo dei coleotteri della laguna di Venezia. I. Carabidae. Boll. Mus. Civ. Stor. Nat. Venezia, 35 (1984): 181-241.
- Ratti E. (1991) Catalogo dei Coleotteri della Laguna di Venezia. VI - Lucanidae, Trogiidae, Aphodiidae, Scarabaeidae, Melolonthidae, Rutelidae, Dynastidae, Cetoniidae. Lavori Soc. Ven. Sc. Nat. 16: 91-125.
- Ratti E. (1999) Nota sui *Macrosiagon tricuspidatum* ed altri ripiforidi della costa noradriatica italiana (Insecta Coleoptera Rhipiphoridae). Boll. Mus. Civ. Stor. Nat. Venezia, 35 (1998): 9-13.
- Ratti E. (2001) Lista rossa delle specie minacciate del Veneto Orientale. In: Flora e Fauna della Pianura Veneta Orientale n. 3, osservazioni di campagna 2000. Associazione Naturalistica Sandonatese: 170-175.
- Ratti E. (2002) Lista rossa delle specie minacciate del Veneto Orientale. In: Flora e Fauna della Pianura Veneta Orientale n. 4, osservazioni di campagna 2001. Associazione Naturalistica Sandonatese: 157-161.
- Vienna P. (1980) Histeridae. Fauna d'Italia, 16. Calderini, Bologna, pp. 386.
- Vigna Taglianti A. (1993) Coleoptera Archostemata, Adepaga 1 (Carabidae). In: Minelli A., Ruffo S., La Posta S. (Eds) Checklist delle specie della fauna italiana. 44. Calderini, Bologna.
- Zanella L., Uliana M., Scarton F., Barbieri F., Ratti E. (2009) Valutazione ambientale di alcuni arenili veneti con formazioni a dune mediante lo studio della coleotterofauna specializzata (Insecta, Coleoptera). Boll. Mus. civ. Stor. Nat. Venezia, 60: 41-88.

## Summary

The coastal dunes have almost disappeared from the Italian sandy shores as consequence of both human settlement and tourist exploitation of littoral areas. The few localities still partially preserved are therefore considered of particular environmental value, in reason of the characteristic biocenosis they are exclusive depositary of, composed of highly specialised floro-faunistic *taxa*.

Three sites located in the Venetian coast and provided with beach-dune systems have been surveyed from 2007 to 2014 in order to study the specialized beetle fauna and detect any impact from the interventions for the construction of the mobile gates at the Venice lagoon inlets. The areas of interest are Ca' Roman (CR), Alberoni (AL) and Punta Sabbioni (PS), located besides the construction yards. Sixteen beetle *taxa* were selected among the typical inhabitants of beach-dune systems, belonging to the following families: Carabidae, Histeridae, Staphylinidae, Scarabaeidae, Ripiphoridae, Anthicidae, Tenebrionidae and Curculionidae.

Each site was visited 1 or 2 times a month from February to November for the first four years, then, since 2011 the number of visits decreased to 8, from April to October. Each area was divided in two sectors: the sector-A, closer to the construction yards, and the sector-B more distant.

From 2007 to 2010, semi-quantitative data of beetle abundance were distinctly recorded from the A and B sectors, in order to assess any difference in environmental quality. The environmental quality was evaluated by means of the index EIEC (Entomological Index of Environmental Conservation), specifically elaborated at the beginning of the investigations in order to compute a conservation score based on different aspects of the bio-indicators ecology and abundance.

Since 2011 the survey program was modified: at CR and AL the sector-B was abandoned, and the survey was focused on three subsectors of 50 m in width, identified in the sector-A, of which the first was adjacent to the construction yards (subsector-A1), the second was at about 200 m (subsector-A2) and the third at about 350 m (subsector-A3). This aimed to increase the efficacy of the survey for short distance impacts. PS was not interested by these changes because the construction yard was not in the perimeter of the investigated area.

Results showed that almost all the target species were present in surveyed sites. Among the species typical of the beach, the tiger beetles *Cylindera trisignata trisignata* and *Calomera littoralis nemoralis* were present everywhere with abundant populations, as well as the darkling beetles *Phaleria bimaculata adriatica* and *Trachyscelis aphodioides*. Other species, as *Parallelomorphus laevigatus* (Carabidae), *Halacritus punctum* (Histeridae) were recorded in two out of three stations, while no specimen of *Dyschiriodes bacillus arbensis* was observed. Among the Staphylinids typically occurring on the seashore sands, *Cafius xantholoma* still resulted present with quite significant populations, whereas *Remus sericeus*, abundant in the past, is now sporadic. PS showed the poorest populations of *taxa* occurring on the beach, apart from Cicindelina, with local extinction of *P. laevigatus* and *H. punctum*. The cause was mainly attributed to the frequent mechanical grooming of the beach.

Among the dune beetles, only *Mecynotarsus serricornis* (Anthicidae) occurred with stable and abundant populations, *Otiorhynchus ferrarii* (Curculionidae) was well represented at CR and AL but very sporadic at PS, while *Isidus moreli* (Elateridae) was recorded in all the sites with few specimens, although its density is probably underestimated. The Tenebrionidae *Xanthomus pallidus* occurred with populations apparently stable, although the abundance assessment was negatively affected by the low number of visits carried out within its period of activity, especially since 2011. *Ammobius rufus*, a typical Mediterranean Tenebrionidae, was moderately present at CR and AL with abundance lower than

in other central-southern Italian sites, but absent at PS. The dung beetle *Scarabaeus semipunctatus* (Scarabaeidae) was observed with a few specimens per year at PS while only two records were reported for AL and one for CR. Finally, *Macrosiagon tricuspdatum* (Ripophoridae) was recorded only at CR with few specimens per year. On the whole, the collected data suggest that the investigated stations still host partially preserved biocenosis, despite they show an environmental condition affected by relevant human impacts, which have caused the loss of some species and are threatening the survival of others. The EIEC showed that the construction yards had an impact only on the dunes at CR, in an adjacent area limited to 50 m in width. PS suffers both the heavier environmental changes due to human interventions and intense impacts produced by the tourist exploitation of the beach. The disappearance of *D. bacillus arbensis* and the risk of extinction of *S. semipunctatus* lack of sustainable explanations.



# Le comunità macrobentoniche delle pozze di sifonamento della diga degli Alberoni

## *Benthic communities of siphonal pools at the foot of the Alberoni breakwater*

Chiara Miotti, Luca Mizzan, Andrea Rismondo, Cecilia Vianello, Emiliano Checchin

### Introduzione

La diga Nord del canale di Malamocco, ovvero la diga degli Alberoni, è stata costruita fra il 1840 e il 1872, nell'ambito del processo di armatura dei moli foranei, allo scopo di mantenere il canale accessibile al traffico portuale, contrastando gli effetti della sedimentazione grazie all'amplificazione dell'effetto erosivo delle correnti di marea costrette in un percorso più stretto e rettilineo. L'ampio arco percorso della diga alla sua base determinava un eccessivo allontanamento dal fronte mare del vecchio forte seicentesco posto a guardia del lato Est della bocca di Malamocco per mantenerne l'efficacia difensiva. Per garantire un presidio affacciato sul mare venne quindi costruita, fra il 1849 e il 1850, una nuova fortificazione, la Batteria Rocchetta, immediatamente a ridosso della diga, protetta a sua volta da un fossato alimentato da una piccola apertura all'interno della nuova struttura (chiusa o chiavica) ancor oggi attiva.

Con la costruzione del nuovo lungo pennello sporgente verso il mare la corrente costiera antioraria del Golfo di Venezia ha determinato un veloce accumulo di imponenti quantità di sedimenti sabbiosi lungo il litorale immediatamente a Nord della diga stessa, che ha portato ad un rapido interrimento di tutta l'area compresa all'interno del perimetro della radice della diga, come previsto dal progetto. I fenomeni di deposito sono tuttavia proseguiti determinando, in pochi decenni, l'accumulo di grandi quantità di sabbia che hanno spostato in avanti di centinaia di metri il margine della riva. Questa deposizione ha consentito la formazione di un esteso sistema dunale che, stratificandosi negli anni, ha originato un sistema retrodunale con tutte le zonazioni tipiche degli ambienti simili, originariamente diffusi lungo tutta la costa veneta. In tale area, in rapida espansione, ai processi di rinaturalizzazione spontanea si sono aggiunte azioni di rimboschimento artificiale, in alcuni casi condotte con criteri discutibili (AA.VV., 1980; Bon *et al.*, 1998; Zanetti, 1985), che hanno, nel loro complesso, determinato nel tempo la creazione di un habitat prezioso sotto gli aspetti ecologici e paesaggistici. In tale area, attualmente protetta, è stata riconosciuta un'Oasi faunistica.

Il trasporto eolico e i fenomeni di bio-consolidamento, a partire dalla caratteristica vegetazione pioniera, hanno consentito alla zona dunale di raggiungere altezze superiori, anche di diversi metri, a quelle della diga. All'interno gli ambienti si abbassano con le caratteristiche zonazioni dei boschi retrodunali, con aree aride intervallate a bassure umide.

La struttura della diga foranea prevedeva, dal lato esterno, la protezione di una franata di massi in pietra d'Istria di dimensioni considerevoli, atti a difendere il manufatto dalla forza delle onde e dalla corrente che, nel canale, raggiunge velocità anche superiori a

1,5 m/s in fase di massimo scambio di marea. All'interno, invece, la struttura è stata dotata di una fascia di protezione in pietrame simile a quello usato per le massicciate ferroviarie, di dimensione e forma irregolare con pezzatura media di 5-7 cm. Tale fascia, di larghezza fra i 2 e i 4 m, giace attualmente sotto il livello medio della sabbia, ed emerge per i fenomeni di erosione solo nelle aree delle pozze.

Non risultano notizie dell'esistenza delle pozze di sifonamento nel periodo compreso fra la costruzione della diga ed i primi anni '70 del secolo scorso e non è possibile pertanto stabilire quando siano iniziati i fenomeni erosivi che hanno originato questi ambienti. Tuttavia, se il sedimento sabbioso era probabilmente trattenuto in modo sufficiente dalla struttura originaria, è plausibile che lo scavo del canale dei petroli, realizzato fra il 1961 e il 1969 con un notevole approfondimento nella zona prospiciente la diga, abbia reso meno impermeabili le zone profonde dando origine, o aumentando, i fenomeni di



- A esemplare del gasteropode *Hexaplex trunculus*;
- B esemplari del gasteropode *Osilinus articulatus* sui massi in prossimità della diga nelle pozze di maggiori dimensioni;
- C esemplare del decapode *Carcinus aestuarii*;
- D esemplari di avannotti (in particolare *Atherina boyeri*) nel fossato in prossimità della chiusa;
- E esemplare dell'antozoo *Anemonia viridis* adeso ad un masso e alghe verdi del genere *Chaetomorpha*, sulle quali sono visibili alcuni gasteropodi (*Osilinus articulatus*);
- F esemplari del gasteropode polmonato *Ovatella firminii*.

sifonamento con perdita di sedimenti. Le pozze di sifonamento degli Alberoni, infatti, risultano conosciute e studiate come ambienti biologicamente interessanti a partire proprio dai primi anni '70 del secolo scorso. Questi fenomeni erosivi nelle zone di contatto interno con la diga hanno prodotto, già sul finire degli anni '90 del secolo scorso, problemi di indebolimento strutturale della diga tali che il Magistrato alle Acque ha dato corso ad opportuni interventi di manutenzione e consolidamento della struttura marittima, descritti in seguito (Consorzio Venezia Nuova, 1998).

Prima di questi interventi, nel 1998, è stata avviata un'indagine volta a caratterizzare i popolamenti presenti nell'area delle pozze (Mizzan, 1997), indagine motivata anche da precedenti studi che avevano interessato, sia pure non approfonditamente, questi ambienti (Cesari, 1973; 1976; 1988; 1994; Cesari e Pranovi 1989; Munari, 1974), indicando la presenza di biocenosi piuttosto peculiari e la sopravvivenza, in habitat molto localizzati, di popolamenti anche molto abbondanti di alcune specie infrequenti nella laguna di Venezia e nel bacino Mediterraneo.

L'indagine condotta ha evidenziato le caratteristiche del sito con le sue particolarità locali. L'acqua, infatti, penetrando velocemente all'interno delle pozze, mantiene le sue caratteristiche tipicamente marine. Tuttavia, il passaggio attraverso i sedimenti o l'infiltrazione attraverso vie preferenziali realizzatesi nella diga elimina, o comunque riduce fortemente, le componenti sospese, effetto reso evidente dalla trasparenza delle acque, abitualmente cristallina. Ciò determina l'inconsueta assenza, o la fortissima riduzione, degli organismi filtratori, in particolare bivalvi, presenti in quantità elevatissime all'altro lato della diga. La bassissima profondità, la limpidezza e la temperatura nel periodo primaverile ed estivo, spesso sensibilmente superiore a quella esterna per effetto del riscaldamento dovuto all'alterato rapporto superficie/volume, risultano, invece, particolarmente favorevoli allo sviluppo algale. La disponibilità di alghe supporta lo sviluppo di abbondanti popolamenti di gasteropodi fitofagi, organismi brucatori. La collocazione a immediato ridosso della diga protegge inoltre queste aree dall'azione battente di burrasca ma anche dalla semplice ondatazione, particolarmente sensibile nel corrispondente lato esterno della diga per effetto del vento, delle maree e del continuo traffico di imbarcazioni e di naviglio anche di notevole tonnellaggio. Tali biotopi costituiscono pertanto delle aree a substrato roccioso in orizzonti essenzialmente di sopra- e mesolitorale, localmente infralitorale, in moda calma, a caratteristiche idrologiche che rimangono, però, tipicamente marine. Costituiscono cioè un ambiente peculiare in cui la presenza di substrato solido a contatto diretto con il mare non è accompagnato da moda battuta (azione battente delle onde). Tali ambienti non somigliano nemmeno alle pozze di scogliera, che sono avvallamenti più o meno estesi in zone rocciose, o a substrati solidi che a causa di escursioni di marea o per fenomeni di mareggiata vengono solo periodicamente vivificati dalle acque marine; in tali ambienti i parametri chimico fisici delle acque variano notevolmente, raggiungendo la sovrassalazione per effetto dell'evaporazione o, talvolta, la dissalazione per forti precipitazioni. L'isolamento e i fenomeni di decomposizione della sostanza organica presente possono determinare anossie periodiche. Tutti questi fenomeni risultano assenti nelle pozze di sifonamento a causa del sensibile e continuo ricambio dell'acqua assicurato dalle maree.

L'isolamento fisico delle pozze e la loro collocazione, essenzialmente mesolitorale, selezionano comunque in modo severo le specie capaci di sopravvivere localmente e la loro interazione obbligata in aree così limitate accentua i fenomeni di competizione e predazione. I popolamenti osservati risultavano composti da un ristretto numero di specie, soprattutto se confrontati con quelli rinvenibili sull'adiacente scogliera esterna della diga, sul lato del portocanale, ma erano spesso molto abbondanti, organizzati in catene trofiche talvolta molto semplificate e spesso peculiari (Mizzan, 1997).

Subito dopo l'indagine del 1998 (Mizzan, 1997; MAG. ACQUE-TECHNITAL, 1998), le aree delle pozze di Malamocco sono state oggetto di interventi volti al consolidamento

e alla manutenzione della diga foranea e facenti parte di un progetto più ampio di rinforzo dei litorali e delle bocche di porto (Figura 1a). In particolare, per quanto riguarda l'area del Forte Alberoni, i lavori del 2001-02 hanno previsto lo scavo del fossato fino a 1,5 m per favorirne la vivificazione, incrementando la circolazione idrica, la ricostruzione della chiavica per un più officioso scambio idrico tra le pozze e la bocca e, da ultimo, la sistemazione delle sponde (Consorzio Venezia Nuova, 1998).

Queste misure sono state infatti intese alla conservazione e all'incremento delle possibilità di connessione delle pozze con gli ambienti vicini mediante la possibile eliminazione delle barriere esistenti lungo la diga ed evitando barriere idrauliche che potessero compromettere i flussi che consentono la trasmissione dell'escursione delle maree, pur se in maniera rallentata.



1a. Stazione 1: fossato dell'ex-forte prima (A) e dopo (B) i lavori di consolidamento e manutenzione della diga foranea e delle sponde dell'ex-forte [MAG. ACQUE, 1998]. Nelle figure (C) e (D), prima e dopo i lavori, particolare dell'area della piccola chiusa (indicata dalla freccia) che mette in comunicazione diretta il fossato con il portocanale esterno.



1b. Immagine relativa al piccolo canale localizzato tra la "piarda" e la diga per consentire l'afflusso di acque alle pozze di sifonamento.

Durante la realizzazione delle opere alle bocche, inoltre, è stata predisposta una serie di accorgimenti per garantire l'integrità delle pozze di sifonamento. In particolare, la costruzione nel 2006 di una banchina piarda, con funzione di supporto alle attività di cantiere è stata effettuata garantendo la presenza di un flusso costante di acqua marina secondo modalità analoghe a quelle passate (tramite la presenza di un piccolo canale tra la piarda e la diga; Figure 1b e 2).

Lo scopo di questo lavoro è la tutela di questi particolari biotopi e quindi il loro monitoraggio nel corso dei lavori per la costruzione del sistema MOSE.

## Il monitoraggio: materiali e metodi

Il valore ambientale delle aree retrodunali e delle aree al margine della diga degli Alberoni (diga nord di Malamocco), vere e proprie zone umide di "bassura", è riconosciuto dalla loro inclusione nell'area SIC (codice rete Natura 2000 n.IT3250023, confermato definitivamente nel dicembre 2004 dall'Unione Europea, ai sensi della Direttiva 92/437CEE).

I cantieri per le Opere alle bocche e i diversi interventi di riconfigurazione idraulica e di consolidamento programmati ed eseguiti nel contesto geografico delle pozze hanno previsto opportune misure di attenzione e di mitigazione volte alla conservazione e al ripristino di questi ambienti isolati, indagati solo saltuariamente, che rischiano, se trascurati, di andare incontro a possibile essiccamento e drenaggio in conseguenza dei vari interventi di difesa. È risultato quindi opportuno promuovere, nell'ambito del Monitoraggio degli Effetti dei Cantieri per le Opere alle Bocche, un controllo della varietà della componente acquatica in questi microambienti (MAG. ACQUE-CORILA, 2009-2013; PROV. OO. PP.-CORILA, 2014, 2015). Questo per segnalare dapprima le condizioni generali di conservazione del biotopo e osservare le modifiche del quadro specifico della comunità. Come anche per le altre componenti biotiche considerate nel Piano di monitoraggio, non essendo possibile stabilire, durante le osservazioni, precise ed univoche relazioni di causa-effetto, tutti i risultati sono valutati su base critica integrandoli con le altre informazioni, dirette ed indirette, provenienti dal quadro complessivo del piano di monitoraggio.

Ai fini del monitoraggio di questi ambienti, l'indagine del 1997 (Mizzan, 1997) è stata utilizzata per definire la situazione *ante operam*.

Il monitoraggio dello stato degli invertebrati acquatici rende conto del funzionamento di tale ecosistema. In questo senso, il monitoraggio degli effetti dei cantieri ha come obiettivo l'acquisizione, per raccolta, di informazioni di letteratura e, per specifiche indagini di campo, di dati caratteristici di una gamma di variazioni dell'assetto delle comunità di invertebrati acquatici presenti nelle Pozze, dovute alle loro naturali oscillazioni, da confrontare poi con le situazioni corrispondenti alle diverse e successive fasi di realizzazione delle opere mobili, per poter valutare se vi siano evidenti e significativi scostamenti rispetto alle condizioni di riferimento, in conseguenza delle risposte a impatti riconducibili alle attività di cantiere.

### Siti di indagine

I siti di indagine sono le pozze di sifonamento ubicate nelle aree di depressione, localizzate a ridosso della diga foranea e soggette a notevoli variazioni di superficie in relazione allo stato della marea, e il canale costituente il fossato dell'ex forte degli Alberoni, ad Est del Faro "Rocchetta" (Figura 2).



### Le pozze di sifonamento<sup>1</sup>

Le pozze di sifonamento sono costituite da una breve serie di avvallamenti o depressioni localizzate nella zona immediatamente retrostante la diga foranea, fra la diga stessa e l'ambiente retrodunale interno. Il margine a ridosso della diga è verticale, irregolare solo in presenza di margini di massi ad essa aderenti, mentre il perimetro interno delle pozze è costituito da un declivio più o meno ripido, talvolta quasi suborizzontale, costituito da ciottoli di ca. 1-3 cm.

Queste depressioni, di ampiezza e profondità sensibilmente variabili, si estendono dalla zona immediatamente successiva al fossato del forte Alberoni ad Ovest, fino all'area prospiciente il Golf Club ad Est (Figura 2). Le pozze più centrali e settentrionali sono le più estese e profonde, seppure estremamente variabili in relazione alle fasi di marea. Il fondale è costituito da ciottoli scuri, irregolari e spigolosi, di dimensioni di solito superiori ai 5-7 cm nella zona centrale delle pozze e via via minori passando ai bordi interni che appaiono costituiti pertanto da "spiaggette" di piccoli ciottoli (1-3 cm circa) di forma più arrotondata. La larghezza (dalla diga al margine interno) delle pozze varia, con il variare della marea e della zona dagli 1,5 agli oltre 6-8 m e dagli 0 ai 60-100 cm di profondità. In alcune zone della pozza più centrale (la più estesa e profonda) tuttavia sembrano esservi delle zone che non emergono mai, o solo in occasioni di minime maree estreme di sizigie. I ciottoli irregolari, sono spesso ricoperti in diversi punti da sedimenti mobili,

2. Localizzazione delle stazioni di campionamento nell'area di studio presso la bocca di porto di Malamocco, lato nord Alberoni.

<sup>1</sup> La descrizione è relativa alle condizioni delle pozze *ante operam*, ovvero prima dell'inizio dei lavori e dei relativi monitoraggi.

talvolta sabbiosi ma più spesso limosi e fangosi. In alcune aree tali substrati mobili costituiscono zone di “gengiva” anche in prossimità del margine interno, con zone ricoperte, in un’area settentrionale, anche da un rado canneto (*Phragmitetum*).

Nelle zone centrali delle due pozze maggiori e a ridosso della diga sono inoltre presenti alcuni grossi massi che emergono in modo variabile durante le fasi di marea. Questi costituiscono l’unico gradiente verticale consistente oltre alla fiancata stessa della diga. Su di essi si sviluppano isolate ma non rare, formazioni di *Fucus virsoides*, specie endemica alto-adriatica, che sembra non potersi sviluppare sul fondale, forse a causa dei troppo fitti popolamenti di *Enteromorpha*.

Nelle pozze mancano, pressoché totalmente, le specie filtratrici che sono sostituite dai brucatori fitofagi di alghe bentoniche (micro e macro fitobenthos). Mancano, infatti, quasi totalmente i bivalvi, anche nella loro componente tipica dei substrati solidi (i mitili e le ostriche, tipicamente), ma anche i balanidi, nelle diverse specie possibili. L’assenza di filtratori è da associarsi alla carenza di plancton nella pozza, causata da una continua filtrazione dell’acqua delle pozze provocata dalla periodica fluttuazione delle maree. Ad ogni cambio di marea l’acqua infatti esce e rientra dalle pozze o attraverso la percolazione (e relativa filtrazione) del fondo, o attraverso i fori e le fessurazioni della diga. Queste appaiono però intensamente colonizzate, fin dalla loro porzione esterna, da folti popolamenti di mitili, ostriche ed altri filtratori efficacissimi. In tal modo l’acqua che penetra attraverso tali fessurazioni potrebbe venire a sua volta fortemente impoverita del plancton e delle sostanze in sospensione.

In questo caso una delle forze determinanti gli equilibri ecologici delle pozze sarebbe rappresentata dai peculiari meccanismi di penetrazione delle acque, la modificazione dei quali potrebbe quindi ripercuotersi in qualche modo sull’equilibrio attualmente instauratosi. La peculiarità di questi ambienti e dei popolamenti in essi presenti era già stata notata ed in parte illustrata da alcuni autori in diverse pubblicazioni (Cesari, 1973; 1976; 1988; 1994; Cesari e Pranovi, 1989; Munari, 1974) fin dai primi anni ‘70 del secolo scorso. Dalle foto e dalle descrizioni riportate in queste pubblicazioni è possibile notare come questi ambienti, probabilmente formati per erosione ed asportazione per sifonamento della frazione sottile delle zone sottostanti alle aree in oggetto con relativo sprofondamento, avessero già assunto una conformazione molto simile a quella attuale oltre 40 anni fa. Da allora è tuttavia probabile che il fenomeno non si sia concluso e che le pozze continuino ad ampliarsi ed approfondirsi per lento sprofondamento (Mizzan, 1997).

#### *Canale Fossato del Forte Rocchetta*

L’ambiente è costituito dal fossato dell’ex forte degli Alberoni, un canale artificiale largo da 5 a 15 m, che si sviluppa in un anello allungato sub-rettangolare il cui asse maggiore è di poco inferiore a 300 m. I fondali sono attualmente costituiti da substrati mobili, con composizione variabile nelle diverse zone. Le sponde del canale sono state arginate in muratura, in occasione dei lavori di dragaggio del fossato operati tra il 1999 ed il 2004. La profondità attuale, in lenta riduzione per fenomeni di accumulo di sedimenti e detrito, è attualmente compresa fra 30 e 60 cm circa, con sensibili variazioni nelle diverse zone. La comunicazione con l’esterno è garantita da una chiavica attraversante la diga (Figura 1a) e comunicante con la porzione più meridionale dell’anello. Lo scambio idrico, nei periodi di piena variazione di marea, appare localmente intenso e capace di assicurare condizioni idrologiche complessivamente sufficienti alle acque del canale, con eccezione delle aree prospicienti il ponte di comunicazione con l’isola interna. Il ponte, attraversato da una condotta ad arco di modesta dimensione e scarsa profondità, interrompe la circolarità della circolazione delle acque e sposta la linea di partiacque sensibilmente verso Ovest, rispetto all’atteso lato opposto alla chiavica.

L'ambiente appare abbastanza eterogeneo e differenziato in aree. In prossimità della diga è simile a quello marino, con substrati solidi e mobili, compresa una piccola prateria di fanerogame. Nella porzione più settentrionale il fondale torna ad arricchirsi nella frazione sabbiosa, probabilmente per smottamento dell'argine costituito essenzialmente da sabbia, acquisendo maggiore compattezza e facilitando l'areazione in profondità. Queste caratteristiche del substrato e il sensibile ricambio delle acque, unito ad un maggior grado di isolamento (confinamento), garantisce ricchi popolamenti di tipo più francamente lagunare, pur in larga parte ancora comuni a quelli marini dell'area prossima alla chiavica. Le due zone prospicienti il ponte, che interrompe la circolarità del ricambio idrico, sono quelle a condizioni più estreme. La zona a Nord è molto più estesa a causa della maggiore distanza dalla comunicazione al mare. Qui il fondale, asfittico ed estremamente soffice, è ricoperto da un manto di flogiame e detriti vegetali in lenta decomposizione.

Le acque appaiono limpide o relativamente limpide in prossimità della chiavica e nelle zone intermedie, in funzione delle condizioni di marea e delle acque entranti, scure o nerastre nelle aree prossime al ponte di comunicazione con l'isolotto interno.

La buona comunicazione con il mare attraverso la chiavica e la mancanza di sensibili apporti dulciacquicoli determina un costante valore della salinità delle acque nelle diverse porzioni del canale, sovrapponibili a quelle rilevabili nel canale di porto nelle medesime fasi di marea.

### **Attività di campo e laboratorio**

Sono state individuate 5 stazioni di controllo la cui localizzazione è riportata in figura 2. La scelta di tali siti di campionamento ha tenuto conto delle caratteristiche principali dell'ambiente esterno alle pozze di sifonamento, tramite la localizzazione della stazione 1 di controllo all'interno del fossato, ma in prossimità della chiusa; il sito 1 quindi non si trova all'interno delle vere e proprie pozze di sifonamento. Le diverse tipologie ambientali che caratterizzano la zona immediatamente retrostante la diga foranea degli Alberoni, fra la diga stessa e l'ambiente retrodunale interno (vere e proprie pozze di sifonamento) sono state considerate mediante la localizzazione delle stazioni 2-3-4-5 (Figure 2-4). A partire dal 2007, il numero di campagne stagionali di misura è sceso da quattro, nei primi anni (con l'intento di acquisire un quadro di informazioni utile a valutare le variazioni interannuali), ad una sola campagna (quella tardo primaverile di giugno, dal 2012) (MAG. ACQUE-CORILA, 2009-2013; PROV.V.OO.PP.-CORILA, 2014, 2015).

I rilievi sono stati indirizzati alle componenti dell'epifauna nelle stazioni 2-3-4-5 (area delle pozze sifonamento vere e proprie) e alle componenti dell'endofauna e dell'epifauna nella stazione 1 (canale fossato ex-forte). La comunità di riferimento presa in considerazione è quella degli invertebrati acquatici, ma sono state considerate, come specie guida, anche le fanerogame marine eventualmente presenti e le macroalghe.

Per quanto riguarda la stazione 1, che rende conto di eventuali variazioni o anomalie nell'ambiente marino esterno alle pozze con il quale è in diretto contatto attraverso la chiusa, è stata campionata l'endofauna (tramite raccolta di sedimento con bennate) in tre punti (A, B e C), ubicati alla distanza di circa 4 metri l'uno dall'altro in modo da fornire un quadro sufficientemente rappresentativo dell'area (figura 3).

Nelle stazioni di campionamento 2, 3, 4 e 5, localizzate presso le pozze di sifonamento, si è proceduto alla determinazione qualitativa degli esemplari di alcune specie guida presenti e a quella quantitativa su parcelle sperimentali di ampiezza costante (50 cm x 50 cm) in numero di tre (A, B e C) per ogni stazione (figura 3). Tali controlli sono stati articolati mediante catture, osservazioni e determinazioni in loco con successiva liberazione (quando, però, la classificazione degli individui necessitava di ulteriori analisi e verifiche, alcuni esemplari sono stati portati in laboratorio).

## Risultati dei monitoraggi 2007-2014

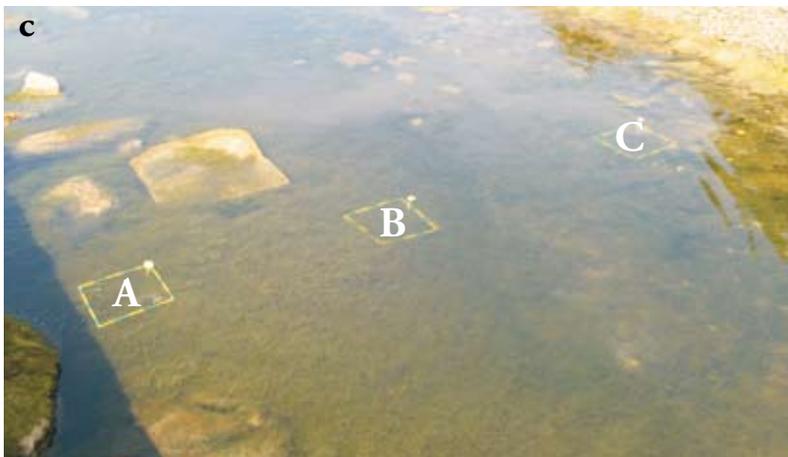
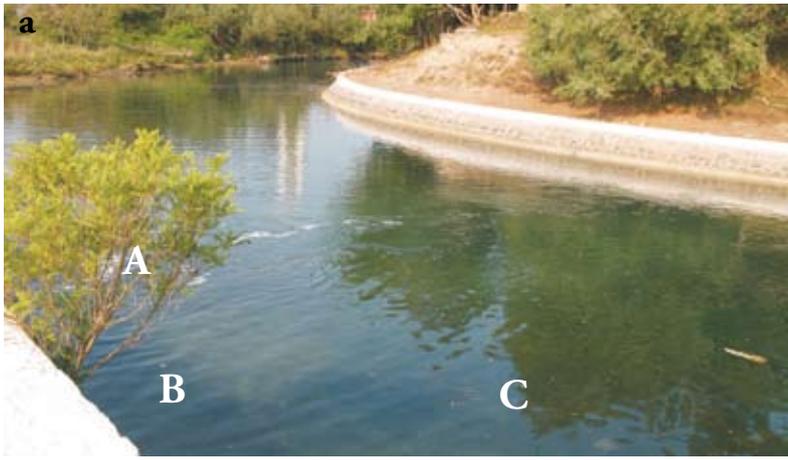
### *Analisi dei principali parametri strutturali*

L'analisi dei dati relativi alle campagne primaverili<sup>2</sup> effettuate dal 2007 al 2014 nella stazione 1 (Fossato ex forte), che consente di rilevare i cambiamenti dell'ambiente marino con cui è in diretto contatto attraverso la chiusa, evidenzia come sia il numero dei *taxa* totali sia l'abbondanza degli individui siano aumentati nel corso degli anni. I policheti, i molluschi bivalvi e gasteropodi ed i crostacei anfipodi sono sempre risultati i gruppi più rappresentati (per numero di *taxa* e abbondanze) (figure 5, 6 e 7); l'abbondanza di policheti è, almeno in parte, riconducibile al fatto che in questa stazione è prevista anche la raccolta di sedimento. Tra gli organismi abbondanti all'interno del fossato si segnalano gli echinodermi *Paracentrotus lividus*, i molluschi bivalvi *Crassostrea gigas* e *Mytilus galloprovincialis*, i crostacei cirripedi *Aphibalanus amphitrite* e *Chthamalus* spp. e nume-

<sup>2</sup> I dati analizzati fanno riferimento alle sole campagne primaverili (nel periodo compreso tra il 2007 e il 2014).



3. Immagine dell'area di campionamento presso il fossato dell'ex-Forte (A). Immagini dell'area campionata presso le pozze di sifonamento ((B) stazioni 2 e 3 e (C) stazioni 4 e 5).



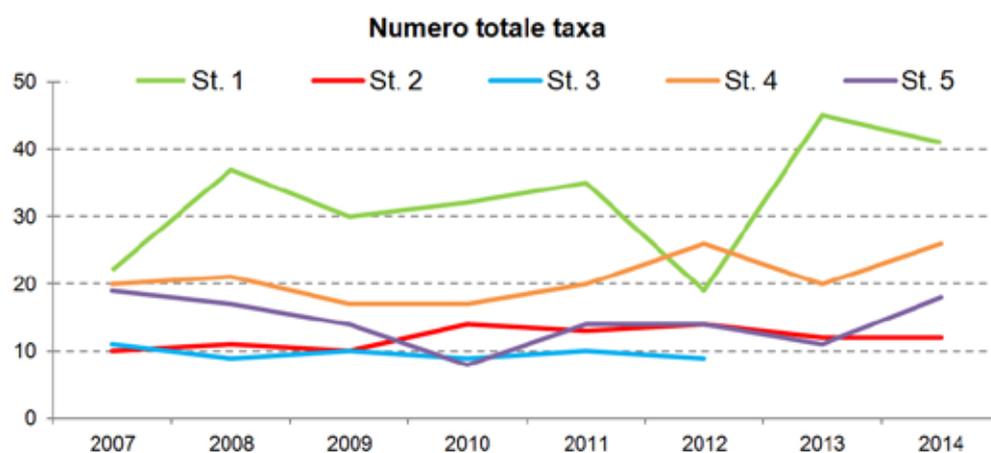
4. Posizionamento dei punti A-B-C presso la stazione 1 nel fossato dell'ex-forte (a), la stazione 3 (b) e la stazione 4 (c).

rosi avannotti di *Aphanius fasciatus* e *Atherina boyeri*.

Per la comunità macroalgale, sono stati rinvenuti soprattutto numerosi talli sia dell'alga verde *Ulva laetevirens* sul fondale, sia delle alghe brune *Cystoseira barbata* e *Cystoseira compressa*, soprattutto in prossimità della chiusa. Per quanto riguarda le fanerogame marine (*Zostera marina*, *Cymodocea nodosa* e *Nanozostera noltii*), negli anni sono state rinvenute piccole "praterie" con estensioni molto limitate (qualche metro quadro) ma sempre in buono stato e in costante, seppur contenuta, espansione.

Nei siti di controllo 2 e 3 (Pozze di sifonamento) sono state evidenziate, negli anni, soltanto piccole variazioni del numero di specie e di individui, riconducibili, comunque,

5. Andamento del numero di *taxa*/stazione tra il 2007 e il 2014, presso le stazioni 1, 2, 3, 4 e 5.



a normali variazioni su base stagionale della struttura dei popolamenti presenti e, in rari casi, a problemi di accumulo di *marine litter*. Tali popolamenti sono sempre risultati costituiti principalmente da molluschi gasteropodi (fig. 5, 6 e 7), in particolare dai polmonati *Ovatella firminii*, *Myosotella myosotis* e *Auriculinella bidentata* e dalle specie *Truncatella subcylindrica*, *Paludinella littorea*, *Littorina saxatilis*, *Assimineia grayana*.

I dati relativi alle abbondanze hanno evidenziato come gli individui si localizzino preferenzialmente nella parte più bassa della pozza, che è raggiunta dall'acqua durante le escursioni di marea; in corrispondenza della parte più alta, invece, il sedimento e i massi presenti sono solitamente più aridi, risultando ambienti meno favorevoli alle specie animali.

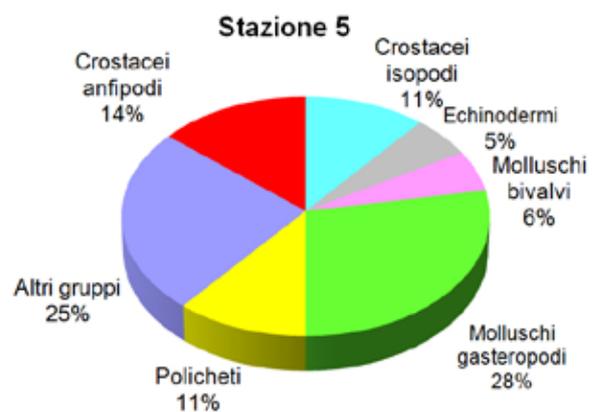
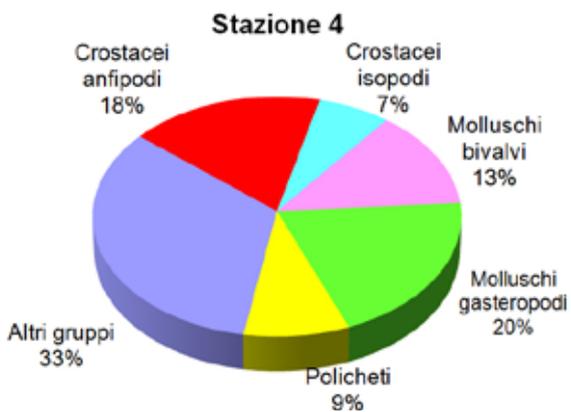
In queste pozze di sifonamento, anche se di piccole dimensioni rispetto a quelle dove sono state posizionate le stazioni 4 e 5, sono state rinvenute comunità algali, anche se più limitate per numero di *taxa* e abbondanze costituite da specie che tollerano ripetuti periodi di emersione in seguito alle fasi mareali (le alghe verdi dei generi *Chaetomorpha* e *Ulva* e soprattutto le alghe rosse *Catenella caespitosa* e *Bostrychia scorpioides*).

Anche nelle stazioni 4 e 5 (Pozze di sifonamento) le variazioni registrate per numero di *taxa* e abbondanza, legate alle normali fluttuazioni su base stagionale, hanno interessato in particolare i crostacei anfipodi e sono risultate fortemente condizionate dalla presenza e dallo stato di conservazione dei talli macroalgali (figure 5, 6 e 7). In queste pozze, infatti, sono stati sempre rinvenuti tappeti uniformi di alghe verdi, appartenenti soprattutto ai generi *Chaetomorpha* (*C. linum* e *C. ligustica*) e *Cladophora*. In seguito ad esposizioni alle temperature dei mesi più caldi, la loro estensione si è ciclicamente ridotta come conseguenza della loro degradazione e tali eventi hanno profondamente influenzato la comunità animale, riducendo, per periodi più o meno estesi, le abbondanze delle specie che trovano nutrimento e rifugio tra i talli algali (come i crostacei anfipodi e i molluschi gasteropodi).

In entrambi i siti di campionamento i molluschi gasteropodi, i crostacei anfipodi, i policheti e gli echinodermi risultano sempre i gruppi più rappresentati per numero di *taxa* e/o abbondanza.

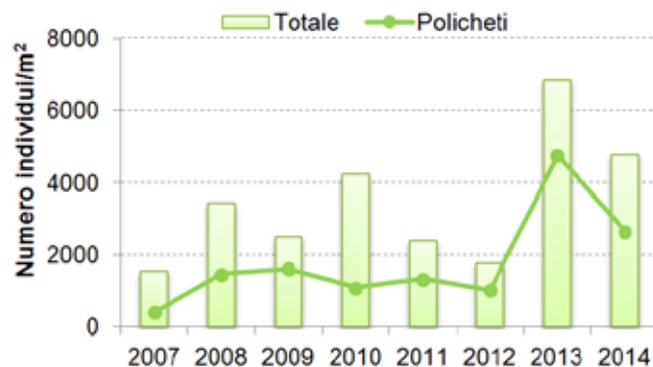
### Analisi multivariata

Analisi statistiche condotte sull'intero dataset (2007-2014) hanno evidenziato le similitudini e/o le differenze esistenti tra le campagne primaverili. Per la stazione 1, l'applicazione del test ANOSIM ha verificato la correlazione esistente tra i diversi campioni analizzati (A, B e C) e i popolamenti sono risultati diversificati soprattutto su base spaziale (diversa localizzazione dei campioni A, B e C) più che su base temporale (diverso anno

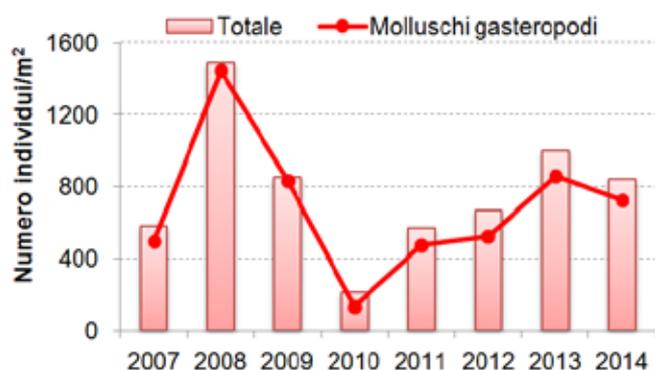


6. Ripartizione % del numero complessivo di *taxa* (tra il 2007 e il 2014), presso le stazioni 1, 2, 3, 4 e 5.

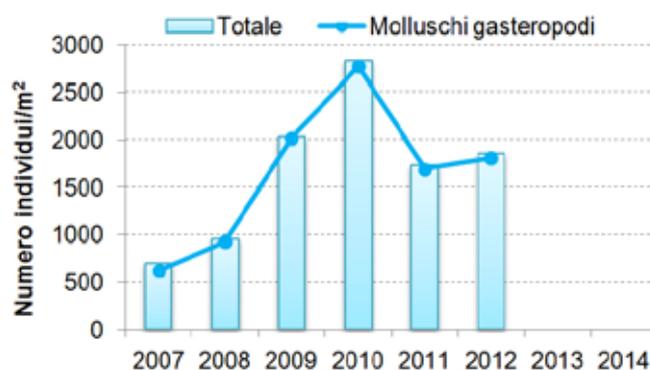
Stazione 1



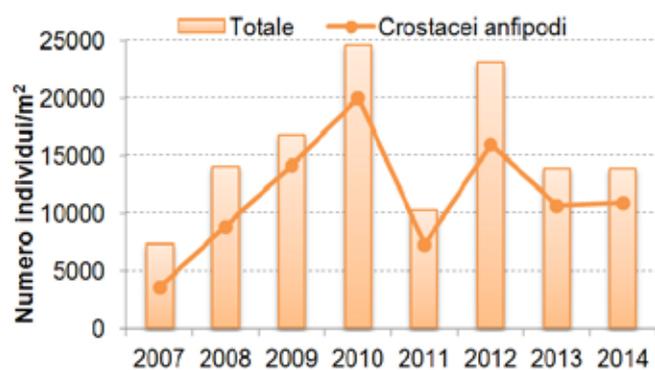
Stazione 2



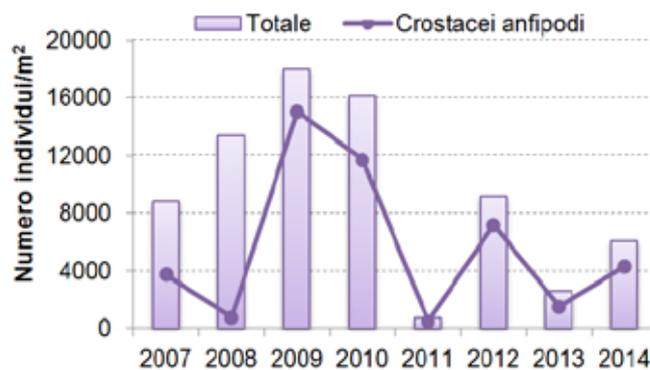
Stazione 3



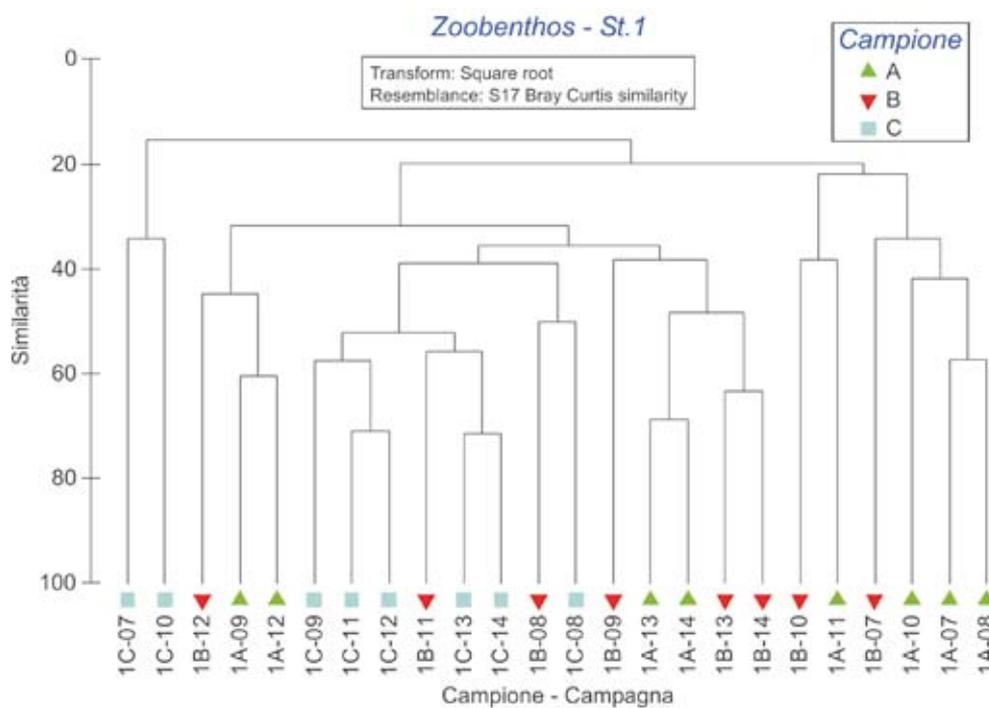
Stazione 4



Stazione 5



7. Andamento del numero di individui/m<sup>2</sup> rinvenuti tra il 2007 e il 2014, presso le stazioni 1, 2, 3, 4 e 5. Nel 2013 e 2014 non è stato possibile condurre il campionamento presso la stazione 3 per la presenza di rifiuti di varia natura (*marine litter* accumulatasi principalmente come conseguenza di mareggiate invernali-primaverili).



8. Stazione 1: dendrogramma rappresentante i rapporti di similarità in base ai valori di abbondanza delle specie animali rinvenute nei tre campioni A, B e C durante le campagne primaverili di monitoraggio (2007-2014).

di campionamento). Anche il test statistico PERMANOVA ha rilevato differenze statisticamente significative tra i campioni (A, B e C) su base spaziale e non temporale. I raggruppamenti dei campioni della stazione 1 (2007-2014) nel dendrogramma di figura 8, ottenuto dalla cluster analysis sulla base della struttura delle comunità zoobentoniche, confermano tale risultato.

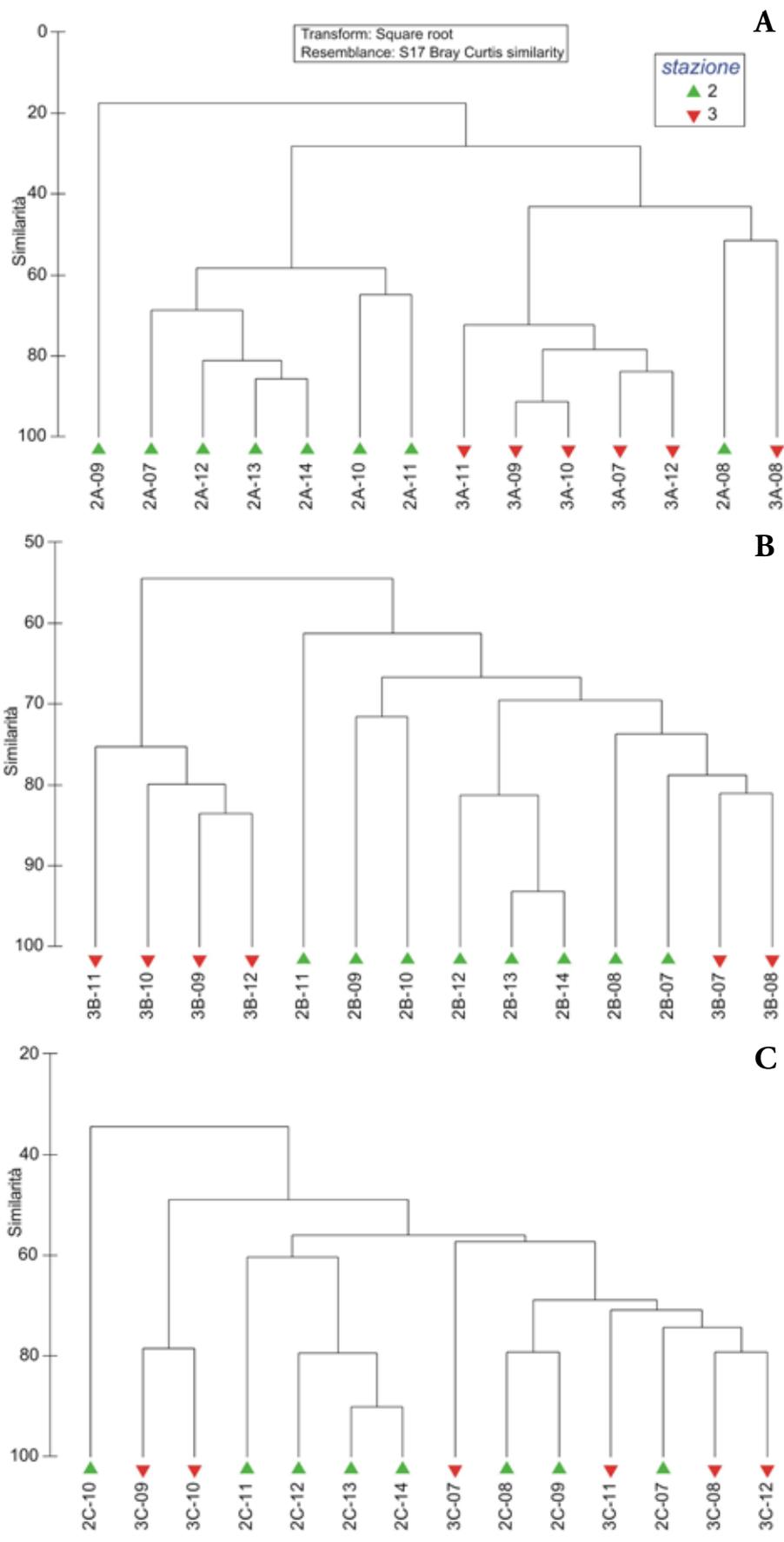
Anche per le stazioni 2 e 3 le analisi statistiche, e in particolare l'applicazione del test PERMANOVA, hanno rilevato l'esistenza di differenze statisticamente significative tra i campioni di tipo A, tra quelli di tipo B e tra quelli di tipo C dei due siti. I dendrogrammi di figura 9, ottenuti dalla cluster analysis, confermano tale risultato, poiché i campioni dei siti 2 e 3 tendono a raggrupparsi soprattutto in base alla stazione di appartenenza più che all'anno di campionamento.

Nelle stazioni 4 e 5 il test statistico PERMANOVA, nel confronto fra i set di dati dei diversi anni di monitoraggio (2007-2014), ha rilevato l'esistenza di differenze statisticamente significative tra i campioni di tipo A, di tipo B e di tipo C dei due siti. I dendrogrammi di figura 10 evidenziano bene tale distinzione tra i gruppi di campioni.

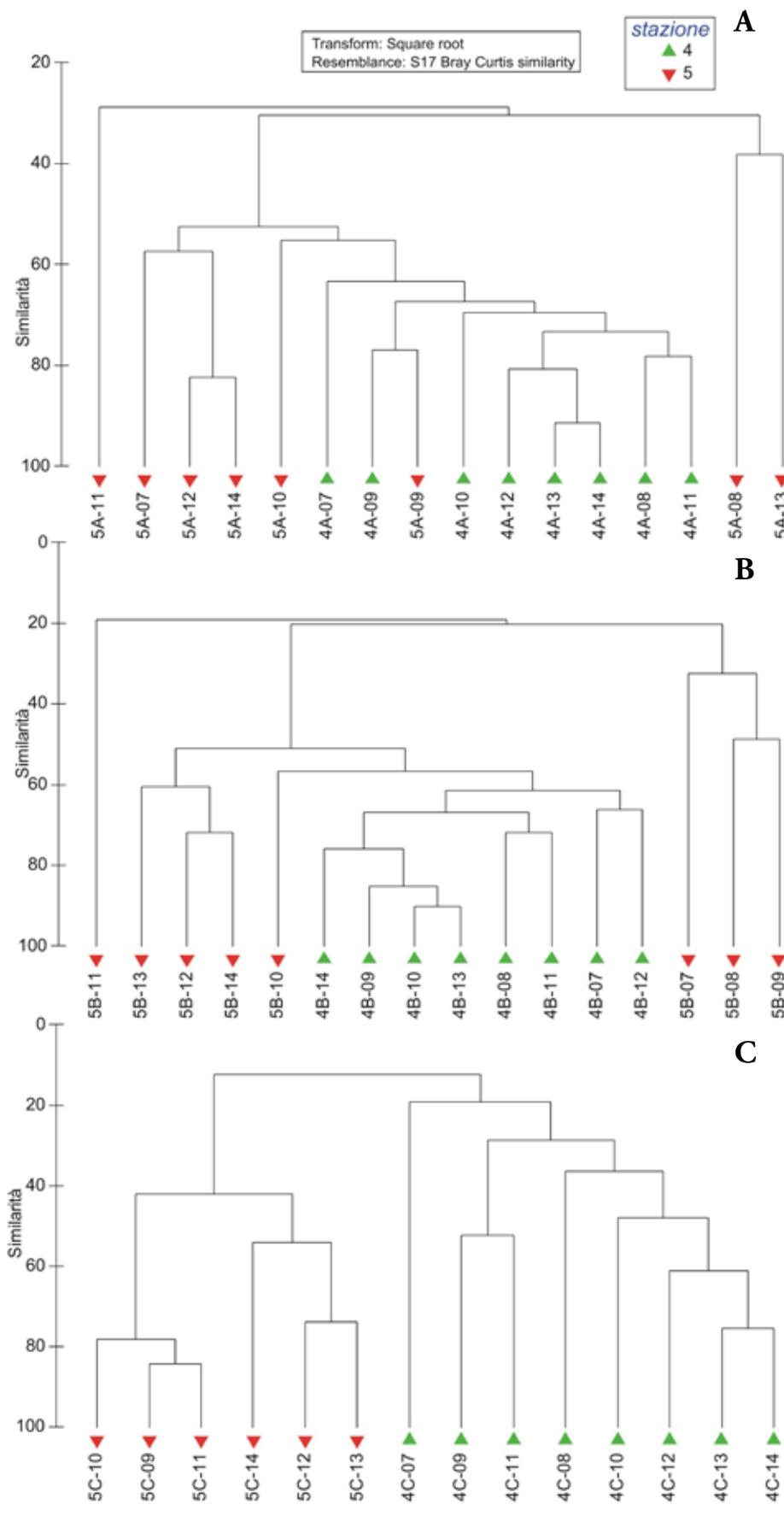
## Confronto con la fase *ante operam* (1997)

I dati relativi alla comunità zoobentonica delle pozze di sifonamento, rilevati durante il monitoraggio tra il 2007 e il 2014, sono stati confrontati con quelli relativi allo studio *ante operam* (1997), condotto prima dell'avvio dei lavori alle bocche di porto e pertanto un riferimento per valutare la presenza di variazioni significative nella composizione e struttura della comunità (tabella 1 e 2).

Nel corso degli anni, le differenze sono risultate sempre legate alla scomparsa/comparsa e alla variazione dell'abbondanza relativa di alcune specie. Gli interventi di manutenzione del fossato, in particolare, hanno modificato lo stato morfologico originale della diga e delle sponde dell'ex forte, interessando l'area in cui è posizionata la stazione 1. Rispetto alla conferma della presenza di numerosi policheti serpuloidi (*Spirorbidae* indet.) e



9. Stazioni 2 e 3: dendrogramma rappresentante i rapporti di similarità in base ai valori di abbondanza delle specie animali rinvenute nei campioni 2A e 3A (A), 2B e 3B (B) e 2C e 3C (C), durante le campagne primaverili di monitoraggio (2007-2014).



10. Stazioni 4 e 5: dendrogramma rappresentante i rapporti di similarità in base ai valori di abbondanza delle specie animali rinvenute nei campioni 4A e 5A (A), 4B e 5B (B) e 4C e 5C (C), durante le campagne primaverili di monitoraggio (giugno 2007-2014).

di molluschi bivalvi, alcuni molluschi gasteropodi prima segnalati come molto diffusi o localmente frequenti, sono ora presenti in popolamenti meno numerosi (*Osilinus articulatus* in particolare, *Hexaplex trunculus* e *Cerithium vulgatum*).

Per i crostacei, nel corso dei monitoraggi sono state spesso segnalate nuove specie, assenti nello studio *ante operam*, come i cirripedi appartenenti ai generi *Chthamalus* e *Amphibalanus*. La principale differenza tra le comunità rilevate negli studi attuali e quello di riferimento, però, resta legata alla scomparsa di *Dyspanopeus sayi*, granchio alloctono mai rinvenuto in tutte le campagne di monitoraggio finora svolte.

Comune tra lo studio guida e i recenti monitoraggi è il rinvenimento di avannotti di *Atherina boyeri* e di gobidi e blennidi, soprattutto in vicinanza della chiusa e della diga, dove trovano rifugio e nutrimento tra i massi e le macroalghe. Diversamente dall'indagine di fine anni '90 è stata, invece, segnalata la presenza (con diversi esemplari) del riccio *Paracentrotus lividus*, individuato in prossimità della chiusa, tra i talli algali. Altra specie non segnalata nello studio guida è il bivalve *Pinna nobilis*, rinvenuto con qualche esemplare nel sedimento in prossimità della chiusa; è iscritto nell'elenco delle specie protette (allegato IV dir. 92/43 CEE, 1992).

La ricostruzione della chiavica ha favorito un maggior ricambio idrico che, a sua volta, ha contribuito allo sviluppo di una comunità macroalgale più diversificata rispetto a quella *ante operam* e caratterizzata soprattutto dalla presenza delle alghe brune *Cystoseira barbata* e *Cystoseira compressa* sui massi sul fondale in prossimità della chiusa e dalla scomparsa, in particolare, dell'alga bruna *Fucus virsoides*. Sono presenti, in diversi punti del fossato e con estensioni di qualche metro quadro, piccole praterie a *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* e *Nanozostera noltii*; nell'indagine di fine anni '90 era stata individuata solo una prateria di *Zostera* sp., localizzata in prossimità della diga.

L'esame dei dati 2007-2014 presso le stazioni 2 e 3, localizzate nelle vere e proprie pozze di sifonamento, conferma come la comunità sia costituita quasi esclusivamente da molluschi gasteropodi. Molte specie di gasteropodi rinvenute (in particolare i polmonati *Ovatella firminii*, *Myosotella myosotis* e *Auriculinella bidentata*) erano già state segnalate nel lavoro di fine anni '90, assieme a quella delle altre specie identificate ed appartenenti essenzialmente ai crostacei anfipodi ed isopodi, rinvenuti tra i talli delle poche macroalghe presenti e/o sotto i massi.

Nelle stazioni 4 e 5, localizzate nelle pozze maggiori, infine, il confronto con i dati dello studio di riferimento e dei precedenti monitoraggi conferma come, anche in questo caso, uno dei gruppi più rappresentati sia quello dei molluschi gasteropodi. In particolare, *Osilinus articulatus*, la specie segnalata nel 1997 come dominante, è ancora presente in tutta l'area anche se con densità meno elevate dei popolamenti. Comparso solo negli ultimi anni, invece, è il gasteropode *Gibbula adriatica* (tipico della fascia mesolitiorale e molto diffuso in Laguna). È scomparso, invece, anche da queste pozze il granchio *Dyspanopeus sayi*, segnalato nello studio di riferimento come specie dominante e diffusa.

Come già ricordato per il fossato, anche per questa tipologia di pozze, la comunità che ha subito i maggiori cambiamenti nel corso degli anni è quella macroalgale. Nel periodo di riferimento, infatti, erano molto diffuse l'alga bruna *Fucus virsoides*, sui massi di maggiori dimensioni e sulle pareti della diga, e l'alga verde *Enteromorpha* sp.<sup>3</sup>, abbondante soprattutto sul fondale delle pozze. I monitoraggi più recenti, invece, hanno evidenziato la scomparsa di entrambe le specie e, in particolare, i popolamenti di *Enteromorpha* sp. (*Ulva* sp.) sul fondale sono stati sostituiti da ampi e uniformi tappeti di altre alghe verdi, soprattutto *Chaetomorpha* (*C. linum* e *C. ligustica*).

<sup>3</sup> Molte specie appartenenti al genere *Enteromorpha* fanno ora parte del genere *Ulva* (Hayden *et al.*, 2003).

Per le comunità animali di tutte le stazioni indagate, infine, sono state analizzate le diverse categorie trofiche (che raggruppano le diverse specie sulla base delle modalità nutrizionali e delle preferenze alimentari). Sia nel fossato sia nelle pozze di sifonamento, nel confronto con lo studio *ante operam*, emerge come sia aumentata la percentuale di detritivori e dei sospensivori; tale evento è associabile al rinvenimento, durante i monitoraggi 2007-2014, di un numero sempre crescente di specie appartenenti ai gruppi dei molluschi bivalvi e dei policheti.

## Considerazioni conclusive

Nel corso degli anni (2007-2014) non sono mai state segnalate anomalie nella struttura e composizione delle comunità riconducibili causalmente agli effetti dovuti alla presenza dei cantieri del MOSE alla bocca di porto di Malamocco.

Nella generalità, in tutte le stazioni campionate i valori, sia del numero di *taxa* che di individui, sono rientrati negli intervalli di variazione registrati negli anni (2007-2013) in primavera, la stagione eletta di campionamento. Questo dimostra una relativa stabilità, anche se va considerato come le modifiche dello stato morfologico – in primis i lavori di manutenzione e consolidamento degli anni '90 – abbiano certamente modificato il sistema di ricambio e quindi le caratteristiche del sito e delle stazioni.

Nella stazione 1, che rende massimamente conto delle variazioni nell'ambiente marino esterno alle pozze con il quale è in diretto contatto attraverso la chiusa, il numero di *taxa* e l'abbondanza hanno spesso presentato, specie negli ultimi anni, valori fra i più alti registrati. Più variabile è apparso il quadro specifico della comunità algale che, come recentemente confermato, ora sembra principalmente composta da piccole alghe rosse (appartenenti soprattutto ai generi *Ceramium* e *Polysiphonia*), più che dalle grandi alghe brune dei generi *Cystoseira* e *Sargassum*.

Per i siti di controllo 2 e 3 si segnalano solo piccole variazioni nell'ambito del percorso di monitoraggio, riconducibili, comunque, a normali cambiamenti stagionali della struttura dei popolamenti animali e macroalgali. Anche nelle stazioni 4 e 5, localizzate nelle pozze di sifonamento più profonde, le variazioni del numero di *taxa* e di individui sono legate alle normali fluttuazioni stagionali anche se sono risultate fortemente condizionate dalla presenza e dallo stato di conservazione dei talli macroalgali.

Va sottolineato come l'accumulo eccessivo di *marine litter* in corrispondenza della pozza dove è localizzata la stazione 3 abbia impedito, nel 2013 e 2014, il regolare campionamento; il sopralluogo di marzo 2015, però, ha evidenziato il drastico calo del quantitativo di rifiuti a livello delle pozze di sifonamento.

Il confronto con lo studio di riferimento di fine degli anni '90 rileva come i principali descrittori delle comunità siano ancora presenti e le maggiori variazioni nella composizione delle comunità siano imputabili alla minor diffusione di specie segnalate allora come dominanti (in particolare il gasteropode *Osilinus articulatus*) o alla loro scomparsa (come per il crostaceo decapode *Dyspanopeus sayi* o l'alga bruna *Fucus virsoides*). Le principali modificazioni rilevate nel quadro specifico sono principalmente attribuibili ai lavori di ristrutturazione del fossato che hanno favorito il ricambio idrico e gli scambi con l'ambiente esterno, contribuendo così alla diffusione e al ritrovamento (talvolta occasionale) di specie non segnalate precedentemente (ad esempio l'echinoderma *Paracentrotus lividus*).

La catena trofica risulta ancora costituita principalmente da brucatori, detritivori e limivori, sebbene sia stato registrato un aumento nella percentuale di specie sospensivore e detritivore. L'aumento dei bivalvi come mitilidi e veneridi e la comparsa di tunicati e balani, infatti, sembrerebbe indicare la presenza di un maggior quantitativo di plancton e

materia organica in sospensione, specie grazie al rinnovato ed aumentato ricambio. L'aumento generale delle specie, evidente in particolare nei policheti, crostacei anfipodi ed isopodi, oltre che ad un maggior grado di approfondimento dello studio (applicando diverse metodologie di campionamento, quantitative e non più solo qualitative), potrebbe quindi essere dovuto ad una minore selettività dell'ambiente, conseguente ad un suo minore isolamento.

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia Andrea Pierini (SELC soc. coop.) per la collaborazione nel corso delle attività.

Gruppo tassonomico	Lista faunistica	Studi B.6.72 B/2-B/10	St. rif.
Porifera	<i>Hymeniacidon perlevis</i> (Montagu, 1818)	x	
	Porifera indet.	x	
Anthozoa	Actinaria indet.	x	
	<i>Actinia equina</i> (Linnaeus, 1766)	x	x
	<i>Anemonia viridis</i> (Forsskål, 1775)	x	x
Hydrozoa	<i>Aglaophenia</i> sp.	x	
Scyphozoa	<i>Rhizostoma pulmo</i> (Macri, 1778)	x	
M. Polyplacophora	<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	x	
	Polyplacophora indet.	x	
M. Bivalvia	<i>Abra alba</i> (W. Wood, 1802)	x	
	<i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843)	x	
	<i>Abra</i> sp.	x	
	<i>Abra tenuis</i> (Montagu, 1803)	x	
	<i>Anadara transversa</i> (Say, 1822)	x	
	<i>Angulus fabula</i> (Gmelin, 1791)	x	
	<i>Angulus tenuis</i> (da Costa, 1778)	x	
	<i>Anodontia (Loripinus) fragilis</i> (Philippi, 1836)	x	
	<i>Anomia ephippium</i> Linnaeus, 1758	x	
	<i>Arca noae</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789)	x	
	<i>Chama gryphoides</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Corbula gibba</i> (Olivi, 1792)	x	
	<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793)	x	x
	<i>Ctena decussata</i> (O.G. Costa, 1829)	x	
	<i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Flexopecten glaber glaber</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Gastrana fragilis</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Hemilepton cfr. nitidum</i> (Turton, 1822)	x	
	<i>Loripes lucinalis</i> (Lamarck, 1818)	x	
	<i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Mimachlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Moerella distorta</i> (Poli, 1791)	x	
	<i>Musculista senhousia</i> (Benson in Cantor, 1842)	x	
	<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	x	
	<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	x	x
	<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	x	
	<i>Phaxas adriaticus</i> (Coen, 1933)	x	
	<i>Pinna nobilis</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795)	x	
	<i>Polititapes aureus</i> (Gmelin, 1791)	x	
	<i>Rocellaria dubia</i> (Pennant, 1777)	x	
<i>Tellimya ferruginosa</i> (Montagu, 1808)	x		
<i>Tellina cfr. nitida</i> Poli, 1791	x		
	<i>Thracia phaseolina</i> (Lamarck, 1818)	x	
	<i>Venerupis decussata</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Venerupis philippinarum</i> (A. Adams & Reeve, 1850)	x	x
	<i>Venus verrucosa</i> Linnaeus, 1758	x	
M. Gastropoda	<i>Bittium reticulatum</i> (Da Costa, 1778)	x	
	<i>Cerithium vulgatum</i> Bruguière, 1792	x	x
	<i>Cyclope neritea</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Gibbula adriatica</i> (Philippi, 1844)	x	
	<i>Gibbula albida</i> (Gmelin, 1791)	x	
	<i>Gibbula divaricata</i> (Linnaeus, 1758)	x	x
	<i>Hadriana craticulata</i> Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1882	x	
	<i>Haminoea navicula</i> (Da Costa, 1778)	x	
	<i>Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus</i> (Linnaeus, 1758)	x	x
	<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	x	
	<i>Littorina neritoides</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Nassarius corniculatus</i> (Olivi, 1792)	x	x
	<i>Nassarius incrassatus</i> (Stroem, 1768)	x	
	<i>Nassarius nitidus</i> (Jeffreys, 1867)	x	x
	<i>Nassarius pygmaeus</i> (Lamarck, 1822)	x	
	<i>Osilinus articulatus</i> Lamarck, 1822	x	x
	<i>Patella caerulea</i> (Linnaeus, 1758)	x	x
	<i>Patella</i> sp.	x	
	<i>Pusillina cfr. sarsii</i> (Lovén, 1846)	x	
	<i>Rissoa splendida</i> Eichwald, 1830	x	
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)	x		

Tabella 1. Confronto fra le principali specie riscontrate nello studio di riferimento (Mizzan, 1997; MAG. ACQUE, 1998) e negli studi B.6.72 B/2-B/10 (da febbraio 2007 a giugno 2014) nell'area del fossato dove è localizzata la stazione 1.

Gruppo tassonomico	Lista faunistica	Studi B.6.72 B/2-B/10	St. rif.
M. Cephalopoda	<i>Sepia officinalis</i> (Linnaeus, 1758)	x	
Nemertea	Nemertea indet.	x	
Oligochaeta	Oligochaeta indet.	x	
Polychaeta	Aricidae indet.	x	
	<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	x	
	Capitellidae indet.	x	
	Cirratulidae indet.	x	
	<i>Cirriformia tentaculata</i> (Montagu, 1808)	x	
	<i>Euclymene</i> sp.	x	
	<i>Galathowenia oculata</i> (Zachs, 1923)	x	
	<i>Glycera convoluta</i> Schmarda, 1861	x	
	<i>Glycera</i> sp.	x	
	<i>Hediste diversicolor</i> (O. F. Müller, 1776)		x
	<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	x	
	<i>Hydroides dianthus</i> (Verrill, 1873)	x	
	<i>Hydroides</i> sp.	x	
	<i>Janua</i> spp.	x	
	<i>Lagis koreni</i> (Malmgren, 1866)	x	
	<i>Lumbrineris latreilli</i> Audouin & Milne-Edwards, 1834	x	
	<i>Lumbrineris</i> sp.	x	
	Maldanidae indet.	x	
	<i>Marphysa sanguinea</i> (Montagu, 1815)	x	
	<i>Mysta picta</i> (Quatrefages, 1866)	x	
	<i>Neanthes caudata</i> (Delle Chiaje, 1828)	x	
	<i>Neanthes zonata</i> Malmgren, 1867	x	
	<i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818	x	
	<i>Nephtys</i> sp.	x	
	<i>Notomastus</i> sp.	x	
	Opheliidae indet.	x	
	<i>Owenia fusiformis</i> Delle Chiaje, 1841	x	
	Phyllodocidae indet.	x	
	<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1834)	x	
	Polichaeta Nereiomorpha		x
	<i>Polydora</i> sp.	x	
	<i>Sabella spallanzanii</i> Viviani, 1805	x	
	<i>Sabellaria alcocki</i> Gravier, 1906	x	
	Sabellidae indet.	x	
	<i>Scoloplos armiger</i> (Müller, 1776)	x	
	Serpulidae indet.	x	
	Spionidae indet.	x	
	Spirorbidae indet.	x	
	<i>Spirorbis</i> sp.		x
<i>Vermilopsis infundibulum</i> (Philippi, 1844)	x		
<i>Vermilopsis</i> sp.	x		
C. Amphipoda	<i>Ampelisca sarsi</i> Chevreux, 1888	x	
	<i>Ampelisca</i> sp.	x	
	<i>Amphitoe</i> sp.	x	
	<i>Apocorophium acutum</i> (Chevreux, 1908)	x	
	<i>Caprella</i> sp.	x	
	Caprellidae indet.	x	
	<i>Corophium</i> sp.	x	
	<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)	x	
	<i>Elasmopus pecteniscrus</i> (Bate, 1862)	x	
	<i>Erichthonius punctatus</i> (Bate, 1857)	x	
	<i>Gammarella fucicola</i> (Leach, 1814)	x	
	Gammaridae spp.	x	x
	<i>Gammarus</i> spp.	x	
	<i>Leucothoe</i> sp.	x	
	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	x	
	<i>Microdeutopus</i> sp.	x	
<i>Microdeutopus versiculatus</i> (Bate, 1856)	x		
<i>Monocorophium insidiosum</i> (Crawford, 1937)	x		
<i>Periculodes</i> sp.	x		
C. Cirripeda	<i>Amphibalanus amphitrite</i> (Darwin, 1854)	x	
	<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)	x	
	<i>Chthamalus</i> sp.	x	
C. Cumacea	<i>Iphinoe adriatica</i> Bacescu, 1988	x	
C. Decapoda	<i>Anapagurus</i> sp.	x	
	<i>Brachynotus sexdentatus</i> (Risso, 1827)	x	

Tabella 1 segue.

Gruppo tassonomico	Lista faunistica	Studi B.6.72 B/2-B/10	St. rif.
C. Decapoda	<i>Carcinus aestuarii</i> Nardo, 1847	x	x
	<i>Clibanarius erythropus</i> (Latreille, 1818)	x	
	<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)	x	
	<i>Dyspanopeus sayi</i> (Smith, 1869)		x
	<i>Eriphia verrucosa</i> (Forskål, 1775)	x	
	<i>Pachygrapsus marmoratus</i> (Fabricius, 1787)	x	
	<i>Palaemon</i> spp.	x	x
	<i>Processa edulis edulis</i> (Risso, 1816)	x	
	<i>Processa</i> sp.	x	
	<i>Upogebia pusilla</i> (Petagna, 1792)	x	
	<i>Xantho</i> sp.	x	
C. Isopoda	<i>Cyathura carinata</i> (Krøyer, 1847)	x	
	<i>Cymodoce truncata</i> Leach, 1814	x	
	<i>Dynamene</i> cfr. <i>edwardsi</i> (Lucas, 1849)	x	
	Flabellifera indet.	x	
	<i>Idotea</i> sp.	x	
	<i>Lekanesphaera hookeri</i> (Leach, 1814)	x	
	<i>Ligia italica</i> Fabricius, 1798	x	
	<i>Paracerceis sculpta</i> (Holmes, 1904)	x	
	Sphaeromatidae indet.	x	
C. Leptostraca	<i>Nebalia bipes</i> (Fabricius, 1780)	x	
C. Mysidacea	Mysida indet.	x	
C. Tanaidacea	<i>Tanais dulongii</i> (Audouin, 1826)	x	
Dipteri (larvae)	<i>Chironomus salinarius</i> (Kieffer, 1921)	x	
Echinodermata	<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)	x	
	<i>Asterina gibbosa</i> (Pennant, 1777)	x	x
	<i>Holothuria</i> cfr. <i>polii</i> Delle Chiaje, 1823	x	
	<i>Holothuria</i> sp.		x
	<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard, 1789)	x	
	<i>Paracentrotus lividus</i> Lamarck, 1816	x	
Phoronidea	<i>Phoronis muelleri</i> Selys-Lonchamps, 1903	x	
Sipunculida	Sipunculidae indet.	x	
Bryozoa	<i>Amathia lendigera</i> (Linnaeus, 1758)	x	
	<i>Bugula</i> sp.	x	
	<i>Tricellaria inopinata</i> D'Hondt & Occhipinti Ambrogi, 1985	x	
Tunicata	<i>Asciidiella aspersa</i> (Müller, 1776)	x	
	<i>Botryllus schlosseri</i> (Pallas, 1766)	x	
	<i>Didemnum maculosum</i> (Milne-Edwards, 1841)	x	
	<i>Styela plicata</i> (Lesueur, 1823)	x	
	<i>Styela</i> sp.	x	
Vertebrata	<i>Aphanius fasciatus</i> (Valenciennes, 1821)	x	x
	<i>Atherina boyeri</i> (Risso, 1810)	x	x
	<i>Belone belone</i> Linnaeus, 1758	x	
	Blenniidae indet.	x	
	Gobiidae indet.	x	
	<i>Gobius cobitis</i> (Pallas, 1811)	x	
	<i>Gobius niger</i> Linnaeus, 1758	x	
		<i>Gobius</i> sp.	x
	<i>Liza</i> spp.	x	
	Mugilidae Gen. sp.		x
	<i>Pomatoschistus</i> sp.	x	
	<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	x	
	Sparidae indet.	x	
	<i>Zosterisessor ophiocephalus</i> (Pallas, 1814)	x	

Tabella 1 fine.

Gruppo tassonomico	Lista faunistica	Studi B.6.72 B/2-B/10	St. rif.	
Porifera	<i>Hymeniacion perlevis</i> (Montagu, 1818)	x		
	Porifera indet.	x	x	
	<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766)	x		
Anthozoa	<i>Actinia equina</i> (Linnaeus, 1766)	x	x	
	Actinaria indet.	x		
	<i>Anemonia viridis</i> (Forsk., 1775)	x	x	
M. Polyplacophora	<i>Lepidochitona caprearum</i> (Scacchi, 1836)		x	
	<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	x		
	Polyplacophora indet.	x		
M. Bivalvia	<i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843)	x		
	<i>Angulus tenuis</i> (da Costa, 1778)	x		
	<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg, 1793)	x	x	
	<i>Lasaea rubra</i> (Montagu, 1803)		x	
	<i>Modiolus barbatus</i> (Linnaeus, 1758)	x		
	<i>Mytilaster</i> cfr. <i>minimus</i> (Poli, 1795)	x		
	<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	x	x	
	<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	x		
	<i>Striarca lactea</i> (Linné, 1758)	x	x	
	<i>Tellimya ferruginosa</i> (Montagu, 1808)	x		
	<i>Venerupis philippinarum</i> (A. Adams & Reeve, 1850)	x		
M. Gastropoda	<i>Alvania cimex</i> (Linné, 1758)	x		
	<i>Assimineia</i> cfr. <i>grayana</i> Fleming, 1828	x		
	<i>Auriculinea bidentata</i> (Montagu, 1806)	x	x	
	<i>Bittium reticulatum</i> (Da Costa, 1778)	x		
	<i>Cerithium vulgatum</i> Bruguière, 1792	x	x	
	Clausiliidae indet.	x		
	<i>Cyclope neritea</i> (Linnaeus, 1758)	x		
	<i>Gibbula adriatica</i> (Philippi, 1844)	x		
	<i>Gibbula divaricata</i> (Linnaeus, 1758)		x	
	<i>Gibbula varia</i> (Linné, 1758)	x		
	<i>Haminoea navicula</i> (Da Costa, 1778)	x		
	<i>Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus</i> (Linnaeus, 1758)	x	x	
	<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	x		
	<i>Littorina neritoides</i> (Linnaeus, 1758)		x	
	<i>Littorina saxatilis</i> (Olivi, 1792)	x	x	
	<i>Muricopsis (Muricopsis) cristata</i> (Brocchi, 1814)	x	x	
	<i>Myosotella myosotis</i> (Draparnaud, 1801)	x	x	
	<i>Nassarius corniculatus</i> (Olivi, 1792)	x	x	
	<i>Nassarius nitidus</i> (Jeffreys, 1867)	x	x	
	<i>Osilinus articulatus</i> (Lamarck, 1822)	x	x	
	<i>Ovatella firminii</i> (Payraudeau, 1826)	x	x	
		<i>Paludinella</i> cfr. <i>littorea</i> (Forbes & Hanley, 1866)	x	x
		<i>Patella caerulea</i> (Linnaeus, 1758)		x
<i>Patella</i> cfr. <i>rustica</i> Bruguière, 1792			x	
<i>Patella</i> sp.		x		
<i>Setia turriculata</i> (Monterosato, 1884)		x		
<i>Truncatella subcylindrica</i> (Linnaeus, 1767)		x	x	
Oligochaeta	Oligochaeta indet.	x		
Polychaeta	Aricidae indet.	x		
	<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	x		
	<i>Janua</i> spp.	x		
	<i>Neanthes caudata</i> (Delle Chiaje, 1828)	x		
	<i>Perinereis cultrifera</i> (Grube, 1840)	x		
	<i>Pontogenia chrysocoma</i> (Baird, 1865)	x		
	Serpulidae indet.	x		
	Spirorbidae indet.	x		
	<i>Spirorbis</i> sp.		x	
	Syllidae indet.	x		
	<i>Vermiliopsis infundibulum</i> (Philippi, 1844)	x		
<i>Vermiliopsis</i> sp.	x			

Tabella 2. Confronto fra le principali specie riscontrate nello studio di riferimento (Mizzan, 1997; Magistrato alle Acque, 1998) e negli studi B.6.72 B/2-B/10 (da febbraio 2007 a giugno 2014) nell'area dove sono localizzate le stazioni 2, 3, 4 e 5.

Gruppo tassonomico	Lista faunistica	Studi B.6.72 B/2-B/10	St. rif.
C. Amphipoda	<i>Ampelisca</i> sp.	x	
	<i>Apocorophium acutum</i> (Chevreux, 1908)	x	
	<i>Corophium</i> sp.	x	
	<i>Gammarella fucicola</i> (Leach, 1814)	x	
	Gammaridae spp.		x
	<i>Gammarus</i> spp.	x	
	<i>Melita hergensis</i> Reid, 1939	x	
	<i>Melita palmata</i> (Montagu, 1804)	x	
	<i>Melita</i> sp.	x	
	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	x	
	<i>Microdeutopus</i> spp.	x	
	<i>Microdeutopus versiculatus</i> (Bate, 1856)	x	
	Talitridae indet.	x	
C. Cirripeda	<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)	x	
C. Cumacea	Cumacea indet.	x	
C. Decapoda	<i>Carcinus aestuarii</i> Nardo, 1847	x	x
	<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)	x	
	<i>Dyspanopeus sayi</i> (Smith, 1869)		x
	<i>Pachygrapsus marmoratus</i> (Fabricius, 1787)	x	
	<i>Palaemon</i> spp.	x	x
C. Isopoda	<i>Cyathura carinata</i> (Krøyer, 1847)	x	
	<i>Dynamene edwardsi</i> (Lucas, 1849)	x	x
	<i>Dynamene</i> sp.	x	
	<i>Idotea metallica</i> Bosc, 1802	x	
	<i>Jaera hopeana</i> Costa, 1853	x	
	<i>Lekanesphaera hookeri</i> (Leach, 1814)	x	
	<i>Ligia italica</i> Fabricius, 1798	x	
	Oniscidae indet.	x	
<i>Paracerceis sculpta</i> (Holmes, 1904)	x		
<i>Sphaeroma serratum</i> Fabricius, 1787	x		
C. Leptostraca	<i>Nebalia</i> sp.	x	
C. Mysidacea	Mysida indet.	x	
C. Tanaidacea	<i>Leptochelia</i> sp.	x	
	<i>Tanais dulongii</i> (Audouin, 1826)	x	
Diptera (larvae)	<i>Chironomus salinarius</i> (Kieffer, 1921)	x	
Echinodermata	<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)	x	
	<i>Asterina gibbosa</i> (Pendant, 1777)	x	x
	<i>Holothuria</i> cfr. <i>polii</i> Delle Chiaje, 1823	x	
	<i>Holothuria</i> sp.		x
Tunicata	Asciacea indet.	x	
	<i>Asciella aspersa</i> (Müller, 1776)	x	
	<i>Ciona intestinalis</i> (Linnaeus, 1767)	x	
	<i>Clavelina lepadiformis</i> (Müller, 1776)	x	
Vertebrata	<i>Aphanius fasciatus</i> (Valenciennes, 1821)	x	
	<i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1761)		x
	Blenniidae indet.	x	
	Gobiidae indet.	x	
	<i>Gobius cobitis</i> Pallas, 1814	x	
	<i>Gobius</i> sp.		x
	<i>Liza</i> spp.	x	
	Mugilidae Gen. sp.		x
	<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	x	

Tabella 2 fine.

## Bibliografia

- AA.VV. (1980) Ripristino, conservazione ed uso dell'ecosistema veneziano. Tipografia Commerciale, Venezia. 199 pp.
- Bon M., Mainardi D., Mizzan L., Torricelli P. (1988) La biodiversità nella laguna di Venezia alla base di un progetto di sostenibilità. In *Venezia sostenibile: suggestioni dal futuro*. A cura di Ignazio Musu. Il Mulino Ed., 47-100.
- Cesari P. (1973) La specie mediterranea d'acqua salmastra della fam. Ellobiidae: sistematica mediterranea ed ecologia lagunare veneta. In *Conchiglie*, Milano, 9 (9-10): 181-210.
- Cesari P. (1976) Caratteristiche specifiche e polimorfismo fisiologico infraspecifico di *Ovatella* (*Myosotella*) *myosotis* (*Draparnaud*) (*Mollusca Pulmonata*). *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat. Venezia*, 1: 3-19.
- Cesari P. (1988) La malacofauna della Laguna Veneta. 1. Gasteropodi terrestri, dulciacquicoli e salmastri dei litorali di Pellestrina, Lido e Cavallino (*Mollusca Prosobranchia e Pulmonata*). *Boll. Mus. civ. St. nat. Venezia*, 38: 7-42.
- Cesari P. (1994) *I molluschi della Laguna di Venezia*. Arsenale editrice, 189 pp.
- Cesari P., Pranovi F. (1989) La sistematica del gen. *Monodonta* Lamck, 1799 (S. L. ). II. a) Biometria e caratteristiche conchigliari degli *Osilinus* mediterranei; b) Distribuzione e struttura dei popolamenti della laguna veneta (*Gastropoda, Trochidae*). *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat. Venezia*, 14 (2): 38-64.
- Consorzio Venezia Nuova (1998) Progetto esecutivo per la difesa dell'insediamento urbano degli Alberoni (zona sud) dalle alte maree. Quaderni trimestrali del Consorzio Venezia Nuova, Anno VI (1): 70-74.
- Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, allegato IV (Specie animali e vegetali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa).
- Hayden H.S., Blomster J., Maggs C.A., Silva P.C., Stanhope M.J., Waaland J.R. (2003) *Linnaeus was right all along: Ulva and Enteromorpha are not distinct genera*. *Eur. J. Phycol.*, 38: 277-294.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia) - TECHNITAL (1998) Nuovi interventi per la salvaguardia di Venezia. Interventi di difesa dell'abitato di alberoni lato sud e di adeguamento della parte iniziale del molo di Malamocco nord. Relazione sulle caratteristiche biologico ambientali delle pozze di scogliera e del vallo circostante le stalle asburgiche. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia) - SELC (2007) Studio B.6.85. Valorizzazione ambientale ed innesco di processi insediativi della lunata di Malamocco. Controlli e valutazioni dei processi insediativi delle comunità di substrato duro. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia) - SELC (2008) Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare (MELa4) - (2007-2009). Monitoraggio di mantenimento delle conoscenze sullo stato delle acque e del macrobenthos. Rapporto Macrofitobenthos di fine attività di campo e laboratorio (campagna di rilievo 2007). Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Ve-

neto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia) – CORILA (anni 2007-2013) Studi B.6.72 B/2-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Invertebrati acquatici alle pozze di sifonamento. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Mizzan L. (1997) Caratteristiche ecologiche e popolazionali di due biotopi particolari (pozze di sifonamento) a Lido di Venezia. Boll. Mus. civ. St. Nat. Venezia, 48: 183-196, ill.

Munari L., Guidastri R. (1974) I Trochidae della Laguna Veneta (sistematica, ecologia e distribuzione). Boll. Mus. civ. St. Nat. Venezia, 25: 153-187.

Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia) - CORILA (anni 2014-2015) Studi B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Invertebrati acquatici alle pozze di sifonamento. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Zanetti M. (1985) I boschi termofili del litorale nordadriatico e gli alberi della Laguna Nord di Venezia. In: Boschi e alberi della pianura veneta orientale. Nuova Dimensione Ed., 375 pp.

## Summary

Siphonal pools are peculiar biotopes at the foot of the Alberoni breakwater (port outlet of Malamocco). These pools are fed by siphonal seawater floods and present rocky substrates mixed to sandy silt, essentially in supralittoral and intertidal zones, in *mode calme*. However, water characteristics remain typically marine. They show a series of peculiar microenvironments and are colonized by some highly specialized populations characterized by an extremely simplified trophic system.

The area has been involved in reinforcement works of the breakwater, in the frame of the mobile barriers at the lagoon inlets (MOSE). For these reasons, they have been protected and monitored and seasonal field surveys of aquatic invertebrates, seagrasses and macroalgae communities have been carried out at 5 sampling stations: site 1 is located in the moat surrounding the fort of Alberoni (marine environment reference station), site 2, 3, 4 and 5 are located in the siphonal pools.

During the years of monitoring (2007-2014), no irregular values of parameters concerning the structure and composition of communities were found to be related to the effects of the construction works of mobile barriers at the lagoon inlets. All values of the parameters (number of taxa and individuals) fell within the reference ranges, showing an ecological stability.

The parameters (number of taxa and individuals) of the benthic communities sampled at the sites 2 and 3 (located in the siphoning pools) showed small variations, due, however, to normal seasonal fluctuations in the structure of animal and macroalgal populations. Even for the communities sampled at the stations 4 and 5, located in the deeper siphoning pools, the variations in the number of taxa and individuals were related to the normal seasonal fluctuations but they were strongly affected by the presence and state of preservation of the macroalgal thalli (the filamentous green algae of the genus *Chaetomorpha* in particular).

The comparison with the reference study carried out in the late '90s points out that the most important community descriptors are still present and the most evident changes in the composition of communities are due to the reduced spread of some species (the Gastropod *Osilinus articulatus* in particular) or their disappearance (the Decapod Crustacean *Dyspanopeus sayi* or the brown alga *Fucus virsoides*). The main changes recorded are primarily related to the restoration works of moat that has favored the water exchange with the external marine environment, contributing to the spread and discovery of (occasional) species not previously sampled (e.g. the echinoderm *Paracentrotus lividus*).

The trophic chain is still primarily based on grazers, detritivores and limivores, although it has been recorded an increase in the percentage of suspension feeders and scavengers. The increase of the number of Bivalves (mussels and clams) and the discovery of Tunicates and barnacles seem to indicate the presence of a large amount of plankton and suspended particulate organic matter, especially due to the increased water exchanges. The general increase in species number (e.g. polychaetes, crustaceans amphipods and isopods) could be due to a lower selectivity of the environment, consequent to a less confined environment, as well as to a greater degree of thoroughness in the study.



# Le falde idriche in prossimità dei cantieri MOSE

## *Shallow aquifers close to the MOSE building sites*

Alessandro Casasso, Rajandrea Sethi, Antonio Di Molfetta

### Introduzione

Al fine di contenere i costi e i rischi legati a un trasporto su lunghe distanze, i cassoni di alloggiamento delle barriere mobili del sistema MOSE sono stati realizzati *in situ*. Questa scelta progettuale ha reso necessaria l'individuazione di tre aree di cantiere, poste nelle vicinanze delle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

L'area di cantiere alla bocca di Malamocco, situata in un terrapieno realizzato ad hoc, è stata utilizzata per la realizzazione dei cassoni di alloggiamento che sono stati successivamente installati alla bocca di Malamocco e nella parte sud della bocca di Lido (San Nicolò). Per le altre due schiere di cassoni, da installare alla bocca di Chioggia e Lido, è stato necessario utilizzare spazi in mare.

In ciascuno dei due porti rifugio di Punta Sabbioni-Treporti (Lido) e Ca' Roman (Chioggia), uno dei due bacini è stato trasformato in una *tura* di fabbricazione (figura 1), isolata idraulicamente dal mare e prosciugata al suo interno con un sistema di pompaggio in continuo. L'isolamento idraulico della *tura* è composto da palancole metalliche su tutto il perimetro del bacino drenato e da un diaframma plastico sul lato posto lungo la linea di costa, che è stato installato per contenere l'impatto del pompaggio di cantiere sulla terraferma. Il drenaggio della *tura* è stato effettuato inizialmente mediante idrovore (fase di aggotamento) e, in seguito, con un sistema di pozzi perimetrali di *dewatering* che hanno mantenuto il livello di falda al di sotto di una soglia di sicurezza, garantendo l'agibilità della superficie di cantiere posta al fondo del bacino durante le attività di costruzione dei cassoni.

La soluzione tecnica adottata ha evitato l'utilizzo di vaste aree sulla terraferma, che avrebbe determinato pesanti impatti ambientali ed economici. L'attività di pompaggio di *dewatering* comporta però il rischio di un impatto negativo per le falde idriche sulla terraferma, in termini quantitativi (abbassamento dei livelli di falda superficiale) e qualitativi (incremento della salinità dell'acqua) (Bear, 1999; Powers *et al.*, 2007).

Per questo motivo, nei siti di Punta Sabbioni e Ca' Roman è stato prescritto il monitoraggio dei livelli di falda sulla terraferma su un arco temporale che, per ciascuno dei due siti, comprende tre periodi: prima di tutte le lavorazioni con potenziale impatto sul sistema acquifero (Fase A o *ante operam*), durante l'esecuzione di lavorazioni potenzialmente impattanti (Fase B) e nel periodo successivo a tali attività (Fase *post operam*). A Punta Sabbioni il monitoraggio è iniziato a ottobre 2005 e si è concluso ad aprile 2013, mentre a Ca' Roman è iniziato a febbraio 2007 e si è concluso a novembre 2014. Di seguito si riporta la sintesi dei risultati del monitoraggio condotto negli anni suindicati.

## Metodologia

Sulla base del progetto dell'opera e delle informazioni stratigrafiche disponibili, è stato evidenziato che i corpi idrici sotterranei potenzialmente impattati dai cantieri sono l'acquifero non confinato, definito "superficiale", e il primo acquifero confinato, definito "profondo" (MAG.ACQUE-CORILA, 2005b). Gli altri acquiferi confinati presenti a profondità maggiori, alcuni dei quali sfruttati anche per uso potabile, sono separati idraulicamente rispetto alle opere in realizzazione da strati impermeabili di notevole spessore, tale da poter escludere la possibilità di impatti legati alle attività di cantiere (CNR, 1999; Da Lio *et al.*, 2013).

Il monitoraggio dei livelli di falda nei siti di Punta Sabbioni e Ca' Roman è stato condotto su due reti di piezometri installate appositamente nelle aree prospicienti i cantieri.

Nel sito di Punta Sabbioni sono state installate, nel luglio 2005, 11 postazioni doppie di monitoraggio su un'area di 70 ettari a ridosso del cantiere (MAG.ACQUE-CORILA, 2005b) (figura 2, a sinistra). Ciascuna postazione è composta da due piezometri per la misura dei livelli di falda superficiale (PS01÷11, fino a 15 m di profondità) e profonda (PP01÷11, circa 20÷25 m di profondità). I due acquiferi sono separati da un acquicludo limoso-argilloso di spessore pari a circa 5 m. Dalle informazioni stratigrafiche ottenute con i carotaggi eseguiti per l'installazione dei piezometri profondi è stato possibile ricostruire la configurazione tridimensionale del sottosuolo in corrispondenza del sito di Punta Sabbioni (figura 3). Nel dicembre 2008 la rete è stata integrata con altre tre postazioni (PP12÷14) per la misura dei livelli di falda profonda, che hanno permesso di ottenere un maggior dettaglio nella misurazione degli abbassamenti di livello indotti dal sistema di pompaggio nella zona più vicina all'area di cantiere (MAG.ACQUE-CORILA, 2009).

Nel sito di Ca' Roman è stata installata, nel febbraio 2007, una postazione doppia di monitoraggio dei livelli di falda (MAG.ACQUE-CORILA, 2007), con un piezometro per la misura dei livelli di falda superficiale (PSC01, fino a 15 m di profondità) e uno per la falda profonda (PPC01, tra 20 e 37 m di profondità). La postazione (figura 2, a



1. Cassoni di alloggiamento delle barriere in costruzione nella *tura* di Punta Sabbioni; è evidente la differenza di livello tra mare e tura. Fonte: Consorzio Venezia Nuova (2010).



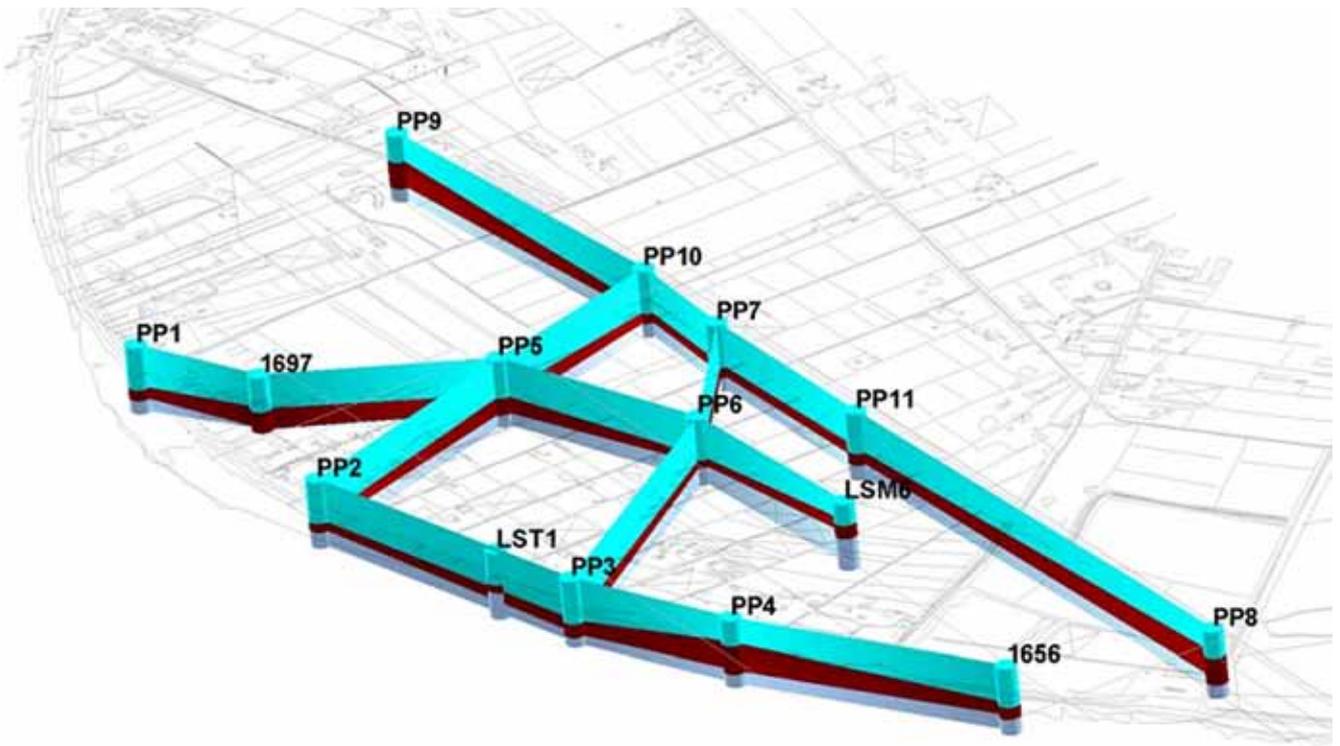
2. Foto aeree del cantiere MOSE alla bocca di Lido (a sinistra) e di Chioggia (a destra), con indicazione delle postazioni di monitoraggio piezometrico (quadrati rossi); scala è 1:30000. Immagine aerea da Google Earth.

destra) è situata a ridosso della recinzione del cantiere. Non essendo presenti insediamenti abitativi nell'area attorno al cantiere, non sono state installate altre postazioni di monitoraggio piezometrico.

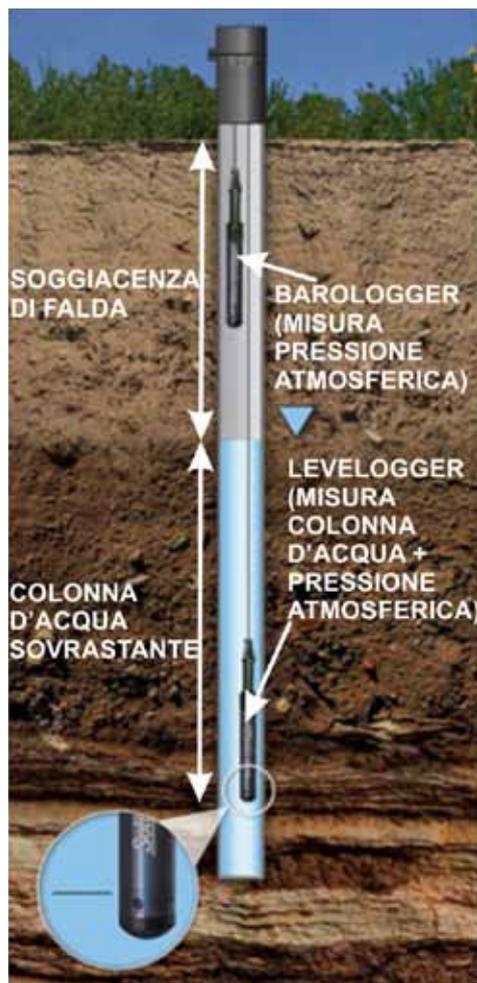
I 27 piezometri che compongono le due reti di monitoraggio sono stati equipaggiati con trasduttori di pressione per la registrazione in continuo dei livelli di falda (figura 4). In entrambi i siti sono stati inoltre installati trasduttori di misura della pressione dell'aria, per tenere conto degli effetti barometrici sui carichi idraulici misurati in falda (compensazione barometrica) (MAG.ACQUE-CORILA, 2005b). In figura 4 è rappresentato lo schema di installazione dei trasduttori all'interno di un piezometro.

I livelli registrati sono stati confrontati con gli andamenti delle precipitazioni piovose delle centraline di ARPA Veneto "Cavallino Treporti" (posta a 5.5 km a Nord-Est rispetto al sito di Punta Sabbioni) e "Chioggia-loc. S. Anna" (posta a 12 km a Sud rispetto al sito di Ca' Roman) e dei livelli di marea dei mareografi dell'ICPSM "Diga Sud Lido" (posto a circa 2 km a Sud del sito di Punta Sabbioni) e "Diga Sud Chioggia" (posto circa 1 km a Sud rispetto al sito di Ca' Roman). I dati acquisiti (ARPA Veneto, 2014; ICPSM, 2014) sono serviti a quantificare l'influenza di queste forzanti naturali che agiscono sui due acquiferi e quindi quantificare l'impatto delle attività di cantiere.

Durante il monitoraggio sono state previste due soglie di livello di falda, di basso e di alto livello, per l'individuazione dei valori anomali. La soglia di basso livello è pari a 1 m al di sotto del livello del mare misurato con cadenza oraria (Soglia di Basso Livello Istantaneo) o mediato su 24 ore (Soglia di Basso Livello Medio), confrontata con i valori corrispondenti di carico idraulico nei piezometri superficiali e profondi. La scelta di questa soglia è dovuta alla forte influenza della forzante mareale, soprattutto per la porzione di acquifero prospiciente la linea di costa (Casasso *et al.*, 2014; Casasso *et al.*, 2011; MAG.ACQUE-CORILA, 2005a). Un valore del carico idraulico inferiore alla Soglia di Basso Livello identifica quindi un potenziale impatto antropico oppure, come riportato in seguito, un effetto della siccità estiva. La Soglia di Alto Livello è invece pari alla quota di piano campagna, sia per i livelli misurati con cadenza oraria (Soglia di Alto Livello Istantaneo) che per quelli mediati su 24 ore (Soglia di Alto Livello Medio). Si tratta di una soglia che identifica valori anomali di carico idraulico, che non devono essere tenuti in conto nell'analisi e che sono attribuibili a temporanei allagamenti in seguito ad eventi piovosi intensi.



3. Stratigrafia tridimensionale dell'area monitorata a Punta Sabbioni, con l'indicazione degli strati A (acquifero superficiale, in azzurro), B (acquicludo, in marrone) e C (acquifero profondo, in grigio). Fonte: Sethi *et al.* (2005b).



4. Schema di funzionamento dei trasduttori di misura del livello di falda (Levelogger) e della pressione atmosferica (Barologger).

A seguito dei superamenti delle Soglie di basso livello, è stato inviato il Rapporto di Anomalia ed è stata attivata la procedura con la Direzione Lavori dei cantieri, che periodicamente ha trasmesso i dati sulle portate totali emunte dal sistema di *dewatering*. Tali dati sono stati analizzati per motivare le variazioni di carico idraulico nella falda profonda e per valutare azioni di mitigazione dell'impatto, come la riduzione delle portate emunte nei pozzi più vicini alla terraferma.

Con cadenza mensile, sono stati acquisiti i profili della conducibilità elettrica specifica dell'acqua, un parametro strettamente legato alla sua salinità. In questo modo è stato possibile comprendere le dinamiche stagionali dell'intrusione salina, di cui risente in modo particolare la falda superficiale.

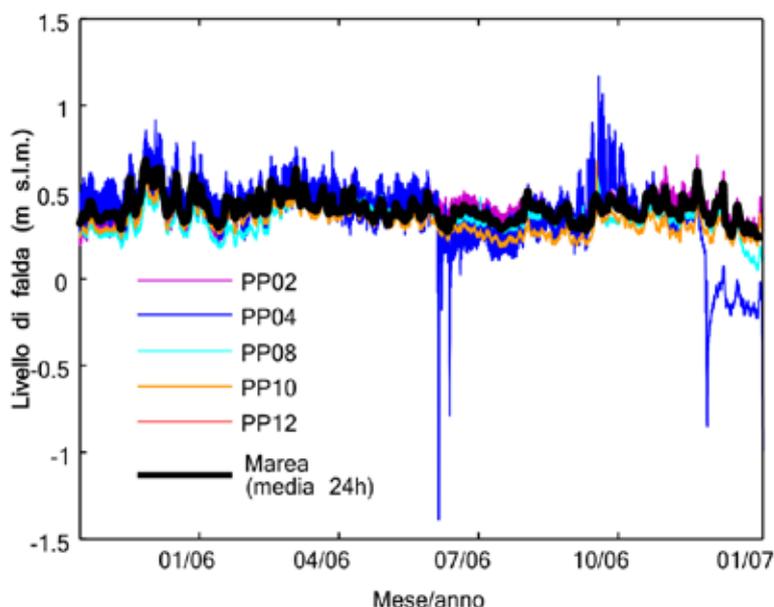
## Risultati

### Cantiere di Punta Sabbioni (Lido)

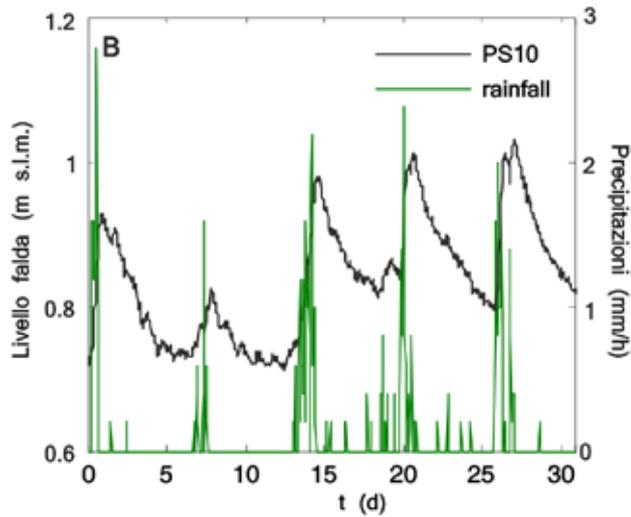
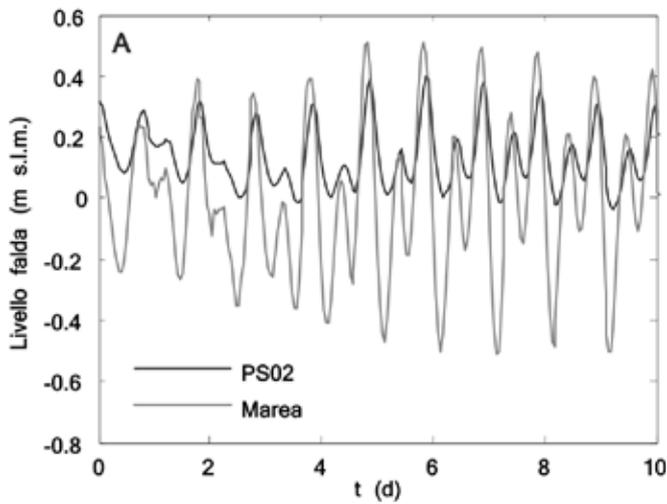
Nella fase *ante operam* (periodo ottobre 2005-dicembre 2006) la distribuzione spaziale dei carichi idraulici osservata nell'acquifero profondo è pressoché uniforme e presenta una dinamica correlata all'andamento medio giornaliero dei livelli di marea (figura 5). Durante questo periodo il sistema di *dewatering* non è stato attivo, ad eccezione di due operazioni di spurgo avvenute a giugno e ottobre 2006 (MAG.ACQUE-CORILA, 2006), per le quali è stato osservato un repentino abbassamento del carico idraulico nel piezometro PP04, posto a ridosso dell'area di cantiere.

Nell'acquifero superficiale, durante la fase *ante operam* sono stati osservati due comportamenti distinti (figura 6):

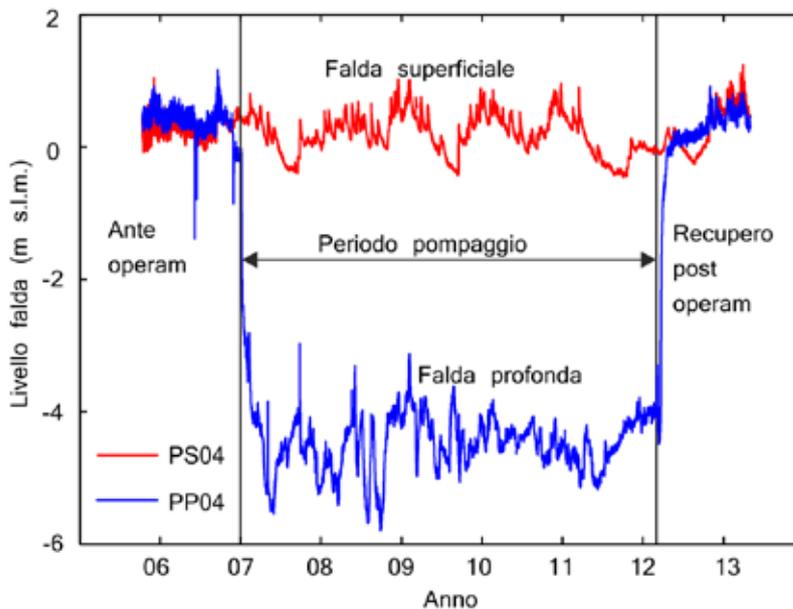
- lungo la linea di costa, i livelli di falda seguono le oscillazioni del livello del mare, con un'influenza trascurabile delle precipitazioni (figura 6A);
- nella parte interna dell'area monitorata, i livelli di falda presentano repentine risalite in seguito agli eventi piovosi e una graduale discesa dovuta all'evapotraspirazione e al flusso verso il mare (figura 6B). L'influenza delle oscillazioni mareali è invece trascurabile.



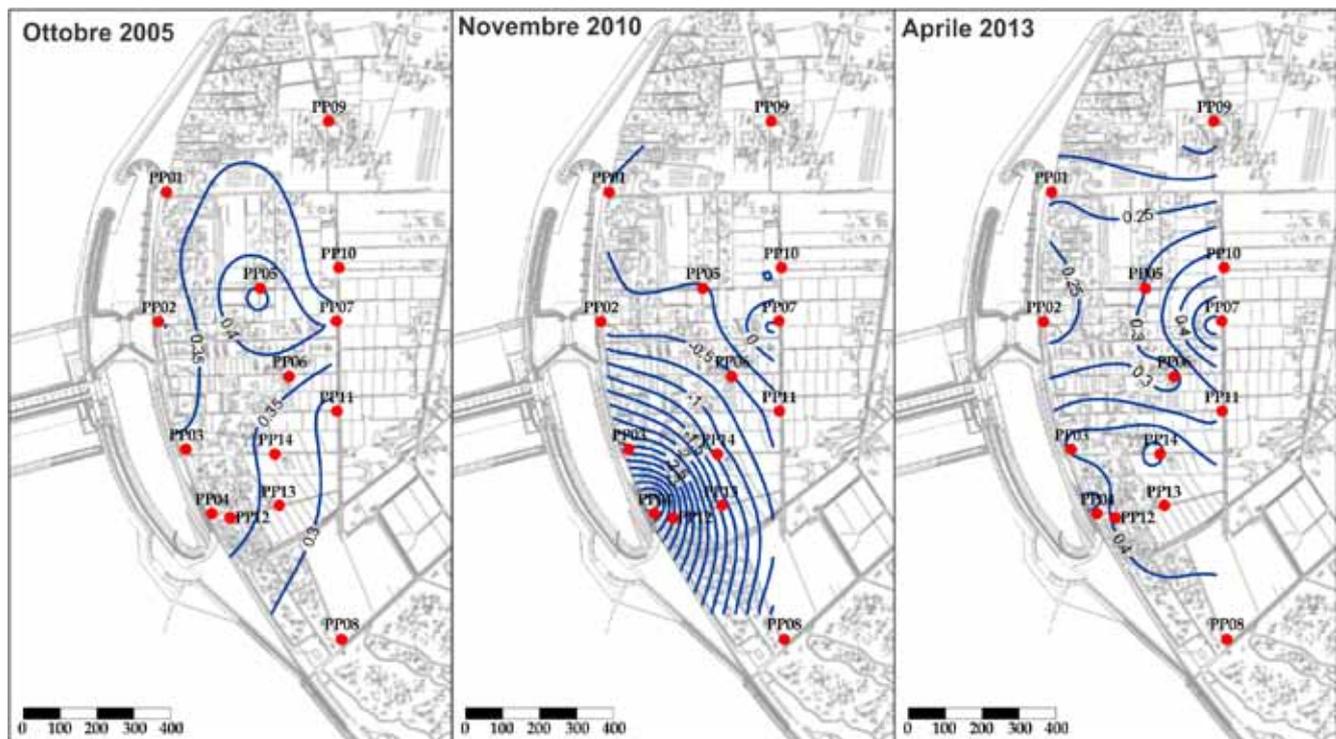
5. Andamento dei carichi idraulici nella fase *ante operam* in alcuni piezometri profondi a Punta Sabbioni.



6. Risposta dell'acquifero superficiale alle forzanti naturali: oscillazioni in fase con la marea (A); innalzamenti dovuti all'infiltrazione delle precipitazioni piovose, seguiti da abbassamenti dovuti all'evapotraspirazione (B). Periodo: gennaio 2009. Rielaborato da: Casasso *et al.* (2014).



7. Andamento dei livelli di falda in una postazione di monitoraggio a ridosso del cantiere di Punta Sabbioni. In rosso è indicato l'andamento dei livelli di falda superficiale (PS04), in blu quelli della falda profonda (PP04).

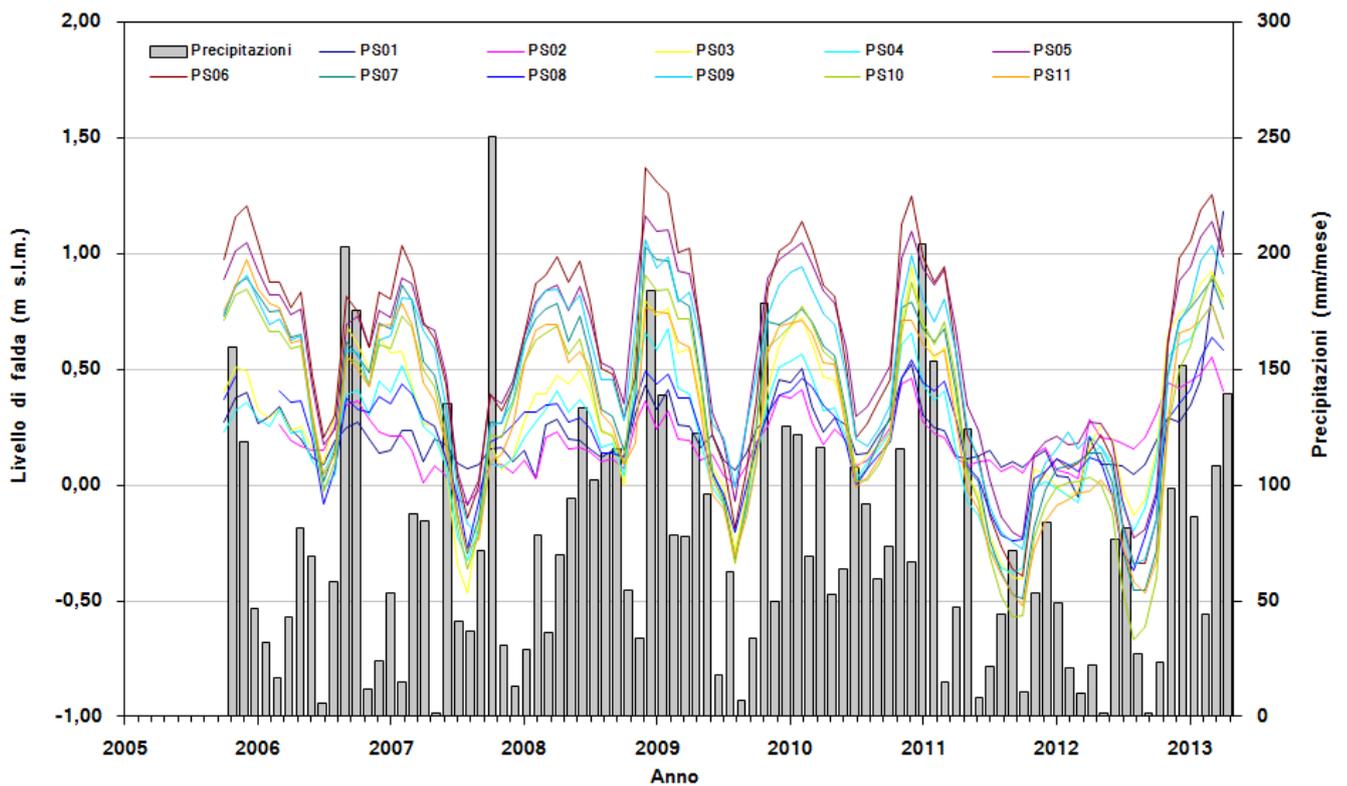


8. Distribuzione spaziale dei livelli di falda profonda durante la fase *ante operam* (Ottobre 2005), durante i lavori (Novembre 2010) e nella fase *post operam* (Aprile 2013). Adattata da Casasso *et al.* (2014).

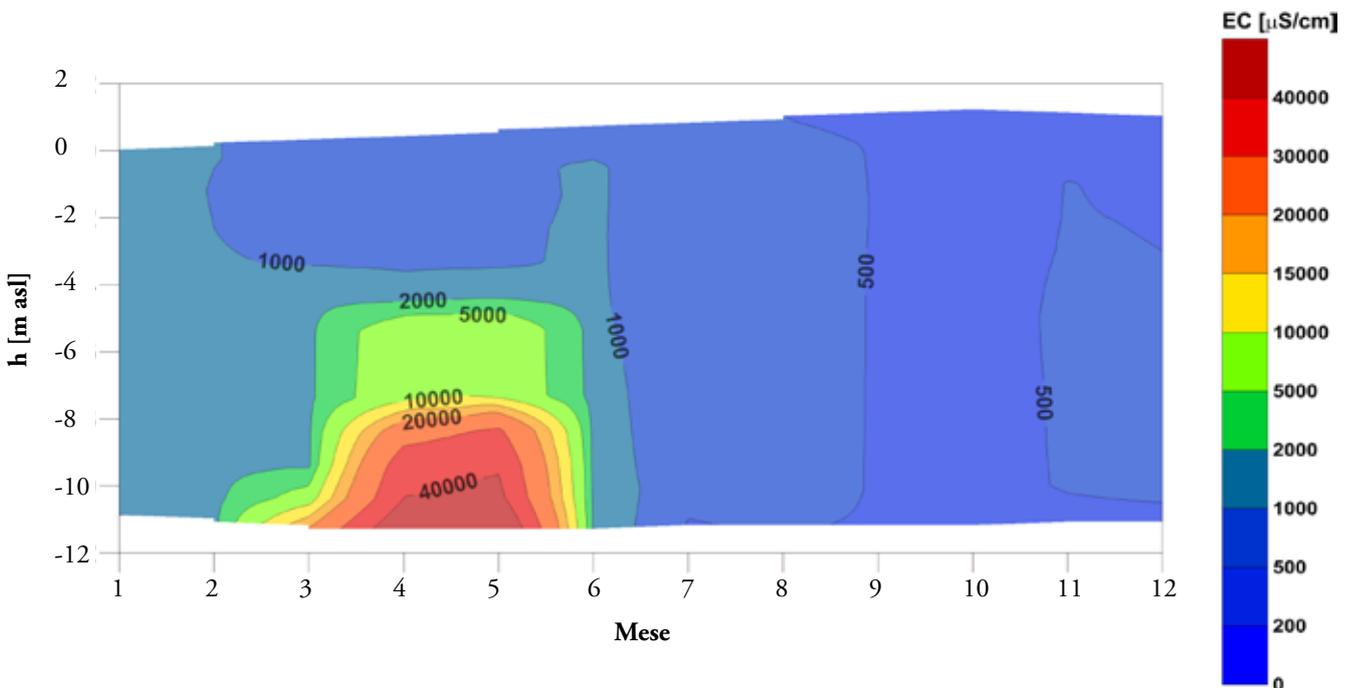
Il pompaggio di *dewatering* è stato effettuato in modo continuo tra gennaio 2007 e marzo 2012. Nei primi 7 mesi (gennaio-luglio 2007) è stato effettuato lo svuotamento della tura, anche attraverso l'utilizzo di idrovore. Dopo questa fase, la portata media prelevata è stata imposta a 650 m<sup>3</sup>/d, necessari per mantenere il carico idraulico interno al di sotto di una soglia di sicurezza (-11 m s.l.m.) rispetto al fondo della tura, posto a -8.70 m s.l.m. (MAG.ACQUE-CORILA, 2013). L'emungimento operato per garantire l'agibilità della tura ha determinato un rapido abbassamento del livello della falda profonda di 4÷6 m a ridosso del cantiere (piezometro PP04, si veda figura 7), più ridotto allontanandosi dal sito (figura 8). Nel mese di giugno 2009, la soglia massimo di carico idraulico all'interno della *tura* è stata innalzata da -11 m s.l.m. a -10 m s.l.m. (MAG.ACQUE-CORILA, 2013). Con successivi aggiustamenti del sistema di pompaggio è stato possibile ridurre la portata totale a 550 m<sup>3</sup>/d (ottobre 2009) e, in seguito, a 450 m<sup>3</sup>/d (settembre 2011). Durante i lavori è stata inoltre operata una progressiva stabilizzazione delle portate emunte, con conseguente riduzione delle variazioni di livello e degli abbassamenti massimi in falda profonda.

Nell'acquifero superficiale non sono invece stati osservati abbassamenti attribuibili al pompaggio di cantiere. I livelli di falda superficiale presentano infatti una forte correlazione con le precipitazioni mensili (figura 9) e, pertanto, i momentanei abbassamenti misurati in alcune estati (in particolare 2007, 2009, 2011 e 2012) sono dovuti alla siccità. L'unico impatto delle attività di cantiere sull'acquifero superficiale è l'isolamento dal mare di una porzione alle spalle del diaframma plastico della *tura*, come dimostrato dalla scomparsa delle oscillazioni mareali nei due piezometri più prossimi al cantiere (PS03 e PS04).

In fase *post operam*, al termine dell'attività di pompaggio è stata misurata una rapida risalita iniziale del livello della falda profonda. Il recupero dei livelli di falda si è protratto per alcuni mesi fino al raggiungimento dei valori piezometrici misurati in fase *ante operam*, confermando la reversibilità dell'impatto di questa attività di cantiere. Nell'acquifero superficiale non sono state osservate variazioni di carico idraulico durante

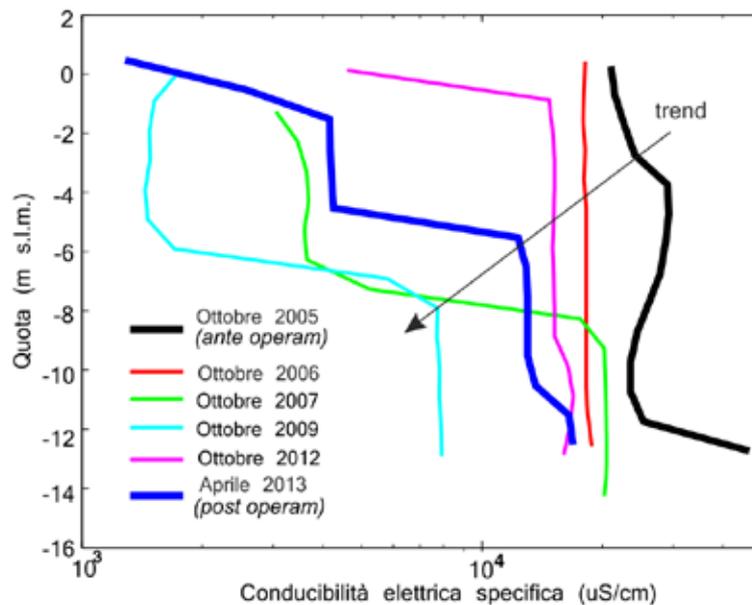


9. Confronto tra precipitazioni piovose e livelli medi mensili della falda superficiale. Adattata da Casasso *et al.* (2014).



10. Esempio di andamento della conducibilità elettrica dell'acqua di falda nel piezometro PS06, nell'anno di monitoraggio maggio 2012-aprile 2013. Da Casasso *et al.* (2014), modificato.

11. Variazione dei profili di conducibilità elettrica nel piezometro superficiale PS04, che evidenziano un trend di riduzione di questo parametro.



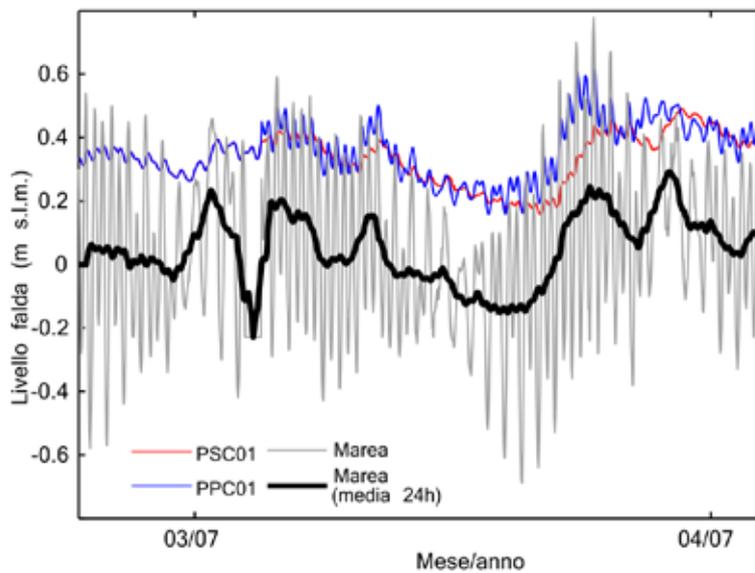
la risalita nell’acquifero profondo mentre, come evidenziato anche in figura 9, i livelli di falda superficiale restano strettamente correlati alle precipitazioni piovose. Per quanto riguarda la caratterizzazione della salinità nei due acquiferi, nell’acquifero superficiale si osserva un incremento durante l’estate: la forte evapotraspirazione e la conseguente riduzione del livello di falda, infatti, causano uno spostamento dell’acqua salata dalla linea di costa verso l’entroterra. Tale fenomeno, detto “intrusione salina”, è legato a una modifica degli equilibri di galleggiamento della lente di acqua dolce posta al di sopra dell’acqua salata proveniente dal mare (Bear, 1999). Le intense precipitazioni che generalmente si verificano al termine dell’estate ristabiliscono la situazione iniziale, come è possibile osservare nel grafico in figura 10. Il confronto tra profili acquisiti nello stesso mese (figura 11) permette di individuare una progressiva riduzione della salinità dell’acqua in alcuni piezometri posti a ridosso del diaframma impermeabile della *tura* (piezometri PS03, PS04). L’andamento osservato è attribuibile all’effetto di isolamento idraulico e alla conseguente interruzione dell’apporto di acqua salata dal mare, come è dimostrato anche dalla scomparsa delle oscillazioni di livello indotte dalla marea.

### Cantiere di Ca’ Roman (Chioggia)

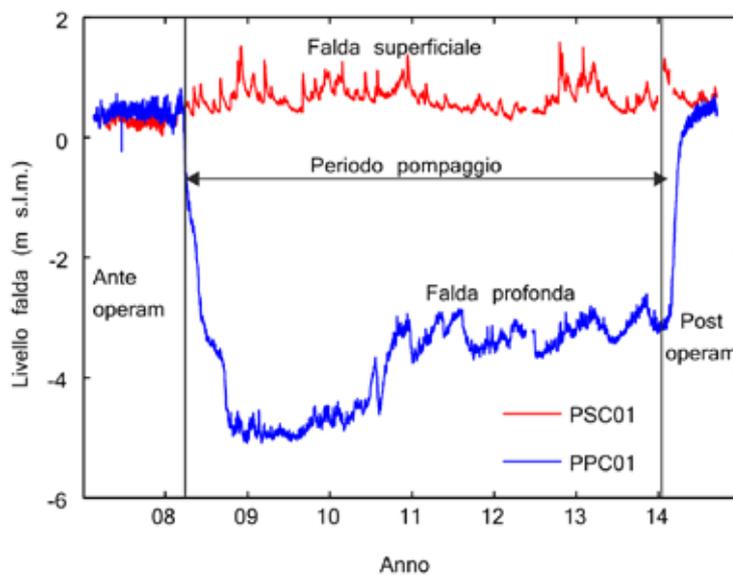
Nel sito di Ca’ Roman si osservano dinamiche dei livelli di falda simili a quelle registrate nel sito di Punta Sabbioni.

Nel periodo *ante operam*, per entrambi gli acquiferi monitorati si osserva un andamento dei carichi idraulici strettamente correlato al livello del mare, come dimostrato dalle oscillazioni in fase con le maree (figura 12). A partire dal mese di gennaio 2008, l’installazione del diaframma plastico della *tura* di Ca’ Roman ha però determinato l’isolamento idraulico di una porzione dell’acquifero superficiale prospiciente al cantiere, come evidenziato dalla scomparsa delle oscillazioni di livello nel piezometro superficiale PSC01 (MAG.ACQUE-CORILA, 2008) e dalla progressiva riduzione della conducibilità elettrica specifica (e quindi, della salinità) dell’acqua di falda superficiale (figura 13).

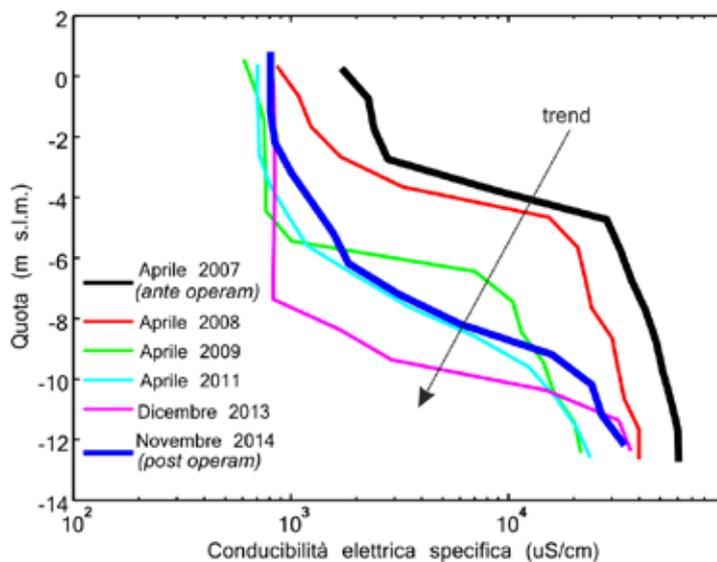
Il pompaggio di *dewatering* è stato effettuato in modo continuo da aprile 2008 a marzo 2014, con l’obiettivo di mantenere il carico idraulico interno alla *tura* a un valore di -12 m s.l.m., inferiore alla quota di fondo bacino (-11 m s.l.m.). Lo svuotamento del-



12. Andamento dei livelli di falda superficiale (PSC01) e profonda (PPC01) nel sito di Ca' Roman, registrati nella fase *ante operam* (febbraio-marzo 2007) e confrontati con il livello del mare registrato dal mareografo "Diga Sud Lido" (ICPSM, 2014).



14. Andamento dei livelli di falda a ridosso del cantiere di Ca' Roman. In rosso è indicato l'andamento dei livelli di falda superficiale (PSC01), in blu quelli della falda profonda (PPC01).



13. Variazione dei profili di conducibilità elettrica nel piezometro superficiale PSC01, che evidenziano un trend di riduzione di questo parametro.

la tura è stato completato a luglio 2008 e, come nel sito di Punta Sabbioni, la portata emunta è stata gradualmente ridotta da 4000 m<sup>3</sup>/d a 3500 m<sup>3</sup>/d (agosto 2009). Il drenaggio ha inizialmente determinato un abbassamento del carico idraulico in falda profonda, che nel piezometro PPC01 è stato pari a circa 6 m. Nel mese di febbraio 2010, grazie alla realizzazione di una ulteriore barriera idraulica con la tecnica del *jet grouting*, è stato possibile ridurre la portata a 2100 m<sup>3</sup>/d. L'effetto combinato di questi due interventi ha portato a una sensibile riduzione dell'abbassamento registrato nel piezometro PPC01, da 6 m a circa 3 m. Dal mese di ottobre 2011 fino al termine del pompaggio, avvenuto nel marzo 2014, è stato necessario abbassare di 1 m la soglia di livello interno alla tura (da -12 m s.l.m. a -13 m s.l.m.) e, per questo motivo, la portata di emungimento è stata incrementata a 3600 m<sup>3</sup>/d. Tale incremento di portata ha determinato un maggiore abbassamento del carico idraulico in PPC01, pari a 4 m circa. Al termine del pompaggio (marzo 2014), sono state recuperate le condizioni *ante operam* della falda profonda, confermando la reversibilità dell'impatto di questa attività di cantiere.

## Conclusioni

La costruzione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili alle bocche lagunari di Lido (Punta Sabbioni) e Chioggia (Ca' Roman) è stata effettuata in due bacini di fabbricazione, detti *ture*, precedentemente occupati dal mare. L'accessibilità di tali aree è stata resa possibile da sistemi di *dewatering*, per i quali è stato effettuato il monitoraggio dell'impatto sugli acquiferi presenti sulla terraferma.

Il monitoraggio in fase *ante operam* ha permesso di identificare le dinamiche naturali dei carichi idraulici nei due acquiferi, che presentano caratteristiche simili nei due siti monitorati. Nell'acquifero superficiale si distinguono due dinamiche differenti: lungo la linea di costa, si verificano oscillazioni di livello indotte dalla marea, con ampiezza via via più ridotta allontanandosi dal mare; nell'entroterra, le forzanti principali sono le precipitazioni, che provocano repentini innalzamenti di livello, e l'evapotraspirazione, che provoca un graduale abbassamento di livello. Nell'acquifero profondo, il carico idraulico è strettamente correlato con l'andamento medio giornaliero del livello del mare. Nei piezometri più prossimi alla linea di costa (PP01÷PP04 a Punta Sabbioni; PPC01 a Ca' Roman) si osservano deboli oscillazioni di livello indotte dalle maree.

Dall'osservazione delle dinamiche piezometriche in fase *ante operam* sono state stabilite le soglie Soglie di alto Alto e basso Basso livello Livello piezometrico, che permettono di identificare un possibile impatto delle attività di cantiere. A seguito del superamento di queste Soglie, sono stati effettuati approfondimenti per individuarne la cause e, in caso di superamento della soglia riconducibile alle attività di cantiere, è stato inviato il Rapporto di Anomalia ed è stata attivata una procedura di confronto con la Direzione Lavori per implementare azioni di mitigazione dell'impatto. Nell'acquifero superficiale sono stati osservati alcuni superamenti delle soglie Soglie di alto Alto Livello, dovuti alla formazione di pozze d'acqua in seguito a precipitazioni intense, e di Basso Livello, che si sono verificati nelle stagioni estive più siccitose (anni 2007, 2009, 2011 e 2012). Nell'acquifero profondo, il *dewatering* ha provocato un abbassamento del carico idraulico che ha interessato il solo acquifero profondo. Gli abbassamenti massimi sono di 4÷6 m e sono stati osservati nelle postazioni più prossime ai due bacini drenati (PP04 a Punta Sabbioni, PPC01 a Ca' Roman). In questo caso è stata attivata la procedura di confronto con la Direzione Lavori, che ha portato all'implementazione di azioni di mitigazione: in entrambi i siti, infatti, è stata progressivamente ridotta la portata emunta e, nel sito di Ca' Roman, è stata installata una barriera idraulica aggiuntiva con la tecnica del *jet grou-*

*ting*. In seguito all'interruzione del pompaggio, si è verificata la risalita dei carichi idraulici della falda profonda, con completo ripristino della situazione *ante operam*.

Dall'analisi dei profili di conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda si osserva una marcata variazione stagionale nell'acquifero superficiale, con fenomeni di intrusione salina nel periodo estivo, quando i livelli di falda superficiale sono più bassi a causa dell'evapotraspirazione e delle scarse precipitazioni. L'escavazione dei diaframmi plastici nelle due *tute* ha isolato idraulicamente dal mare una parte dell'acquifero superficiale (piezometri PS03-PS04 a Punta Sabbioni; PSC01 a Ca' Roman), come è stato evidenziato sia dalla variazione delle dinamiche piezometriche, con la scomparsa delle oscillazioni indotte dalla marea, sia dall'analisi dei profili di conducibilità elettrica, dai quali è stata dedotta una riduzione della salinità dell'acqua di falda. Non si sono osservati invece incrementi permanenti della salinità, né nell'acquifero superficiale, né nell'acquifero profondo.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano gli ingg. Silvia Delforno, Chiara Santi e Tommaso Baldarelli, che hanno lavorato al programma di monitoraggio nelle sue prime fasi (2006-2008). Si ringrazia inoltre il gruppo di Topografia del DIATI-Politecnico di Torino (proff. Marco Piras e Andrea Lingua, ing. Fabio Giulio Tonolo) per il rilievo topografico della rete piezometrica effettuato nel 2005, e i geol. Francesco Benincasa ed Enrico Fagarazzi per il rilievo topografico svolto nel 2008.

## Bibliografia

- ARPA Veneto (2014) Dati climatici Regione Veneto. Teolo (PD), 15 novembre 2014.
- Bear J (1999) Seawater intrusion in coastal aquifers : concepts, methods, and practices. Kluwer Academic, Dordrecht; Boston.
- Casasso A., Molfetta A., Sethi R. (2014) Groundwater monitoring at a building site of the tidal flood protection system “MOSE” in the Lagoon of Venice, Italy. *Environmental Earth Sciences*, 73, 2397-2408.
- Casasso A., Sethi R., Di Molfetta A. (2011) Monitoring plan of MOSE building sites (Venezia): the hydrogeologic situation around the building sites. In: Scientific research and safeguarding of Venice-Volume VII 2007-2010 results. CORILA, Venezia. pp. 217-225.
- CNR (1999) Controllo di eventuali danni ambientali determinati dagli emungimenti praticati nelle aree di Cavallino, Treporti, Punta Sabbioni e Isola di Sant’Erasmus. Venezia.
- Consorzio Venezia Nuova (2010) Sistema MOSE per la difesa dalle acque alte. Avanzamento lavori (febbraio 2010). Quaderni Trimestrali del Consorzio Venezia Nuova, 1-10, 41-65.
- Da Lio C., Tosi L., Zambon G., Vianello A., Baldin G., Lorenzetti G., Manfè G., Teatini P. (2013) Long-term groundwater dynamics in the coastal confined aquifers of Venice (Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 248-259.
- ICPSM (2014) Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (ICPSM)-Dati stazioni di rilevamento. Venezia.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (2005a) Studi B.6.72 B/1. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Livelli di falda. Rapporto di caratterizzazione *ante operam*. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (2005b) Studi B.6.72 B/1. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Livelli di falda. Rapporto di Pianificazione Operativa. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2007-2013) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Livelli di falda. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Powers J.P., Corwin A.B., Schmall P.C., Kaeck W.E. (2007) Construction dewatering and groundwater control. New methods and applications. 3rd ed. Wiley, New York.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2015) Studi B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Livelli di falda. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

## Summary

The lodging caissons of the MOSE mobile barriers installed at the lagoon inlets of Lido (Punta Sabbioni) and Chioggia (Ca' Roman) were built in two provisional basins (*tura*). Such basins were previously occupied by the sea, and their accessibility was therefore achieved through dewatering pumping by draining pumps and wells. These systems kept water levels below the bottom of the *tura* during the construction works.

In order to assess the impact of the dewatering pumping on the shallow aquifers in the mainland, a monitoring program was conducted from October 2005 to November 2014. Two groundwater monitoring networks were installed in Punta Sabbioni and Ca' Roman, composed respectively of 25 and 2 monitoring wells. Each well was equipped with a water pressure logger to measure hydraulic heads in the unconfined (shallow) aquifer and in the underlying confined (deep) aquifer. Vertical profiles of the specific Electrical Conductivity (EC) of groundwater were also measured to get insights on the evolution of groundwater salinity.

Natural (rainfall, evapotranspiration, tides) and anthropic (underground constructions, dewatering pumping) driving forces were assessed to explain the trends of hydraulic heads and groundwater EC. The dewatering pumping induced a temporary drawdown in the deep aquifer, with a maximum of about 6 m close to the building site. As the construction works were completed, the dewatering pumping was therefore stopped and the hydraulic head in the deep aquifer recovered to the pristine conditions (*ante operam*) in some months. No hydraulic impact was observed on the shallow aquifer, due to the presence of a thick aquiclude. The EC monitoring revealed that the construction works did not induce any permanent increment of groundwater salinity. On the contrary, a portion of the shallow aquifer close to the coastline showed a progressive decrement of groundwater salinity, due to the hydraulic isolation effect of the *tura*.





# La vegetazione terrestre nelle aree prossime ai cantieri

## *Terrestrial vegetation in the areas close to construction sites*

Isabelle Cavalli, Leonardo Ghirelli, Daniele Mion,  
Francesco Scarton, Giovanni Sburlino

### **Premessa**

Le aree litorali prossime alle bocche di porto della laguna di Venezia presentano tuttora, nonostante le forti pressioni antropiche cui sono sottoposte, un'elevata valenza per quanto riguarda gli habitat e le peculiari comunità che si possono osservare e che ne delineano un quadro del tutto originale. Negli arenili, dune, retrodune e formazioni boscate si possono riconoscere numerosi habitat di interesse comunitario, in base ai dettami della Direttiva Habitat 92/43/CEE, ed elementi floristici propri la cui presenza è legata alla convergenza di fattori fisici e storico-climatici che hanno contribuito a creare condizioni di coesistenza di specie di origine assai diverse. Alcune di queste presentano un areale distributivo molto ristretto e trovano in questi siti costieri uno dei loro ultimi rifugi.

Le indagini sulla vegetazione terrestre costituiscono ormai parte irrinunciabile di ogni Piano di monitoraggio ambientale dedicato all'analisi degli impatti delle grandi opere; specifiche Linee Guida redatte dal Ministero dell'Ambiente suggeriscono i metodi e le scansioni temporali più opportuni.

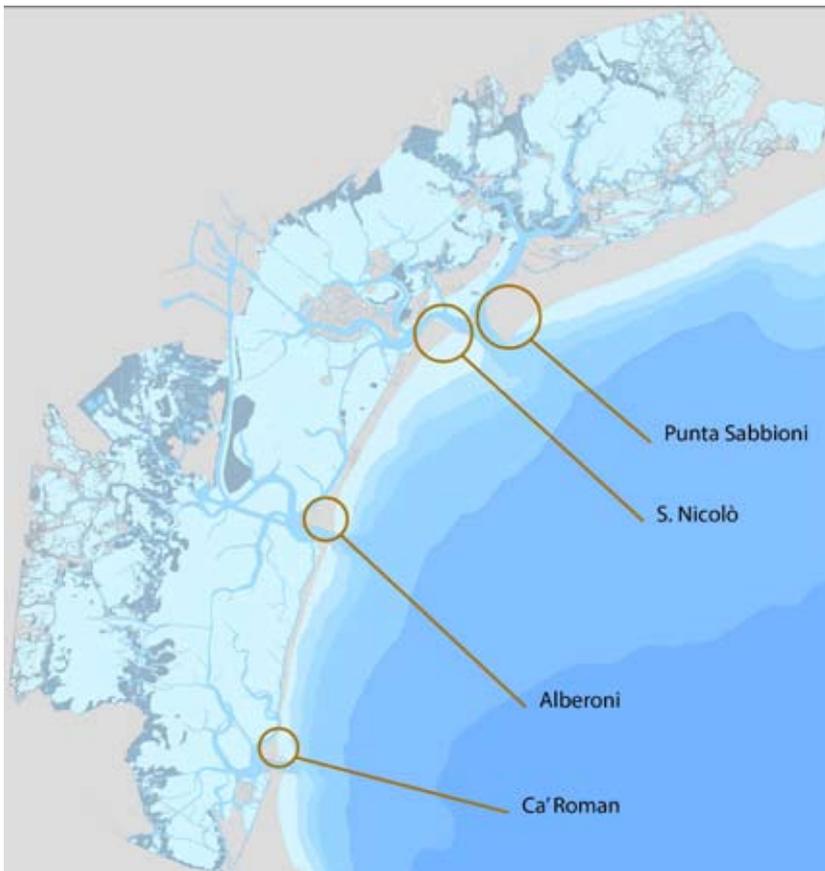
L'obiettivo delle indagini alle bocche di porto della laguna di Venezia è stato pertanto il monitoraggio della dinamica vegetazionale in atto e degli eventuali cambiamenti nella struttura e nella composizione delle fitocenosi nelle aree prossime ai cantieri. Il presupposto di base era che proprio in questi settori si potessero osservare le interferenze più significative con i ricettori ambientali più sensibili.

La procedura di monitoraggio ha permesso rispondere all'esigenza di avere un inquadramento territoriale di facile lettura e di impostare un controllo puntuale e permanente delle comunità potenzialmente più critiche e vulnerabili, soprattutto nelle zone di maggior sensibilità ambientale.

L'insieme delle indagini effettuate, come il campionamento su transetti fissi, il controllo delle specie invasive, il rilievo di plot permanenti nonché la produzione e l'aggiornamento di cartografie di estremo dettaglio della vegetazione, hanno consentito di elaborare un quadro sintetico delle variazioni intercorse, segnalando le criticità di volta in volta emerse ed evidenziando nel contempo le dinamiche più evidenti osservate nelle aree di indagine.

Le attività di monitoraggio sono state eseguite all'interno di una fascia di rispetto di ampiezza di 200 m, individuata sulla base della localizzazione dei cantieri resa nota all'inizio del monitoraggio e delle variazioni avvenute in corso d'opera. Le aree oggetto d'indagine sono rappresentate da quattro settori distribuiti lungo tutto il litorale: Punta Sabbioni, S. Nicolò, Alberoni, Ca' Roman. I siti Punta Sabbioni, Alberoni, Ca' Roman sono stati oggetto di studio dal 2005 mentre S. Nicolò è stato inserito nel 2008 (figura 1). Le singole aree di monitoraggio sono riportate in dettaglio in figura 2.

Le attività di rilievo condotte nei dieci anni, per ogni area di indagine e per ogni anno di monitoraggio, sono state svolte secondo la tempistica indicata in Tabella 1.



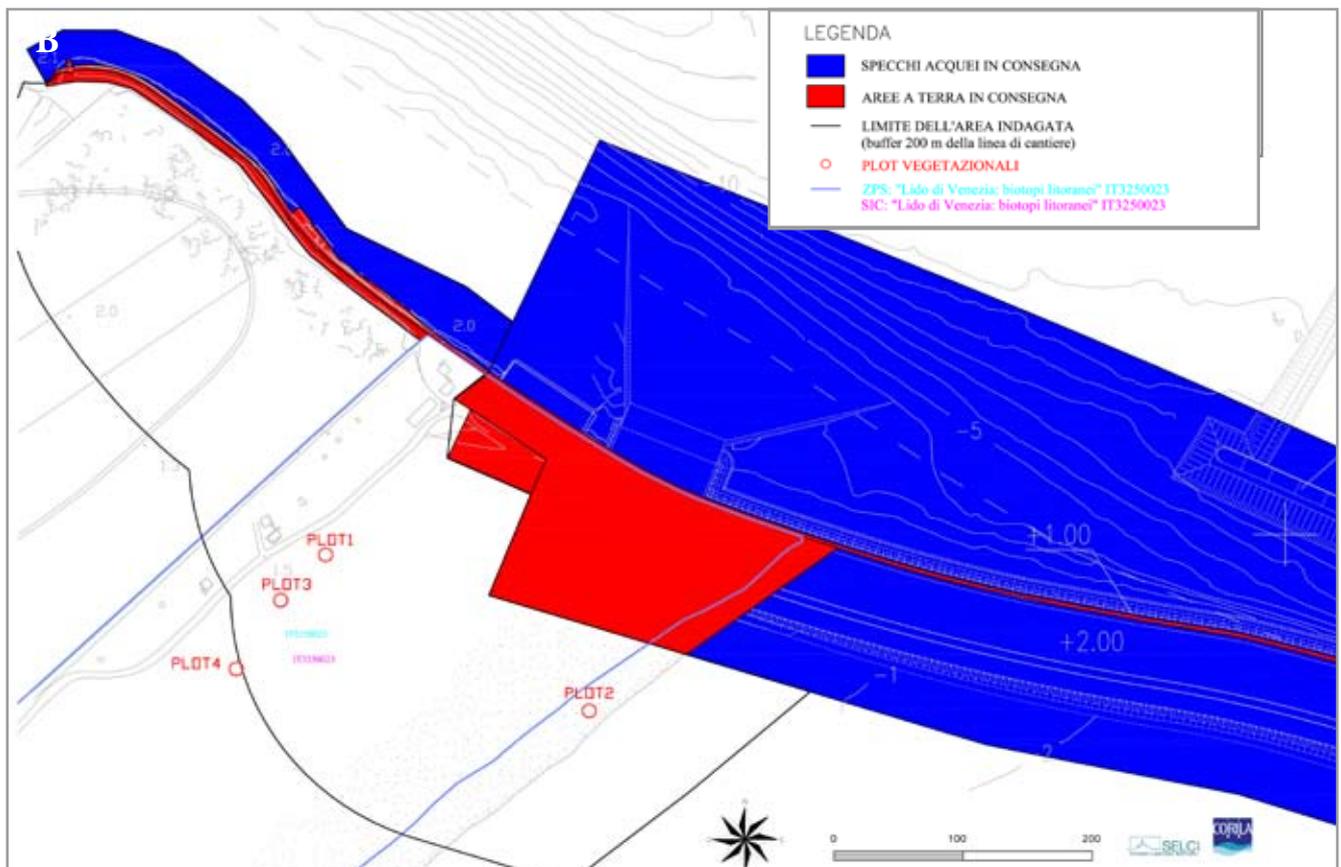
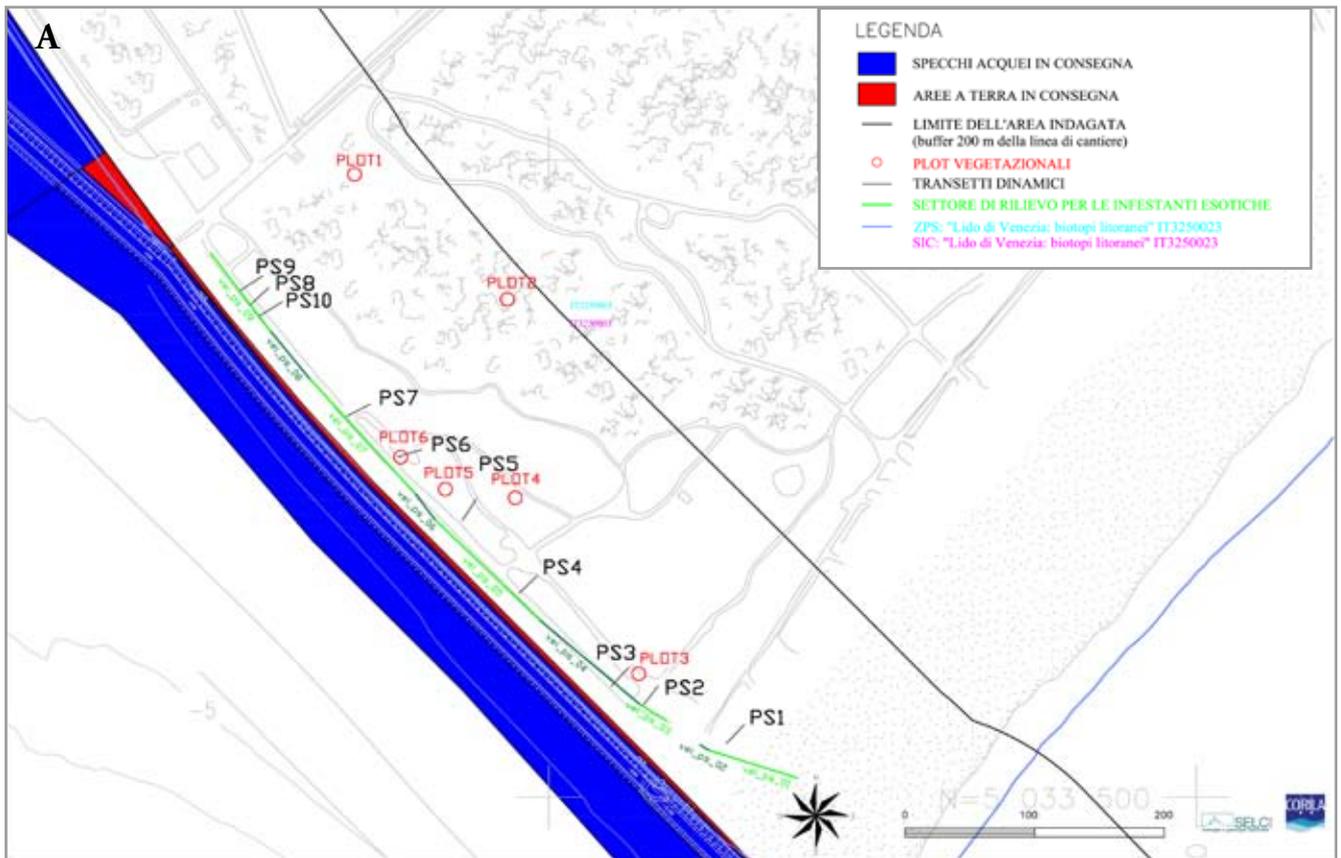
1. Ubicazione dei quattro settori di indagine negli anni 2005-2014.

	Transetti vegetazionali										Plot										Specie Infestanti										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Punta Sabbioni	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
S. Nicolò				█	█	█	█	█	█	█				█	█	█	█	█	█	█	█							█	█	█	█
Alberoni	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Ca' Roman	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█							█	█	█	█

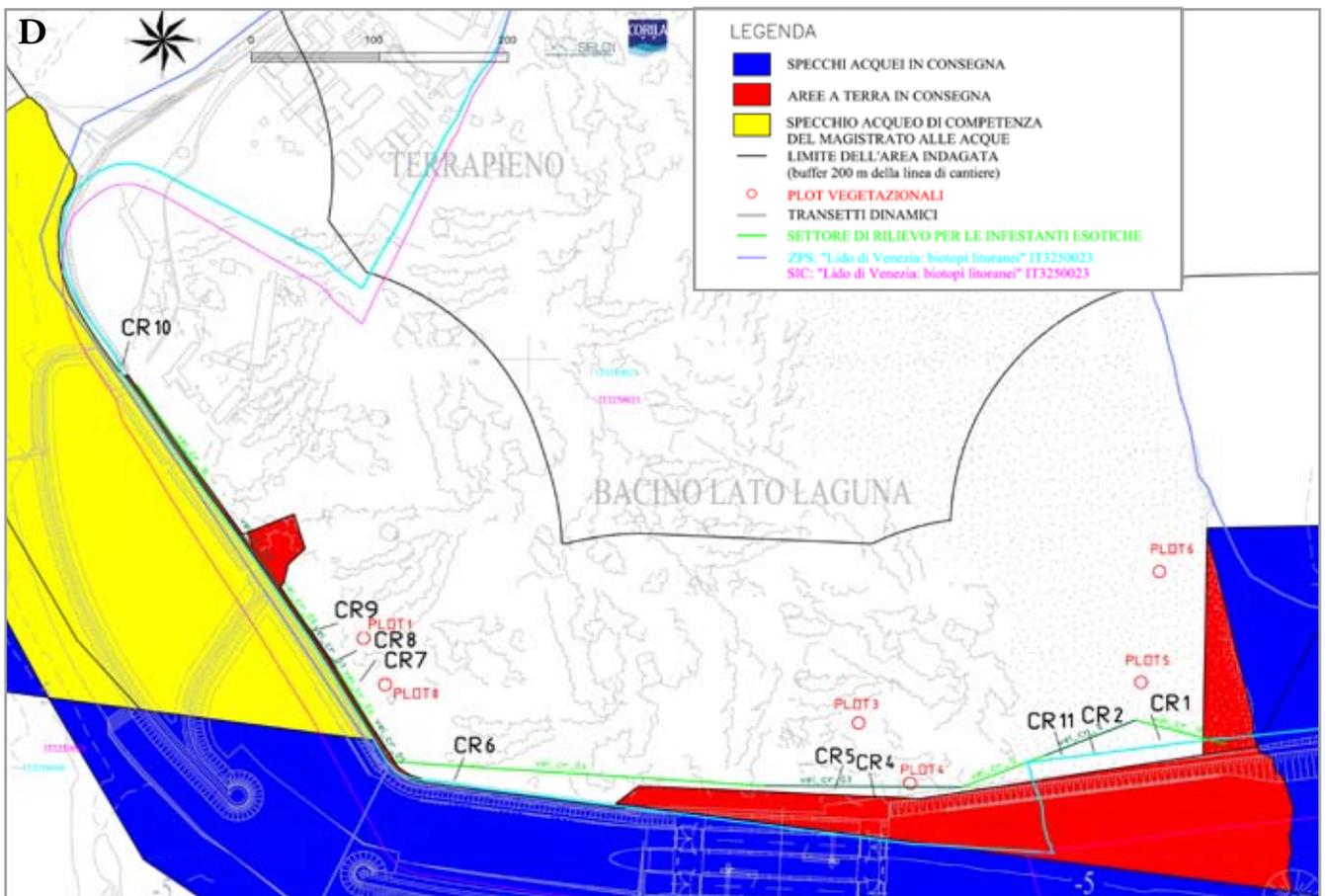
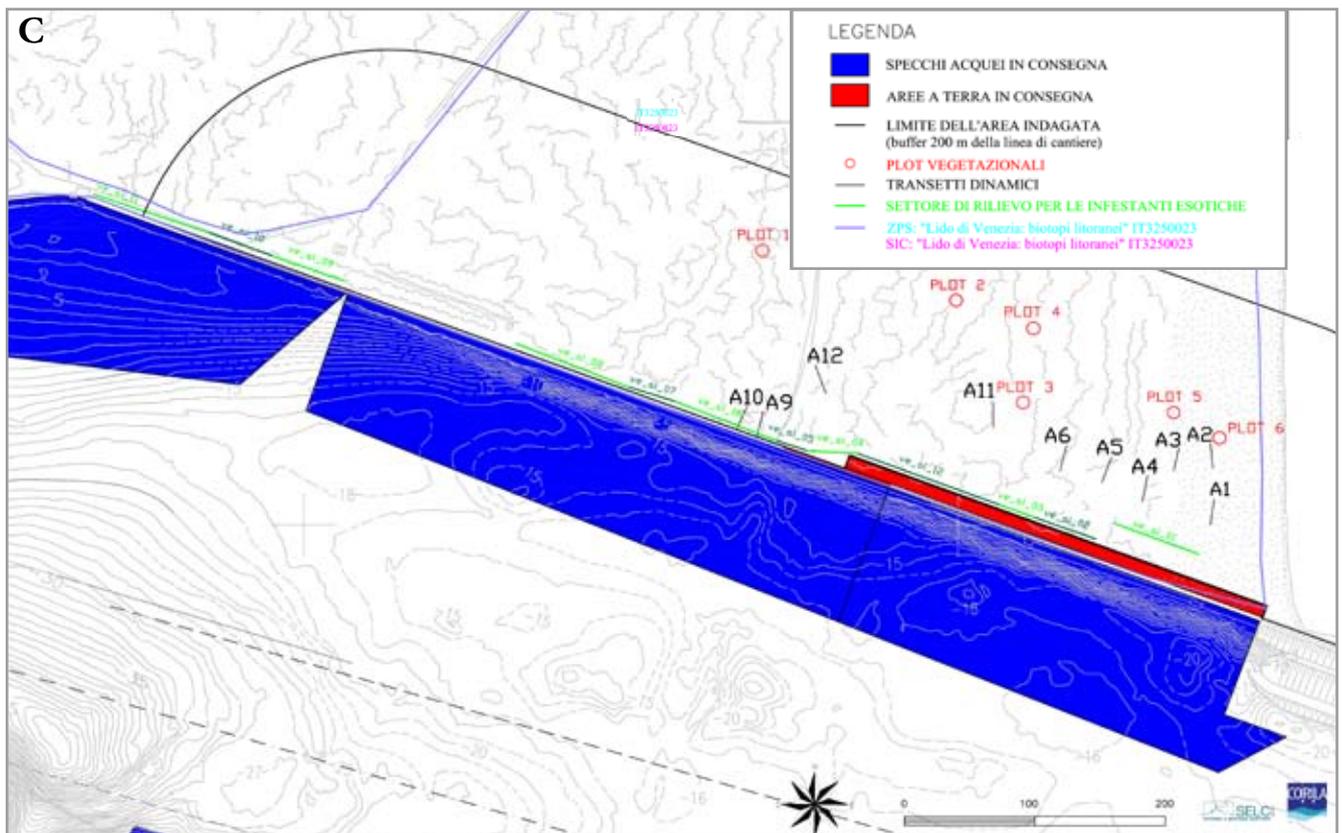
	Elenco Floristico										Carta vegetazione reale										Carta floristica delle specie di interesse conservazionistico										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Punta Sabbioni	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█							█	█	█	█
S. Nicolò				█	█	█	█	█	█	█				█	█	█	█	█	█	█	█							█	█	█	█
Alberoni	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Ca' Roman	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█							█	█	█	█

	Indagine popolazionistica <i>Kosteletzkya pentacarpus</i>										Indagine popolazionistica <i>Salicornia veneta</i>										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Punta Sabbioni						█	█	█	█	█							█				
S. Nicolò																					
Alberoni																	█	█	█	█	█
Ca' Roman																	█	█	█	█	█

Tabella 1. Attività di rilievo condotte in ciascun sito oggetto di indagine nei dieci anni di monitoraggio.



2. Localizzazione delle attività di monitoraggio sovrapposta al Progetto esecutivo-ottobre 2008 (cortesia CVN).  
 A) Punta Sabbioni: I perimetri del SIC IT3250003 e della ZPS IT3250003 sono sovrapposti. B) S. Nicolò: I perimetri del SIC IT3250023 e della ZPS IT3250023 sono sovrapposti.



2, segue. Localizzazione delle attività di monitoraggio sovrapposta al Progetto esecutivo-ottobre 2008 (cortesia CVN).

C) Alberoni: I perimetri del SIC IT3250023 e della ZPS IT3250023 sono sovrapposti. D) Ca' Roman: I perimetri del SIC IT3250023 e della ZPS IT3250023 e quelli del SIC IT3250030 e della ZPS IT3250046 sono sovrapposti.

## Metodi di indagine

### Controllo della dinamica vegetazionale e presenza di fattori di disturbo

Il controllo della dinamica vegetazionale è stato eseguito utilizzando due tipologie di rilievo: i transetti dinamici e i plot vegetazionali permanenti.

#### *Transetti dinamici*

Il Piano di monitoraggio della vegetazione ha riguardato una fascia di interesse ampia 200 m prospiciente le aree di cantiere presso le bocche di porto lagunari. In ogni sito, sono stati localizzati alcuni transetti immediatamente all'esterno del limite dei cantieri e orientati perpendicolarmente a questo.

I transetti dinamici sono strutture lineari della lunghezza di 20 m, composte da 20 quadrati (Unità di Campionamento, UC) di 1 m<sup>2</sup> di superficie. Nei transetti la vegetazione è stata rilevata registrando la copertura delle singole specie in ogni quadrato mediante indici da 1 a 10 che esprimono classi corrispettive di abbondanza-dominanza (1=1-10%, 2=11-20%, ..., 10=91-100%). Per le specie presenti a diversi livelli di stratificazione il valore di copertura è stato rilevato in ogni strato.

Ogni transetto è stato materializzato sul terreno tramite tre picchetti (all'inizio-metro 0, al centro-metro 10 e alla fine-metro 20) e localizzato attraverso la registrazione delle coordinate d'inizio e di fine mediante strumentazione GPS. Lungo ogni transetto sono stati rilevati, con scansione di un metro, i seguenti parametri:

- specie presenti, raggruppate secondo lo strato di appartenenza; alcune specie si ripetono nei diversi strati in relazione al fatto che esistono entità che possono indifferentemente far parte di più strati con riferimento all'età e al grado di sviluppo;
- copertura percentuale espressa in 10 classi con range del 10% e rappresentata da indici di abbondanza e dominanza (figura 1). La copertura corrisponde alla proiezione al suolo di tutte le porzioni epigee della specie in questione. Un individuo della stessa specie può sviluppare la sua funzionalità su più strati.

Gli strati di appartenenza della specie identificate si suddividono in strato arboreo dominante, strato alto arbustivo e arboreo dominato, strato basso arbustivo, strato erbaceo.

In ogni transetto, inoltre, sono stati rilevati con scansione di cinque metri i seguenti parametri: strati della vegetazione presenti, loro altezza media e copertura degli strati espressa in percentuale. I dati rilevati sono stati registrati su supporto cartaceo organizzato in tabelle. Le specie presenti, con relativo grado di ricoprimento, sono state raggruppate secondo lo strato di appartenenza.

3. Rilievo lungo un transetto, mediante l'utilizzo di telaio di legno di 1 m di lato (A) e supporto cartaceo per l'annotazione dei dati (B) (foto Isabelle Cavalli).



Complessivamente i rilevamenti vegetazionali del periodo 2005-2014, condotti con due repliche annuali, in primavera e autunno, hanno interessato i siti Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman, per un totale in un anno di campionamento di 60 transetti e 1200 unità campionate. Complessivamente, nell'arco temporale dell'intero monitoraggio, i rilievi dei transetti sono stati 600 (200 Punta Sabbioni, 200 Alberoni, 200 Ca' Roman) per un totale di 12.000 m<sup>2</sup> di superficie campionata.

In quasi tutti i siti sono stati riposizionati alcuni picchetti asportati che hanno determinato piccole traslazioni dell'asse del transetto con inevitabili cambiamenti, seppur minimi, nella copertura delle specie e nella composizione.

### *Plot vegetazionali permanenti*

Il rilievo dei plot vegetazionali permanenti è stato eseguito in tutti i siti (sei a Punta Sabbioni, Alberoni e Ca' Roman, quattro a S. Nicolò). La tecnica dei plot permanenti si basa sul concetto del minimo areale (*minimum area*), cioè l'area minima entro la quale il popolamento elementare si sviluppa in modo completo (Pignatti, 1959; Pirola, 1970; Cannone, 2004; Chytrý & Otýpková, 2003). Il controllo della dinamica vegetazionale attraverso il rilevamento in aree permanenti è classicamente utilizzato nello studio delle successioni temporali (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Herben, 1996; Kent & Coker, 1992) ed è basato sulla ripetizione delle osservazioni in uno stesso punto e in epoche successive (analisi diacronica).

Per il rilevamento dei singoli plot sono stati adoperati un ricevitore GPS palmare GARMIN 12 XL, una macchina fotografica e schede per i rilievi di campo. Le stazioni di rilievo scelte all'interno dei siti hanno un'estensione variabile a seconda della organizzazione strutturale della fitocenosi rilevata, da 20-25 m<sup>2</sup> per le comunità erbacee e/o camefitiche a 50 m<sup>2</sup> per le comunità più complesse. I plot sono stati localizzati attraverso la registrazione delle coordinate geografiche del loro punto centrale. In ogni stazione è stato effettuato il rilievo fitosociologico: per ogni strato (arboreo, arbustivo, erbaceo) sono state censite le specie presenti e per ognuna è stato attribuito un valore di abbondanza-dominanza secondo la scala convenzionale di Braun-Blanquet (1964).

### **Flora**

L'elenco floristico contenente tutte le specie osservate nelle aree di indagine è stato aggiornato al termine di ogni campagna di monitoraggio. Ogni revisione ha prodotto l'inserimento delle nuove specie osservate, oltre alla segnalazione delle specie presenti per la prima volta in un nuovo sito ma già incluse nell'elenco floristico. L'elenco floristico complessivo relativo a tutti e quattro i siti oggetto di rilievo, dal 2005 al 2014, comprende 355 taxa subgenerici, suddivisi in 80 famiglie.

Il riconoscimento delle specie è stato eseguito direttamente in campo o, per gli esemplari di dubbia determinazione, in laboratorio mediante l'uso di chiavi analitiche e di strumenti di microscopia ottica. I campioni raccolti sono stati essiccati e conservati in laboratorio. Per ciascuna entità sono state annotate la forma e la sottoforma biologica e il tipo corologico secondo le indicazioni riportate in Pignatti (1982).

In tabella 2 sono riportate le entità notevoli rilevate nei siti di indagine e protette sulla base del loro inserimento nei seguenti documenti:

- Legge Regionale n. 53 del 15 novembre 1974 "Norme per la tutela di alcune specie della fauna inferiore e della flora e disciplina della raccolta dei funghi";
- Lista Rossa della Flora Italiana (Rossi *et al.*, 2013);
- Lista Rossa regionale (Conti *et al.*, 1997);
- Allegato II e V della Direttiva 92/43 CEE relativa alla "Conservazione degli habitat

Tabella 2. Elenco delle specie notevoli rilevate. Le categorie di rischio delle specie critiche presenti sono:  
 LC/LR=A basso rischio, specie che non soddisfano i criteri per l'inclusione in nessuna delle categorie di rischio (specie ad ampio areale o con popolazioni numerose).  
 VU=Vulnerabile, specie considerate a rischio di estinzione in natura.  
 EN=Minacciata, specie considerate ad elevato rischio di estinzione in natura.  
 CR=Gravemente minacciata, specie considerate a rischio estremamente elevato di estinzione in natura.  
 NT=Quasi a rischio, specie prossime ad essere considerate a rischio e che in assenza di adeguate contromisure possono diventare minacciate in un futuro prossimo.

	Categorie di rischio	Punta Sabbioni	San Nicolò	Alberoni	Ca' Roman
<b>Legge Regionale n.53 del 15.09.74</b>					
<i>Quercus ilex</i> L.				X	X
<i>Pyracantha coccinea</i> M. J. Roemer				X	
<i>Trachomitum venetum</i> (L.) Woodson		X	X		X
<i>Epipactis atrorubens</i> (Hoffm.) Schultes				X	
<i>Epipactis palustris</i> (Miller) Crantz		X	X	X	
<i>Ophrys apifera</i> Hudson					X
<b>Lista Rossa Regionale</b>					
<i>Medicago marina</i> L.	VU	X	X	X	X
<i>Epipactis palustris</i> (Miller) Crantz	EN	X	X	X	
<i>Ophrys apifera</i> Hudson	EN				X
<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	LR				X
<i>Rubia peregrina</i> L.	VU				X
<i>Cistus creticus</i> L. subsp. <i>eriocephalus</i> (Viv.) Greuter & Burdet	CR			X	
<b>Lista Rossa della Flora Italiana</b>					
<i>Epipactis palustris</i> (Miller) Crantz	NT	X	X	X	
<i>Kosteletzkya pentacarpos</i> (L.) Ledeb.	CR	X			
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	LC			X	
<i>Salicornia veneta</i> Pign. et Lausi	LC			X	X
<b>All. II Dir. 92/43/CEE</b>					
<i>Salicornia veneta</i> Pign. et Lausi				X	X
<i>Kosteletzkya pentacarpos</i> (L.) Ledeb.		X			
<b>All. V Dir. 92/43/CEE</b>					
<i>Ruscus aculeatus</i> L.				X	
<b>Specie incluse nell' "Atlante delle specie a rischio di estinzione"</b>					
<i>Centaurea tommasinii</i> A. Kern.	VU			X	
<i>Centaureum littorale</i> (Turner) Gilmour	CR	X		X	
<i>Kosteletzkya pentacarpos</i> (L.) Ledeb.	CR	X			
<i>Nymphaea alba</i> L.	VU			X	
<i>Plantago cornuti</i> Gouan	CR	X			
<i>Salicornia veneta</i> Pignatti et Lausi	EN			X	X
<i>Salix rosmarinifolia</i> L.	EN	X			
<i>Trachomitum venetum</i> (L.) Woodson	VU	X	X		X
<i>Typha laxmannii</i> Lepech.	VU			X	

Tabella 3. Specie non segnalate nel Veneto sulla base dei dati riportati da Conti *et al.*, 2005 e Masin *et al.*, 2009, e rinvenute nei siti di monitoraggio.

	Punta Sabbioni	San Nicolò	Alberoni	Ca' Roman
<b>Nuove per il Veneto</b>				
<i>Vitex agnus-castus</i> L.			X	
<i>Catapodium balearicum</i> (Willk.) H. Scholz		X		

Tabella 4. Elenco delle specie endemiche sulla base di Pignatti (1982).

	Punta Sabbioni	San Nicolò	Alberoni	Ca' Roman
<b>Endemiche</b>				
<i>Centaurea tommasinii</i> Kerner			X	
<i>Salicornia veneta</i> Pign. et Lausi				X



- naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche”;
- “Atlante delle specie a rischio di estinzione” (Scoppola & Spampinato, 2005).

L’elenco delle specie nuove per il Veneto (tabella 3) fa riferimento alle conoscenze sulla distribuzione regionale presenti nella Checklist della flora vascolare italiana (Conti *et al.*, 2005) e alle Annotazioni sulla flora della Provincia di Venezia (Masin *et al.*, 2009). Le specie endemiche per il Veneto secondo Pignatti (1982) sono elencate in tabella 4.

4. *Cistus creticus* subsp. *eriocephalus* osservato nel sito di Alberoni (A e B), con *Helichrysum italicum* sullo sfondo (B) (foto L. Ghirelli).

### **Sorveglianza delle infestanti**

Nell’attività di controllo delle specie infestanti sono state prese in considerazione le specie aliene ma anche quelle indigene con comportamento invasivo. Nell’ambito degli ecosistemi litoranei che rappresentano recettori ambientali molto sensibili, queste specie possono determinare forzanti e pressioni che intervengono sui processi dinamici naturali delle comunità con formazione di elementi ecologico-funzionali deficitari.

La riduzione di stabilità di un ecosistema crea condizioni di ricettività ambientale che possono facilitare l’ingresso di specie infestanti dotate di efficaci sistemi di propagazione. L’invasività di queste specie può determinare la formazione di strutture vegetazionali permanenti che marcano in modo durevole il paesaggio vegetale con gravi danni alla biodiversità e all’equilibrio degli habitat naturali.

Per le specie autoctone l’attenzione è stata rivolta soprattutto a quelle che normalmente sono rappresentative di ambienti disturbati e degradati. In particolare quelle che caratterizzano le comunità terofitiche tipiche infestanti degli ambienti colturali e afferenti alla classe *Stellarietea mediae* Tüxen *et al.* ex von Rochow 1951, come *Anagallis arvensis*, *Bromus sterilis*, *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Solanum nigrum*.

Un caso particolare è *Spartina versicolor*, specie ad ampia valenza ecologica che colonizza aree nei settori dunali e retrodunali, ma anche, come a Ca’ Roman, i bordi delle depressioni salmastre. L’origine della specie è controversa; in passato alcuni autori, come Pignatti (1982), la indicavano come probabile entità esotica, mentre recenti ricerche (Prieto *et al.*, 2011), su base genetica tendono a sostenere l’indigenato della stessa. All’inizio delle attività di monitoraggio la specie era considerata di probabile origine aliena e per tale motivo è stata presa in considerazione come infestante.

Il controllo è stato effettuato nei siti Punta Sabbioni, Alberoni, Ca’ Roman.

La procedura utilizzata per i rilievi si è articolata come segue:

- individuazione lungo la fascia confinante con l’area di cantiere di settori omogenei rappresentati nella figura 2;
- misura, per ognuno di essi, delle coordinate di inizio e fine;

Punta Sabbioni	Frequenza								
	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8	PS9
<i>Ambrosia coronopifolia</i>				35					
<i>Amorpha fruticosa</i>	100	95	100	100	100	95	100	100	100
<i>Artemisia verlotiorum</i>	10						85		10
<i>Baccharis balimifolia</i>					30				
<i>Cenchrus longispinus</i>			45						
<i>Cuscuta scandens</i> subs. <i>cesattiana</i>		5				10			
<i>Eleagnus angustifolia</i>	100	100	100	100	100		100	100	100
<i>Erigeron canadensis</i>		30	65	35	50				
<i>Lonicera japonica</i>	60	65	85	85	75				60
<i>Oenothera stuechii</i>	95	75	80	95	85	45	85	50	95
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	65								65
<i>Robinia pseudacacia</i>	100								100
<i>Solidago gigantea</i>	75				40			90	75
<i>Spartina versicolor</i>						100	70		
<i>Tamarix gallica</i>	100	100	100		90	70	100	100	100

Alberoni	Frequenza											
	AL1	AL2	AL3	AL4	AL5	AL6	AL7	AL8	AL9	AL10	AL11	AL12
<i>Ailanthus altissima</i>						100	100	100				
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>												38
<i>Ambrosia coronopifolia</i>	70	75	95	60								100
<i>Amorpha fruticosa</i>					90	100		100	90			
<i>Bromus sterilis</i>		20	15						15		10	23
<i>Cenchrus longispinus</i>	100	75	65	30								69
<i>Chenopodium album</i>	20		20	20						10	10	38
<i>Eleagnus angustifolia</i>		65	100	85	100	75		100		100	100	
<i>Erigeron sumatrensis</i>	55	50	45	55						20	30	85
<i>Erigeron canadensis</i>	90	100	75	45	40				30	20	10	100
<i>Euonymus japonicus</i>									70	40		
<i>Gleditsia triacanthos</i>									15	30	80	
<i>Lonicera japonica</i>			70	70	50	100	100	100	100	100	100	100
<i>Oenothera stuechii</i>	100	100	85	50	65	95		75	60	70	40	100
<i>Papaver rhoeas</i>									15	5		
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>						100						
<i>Pittosporum tobira</i>											100	
<i>Robinia pseudacacia</i>			25	70	95	100	100	100	100	100	100	100
<i>Solanum nigrum</i>	50	15	10	5								23
<i>Spartina versicolor</i>	20	30	100	100	25							92
<i>Tamarix gallica</i>	50	25	25	100	30	100			40	100	100	92

Ca' Roman	Frequenza										
	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	CR13
<i>Ambrosia coronopifolia</i>	100	60	85	85	80	80	100	5	100	100	100
<i>Amorpha fruticosa</i>									30		100
<i>Anagallis arvensis</i>								15			
<i>Arundo donax</i>				95							
<i>Bromus sterilis</i>	50		35				30		15	25	
<i>Cenchrus longispinus</i>	80						85		90	65	100
<i>Chenopodium album</i>				10		10			25	15	
<i>Cycloloma atriplicifolium</i>							20				
<i>Eleagnus angustifolia</i>	100			100	50	100	65	100	35	80	86
<i>Erigeron sumatrensis</i>	35		25	40	35	40	35	50	25	30	86
<i>Erigeron canadensis</i>	85		90	70	85	90	80	40	75	80	86
<i>Euonymus japonicus</i>	55			40				100			
<i>Lonicera japonica</i>	80		30	100		70		60			
<i>Oenothera stuechii</i>	100		90	90	55	65	95		100	100	100
<i>Papaver rhoeas</i>				25		10		15			
<i>Robinia pseudacacia</i>			100	100	100	100	95		45		100
<i>Rosa rugosa</i>	50										
<i>Senecio inaequidens</i>	30			20			35	45	85	55	100
<i>Solanum nigrum</i>								25			
<i>Spartina versicolor</i>	100	100	95	100	100	80				95	100
<i>Symphotrichum squamatum</i>		5						10	20	15	14
<i>Tamarix gallica</i>			10						100	10	15

Tabella 5. Frequenza delle singole specie infestanti, calcolata sulla totalità dei rilievi effettuati.



- elenco delle specie infestanti presenti e attribuzione del valore di copertura secondo le classi di abbondanza individuate dal metodo fitosociologico;
- segnalazione e annotazione, in ogni settore omogeneo, delle caratteristiche e degli aspetti rilevanti.

Per ogni tratto le campagne effettuate sono 20, eccetto per VEI-AL-12 (13 repliche), VEI-CR-13 (7 repliche). Per ogni tratto di campionamento, suddiviso per sito, viene presentata nella tabella 5 la frequenza delle singole specie calcolata sulla totalità dei rilievi effettuati.

5. *Rosa rugosa* osservata a Ca' Roman (Foto L. Ghirelli) a sinistra, *Cenchrus longispinus* osservata a Punta Sabbioni (Foto I. Cavalli) a destra.

### **Cartografia della vegetazione reale**

L'aggiornamento della cartografia vegetazionale è stato effettuato nel periodo estivo di ogni anno a partire dal 2005, attraverso uscite in campo strettamente dedicate al rilevamento cartografico. Nell'analisi distributiva delle diverse comunità sono state utilizzate ortofoto digitali a colori, impiegate anche nelle fasi successive di elaborazione grafica. L'attività principale è stata l'adeguamento dei confini di diversi poligoni, che rappresentano le diverse categorie vegetazionali, alla risposta cartografica delle differenti campiture individuate. In particolare l'ottima risoluzione del materiale fotografico ha permesso di precisare e rappresentare in modo più corretto i perimetri di alcune comunità attraverso le discontinuità cromatiche.

Nei casi di compresenza di più tipi vegetazionali, che alla scala adottata non era possibile cartografare separatamente, essi sono stati mappati congiuntamente attraverso l'utilizzo della categoria rappresentativa "Mosaico di..." che associa anche tre diverse comunità. Tale scelta ha consentito di documentare la presenza di comunità di particolare interesse che in alcune aree hanno una distribuzione subordinata e occupano superfici di scarsa estensione.

I dati raccolti per tutti e quattro i siti sono stati elaborati ogni anno e presentati come carte tematiche da cui è stata ricavata la carta derivata degli habitat, secondo le codifiche dell'ultima revisione del Manuale di Interpretazione degli Habitat (EU, 2013; Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Mare, 2010) e una tabella recante i dati areali degli habitat corrispondenti per ciascuna tipologia vegetazionale rilevata per gli anni 2009-2014. La verifica annuale della cartografia è stata condotta attraverso un'attenta ricognizione delle aree di indagine, supportata dall'esecuzione di rilievi fitosociologici che hanno integrato i dati pregressi, permettendo l'aggiornamento della cartografia.

L'elaborazione della carta vegetazionale su base fitosociologica si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase di foto interpretazione: la fotointerpretazione ha permesso di pianificare l'attività di verifica in campo. I confini provvisori delle diverse tipologie fisionomiche sono stati delineati mediante analisi delle foto aeree. Per la digitalizzazione si è utilizzato il software ArcGIS 9.3.
2. Fase di rilievo dati sul campo: i confini e le tipologie fisionomiche individuati nella fase precedente sono stati verificati attraverso ripetute e puntuali esplorazioni del territorio. In alcuni casi, in particolare in aree dove la vegetazione si presentava strutturalmente e floristicamente omogenea, per la descrizione e la definizione corretta della tipologia vegetazionale rinvenuta in campo sono stati eseguiti rilievi vegetazionali secondo il metodo fitosociologico. L'ubicazione ed i confini delle diverse aree rilevate sono stati georeferenziati mediante un ricevitore GPS palmare GARMIN 12 XL.
3. Fase di elaborazione dati e produzione cartografica: in questa fase è stata elaborata la carta della vegetazione sulla base dei dati rilevati in campo.  
Le comunità rappresentate sono fondate su criteri diagnostici che derivano dall'approccio fitosociologico, la cui nomenclatura fa riferimento al sistema sintassonomico. Le comunità rilevate che non presentavano condizioni sufficienti per l'attribuzione sociologica puntuale sono state inquadrate a livello di semplice aggruppamento. Per le comunità legnose e arbustive che, secondo l'analisi compositiva, non presentavano gli elementi sufficienti per un inquadramento puntuale, si è ricorso a tipologie di carattere fisionomico-strutturale. Si tratta soprattutto delle formazioni a *Pinus pinea* e *Pinus pinaster*, dei resti di vecchi impianti di *Populus* sp.pl. e delle boscaglie di *Eleagnus angustifolia* e *Tamarix gallica*, la cui fisionomia è definita da specie arboree od arbustive alloctone. All'interno delle pinete sono state cartografate aree con presenza di comunità ad alta valenza ambientale, come l'associazione *Schoeno-Erianthetum ravennae*. Alcuni settori fisionomicamente identificabili con formazioni artificiali a *Pinus* sp. pl. mascherano in realtà comunità di assoluta coerenza con la sequenza naturale del sistema dunale. In altri settori, invece, la pineta riserva un soprassuolo arbustivo ed erbaceo con blande coperture, compositivamente di scarso interesse e valore diagnostico, le cui specie, spesso a carattere ruderale, non permettono di formalizzare giudizi e interpretazioni di maggior dettaglio.

### **Cartografia floristica**

L'indagine floristica, avente l'obiettivo di aggiornare la cartografia della distribuzione di specie di elevato interesse quali *Epipactis palustris*, *Centaurea tommasinii* e *Kosteletzkya pentacarpos*, è stata rappresentata in tre tavole cartografiche: l'indagine è stata condotta in tutti i quattro siti di monitoraggio ma per il sito Ca' Roman non è stata segnalata alcuna presenza, pertanto la tavola non è stata inserita. La distribuzione delle specie è stata rappresentata mediante un reticolo cartografico definito da una maglia stabilita convenzionalmente (50 m) nelle tavole cartografiche.

### **Indagine popolazionistica di *Kosteletzkya pentacarpos***

*K. pentacarpos* vive in habitat quali paludi subsalse litoranee o presso i margini di bacini lacustri costieri ed è stata segnalata in pochi e sporadici siti in Italia e in tutta Europa. Attualmente in Italia risulta presente solo in alcune stazioni venete e in una località del litorale romagnolo, la stazione veneta di Punta Sabbioni rappresenta il sito in cui la specie si riscontra con il maggior numero di individui. Questa specie infatti è inserita nella categoria di rischio "Critically Endangered" (CR) (Ercole *et al.*, 2013; Conti *et al.*, 1997) e considerata "Gravemente minacciata" secondo la Lista Rossa della Flora italiana. È inclusa inoltre



7. Punta Sabbioni:  
*Kosteletzkya pentacarpos* (Foto  
D. Mion ).

nell'“Atlante delle specie a rischio di estinzione” e nell'Allegato II della Direttiva Habitat 92/43/CEE.

Vista l'importanza della conservazione di *K. pentacarpos* e la presenza significativa a Punta Sabbioni, a partire dal 2010, nell'ambito delle attività di monitoraggio, è stato inserito un rilievo specifico in questo sito d'indagine. L'indagine popolazionistica condotta è consistita in:

- individuazione di 10 quadrati permanenti di lato 1m in corrispondenza dei punti maggiormente rappresentativi dei popolamenti di *K. pentacarpos*;
- rilievo di ogni quadrato in cui sono stati raccolti i seguenti dati:
  - a. copertura percentuale al suolo della specie;
  - b. conteggio del numero di individui;
  - c. conteggio del numero di capsule.

### **Indagine popolazionistica di *Salicornia veneta* Pign. et Lausi**

Questa attività si è esplicata nella mappatura degli areali di distribuzione di *S. veneta*, specie endemica del nord Adriatico e considerata di interesse prioritario dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE. Dal 2011 il monitoraggio è stato svolto nei due siti di Alberoni e Ca' Roman ove si è proceduto a condurre i rilievi sui cinque quadrati permanenti rappresentativi.

Le “salicornie” sono piante annuali che crescono in ambienti estremi, in particolare habitat alofili più o meno umidi; sono infatti diffuse nelle zone costiere, su terreni salsi o subsalsi, in qualche caso anche con salinità superiore a quella marina, spesso inondati. Le caratteristiche morfologiche del genere sono: foglie apparentemente mancanti o rudimentali, fusti carnosi, fiori ridotti e immersi nella carnosità del segmento fertile in due gruppi opposti, triflori (Pignatti 1982). La distinzione a livello specifico si basa principalmente sui caratteri morfologici correlati con il corredo cromosomico.

La sistematica del genere *Salicornia* è molto complessa e problematica ed è stata oggetto di recenti revisioni e studi. L'analisi di numerosi campioni del golfo di Trieste ha rilevato importanti somiglianze tra *Salicornia veneta* e *S. emerici* (Kaligarič *et al.*, 2008) che hanno portato gli autori a sostenere la presenza nel settore nord-adriatico di solo due spe-



8. *Salicornia patula* a Punta Sabbioni (A) e *Salicornia veneta* a Ca' Roman (B).

cie: *S. emerici* (inclusiva di *S. veneta*) e *S. patula*. Altri studi (Kadereit *et al.*, 2012) hanno proposto *S. procumbens* come unico binomio inclusivo e unica salicornia tetraploide presente in tutto il bacino mediterraneo.

La specie è risultata presente nelle aree di monitoraggio solo nei siti Alberoni e Ca' Roman; a Punta Sabbioni è invece presente la congenera *Salicornia patula*. Nelle 5 Unità di Campionamento per ogni sito, con superficie di 1m<sup>2</sup> per ognuna, sono stati raccolti dati relativi alla copertura percentuale al suolo della specie e al conteggio del numero di individui.

Per praticità, e poiché tale specie è presente in aree circoscritte, si è scelto di localizzare i quadrati permanenti uno vicino all'altro formando un transetto di cinque Unità di Campionamento.

### **Dati climatici**

Ogni anno è stata descritta la situazione meteorologica che ha caratterizzato l'anno di monitoraggio in esame ed è stato eseguito un confronto con gli anni precedenti. L'attenzione si è focalizzata sui parametri climatici di temperatura e di precipitazione, in quanto forniscono un rapido e chiaro inquadramento sulla situazione climatica e rappresentano importanti elementi nel condizionare la distribuzione delle specie e delle comunità vegetali. I parametri climatici, acquisiti dalle stazioni meteorologiche di Punta Sabbioni (Monitoraggio della Matrice "Aria e Agenti Chimici"), dell'Osservatorio Meteorologico dell'Istituto Cavanis di Venezia, dalla centralina anemometrica del Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-Consorzio Venezia Nuova di Molo CEPPE e dalla Stazione Agrometeorologica di Cavallino (Treporti-ARPAV Teolo), sono stati confrontati con la serie storica 1962-2013.

In base ai dati raccolti ed elaborati, anche mediante un diagramma ombrotermico, si può concludere che nell'area oggetto di indagine il clima è di tipo subcontinentale, con carattere oceanico ed assenza di periodi di aridità. È caratterizzato da precipitazioni distribuite lungo tutto l'arco dell'anno; la massima piovosità si verifica nei mesi invernali di febbraio e marzo e a fine estate, nel mese di settembre. I minimi annuali di precipitazioni si hanno nei mesi di gennaio, maggio-giugno e di ottobre. Le temperature più elevate si registrano in luglio e agosto, mentre i minimi nei mesi di gennaio e dicembre. In nessun caso la curva delle precipitazioni scende sotto a quella delle temperature, pertanto non esiste un periodo di aridità inteso secondo Bagnouls et Gaussen (1957).

Dato l'oggetto del monitoraggio, si è ritenuto utile caratterizzare l'area dal punto di vista bioclimatico secondo Rivas-Martínez. Dai dati storici e attraverso l'utilizzo degli in-

dici climatici è stato possibile calcolare il bioclimate dell'area monitorata, che risulta essere Temperato Oceanico di tipo Submediterraneo, con termotipo Mesotemperato inferiore e ombrotipo Subumido inferiore.

## Analisi delle variazioni intercorse tra il 2005 ed il 2014

Di seguito vengono espresse delle valutazioni relative ai risultati dei dati raccolti nei 10 anni di monitoraggio della vegetazione terrestre, distinti per sito e per tipologia di rilievo.

### Punta Sabbioni

L'analisi delle variazioni osservate nei plot tra il 2008 ed il 2014 mostra complessivamente una sostanziale stabilità delle comunità vegetali osservate. All'interno di tale contesto meta-stabile, si ritiene tuttavia necessario porre l'accento su alcune situazioni osservate nel corso degli anni che si discostano dallo schema generale e che, al contempo, trovano riscontro nei risultati ottenuti sia dall'analisi della dinamica vegetazionale (trasetti dinamici) sia dall'indagine popolazionistica, nonché, in talune aree circoscritte, anche dai risultati cartografici (es. sostituzioni di aree a dominanza di *Phragmites australis* a vantaggio di *Puccinellio festuciformis*-*Juncetum maritimi*). In particolare i plot che hanno evidenziato fenomeni di variabilità degni di nota sono il PS5 (Aggr. a *Bolboschoenus maritimus*) ed il PS6 (*Schoeno-Erianthetum*).

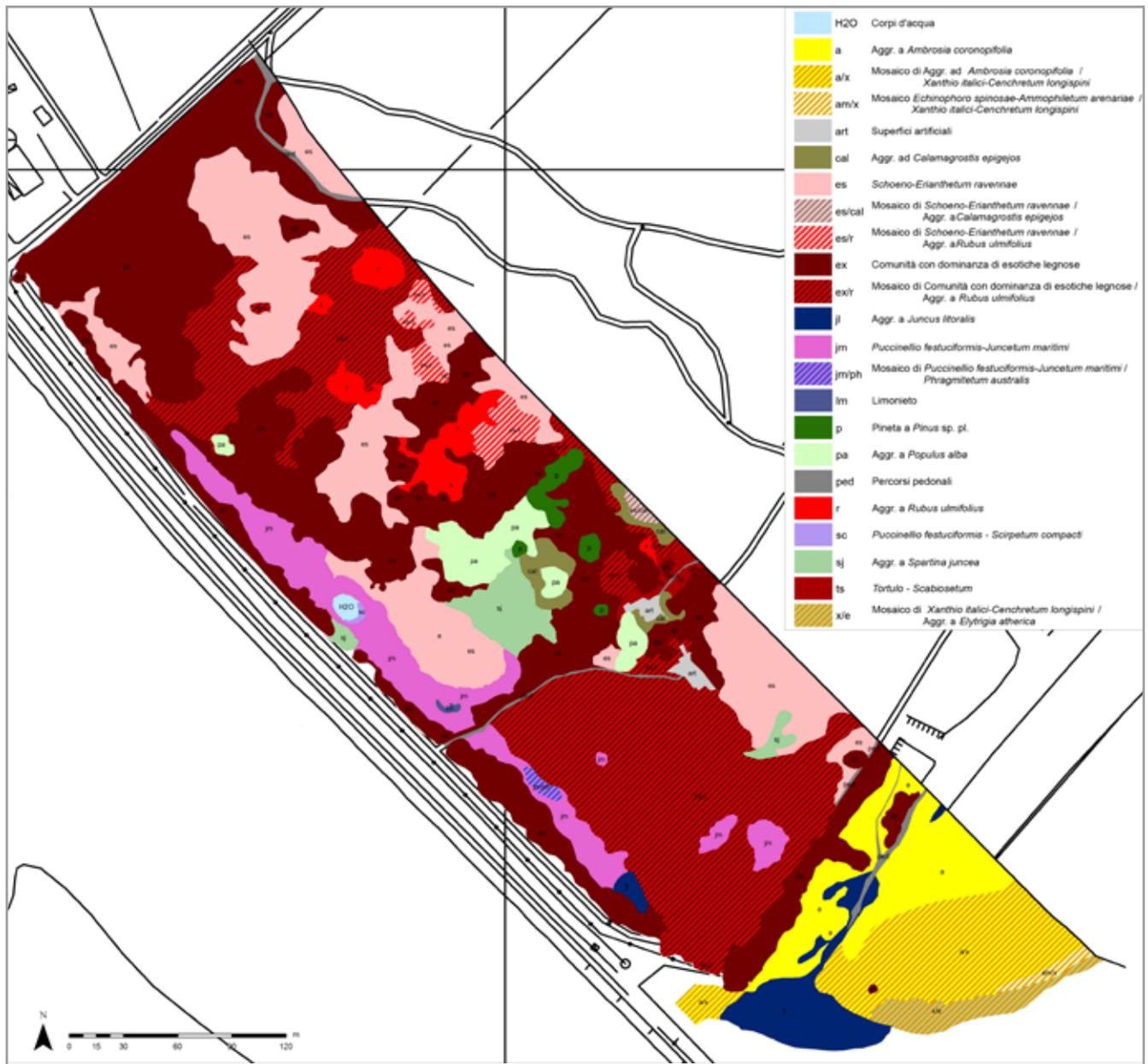
Per quanto riguarda il primo, è stata osservata nel 2009 la pressoché completa scomparsa della specie fisionomizzante la comunità, riduzione peraltro osservata anche a carico di *Phragmites australis*, specie caratterizzante tutta l'area circostante; negli anni successivi *Bolboschoenus maritimus* ha ripreso gli spazi ecologici e geografici precedenti al 2009, mostrando tuttavia in seguito una certa variabilità sia nei gradi di copertura sia dell'occupazione areale.

Similmente, il plot PS6 ha evidenziato nello stesso periodo un sensibile e statisticamente significativo decremento a carico delle specie caratteristiche della comunità vegetale di riferimento (*Erianthus ravennae* e *Schoenus nigricans*), nonché di alcune delle specie tipicamente presenti nell'area circostante, come ad esempio *K. pentacarpos*; anche in questo caso negli anni successivi è stato osservato un recupero ed un riallineamento della struttura floristica della comunità vegetale con quanto era presente tra il 2005 ed il 2008/2009, anche se in questo caso le coperture ed il numero di individui di *E. ravennae* si mantengono ridotte.

Per gli altri plot permanenti il dato comune è una variabilità di tipo stagionale legata principalmente al ciclo biologico delle specie, in particolare per le specie erbacee a ciclo vegetativo annuale.

La maggioranza dei trasetti dinamici sono collocati nel settore retrodunale, mentre solo il primo è stato posizionato all'inizio della spiaggia. Il numero di specie presenti a Punta Sabbioni è quasi il doppio delle specie presenti presso gli altri due siti e ciò probabilmente è attribuibile a fattori biogeografici; Punta Sabbioni è infatti l'unico sito che si trova in terraferma. Questo fa sì che i processi stocastici di colonizzazione ed estinzione avvengano molto più velocemente che in altri siti isolati come Ca' Roman e Alberoni. Tale conclusione è supportata dai risultati della stima della ricchezza di specie: in particolare a partire dal 2012 nel sito di Punta Sabbioni vi è più abbondanza, come numero di specie presenti, rispetto agli altri siti; dall'analisi delle foto aeree del 1955, si evince infatti che all'epoca i tre siti avevano tipologie fisionomiche paragonabili.

Alcune variazioni nel numero di specie registrate nel corso del 2006 sono dovute principalmente al riposizionamento di picchetti di segnalazione per i trasetti in cui erano

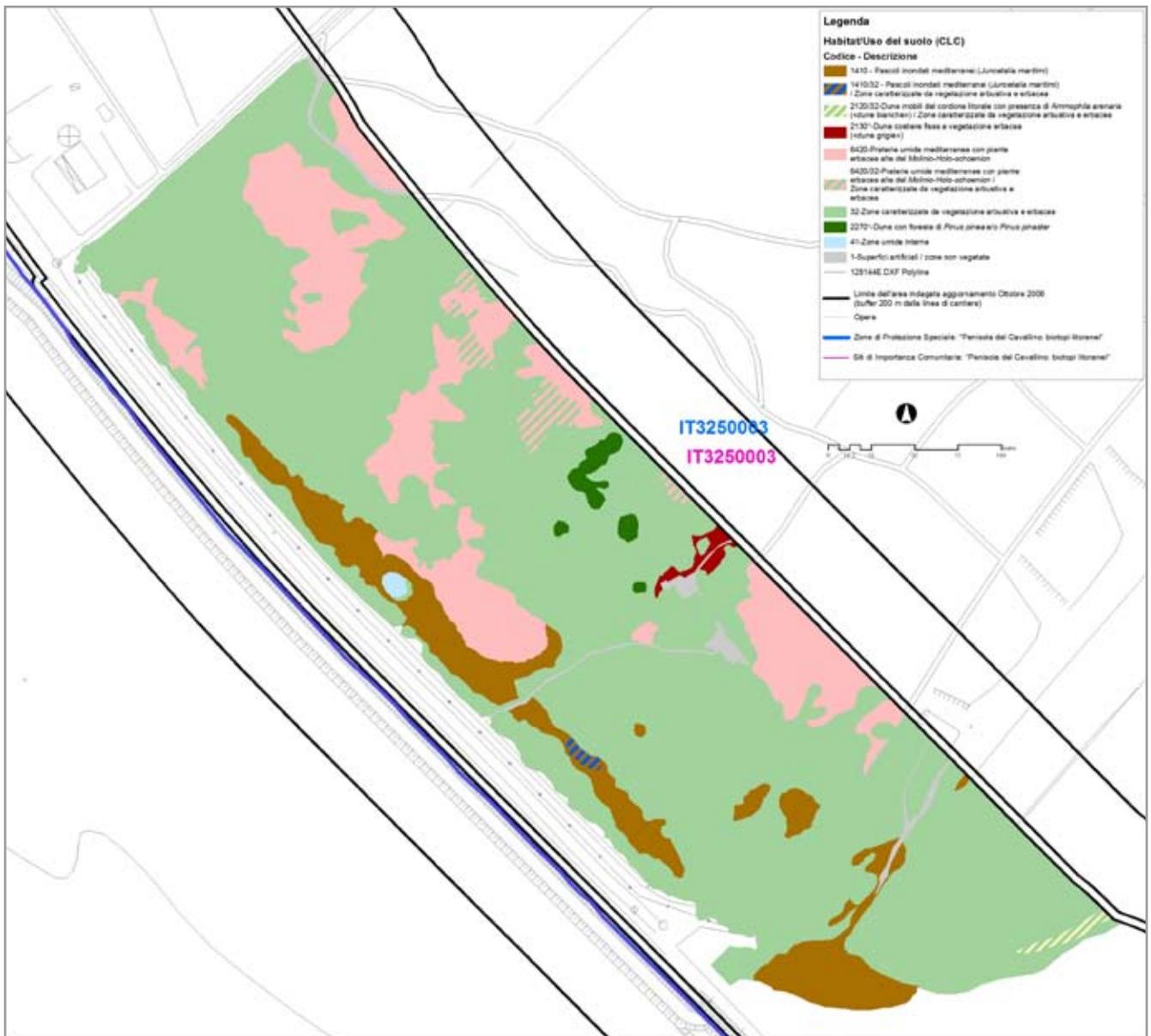


9. Punta Sabbioni: carta della vegetazione reale relativa all'area adiacente al cantiere (buffer 200 m).

stati rimossi (PS1, PS4 e PS9). Ciò ha determinato delle leggere traslazioni della linea di controllo.

Variazioni a Punta Sabbioni sono state rilevate nell'area psammofila (transetto PS1), nei diversi anni di monitoraggio fino al 2013, in cui si è osservata una forte variabilità nel numero e nella copertura delle specie attribuibili per lo più al disturbo causato dal passaggio dei bagnanti. Questa situazione è mutata negli ultimi due anni in seguito all'ampliamento dell'area interdetta ai bagnanti ad opera dei Servizi Forestali. Dopo tale intervento infatti si è riscontrato un aumento graduale del numero di specie e delle coperture fino all'ultimo rilievo del 2014. Si è inoltre creata una ampia area a junceto sull'arenile con significativa presenza di piante alofile.

Nell'area umida interna, in corrispondenza di alcune Unità di Campionamento dei transetti PS5 e PS 6, a partire dal 2008 fino al 2011 si sono osservati fenomeni di stress a carico della vegetazione presente e una forte riduzione delle coperture. I dati più rilevanti sono gli incrementi della copertura di *Rubus ulmifolius* e la sua comparsa in UC



dove nelle precedenti campagne non era segnalata. Tale modificazione si associa spesso all'interno dello stesso transetto con l'entrata di specie esotiche come *Amorpha fruticosa* e *Lonicera japonica*. Altro elemento importante è il decremento della copertura di *Juncus maritimus* e *Juncus litoralis*, oltre a quella di *Erianthus ravennae* e *Schoenus nigricans*, con variazione di intensità sensibile in alcuni casi. Si è inoltre osservata la riduzione, sia pur localizzata, delle coperture di *K. pentacarpos*, entità di grande pregio naturalistico. Considerato che tali modificazioni interessano esclusivamente una fascia di circa 20 m lungo il perimetro di cantiere e non tutta l'area monitorata, si può supporre che quanto osservato non sia da correlare con gli andamenti meteo generali, in quanto i dati meteo non presentano eventi di siccità anomali rispetto agli anni precedenti, bensì possa essere dovuto ad altri fattori di stress locali. Le cause possono essere ricercate anche nelle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, ma i dati disponibili non coprono l'area di monitoraggio pertinente ai rilievi della vegetazione qui presentati. L'analisi delle infestanti e il confronto dei dati raccolti nel corso dei dieci anni di monitoraggio (2005-2014) non evidenziano anomalie o variazioni degne di nota. I cam-

10. Punta Sabbioni: carta degli Habitat secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE (buffer 200 m).

biamenti registrati sono in generale contenuti e derivanti essenzialmente dalla variabilità stagionale della crescita delle piante e da naturali processi evolutivi delle componenti coinvolte.

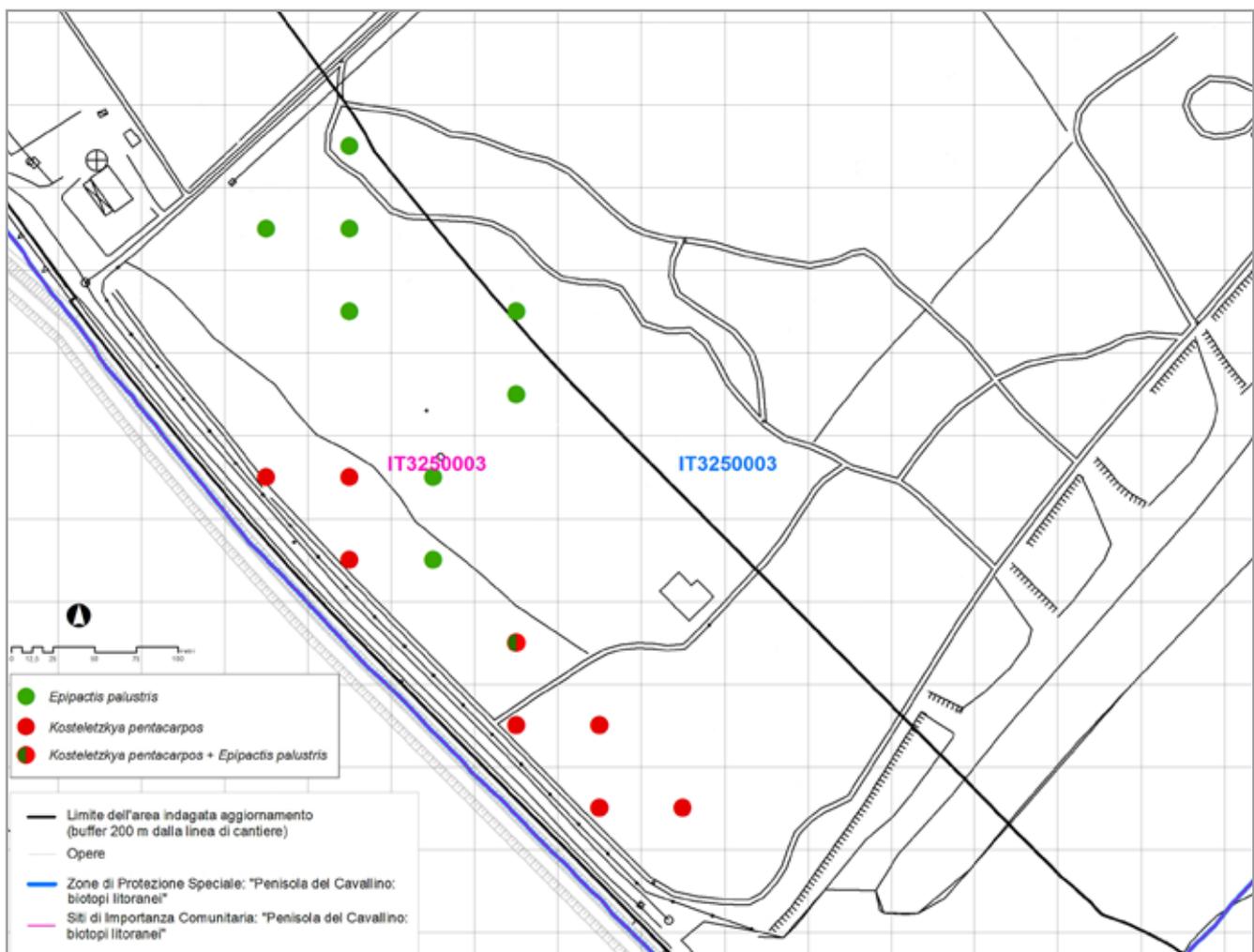
Nel tempo sono stati registrati dei localizzati e progressivi aumenti dei valori di copertura delle esotiche *Amorpha fruticosa* e *Lonicera japonica* (in particolar modo nei tratti 2, 3 e 7); tuttavia, i regolari interventi di gestione condotti da parte dei Servizi Forestali Regionali contengono discretamente sostanziali e duraturi incrementi delle specie citate.

Degna di nota appare anche l'osservazione della comparsa (sia lungo il transetto di monitoraggio delle infestanti, sia nelle zone non boscate dell'intero buffer di indagine) di individui isolati di *Baccharis halimifolia* a partire dal 2010, che dopo un'iniziale fase di sviluppo vegetativo, hanno evidenziato stress vegetativi che hanno portato alla morte di alcune piante.

Si mantiene costante negli anni la presenza di alcuni esemplari di *Epipactis palustris* (Figura 12), specie di interesse conservazionistico (Tabella 2), in particolare nella porzione interna dell'area di indagine.

L'indagine popolazionistica di *Kosteletzkya pentacarpos*, svolta a Punta Sabbioni a partire dal 2010, ha evidenziato come le forzanti ambientali che hanno generato le variazioni osservate nelle comunità vegetali nelle quali la specie oggetto di indagine esprime il proprio ciclo vegetativo (*Schoeno-Erianthetum* e *Puccinellio festuciformis-Juncetum maritimi*), seppur con ritardo, hanno infine influito anche su *Kosteletzkya pentacarpos*. Per la prima volta, infatti, nel 2013 è stato registrato un sensibile decremento nel numero

11. Punta Sabbioni: Carta floristica relativa all'area adiacente al cantiere (buffer 200 m).



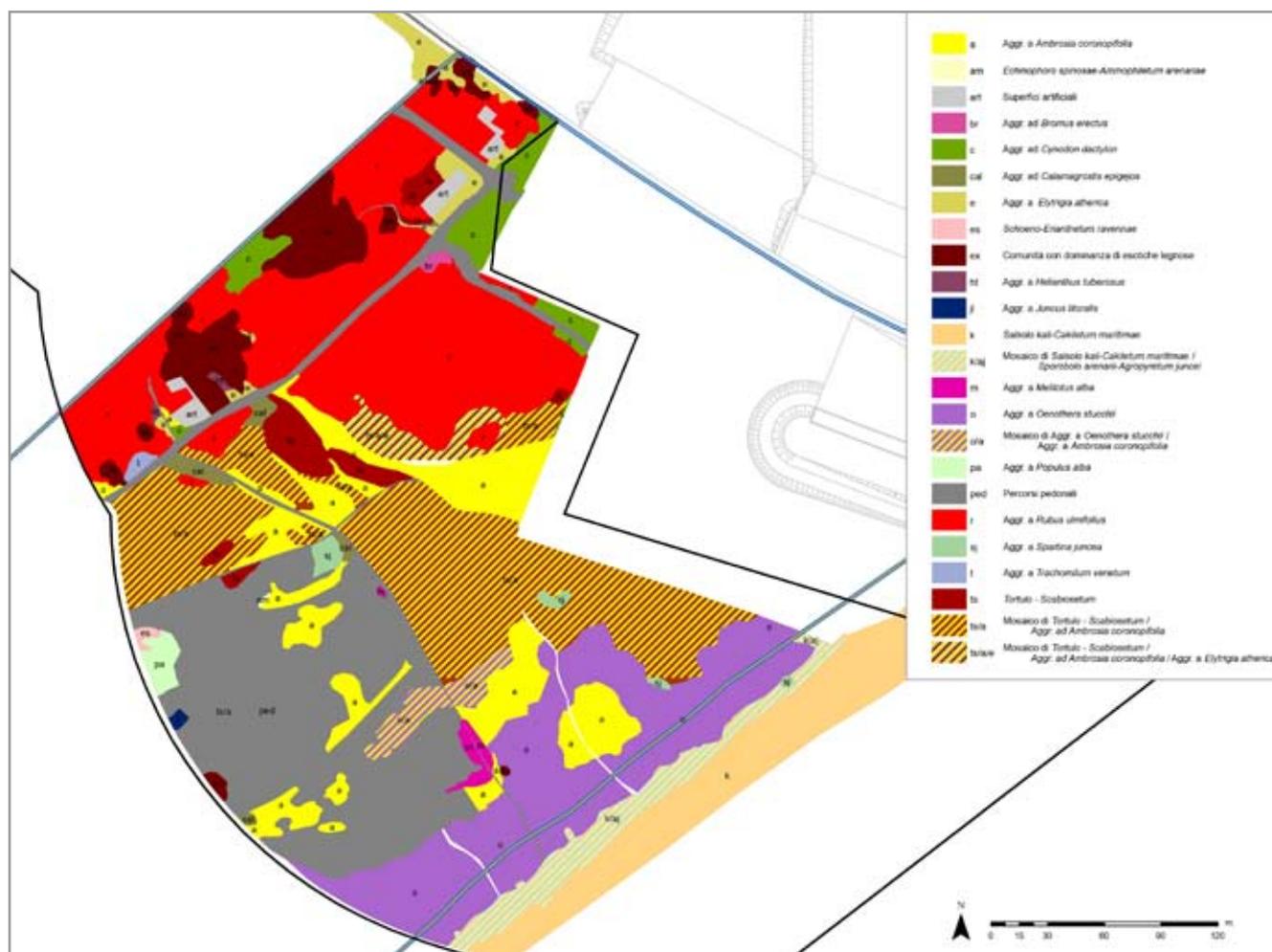


12. *Epipactis palustris* osservato a Punta Sabbioni (Foto D. Mion).

di capsule mature non associato ad una correlata diminuzione nel numero di individui che però si presentavano tutti immaturi e/o di ridotte dimensioni. In seguito sono stati osservati segnali di ripresa anche se permane una situazione non in linea con quanto era stato osservato fino al 2013.

Riassumendo, i dati a disposizione non consentono di stabilire con ragionevole certezza la presenza di correlazione tra le attività di cantiere e le variazioni sopra descritte; i soli

13. San Nicolò: carta della vegetazione reale relativa all'area adiacente al cantiere (buffer 200 m).



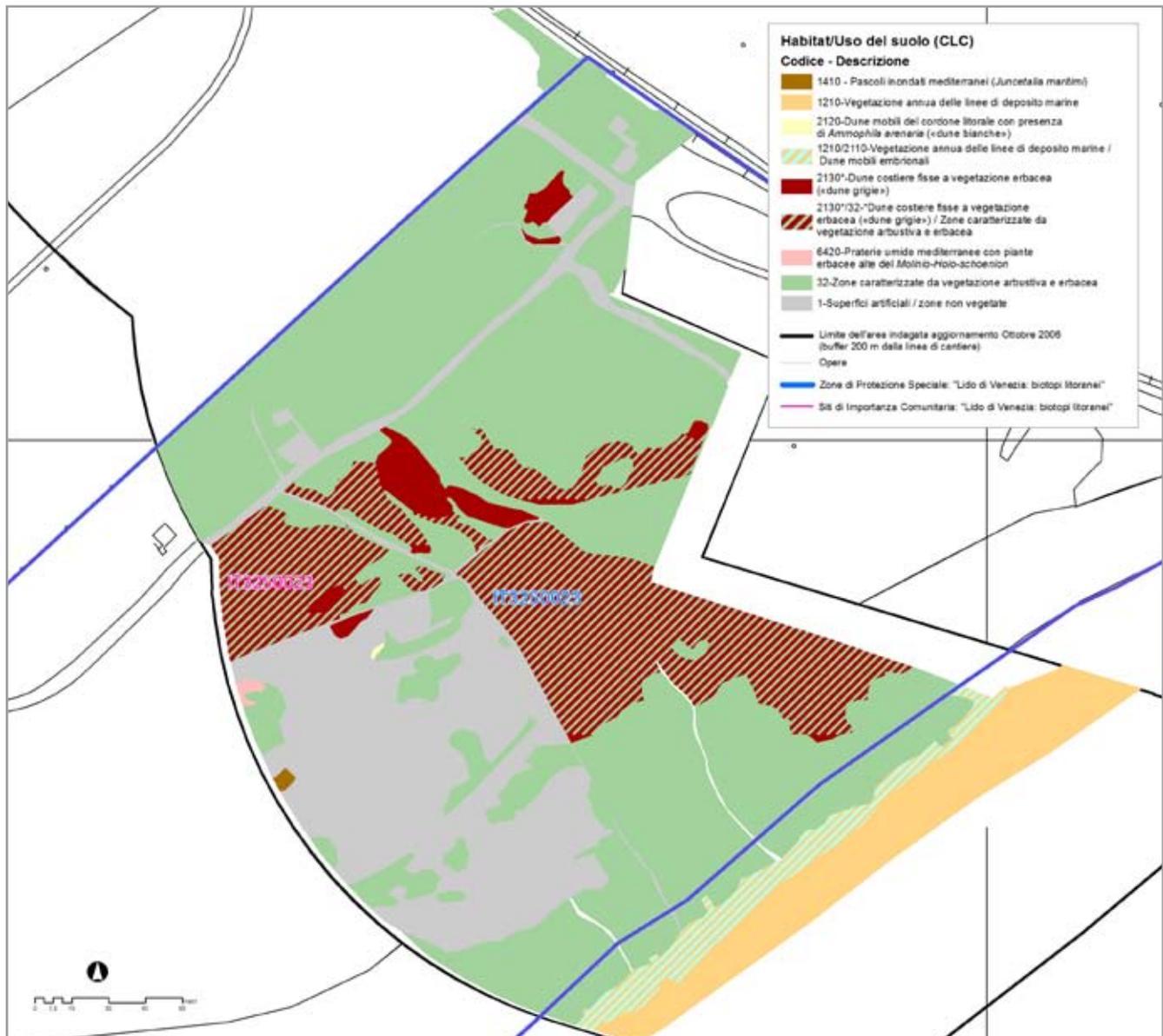
fattori perturbativi osservati in alcuni casi, che hanno determinato con certezza variazioni delle coperture in qualche unità di campionamento, sono da ricondursi alla pressione antropica che caratterizza in maniera diffusa le aree di indagine (motocross, passaggio e stazionamento di bagnanti o visitatori, ecc.).

### San Nicolò

L'attività di monitoraggio, iniziata nel 2008, ha riguardato in questo sito solo l'analisi della dinamica vegetazionale con plot permanenti.

Il controllo dei dati evidenzia una variabilità di tipo stagionale legata al ciclo biologico delle specie e in particolare delle terofite, fenomeno che coinvolge molte delle aree di controllo. Questo aspetto è ben evidente nel plot inserito su una comunità tipica delle dune embrionali e dominata da *Elymus farctus* ma con un corteggio ricco di specie annuali che svolgono interamente il loro ciclo vegetativo entro una stagione. Tra queste le più frequenti sono: *Vulpia fasciculata*, *Salsola kali*, *Cenchrus longispinus*, *Silene colorata*. Altre variazioni sono dovute alle dinamiche evolutive naturali, non di tipo stagionale, della vegetazione e in particolare i plot che sono impostati su comunità riferibili al *Tortulo-Scabiosetum* registrano negli anni cambiamenti legati soprattutto all'aumento della copertura di alcune delle specie indicatrici come *Scabiosa argentea*, *Carex liparocarpos*, *Petrorhagia saxifraga*, *Cerastium semidecandrum*. Mentre il dato riferito ad un'area

14. San Nicolò: carta degli Habitat secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE (buffer 200 m).



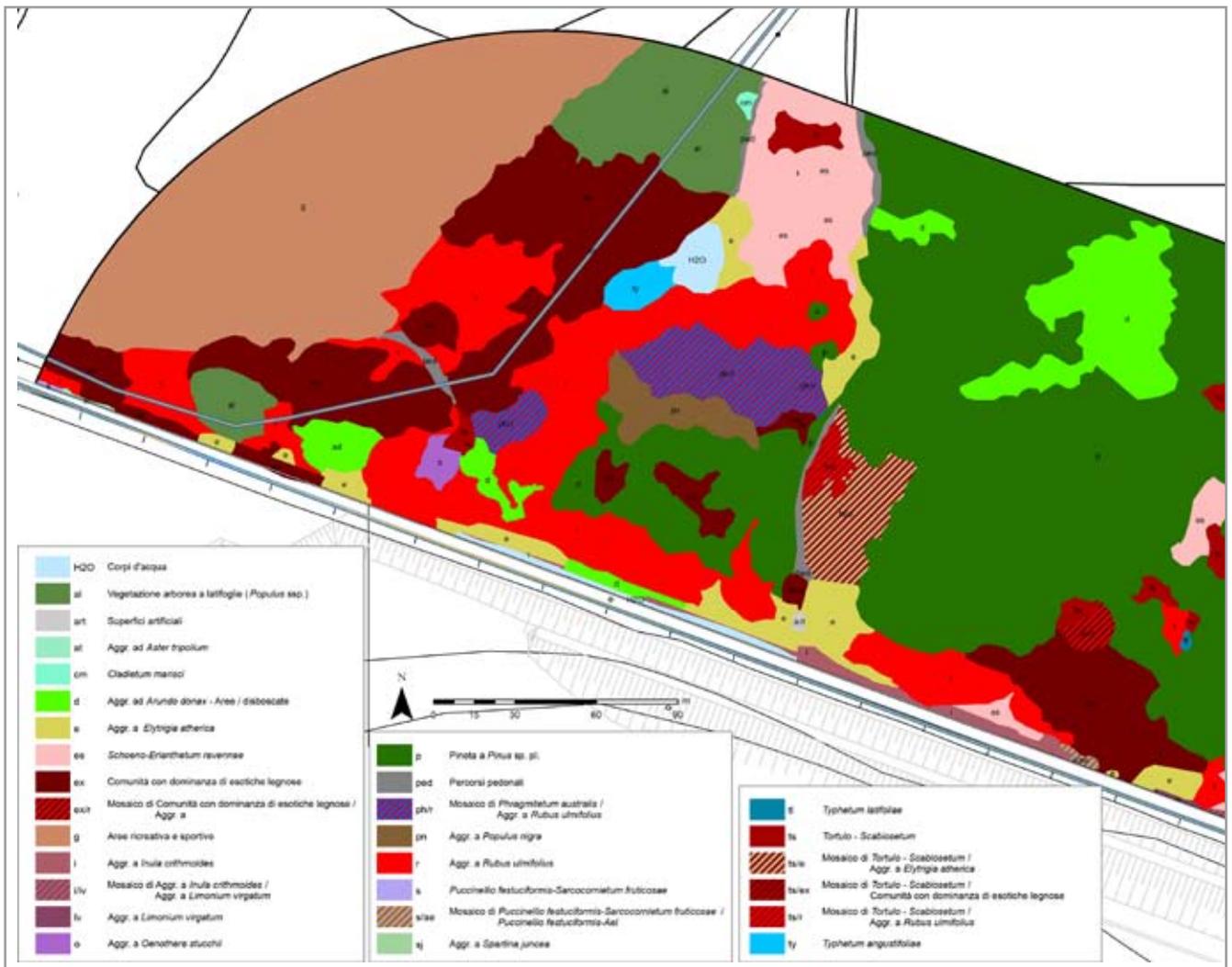
occupata da *Schoeno-Erianthetum* risulta essere il più stabile, soprattutto nello strato erbaceo, si rileva invece un leggero incremento della copertura dello strato arbustivo a carico di *Populus alba* e *Salix cinerea*.

## Alberoni

I quadrati permanenti impostati su comunità riferibili all'associazione *Schoeno-Erianthetum* sono tendenzialmente i più stabili. Sono state rilevate alcune variazioni nella composizione floristica e in particolare la comparsa di nuove specie nello strato arbustivo come *Pyracantha coccinea*, *Ligustrum vulgare*, *Robinia pseudacacia*, *Clematis vitalba*, mentre altre specie rilevate nelle prime campagne di monitoraggio non sono state osservate successivamente. In particolare nel Plot 1 non è stata confermata, dopo il 2008, la presenza nello strato erbaceo di *Epipactis palustris*, *Stachys recta* subsp. *subcrenata*, mentre sono comparse altre specie come *Carex distans* ed *Elymus athericus*. I dati relativi alla copertura totale della comunità e dei diversi strati costitutivi si è mantenuta costante negli anni.

Negli altri plot permanenti il dato comune è una variabilità di tipo stagionale legata al ciclo biologico delle specie e in particolare delle terofite: molte di queste sono rilevabili solo in primavera e questa periodicità è stata registrata ogni anno di monitoraggio, mentre altre hanno una presenza meno regolare e ciclica. In generale nei plot inseriti su

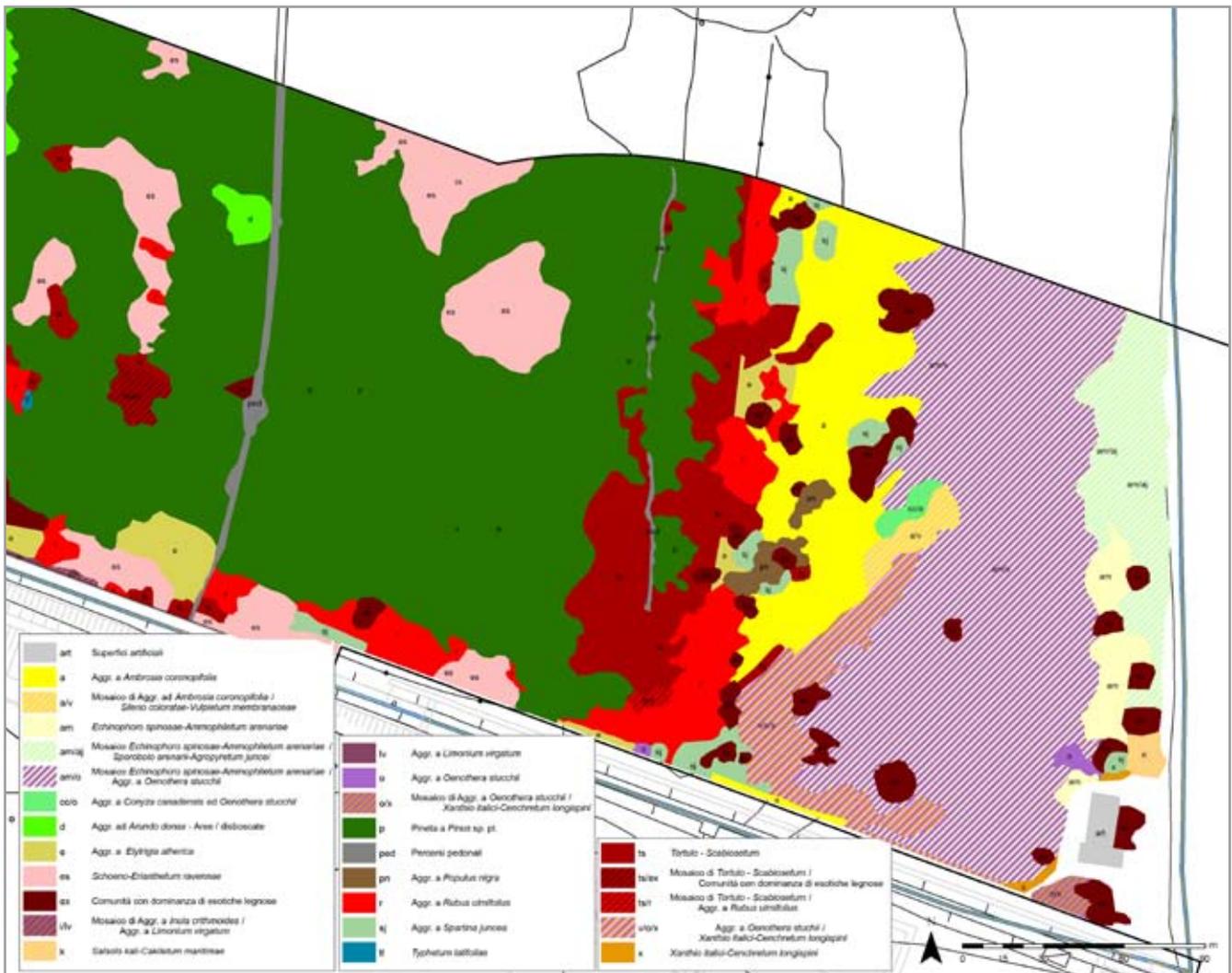
15. Qui e nella pagina di fronte, Alberoni: carta della vegetazione reale relativa all'area adiacente al cantiere (buffer 200 m).



comunità riferibili al *Tortulo-Scabiosetum* si è rilevato un aumento della copertura dello strato muscinale che indica un processo verso condizioni di maggior stabilità e minore disturbo.

Nel rilievo di un ammofileto (Plot 5) più interno rispetto alla fascia attuale delle dune mobili, il dato più interessante è la comparsa negli ultimi anni di uno strato muscinale con *Tortula ruralis* e nello strato erbaceo di *Fumana procumbens*; sono questi elementi importanti che indicano una fase evolutiva verso comunità tipiche di dune più stabilizzate. La variabilità generale nelle diverse campagne è stata a volte correlata ai fattori climatici. In particolare primavere siccitose (2007) o piovose (2013) hanno determinato variazioni, anche sensibili, sul dato della copertura di alcune delle specie costitutive. Nel transetto A2, impostato su un ammofileto, ad esempio, forti venti invernali e primaverili hanno determinato nel 2012 un aumento di accumulo di sabbia con decremento della copertura di specie stabilizzatrici e conseguente colonizzazione da parte di specie annuali.

Altri cambiamenti sono dovuti ai processi evolutivi naturali delle comunità coinvolte. In generale i transetti inseriti su comunità più stabili, nella fascia delle dune consolidate, non presentano variazioni di particolare importanza; si rileva negli anni un naturale aumento, se presente, della copertura dello strato arbustivo. Nei transetti impostati su ammofileti del primo settore interno rispetto alla linea delle dune mobili, invece, negli ultimi anni è stata osservata la comparsa di specie più tipicamente legate al *Tortulo-Scabiosetum*, come *Fumana procumbens* e *Stachys recta* subsp. *crenata*.





I transesti dell'ammofiletto (A1 e A2) in prossimità della spiaggia sono stati spesso oggetto di azioni di disturbo, probabilmente ad opera dei bagnanti e di altri utilizzatori dell'arenile.

Le variazioni più frequenti e registrate nel corso delle diverse campagne di monitoraggio delle infestanti sono correlabili alla variabilità stagionale che regola i cicli biologici di alcune delle specie monitorate, in particolare le terofite. Altro aspetto sono i cambiamenti legati alla crescita delle specie legnose che determinano nel tempo variazioni importanti della copertura degli strati superiori.

Nel 2011 è stata osservata per la prima volta la presenza di *Ambrosia artemisiifolia* (figura 17) in un tratto di controllo lungo la fascia a ridosso della linea di cantiere. Originaria dell'America settentrionale, la specie rappresenta un pericolo per salute umana in relazione alla sua elevata potenzialità allergenica (Lomagno *et al.*, 1984). Dotata di una grande adattabilità ecologica cresce in ambienti molto disturbati dove tende a formare popolazioni pure e numerose. Nella regione Piemonte l'incidenza di questa specie è talmente preoccupante che nel 2005 è stato avviato, da parte dell'Assessorato alla tutela della Salute e Sanità, un programma di controllo e contenimento della sua diffusione.

16. Alberoni: carta degli Habitat secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE (buffer 200 m).

17. *Ambrosia artemisiifolia*  
osservato a Punta Sabbioni  
(Foto I. Cavalli).



Alcuni cambiamenti sono stati determinati dalle variazioni dei limiti del cantiere. In particolare nel 2007 la nuova linea di confine dell'area di estensione del cantiere ha reso necessario lo scostamento di qualche metro dei primi 5 tratti. Con lo spostamento sono cambiate le lunghezze di alcuni di essi ed è stato necessario inserire un nuovo tratto, dove la presenza di una discontinuità compositiva ha imposto l'individuazione di un nuovo settore di controllo. Inoltre la traslazione dei tratti di monitoraggio ha condizionato alcune variazioni nel dato compositivo e nelle coperture delle specie.

Nel 2008 in un tratto di controllo è stato effettuato un intervento di rimozione parziale della copertura vegetale per l'inserimento del passaggio pedonale che conduce alla spiaggia, lungo il limite esterno della palizzata di confine del cantiere. L'asporto della componente vegetale ha stimolato una veloce ricolonizzazione da parte di specie pioniere molto aggressive come le esotiche *Cenchrus longispinus* e *Oenothera stuebelii*.

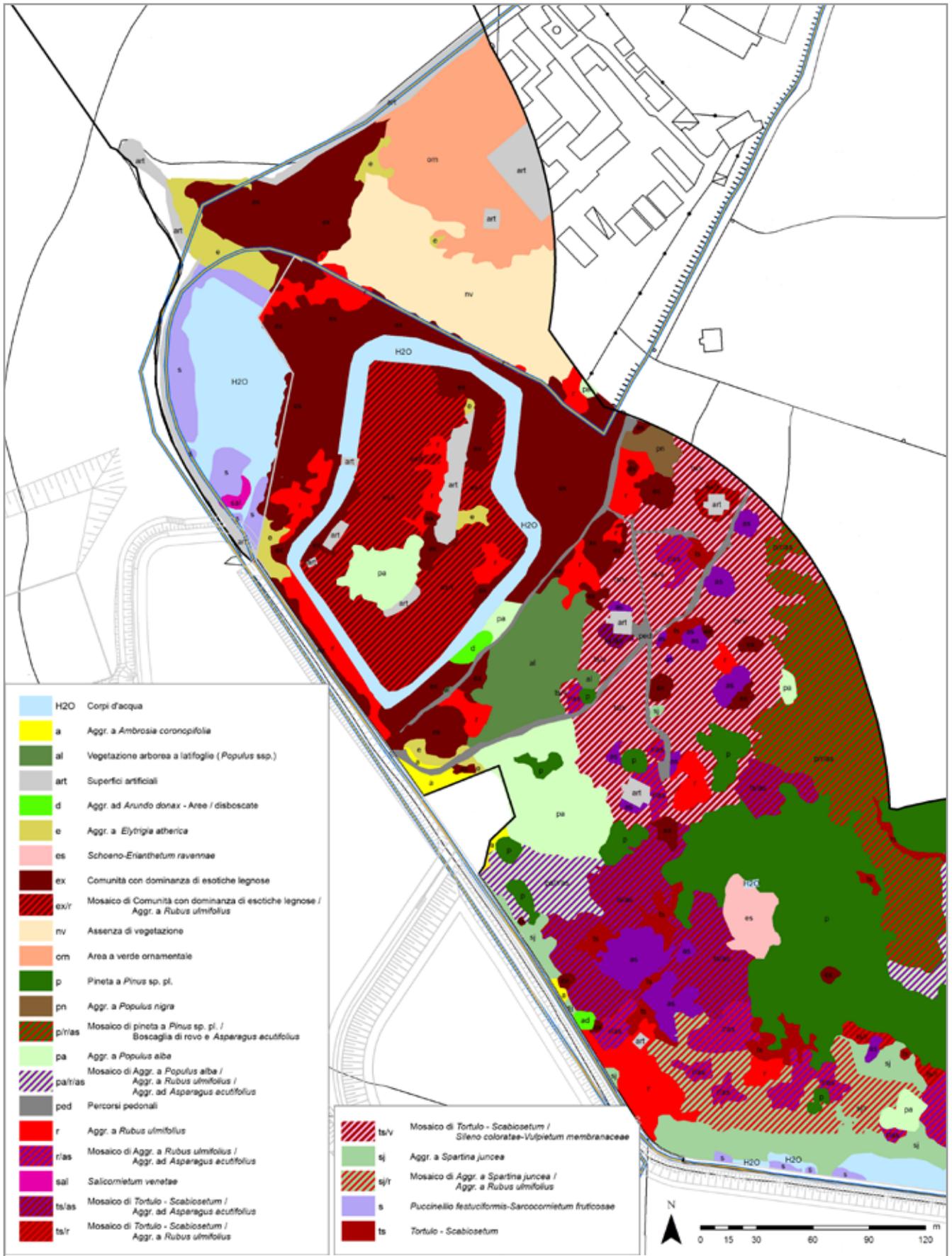
In generale i picchi di presenza di specie come *Cenchrus longispinus*, *Ambrosia coronopifolia*, *Conyza canadensis* sono stati spesso correlati a interventi di rimozione del cotico erboso che hanno messo a nudo la sabbia. In queste fasi di ricolonizzazione sono stati rilevati elevati valori di copertura di queste specie che col tempo si sono assestati su valori più contenuti.

18. Immagini relative al Plot 1 di Ca' Roman. Appare evidente la trasformazione e l'evoluzione della vegetazione osservata nel 2008 (A) e nel 2013 (B).

### Ca' Roman

Il monitoraggio ha evidenziato, come per gli altri siti, una variabilità di tipo stagionale legata al ciclo biologico delle specie e ai processi dinamico-evolutivi delle comunità rilevate. Caso esemplare è il Plot 1 (figura 18), impostato inizialmente su una comunità





riferibile al *Tortulo-Scabiosetum* e che ha denotato in seguito un'evidente modifica della vegetazione a seguito del naturale sviluppo della componente legnosa. Nel corso degli anni si è registrato infatti un aumento consistente della copertura dello strato arbustivo, da valori del 5% nel 2008 a valori attuali del 70%, con una diminuzione della copertura del comparto erbaceo (da 85% al 55%). Si sono quindi create condizioni di maggior sciafilia che hanno determinato la scomparsa di alcune specie e in particolar modo delle annuali *Vulpia fasciculata*, *Phleum arenarium*, *Silene conica*, *Cerastium semidecandrum*. La stessa dinamica è stata osservata nei transetti inseriti sulla stessa comunità.

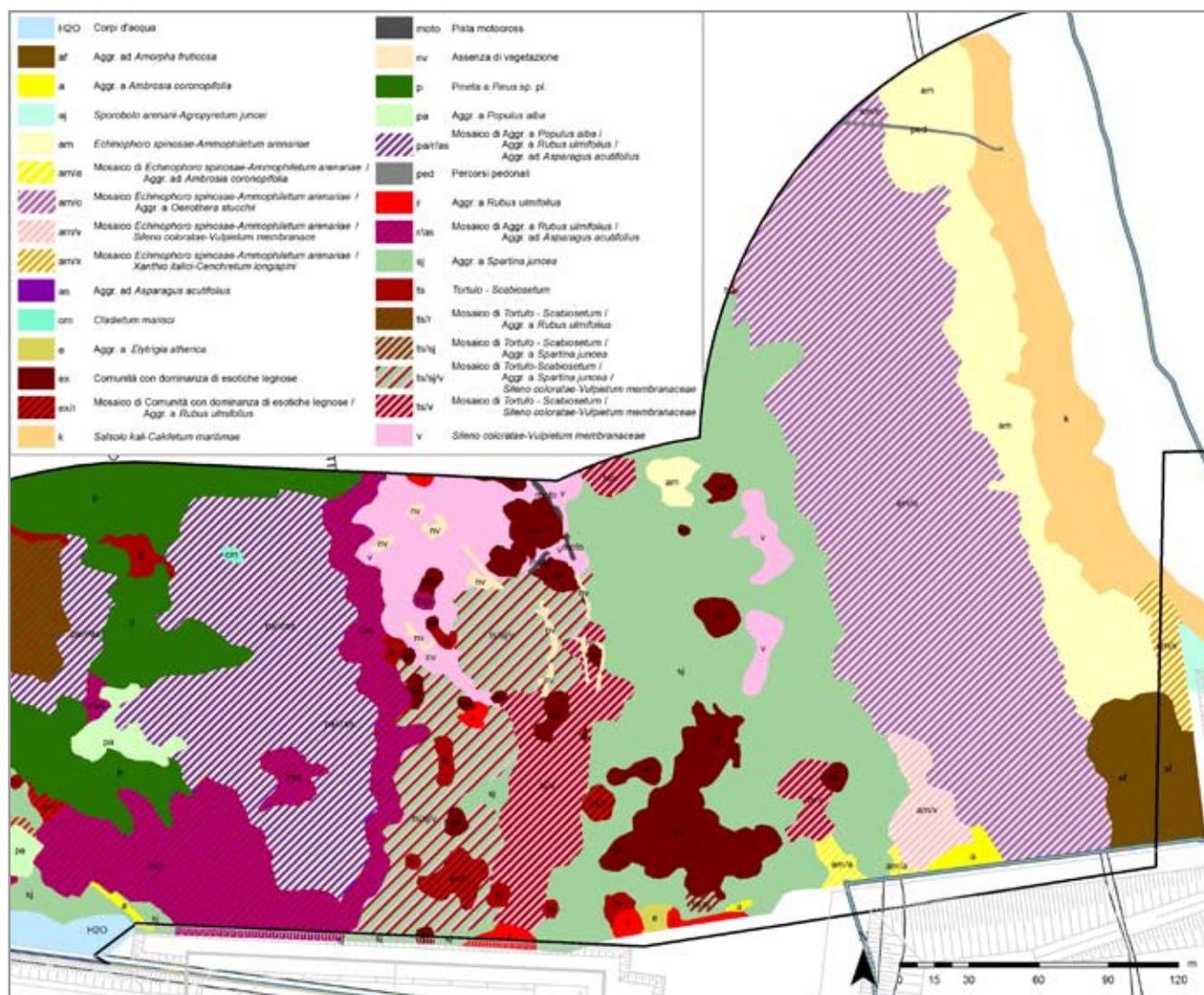
Il dati di monitoraggio evidenziano, come per gli altri siti, una variabilità di tipo stagionale legata al ciclo biologico delle specie e ai processi dinamico-evolutivi delle comunità rilevate.

Nel Plot 3, inserito sempre su un *Tortulo-Scabiosetum*, si è rilevato un aumento della copertura dello strato muscinale e di *Carex liparocarpus*; variazioni queste che denotano condizioni di maggior rappresentatività e stabilità della comunità.

Gli altri plot risultano essere più stabili nel tempo con variazioni contenute.

Come per il sito degli Alberoni, alcuni cambiamenti rilevati nel monitoraggio dei transetti dinamici sono strettamente correlati a fenomeni naturali come la variabilità climatica e i processi evolutivi delle comunità monitorate.

19. Ca' Roman: carta della vegetazione reale relativa all'area adiacente al cantiere (buffer 200 m).



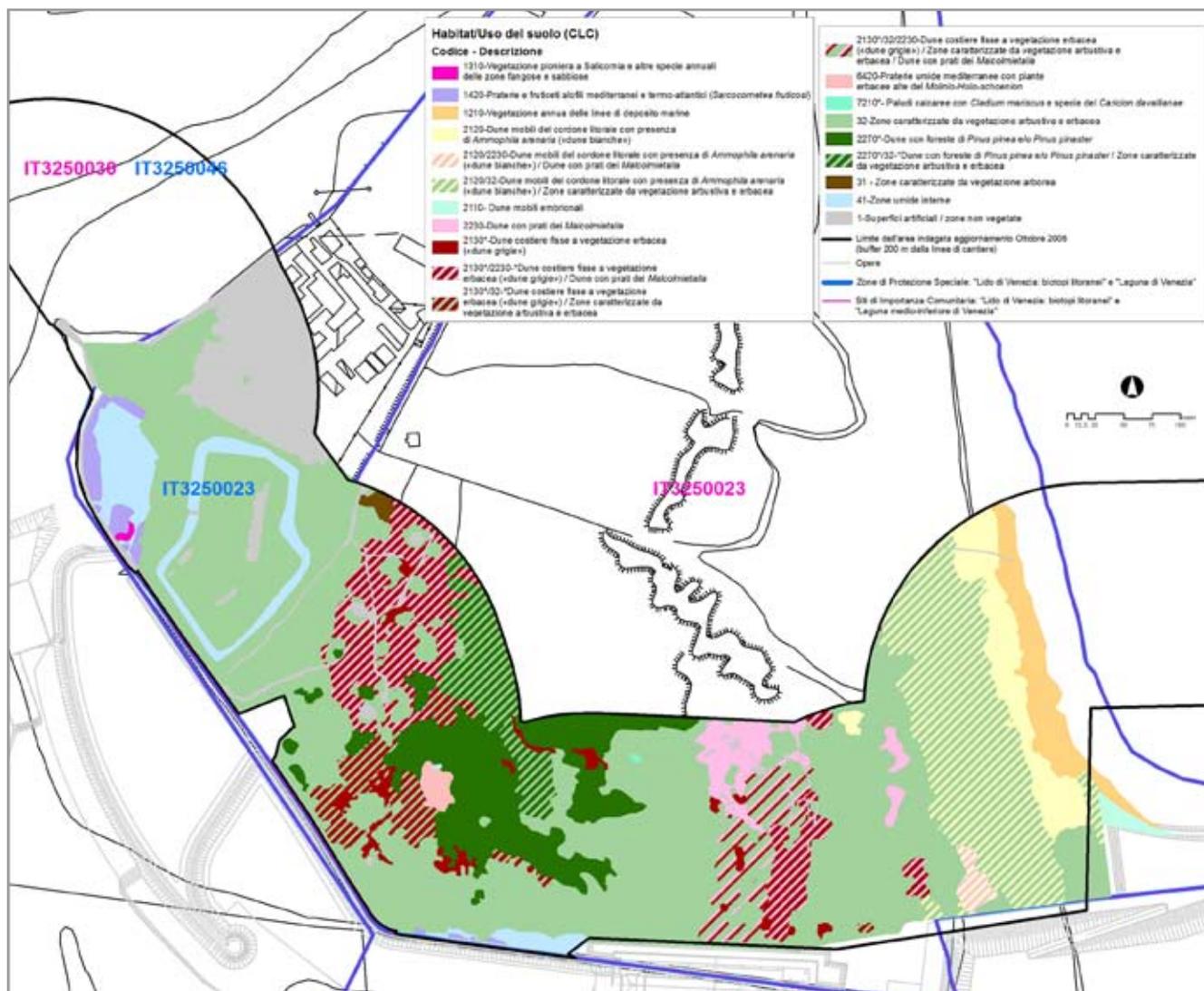
Degli interventi legati alle attività di cantiere hanno procurato alcuni impatti temporanei. Nel 2006 l'asporto di sabbia che ha coinvolto il primo tratto del transetto CR8 ha procurato inevitabili variazioni del dato compositivo. Nella primavera del 2008 due transetti (CR9 e CR8) presentavano una fascia, di circa 5m, a ridosso del settore interno della diga, ripulita dalla copertura vegetale dello strato erbaceo. In ambedue i casi negli anni si è avuto un ripristino spontaneo delle condizioni iniziali dello strato rimosso.

Nello stesso anno nel transetto CR10 impostato su una comunità alofila con dominanza di *Sarcocornia fruticosa* presentava i primi metri sommersi dall'acqua e completamente privi di copertura vegetale, rilevata invece nelle precedenti campagne. Negli ultimi anni di monitoraggio si è registrato un evidente aumento della stabilità vegetazionale grazie all'aumento della copertura di *Sarcocornia fruticosa* e *Atriplex portulacoides* e alla diminuzione della presenza di *Suaeda maritima*.

Nel 2006 due tratti di controllo sono stati sostituiti in quanto inglobati all'area di cantiere a seguito della riprogettazione del cantiere.

Nel 2007 è stato scavato un solco largo 1,5 m e profondo circa un metro con rimozione della copertura vegetale tra la barriera fonoassorbente, che sostituisce la rete che segnava il confine del cantiere e l'area di controllo, coinvolgendo direttamente i primi tratti monitorati. Nella fase di ricolonizzazione del solco, le specie più aggressive sono state *Ambrosia coronopifolia*, *Cenchrus longispinus*, già presenti nelle precedenti cam-

20. Ca' Roman: carta degli Habitat secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE (buffer 200 m).



pagne ma con coperture meno elevate, e sono comparse nuove specie come *Senecio inaequidens*, *Chenopodium album* e successivamente *Erigeron sumatrensis*, *Symphotrichum squamatum*, *Bromus sterilis*, e specie legnose come *Robinia pseudacacia*, *Tamarix gallica*, *Eleagnus angustifolia*, *Euonymus japonicus* e *Amorpha fruticosa*.

Sempre per attività di tipo cantieristico, nel 2008 è stata ripulita una fascia di circa 5m, in corrispondenza di un tratto oggetto di monitoraggio a contatto con la diga, con asportazione della copertura vegetale e con eliminazione di porzioni della prateria a *Spartina versicolor*. La fase di ricolonizzazione ha visto l'aumento sensibile della presenza di alcune esotiche come *Ambrosia coronopifolia* e *Oenothera stueckii* e la comparsa di nuove specie ed in particolare *Lonicera japonica* e *Chenopodium album*.

Di particolare importanza nel 2010 è la segnalazione della presenza di *Rosa rugosa*; specie ad areale est-asiatico introdotta per scopi ornamentali e naturalizzata soprattutto lungo le coste sabbiose. È stata segnalata per la prima volta nel Veneto nel 2004 sulle dune costiere del litorale di Caorle (Costalonga, 2004).

Nell'autunno 2011 è stato inserito un nuovo tratto, nel settore più prossimo all'arenile, a causa della comparsa, a contatto con la barriera fonoassorbente lungo il buffer di controllo, di *Amorpha fruticosa* che sviluppava una copertura prossima al 25%, associata ad altre infestanti.

## Considerazioni conclusive

In sintesi, il monitoraggio ha evidenziato che le più diffuse modificazioni nell'assetto flo-ro-vegetazionale sono spesso correlabili alle vicende climatiche che hanno visto di anno in anno periodi vegetativi fortemente aridi alternati ad altri caratterizzati da intensa piovosità; ovviamente la componente vegetazionale che meglio ha correlato con queste modificazioni è stata quella terofitica. Cambiamenti compositivi e strutturali si sono potuti invece osservare a seguito di processi naturali di evoluzione della vegetazione, come ad esempio l'ingresso di entità arbustive nell'ambito di comunità erbacee delle dune stabilizzate. In alcuni casi invece, come il locale ingresso e successivo forte sviluppo demografico dell'esotica *Amorpha fruticosa* a Ca' Roman, la causa è riconducibile direttamente ad attività cantieristiche. Restano ancora dubbie invece le cause che hanno portato a significativi cambiamenti quantitativi soprattutto nella composizione di comunità naturali igrofile, come a Punta Sabbioni.

## Ringraziamenti

Si ringraziano Martina Cazzin, Giorgio Depero, Andrea Pierini e Silvia Gaballo per la collaborazione nel corso delle attività.

## Bibliografia

- Bagnouls F., Gaussen H. (1957) Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Geogr.*, 355: 193-220.
- Braun-Blanquet (1964) *Pflanzensoziologie*. Springer, Wien.
- Cannone N. (2004) Minimum area assessment and different sampling approaches for the study of vegetation communities in Antarctica. *Antarctic Science* 16 (2): 157-164
- Chytrý M. & Otýpková Z. (2003) Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *Journal of Vegetation Science* 14: 563-570.
- Conti F., Manzi A., Pedrotti F. (1997) *Liste rosse regionali delle piante d'Italia*. Dipartimento di Botanica ed Ecologia, Università di Camerino, Camerino.
- Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C. (2005) *An Annotated Checklist of the Italian Vascular Flora*. Ed. Palombi, Roma
- Costalonga S. (2004) Segnalazioni Floristiche venete. *Quaderni del Museo Naturalistico-Archeologico Vicenza*, 8: 136.
- Ercole S., Giacanelli V., Bertani G., Brancaloni L., Croce A., Fabrini G., Gerdol R., Ghirelli L., Masin R., Mion D., Santangelo A., Sburlino G., Tomei P.E., Villani M., Wagensommer R.P. (2013) *Kosteletzkya pentacarpos* (L.) Ledeb.. Schede per una Lista Rossa della Flora vascolare e crittogamica Italiana. *Informatore Botanico Italiano*, 45 (1): 115-193.
- Herben T. (1996) Permanent plots as tools for plant community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 7: 195-202.
- Kadereit G., Piirainen M., L. ambinon J., Vanderpoorten A. (2012) Cryptic taxa should have names: Reflections in the glasswort genus *Salicornia* (Amaranthaceae). *Taxon* 61 (6): 1227-1239.
- Kaligarič M., Bohanec B., Simonovik B., Sajna N. (2008) Genetic and morphologic variability of annual glassworts (*Salicornia* L.) from the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Aquatic Botany* 89: 275-282.
- Kent M., Coker P. (1992) *Vegetation description and analysis*. SRP Ltd, Exeter.
- Lomagno R., Montacchini F., Polini V., Gallezio M.T., Furno F. (1984) Diffusione del genere *Ambrosia* in Piemonte e nota preliminare sulla sua rilevanza allergologica nella nostra casistica. *Folia Allergol. Immunol. Clin.* 31: 151-158.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (2005-2013) Studio B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Vegetazione terrestre. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Masin R., Bertani G., Favaro G., Pellegrini B., Tietto C., Zampieri A.M. (2009) Annotazioni sulla flora della Provincia di Venezia. *Natura Vicentina* 13: 5-106.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2010a) *Manuale italiano di interpretazione degli habitat* (Direttiva 92/43/CEE). A cura di: Andreis C., Biondi E., Copiz R., Galdenzi D., Pesaresi S.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2010b) *Le Aree Importanti per le Piante nelle Regioni d'Italia: il presente e il futuro della conservazione del nostro patrimonio botanico*. A cura di: C. Blasi, M. Marignani, R. Copiz, M. Fipaldini, E. del Vico.

- Mueller-Dombois D., Ellenberg H. (1974) *Aims and methods of Vegetation Ecology*. Wiley, New York.
- Pignatti S. (1959) *Fitogeografia*. In *Cappelletti-Trattato di Botanica*. I UTET, Torino.
- Pignatti S. (1982) *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- Pirola A. (1970) *Elementi di fitosociologia*. CLUEB, Bologna.
- Prieto J.A.F., Cires E., Sánchez Corominas T., Vázquez V.M. (2011) Systematics and management of natural resources: the case of *Spartina* species on European shores. *Biologia*, 66(6): 1011-1018.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (2014-2015) Studio B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Vegetazione terrestre. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Rossi G., Montagnani C., Gargano D., Peruzzi L., Abeli T., Ravera S., Cogoni A., Fenu G., Magrini S., Gennai M., Foggi B., Wagensommer R.P., Venturella G., Blasi C., Raimondo F.M., Orsenigo S. (Eds.), (2013) *Lista Rossa della Flora Italiana*. 1. Policy Species e altre specie minacciate. Comitato Italiano IUCN e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- Scoppola A., Spampinato G. (2005) *Atlante delle specie a rischio di estinzione*. CDROM SBI, Palombi, Roma.

## Summary

Many habitats listed under the Habitats Directive 92/43/EEC—beaches, dunes, back-dunes and wooded formations—are located in the coastal areas close to the construction sites of the mobile gates (MOSE). Some floristic elements have a very restricted distribution range and they found their last natural refuges in these areas, close to the inlets of the Venice lagoon.

A field investigation on terrestrial vegetation is an indispensable part of any environmental monitoring plan considering the possible environmental impacts of large works construction. The analysis of vegetation dynamics and any significant deviation of plant community composition and structure from reference conditions are indicators to monitor the possible environmental impacts of the construction works of mobile barriers at the lagoon inlets.

The analyzes carried out, such as sampling on fixed transects, invasive species control, permanent plots and the production and updating of maps of vegetation in extreme detail, allowed to summarize the occurred changes, occasionally highlighting any criticalities and the most obvious dynamics observed in the survey areas.

Field surveys were carried out in a buffer zone of 200 m width, always updated considering the location of the construction sites. The monitoring areas (4) are distributed along the entire Venetian littoral strip: Punta Sabbioni, Alberoni, Ca' Roman (monitored since 2005) and S. Nicolò (monitored since 2008). The data presented here were collected during the first decade of the monitoring plan (2005-2014).

The analysis of vegetation dynamics were carried out using different surveys: linear transects and permanent plots. Transects were 20 meters long, composed of 20 squares having a surface area of 1 m<sup>2</sup>; the vegetation was mapped in each squares, recording the coverage of the individual species by means of classes of abundance-dominance values (from 1 to 10). The coverage of the species present at different levels was detected in each layer (arboreal, shrub and herbaceous). Field surveys were carried out from 2005 to 2014, in spring and autumn, in the sites of Punta Sabbioni, Alberoni and Ca' Roman, with 200 surveys at each one.

The monitoring of permanent plots is based on the concept of the *minimum area*, that is, the minimum size of the area in which all the species of the elementary population are represented; the vegetation dynamics control through this method is based on the mapping of the same point in the same periods year after year. Seasonal field surveys were carried out at chosen sites, in a sample area of 20 m<sup>2</sup> for herbaceous communities, and of 50 m<sup>2</sup> for the most complex communities. A phytosociological survey was carried out in each site: the vegetation was mapped in each layer, recording the coverage of the individual species by means of classes of abundance-dominance values (from 1 to 10) in accordance with the conventional Braun-Blanquet phytosociological method. At the end of each survey, the list of plant species observed in the monitored areas was updated.

The complete list for all four areas (mapped from 2005 to 2014), includes 355 taxa, divided into 80 families. According to regional, national and European Directives, 20 species of this list are listed as “protected”, two species are endemic for the north east Adriatic and two species have never been reported so far in the Veneto region.

Non-native plants and native invasive plants were reported during weed species monitoring. A reduced ecosystem stability can facilitate the spread of invasive species that have effective propagation systems, resulting in damage to biodiversity and to the balance of natural habitats. Twenty phytosociological surveys of invasive species were carried out in the areas of Punta Sabbioni, Alberoni and Ca' Roman.

Since 2005 to 2014, the update of the vegetation mapping was carried out in the summer. Every year, the data collected in the four areas have been developed as thematic maps. Starting from these vegetation maps, habitat maps were then produced, according to methods and nomenclature recently published in the Italian Manual of Habitat Interpretation.

Moreover, floristic surveys were carried out to update the distribution map of the species of conservation concern, such as *Epipactis palustris*, *Centaurea tommasinii* and *Kosteletzkya pentacarpos*; these have a very restricted distribution in the whole Italy.

*K. pentacarpos*, reported in a few and sporadic sites in Italy and throughout Europe, is considered a “seriously threatened species” according to the Red List of the Italian flora; it is also listed under the Annex II of the Habitats Directive (92/43/EEC). For each of the three species above listed, data regarding the percent of area coverage, the number of individuals and capsules, were measured in ten permanent plots of side 1 m, located in the areas characterized by the most representative populations.

*Salicornia veneta* is another species listed under the Habitats Directive 92/43/EEC, endemic to the northern Adriatic coastline and its distribution was mapped in the study sites. From 2011 to 2014, a specific survey were carried out in five permanent plots in the Alberoni and Ca' Roman areas.

Overall, the most common modifications in vegetation structure and composition are often correlated with climatic events and the seasonal variability that is due primarily to biological cycles, particularly the ones of the herbaceous annual plants. Modifications in structure and composition of plant communities were observed as a result of natural processes of vegetation evolution, such as the entry of shrubby species as part of herbaceous communities of stabilized dunes; no specific cause-effect relationship with the works at the lagoon inlets was observed. The monitored areas were subjected to a series of human impacts such as motocross and occurrence of sun-bathers or visitors; the modifications observed in some sampling units were probably due to these perturbative factors.



# La torbidità e l'idrodinamica nelle aree interessate dai cantieri alle bocche di porto

## *Monitoring of turbidity and hydrodynamics in the construction sites at the inlets*

Giampaolo Di Silvio, Luca Zaggia, Chiara Dall'Angelo,  
Giuliano Lorenzetti, Giorgia Manfè

### Introduzione

La realizzazione delle opere per la difesa di Venezia e della laguna dai fenomeni di acqua alta ha reso necessaria l'esecuzione di un complesso sistema di interventi per adeguare la morfologia dei fondali delle bocche di porto alle strutture e alle funzionalità del sistema di barriere mobili progettato, il Sistema MOSE. Ne sono esempio gli interventi di riprofilatura dei fondali e la ricollocazione del canale navigabile, la realizzazione delle opere di protezione fondali a monte e a valle delle barriere, la costruzione delle opere di spalla, la costruzione dell'isola nuova nel basso fondale della bocca di porto di Lido, la realizzazione delle lunate foranee e lo scavo del recesso di barriera per la posa dei cassoni e delle paratoie del MOSE. Oltre a questi interventi principali è stata realizzata tutta una serie di attività minori che hanno richiesto operazioni di regolazione, sagomatura e rifinitura dei fondali in prossimità delle opere già realizzate ed il raccordo delle stesse alla morfologia preesistente.

Per avere un'idea approssimativa dei volumi complessivamente movimentati da queste operazioni, basti pensare che la quantità di sedimenti corrispondente al solo ingombro dei cassoni è superiore ad 1 milione di metri cubi e che, considerando gli spazi fra i cassoni ed il recesso di barriera, il volume totale di sedimenti movimentati per la posa dei cassoni potrebbe essere di poco inferiore a 1,5 milioni di metri cubi. A questo si sommano i volumi delle varie operazioni di raccordo, sagomatura e riprofilatura dei fondali delle bocche.

Tutti questi interventi, realizzati in tempi diversi nell'arco dell'evoluzione dei cantieri, sono stati effettuati utilizzando varie metodologie di lavoro, anche se nella gran parte dei casi si tratta di dragaggi e posa di materiale lapideo di diverse dimensioni (blocchi di varie dimensioni e tout-venant). Le tipologie di mezzi utilizzati per questi interventi comprendono quasi tutto il panorama conosciuto nell'ambito delle attrezzature di dragaggio, ed anche un'imbarcazione con chiglia apribile.

In ogni intervento di ingegneria costiera che comporti la movimentazione di sedimenti, la realizzazione delle opere si accompagna ad una serie di impatti che hanno inizio dalle fasi di cantiere, a causa della dispersione di materiale sospeso al di fuori dell'area di lavoro, e proseguono nel medio e lungo periodo come effetto dell'interazione fra le strutture realizzate e le forzanti naturali del sistema interessato.

Nel caso della laguna di Venezia, trattandosi di un ambiente di peculiare valore, gli impatti legati alla realizzazione del Sistema MOSE dovevano rimanere necessariamente contenuti, limitando lo stress ambientale a livelli accettabili per l'ecosistema. Si è reso necessario, pertanto, programmare un monitoraggio continuo, le cui difficoltà intrinse-

che di realizzazione, visto l'ambiente altamente dinamico delle bocche mareali della laguna, hanno portato all'adozione di metodologie di lavoro e di strumentazione tipiche della ricerca scientifica.

Questo contributo descrive le attività svolte dal team scientifico composto da personale ISMAR-CNR, OGS, Università di Padova e CORILA, che ha operato nel corso dei dieci anni di monitoraggio per lo studio della torbidità e dell'idrodinamica durante la realizzazione del Sistema MOSE, e ne riassume i principali risultati.

Scopo dell'attività è quello di valutare gli effetti della movimentazione dei sedimenti, ripascimenti, scarico pietrame e dragaggi sull'ambiente e sugli ecosistemi di pregio circostanti le aree di cantiere, fornendo anche indicazioni operative sulle modalità di esecuzione delle lavorazioni, al fine di mantenere gli impatti generati all'interno di limiti precauzionali. Le indagini hanno previsto sia specifiche campagne di misura della torbidità prodotta dalle attività di cantiere, sia lo studio della variabilità spaziale e temporale del particolato solido sospeso in condizioni naturali.

La quantità consistente di dati acquisiti, sia in termini spaziali che temporali, ha richiesto la messa a punto di specifiche metodologie di elaborazione. L'analisi statistica dei dati registrati nel corso del primo anno di studio ha permesso la definizione di un valore massimo ammissibile (valore soglia) della concentrazione del particolato solido messo in sospensione nella colonna d'acqua dalle attività di dragaggio. Questo valore rappresenta un riferimento per tutte le osservazioni successive, incluse quelle tuttora in corso, al fine di contenere la torbidità ad un livello accettabile per le aree interessate dalle operazioni di cantiere e per le aree sensibili ad esse limitrofe. Per valutare la conformazione e l'evoluzione del pennacchio di torbida (*plume*) generato dai dragaggi, in funzione anche delle correnti di marea, è stato messo a punto un modello matematico semplificato di trasporto e dispersione dei sedimenti, capace di stimare la concentrazione di solidi sospesi generata ad una qualsiasi distanza dai mezzi di scavo.

Per la sua evidente importanza nei fenomeni di trasporto dei sedimenti in sospensione e per le problematiche connesse al ricambio idrico, è stata quindi approfondita l'idrodinamica del sistema delle bocche di porto, attraverso misure della intensità e direzione della corrente, riconosciuta -assieme alle altre condizioni meteomarine- come una fondamentale forzante agente sul sistema.

Grazie alle conoscenze complessivamente ottenute dalle attività di misura della matrice acqua, dall'analisi dei dati e dalla modellazione, è stato possibile ottenere alcune indicazioni generali sui cambiamenti delle condizioni idrodinamiche e morfologiche nell'importante area di connessione tra la laguna di Venezia e il mare.

### **Sistemi di dragaggio e rilascio pietrame**

Nel corso degli interventi alle bocche sono state utilizzate diverse tipologie di sistemi di dragaggio o rilascio di pietrame, in relazione alle diverse esigenze di cantiere:

- *draga a benna bivalve o a grappo o grabs buckets* (figura 1), con impianti montati su imbarcazione o su pontone. Il ciclo di lavoro consiste nella calata della benna in acqua, nella chiusura sul fondo, nel sollevamento e nello scarico del materiale sulla tramoggia o sul pontone. Si tratta del tipo di apparecchiatura che è stata maggiormente utilizzata durante la realizzazione delle opere del Sistema MOSE, sia per l'attività di scavo che per la posa di materiale lapideo. Il suo impatto dipende, oltre che dal volume di scavo e dalle condizioni idrodinamiche, dalla condotta delle operazioni e dal livello di manutenzione dell'attrezzatura di scavo. Il monitoraggio deve tener conto di tutti i processi in atto nell'area di impatto e delle conseguenze delle attività sull'ambiente circostante.
- *draga idrorefluente o suction dredger* (figura 2). L'attrezzo di scavo, manovrato da un sistema idraulico o elettrico, è montato all'estremità di un braccio d'acciaio mobile, at-

1. Draga a grappo durante operazioni di rilascio pietrame presso la lunata foranea di Lido.
2. Draga idrorefluente presso la bocca di Malamocco.
3. Effetto della draga idrorefluente a sfioro "ASTRA" durante le operazioni di dragaggio.
4. Motobetta a scafo apribile "LYBRA" mentre rilascia il carico di pietrame per la posa in opera del nucleo della lunata alla bocca di porto di Lido.

taccato allo scafo mediante cerniere, all'interno del quale è presente una pompa che aspira acqua e sedimento; la miscela viene scaricata nell'area di conferimento. Si tratta della tipologia di draga a minore impatto, trattandosi di un sistema praticamente chiuso. È stata utilizzata in alcune particolari lavorazioni nelle aree di cantiere, ad esempio per la preparazione della sezione d'imposta del molo che delimita l'area del porto rifugio e della conca di navigazione nella spalla nord della bocca di porto di Lido.

- *draga idrorefluente a sfioro* o *trailing suction hopper dredger* (figura 3). Il materiale del fondale (acqua e sedimento) viene aspirato mediante uno o due tubi, collegati ad un impianto di aspirazione molto potente, e scaricato nella stiva. All'interno della vasca di sedimentazione avviene un frazionamento meccanico dei materiali per cui le particelle più grossolane si depositano, mentre quelle più fini restano in sospensione a causa della turbolenza e vengono scaricate fuori bordo (overflow). Mano a mano che la stiva si riempie di materiale, aumenta progressivamente sia la concentrazione della miscela scaricata sia la sua granulometria. Quando le perdite diventano così elevate da non giustificare la prosecuzione dello sfioro, le attività di scavo vengono interrotte e la draga scarica il materiale accumulato nella stiva nella zona prevista per il conferimento dei sedimenti o su un'imbarcazione di appoggio. Questo sistema di dragaggio rappresenta la tipologia maggiormente impattante e ad essa è stata dedicata una particolare attenzione nel corso delle prime fasi del monitoraggio attraverso lo sviluppo di un modello matematico del processo di stivaggio e rilascio dei materiali sfiorati, nonché dei susseguenti fenomeni di dispersione, che determinano la configurazione del pennacchio di materiale rilasciato dallo sfioramento.
- *motobetta a chiglia apribile* o *split-hull* (figura 4), che scarica il materiale contenuto nella stiva tramite l'apertura del fondo della chiglia. È stata utilizzata durante la costruzione della lunata foranea a Lido per la posa rapida di ingenti quantità di materiale lapideo.



## **Effetti delle attività di cantiere e determinazione del valore soglia della torbidità**

Tutte le attività di dragaggio, indipendentemente dal tipo di draga o dalle precauzioni prese durante gli scavi, causano un aumento temporaneo della quantità di particolato sospeso nella colonna d'acqua, generando, a partire dal punto di scavo, un pennacchio di torbida. Al di là dell'effetto visibile in superficie, l'aumento della quantità di particelle in sospensione può avere conseguenze negative su tutte le componenti della rete trofica (Anchor Environmental CA, 2003) che nel medio e lungo periodo potrebbero ripercuotersi sul funzionamento dell'ecosistema.

Per quanto riguarda gli organismi acquatici si distinguono due tipologie di effetti che l'aumento di particolato in sospensione può causare (Anchor Environmental CA, 2003): effetti comportamentali (allarmismo, modifiche della possibilità di movimento) e fisiologici (modifiche della respirazione e del meccanismo di filtrazione, soffocamento, abrasione, modifiche nello sviluppo di specie nello stadio larvale) che possono portare alla mortalità o alla diminuzione della motilità, della crescita e della riproduzione.

L'aumento della quantità di particelle sospese si traduce anche in una diminuzione della trasparenza e in un aumento della deposizione al fondo. La diminuzione della trasparenza e la conseguente riduzione della profondità di penetrazione della luce causano problemi agli organismi dotati di un sistema visivo e rallentano la produzione primaria (fotosintesi), risorsa chiave, per la vita degli organismi acquatici (Anchor Environmental CA, 2003). L'eccessivo tasso netto di deposizione dei sedimenti che, a parità di granulometria e di capacità di risollevarli da parte delle correnti e delle onde, è comunque strettamente legato alla torbidità, può causare una riduzione di tassi di crescita e riproduzione negli organismi presenti sul fondo, quali fanerogame, benthos, uova e larve di pesci (Anchor Environmental CA, 2003).

Durante la movimentazione di sedimenti particolarmente ricchi di materia organica e con potenziale redox fortemente negativo, l'ossidazione dei materiali messi in sospensione, caratterizzati da una forte domanda chimica di ossigeno, può dar luogo ad un rapido impoverimento dell'ossigeno stesso naturalmente disciolto nell'acqua. Questi fenomeni possono dar luogo a temporanee ipossie e anossie che possono causare la morte degli organismi acquatici oppure il degrado delle condizioni ambientali favorevoli alla loro vita (EPA Quality criteria for water, 1986).

Sono stati pubblicati numerosi studi riguardo agli effetti che le particelle sospese possono avere sugli organismi acquatici e i risultati disponibili hanno permesso di realizzare alcuni database comprendenti specie, valori soglia di concentrazione (mg/l), durata dell'esposizione, reazione (percentuale di mortalità, riduzione della crescita) e tipo di reazione (letale o subletale) (Anchor Environmental CA, 2003). In queste banche dati sono distinte due tipologie di esposizione: acuta (inferiore a 96 ore) e cronica (maggiore di 96 ore). Gli impatti dovuti alle operazioni di dragaggio (Wilber and Clarke, 2001) ricadono nella tipologia di esposizione "acuta". Per le specie ittiche di tipo estuarino, ma anche per molluschi e larve, i primi effetti negativi (10% di mortalità) si manifestano con concentrazioni di particelle sospese superiori a 100 mg/l e per persistenze superiori ad 1 giorno (Wilber and Clarke, 2001).

Nel caso delle attività di scavo nella laguna di Venezia, concentrazioni così elevate si possono verificare nell'immediata vicinanza dell'apparecchiatura di scavo e persistono per qualche ora al massimo. Anche le condizioni naturali possono dare luogo ad incrementi di torbidità alle bocche di porto determinando il raggiungimento di valori prossimi o superiori a quelli ritenuti potenzialmente pericolosi per gli organismi: in occasione di eventi meteo marini con vento superiore a 13 m/s, ad esempio, sono stati registrati va-

lori circa pari a 700 mg/l presso la stazione torbidimetrica LTP (figura 13). È chiaro che le specie che colonizzano questo ecosistema devono essersi adattate alle condizioni naturali prevalenti, e quindi anche a eventi meteomarinari di forte intensità, ma potrebbero risultare più sensibili a perturbazioni più contenute a livello di magnitudo ma più prolungate nel tempo.

Vista la difficoltà ad effettuare indagini per verificare la tolleranza su tutti gli organismi di un ecosistema, i piani di monitoraggio generalmente individuano un valore di riferimento (valore soglia) della concentrazione di particolato in sospensione attraverso un'analisi statistica delle variazioni temporali e spaziali nell'area. Questo approccio è stato utilizzato anche per la laguna di Venezia, stabilendo che la concentrazione media di particelle nella colonna d'acqua pari a 30 mg/l determina un'ammissibile modificazione rispetto alla situazione indisturbata ed è da considerarsi il valore soglia (APPENDICE "Calcolo del valore soglia della concentrazione").

Per l'individuazione del valore limite, è stato necessario adottare preliminarmente un criterio per identificare l'“Area di Impatto Totale” (A.I.T.), ristretta intorno alla draga, dove si ammette che la concentrazione di particelle possa raggiungere qualsiasi valore, mentre all'esterno il valore soglia stabilito non può essere superato. Per consentire alle specie lo spostamento ed evitare la zona perturbata, e per minimizzare l'impatto complessivo sull'ecosistema, l'A.I.T. dovrà essere sufficientemente più stretta della larghezza della bocca e avere una superficie relativamente poco estesa rispetto alla superficie totale della bocca di porto. È stata quindi identificata come A.I.T. un'area di 50.000 m<sup>2</sup> attorno alla zona di scavo e di forma variabile in funzione della velocità della corrente (figura 5). Le valutazioni teoriche, confermate da rilevazioni condotte in campo anche nel corso di questo studio, dimostrano che la concentrazione dei sedimenti sospesi diminuisce rapidamente con la distanza dalla draga, con diminuzione più contenuta per sedimenti fini e per correnti elevate, nella direzione della corrente. La forma del *plume* prodotto dalla draga risulta pertanto allungata per velocità elevate, essendo invece circoscritta attorno all'area di lavorazione per velocità ridotte.

Quindi, rispettando il valore limite di 30 mg/l all'esterno dell'A.I.T. si ha ragionevole



5. Esempio di forme dell'A.I.T. in funzione della velocità della corrente “v”, alla bocca di porto di Chioggia.  
Dati mappa ©2016 Google.

certezza che l'impatto della torbidità generata sull'ambiente circostante, sia confrontabile per durata ed intensità alla concentrazione raggiunta durante alcuni eventi naturali (temporali e mareggiate) e per i quali si può assumere che la comunità biologica locale sia già adattata; ciò permette di classificare come minimo l'effetto sull'ecosistema circostante della lavorazione di cantiere. Va peraltro sottolineato che il valore di 30 mg/l è tre volte inferiore ai livelli riportati in letteratura relativamente ad esposizione acuta con effetti sub letali e quindi garantisce con un buon margine di sicurezza la tutela dell'ecosistema in esame (Wilber and Clarke, 2001; Anchor Environmental CA, 2003).

## Materiali e metodi

La quantità di materiale risospeso e la sua dispersione areale (pennacchio o *plume*) dipendono da numerose variabili: morfologia (profondità e forma del canale), proprietà intrinseche dei materiali movimentati (granulometria, densità, contenuto organico e contenuto d'acqua), tipologia di draga e modalità di utilizzo, variabili ambientali (correnti, maree, moto ondoso).

Il monitoraggio è stato programmato in modo da poter valutare non solo l'impatto sull'ambiente alle diverse scale spaziali e temporali ma anche l'andamento e le eventuali variazioni delle forzanti agenti nel sistema, con l'ausilio, laddove necessario, di opportuni modelli ed algoritmi atti ad integrare tutte le informazioni.



6. Strumentazione oceanografica utilizzata:  
A) sistema Rosette-CTD;  
B) ADCP;  
C) LISST- granulometro laser 100X.

A tal fine sono state effettuate diverse attività di rilevamento:

1. campagne di monitoraggio della torbidità prodotta direttamente dalle attività di cantiere;
2. campagne di monitoraggio dei parametri idrodinamici (intensità e direzione della corrente) e della torbidità lungo sezioni caratteristiche localizzate all'interno delle bocche di porto e nei pressi dei recessi di barriera;
3. registrazione in continuo della torbidità in stazioni fisse opportunamente posizionate sia all'interno sia all'esterno delle bocche di porto.

I risultati ottenuti hanno permesso inoltre di tarare e verificare un modello matematico della diffusione del pennacchio di concentrazione creato dalle draghe durante le attività di scavo e di fare alcune considerazioni preliminari sul trasporto solido e sui cambiamenti intercorsi in questi anni sulle condizioni idrodinamiche e morfologiche nelle aree prossime alla costruzione delle opere di difesa del Sistema MOSE.

### **Strumentazione utilizzata e parametri rilevati**

Durante le attività di campo è stato impiegato un set di strumenti ad alto profilo tecnologico per la raccolta dei dati idrologici e fisici della colonna d'acqua. La restituzione del dato elaborato e validato è stata portata a termine mediante software dedicati. Si riporta di seguito una descrizione sintetica delle variabili ambientali misurate e della strumentazione oceanografica utilizzata.

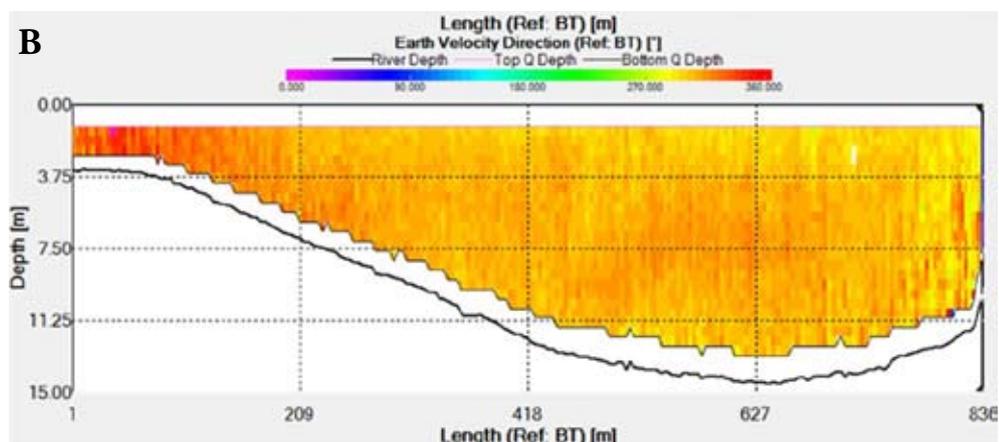
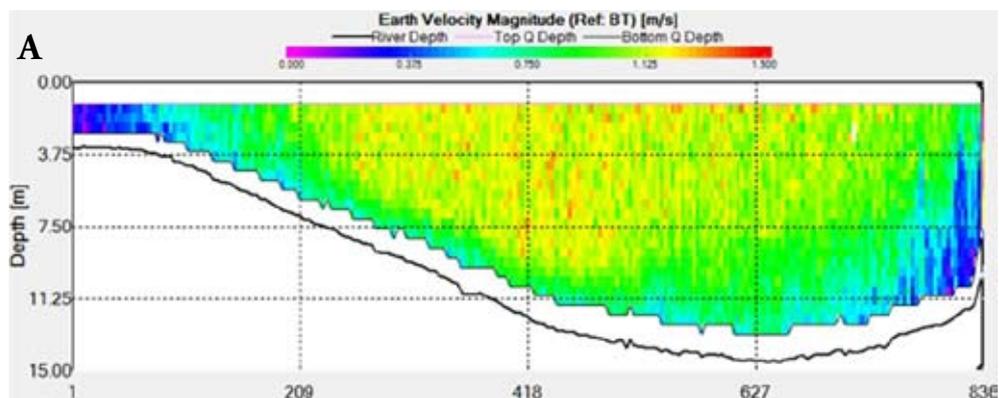
- *Prelievo di campioni e determinazione di parametri fisici della colonna d'acqua* (temperatura, conducibilità, torbidità). È stato utilizzato un sistema Rosette-CTD (figura 6A) costituito da una sonda multiparametrica (IDRONAUT®) con la quale si rilevano conduttività elettrica, temperatura e pressione/livello dell'acqua nel punto di immersione, e un carosello di bottiglie per il campionamento di volumi d'acqua a diverse profondità (Rosette InterOcean). I campioni d'acqua così raccolti vengono poi analizzati in laboratorio per la determinazione della concentrazione di particolato in sospensione (SPM, Suspended Particulate Matter) e della sua distribuzione granulometrica.
- *Misura di intensità e direzione della corrente*. Sono stati utilizzati profilatori acustici Doppler (ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler, figura 6B), strumenti che, montati sul fianco di una imbarcazione, emettono un segnale acustico a frequenza nota lungo la colonna d'acqua. Questo segnale viene modificato in intensità e frequenza dalle correnti marine e dal materiale presente in sospensione e, una volta ritornato alla sorgente emittente, fornisce informazioni circa la intensità e direzione di corrente e la quantità di particolato solido sospeso (backscatter). Il risultato della misura è una mappatura istantanea del campo di velocità della corrente lungo il percorso dell'imbarcazione (figura 7).
- *Determinazione della granulometria dei sedimenti*. È stato utilizzato un granulometro laser LISST-100X (Laser In Situ Scattering and Transmissometry, figura 6C) in situ o in laboratorio (sui campioni d'acqua prelevati in campo).
- *Determinazione della concentrazione di "particolato solido in sospensione"* (Suspended Particulate Matter-SPM). La concentrazione di particolato sospeso, espressa in milligrammi di solidi per litro d'acqua (mg/l), dipende dal peso totale delle particelle in sospensione e soprattutto da quelle con diametro maggiore di 0.4  $\mu\text{m}$ . È funzione diretta del numero, della dimensione e del peso specifico delle particelle e comprende sia la componente inorganica (argilla, limo, sabbia, ecc.) del sedimento sia la componente organica (aggregati di macromolecole, organismi viventi, resti di organismi). La quantificazione è stata eseguita in laboratorio sui campioni d'acqua secondo il me-

todo IRSA (Quaderno 100/2050/94, ANPA, 1999) che prevede la pesatura di una membrana di policarbonato (Millipore) prima e dopo la filtrazione di un adeguato volume d'acqua.

- *Misura della torbidità.* La torbidità è definita come la riduzione della trasparenza dell'acqua dovuta alla presenza di sostanze in sospensione. Tale parametro è una funzione diretta del numero, della superficie e dell'indice di rifrazione delle particelle in sospensione ma, al tempo stesso, è una funzione inversa delle loro dimensioni e dipende anche dalla lunghezza d'onda del raggio incidente. Non è una misura diretta di concentrazione ma viene espressa in FTU (Formazine Turbidity Unit) e si rileva sfruttando la proprietà dell'acqua di attenuare o disperdere un fascio di luce (nel visibile o infrarosso) o di onde sonore che attraversa un determinato volume (fenomeno di scattering).

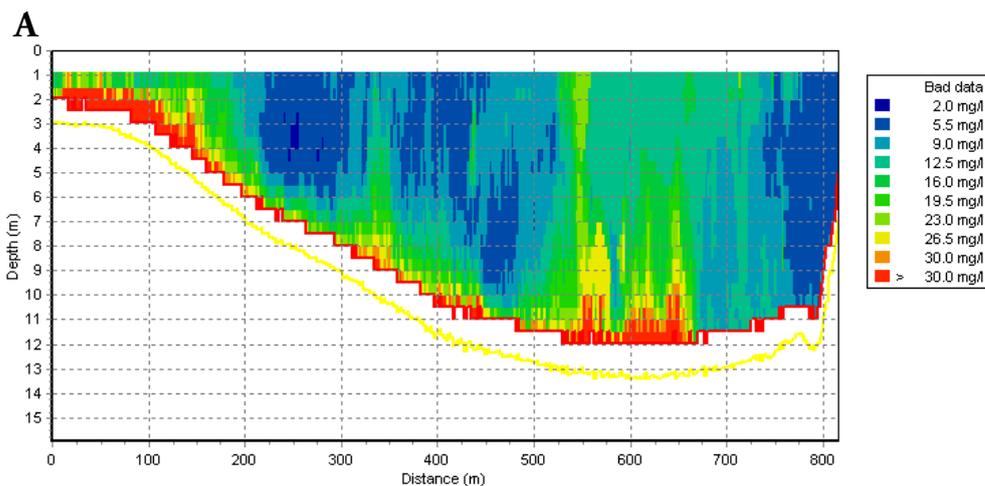
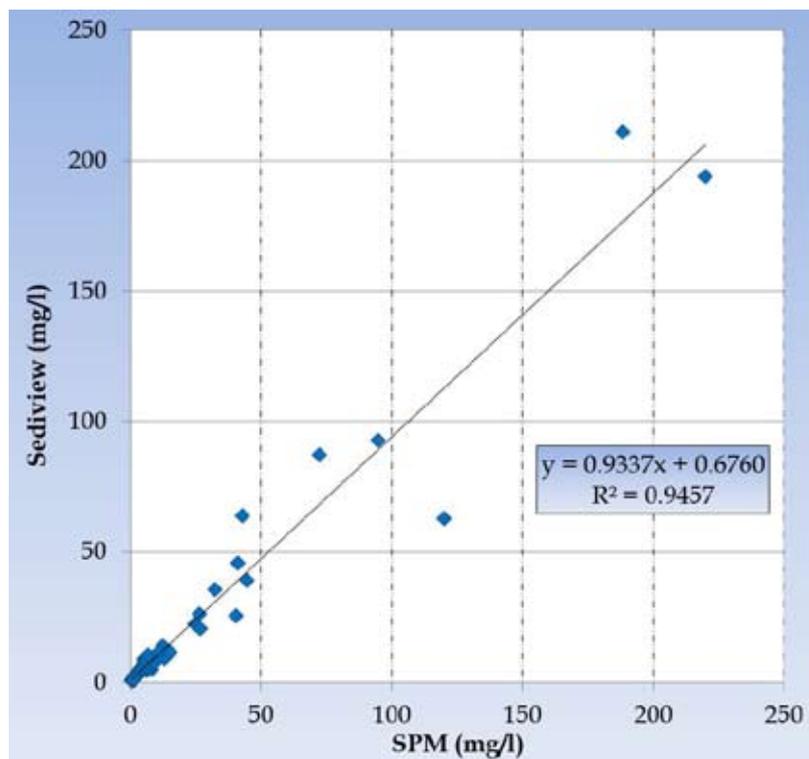
Per il rilievo della torbidità in continuo sono state allestite alcune stazioni fisse, descritte nel seguito, equipaggiate con sonde multiparametriche autoregistranti (Idronaut Mod. OceanSeven 304 CTD-T; Idronaut Srl., 2005a) fornite di un sensore ottico OBS (Optical Backscatter Sensor, Seapoint Turbidity Meter; Idronaut Srl., 2005b) che genera una tensione di uscita proporzionale alla quantità di particelle sospese lungo la colonna d'acqua. Per tutto il periodo di monitoraggio le sonde hanno lavorato con una frequenza di campionamento di un dato ogni 15 minuti. Queste misure di torbidità, effettuate con sensore ottico, vengono poi convertite in concentrazione di SPM mediante una relazione di calibrazione ottenuta utilizzando i valori direttamente determinati in campioni d'acqua, periodicamente prelevati in corrispondenza dello strumento.

Per il rilievo della torbidità nella colonna d'acqua nelle aree di cantiere e nelle sezio-

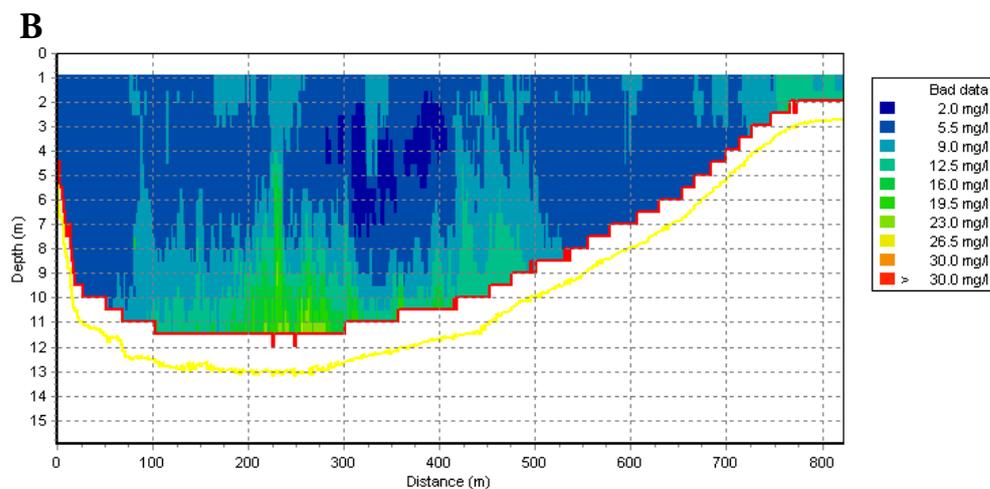


7. Distribuzione della velocità (A) e della direzione (B) della corrente nella sezione trasversale della bocca di porto di Lido. Sono visibili le zone di massima velocità, al centro della sezione, caratterizzate da una ben definita direzione di flusso di marea crescente.

8. Relazione lineare tra la concentrazione del particolato solido sospeso stimata col metodo Sediview e la concentrazione misurata sui campioni d'acqua prelevati durante la campagna di monitoraggio effettuata alla bocca di porto di Lido nei giorni 25-26 agosto 2010.



9. Distribuzione del particolato solido in sospensione nella sezione principale della bocca di porto di Lido il giorno 25 agosto 2010, in diverse condizioni di marea: fase iniziale del calante (A), caratterizzata da basse concentrazioni, alle ore 11.54; fase finale del calante (B), caratterizzata da risospensione di sedimenti dal fondo, alle ore 15.35.



ni dei canali di bocca si è usata invece un'imbarcazione appositamente equipaggiata con profilatore acustico ADCP e sistema Rosette-CTD. Le misure effettuate con la strumentazione Rosette-CTD e le concentrazioni di SPM determinate nei campioni, prelevati simultaneamente all'acquisizione con ADCP, permettono, mediante il software dedicato DRL-Sediview®, la conversione del valore del *backscatter* acustico in stime della concentrazione del particolato in sospensione. In figura 8 si osserva un esempio di correlazione tra i valori di concentrazione misurati e i valori di concentrazione stimati col metodo Sediview. Diventa quindi possibile ottenere, per le sezioni investigate, mappature bidimensionali della concentrazione del particolato solido in sospensione (figura 9).

- *Altre informazioni utili all'elaborazione dei dati e all'interpretazione dei risultati delle indagini: dati meteo-marini.* Per queste informazioni si è fatto riferimento alle registrazioni effettuate alla piattaforma oceanografica "Acqua alta" del CNR-ISMAR, per la direzione e velocità del vento, e ai mareografi gestiti dall'ICPSM del Comune di Venezia per il livello di marea (figura 13).

## **Metodologie di indagine**

### *Campagne di monitoraggio della torbidità prodotta direttamente dalle attività di cantiere*

Le campagne di misura eseguite durante le operazioni di dragaggio prevedono l'esecuzione di percorsi a zig-zag (transetti) che intersecano il pennacchio di torbida prodotto dalla draga in attività a valle, rispetto alla corrente, del punto di scavo (si veda, come esempio, la figura 15). I transetti vengono estesi lateralmente e longitudinalmente oltre il perimetro del *plume* e dell'"Area di Impatto Totale", la cui forma viene stimata in funzione della velocità della corrente, fino a rilevare i valori di concentrazione prossimi a quelli naturalmente presenti nell'area in condizioni imperturbate.

### *Campagne di monitoraggio dei parametri idrodinamici (velocità e direzione della corrente) e della torbidità lungo sezioni caratteristiche*

Le indagini per lo studio dell'idrodinamica e della torbidità nelle aree prossime ai cantieri sono effettuate con misure, ripetute in diverse condizioni meteomarine e di marea, lungo sezioni caratteristiche localizzate in prossimità delle bocche di porto, dei recessi di barriera e in sezioni interne alla laguna (figure 10, 11, 12).

Lungo ogni sezione vengono individuati dei punti notevoli, solitamente in posizione corrispondente al punto di massima profondità, in corrispondenza dei quali vengono acquisiti dei profili verticali per determinare velocità e direzione della corrente e, sui campioni d'acqua prelevati con il sistema Rosette-CTD, la concentrazione e granulometria del particolato solido in sospensione.

Altre misure sono effettuate in sezioni esterne ai tre canali ma comunque interessanti per investigare la dinamica dei flussi di scambio alle bocche. Queste sezioni sono localizzate nell'area immediatamente al di fuori delle bocche e in corrispondenza ai moli frangiflutti (lunate) per lo studio della nuova configurazione del getto uscente (figure 18 e 19).

### *Registrazione in continuo della torbidità in stazioni fisse*

L'attività di rilevazione della torbidità in continuo nelle stazioni fisse è iniziata a maggio 2005 in 8 stazioni di misura (figura 13), opportunamente posizionate nei canali delle tre bocche o nelle immediate vicinanze, ed è proseguita quasi ininterrottamente insieme all'acquisizione dei parametri chimico-fisici dell'acqua (temperatura, conducibilità

10. Sezioni caratteristiche e punti notevoli indagati nel corso dei 10 anni di monitoraggio alla bocca di porto di Lido.  
Dati mappa ©2016 Google.



11. Sezioni caratteristiche e punti notevoli indagati nel corso dei 10 anni di monitoraggio alla bocca di porto di Malamocco.  
Dati mappa ©2016 Google.



12. Sezioni caratteristiche e punti notevoli indagati nel corso dei 10 anni di monitoraggio alla bocca di porto di Chioggia.  
Dati mappa ©2016 Google.





13. Rete delle stazioni fisse per la misura della torbidità in continuo, mareografi e piattaforma CNR-ISMAR. Dati mappa ©2016 Google.

Tabella 1. Periodi di funzionamento delle stazioni per la misura della torbidità in continuo.

Inizio	Fine	Stazioni in laguna					Stazioni in bocca di porto		Stazioni a mare		
		LSN	LSA	LTP	MAP	CHP	LMR	LMR-2	LIM	MAM	CHM
01/04/2005	31/05/2006	X		X	X	X	X		X	X	X
01/06/2006	30/04/2007		X	X	X	X	X	X	X		
01/05/2007	30/04/2008		X	X	X	X	X	X	X	X	
01/05/2008	30/04/2009		X	X	X	X	X	X	X	X	
01/05/2009	30/04/2010				X	X				X	
01/05/2010	30/04/2011				X	X				X	
01/05/2011	30/04/2012			X	X	X	X	X	X	X	
01/05/2012	30/04/2013			X	X	X	X	X	X	X	X
01/05/2013	30/04/2014			X	X	X	X	X	X	X	X
01/05/2014	30/04/2015				X	X				X	X

e livello/pressione). L'attività ha subito alcune variazioni durante il decennio di monitoraggio 2005-2015, in funzione dell'evoluzione e dello sviluppo delle lavorazioni dei cantieri (tabella 1).

Le stazioni sono state alloggiate presso postazioni mareografiche esistenti e realizzate con strutture diverse a seconda della profondità del fondale nei canali delle tre bocche di porto, all'interno della laguna e in mare (figura 14).

La strumentazione per la misura delle proprietà ottiche dell'acqua di mare è immersa per lunghi periodi; pertanto presenta alcuni problemi, quali la formazione di incrostazioni dovute ad una varietà di organismi animali e vegetali (*fouling*) e lo stazionamento temporaneo di materiali trasportati dalla corrente (residui di vegetali o plastica o animali come ad esempio granchi, uova di pesci o molluschi). Questi pregiudicano, se non addirittura impediscono, l'utilizzabilità delle informazioni registrate dalla strumentazione. Per garantire un livello accettabile della qualità delle informazioni raccolte ci si è avvalsi di una metodologia razionale e sistematica di manutenzione e calibrazione della strumentazione, nonché di "pulizia" dei dati dai valori palesemente errati e di una procedura di correzione del dato basata sul confronto con i dati dei campioni di acqua.

Una volta ottenuta la serie "corretta" dei valori di torbidità, misurati in FTU, si effettua la conversione in valori di concentrazione di SPM, misurati in mg/l; è stata infatti determinata, per ogni singola stazione, una relazione di regressione fra le concentrazioni determinate nei campioni d'acqua, prelevati in campo in concomitanza con le operazioni di pulizia, ed il valore della torbidità registrata dallo strumento nello stesso istante del prelievo (Di Silvio *et al.*, 2011).

14. Strutture di alloggiamento delle sonde per le stazioni LMR (A), CHM (B), CHP (C).



## Risultati

### **Campagne di monitoraggio della torbidità prodotta direttamente dalle attività di cantiere**

Il monitoraggio della torbidità prodotta dai cantieri alle bocche di porto ha permesso, in 10 anni, di acquisire 150 transetti e raccogliere 450 campioni d'acqua per la determinazione dell'impatto del carico solido in sospensione generato dalle macchine operatrici impegnate durante dragaggi o scarico pietrame. Si tratta di una quantità importante di determinazioni per un'attività che richiede il massimo sforzo ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio della laguna di Venezia.

Di seguito si riportano alcuni esempi dei risultati ottenuti monitorando varie tipologie di draghe impegnate in diverse lavorazioni.

#### *Dragaggi*

Nella figura 15 si riporta un esempio di un transetto di monitoraggio (percorso a zig-zag in figura, composto da 11 sezioni) effettuato alla bocca di porto di Lido, per studiare la propagazione del pennacchio di torbida prodotto dalla draga idrorefluente a sfioro "Astra" (figura 3) impegnata in operazioni di riprofilatura dei fondali. Questa tipologia di dragaggio ha generato i maggiori impatti misurati nel corso del monitoraggio, tanto come intensità che come estensione: come già accennato, il modo di operare delle draghe idrorefluenti a sfioro implica che la concentrazione di sedimenti e la granulometria del materiale sfiorato (*overflow*) aumentino progressivamente con la durata dello sfioro. Nella figura 16 è visualizzato l'andamento della concentrazione di particolato solido in sospensione, ottenuta dalla calibrazione del segnale di *backscatter* acustico, lungo alcune sezioni trasversali del transetto a distanza progressiva dal punto di scavo. Si osservi che nella prima sezione alla distanza di 100 m dal punto di scavo e all'interno dell'A.I.T. la concentrazione è molto elevata e maggiore di 180 mg/l, mentre a 800 m essa scende a valori inferiori a 30 mg/l.

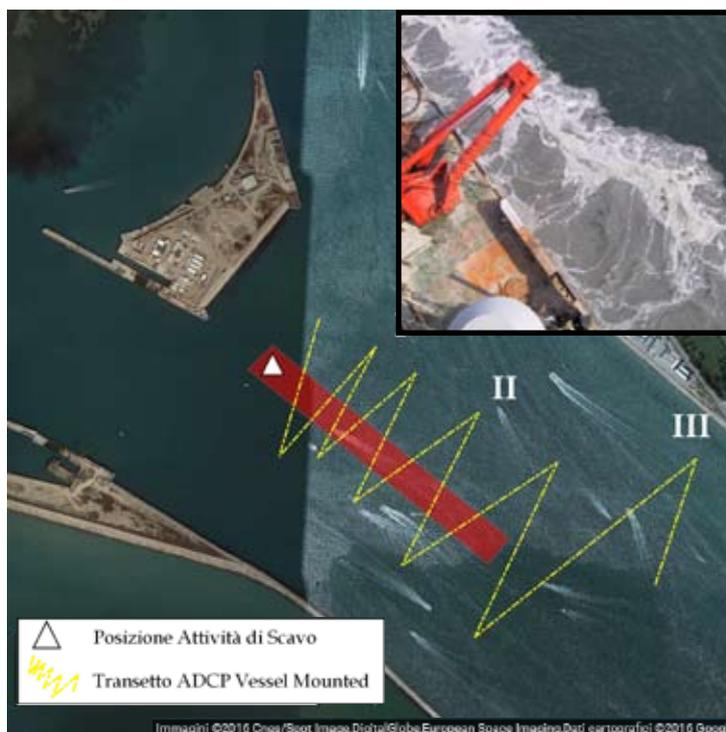
#### *Rilascio pietrame*

Durante il monitoraggio della produzione di torbida sono state controllate sia le operazioni di scavo che le operazioni di posa di materiale lapideo impiegato per la realizzazione del nucleo dei moli frangiflutti. Quest'ultima attività, in alcune circostanze, ha la peculiarità di produrre un notevole impatto visivo, qui inteso come differenza cromatica tra l'acqua di mare non perturbata e la nuvola di materiale risospeso, a causa della presenza di materiale argilloso che solitamente si ritrova adeso al pietrame di cava. All'impatto visivo non è corrisposto un impatto in termini di concentrazioni di solidi sospesi; il materiale più fine, argilloso, ha la caratteristica di rimanere in sospensione più a lungo rispetto alla frazione sabbiosa con un effetto ottico più marcato a parità di concentrazioni.

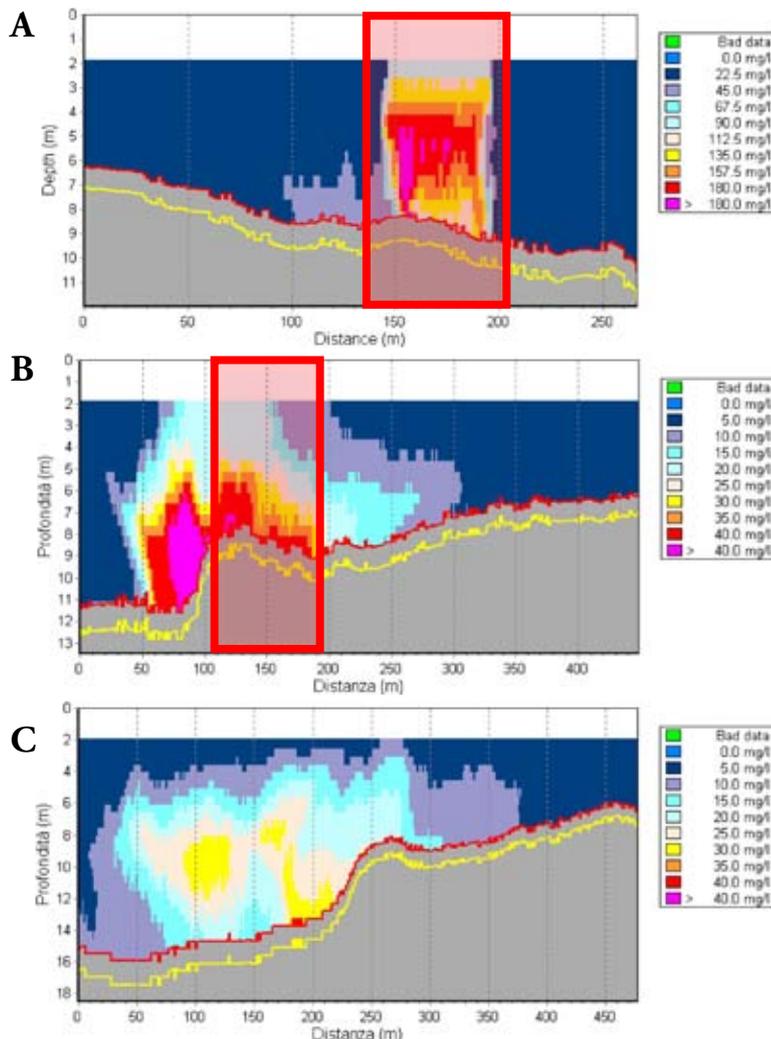
Per la costruzione della lunata all'esterno alla bocca di porto di Lido, ad esempio, sono stati utilizzati due sistemi di scarico pietrame. Il primo sistema, attuato dalla motobetta a chiglia apribile (*split-hull*) "LYBRA" (figura 4), prevedeva il rilascio del carico per la posa in opera del nucleo della lunata (circa 1000 m<sup>3</sup>) in un breve lasso di tempo. Il monitoraggio di questa attività, peraltro riscontrata esclusivamente durante la costruzione della lunata, ha permesso di misurare valori estremamente elevati di concentrazione di solidi sospesi, pari a circa 400 mg/l, tuttavia limitati all'immediato intorno del punto di rilascio e non al di fuori dell'A.I.T. dove le concentrazioni erano comunque comprese

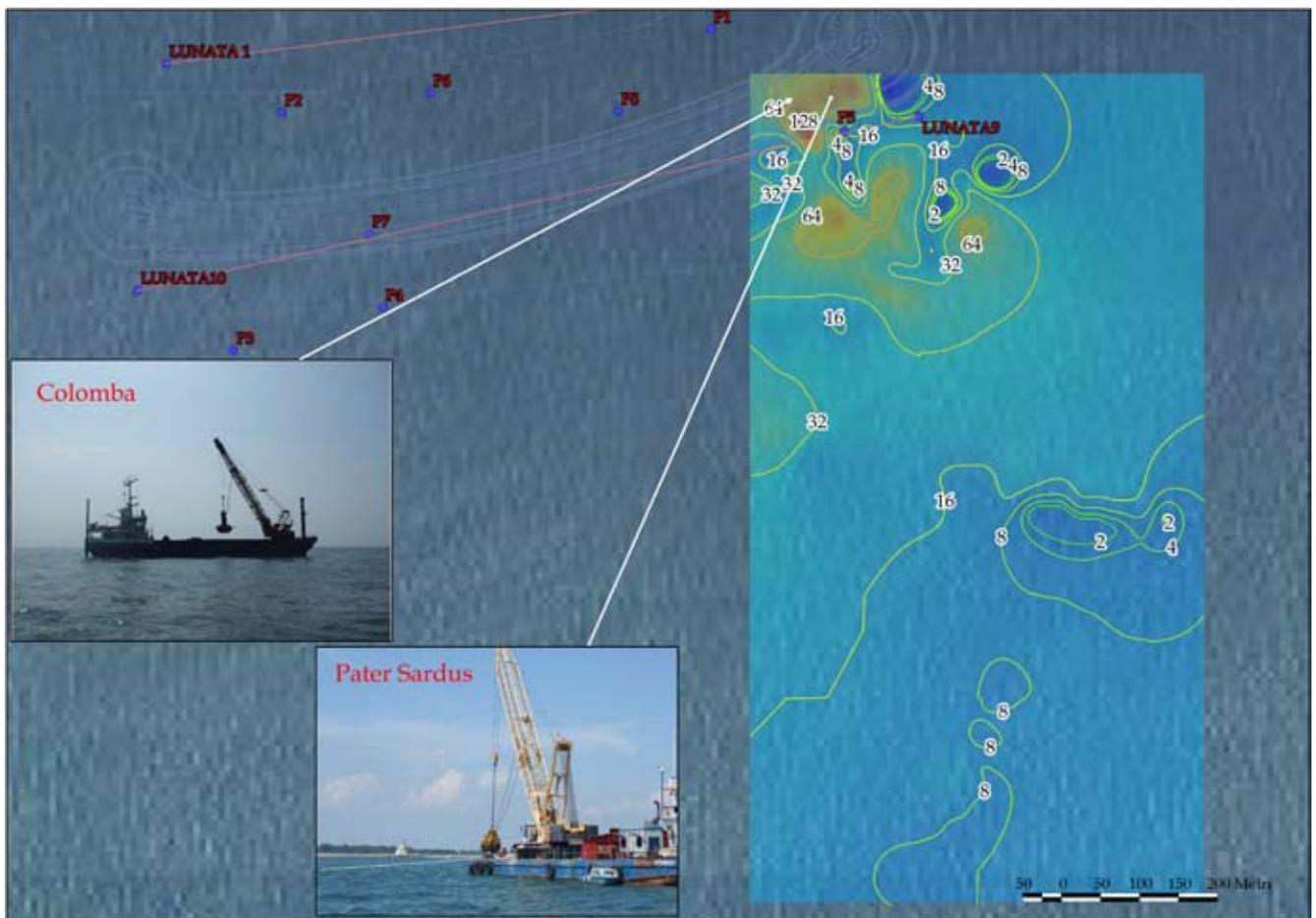
15. Bocca di porto di Lido, 16 giugno 2005 ore 17:59, attività di scavo della draga "Astra" (nel riquadro). In giallo un transetto per lo studio della propagazione del pennacchio di torbida all'interno e all'esterno dell'A.I.T. (700x77 m), rappresentata con un rettangolo rosso; I, II e III indicano le sezioni di cui si riporta l'andamento della torbidità in figura 16; la velocità della corrente era superiore a 0.5 m/s (media sulla verticale), marea calante.

Dati mappa ©2016 Google.



16. Bocca di porto di Lido, 16 giugno 2005 ore 17:59, attività di scavo della draga "Astra". Andamento della concentrazione di SPM, ottenuta dalla calibrazione del segnale di backscatter acustico, lungo sezioni trasversali a distanze progressive dal punto di scavo, rispettivamente di 100 (sezione I, A), 400 (sezione II, B) e 800 m (sezione III, C). L'A.I.T. è rappresentata con una retinatura rossa. Le differenti colorazioni lungo ciascuna sezione corrispondono a diversi quantitativi di materiale solido in sospensione (Rosso: maggiori concentrazioni, Blu: minori concentrazioni). Nelle diverse sezioni i valori sono rappresentati con scale diverse per facilitare la visualizzazione.





entro il valore di soglia di 30 mg/l. Il secondo sistema ha previsto l'impiego di imbarcazioni munite di benna a grappo (figura 1). In questo caso la torbidità prodotta, rispetto a quella prodotta dalla motobetta a chiglia apribile, è stato sicuramente meno importante in termini di valori massimi (80-120 mg/l) e anch'essi comunque limitati alla superficie interna dell'A.I.T.

L'utilizzo della strumentazione acustica, lungo un percorso a zig-zag, ha permesso anche il monitoraggio del ciclo di lavoro delle draghe a grappo "Pater Sardus" e "Colomba C.", impegnate nella preparazione del substrato per la costruzione della lunata alla bocca di porto di Lido. È stato così possibile mappare la distribuzione del carico sospeso: in figura 17 è visualizzata la variazione spaziale della concentrazione media di solidi sospesi sulla verticale; si osserva che, in questo particolare caso, i massimi valori nei pressi dell'area di lavoro sono superiori a 128 mg/l e che le aree dove si registrano i valori più elevati sono concentrate in spazi delimitati.

In conclusione, l'impatto generato dalle attività di rilascio pietrame differisce quindi notevolmente in relazione alla metodologia di lavoro.

### **Campagne di monitoraggio dei parametri idrodinamici (velocità e direzione della corrente) e della torbidità lungo sezioni caratteristiche**

Sebbene l'attività di monitoraggio non abbia uno scopo prettamente scientifico, lo studio dell'idrodinamica mediante strumentazione acustica permette di fornire informazioni dettagliate circa le strutture del campo di corrente alle diverse scale (turbolenze, vorticosità, asimmetrie del flusso etc.) e del trasporto di sedimenti, altrimenti impossi-

17. Rappresentazione grafica del valore massimo sulla colonna d'acqua della torbidità (mg/l) durante le operazioni di rilascio pietrame di "Pater Sardus" e "Colomba C." per la realizzazione della lunata alla bocca di porto di Lido. Elaborazioni in ambiente GIS dei dati ottenuti mediante calibrazione dei dati di backscatter ottenuti dalle misure mediante strumentazione acustica ADCP.

bili da evidenziare.

Queste conoscenze risultano utili anche in un'ottica di lungo periodo per la stessa gestione del Sistema MOSE e per la comprensione degli effetti del nuovo assetto idrodinamico sulla morfologia del sistema bocca di porto-litorale. Nel seguito sono illustrati alcuni esempi dei risultati delle indagini idrodinamiche in casi di particolare interesse.

### *Idrodinamica e morfologia*

Una condizione riscontrata frequentemente durante le indagini in campo è la formazione di un vortice, attivato dalla corrente nel canale di porto, all'interno del bacino di evoluzione della conca di navigazione nei pressi della bocca di porto di Malamocco (figura 18). La struttura è caratterizzata da velocità basse o nulle al centro della sezione che taglia il bacino di evoluzione approssimativamente da NW a SE e massime alle estremità della sezione stessa. In condizioni di marea calante il vortice presenta una rotazione oraria, mentre in condizioni di marea crescente il senso di rotazione è antiorario.

Un altro esempio di particolare importanza per comprendere gli effetti delle trasformazioni idro-morfologiche sulla circolazione locale ed il trasporto solido nei canali di bocca è rappresentato dalla nuova configurazione assunta dalla bocca di porto di Chioggia nei pressi della rispettiva lunata. Durante il monitoraggio sono stati effettuati appositamente alcuni transetti per investigare il campo di corrente che si instaura nei pressi del frangiflutti, in particolare durante il calante di marea. Si è osservato come il flusso uscente attraverso la bocca di porto si scomponga in due correnti principali caratterizzate da velocità massime confrontabili, ancorché il flusso secondario (tra la lunata e il molo sud) sia inferiore a quello del ramo centrale (a nord della lunata) (figura 19). Tutto ciò implica che a ridosso della base del molo si verifichi un aumento dello sforzo tangenziale (*shear stress*) al fondo che causa la rimozione del sedimento e l'instaurarsi di fenomeni erosivi visibili, come un progressivo approfondimento della parte di fondale compresa tra il molo sud e la lunata (figura 20).

Questo fenomeno è un esempio rappresentativo dell'interazione nel medio periodo fra il modificato assetto idrodinamico delle bocche di porto e la morfologia dei fondali adiacenti le bocche.

### *Variazioni batimetriche*

Mediante strumentazione ADCP è possibile acquisire anche dati batimetrici tipo *single-beam*, che possono integrare le informazioni più dettagliate provenienti da rilievi *multi-beam* o indagini geofisiche, per la valutazione speditiva delle variazioni morfologiche intervenute nell'intervallo di osservazione.

Un esempio riguarda l'analisi delle variazioni batimetriche della sezione 80-82 nel canale della bocca di porto di Lido (figura 10), investigata ripetutamente nel corso del monitoraggio, per la quale si dispone di una serie cospicua di dati batimetrici a corredo delle misure idrodinamiche. L'analisi dei dati disponibili ha evidenziato fenomeni di variazioni batimetriche anche dell'ordine del metro nel periodo 2008-2010 (figura 21).

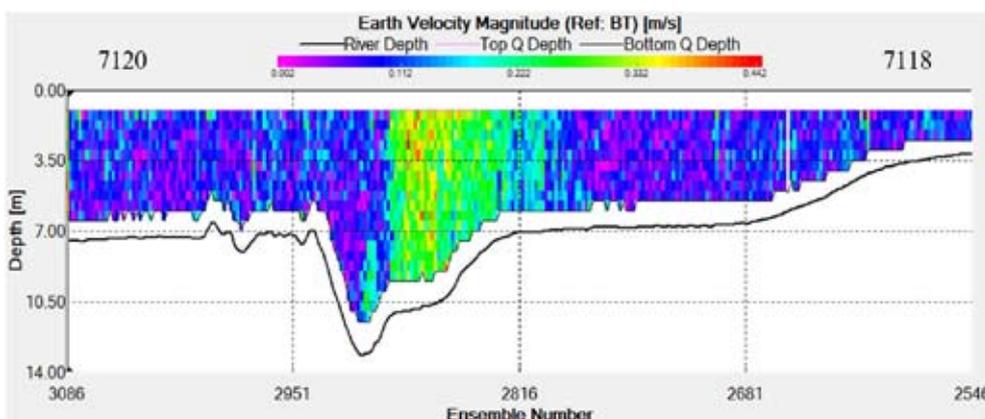
Le variazioni riscontrate alla bocca di porto di Lido hanno evidenziato l'importanza di investigare con maggior dettaglio l'eventuale presenza di trend morfologici nelle sezioni maggiormente studiate. È stata quindi avviata un'analisi integrata dei dati ottenuti dalle numerose acquisizioni correntometriche disponibili dal 2007 al 2013 per lo studio della variazione del tirante medio annuo idraulico (ovvero della distanza tra fondo e pelo libero dell'acqua) al variare del tempo per ciascuna bocca. Il caso della bocca di porto di Lido risulta particolarmente interessante (figura 22): l'andamento del tirante calcolato



18. Configurazione del campo di corrente, come velocità media sulla verticale e direzione (evidenziate con vettori proporzionali all'intensità), presso la bocca di porto di Malamocco il giorno 4 ottobre 2013, con marea crescente. È evidente la struttura vorticoso all'interno del bacino di evoluzione della conca di navigazione. Dati mappa ©2016 Google.

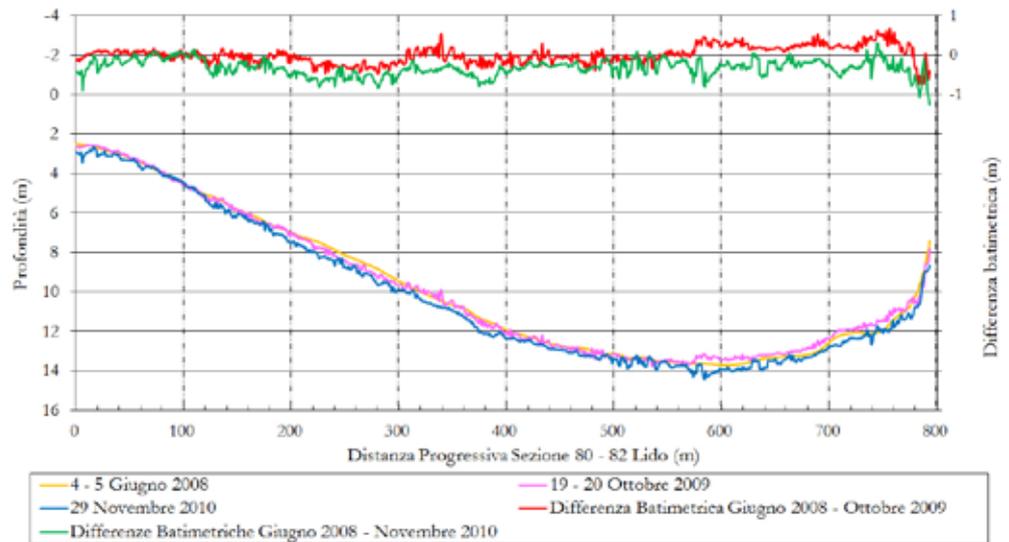


19. Campo di velocità nei pressi della lunata alla bocca di porto di Chioggia durante il calante di marea, 8 marzo 2012. Dati mappa ©2016 Google.



20. Intensità di corrente lungo la sezione del nuovo canale naturale (tra i punti 7120 e 7118, figura 19) scavato dal flusso secondario in uscita dalla bocca di porto di Chioggia in direzione SW, 8 marzo 2012.

21. Sezione 80-82 della bocca di porto di Lido (figura 10): batimetria del fondale (asse di lettura sinistro) rilevata durante le campagne del 2008 (giallo), 2009 (rosa) e 2010 (blu) e variazioni batimetriche (rosso e verde, asse di lettura destro).



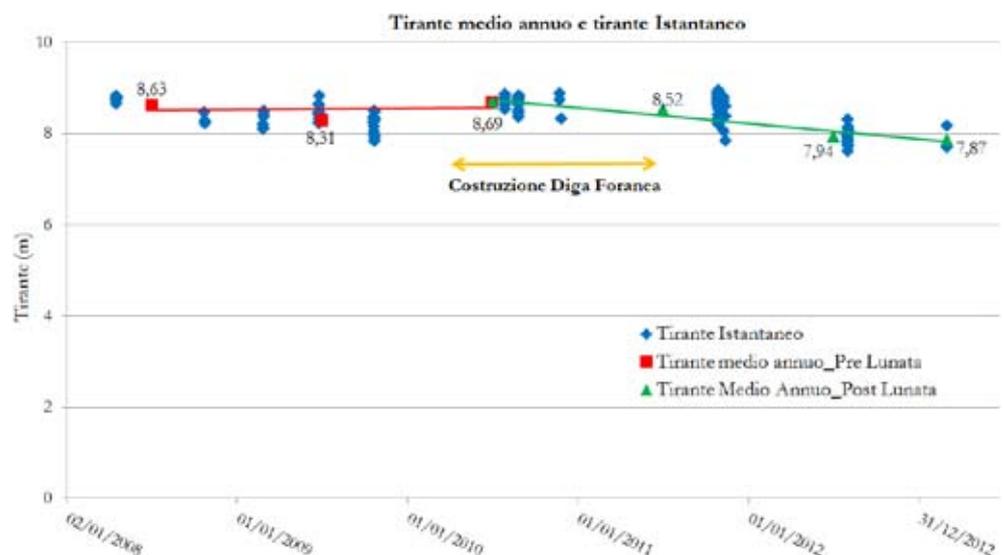
lungo la sezione di interesse 80-82 (figura 10) è espressione di variazioni a lungo termine nella sezione idraulica, e quindi di variazioni morfologiche della sezione stessa. Le evidenze sperimentali mostrano che il tirante medio annuo si è modificato successivamente al completamento della lunata; infatti, la pendenza della retta interpolatrice dei dati relativi al periodo post lunata (figura 22) suggerisce il verificarsi di fenomeni di riequilibrio morfologico a seguito della costruzione della lunata stessa.

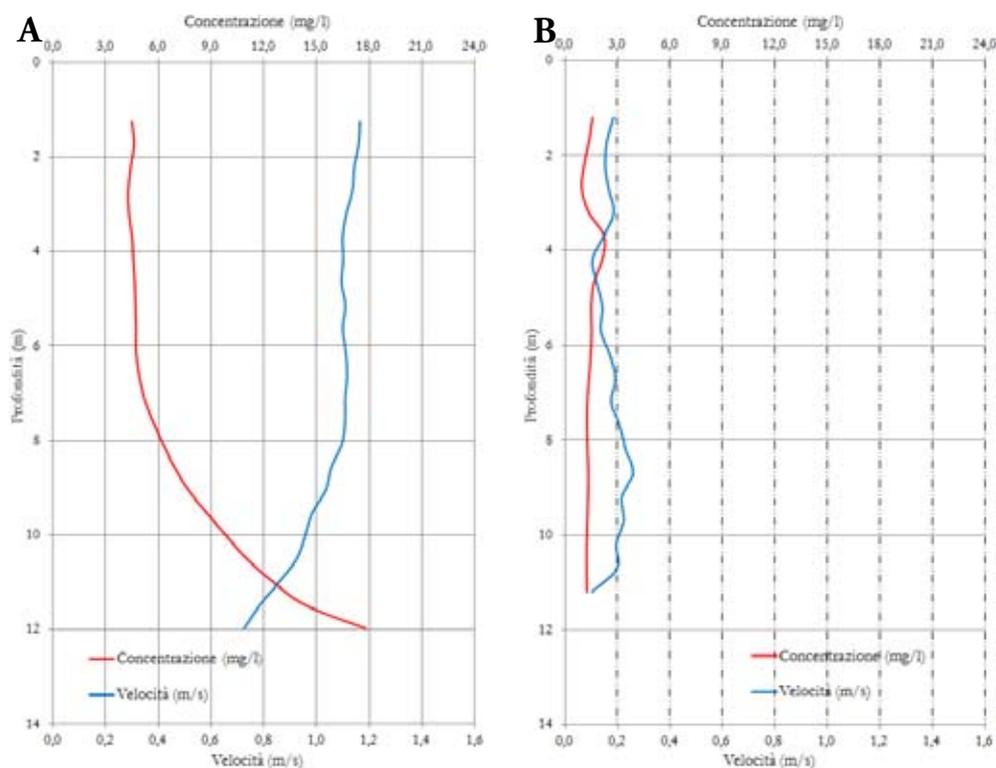
*Profili verticali di contrazione di particellato solido in sospensione*

Nell'ambito delle indagini del monitoraggio una particolare attenzione è stata dedicata allo studio del trasporto solido. Con i parametri misurati a diverse quote sui punti notevoli nelle sezioni investigate (figure 10, 11,12) sono stati individuati dei profili verticali sui quali è stato calcolato l'andamento della concentrazione del particellato solido in sospensione e della velocità della corrente lungo la colonna d'acqua.

Vengono qui mostrati, come esempio, dei profili relativi al punto notevole ADCP nella bocca di Lido (figura 10) per diverse condizioni idrodinamiche (figura 23). Come si può osservare, nel caso di velocità di corrente particolarmente elevata (> 0.5 m/s) il

22. Andamento del tirante calcolato lungo la sezione di interesse 80-82 alla bocca di porto di Lido, periodo 2008-2013.





23. Profili verticali della velocità di corrente (linee rosse) e concentrazione del particolato solido in sospensione (linee blu) al centro della sezione 80-82 (punto ADCP, figura 10) con due diverse condizioni di corrente di marea: A) velocità elevate, B) velocità basse.

profilo verticale (figura 23A) presenta un andamento regolarmente decrescente lungo la colonna d'acqua a partire dalla profondità di 8 m, mentre il profilo del materiale sospeso mostra un corrispondente progressivo aumento della concentrazione con massimi in prossimità dello strato più vicino al fondo. Nel caso di basse velocità di corrente (figura 23B) si vede come entrambe le grandezze presentino un andamento pressoché costante lungo la colonna d'acqua e con valori massimi di velocità decisamente inferiori (<0.3 m/s).

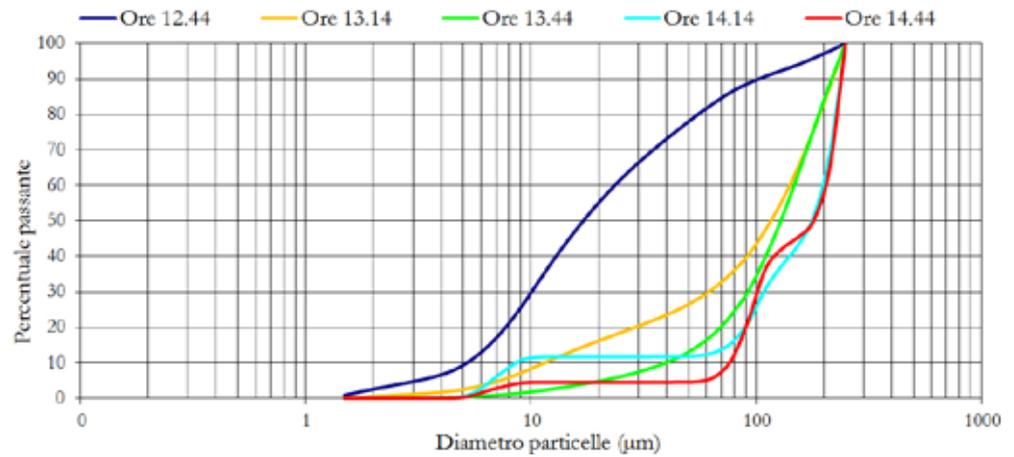
#### Proprietà granulometriche

Poiché nelle indagini idrodinamiche è molto importante anche conoscere le caratteristiche dei materiali trasportati dalle correnti, sin dalle prime fasi del monitoraggio è stato utilizzato lo strumento LISST-100X (figura 6). È quindi disponibile un database esteso sulle proprietà dei materiali trasportati dalle correnti nelle tre bocche di porto di Venezia nelle differenti condizioni di marea.

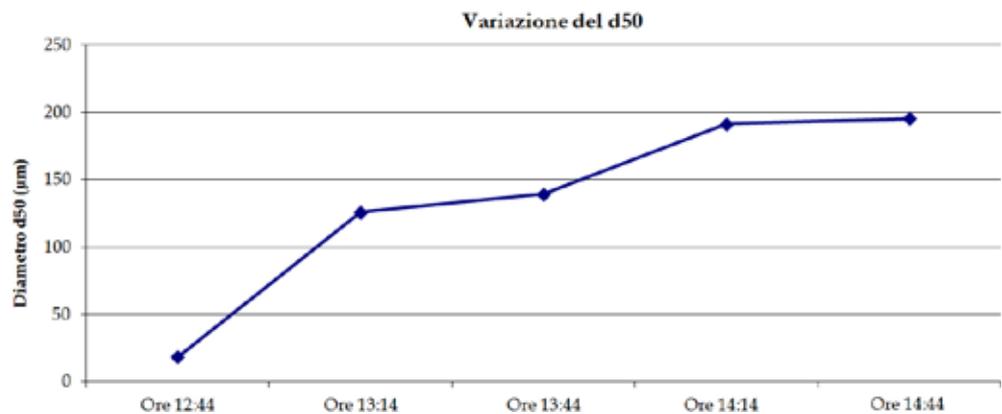
Negli esempi di figura 24 e figura 25 sono rappresentate rispettivamente le curve granulometriche ed i valori del diametro medio ( $d_{50}$ ), ovvero il diametro che rappresenta il 50° percentile della distribuzione cumulata, di una sessione di misure effettuate durante un calante di marea il giorno 17 febbraio 2010 nei pressi del punto 83 alla bocca di porto di Lido (figura 10). Le curve granulometriche (Figura 24) rivelano un aumento graduale delle frazioni più grossolane; infatti, i materiali più fini si hanno alle ore 12.44 mentre i più grossolani alla fine del calante tra le ore 14.14 e le ore 14.44. In particolare si osserva un brusco aumento della frazione grossolana tra le ore 12.44 e le ore 13.14, che probabilmente corrisponde anche all'aumento della velocità della corrente che causa la risospensione di elevate concentrazioni di materiale più grossolano. Corrispondentemente anche il  $d_{50}$  aumenta progressivamente dall'inizio del calante alle sue fasi finali (figura 25).

Nella figura 26, a titolo di esempio comunque rappresentativo della situazione alle tre

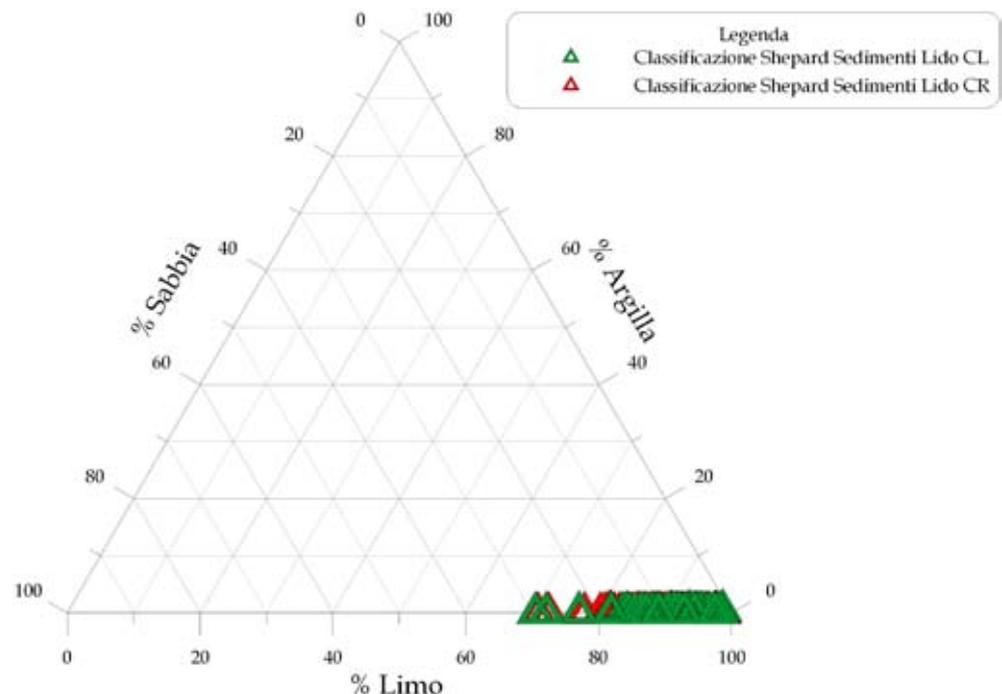
24. Distribuzione granulometrica in situ (Punto 83, figura 10) nella fase di marea calante, il giorno 17 febbraio 2010 presso la bocca di porto di Lido.



25. Variazione del d50 (Punto 83, figura 10) nella fase di marea calante, il giorno 17 febbraio 2010 presso la bocca di porto di Lido.



26. Diagramma di Shepard dei campioni prelevati tra maggio 2009 ed aprile 2010 alla bocca di porto di Lido. I campioni sono rappresentati con diverse colorazioni corrispondenti alla fase di marea calante (CL, verde) ed alla fase di marea crescente (CR, rosso).

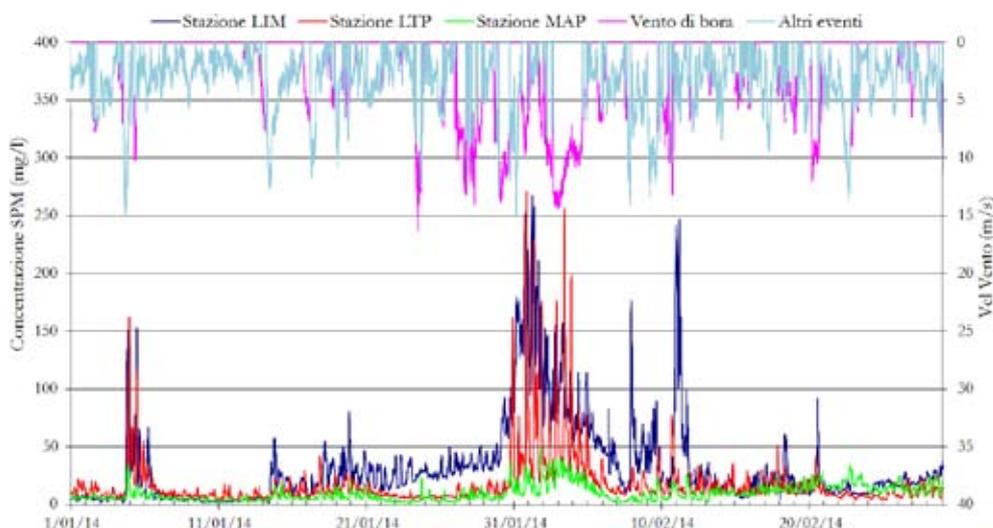


bocche di porto, è rappresentato un diagramma triangolare di Shepard (1954) nel quale sono riportati i risultati relativi ai campioni d'acqua prelevati alla bocca di porto di Lido nell'arco di un intero anno di monitoraggio, da maggio 2009 ad aprile 2010. Sono state determinate in laboratorio le percentuali in volume delle frazioni granulometriche in base alla scala di Udden-Wentworth (1922): argilla ( $\text{Ø} < 3.9 \mu\text{m}$ ), limo ( $3.9 \mu\text{m} < \text{Ø} < 62.5 \mu\text{m}$ ) e sabbia ( $\text{Ø} > 62.5 \mu\text{m}$ ). I campioni si posizionano all'interno del triangolo sulla base del loro contenuto percentuale delle tre frazioni granulometriche principali. I materiali campionati durante le normali attività di monitoraggio risultano solitamente molto omogenei: la componente argillosa è solitamente pressoché assente o al più presenta percentuali molto basse (<1%), mentre le frazioni sabbiosa e limosa risultano predominanti in questo contesto ambientale. È altamente probabile che la frazione argillosa sia incorporata come aggregato nella compagine sospesa e che quindi sia inclusa nelle altre due frazioni analizzate. La scarsa differenziazione fra le caratteristiche dei materiali nelle fasi di marea calante e crescente sembra indicare un prevalente rimaneggiamento della stessa tipologia di materiali che verrebbero continuamente scambiati dalle normali correnti di marea fra il delta tidale interno ed esterno.

### Registrazione in continuo della torbidità in stazioni fisse

Le serie temporali di dati acquisiti dalle stazioni fisse (un dato ogni 15 minuti, figura 13) rappresentano una base di riferimento per le valutazioni sulla torbidità generata dai cantieri; tuttavia, grazie alla loro estensione temporale, risultano utili anche per valutazioni sul trasporto in corrispondenza di particolari eventi meteomarinari e in generale sul trasporto solido laguna-mare.

Si riporta di seguito un esempio di andamento della concentrazione di particolato sospeso (SPM), rilevata nella stazione a mare LIM e nelle stazioni in laguna LTP e MAP, e della velocità del vento rilevata alla piattaforma oceanografica ISMAR-CNR nel periodo gennaio-febbraio 2014 (figura 27). Si osserva come nei giorni 1-3 febbraio 2014, in occasione di un intenso evento di bora con velocità del vento pari a 13-15 m/s, le tre stazioni rispondano in maniera diversa: nelle due stazioni alla bocca di porto di Lido i valori massimi di concentrazione sono simili (240-260 mg/l) sebbene nel caso della stazione interna LTP l'andamento della concentrazione sia altresì modulato dalla marea; per la stazione MAP, situata all'interno della bocca di porto di Malamocco, invece, i valori massimi raggiungono i 50 mg/l. Nel caso di venti di bora, quindi, il sistema della bocca di porto di Lido è caratterizzato da un maggior carico in sospensione rispetto a



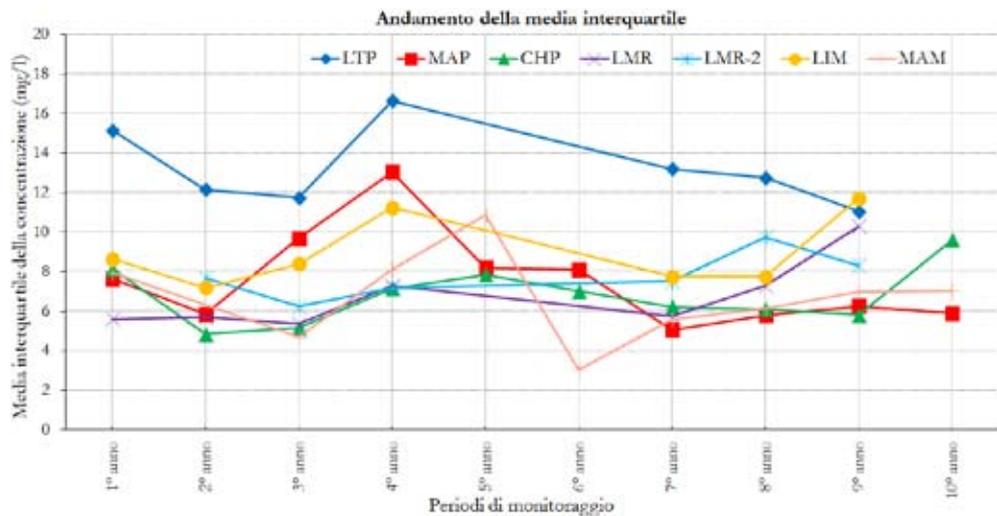
27. Serie temporale della concentrazione di SPM, presso le stazioni LIM, LTP e MAP, e della velocità del vento nel periodo gennaio-febbraio 2014.

quello della bocca di porto di Malamocco, in particolare nel lato nord del canale di bocca e nel canale di Treporti che ricevono l'input di materiale sospeso sul litorale di Cavallino e sospinto all'interno della bocca dalla marea entrante.

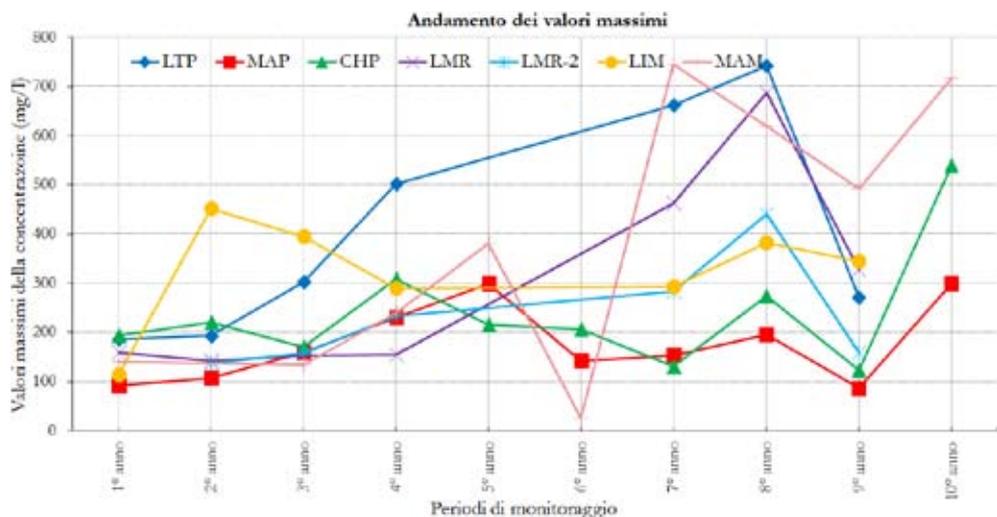
Per ciascuna delle stazioni è stata effettuata un'analisi statistica delle serie temporali relative ai singoli anni di misura. Si riportano come esempio, nelle figure seguenti (figura 28, figura 29), l'andamento della media interquartile dei valori massimi di concentrazione per ogni stazione e per i singoli anni del periodo di monitoraggio; nell'analisi non sono state inserite le stazioni in laguna che hanno funzionato per un periodo limitato (LSN, LSA), mentre è stata considerata la stazione CHM anche se ha funzionato solo per 4 anni (tabella 1). Dai risultati emerge una notevole variabilità dei parametri statistici della concentrazione sia spaziale sia temporale interannuale, legata principalmente alle frequenza degli eventi estremi; non è però evidente alcuna loro sistematica tendenza, nel corso del decennio, ad una crescita o decrescita in funzione del tempo.

Dato che l'obiettivo del monitoraggio è sia quello di acquisire i valori di torbidità di fondo ai fini della tutela degli ecosistemi di pregio sia quello di verificare la dispersione del *plume* di torbidità generato dalle draghe, è stata effettuata per ogni stazione un'analisi dei superamenti del valore di soglia della concentrazione (30 mg/l) rilevati nell'intero decennio del monitoraggio.

28. Andamento della media interquartile della concentrazione di solidi sospesi rilevata presso 7 stazioni fisse (figura 10) tra il 2005 ed il 2015.



29. Andamento dei valori massimi della concentrazione di solidi sospesi rilevata presso 7 stazioni fisse (figura 10) tra il 2005 ed il 2015.



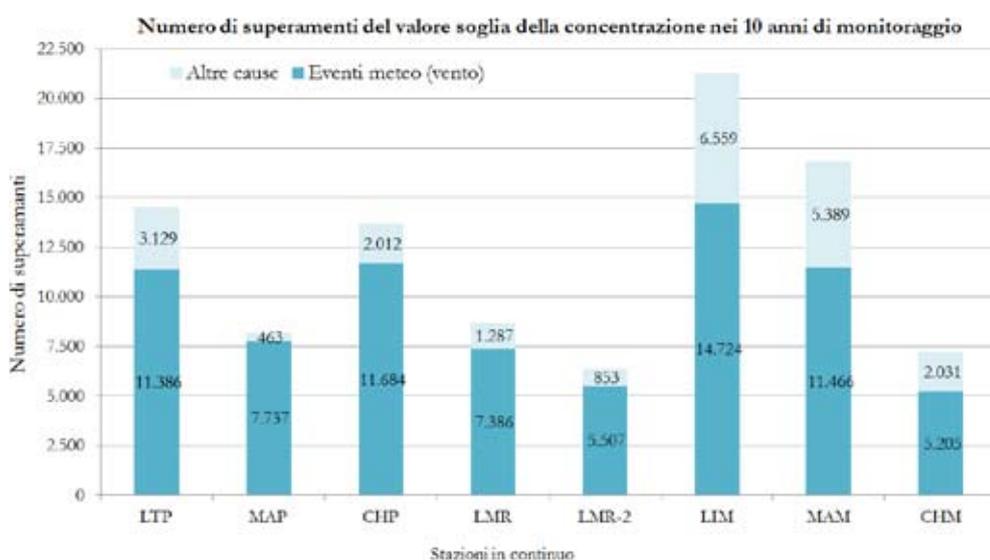
In condizioni generali, i superamenti del valore di soglia possono essere legati a numerose e differenti cause:

- eventi di risospensione riconducibili al vento locale, soprattutto bora, tanto in mare quanto, specialmente, all'interno della laguna;
- aumento della risospensione e del trasporto litoraneo, e quindi del carico, rilevabile anche nei giorni successivi all'evento di vento sostenuto scatenante, o addirittura in assenza di vento (moto ondoso creato a distanza);
- eventi di breve o brevissima durata (nell'arco di 1 ora circa) rilevati nelle stazioni all'interno delle bocche di porto ed in laguna dovuti al passaggio di imbarcazioni di grandi dimensioni (come porta-container o navi cisterna nella bocca di Malamocco) che sono caratterizzate da un pescaggio elevato (superiore ai 9 m);
- attività di dragaggio.

Per ogni stazione è stata pertanto effettuata una prima analisi, attribuendo o meno la causa del superamento ad un evento meteomarinico significativo, cioè con vento proveniente dalla stessa direzione con velocità, misurata alla piattaforma oceanografica del CNR-ISMAR (figura 10), prevalentemente maggiore di 10 m/s.

In generale, i superamenti vengono attribuiti alla categoria "eventi meteo" sia quando sono contemporanei al vento sia quando continuano anche dopo la fine del vento (infatti, in seguito ad un evento di bora, la risospensione naturale può durare anche più giorni), o se iniziano immediatamente dopo la fine del vento o, infine, se il superamento inizia un po' prima che il vento raggiunga la velocità di 10 m/s (ed abbia comunque velocità maggiore rispetto alle ore precedenti) e continui per la durata dell'evento meteomarinico. Si ricorda che dall'analisi dei risultati è emerso che le stazioni rispondono in maniera diversa alle forzanti naturali, confermando così la variabilità spaziale della torbidità e dei meccanismi che la determinano.

In figura 30 si riporta, per ogni stazione, il numero di superamenti, cioè il numero dei dati di concentrazione di valore superiore a 30 mg/l, attribuibili alle due categorie "eventi meteo" e "altre cause", per il totale dei 10 anni di monitoraggio. Vengono attribuiti alla categoria "altre cause" sia i superamenti dovuti al "mare lungo", cioè creati da eventi di lunga durata (soprattutto di scirocco, caratterizzato da un lungo fetch) che si sono verificati molte ore prima, sia i superamenti che avvengono in assenza di vento forte. Per i superamenti appartenenti a questa seconda categoria è stata ovviamente preventivamente verificata la presenza o meno di attività di scavo alle bocche di porto, in base alle in-



30. Superamenti (cioè numero di dati registrati ogni 15 minuti) del valore di soglia della concentrazione di solidi sospesi, pari a 30 mg/l, registrati nei 10 anni di monitoraggio, suddivisi per stazione di misura.

formazioni fornite dalla Direzione Lavori dei cantieri del MOSE.

Nella figura 30 si vede come per ogni stazione la maggioranza dei superamenti sia dovuta agli eventi meteo marini; si nota inoltre come le stazioni a mare LIM e MAM presentino un numero di superamenti dovuto ad “altre cause” abbastanza elevato, giustificabile con la maggior esposizione delle sonde al moto ondoso senza vento (onde lunghe) e alle correnti litoranee.

In ogni caso, per una soddisfacente analisi della variabilità della torbidità in relazione alle forzanti naturali nonché delle eventuali perturbazioni indotte dalle opere del Sistema MOSE, sarà sicuramente di aiuto lo sviluppo, già iniziato nell’ambito dell’attività di monitoraggio, di un modello semi-empirico capace di prevedere la torbidità in funzione delle forzanti naturali, con diverse configurazioni delle bocche.

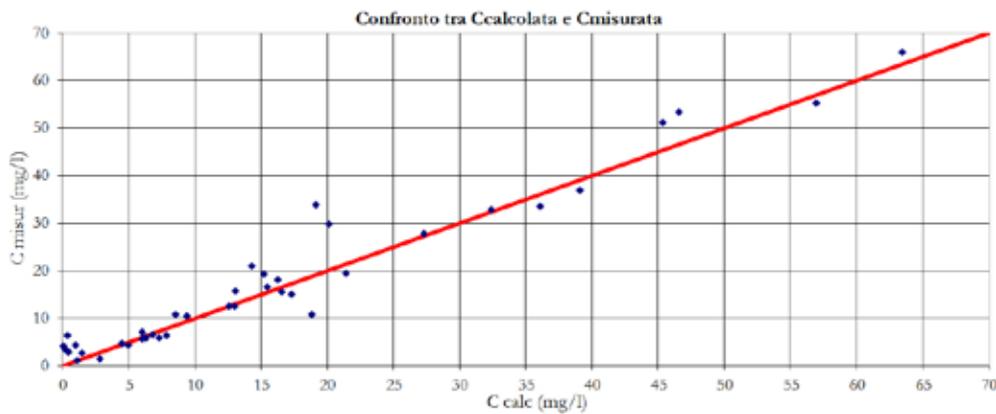
### **Modello del pennacchio (*plume*)**

Una delle difficoltà oggettive riscontrate nel monitoraggio delle attività di scavo è che la zona di maggiore impatto, dove opera l’apparecchiatura di dragaggio, non può essere sperimentalmente investigata sia per motivi di sicurezza sia per questioni legate alla qualità delle misure stesse; la presenza di forte turbolenza e la formazione di bolle d’aria infatti compromettono le misure acustiche e ottiche e la distribuzione dei materiali movimentati rende difficile l’approccio alla misura, dato che in prossimità dell’attrezzo si instaura una forte disomogeneità della scia di materiale disperso. È però possibile definire, in corrispondenza della draga, una sorgente diffusa di rilascio del sedimento (indicata come “area di dragaggio”) e seguire il comportamento del pennacchio che si muove trasportato dalla corrente mediante un modello teorico in grado di simulare la dispersione e il trasporto dei materiali a valle di quest’area.

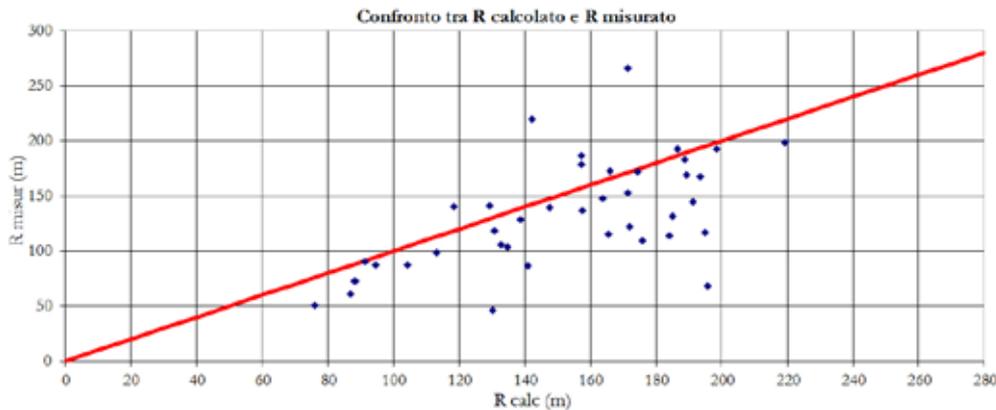
È stato quindi messo a punto un modello semplificato di trasporto e dispersione di sedimenti per studiare la conformazione e l’evoluzione del *plume* in funzione sia dell’input di sedimenti da parte della draga che delle correnti di marea. Ciò ha consentito di stimare approssimativamente la concentrazione di solidi sospesi generata da una draga ad una qualsiasi distanza da essa, senza dover necessariamente ricorrere alle misure in campo.

L’input di sedimenti generato dalle draghe dipende dalla tipologia della draga stessa: esso, ancorché mediato nel tempo, può essere considerato costante per alcuni tipi di draghe, ma non per le draghe idrorefluenti a sfioro; dalle misure condotte a bordo della draga idrorefluente a sfioro “Astra” risulta infatti che la quantità e la granulometria dei sedimenti refluiti in mare tendono a crescere nel corso delle operazioni di dragaggio, per il suo principio di funzionamento. È stato quindi necessario impostare un sotto-modello per descrivere il comportamento della miscela dragata all’interno della stiva e valutare la quantità e le caratteristiche granulometriche del materiale sfiorato ed immesso nella colonna d’acqua; tali risultati costituiscono l’input per il funzionamento del modello principale. Una descrizione dettagliata della struttura del modello e del sottomodulo viene riportata in appendice (APPENDICE “Modelli”).

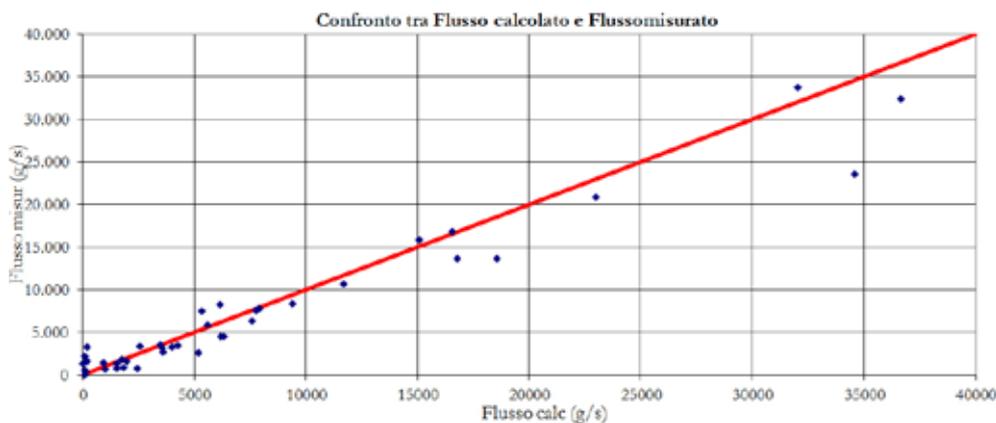
Il modello ha confermato la validità delle modalità per il monitoraggio dell’A.I.T. e per il rispetto del valore soglia della torbidità all’esterno di quest’area. I risultati del modello sono stati infatti confrontati con le misure eseguite in situ nel corso di alcune importanti operazioni di dragaggio condotte dalla draga “Astra” nella bocca di Lido nel 2005. Il confronto fra i risultati del modello e le misure in situ sono riportate nelle figure 31, 32 e 33, relative rispettivamente alla concentrazione di sedimenti sull’asse del pennacchio C, alla larghezza del pennacchio R ed al flusso longitudinale di sedimenti. Si nota che le migliori correlazioni si hanno tra C calcolata e C misurata e tra Flusso calcolato e Flusso misurato, mentre per quanto riguarda il confronto tra la larghezza del pennacchio (R calcolata e misurata) la corrispondenza non è così evidente.



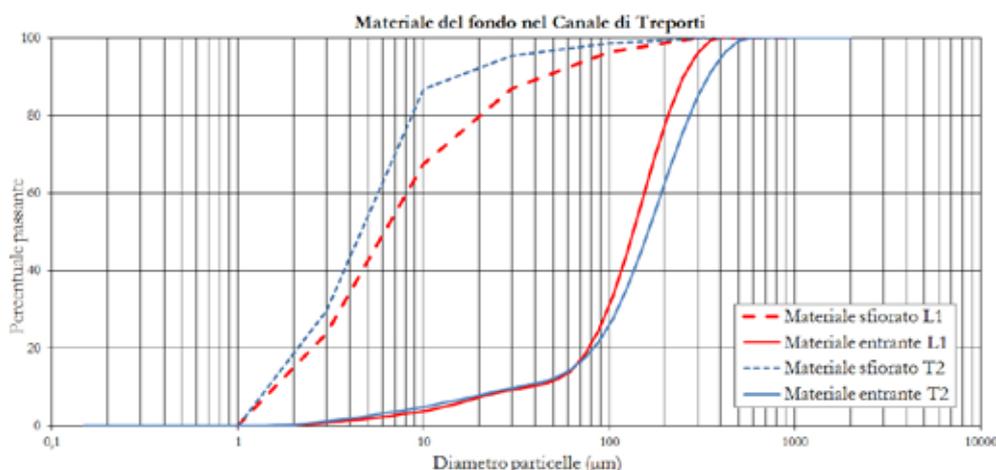
31. Confronto tra la concentrazione sull'asse del pennacchio calcolata dal modello e misurata nel corso delle campagne eseguite nel 2005, presso la bocca di porto di Lido, in presenza della draga idrorefluente a sfioro "Astra".



32. Confronto fra la larghezza del pennacchio R calcolato dal modello e misurato nel corso delle campagne eseguite nel 2005, presso la bocca di porto di Lido, in presenza della draga idrorefluente a sfioro "Astra".



33. Confronto tra il flusso calcolato (con R misurato) ed il flusso misurato nel corso delle campagne eseguite nel 2005, presso la bocca di porto di Lido, in presenza della draga idrorefluente a sfioro "Astra".



34. Curve granulometriche del materiale entrante nella stiva (materiale del fondo) della draga "Astra" e del materiale sfiorato nel canale di San Nicolò (L1) e nel canale di Treporti (T2) alla bocca di porto di Lido (campagne del 2005).

In figura 34 si riportano le curve granulometriche relative ai materiali del fondo e a quelli sfiorati dalla draga nel canale di San Nicolò (L1) e nel canale di Treporti (T2) alla bocca di porto di Lido. Si osserva che esiste una differenza notevole tra i due spettri granulometrici; come già descritto, infatti, all'interno della stiva della draga idrorefluente a sfioro avviene una separazione dei materiali più grossolani che decantano a discapito di quelli più fini che fuoriescono dallo sfioro. Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti sfiorati dalla draga sono di fondamentale importanza in quanto input del sotto modello di dispersione del *plume*.

## Conclusioni

Le indagini effettuate durante le attività di cantiere hanno permesso di verificare il rispetto dei criteri fissati per la salvaguardia dell'ecosistema, in particolare per quanto riguarda il valore soglia della concentrazione di solidi sospesi fissato pari a 30 mg/l. I superamenti attribuibili ai lavori di dragaggio riscontrati nel corso delle giornate di campagna si limitano ad alcune lavorazioni particolari, condotte per intervalli di breve durata, quali: scavi con draga idrorefluente a sfioro, refluitamento dei materiali per la costruzione dell'isola nuova, operazioni di rilascio di pietrame da imbarcazione con chiglia apribile. In nessun caso i superamenti del valore di soglia si sono estesi al di fuori dell'“Area di Impatto Totale” (A.I.T.).

In talune circostanze si sono verificate condizioni di criticità, come ad esempio durante la costruzione della diga foranea a Lido, che hanno portato a effettuare ispezioni mirate per il controllo dell'osservanza dei limiti imposti. Le segnalazioni di eventi potenzialmente critici sono avvenute successivamente ad allarmi lanciati sulla base di osservazioni per lo più visive, da elicottero o da natante. Tuttavia si è dimostrato che un impatto visivo molto forte, quale quello verificatosi durante la risospensione in condizioni di acqua ad elevata trasparenza, non necessariamente si traduce, alla luce delle determinazioni sperimentali effettuate, in valori di torbidità potenzialmente impattanti e superiori al valore limite.

Dall'analisi svolta sulla lunga serie storica di dati raccolta dalla rete di stazioni fisse per il rilievo della torbidità in continuo risulta una notevole variabilità dei parametri statistici della concentrazione sia spaziale sia temporale interannuale, legata principalmente alle frequenze degli eventi estremi. Questo risultato escluderebbe un effetto significativamente importante della realizzazione delle opere sul trasporto solido, almeno per quanto riguarda le concentrazioni misurate in corrispondenza delle stazioni scelte. Quasi sempre il pennacchio di materiale risospeso dai mezzi di scavo operanti nelle aree di cantiere non presenta un'estensione tale da interessare significativamente le stazioni fisse per la registrazione della torbidità. Pertanto è estremamente improbabile che i superamenti del valore di soglia segnalati dai torbidimetri siano attribuibili alle operazioni di dragaggio; infatti per ogni stazione la maggioranza dei superamenti è dovuta agli eventi meteorologici. Del resto, come già detto, i controlli condotti per mezzo di imbarcazioni nelle vicinanze della draga durante le operazioni di dragaggio hanno confermato il generale rispetto dei valori di soglia e delle altre limitazioni imposte. Considerata peraltro l'alta variabilità temporale, ma anche spaziale, delle forzanti naturali (vento locale e moto ondoso), va da sé che tale provvisoria conclusione dovrebbe essere suffragata da future registrazioni nelle stesse stazioni torbiometriche, auspicabilmente da proseguire sistematicamente negli anni a venire.

Per quanto riguarda gli aspetti investigati, si può evidenziare che gli interventi sinora eseguiti per la realizzazione delle opere mobili hanno avuto, nel breve e medio periodo, un impatto minimo sugli ecosistemi limitrofi, sia per durata che per intensità rispetto agli

eventi di origine naturale.

Tali interventi hanno comportato però trasformazioni morfologiche locali piuttosto importanti. Al di là delle trasformazioni rappresentate dagli stessi interventi, esistono delle retroazioni nel sistema bocche mareali-litorali che possono essere considerate una risposta dell'ambiente naturale alle trasformazioni operate dall'uomo. Il monitoraggio effettuato mediante strumentazione acustica ha permesso la raccolta di numerose informazioni dettagliate circa le strutture del campo di corrente alle diverse scale (turbolenze, vorticità a mesoscala, asimmetrie del flusso, ecc.). Queste informazioni hanno consentito di evidenziare variazioni nell'idrodinamica e nella morfologia causate dalla realizzazione delle opere o dalle trasformazioni indotte dalla loro presenza e possono essere di grande utilità nell'ottica di un controllo delle variazioni future, nel medio e lungo periodo, nel sistema bocche tidali-litorali anche dopo l'operatività del Sistema MOSE.

Si evidenzia l'importanza di una continuazione degli studi su idrodinamica, trasporto solido e registrazioni in continuo in un'ottica di gestione del sistema fisico rappresentato dall'insieme opere-contesto naturale.

I dati raccolti potranno essere inoltre di grande utilità per la calibrazione e validazione di modelli matematici per la previsione di processi morfodinamici sul medio e lungo periodo, consentendo di superare le limitazioni legate alla sola osservazione puntuale dei processi.

## Ringraziamenti

Il monitoraggio per lo studio della torbidità e dell'idrodinamica durante la realizzazione del Sistema MOSE presso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia è stato possibile attraverso la collaborazione di diverse Istituzioni ed Enti di ricerca: CORILA, ISMAR-CNR, OGS, UNIPD.

Le numerose attività (campionamenti, analisi di laboratorio, elaborazione dati e modellistica) sono state svolte nel corso degli anni da personale qualificato. Si ringraziano pertanto: Franco Arena (OGS), Emiliano Checchin (SELC soc. coop.), Franco Costa (ISMAR-CNR), Daniele Curiel (SELC soc. coop.), Caterina Dabalà (CORILA), Loris Dametto (ISMAR-CNR), Valentina Defendi (ISMAR-CNR e CORILA), Stefano Donà (ISMAR-CNR), Riccardo Fiorin (Laguna Project), Francesco Fracassi (CORILA), Miroslav Gacic (OGS), Giorgio Gelsi (OGS), Vèdrana Kovacevic (OGS), Gian Franco Magris (ISMAR-CNR), Roberto Malfassi (OGS), Francesca Manfrin (ISMAR-CNR), Marino Meneghin (ISMAR-CNR), Matteo Morgantini (CORILA), Federico Riccato (Laguna Project), Ruggero Ruggeri (ISMAR-CNR), Francesco Simionato (ISMAR-CNR), Giovanni Venier (CORILA), Gabriele Zamperoni (CNR-ISMAR) e Marinai Trip Navi.

## Appendici

### Calcolo del valore soglia della concentrazione

Nel 2005 è stato messo a punto il procedimento per il calcolo del valore della concentrazione massima ammissibile ( $C_{\max}$ ), utilizzando la breve serie di dati disponibile. Nel 2011 si è deciso di utilizzare i numerosi dati raccolti nei sei anni di monitoraggio successivi per una verifica della coerenza della scelta effettuata per il valore di soglia.

All'esterno dell'area di impatto totale (A.I.T.), già definita per contestualizzare il valore soglia, si può tollerare che il valore  $C_{\max}$  sia pari a quello superato con una frequenza accettabile (il 10% del tempo) in condizioni naturali e che la sua persistenza non superi le 6 ore del semiperiodo di marea. Analizzando, per ciascun torbidimetro, la serie storica dei valori di concentrazione, il valore  $C_{\max}$  sarebbe quindi pari al valore corrispondente al 90° percentile della serie di dati ( $C_{90}^R$ ). Per rendere applicabile il valore  $C_{90}^R$  così ottenuto da un singolo torbidimetro ad una più ampia zona, esso è stato moltiplicato per il "coefficiente di variabilità spaziale", dato dal rapporto fra il valore mediano della concentrazione misurata nell'intera area di interesse in tutte le campagne effettuate ed il valore mediano della concentrazione registrata dallo stesso torbidimetro.

In conclusione, la concentrazione ammissibile  $C_{\max}$  al di fuori della A.I.T. è così calcolata:

$$C_{\max} = C_{90}^R * C_{50}^Z / C_{50}^R$$

dove:

$C_{90}^R$  : 90° percentile della concentrazione misurata in una delle stazioni fisse per la misura della torbidità;

$C_{50}^R$  : 50° percentile della concentrazione nell'area di interesse, misurata durante numerose campagne di misura effettuate sull'intera zona nelle vicinanze del torbidimetro;

$C_{50}^Z$  : 50° percentile della concentrazione misurata nella stessa stazione fissa.

La prima applicazione di tale formula nell'anno 2005 è stata effettuata utilizzando la breve serie di dati disponibile (giugno 2004-febbraio 2005) per l'unico torbidimetro collocato nella parte mediana del canale di Lido (6044 dati), nonché tutte le campagne condotte fra il 2002 e il 2005 nelle due bocche di porto di Lido e Chioggia (612 dati). I valori così calcolati ( $C_{50}^R = 4,2$  mg/l,  $C_{90}^R = 16,7$  mg/l e  $C_{50}^Z = 7,6$  mg/l) hanno fornito un valore pari a  $C_{\max} = 30$  mg/l, sistematicamente utilizzato negli anni successivi come valore soglia per il monitoraggio della torbidità.

Nel 2011 invece per il calcolo del parametro  $C_{50}^Z$  è stata utilizzata la serie di tutte le misure effettuate durante le campagne svolte nel periodo 2006-2011 in assenza di operazioni di scavo (considerando quindi solamente la torbidità naturale) in specifiche sezioni di interesse nelle tre bocche di porto in varie condizioni di marea. Si osserva che questa serie esprime sia la variabilità spaziale della torbidità, sia la sua variabilità temporale, limitatamente peraltro alle sole correnti di marea; la serie stessa infatti non contiene importanti eventi di moto ondoso, durante i quali solitamente non si eseguono rilievi da imbarcazione.

Per il calcolo dei parametri  $C_{50}^R$  e  $C_{90}^R$  sono state utilizzate inoltre le serie cronologiche registrate in continuo nelle stazioni fisse (figura 13, tabella 1). Tali serie, al contrario, contengono oltre alle maree eccezionali, anche gli eventi intensi di moto ondoso.

Considerando le seguenti circostanze:

- verosimile sottostima nella valutazione di ( $C_{50}^Z$ ),
- numero necessariamente limitato di stazioni torbidimetriche,
- conseguente incertezza nel classificare in dettaglio le possibili sotto-zone lagunari,

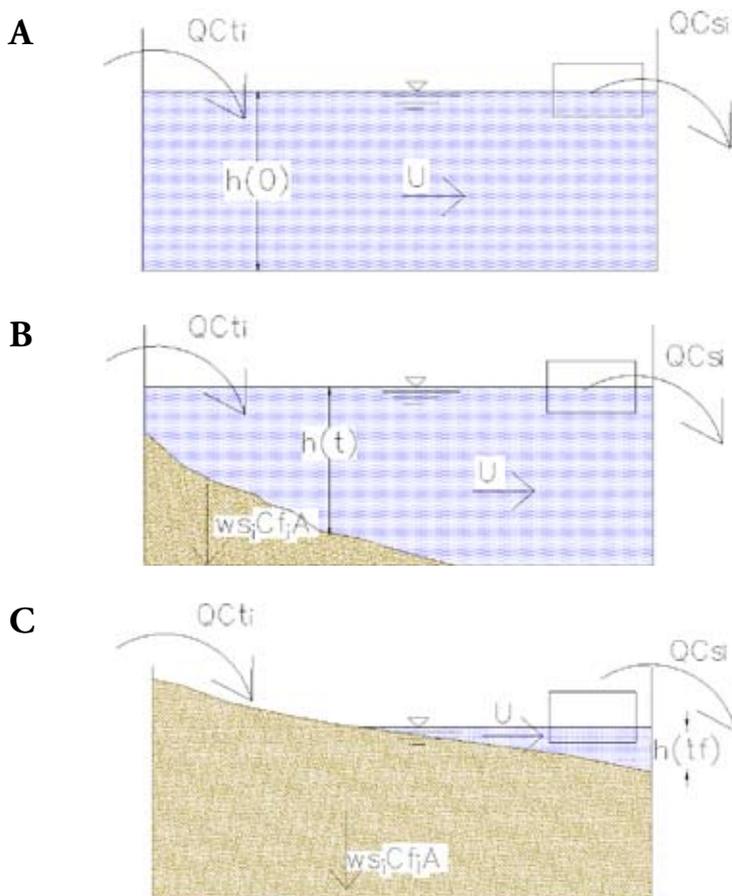
- carattere comunque “convenzionale” dei criteri di tolleranza e del valore di riferimento stabilito,
- condivisione fra esperti dei criteri e dello stesso valore finale,
- familiarità degli operatori e dei controllori con i criteri già accettati,

si è ritenuto che i risultati ottenuti non siano stati tali da giustificare una riduzione del “valore di soglia” calcolato nel 2005 e pari a 30 mg/l, né tantomeno una differenziazione di tale valore fra le tre bocche oppure fra zona e zona nella laguna. Lo studio effettuato ha quindi confermato come “valore di soglia” sulla frontiera della A.I.T. una concentrazione media nella colonna d’acqua pari a 30 mg/l.

## Modelli

### Sottomodello della stiva della draga idrorefluente

Quando la draga idrorefluente a sfioro inizia a scavare e ad immettere nella stiva la miscela acqua-sedimento a concentrazione elevata ( $C = \sum C_i$  essendo  $C_i$  la concentrazione della frazione  $i$ -ma) la velocità longitudinale dell’acqua nella stiva stessa diretta verso lo sfioro ( $U$ ) è abbastanza bassa in quanto il tirante d’acqua medio  $h$  (figura 35) è piuttosto elevato, essendo la stiva ancora praticamente vuota: in questo modo viene facilitata la sedimentazione delle particelle più grosse ( $w_i C_i A$ ), che iniziano a formare un letto di sabbia, mentre la concentrazione dello scarico  $C_s$  è ancora molto bassa e formata dalle sole particelle sottili. Tale processo continua per un certo tempo durante il quale aumenta lo spessore del letto di sabbia fino al raggiungimento del carico massimo. Nell’istante generico si possono quindi individuare nella stiva due volumi: il volume occu-



35. Schematizzazione a scala deformata del processo di carico all’interno della stiva e sfioro del materiale.  
 A) situazione iniziale al tempo  $t=0$ ;  
 B) situazione intermedia al tempo  $t$ ;  
 C) situazione finale al tempo  $t_f$ .

pato dal materiale depositato sul fondo ed il volume occupato dalla miscela di scarico. Man mano che aumenta il volume del letto di fondo e diminuisce il volume occupato dalla miscela, la velocità della corrente aumenta e, conseguentemente, aumenta la quantità del materiale in sospensione convogliato verso lo scarico ( $QC_{s_i}$ ) e rilasciato in mare. Dapprima escono le particelle più fini e, quando la velocità longitudinale dell'acqua comincia a prevalere rispetto a quella di sedimentazione, iniziano a fuoriuscire anche le particelle più grosse. La fase di stivaggio e di sfioro dei sedimenti in mare termina quando le perdite di sedimenti dalla stiva diventano eccessivamente elevate e non è più conveniente proseguire lo scavo.

Il bilancio di sedimenti delle varie classi granulometriche ( $i$ ) fra flusso entrante ( $QC_{t_i}$ ), flusso uscente ( $QC_{s_i}=g_{0_i}$ ) e flusso netto di deposito ( $w_{s_i}C_{f_i}A$ ) fornisce il valore della portata solida scaricata in mare per ciascuna classe granulometrica ( $g_{0_i}$ ). I dati che permettono il calcolo di  $g_{0_i}$  sono: la composizione granulometrica del materiale di fondo dragato, la portata liquida di dragaggio  $Q$ , le dimensioni della stiva ( $A \cdot h_0$ ), due parametri costanti (caratteristiche delle draga) la cui taratura può essere eseguita nel corso di una operazione di dragaggio. La portata solida  $g_{0_i}$  del materiale sfiorato per ciascuna classe granulometrica costituisce il dato di input per il modello principale, che simula il comportamento del pennacchio rilasciato dalla draga.

#### *Modello principale del pennacchio*

Le ipotesi che stanno alla base della formulazione del modello principale e che permettono di semplificarlo sono:

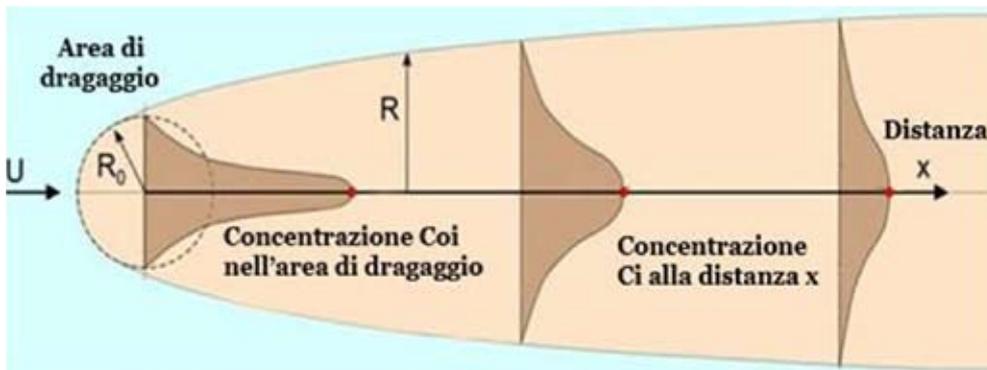
- concentrazione uniforme sulla profondità;
- profondità costante;
- velocità dell'acqua uniforme e stazionaria;
- dimensioni limitate e conosciute dell'area di dragaggio;
- concentrazione prodotta dal dragaggio sovrapponibile a quella dovuta alla risospensione da parte di vento, onde e correnti.

Con riferimento anche alla figura 36, indicheremo con:

- $x$  = distanza tra il punto di misura e il baricentro dell'area di dragaggio (m),
- $R_0$  = raggio nell'area di dragaggio (m),
- $R(x)$  = semiampiezza del pennacchio nella sezione di misura (m),
- $h$  = profondità (m),
- $U$  = velocità dell'acqua (m/s),
- $w_{s_i}$  = velocità di sedimentazione (funzione della frazione granulometrica  $i$ -ma delle particelle) (m/s),
- $t_f$  = tempo che intercorre tra l'istante di inizio scavo e l'istante di misura (s),
- $\tau = X/U$  = tempo impiegato dall'acqua per percorrere la distanza tra la zona di scavo e il punto di misura (s),
- $t_e$  = tempo che intercorre fra l'istante finale dello scavo e l'istante di misura (s),
- $K_{\tau}$  = coefficiente di dispersione laterale ( $m^2/s$ ) (a rigore dipende dalla scala di turbolenza ma è ragionevolmente assunto costante).

Il pennacchio di torbida (figura 36) creato dalle attività di scavo viene calcolato nel modello come la somma di "nuvole elementari" create con successive immissioni istantanee di massa infinitesima rilasciate in  $x=0$ . La concentrazione di ogni nuvola elementare tende col passare del tempo ad abbassarsi, in virtù della sedimentazione e del fenomeno dispersivo che determinano un allargamento del raggio  $R$  della nuvola.

Dal sottomodello del riempimento della stiva risulta che  $g_{0_i}$  è nullo all'inizio dello sfioro



36. Pennacchio di torbidità prodotto da una draga che immette, in continuo, una quantità di sedimenti ( $g_{0i}$ ) aventi granulometria  $i$ . La concentrazione  $C_i(x)$  decresce con la distanza longitudinale  $x$  e con la distanza trasversale dall'asse del pennacchio.

( $t=tf$ ) ma aumenta linearmente nel tempo, assumendo il suo massimo valore al termine dello scavo ( $t=te$ ) cioè per  $tf < t < te$ .

$$g_0 = \alpha_t (tf - t)$$

con  $\alpha_t$  valore noto fornito dal citato sottomodulo.

Ipotizzando una distribuzione lineare della concentrazione in direzione trasversale al pennacchio, il bilancio di massa fornisce l'andamento delle dimensioni della nuvola nel tempo:

$$R(t) = \sqrt{R_0^2 + 6k_r t}$$

mentre la concentrazione  $\Delta C_i(t)$  della frazione  $i$ -ma all'interno della nuvola elementare diminuisce nel tempo secondo l'espressione:

$$\Delta C_i = \frac{3g_0 \Delta t}{\pi R_0^2 h} \exp(-\gamma_i t)$$

Il coefficiente  $\gamma_i$  esprime il decadimento nel tempo della concentrazione di solidi sospesi nella nuvola:

$$\gamma_i = \frac{w_{si}}{h} + \frac{6k_r}{R_0^2}$$

Il coefficiente  $\gamma_i$  congloba le due componenti che influiscono sul decadimento della concentrazione: la componente di sedimentazione dovuta al peso delle particelle ( $w_s/h$ ), la dispersione dei sedimenti in sospensione e quindi l'allargamento della nuvola; processo quest'ultimo regolato dal coefficiente  $K_r$  e dalla dimensione iniziale della nuvola pari a  $R_0$ .

Passando all'integrazione tra  $tf$  e  $t < te$  si ha, per ogni frazione granulometrica,

$$C_i(t) = \frac{3\alpha_t}{\pi R_0^2 h \gamma_i} \left[ e^{(-\gamma_i t)} \left( t_f - t - \frac{1}{\gamma_i} \right) + \beta_i \frac{1}{\gamma_i} e^{(-\gamma_i t_f)} \right]$$

che esprima la variazione della concentrazione della frazione  $i$ -esima nel baricentro della nuvola integrale.

Utilizzando la relazione  $te=X/U$  si ottiene, dalla formula precedente, la distribuzione spaziale della concentrazione  $C(x)$  sull'asse del pennacchio al termine dello scarico  $t=te$ , cioè nella situazione di massima estensione della torbidità. Come intuitivo, si osserva che l'estensione del pennacchio è più ampia per operazioni di dragaggio intense e prolungate ( $\alpha_t$  e  $t_f$  elevati), per operazioni di dragaggio concentrate ( $R_0$  ridotto) e per le frazioni più fini ( $\gamma_i$  più piccolo).

La concentrazione totale  $C(x)$  nel pennacchio a diverse distanze  $x$  dalla draga, misurata al tempo  $t=te$  ( $te=X/U$ ) dopo l'inizio delle operazioni di dragaggio  $t=t_p$  è fornita pertanto dalla sommatoria delle singole frazioni granulometriche.

$$C = \sum_{i=0}^s C_i$$

con  $C_i$  fornite precedentemente.

## Bibliografia

- Anchor Environmental CA, L.P. (2003) Literature review of Effects of resuspended Sediments due to dredging operations. Irvine, California.
- ANPA (1999) Le principali metodiche di campionamento e analisi del particolato in sospensione in ambienti acquatici. Rassegna bibliografica, Serie Documenti 9/1999.
- Di Silvio G., Franzoia M., Nones M., Bonaldo D., Zaggia L., Lorenzetti G., Dall'Angelo C. (2011) Evaluating sediment input of rivers flowing in the Lagoon of Venice. In Scientific Research and Safeguarding of Venice, CORILA. Volume VII, 2007-2010 results.
- EPA (2001) Guidelines for Dredging.
- EPA (1986) Quality criteria for water. 440/5-86-001.
- Idronaut Srl. (2005a) OceanSeven 304 CTD-T OPERATOR MANUAL, Brugherio (Milan).
- Idronaut Srl. (2005b) Seapoint Turbidity Meter USER MANUAL, Brugherio (Milan).
- Land J., Burt T. N. and Otten H. (2004) Application of a new international protocol to measurement of sediment release from dredgers. Proc. 17<sup>th</sup> World Dredging Conference, Hamburg.
- Land J., Clarke D., Reine K., Dickerson C. (2007) Acoustic Determination of Sediment loss terms for mechanical dredging operations at Providence, RI, USA. Proc. 18th World Dredging Conference, Orlando.
- Madricardo F., Amos C. L. , De Pascalis F., Ferrarin C., Fogarin S., Lorenzetti G., Kassem H., Kruss A., Maicu F., Petrizzo A., Umgiesser G., Zaggia L. (2015) Sediment transport in a tidal inlet: the case of the Lido inlet, Venice, Italy. Conference: ECSA 55 Unbounded boundaries and shifting baselines: Estuaries and coastal seas in a rapidly changing world, At London UK.
- Ertfemeijer P. L., Lewis R. R. III (2006) Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. Marine Pollution Bulletin, Volume 52, Issue 12. Pag. 1553-1572. Elsevier.
- Wilber D. H. and Clarke D. G. (2011) Biological Effects of Suspended Sediments: A Review of Suspended Sediment Impacts on Fish and Shellfish with Relation to Dredging Activities in Estuaries, North American Journal of Fishery Management, 21: 855-875.

## Summary

We describe here the approach for the monitoring of hydrodynamics and water turbidity and summarize the main results of the investigations.

Acoustic techniques were extensively employed to study water and sediment transport and their temporary perturbations caused by the variety of engineering works that followed over time, as well as the effects of the permanent morphological changes at the inlets. The most impacting perturbations induced by the works included dredging interventions and the release of rock materials for the construction of breakwaters. Investigations were mainly based on the conversion of *backscatter* recorded by Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) operated from a survey boat or a wireless connected trimaran. The calibration was based on CTD measurement performed with a multiparameter probe and a large series of water samples collected with an integrated rosette sampler, requiring a particular effort in the field. However, once the conversion was obtained, the procedure guaranteed a rapid assessment of short-term variations in the suspended sediment concentration, allowing to monitor the highly dynamic environment of the inlet channel as well as the turbidity plume released from an operating dredger.

Turbidity was also measured in continuous in some fixed stations located near the construction area providing a base reference for the comparison of impacts with the natural trend of suspended particulate matter (SPM). As continuous measurements of seawater turbidity in a network of stations is not a simple task, dedicated methodologies have been developed for processing and analyzing recorded data and to convert time series of turbidity (FTU) in time series of suspended particulate matter (mg/l) allowing to evaluate possible impacts of work sites on the ecosystem quality. An increase of the suspended sediments concentration generated by dredging works can, for instance, increase the oxygen demand or reduce light penetration in the water column with effects on the biota. A “threshold” limit on the SPM concentration was then defined by means of statistical analysis on data collected in the first phase of the monitoring period. This limit, calculated for the specific context on the basis of the natural trend of turbidity and information from the technical and scientific literature, cannot be exceeded outside a predetermined area around the operating machine whose size is defined as a function of current velocity. By respecting this limit negative effects on the valuable ecosystems surrounding the worksites, like seagrass meadows and associated biological communities can be avoided. Therefore, controls on the activities have been performed with acoustic measurements during field-surveys and by the records of fixed turbidity stations, and any violation of the imposed limit was reported to the authority in charge of the project management.

In the absence of measurements the impact of the works can still be assessed using predictive tools: a simplified sediments transport and dispersion model was developed to predict the configuration and the evolution of the turbidity plume as a function of both the input of sediments released by a trailing suction hopper dredger, the most impacting vessel among those monitored, and the tidal currents. This numerical model allowed to estimate the concentration of suspended particles at any distance from the operating vessel.

As the morphodynamics of the inlets is controlled by sediment properties and tidal currents the investigations on particulate transport are integrated with studies on the water circulation of the inlets and grain size distribution of the suspended fraction. Field measurements were performed in several test sections which included areas of the ebb and flood tidal delta by combining information acquired on the channel cross-section and along its longitudinal direction describing most of the variability of the investigated system.





# Le dinamiche distributive delle praterie a fanerogame marine delle bocche di porto

## *Temporal dynamics of distribution of marine seagrasses located near the lagoon inlets*

Daniele Curiel, Chiara Miotti, Matteo Zucchetta, Andrea Rismondo

### Introduzione

Le fanerogame marine svolgono, negli ambienti di transizione, un ruolo portante nel sostenere la catena trofica e nel mediare i processi fisici che controllano la morfologia lagunare. Per tali motivi sono ritenute, a livello internazionale, ottimi indicatori per rilevare situazioni di stress ambientale. La regressione o l'espansione delle praterie, dopo un'opportuna valutazione delle eventuali pressioni naturali o antropiche, può dare indicazioni sulle tendenze in atto nell'ambiente. Diversamente dalle macroalghe, infatti, le fanerogame hanno una stretta interazione sia con il comparto idrico, attraverso l'apparato epigeo (ciuffi fogliari), sia con i fondali, tramite la loro porzione ipogea, composta da radici e rizomi che, in alcune specie, possono penetrare nel sedimento anche per 20-30 cm. Le variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche e idrodinamiche delle acque e dei sedimenti, se persistenti, possono modificare la struttura (copertura, densità e tipo di specie), l'estensione e la funzionalità delle praterie.

Considerato il loro ruolo ecologico e di sentinella, le fanerogame sono state incluse tra le specie marine e salmastre protette a livello nazionale e internazionale, come riportato nel "Protocollo sulle Aree Specialmente Protette e la Biodiversità in Mediterraneo" (ASPIM-Convenzione di Barcellona, 1995) e nella "Convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa" (Convenzione di Berna, 23/06/1979). Sono inoltre inserite tra le specie di maggiore attenzione nei Piani di Azione per la Conservazione della Vegetazione Marina in Mediterraneo (RAC/SPA-Regional Activity Centre for Specially Protected Areas). Anche la Direttiva Europea 2000/60 assegna a queste macrofite la massima importanza come elementi indicatori di livello integrato e riassuntivo delle condizioni ecologiche dell'intero corpo idrico.

In laguna di Venezia l'ecologia delle fanerogame marine, soprattutto la dinamica delle popolazioni e le produzioni, è ampiamente descritta (Sfriso *et al.*, 1988; Curiel *et al.*; 1996; 1997; 1999; Sfriso e Marcomini, 1997; 1998; Rismondo *et al.*, 1997; Sfriso e Ghetti, 1998; Tagliapietra *et al.*, 1999; Sfriso e Facca, 2007), anche in termini di distribuzione e colonizzazione dei fondali (Caniglia *et al.*, 1990; 1992; MAG.ACQUE-SELC, 2004; 2011). Le tre specie presenti, *Zostera marina*, *Cymodocea nodosa* e *Nanozostera noltii*, hanno una distribuzione parzialmente sovrapposta (Rismondo *et al.*, 2003; questo Piano di monitoraggio), ma sono caratterizzate da diverse esigenze ambientali: *N. noltii* rappresenta la specie più eurialina (Plus *et al.*, 2003; Borum *et al.*, 2004) mentre *C. nodosa*, pur sopportando variazioni di salinità, richiede condizioni più marine (Rismondo *et al.*, 1997) e *Z. marina* manifesta, invece, un comportamento in-

termedio (Thayler *et al.*, 1987). Le tre specie prediligono condizioni di medio-basso idrodinamismo (Koch, 2001; Fonseca e Kenworthy, 1987; Buia e Marzocchi, 1995). Per quanto riguarda la temperatura, *C. nodosa*, essendo una specie subtropicale, teme maggiormente le basse temperature (Guidetti *et al.*, 2002; Borum *et al.*, 2004) mentre *Z. marina*, specie relitta in Mediterraneo, può essere penalizzata da temperature troppo elevate (Coffaro e Bocci, 1997; Sfriso e Ghetti, 1998). *C. nodosa* predilige substrati più grossolani, dove predomina la frazione sabbiosa (Terrados e Ross, 1992), ma può essere ritrovata anche in fondali fangosi (Borum *et al.*, 2004). *N. noltii* colonizza di preferenza sedimenti fini (De Jonge e De Jong, 1992) mentre *Z. marina* presenta un comportamento intermedio (Murphey e Fonseca, 1995). Un fattore fortemente limitante è rappresentato dalla insufficiente disponibilità di luce e questo spiega come la distribuzione sia condizionata dalla profondità e dalla torbidità (Dennison, 1987; Drew, 1978; Duarte, 1991). *N. noltii* sopporta meglio delle altre specie periodi di emersione (Phillipart, 1995) mentre *C. nodosa* tollera difficilmente questa condizione (De Jonge e De Jong, 1992).

Le praterie a fanerogame marine per il ruolo ecologico e morfologico che svolgono in laguna e per la loro importanza riconosciuta dai protocolli internazionali sulla conservazione, sono state scelte per monitorare gli effetti dei cantieri per la realizzazione del MOSE alle bocche di porto.

Il principale obiettivo del monitoraggio delle fanerogame marine consiste nel valutare se si verificano scostamenti significativi dalle condizioni di riferimento rilevate in fase *ante operam* (2003/04), indotti dalle attività di cantiere o delle opere del MOSE.

Tale obiettivo è stato raggiunto (i) attraverso la mappatura della vegetazione radicata acquatica sommersa presso le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia e (ii) il monitoraggio stagionale delle caratteristiche fenologiche e di crescita delle praterie a fanerogame, su una rete di 18 stazioni di misura equamente distribuite fra le tre bocche. Per l'identificazione e la valutazione degli effetti delle lavorazioni e della loro significatività, considerando l'ampiezza delle bocche di porto, si è tenuto conto, in maniera differenziale, dei differenti impatti subiti dalle diverse aree delle bocche durante la realizzazione delle opere. In particolare, sono state distinte tre aree:

- le aree coincidenti con le “opere” del MOSE, che hanno subito perdite permanenti alle praterie;
- le aree dei “cantieri”, corrispondenti agli spazi acquei occupati dalle strutture temporanee, quelle per l'accesso e la movimentazione dei vari mezzi;
- le rimanenti aree, coincidenti con la maggioranza dei fondali con fanerogame marine e più o meno distanti dai cantieri, che costituiscono l'oggetto del monitoraggio.

Inoltre, con il raggiungimento del decimo anno di monitoraggio, sono stati sviluppati modelli di distribuzione dell'habitat per le tre specie di fanerogame marine presenti in laguna di Venezia (*Z. marina*, *N. noltii* e *C. nodosa*), al fine di spiegare il ruolo svolto dalla variazione delle condizioni ambientali nelle dinamiche di colonizzazione delle praterie in bocca di porto. A tale scopo sono stati integrati dati provenienti da diverse fonti (informazioni pregresse da altri studi condotti in laguna di Venezia e rilievi e simulazioni effettuati nell'ambito del monitoraggio dei cantieri). La comprensione delle eventuali relazioni esistenti tra determinate condizioni ambientali e la distribuzione delle specie oggetto di studio ha permesso di individuare aree dove le condizioni ambientali non sono ottimali per le fanerogame, evidenziando le variabili che maggiormente possono limitarne l'eventuale presenza. Inoltre, l'applicazione dei modelli può rilevare anche aree, al di fuori delle attuali praterie, e che sono ad alta vocazionalità, nelle quali può avvenire un'espansione delle praterie o che possono essere considerate valide candidate per il ricevimento di un eventuale trapianto di fanerogame.

## Materiali e metodi

### Campagne stagionali presso le 18 stazioni

Le attività di campo hanno previsto l'esecuzione di campagne stagionali, su una rete di 18 stazioni ubicate su praterie a fanerogame delle bocche di porto di Lido (6 stazioni), Malamocco (6 stazioni) e Chioggia (6 stazioni) (figura 1).

Lo stato delle praterie è stato valutato utilizzando indicatori strutturali e funzionali sufficientemente sensibili e stabili nel tempo, per permettere di cogliere le possibili variazioni in atto (Gambi e Dappiano, 2003; Oliva *et al.*, 2012; Fabbri *et al.*, 2015; García-Marín *et al.*, 2013): il grado di copertura e la densità della prateria (n. ciuffi/m<sup>2</sup>), le dimensioni dei ciuffi, la quantificazione dei ciuffi germinativi o degli eventi gamici, la quantificazione dei fenomeni di necrosi fogliare e la determinazione degli organismi epifiti, algali e animali. Alcune rilevazioni sono state effettuate direttamente in campo mentre in laboratorio sono state eseguite le misure sui ciuffi fogliari raccolti, incluse le determinazioni degli organismi epifiti presenti sulle foglie. Le determinazioni tassonomiche degli epifiti hanno riguardato le macroalghe e lo zoobenthos, suddivisi nei principali gruppi sistematici. Sono state prese in esame, a livello di genere, anche le diatomee bentoniche, poiché in alcuni periodi dell'anno possono costituire una parte considerevole dell'epifitismo totale. Le informazioni della fase *ante operam* (2003/04) sono state considerate il "bianco" di riferimento ed hanno permesso di ottenere gli intervalli di fluttuazione dei diversi descrittori nell'arco dell'anno. La "soglia di attenzione" è stata definita pari a una riduzione del 10-20% dei principali parametri rispetto ai valori dello stato *ante operam*. Gli scostamenti sono stati valutati in un quadro globale considerando tutti i descrittori e tenendo conto delle forzanti e delle pressioni.

Per disporre di un trend storico, le stazioni campionate nella fase *ante operam* sono state riconfermate, nella maggior parte dei casi, dopo aver verificato, in campo, il mantenimento dei requisiti di stabilità ed estensione delle praterie. Tenuto conto dell'elevata variabilità esistente tra i macrodescrittori strutturali e funzionali delle fanerogame tra le diverse aree della stessa bocca di porto, il confronto tra le stagioni dello stesso anno e tra i diversi anni del monitoraggio è avvenuto sempre solamente tra stazioni omologhe.

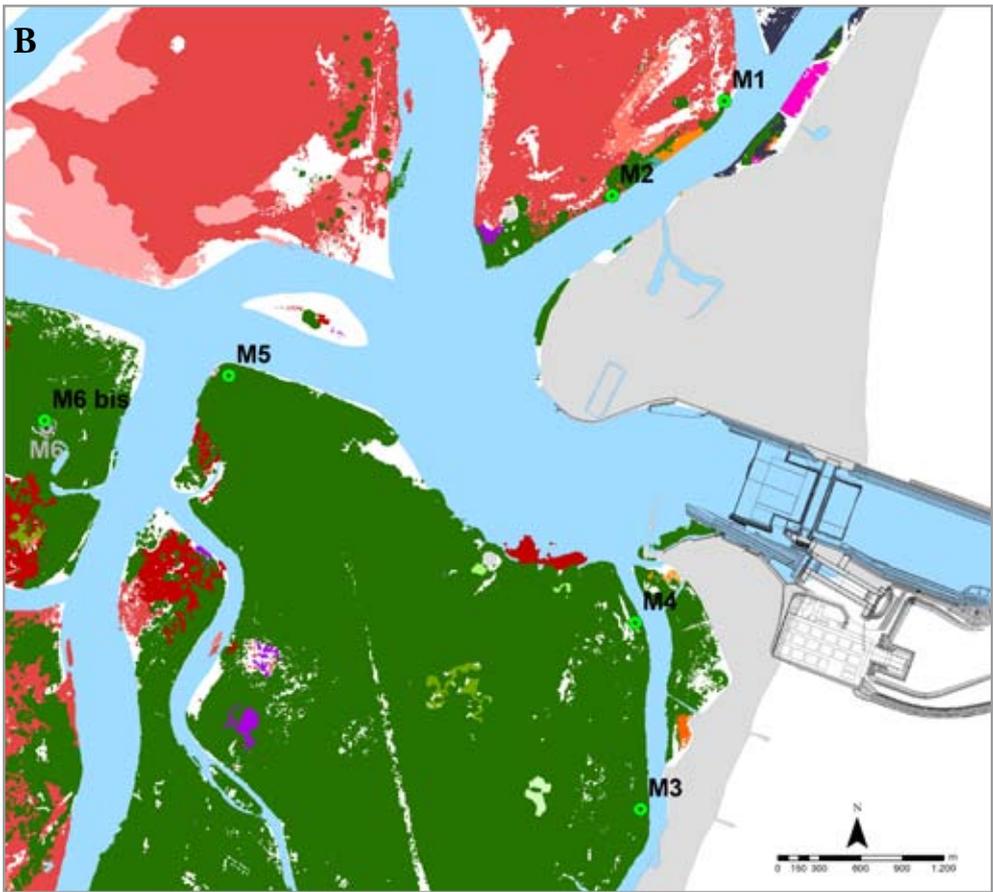
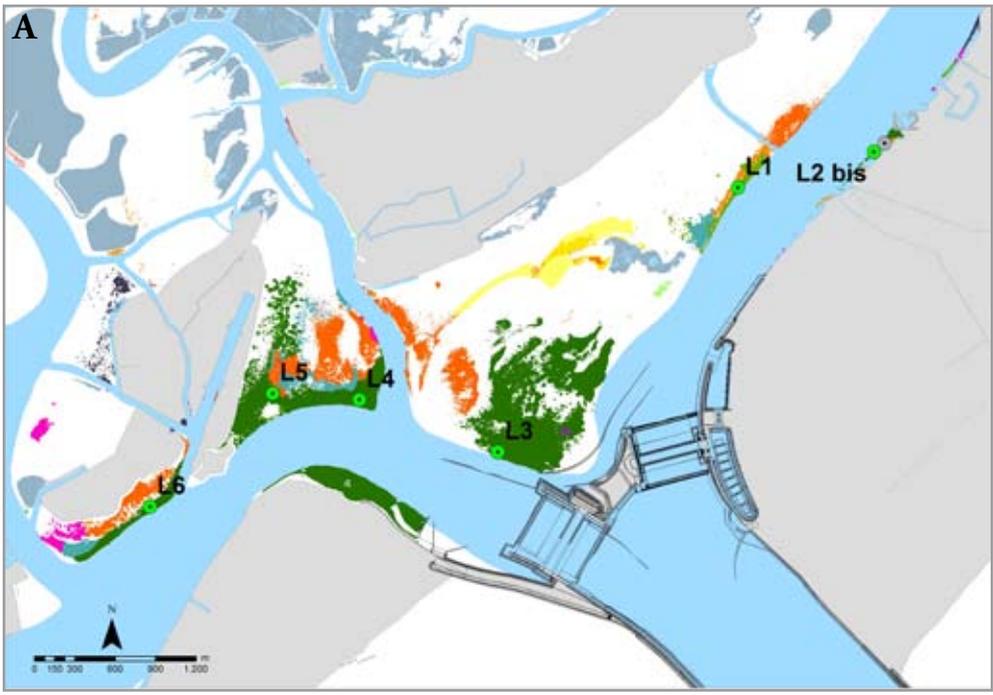
Nel corso degli anni, le misure alle 18 stazioni sono state eseguite sempre negli stessi periodi e in accordo con quelli della fase *ante operam*: campagna primaverile a maggio, campagna estiva ad agosto e campagna autunnale a novembre. La campagna invernale (a febbraio) è stata condotta solo dal monitoraggio 2006 a quello 2010.

A causa di interventi di natura antropica alle bocche di porto e non inerenti le opere del MOSE (ad esempio l'estensione delle concessioni per l'allevamento delle vongole o l'attività di pesca locale), negli anni si sono resi necessari piccoli spostamenti di alcune stazioni. Di seguito vengono riassunte le principali variazioni

Stazione originale	Stazione nuova	Sostituzione a partire da:
L2	L2-bis	Primavera 2010
M6	M6-bis	Estate 2010
C2	C2-bis	Autunno 2006
C3	C3-bis	Primavera 2009
C1	C1-bis	Autunno 2009

### Mappatura delle praterie

La mappatura delle praterie di fanerogame (figura 1) ha riguardato i fondali posti in prossimità ed all'interno delle tre bocche di porto e quelli più profondi, vicini alle opere in realizzazione, sino alle profondità di 3-4 m corrispondenti ai limiti della presenza di fanerogame marine nelle acque lagunari.



Fanerogame (rilievo 2014)

Specie, copertura

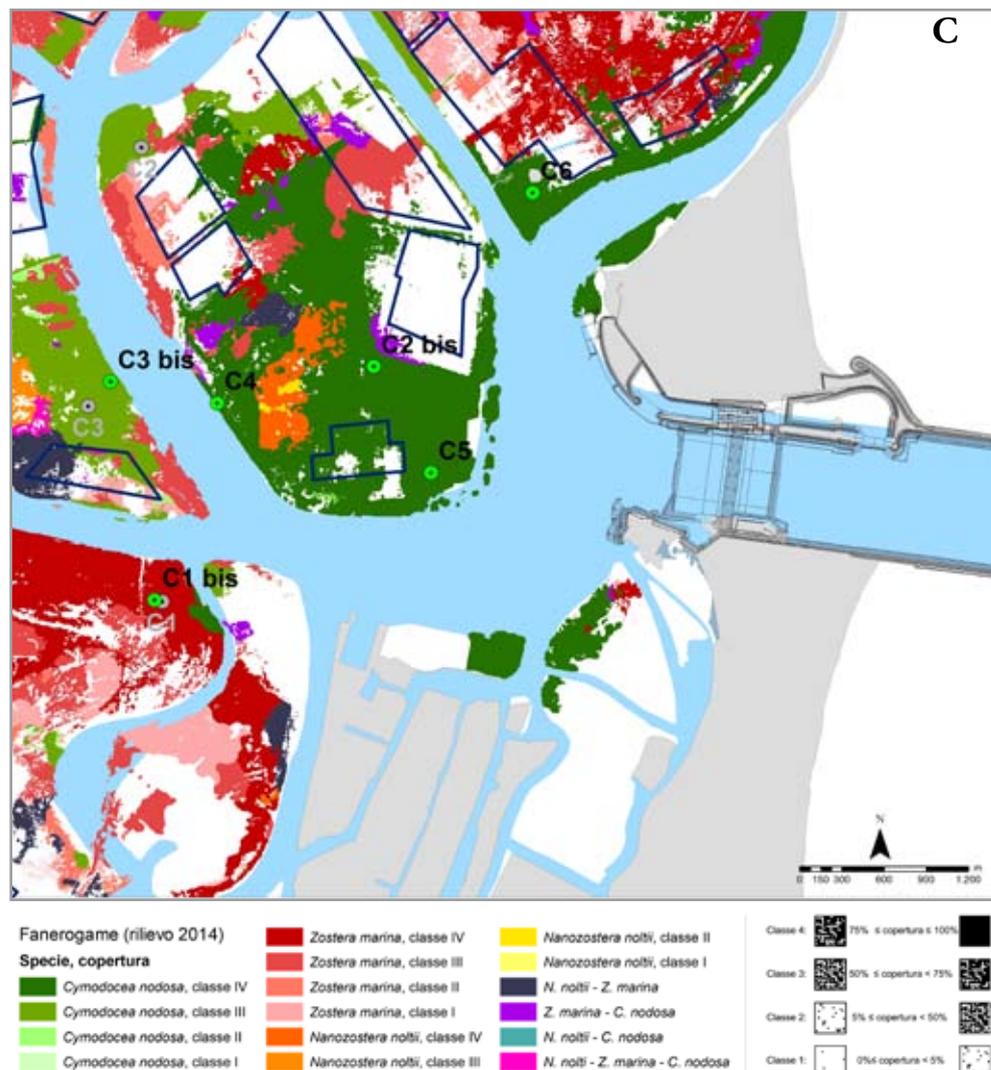
- Cymodocea nodosa, classe IV
- Cymodocea nodosa, classe III
- Cymodocea nodosa, classe II
- Cymodocea nodosa, classe I

- Zostera marina, classe IV
- Zostera marina, classe III
- Zostera marina, classe II
- Zostera marina, classe I
- Nanozostera noltei, classe IV
- Nanozostera noltei, classe III

- Nanozostera noltei, classe II
- Nanozostera noltei, classe I
- N. noltei - Z. marina
- Z. marina - C. nodosa
- N. noltei - C. nodosa
- N. noltei - Z. marina - C. nodosa

- Classe 4: 75% ≤ copertura ≤ 100%
- Classe 3: 50% ≤ copertura ≤ 75%
- Classe 2: 5% ≤ copertura ≤ 50%
- Classe 1: 0% ≤ copertura ≤ 5%

1. Stazioni di controllo delle fanerogame marine e, come sfondo, la mappatura del 2014 relativa allo Studio B.6.72 B/10, bocca di porto di Lido (A), Malamocco (B), Chioggia (C) in cui sono messe in evidenza le concessioni di pesca.



Il rilievo della distribuzione delle fanerogame marine è sempre stato eseguito da giugno a settembre, per poter apprezzare al meglio le coperture delle tre specie, considerata la loro differente stagionalità.

In relazione alle caratteristiche della vegetazione, i rilievi sono stati eseguiti procedendo lungo i limiti coincidenti con i contorni delle coperture a fanerogame oppure lungo tragetti paralleli o trasversali, allo scopo di esplorare spazi acquei dove l'irregolarità delle coperture non consentisse la mappatura lungo i perimetri.

L'utilizzo di un software di navigazione con base cartografica collegato a un GPS ha permesso il posizionamento in tempo reale dei punti di rilievo con accuratezza metrica e la memorizzazione delle informazioni sulla specie individuata e sul grado di copertura.

Per la stima del grado di copertura si è mantenuto il protocollo seguito nella mappatura lagunare di cui all'intervento MELa2 e conseguenti Studi B.6.78/I e B.6.72 (B/1-B/10). I livelli di copertura del fondale da parte delle fanerogame sono stati ripartiti in 4 classi: classe I = 0-5%, classe II = 5-50%, classe III = 50-75%, classe IV = 75-100%.

I dati di campo hanno permesso la realizzazione di cartografie preliminari, divenute definitive a seguito di ulteriori verifiche in campo e confronto con analisi di immagini fotografiche remote da satellite o da aereo.

In analogia a quanto stabilito per la conduzione della mappatura di cui all'intervento MELa2 e agli Studi B.6.78/I e B.6.72 (B/1-B/10), si è scelto di utilizzare il software

ESRI ArcGis che offre gli strumenti di analisi spaziale e geostatistica dei dati raccolti per le analisi causa-effetto delle dinamiche osservate (MAG.ACQUE-SELC, 2002).

I dati ottenuti sono stati elaborati nelle loro componenti topologiche, geografiche e di attributo, al fine di ottenere un prodotto finale omogeneo.

I controlli durante la fase *desk* hanno incluso la verifica dei valori assegnati a ciascuna *patch* vegetazionale cartografata ed un confronto con le informazioni fotografiche remote, utilizzando ortofoto aeree (georeferenziate ed ortorettificate) e immagini telerilevate da satellite (satellite IKONOS e QUICKBIRD). Un ulteriore controllo è stato condotto mediante verifiche dei confini delle patches precedentemente rilevate e riportate in ambiente G.I.S., delle loro caratteristiche qualitative e quantitative. L'ultima fase di procesamiento è stata l'omogeneizzazione dell'intero corpo dati, creando così un'unica cartografia in ambiente G.I.S.

Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica definitiva dei taxa censiti, si è scelto di utilizzare in legenda gli stessi colori già utilizzati in MELa2, B.6.78/I e B.6.72 (B/1-B/10), i quali sono derivati a loro volta dal prodotto cartografico relativo al 1990, e cioè:

- giallo: *Nanozostera noltii*;
- rosso: *Zostera marina*;
- verde: *Cymodocea nodosa*.

Differenti gradazioni di colore consentono di identificare valori decrescenti di copertura. Inoltre, per i popolamenti misti, per i quali non è stato riportato un valore di copertura, sono stati utilizzati colori puri tali da minimizzare il più possibile eventuali errori di interpretazione in sede di lettura ed analisi delle carte. Sulla base delle metodologie descritte si è giunti alla realizzazione, su supporto informatico, di un prodotto cartografico (in allegato) in scala 1:10.000 in ambiente ESRI ArcGIS 8.2.

Alla bocca di porto di Lido il monitoraggio è iniziato nel 2005 mentre alle bocche di porto di Malamocco e di Chioggia le mappature sono iniziate nel 2006 e le campagne di misura alle stazioni fisse nell'autunno del 2006.

Per la valutazione delle dinamiche spaziali delle praterie negli anni, si è fatto riferimento oltre che ai rilievi in campo degli Studi B.6.72 B/1-10 (condotti tra il 2006 e il 2014) anche alle seguenti indagini:

- mappatura lagunare delle fanerogame del 1990 (Caniglia *et al.*, 1990);
- mappature parziali delle tre bocche di porto (Scarton, 1995; Tagliapietra, 1999).
- mappature lagunari delle fanerogame del 2002-2004 (MAG.ACQUE-SELC, 2005a, 2005b; Rismondo *et al.*, 2003);
- mappatura delle fanerogame delle tre bocche di porto del 2003 (MAG.ACQUE-SELC, 2003);
- mappatura lagunare delle fanerogame del 2009-2010 (MAG.ACQUE-SELC, 2011; Curiel *et al.*, 2014).

### **Sviluppo di modelli numerici**

Uno degli approcci più tradizionali per individuare gli habitat di specie di particolare interesse è quello di sviluppare modelli di distribuzione degli habitat o di distribuzione delle specie (SDM-Guisan e Zimmerman, 2000; Guisan e Thuiller, 2005; Franklin, 2009). I modelli di distribuzione dell'habitat si basano sulla quantificazione delle relazioni esistenti tra la distribuzione delle specie e i parametri ambientali (biotici o abiotici) che ne influenzano la diffusione. I modelli permettono di generare mappe che descrivono l'habitat potenziale di una specie, cioè l'insieme delle condizioni ambientali che assicurano alla specie di soddisfare i propri requisiti vitali minimi (Araújo e Guisan, 2006).

Dal momento che non esiste una tecnica statistica ottimale per sviluppare SDM (Qiao *et al.*, 2015), è necessario stabilire l'approccio più adatto, caso per caso, bilanciando accuratamente tra semplicità e flessibilità dell'algoritmo selezionato (Merow *et al.*, 2014). In seguito ad una fase esplorativa, la tecnica statistica adottata è stata quella del Random Forest (RF) (Breiman, 2001). Le elevate capacità predittive di questa tecnica, evidenziata in alcuni studi comparativi (Prasad *et al.*, 2006), così come per altre tecniche analoghe derivate dal machine learning (Elith e Graham, 2009), stanno contribuendo ad una rapida diffusione delle sue applicazioni in campo ecologico (Garzon *et al.*, 2006; Vincenzi *et al.*, 2011).

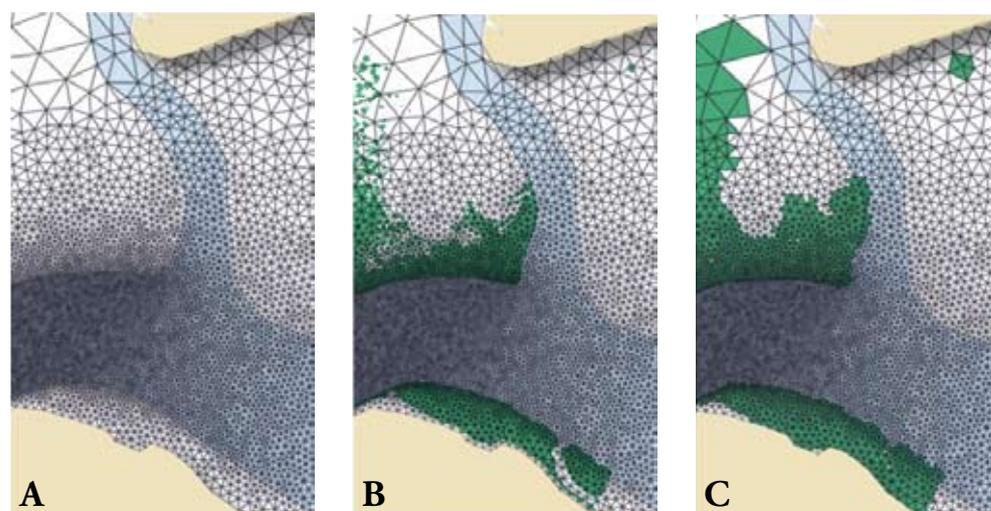
#### Schema di analisi

Lo sviluppo dei modelli di distribuzione delle fanerogame è stato affrontato considerando indipendentemente le tre specie oggetto di studio (*Z. marina*, *N. noltii* e *C. nodosa*) per ognuna delle quali è stato calibrato un modello che ha sfruttato le informazioni di presenza/assenza. Il dominio spaziale adottato è stato quello della griglia non strutturata usata per le simulazioni idrodinamiche effettuate nell'ambito delle diverse fasi dello Studio B.6.72 (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2014b; figura 2) dal Dipartimento ICEA dell'Università di Padova. Di conseguenza è stato necessario adattare le informazioni sulla distribuzione delle fanerogame marine e dei parametri abiotici su questa griglia spaziale. In figura 2 è riportato un esempio di adattamento delle informazioni sulla distribuzione di *C. nodosa*, osservata nel 2010, alla griglia spaziale (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2014b). Analogamente all'esempio riportato, ciascun elemento della griglia del modello idrodinamico è stato classificato in relazione della presenza o assenza delle tre specie oggetto di indagine, indipendentemente dalla dimensione dell'elemento stesso e dalla superficie delle patch di prateria eventualmente presenti. Questo significa, come è evidente nell'esempio di figura 2, che un elemento della griglia può essere classificato come area di presenza per una delle specie, anche se questa occupa una porzione molto piccola dell'elemento della griglia.

La procedura che ha portato allo sviluppo del modello di distribuzione per ciascuna delle tre specie oggetto di studio può essere schematizzata nei seguenti punti:

- estrazione dei dati ambientali per la fase *ante operam* e per la configurazione corrente della morfologia delle bocche di porto. Sovrapposizione, sulle stesse griglie spaziali, delle informazioni di presenza/assenza di ciascuna specie, seguendo lo schema riassunto in figura 2.

2. Dettaglio della bocca di porto di Lido in cui è rappresentata la griglia non strutturata utilizzata come base per le analisi (A); la distribuzione di *C. nodosa* osservata nel 2010 (B verde: presenza); la classificazione degli elementi della griglia come presenza/assenza di *C. nodosa* nel 2010 (C verde: presenza).



- integrazione dei dati estratti in un database unico (2004 e 2010), successivamente suddiviso in diversi sottoinsiemi di dati, necessari per lo sviluppo e valutazione del modello di distribuzione. In particolare, 10'000 osservazioni estratte casualmente sono state impiegate per ottimizzare i parametri *mtry* e *ntree* dell'algoritmo random forest (Breiman, 2001); 10'000 osservazioni sono state estratte casualmente per selezionare le variabili da includere nel modello, attraverso il confronto di 9 formulazioni alternative di crescente complessità; 10'000 osservazioni sono state impiegate per testare le capacità predittive dei modelli sviluppati considerando le formulazioni alternative; 10'000 osservazioni sono state usate per calibrare il modello vero e proprio, seguendo la formulazione ottimale; le rimanenti 125'000 (circa) osservazioni sono state usate esclusivamente a scopo di validazione attraverso la verifica delle capacità predittive.

I modelli calibrati sono stati analizzati, per capire in che modo le relazioni statistiche leghino le condizioni ambientali alla presenza delle specie. Il modello di ciascuna specie è stato applicato usando i valori dei parametri ambientali (relativi al 2004 e al 2010) di tutti gli elementi della griglia spaziale non strutturata come input, in modo da produrre mappe di distribuzione attesa (probabilità di presenza e predizione di presenza) sulla base delle condizioni ambientali.

#### *Base di dati*

Sulla base di una iniziale revisione delle informazioni disponibili, sia relativa alla distribuzione delle fanerogame marine che riguardo la disponibilità di dati ambientali, sono state individuate due finestre temporali da utilizzare come riferimento per descrivere la situazione antecedente e successiva alla realizzazione delle opere alle bocche di porto. Tali riferimenti temporali sono stati identificati nel 2004 (*ante operam*) e nel 2010 (*post operam*). Al fine di coprire l'intero range di variabilità delle condizioni ambientali che possono essere osservate nel bacino lagunare, i modelli di distribuzione delle tre specie di fanerogame marine sono stati sviluppati utilizzando osservazioni per l'intero bacino.

#### *Distribuzione delle fanerogame marine*

Le informazioni sulle distribuzioni delle fanerogame marine sono state estratte indipendentemente per i due periodi di riferimento (MAG.ACQUE-SELIC, 2004, 2010) e per ciascuna specie.

#### *Caratterizzazione ambientale*

La caratterizzazione delle condizioni ambientali necessaria per la calibrazione dei modelli di distribuzione è basata su tre elementi:

- 1) Struttura fisica delle zone delle bocche di porto come rappresentata nel modello idrodinamico sviluppato nell'ambito del monitoraggio delle bocche (MAG.ACQUE-CORILA, 2012, 2013; PROV.VO.OPP.-CORILA, 2014b). Per ciascun elemento della griglia è stata estratta la profondità, che è stata impiegata anche per descrivere altre caratteristiche, come la pendenza, l'esposizione all'aria e l'orientamento. Non essendo disponibile una batimetria aggiornata al periodo 2010, la griglia del modello è stata adatta solamente in corrispondenza delle aree di cantiere, per rappresentare le profondità previste dal piano dell'Opera (MAG.ACQUE-CORILA, 2012, 2013; PROV.VO.OPP.-CORILA, 2014b).

- 2) Condizioni idrodinamiche, quantificate attraverso l'analisi delle simulazioni del modello idrodinamico sviluppato dal Dipartimento ICEA dell'Università di Padova (MAG.ACQUE-CORILA, 2012, 2013; PROV.VO.OP.-CORILA, 2014b). Il modulo e la direzione della velocità della corrente e dello sforzo tangenziale al fondo sono stati considerati per diverse fasi del ciclo di marea (marea entrante, uscente o intero ciclo; fase di sizigia e quadratura), considerando sia la situazione media che i valori massimi all'interno del ciclo di marea.
- 3) Caratterizzazione delle principali proprietà dell'acqua e del fondale, sulla base delle informazioni delle diverse campagne di indagine condotte in laguna di Venezia nel periodo 2002-2011. Sfruttando le informazioni disponibili grazie ai numerosi monitoraggi che prevedevano la valutazione della qualità dell'acqua in laguna di Venezia, è stato possibile stimare per ciascun elemento della griglia i valori di salinità, torbidità, temperatura dell'acqua, granulometria dei sedimenti superficiali del fondale e concentrazione di DOC (carbonio organico disciolto), TDN (azoto totale disciolto) e TDP (fosforo totale disciolto). Queste ultime tre variabili sono state selezionate sulla base di un'analisi esplorativa che ha evidenziato l'elevato grado di cross-correlazione tra i diversi descrittori di nutrienti e sostanza organica. Nel caso dei descrittori di qualità dell'acqua, le informazioni erano disponibili per un numero limitato di punti rispetto agli elementi della griglia di base, e quindi si è proceduto all'interpolazione spaziale. L'interpolazione è stata effettuata tramite *ordinary kriging*, dopo aver modellato la dipendenza spaziale, rappresentata dal variogramma sperimentale, utilizzando la libreria "automap" (Hiemstra *et al.*, 2009) per il pacchetto software R (R core team, 2015). In maniera analoga sono stati interpolati dati di granulometria, espressi come percentuale di sabbia nel sedimento superficiale utilizzando informazioni rappresentative della situazione antecedente (MAG.ACQUE-Thetis, 2005; MAG.ACQUE-SELC, 2005) e successiva alla realizzazione degli interventi (ARPAV, 2012).

I valori estratti per la granulometria costituiscono una rappresentazione statica relativa al momento del rilievo delle informazioni in campo. Per DOC, TDN e TDP, i valori interpolati rappresentano i valori medi per il 2004 e 2010 (medie di campagne mensili). Per temperatura e salinità, invece, essendo importanti non solo il valore medio, ma anche la variabilità temporale e i valori estremi che si possono registrare nel tempo, sono state interpolate mappe dei valori medi, della deviazione standard, del 10° percentile (assunto come valore minimo) e del 90° (massimo) sulla base di informazioni mensili.

#### *Validazione dei modelli di distribuzione*

I dataset indipendenti utilizzati per la validazione dei modelli sono stati usati per valutare le capacità predittive attraverso il calcolo di alcune statistiche comunemente usate per i modelli statistici binomiali. Queste statistiche sono:

- PCC: Percentuale di osservazioni correttamente classificate;
- Sensitivity: Percentuale di presenze correttamente classificate;
- Specificity: Percentuale di assenze correttamente classificate;
- AUC: Area sottesa dalla curva ROC (Receiver Operator Curve), che può essere interpretata come la probabilità che una presenza sia classificata con valori più elevati di un'assenza.

## Risultati

### Analisi stagionali alle 18 stazioni di controllo

#### *Bocca di porto di Lido*

Durante il periodo 2005-2014, le sei stazioni alla bocca di porto di Lido, localizzate su praterie nelle quali la specie esclusiva o principale è sempre stata *Cymodocea nodosa*, hanno presentato valori di copertura prossimi al 90-100%, percentuali rientranti nell'intervallo di variabilità definito nello studio *ante operam*. In taluni casi la copertura è risultata anche superiore (soprattutto in L1) e inferiori (in L4, L5 e L6) ma soltanto nel 3-6% delle campagne. Le altre due specie *Zostera marina* e *Nanozostera noltii*, in accordo con lo studio di riferimento, hanno evidenziato sempre coperture minoritarie rispetto alla specie principale e con densità spesso al di sopra dei valori attesi.

La densità dei ciuffi fogliari di *Cymodocea nodosa*, nelle singole stazioni, è risultata talvolta inferiore agli intervalli di riferimento ma spesso sono stati registrati anche valori superiori. È importante sottolineare come i valori inferiori ai limiti attesi siano sempre tornati in linea con quelli di riferimento nei mesi successivi al rilievo (tabella 1).

I dati inerenti la lunghezza dei ciuffi fogliari e della ligula hanno evidenziato alta variabilità, risultando talvolta superiori o inferiori (soprattutto per la ligula) agli intervalli di riferimento. Per quanto riguarda la lunghezza della lamina fogliare, i dati di letteratura non aiutano nelle interpretazioni poiché non danno indicazioni univoche; in presenza di incrementi della torbidità, infatti, sono stati segnalati aumenti, diminuzioni o assenza di variazioni della lamina fogliare (Balestri *et al.*, 2004; Ibarra-Obando *et al.*, 2004). Per quanto riguarda la ligula, invece, Marbà e Duarte (1994) ipotizzano un aumento della sua lunghezza come reazione al seppellimento. Questa reazione si osserva anche per il sottostante rizoma verticale. Al riguardo alle tre bocche di porto studiate, le dimensioni della ligula e del rizoma ortotropo di *C. nodosa* sono nettamente superiori a quelle delle praterie interne alla laguna di Venezia, per motivi che vanno ricercati nella maggiore instabilità-mobilità dei sedimenti sabbiosi nelle zone più esposte ad eventi meteo marini. L'indice di area fogliare (Leaf Area Index o LAI), che rappresenta la superficie fotosintetica attiva ed il rapporto tra parte viva e parte morta della foglia, ha quasi sempre confermato valori ottimali o di poco inferiori ai range attesi (tabella 1). Nessuna anomalia è stata osservata per l'apparato ipogeo ed in particolare per i rizomi. La presenza regolare negli anni di semi per *C. nodosa*, specie dominante nelle stazioni monitorate, è da considerarsi positiva perché conferma il regolare svolgimento dei processi riproduttivi oltre a quelli vegetativi. L'elenco floristico-faunistico degli organismi epifiti delle lamine ha evidenziato, nelle 6 stazioni, una progressiva riduzione, variando da 59 taxa nel 2005 a 34 taxa nel 2014. Il numero totale e medio di taxa per stazione conferma come i valori rientrino nel range di riferimento anche se, in quasi tutti gli anni, in talune stazioni e prevalentemente nei mesi estivi e primaverili, sono stati segnalati valori inferiori a quelli attesi che però si sono normalizzati durante le stagioni successive (tabella 1).

Per il ricoprimento degli epibionti fogliari, la maggior parte dei valori ricade negli intervalli di riferimento o è superiore o, con minor frequenza, è inferiore ad essi; la biomassa degli epibionti, invece, ha presentato valori talvolta inferiori ai range (tabella 1).

L'indice di Diversità di Shannon (indice che tiene conto sia del numero dei taxa presenti che del modo in cui gli individui sono distribuiti tra i diversi taxa) applicato alla componente epifitica (figura 3) ha presentato un andamento altalenante negli anni, passando da 1,68 nel 2005 a 1,94 nel 2014, valori sempre inferiori a quello dello stato di riferimento (2,04), anche se il test non parametrico Mann-Whitney U non ha mai evidenziato differenze statisticamente significative tra gli indici di diversità ( $P < 0,05$ ).

Tabella 1. Principali parametri strutturali rilevati durante i monitoraggi condotti dal 2005 al 2014. B.6.78 (Studio condotto nel 2003) riporta gli intervalli di riferimento, MIN e MAX i valori minimo e massimo registrati nei 10 anni (Studi B.6.72, anni 2005-2014), % INF e % SUP, % del numero di campagne nelle quali sono stati registrati valori inferiori o superiori ai range di riferimento, % scost. NEG e % scost. POS, % massima di scostamento dal valore di riferimento in negativo e in positivo, rispettivamente. I valori numerici vanno intesi come medie di 9 repliche. Quando sono esterni agli intervalli di riferimento, lo scostamento è segnalato con il colore verde (quando il valore rilevato è superiore all'intervallo) e con il colore rosso (quando il valore rilevato risulta inferiore).

(1) = Per *Z. marina* i valori sono espressi in ciuffi fertili/m<sup>2</sup>, per *C. nodosa* in semi/m<sup>2</sup>. (2) = I dati si riferiscono alla foglia più vecchia del ciuffo. (3) = Il valore è stato calcolato considerando ambedue i lati della foglia come da monitoraggio MELa2 (MAG.ACQUE-SEL, 2002; 2005a).

		Densità <i>C. nodosa</i> (ciuffi/m <sup>2</sup> )						
		B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
L1		710-1119	663	1342	6,7	26,7	-6,6	19,9
L2/L2-bis		884-1436	605	1745	13,3	20	-57,9	21,5
L3		1321-2697	989	2310	26,7	-	-25,1	-
L4		1225-1931	1314	2229	-	36,7	-	15,4
L5		704-1107	732	1429	-	20	-	29,1
L6		775-1429	589	1438	10	3,3	-24,0	0,6

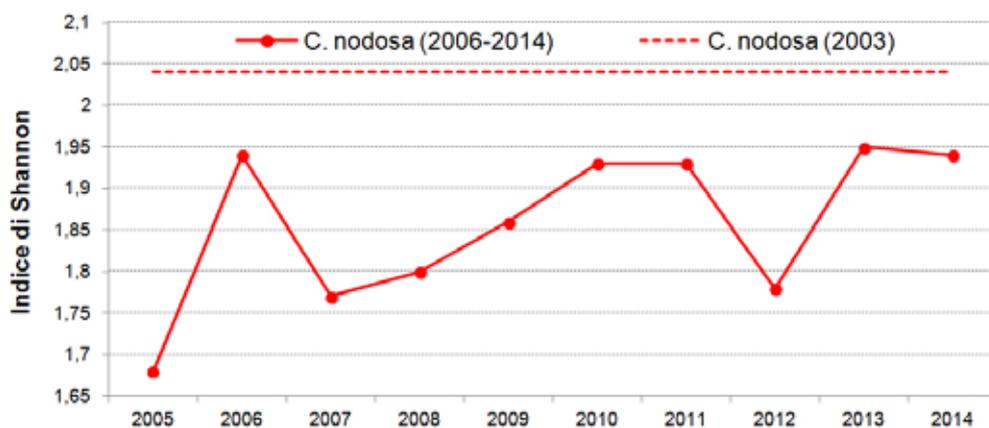
		LAI (Leaf Area Index)						
		B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
L1		0,5-6,0	0,6	9,5	-	16,7	-	58,0
L2/L2-bis		0,5-3,8	0,4	9,3	3,3	33,3	-20,0	144,7
L3		0,7-9,9	0,6	18,2	6,7	10	-14,3	83,4
L4		0,6-7,0	0,9	11,9	-	16,7	-	70,4
L5		0,5-3,4	0,7	4,4	-	16,7	-	28,1
L6		0,6-6,4	0,4	9,4	3,3	10	-26	46,9

		N. taxa totale complessivo						
		B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
L1		13-34	13	25	-	-	-	-
L2/L2-bis		11-36	13	27	-	-	-	-
L3		13-30	12	30	3,3	-	-7,7	-
L4		9-21	13	23	-	16,7	-	9,5
L5		12-23	10	24	13,3	6,7	-16,7	4,3
L6		16-29	13	26	16,7	-	-18,8	-

		N. taxa medio/ciuffo <sup>(2-3)</sup>						
		B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
L1		9,8-16,3	8,3	18,0	26,7	10	-15,3	10,4
L2/L2-bis		8,2-17,5	8,5	19,2	-	6,7	-	9,7
L3		9,0-17,5	8,9	16,9	3,3	-	-1,1	-
L4		6,8-13,9	6,3	18,4	3,3	26,7	-	32,7
L5		8,5-13,1	5,8	14,6	20	13,3	-32,0	11,1
L6		10,2-15,7	8,7	16,6	20	6,7	-15,0	5,4

		% ricoprimento <sup>(2-3)</sup>						
		B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
L1		7,6-47,1	15,3	119,1	-	50	-	152,9
L2/L2-bis		8,2-48,6	22,1	136,7	-	36,7	-	181,3
L3		10,9-74,3	7,4	99,4	3,3	10	-32,1	33,8
L4		11,4-32,8	5,7	101,8	6,7	66,7	-50,0	210,4
L5		17,2-44,0	13,3	66,7	10	33,3	-22,7	51,5
L6		9,0-68,2	8,8	99,6	3,3	20	-2,3	46,0

### Lido - *C. nodosa*



3. Andamento dei valori dell'indice di Shannon nel corso dei 10 anni di monitoraggio. La linea tratteggiata indica il valore calcolato per lo studio di riferimento (2003).

### Bocca di porto di Malamocco

Alla bocca di porto di Malamocco sono state monitorate 5 stazioni a *Cymodocea nodosa* e 1 stazione a *Zostera marina* (stazione M1, figura 1) nelle quali sono sempre state rilevate coperture con valori prossimi al 100%, come nello studio di riferimento *ante operam*. La tipologia delle praterie è rimasta invariata negli anni, con *Z. marina* e *Nanozostera noltii* sempre minoritarie nelle cinque stazioni in cui *C. nodosa* è risultata la specie principale.

Le densità dei ciuffi fogliari sono risultate comprese negli intervalli di riferimento o a volte più elevate, a testimoniare un mantenimento-consolidamento dello stato delle praterie. Soltanto in pochi casi sono state rilevate densità inferiori ai range di riferimento ma si è trattato di eventi limitati spazialmente e temporalmente (stazione M2) o associabili allo spostamento del sito (stazione M6-bis) (tabella 2).

La lunghezza media dei ciuffi fogliari di *Cymodocea nodosa* è quasi sempre ricaduta negli intervalli attesi anche se alcuni valori stagionali talvolta sono risultati inferiori o superiori ai range. Per la stazione a *Zostera marina*, invece, sono sempre state registrate lunghezze medie dei ciuffi comprese nei limiti considerati o, in qualche stagione, superiori ai valori attesi. Il numero di foglie per ciuffo è spesso risultato compreso nell'intervallo di riferimento e soltanto nella stazione M1, per *Zostera*, e nella stazione M3, per *Cymodocea*, qualche volta è risultato di poco inferiore a quanto rilevato nel 2003/04.

L'indice di area fogliare (Leaf Area Index o LAI) e il rapporto tra parte viva e parte morta della foglia hanno quasi sempre evidenziato condizioni ottimali, superiori o di poco inferiori ai range attesi; inoltre, anche l'apparato ipogeo non ha mai presentato situazioni anomale, come ad esempio annerimenti o eccessiva necrosi. Il ritrovamento, negli anni, di ciuffi fertili di *Z. marina* e di semi di *C. nodosa* indica il regolare svolgimento anche dei processi riproduttivi oltre a quelli vegetativi (tabella 2).

In linea con quanto registrato alle altre bocche di porto, anche a Malamocco l'elenco floristico-faunistico degli epifiti nelle 5 stazioni a *Cymodocea nodosa* si è progressivamente ridotto, passando da 77 taxa nel 2003 a 24 taxa nel 2014. Un andamento simile è stato registrato anche nella stazione a *Z. marina*, dove il numero dei taxa è sceso da 41 (studio *ante operam*) a 17 nel 2014. In particolare, sono state evidenziate riduzioni sia del numero totale di specie per ciuffo sia del numero medio. Tale riduzione è stata osservata, ma soltanto durante alcuni campionamenti, anche a livello del ricoprimento e soprattutto della biomassa (tabella 2).

La regressione complessiva dell'epifitismo si rileva anche dall'analisi dell'indice di Diversità di Shannon che negli anni è variato da 2,32 (2003/04) a 1,75 (2014) per *C. nodosa*, e da 2,31 (2003/04) a 1,50 (2014) per *Z. marina*. Per entrambe le specie i valori dell'in-

Tabella 2. Valori dei principali parametri strutturali rilevati durante i monitoraggi dal 2005 al 2014. Da sinistra verso destra: intervallo di riferimento (2003), valori minimo (MIN) e massimo (MAX) registrati nei 10 anni (2005-2014), % INF e % SUP, % del numero di campagne nelle quali sono stati registrati valori inferiori o superiori ai range di riferimento, % scost. NEG e % scost. POS, % massima di scostamento dal valore di riferimento in negativo e in positivo, rispettivamente. I valori numerici vanno intesi come medie di 9 repliche. Quando sono esterni agli intervalli di riferimento, lo scostamento è segnalato con il colore verde (quando il valore rilevato è superiore all'intervallo) e con il colore rosso (quando il valore rilevato risulta inferiore).

(1) = Per *Z. marina* i valori sono espressi in ciuffi fertili/m<sup>2</sup>, per *C. nodosa* in semi/m<sup>2</sup>. (2) = I dati si riferiscono alla foglia più vecchia del ciuffo. (3) = Il valore è stato calcolato considerando ambedue i lati della foglia come da monitoraggio MELa2 (MAG.ACQUE-SEL, 2002; 2005a).

Densità (ciuffi/m <sup>2</sup> ) di <i>Z. marina</i> (M1) e <i>C. nodosa</i> (ciuffi/m <sup>2</sup> )							
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
M1	220-326	268	632	-	88	-	93,9
M2	1435-1801	995	2223	32	12	-30,7	23,4
M3	1225-2189	1246	2077	-	-	-	-
M4	955-1544	645	1782,5	12	12	-32,5	15,4
M5	1265-1875	1457	2582	-	40	-	37,7
M6/M6-bis	1442-1931	1088	1941	48	4	-24,5	0,5

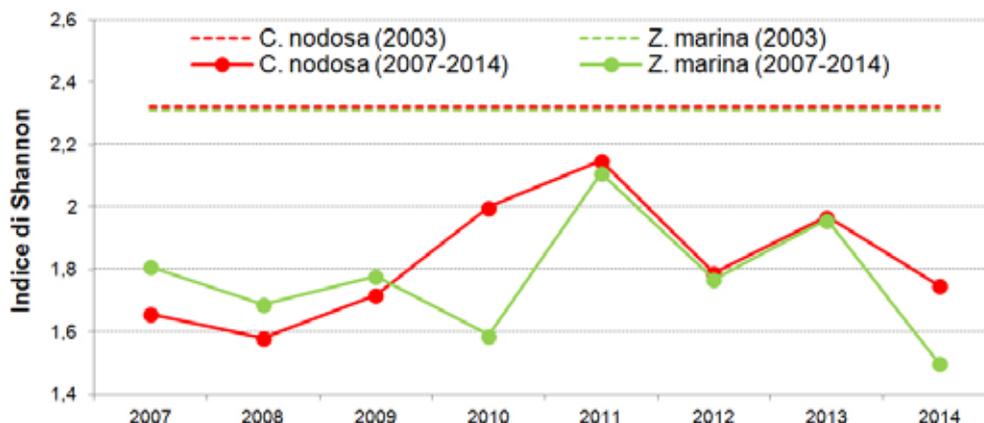
LAI (Leaf Area Index)							
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
M1	0,7-2,3	1,3	6,5	-	48	-	182,9
M2	1,0-13,1	1,0	9,7	-	-	-	-
M3	0,4-8,8	0,5	8,5	-	-	-	-
M4	0,3-6,4	0,6	9,9	-	16	-	-90,1
M5	0,9-6,1	0,7	9,4	12	28	-19,5	53,5
M6/M6-bis	0,4-8,0	0,4	6,5	-	-	-	-

N. taxa totale complessivo							
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
M1	15-21	7	19	48	-	-53,3	-
M2	15-29	7	23	24	-	-53,3	-
M3	15-30	7	19	64	-	-53,3	-
M4	14-29	6	19	32	-	-57,1	-
M5	13-39	10	20	16	-	-23,1	-
M6/M6-bis	19-44	9	24	92	-	-52,6	-

N. taxa medio/ciuffo <sup>(2-3)</sup>							
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
M1	9,0-14,3	5,2	14,1	20	-	-42,0	-
M2	11,7-16,3	3,8	17,7	52	8	-67,5	8,4
M3	12,2-16,7	4,6	13,4	84	-	-62,7	-
M4	11,2-17,8	4,6	14,0	52	-	-59,3	-
M5	11,2-23,3	6,9	15,1	44	-	-38,5	-
M6/M6-bis	10,5-14,2	4,3	12,6	60	-	-58,7	-

% ricoprimento <sup>(2-3)</sup>							
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
M1	4,5-8,9	1,7	66,3	4	88	-62,2	645,4
M2	10,5-88,9	4,8	68,1	4	-	-54,3	-
M3	18,1-68,4	4,6	67,3	12	-	-74,6	-
M4	16,6-69,7	8,3	66,8	4	-	-50,0	-
M5	13,9-103,9	8,1	84,4	8	-	-41,7	-
M6/M6-bis	13,0-66,9	8,8	53,4	4	-	-32,3	-

#### Malamocco - *Z. marina*/*C. nodosa*



4. Andamento dei valori dell'indice di Shannon. Le linee tratteggiate indicano il valore calcolato durante lo studio di riferimento *ante operam* (2003).

dice di Shannon sono risultati sempre inferiori a quelli di riferimento (figura 4). L'applicazione di un test statistico non parametrico (Mann-Whitney U test) ha rilevato come le differenze con i risultati dello studio *ante operam* siano sempre statisticamente significative per le stazioni a *Cymodocea*, mentre solo in un paio di anni per quella a *Zostera*.

#### Bocca di porto di Chioggia

Durante il periodo di osservazione, le praterie a *Cymodocea nodosa* e a *Zostera marina* hanno mantenuto, nelle stazioni monitorate, coperture in linea con quelle dello studio di riferimento. L'assetto generale delle praterie non è mai mutato, rispetto a quello rilevato nel 2003/04, e non sono state evidenziate variazioni nella tipologia delle specie. La specie più diffusa, nelle stazioni di controllo (ad eccezione della stazione C1/C1-bis), è rimasta sempre *Cymodocea nodosa*. *Zostera marina* e *Nanozostera noltii* sono risultate sempre minoritarie, senza variazione negli assetti di distribuzione e abbondanza.

In tutte le stazioni i valori di densità media dei ciuffi fogliari sono risultati talvolta al di sotto dei range attesi. Le riduzioni di densità nelle stazioni storiche sono state comprese tra il 12% e il 19% mentre nelle stazioni nuove hanno raggiunto il 30%. Fortunatamente tali eventi si sono risolti positivamente nei mesi successivi al campionamento (tabella 3).

La lunghezza dei ciuffi fogliari ha evidenziato, nell'insieme dei dati, valori rientranti o superiori agli intervalli di riferimento dello studio *ante operam* (2003) sia per *Zostera marina* sia per *Cymodocea nodosa*. Valori di poco sotto la soglia attesa (tra -1,6 e -8,7%) si sono avuti solamente per *Cymodocea* in un numero limitato di stazioni (C2/C2-bis e C6) e di campagne (4%).

La lunghezza media della ligula di *Cymodocea nodosa* e *Zostera marina* ha evidenziato un andamento non costante, con una banda di oscillazione superiore a quella rilevata nella fase *ante operam*: le stazioni hanno presentato, in alcune stagioni, valori nei range e, in altre, valori anche superiori o inferiori ai limiti attesi.

Il numero medio di foglie per ciuffo, quando non in linea con i valori attesi, come nel caso del sito a *Zostera* (stazione C1bis) e di quello a *Cymodocea*, stazione C4, è spesso rientrato nei range già a partire dal successivo campionamento. Per l'indice di area fogliare vanno evidenziati solo pochi casi (4%) con valori inferiori ai range (nel sito C4) (tabella 3).

Nella parte ipogea delle piante non sono mai stati rilevati fenomeni anossici o un'eccessiva presenza di rizomi morti; l'apparato fogliare, pur evidenziando una parte viva della foglia (verde) sempre nettamente superiore a quella morta (scura), talvolta è apparso di qualche punto percentuale inferiore alle attese (riduzioni massime dell'ordine del

Tabella 3. Valori dei principali parametri strutturali rilevati durante i monitoraggi dal 2005 al 2014. Da sinistra verso destra: intervallo di riferimento (2003), valori minimo (MIN) e massimo (MAX) registrati nei 10 anni (2005-2014), % INF e % SUP, % del numero di campagne nelle quali sono stati registrati valori inferiori o superiori ai range di riferimento, % scost. NEG e % scost. POS, % massima di scostamento dal valore di riferimento in negativo e in positivo, rispettivamente. I valori numerici vanno intesi come medie di 9 repliche. Quando sono esterni agli intervalli di riferimento, lo scostamento è segnalato con il colore verde (quando il valore rilevato è superiore all'intervallo) e con il colore rosso (quando il valore rilevato risulta inferiore).

(1) = Per *Z. marina* i valori sono espressi in ciuffi fertili/m<sup>2</sup>, per *C. nodosa* in semi/m<sup>2</sup>. (2) = I dati si riferiscono alla foglia più vecchia del ciuffo. (3) = Il valore è stato calcolato considerando ambedue i lati della foglia come da monitoraggio MELa2 (MAG.ACQUE-SELIC, 2002; 2005a).

	Densità (ciuffi/m <sup>2</sup> ) di <i>Z. marina</i> (C1/C1-bis) e <i>C. nodosa</i> (ciuffi/m <sup>2</sup> )						
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
C1/C1-bis	344-546	304	722	8,0	24	-11,6	32,2
C2/C2-bis	732-1107	970	1810	-	72	-	63,5
C3/C3-bis	1609-2155	1057	2784	68	20	-34,3	29,2
C4	1206-1519	977	1888	4	16	-19,0	24,3
C5	1085-1383	977	1823	8	32	-10,0	31,8
C6	1045-1423	918	1876	12	20	-12,2	31,8

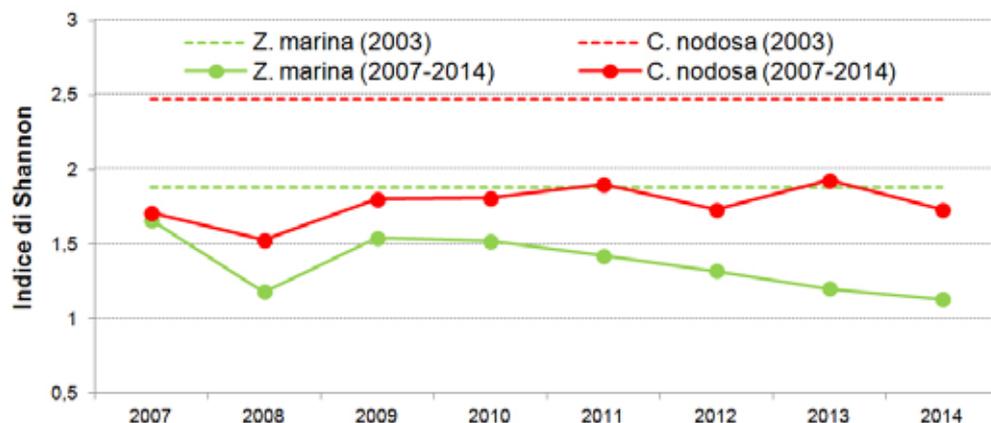
	LAI (Leaf Area Index)						
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
C1/C1-bis	1,4-5,8	1,4	6,5	-	4	-	12,1
C2/C2-bis	0,4-6,2	0,6	7,9	-	20	-	27,3
C3/C3-bis	0,5-8,9	0,5	8,3	-	-	-	-
C4	0,7-11,9	0,6	10,0	4	-	-14,3	-
C5	0,6-15,1	0,6	14,2	-	-	-	-
C6	0,3-9,1	0,5	11,6	-	8	-	27,0

	N. taxa totale complessivo						
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
C1/C1-bis	12-23	6	18	60	-	-50,0	-
C2/C2-bis	19-38	10	19	92	-	-47,4	-
C3/C3-bis	12-28	6	20	32	-	-50,0	-
C4	16-39	7	20	32	-	-56,3	-
C5	20-39	10	26	56	-	-50,0	-
C6	19-44	11	25	80	-	-42,1	-

	N. taxa medio/ciuffo <sup>(2-3)</sup>						
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
C1/C1-bis	6,7-12,5	4,3	13,2	36	8	-35,3	5,8
C2/C2-bis	15,3-17,2	5,2	12,1	100	-	-65,9	-
C3/C3-bis	7,8-14,5	3,6	12,6	32	-	-54,4	-
C4	13,0-20,4	4,1	14,4	84	-	-68,4	-
C5	13,5-17,8	5,7	19,1	64	4	-57,8	7,4
C6	13,3-19,8	6,6	17,4	80	-	-50,7	-

	% ricoprimento <sup>(2-3)</sup>						
	B.6.78 (intervallo)	MIN	MAX	% INF	% SUP	% scost. NEG.	% scost. POS.
C1/C1-bis	2,7-45,6	1,9	59,8	4	8	-29,6	31,1
C2/C2-bis	10,6-27,9	8,2	62,0	8	56	-22,6	122,1
C3/C3-bis	11,1-30,4	7,9	62,2	4	52	-28,8	104,7
C4	13,4-31,4	2,5	54,8	16	48	-81,3	74,4
C5	4,9-51,5	5,8	71,1	-	24	-	38,1
C6	13,6-49,8	17,2	77,6	-	36	-	55,8

### Chioggia - *Z. marina*/*C. nodosa*



5. Andamento dei valori dell'indice di Shannon. Le linee tratteggiate indicano il valore calcolato durante lo studio di riferimento *ante operam* (2003).

4,2%). La presenza di ciuffi fertili di *Z. marina* o di semi per *C. nodosa* conferma, infine, come i processi vegetati e riproduttivi si siano svolti con regolarità.

In relazione all'epifitismo, come evidenziato alle bocche di Malamocco e di Lido, il confronto tra gli elenchi floristico-faunistici indica una graduale perdita di ricchezza specifica. Per le stazioni a *C. nodosa*, si è passati da 77 taxa, nel periodo *ante operam*, a 31 taxa nel 2014. Trend simile si è registrato per la stazione a *Z. marina* dove da 36 taxa nel 2003, si è passati a 15 taxa nel 2014. Questo calo generale si riflette nella diminuzione del numero totale di specie per ciuffo, del numero medio e del valore di biomassa; anche per il ricoprimento percentuale sono stati spesso rilevati valori superiori ai range (tabella 3).

L'indice di Diversità di Shannon è variato negli anni passando, per *C. nodosa*, da 2,47 (*ante operam*) a 1,73 (2014) e per *Z. marina* da 1,88 (*ante operam*) a 1,13 (2014) (figura 5). Il test non parametrico Mann-Whitney U test ha rilevato differenze statisticamente significative con lo studio *ante operam* solo per le stazioni a *Cymodocea* e mai per quella a *Zostera*.

#### *Analisi delle variazioni osservate nell'epifitismo delle fanerogame marine*

Il monitoraggio condotto dal 2006 al 2014 nelle 18 stazioni di controllo delle praterie a fanerogame ha confermato un sostanziale mantenimento delle condizioni osservate nella fase *ante operam* in relazione alla struttura e alla funzionalità delle praterie. La ricchezza e la biodiversità degli epifiti, invece, sono risultate modificate rispetto alla fase *ante operam*, soprattutto alle bocche di Malamocco e di Chioggia (tabella 1, 2 e 3). Le differenze rispetto allo studio del 2003 sono riconducibili prevalentemente a modificazioni quantitative nell'abbondanza di alcuni taxa. Tra il monitoraggio *ante operam* e i controlli successivi sono state comunque registrate, in ciascuna bocca di porto, variazioni anche qualitative dei popolamenti epifitici.

In generale, alla bocca di Lido, contemporaneamente alla scomparsa di alcuni taxa, registrata a partire dal 2003, si è osservato un graduale rinvenimento di nuovi taxa mentre alle bocche di porto di Malamocco, e soprattutto in quella di Chioggia, il calo del numero di taxa è stato solo parzialmente bilanciato numericamente dal ritrovamento di nuove specie. In ogni caso, le variazioni verificatesi tra il 2003 ed il 2014 sembrano essersi in parte attenuate nel corso del tempo, tanto da rendere più o meno costante il numero degli epifiti negli ultimi quattro/cinque anni di monitoraggio.

La riduzione dei taxa è stata osservata, in tutte le bocche di porto, già durante i primi monitoraggi (nel 2005 al Lido e nel 2006 a Malamocco e Chioggia), quando i lavori per la realizzazione del MOSE erano da poco iniziati.

La riduzione degli epifiti rilevata durante i dieci anni di monitoraggio (2005-2014) è risultata, in taluni casi, statisticamente significativa, e si è cercato di comprendere se potesse essere attribuita, anche solo in parte, a fattori direttamente o indirettamente riconducibili alle opere del MOSE, quali:

- Torbidità dell'acqua: un eventuale aumento di questo parametro potrebbe influenzare negativamente la disponibilità di radiazione luminosa e quindi la capacità fotosintetica e lo sviluppo non solo della componente algale dell'epifitismo, ma in parte anche dell'apparato fogliare delle fanerogame (Borum *et al.*, 2004; Larkum *et al.*, 2006; Ahmad-Kamil *et al.*, 2013). I dati relativi alla torbidità dell'acqua (rilevati da sensori posizionati alle bocche di porto, Studi B.6.72 B/1-B/10) non hanno mai indicato variazioni marcate per questo parametro tali da avere eventuali ripercussioni sulle praterie.
- Sedimentazione: durante i monitoraggi solo in rari casi sono stati rinvenuti ciuffi con deposizione eccessiva di particellato sulle lamine (comunque con quantitativi limitati) mentre non sono mai state riscontrate situazioni in cui fossero presenti ciuffi fogliari con uno sviluppo limitato o incrementi dei fenomeni di necrosi.
- Idrodinamismo: è segnalato in letteratura come una delle possibili cause di cambiamenti a carico della componente epifita, soprattutto per l'abbondanza. L'accentuato movimento delle lamine fogliari, dovuto ad incrementi dei flussi idrodinamici, sarebbe infatti il fattore fisico di disturbo in grado di determinare, tramite la forza abrasiva, la perdita di specie dalla superficie fogliare, di favorire la rottura di talli e di ostacolare l'attecchimento degli organismi (Lavery *et al.*, 2007; Granhag *et al.*, 2007). I risultati dell'elaborazione del modello correntometrico e sedimentologico per le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia (studi B.6.72 B/7-B/9, condotti tra il 2011 e il 2013) hanno escluso, però, che le praterie possano risentire di incrementi della velocità dovuti alle modifiche morfologiche apportate dalle opere alle bocche tali da comprometterne la stabilità e/o influenzare la struttura delle comunità degli epifiti (MAG. ACQUE-CORILA, 2012; 2013; PROV. OO. PP.-CORILA, 2014).
- Acidificazione delle acque: diminuzione dei valori di pH e modificazione del ciclo dei carbonati in seguito alla dissoluzione di anidride carbonica di origine antropica. L'acidificazione porta al graduale scioglimento dei gusci calcarei ( $\text{CaCO}_3$ ) degli organismi marini (vegetali e animali). Indagini recenti, condotte in aree dove il pH è più basso, suggeriscono effetti sulla componente epifita. In particolare, una riduzione, anche moderata, del pH determinerebbe un indebolimento delle alghe calcaree riconducibile ad una diminuzione di numero e abbondanza (Donnarumma *et al.*, 2014; Kroeker *et al.*, 2013; Martin *et al.*, 2008, 2013; Martin e Gattuso, 2009; Semesi *et al.*, 2009; Porzio *et al.*, 2011; Ragazzola *et al.*, 2012). Tale ipotesi sembrerebbe però non adattarsi alle osservazioni condotte in laguna di Venezia dove, invece, si rileva un incremento delle specie calcaree prostrate. Inoltre, riduzioni dell'abbondanza sono state osservate anche per le erect algae e soprattutto per le turf algae (rispettivamente alghe di lunghezza superiore o inferiore a 10 mm) (Porzio *et al.*, 2011; 2013).

Recenti studi (Arnold *et al.*, 2012) hanno dimostrato che diminuzioni del pH possono favorire un aumento del grazing da parte di molti organismi (es. isopodi, ricci di mare, pesci, ecc.).

Modificazioni significative del pH sono state documentate nelle acque marine superficiali anche per il nord Adriatico, con una diminuzione pari a -0,063 unità tra il 1983 e il 2008 (Luchetta *et al.*, 2010). Nella laguna di Venezia un lavoro recente (Facca *et al.*, 2011) rileva una diminuzione nei valori medi di pH pari a 0,4 unità tra il 1998 e il 2003 nel bacino centrale. Le possibili ripercussioni dell'acidificazione sulla struttura e composizione delle comunità algali non trovano, però, un riscontro unanime, anche alla luce dei risultati di Noisette *et al.*, (2013) che indicano come alterazioni nei valori di pH inducano risposte specie-specifiche non uniformi a seconda dei taxa algali considerati.

Per approfondire l'analisi degli epifiti, le macroalghe (incluse le diatomee bentoniche) che colonizzano le fanerogame marine dello studio *ante operam* e degli studi successivi sono state suddivise in tre categorie morfo-funzionali, valutandone i rapporti per numero di specie e abbondanza: le *encrusting layer* (alghe incrostanti o prostrate), le *turf layer* (alghe di lunghezza inferiore a 10 mm) e le *erect layer* (alghe superiori ad 10 mm) (Airoldi e Cinelli, 1997; Irving e Connell, 2002a,b; Balata *et al.*, 2004; Schanz *et al.*, 2002).

L'analisi dei dati fa rilevare un incremento più o meno marcato delle *encrusting layer* rispetto allo studio *ante operam* in tutte le tre bocche di porto (+430% a Lido, +355 a Malamocco e +210% a Chioggia). La dominanza di questa componente, costituita soprattutto dalle Corallinales, è segnalata in letteratura come una condizione positiva dello stato di qualità delle praterie a fanerogame (Ballesteros, 1987; Romero, 1988; Mazzella *et al.*, 1989; Martínez-Crego *et al.*, 2010). Le alghe Corallinales, inoltre, sono utilizzate come indicatori di elevato livello ecologico nell'applicazione degli indici macroalgali della Direttiva Europea 2000/60 (Orfanidis *et al.*, 2011; Sfriso *et al.*, 2009).

Le *erect layer* subiscono, nei confronti del 2003, una generale diminuzione sia nel numero di taxa sia nell'abbondanza.

Anche le *turf layer* diminuiscono tra il 2003 e il 2014 in tutte le bocche di porto, sia come numero di taxa, sia come abbondanza. La riduzione dell'abbondanza è imputabile principalmente alla riduzione delle diatomee bentoniche che nel periodo dello studio *ante operam* erano risultate molto diffuse sulle lamine fogliari.

L'incremento di abbondanza delle *encrusting layer* e la sensibile riduzione della componente delle *erect* e delle *turf layer* farebbe scartare l'ipotesi di un eventuale stress dovuto alla sedimentazione, che dovrebbe, invece, indurre una riduzione delle *erect algae* (più sensibili) a favore delle *turf algae* (più tolleranti) (Airoldi e Cinelli, 1997; Irving e Connell, 2002a,b; Balata *et al.*, 2004).

Suddividendo gli epifiti fogliari in macroalghe, zoobenthos e diatomee bentoniche (tabella 4) si evidenzia come, rispetto allo studio *ante operam*, il numero di taxa (totale e medio) sia diminuito mentre relativamente al ricoprimento medio si registra un aumento generale delle macroalghe e un decremento dello zoobenthos (tranne a Lido) e delle diatomee bentoniche.

La riduzione generale del ricoprimento totale degli epifiti (macroalghe, zoobenthos e diatomee) rispetto al 2003/04, che è stata rilevata anche nel 2014, è dovuta prevalentemente al calo delle diatomee bentoniche (evidente soprattutto a Malamocco, tabella 4); queste microalghe, infatti, per la loro elevata abbondanza hanno inciso fortemente sul

Lido	Macroalghe		Zoobenthos		Diatomee spp.	
	2003	2014	2003	2014	2003	2014
N. taxa totale	49	27	10	7	---	---
N. taxa medio /st.	31,0	17,7	6,7	5,2	---	---
Ricopr. medio%/st.	18,5	33,3	4,7	4,9	16,2	3,5

Malamocco	Macroalghe		Zoobenthos		Diatomee spp.	
	2003	2014	2003	2014	2003	2014
N. taxa totale	55	16	12	8	---	---
N. taxa medio /st.	35,4	12,4	8,4	5,0	---	---
Ricopr. medio%/st.	23,0	36,8	8,4	3,4	22,6	4,1

Chioggia	Macroalghe		Zoobenthos		Diatomee spp.	
	2003	2014	2003	2014	2003	2014
N. taxa totale	61	22	14	9	---	---
N. taxa medio /st.	43,2	14,0	9,0	5,2	---	---
Ricopr. medio%/st.	23,3	28,3	11,1	1,6	10,5	3,6

Tabella 4. Valori degli indicatori degli epibionti delle lamine fogliari delle fanerogame marine dello Studio *ante operam* del 2003 e del 2014 alle tre bocche di porto.

ricoprimento registrato nello studio del 2003 (in particolare nei mesi autunnali ed invernali). Le maggiori temperature rilevate nel 2002 e nel 2003, associate ad una minore frequenza di eventi meteo-marini che hanno ridotto i dinamismi delle acque, potrebbero aver favorito un sovra-sviluppo di questa componente bentonica, soprattutto nei mesi autunnali ed invernali; un evento simile si era verificato nel 2002 a carico delle Ectocarpales (alghe brune) nelle praterie a fanerogame soprattutto di Malamocco e tale circostanza non si è più verificata, con simile intensità, negli anni successivi.

Da quanto esposto si comprende come la riduzione generalizzata del numero di taxa non sia di immediata interpretazione. Il fatto che tale decremento abbia coinvolto soprattutto le tipologie algali *erect* e *turf* potrebbe, però, ricollegarsi ad un mutamento delle dinamiche di alimentazione dei predatori; le forme algali erette e *turf* costituiscono, infatti, una tipologia alimentare di semplice utilizzazione rispetto alle alghe incrostanti che, al contrario, vengono predate da organismi zoobentonici con apparati masticatori specializzati (Duffy *et al.*, 2003; Littler e Littler, 1980; Steneck e Watling, 1982; Steneck, 1983; Schanz *et al.*, 2002).

La significativa diminuzione della biomassa algale (riconducibile soprattutto al genere *Ulva*) osservata nell'ultimo decennio (MAG.ACQUE-SELCO, 2010, 2011) potrebbe aver favorito, almeno in parte, un aumento del "pascolamento" di organismi zoobentonici sulle lamine fogliari delle fanerogame con una conseguente diminuzione degli epifiti (soprattutto delle forme *erect* e *turf*) (Whalem *et al.*, 2013).

Per una maggiore comprensione delle dinamiche di riduzione del numero di taxa nelle bocche di porto (vedi tabella 4) va precisato che la perdita riguarda soprattutto le specie definite "accidentali", la cui frequenza di rinvenimento è, per definizione, solitamente molto bassa e/o che si presentano con ricoprimenti molto limitati (ad esempio l'alga rossa *Antithamnion cruciatum* o l'alga bruna *Asperococcus compressus*).

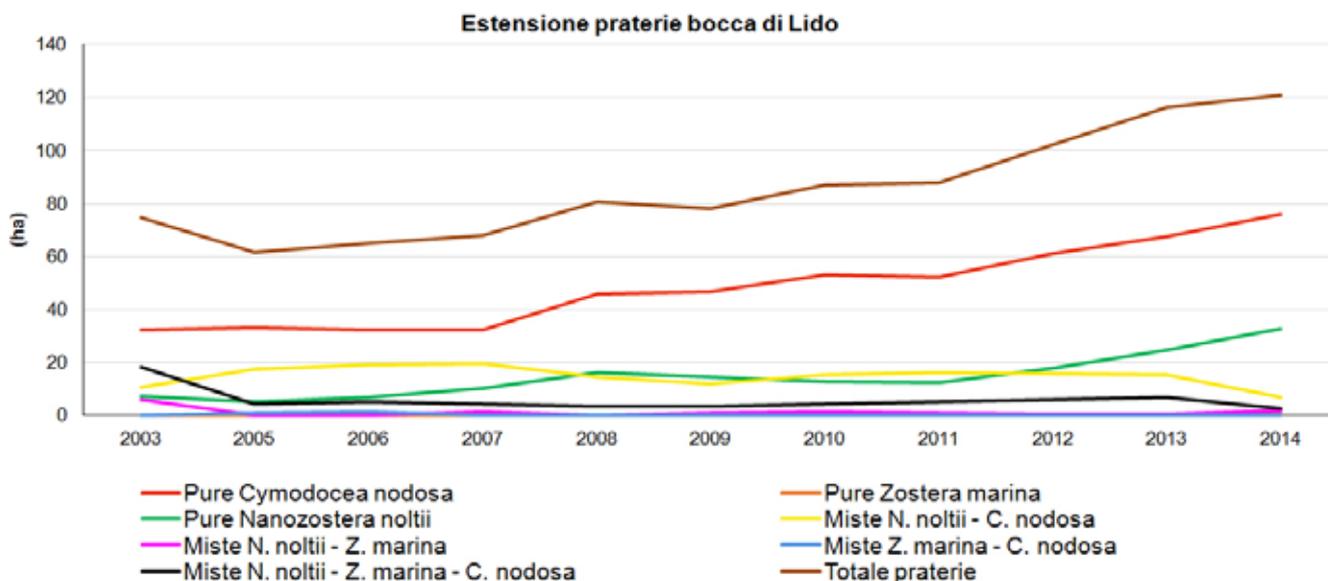
## **I dinamismi delle fanerogame marine alle tre bocche di porto**

### *Mappatura delle praterie alla bocca di porto di Lido*

Il monitoraggio della distribuzione delle praterie a fanerogame marine alla bocca di porto di Lido (figura 1a) ha evidenziato, negli anni, una complessiva stabilità, con coperture che, al termine del decennio, sono risultate superiori a quelle rilevate nel 2003 (figura 6).

Nel 2014 sono state rilevate coperture a fanerogame, pure e miste, pari a 121,1 ha, con un incremento di 46,4 ha rispetto al 2003. Dal 2005 al 2007 la copertura è risultata inferiore alla fase *ante operam* (figura 5), mentre negli anni successivi l'incremento degli areali è stato più o meno costante, variando in relazione alle dinamiche delle singole specie e alle diverse tipologie di praterie che si sono trasformate progressivamente da miste a pure. Negli anni, infatti, le praterie miste, dove coesistevano due o più specie (con una specie sempre dominante), si sono modificate per il prevalere della specie principale, divenendo praterie pure (figura 6).

Analizzando le praterie per tipologia, si rileva come le coperture pure siano variate da 39,4 ha del 2003 a 109,3 ha del 2014. L'analisi per singole specie registra un incremento delle praterie pure a *Cymodocea nodosa* che da 32,2 ha nel 2003 hanno raggiunto, dopo un decennio, una estensione di 76,1 ha. Un incremento più contenuto come estensione, ma significativo per il valore ecologico che comporta la ricolonizzazione dei bassifondali della bocca di porto, si è verificato per le praterie a *Nanozostera noltii* che sono variate da 7,2 ha del 2003 a 32,7 ha del 2014. La ricomparsa di *Zostera marina* in diffusi areali della bocca di porto estesi per alcuni metri segna un'importante inversione di tendenza dopo le ultime segnalazioni degli anni '90, anche per il contributo alla diversificazione



ambientale che potrà apportare.

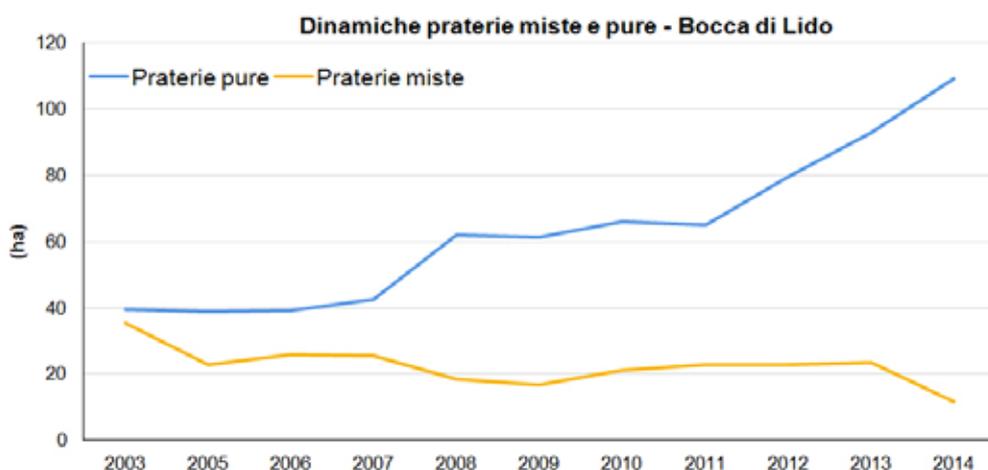
Le coperture miste sono progressivamente regredite variando da 35,3 ha nel 2003 a 11,7 ha nel 2014. L'analisi dei dati evidenzia una graduale riduzione delle praterie miste a favore di quelle pure a *Cymodocea nodosa* e secondariamente a *Nanozostera noltii*.

L'incremento di estensione delle aree a *Cymodocea nodosa* della bocca di Lido trova conferma nel confronto tra i monitoraggi delle fanerogame svolti a scala lagunare tra il 1990 e il 2009-2010 (Caniglia *et al.*, 1990; MAG.ACQUE-SELCO, 2005a; 2010; 2011). I motivi possono ricondursi alla maggiore capacità di questa specie di contrastare e superare situazioni avverse, spesso avvantaggiandosene rispetto alle altre rizofite; alla presenza di sedimenti francamente sabbiosi nella bocca di porto; alla salinità medio elevata e nell'ottimo ricambio idrico; al maggior approfondimento dell'apparato radicale e all'efficienza delle strategie riproduttive e diffusive che si avvalgono di processi sia gamici sia vegetativi.

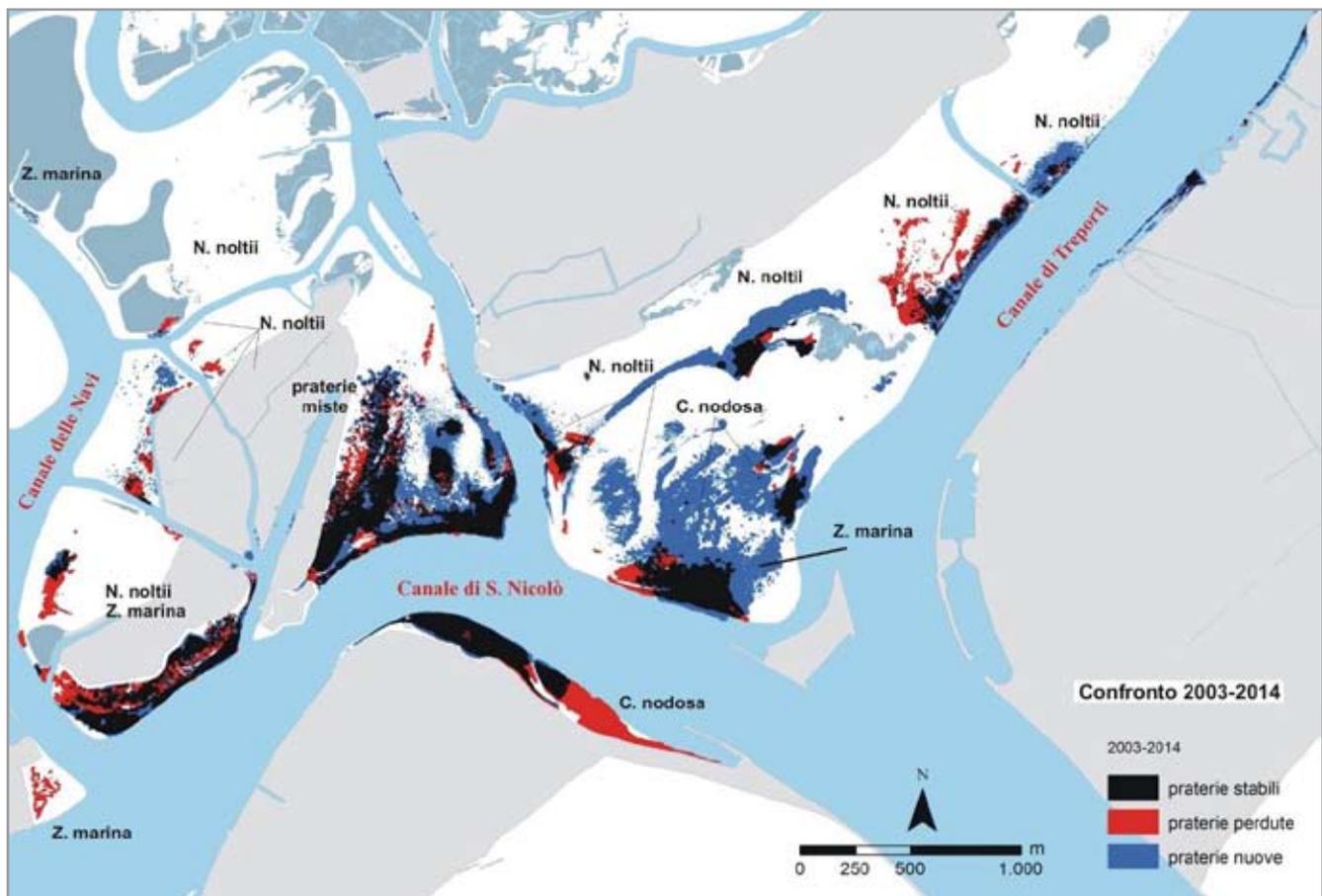
L'incremento di areali di *Nanozostera noltii* alla bocca di Lido segna un recupero delle praterie nelle aree intertidali ed emergenti durante le basse maree, ampiamente colonizzate nel 1990 ma non più occupate da questa specie nella mappatura del 2002-2004.

L'analisi di dettaglio delle variazioni delle praterie dalla fase *ante operam* (2003) al 2014 (figura 8) evidenzia come le principali dinamiche, regressive e progressive, abbiano ri-

6. Bocca di porto di Lido: variazioni delle estensioni delle diverse tipologie di praterie tra il 2003 e il 2014. Nel 2004 non sono stati eseguiti rilievi.



7. Bocca di porto di Lido: estensione delle coperture a praterie pure e miste.



8. Bocca di porto di Lido: variazioni delle coperture a fanerogame marine tra il 2003 e il 2014.

guardato soprattutto l'area denominata "Bacan", un fondale lagunare che presenta ampi tratti sempre sommersi (2-3 m) e, più internamente, tratti intertidali che emergono durante le basse maree.

Nel corso del decennio, le perdite di praterie nelle zone interne alla bocca di Lido riguardano principalmente la fanerogama *Nanozostera noltii*, in fregio ai bassi fondali con limitata batimetria; questa fanerogama, però, è apparsa in parziale recupero negli ultimi 2-3 anni. Altre perdite sono riferibili a *Cymodocea nodosa*, in aree di margine al Canale di S. Nicolò, su praterie poste a nord-ovest della nuova isola realizzata. Sempre all'interno della bocca di porto, sono scomparse le praterie a *Cymodocea nodosa* che si trovavano parallelamente alla diga sud, in seguito alle modifiche strutturali apportate al molo foraneo ed ai fondali adiacenti; nelle aree più lontane alle opere del MOSE sono state definitivamente perdute le praterie miste, segnalate sino al 2010 presso Venezia (S. Elena), a causa della costruzione di una darsena.

Per quanto riguarda invece gli incrementi di areali, i più significativi, come detto, si sono avuti sui fondali retrostanti la nuova isola realizzata al centro del porto canale a supporto del sistema di paratoie. In quest'area appare elevata l'espansione delle praterie di *Cymodocea nodosa* sui fondali a maggiore profondità e direttamente marinizzati (+24,8 ha rispetto al 2003, complessivamente tra praterie pure e miste, e ben +43,9 ha per la sola tipologia pura). Molto importanti sono anche gli incrementi di *Nanozostera noltii* che, dopo circa un decennio, ha superato l'estensione registrata nella fase *ante operam* (+1,9 ha nel complesso tra praterie pure e miste e +25,5 ha nella tipologia pura) ripopolando parte delle aree a minore battente, dove era presente nella mappatura del 1990 ma assente in quelle del 2002-2004. Per *Zostera marina*, gli incrementi di areale sono al momento molto limitati (+0,5 ha) ma importanti per il significato ecologico

e per il contributo che può dare in sinergia con le altre due specie alla conservazione dell'habitat prioritario 1150\*, all'habitat di specie e alla comunità bentonica.

Analizzando le dinamiche delle praterie in relazione alle differenti aree di possibile impatto (impronta delle opere, aree di cantiere, aree esterne alle opere/cantieri), si rileva che nelle aree di competenza delle opere si è avuta, negli anni, la scomparsa di 0,8 ha, mentre nelle aree dei cantieri per lo svolgimento dei lavori si è passati da 4,8 ha in fase *ante operam* a 0,6 ha dopo un decennio. La perdita complessiva in queste due aree, pari a 5,0 ha, ha riguardato praterie a *C. nodosa* poste sui fondali profondi 3-4 m situate a ridosso del molo foraneo sud. Da sottolineare per importanza l'incremento delle praterie nelle aree esterne alle opere ed alle aree in concessione ai cantieri che da 69,1 ha del 2003 si sono estese sino a 120,5 ha del 2014; di particolare importanza è la tenuta di due estese praterie che si ritenevano particolarmente esposte ai possibili effetti delle opere, per vicinanza: quella a nord-ovest della nuova isola e quella lungo il tratto più lagunare della diga sud di Lido (tratto aeroporto Nicelli).

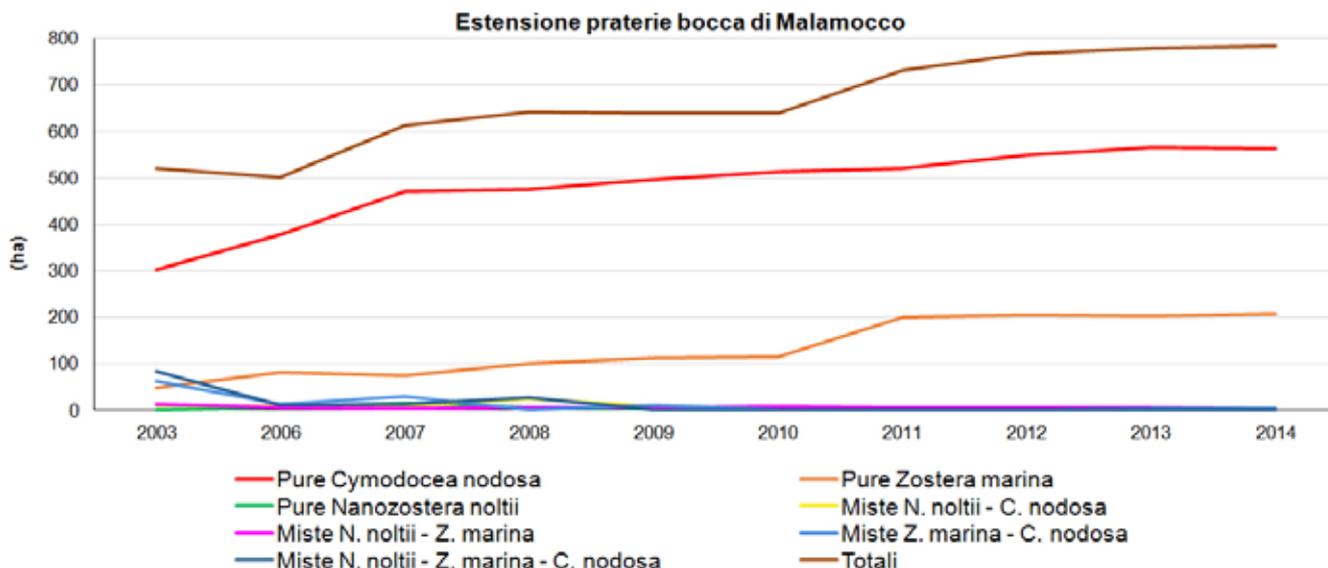
#### Mappatura delle praterie alla bocca di porto di Malamocco

Le praterie a fanerogame marine alla bocca di Malamocco (figura 1b), dopo circa un decennio di monitoraggio, hanno aumentato la loro estensione: nel 2003 erano stati rilevati areali pari 521,7 ha, mentre nel 2014 sono state mappate praterie per 783,2 ha, con un aumento di 261,5 ha (figura 9). L'incremento di estensione non è avvenuto con una progressione costante ma concentrata specialmente in due periodi: nel 2007, con un aumento principalmente di *Cymodocea nodosa*, e nel 2011, con un incremento sensibile di *Zostera marina*.

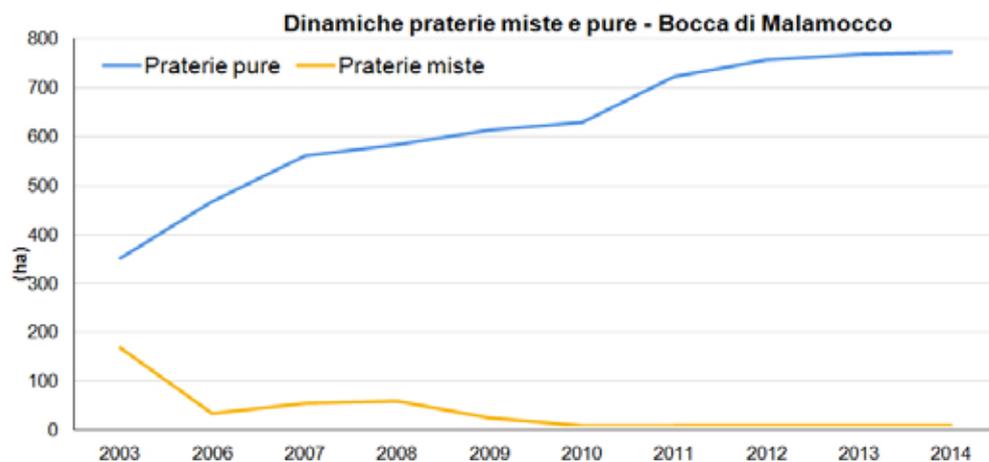
Anche a Malamocco, come a Lido, le praterie un tempo miste, formate da due o tre specie con una specie sempre dominante, si sono progressivamente ridotte trasformandosi, in gran parte, in praterie pure per il prevalere della specie principale (figura 10).

L'analisi per tipologia evidenzia che le praterie pure sono variate da 352,2 ha nel 2003 a 774,1 ha nel 2014: sono aumentate in modo significativo le coperture a *Cymodocea nodosa* (da 302,5 ha del 2003 a 564,4 ha del 2014) e quelle di *Zostera marina* (da 49,0 ha del 2003 a 207,7 ha del 2014). Le praterie pure di *Nanozostera noltii* hanno mostrato, nei primi anni del monitoraggio, tendenze espansive, per poi regredire gradualmen-

9. Bocca di porto di Malamocco: variazioni delle estensioni delle diverse tipologie di praterie tra il 2003 e il 2014. Nel 2004 e nel 2005 non sono stati eseguiti rilievi.



10. Bocca di porto di Malamocco: estensione delle coperture a praterie pure e miste. Nel 2004 e nel 2005 non sono stati eseguiti rilievi.

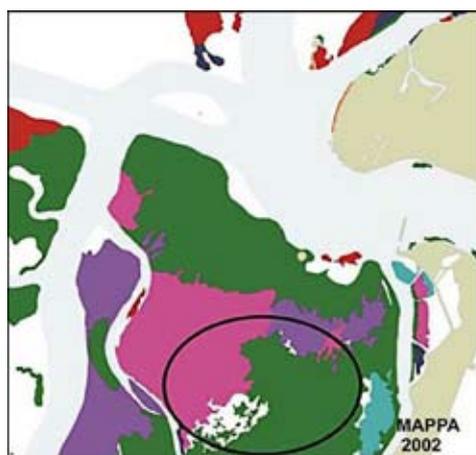


te sino ai livelli del controllo *ante operam* (incremento finale di +1,5 ha). Considerando che l'incremento delle praterie pure è solo parzialmente dovuto dalla regressione di quelle miste, divenute monospecifiche, ne deriva che l'espansione delle fanerogame, osservata nel decennio nella bocca di porto, è il risultato della colonizzazione di fondali prima avegetati.

Le coperture miste avevano già perduto oltre il 70-80% delle estensioni già nei primi anni del monitoraggio, attestandosi, nel 2012-2014, attorno a 9-10 ha. In pratica, le praterie miste a *Z. marina*-*C. nodosa* e miste delle tre specie (con *Nanozostera noltii* sempre minoritaria) hanno assunto una tipologia pura a *Zostera* o a *Cymodocea*.

#### Specie, copertura

- *Cymodocea nodosa*, classe IV
- *Cymodocea nodosa*, classe III
- *Cymodocea nodosa*, classe II
- *Cymodocea nodosa*, classe I
- *Zostera marina*, classe IV
- *Zostera marina*, classe III
- *Zostera marina*, classe II
- *Zostera marina*, classe I
- *Nanozostera noltii*, classe IV
- *Nanozostera noltii*, classe III
- *Nanozostera noltii*, classe II
- *Nanozostera noltii*, classe I
- *N. noltii* - *Z. marina*
- *Z. marina* - *C. nodosa*
- *N. noltii* - *C. nodosa*
- *N. noltii* - *Z. marina* - *C. nodosa*
- Configurazione delle opere al termine dei lavori
- Aree in consegna



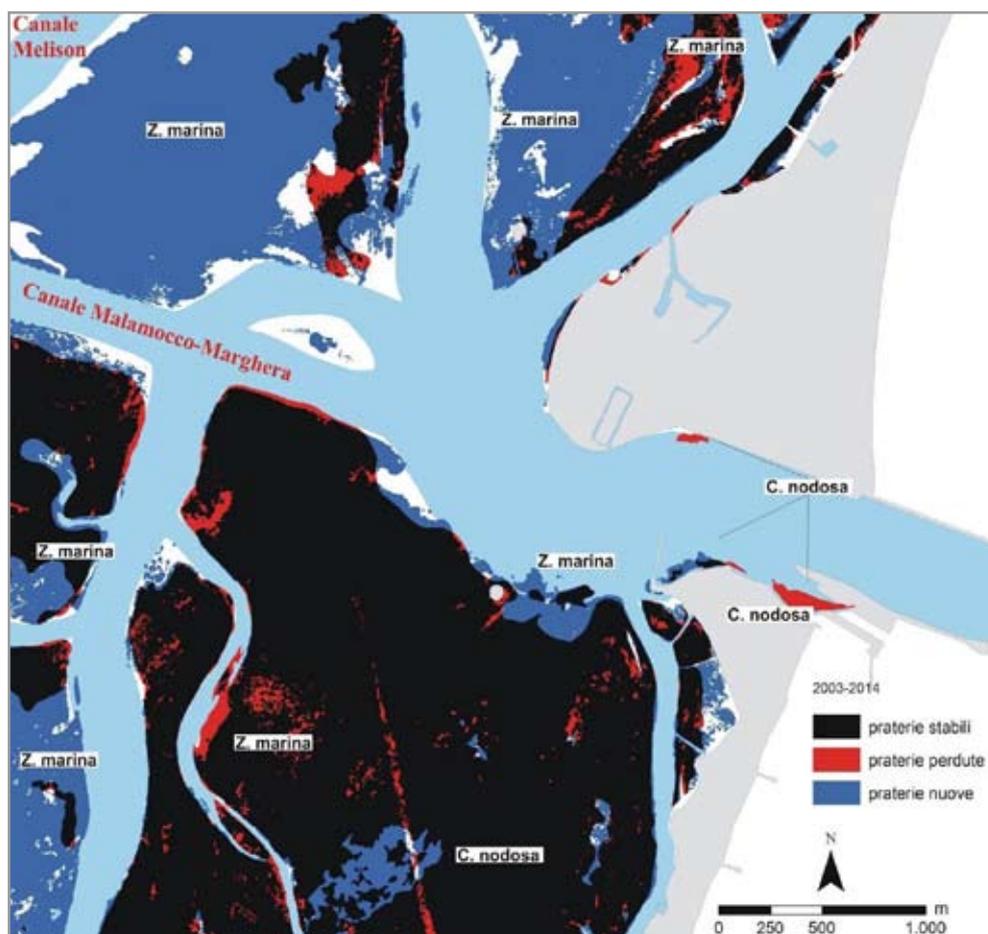
11. Esempio delle dinamiche delle praterie in corrispondenza dell'area interessata allo scavo eseguito nel 2004.

Per comprendere le dinamiche distributive in questa bocca di porto è necessario ricordare che, a seguito di un esteso scavo avvenuto nel 2004 per l'interconnessione tra i sistemi acquedottistici di Venezia e Chioggia, si è verificata una perdita di fanerogame (figura 11) per effetti indiretti e diretti in un'area più estesa di quella dello scavo. Dopo i lavori è iniziata la fase di ricolonizzazione segnata dal prevalere di *Cymodocea nodosa* sulle altre specie, per la sua migliore strategia e rapidità di colonizzare nuovi substrati (elevata resilienza e dispersione affidata alla riproduzione gamica e vegetativa).

In altri settori della bocca, rispetto alla mappatura del 2003, si sono verificate espansioni di *Zostera marina*, specie più sensibile: estese praterie si sono formate a nord della bocca di porto, su fondali a batimetrie superiori a 1,5-3,0 m, e nel settore sud-ovest della bocca, su fondali che dal canale (3 m) degradano verso il bassofondo (1 m). Nelle settore centro-sud della bocca le dinamiche progressive o regressive sono poco evidenti e più sfumate essendo i fondali colonizzati prevalentemente da *Cymodocea nodosa*, specie più delle altre resistente, tollerante e a crescita rapida.

La figura 12, che riassume le dinamiche delle fanerogame marine dal 2003, evidenzia bene come il bilancio tra nuove colonizzazioni e perdite sia nettamente a favore delle prime.

La disamina delle aree sottoposte a diverso impatto (impronta delle opere, aree di cantiere, aree esterne a opere/cantieri) evidenzia che già dal primo anno del monitoraggio nelle aree delle opere e in quelle in concessione ai cantieri la perdita di praterie era significativa: dei 3,0 ha erano rimasti 0,5 ha nel 2006. Negli anni successivi le perdite di areali in questi due settori sono state limitate e tuttora nella zona persistono praterie per 0,3 ha.



12. Bocca di porto di Malamocco: variazioni delle coperture a fanerogame marine tra il 2003 e il 2014.

A fronte di queste prevedibili perdite, nell'area esterna alle opere ed ai cantieri si è invece verificata una significativa espansione e ciò appare importante considerando che qui sono presenti oltre il 99% delle praterie della bocca di porto.

### Mappatura delle praterie alla bocca di porto di Chioggia

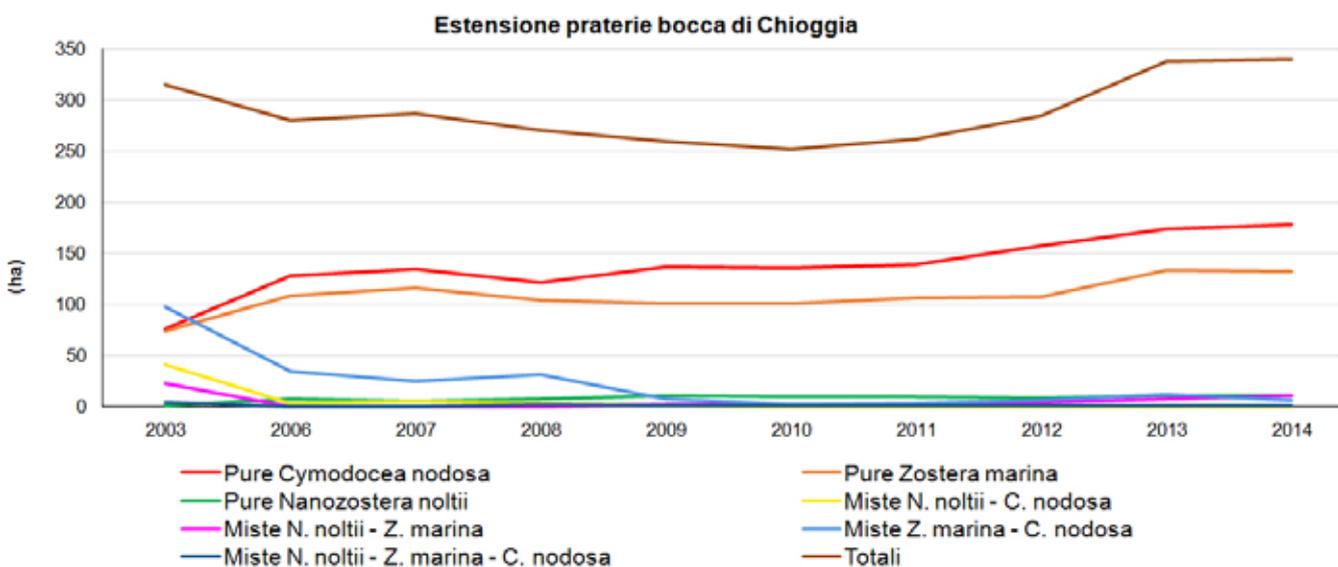
Le dinamiche delle praterie a questa bocca risultano più complesse rispetto alle altre due bocche, per la presenza di estese aree utilizzate per la coltivazione delle vongole (figura 1c); tali aree, negli anni, sono variate in estensione e posizione, ed hanno modificato il proprio regime di attività. Tenuto conto dell'elevata pressione antropica esistente, le variazioni di estensione delle praterie alla bocca di Chioggia dal 2003 al 2014 registrano comunque un bilancio positivo, variando da 314,6 ha della fase *ante operam* a 339,6 ha del 2014 (+25,0 ha, figura 13).

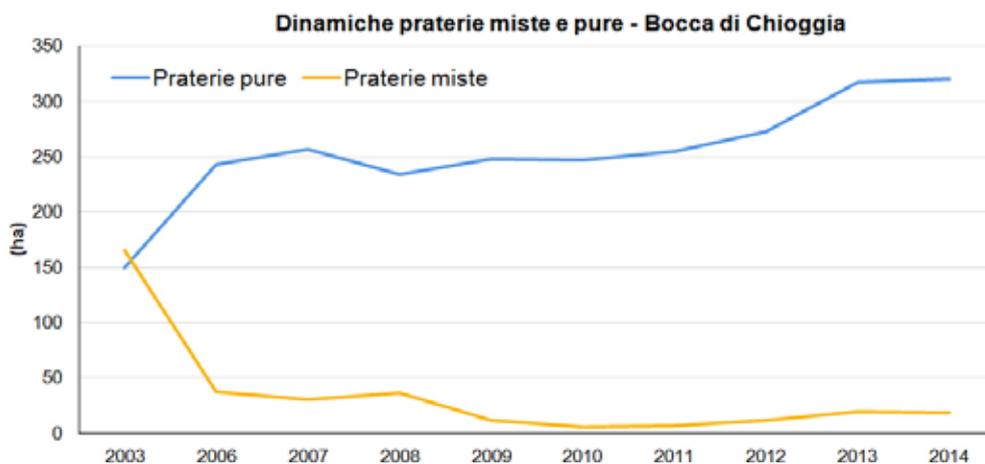
Successivamente al 2003 si è verificata una riduzione dell'estensione delle praterie in tutta la bocca di porto che ha interessato indistintamente le tre specie e le diverse tipologie (pura e mista), essendo variate da 315 ha nel 2003 a 280 ha nel 2006. Negli anni successivi, pur con un trend non regolare segnato da incrementi e riduzioni, le praterie si sono progressivamente estese, soprattutto a partire dal 2010 quando da 252,2 ha (valore più basso raggiunto nel corso del monitoraggio) si sono espanse agli attuali 339,6 ha.

Anche alla bocca di Chioggia è stata osservata una regressione delle praterie miste a favore di quelle pure (figura 14). A Chioggia, peraltro, la trasformazione era molto marcata sin dal primo monitoraggio del 2006.

Analizzando le praterie per tipologia, si evidenzia che le praterie pure hanno raddoppiato la loro estensione passando da 149,5 ha nel 2003 a 320,9 ha nel 2014. Sono aumentate soprattutto le praterie a *Cymodocea nodosa*, con un incremento attorno al 150% e a *Zostera marina*, con un incremento dell'80%. Limitato per estensione ma importante ecologicamente risulta l'incremento delle praterie pure a *Nanozostera noltii*. Sin dal primo controllo, nel 2006, è stata osservata una maggior copertura ma poi l'estensione è rimasta più o meno stabili negli anni (10-11 ha). Gli incrementi di areale osservati per le praterie pure derivano, per circa l'85%, dalla trasformazione di quelle miste in pure e, per una quota di circa il 15%, da nuove colonizzazioni avvenute soprattutto nelle aree in concessione che sono state, in parte o totalmente, dismesse.

13. Bocca di porto di Chioggia: variazioni delle estensioni delle diverse tipologie di praterie tra il 2003 e il 2014. Nel 2004 e nel 2005 non sono stati eseguiti rilievi.





14. Bocca di porto di Chioggia: estensione delle coperture a praterie pure e miste. Nel 2004 e nel 2005 non sono stati eseguiti rilievi.

A fronte dell'incremento delle praterie pure, le praterie miste sono progressivamente regredite scendendo dai 165,1 ha del 2003 ai 18,7 ha del 2014. La riduzione non è stata graduale ma evidente sin dal primo monitoraggio del 2006 (-128,1 ha). Negli anni successivi l'andamento ha seguito riduzioni ed espansioni che non hanno determinato mai una vera inversione di tendenza. Le più evidenti trasformazioni avvenute negli anni del monitoraggio hanno interessato le praterie miste a *Z. marina*-*C. nodosa* variate dall'*ante operam* da 98,8 ha a 6,7 ha del 2014 e quelle miste a *N. noltii*-*C. nodosa* che da 40,7 ha dell'*ante operam* sono scomparse; in entrambi i casi le praterie miste si sono trasformate in praterie pure a *Cymodocea nodosa*.

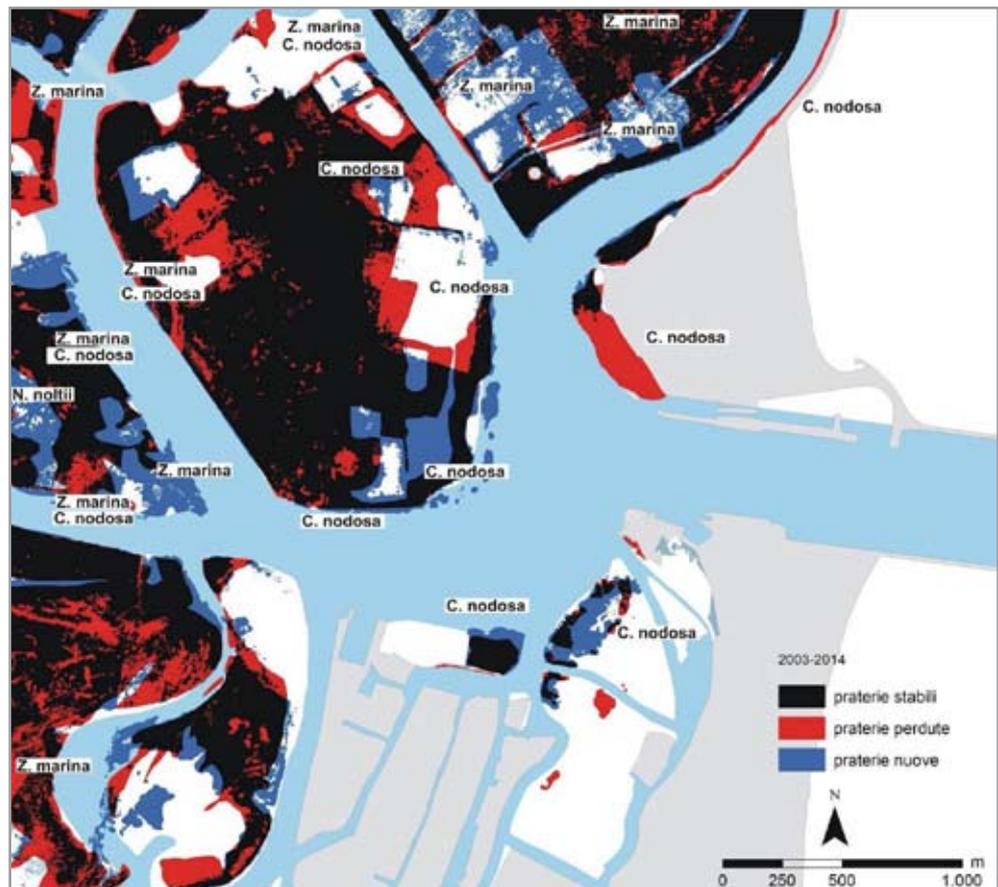
Il confronto cartografico tra il 2003 e il 2014 evidenzia che le perdite o le espansioni delle praterie sono spesso localizzate in prossimità delle aree di allevamento delle vongole, nei settori centro nord della bocca di porto (figura 15). Nel corso degli anni, l'utilizzo effettivo di questi settori di laguna per l'allevamento dei molluschi non è sempre stato regolare. Le aree in concessione sono variate, o a volte non sono state utilizzate, determinando l'alternanza di fasi di regressione e di colonizzazione da parte delle fanerogame. Nelle concessioni ancora attive a volte si notano perdite di aree a fanerogame oltre i limiti assegnati, mentre in quelle totalmente o parzialmente dismesse è evidente, negli anni, la progressiva ricolonizzazione dei fondali.

Il settore sud dell'area di bocca, ad ovest di Chioggia, poco o nulla interessato da allevamenti di vongole, appare caratterizzato da perdite di fanerogame, soprattutto di *Zostera marina*. Quest'area, negli anni ha spesso subito delle variazioni negli areali delle praterie perché soggetta a proliferazioni algali del genere *Ulva*; l'eccessiva presenza delle macroalghe all'interno delle praterie può causare infatti eventi anossici con conseguenti fluttuazioni periodiche delle fanerogame più sensibili, in particolare *Zostera marina*.

La perdita di circa 4-5 ha di *Cymodocea nodosa* su fondali profondi 2-3 m all'entrata nord della bocca di porto, lungo la conterminazione lagunare di Ca' Roman, è invece riconducibile alle opere del MOSE.

Analizzando le variazioni nel decennio per le tre aree di possibile impatto alla bocca di porto (opere, cantieri ed esternamente ad opere/cantieri) si rileva, rispetto alla fase *ante operam*, una perdita di circa 2,6 ha nelle aree di competenza delle opere e di 2,7 ha nelle aree di competenza dei cantieri. Per ambedue le aree le variazioni riguardano le praterie a *Cymodocea nodosa* situate ad ovest di Ca' Roman, su un fondale di 2-3 m, e sulle quali sono state realizzate opere fisse o transitorie. Al contrario, nelle aree esterne alle opere e ai cantieri, il monitoraggio decennale ha evidenziato un incremento complessivo di 30,7 ha.

15. Bocca di porto di Chioggia: variazioni delle coperture a fanerogame marine tra il 2003 e il 2014.



## Modelli di distribuzione dell'habitat per le praterie di fanerogame marine

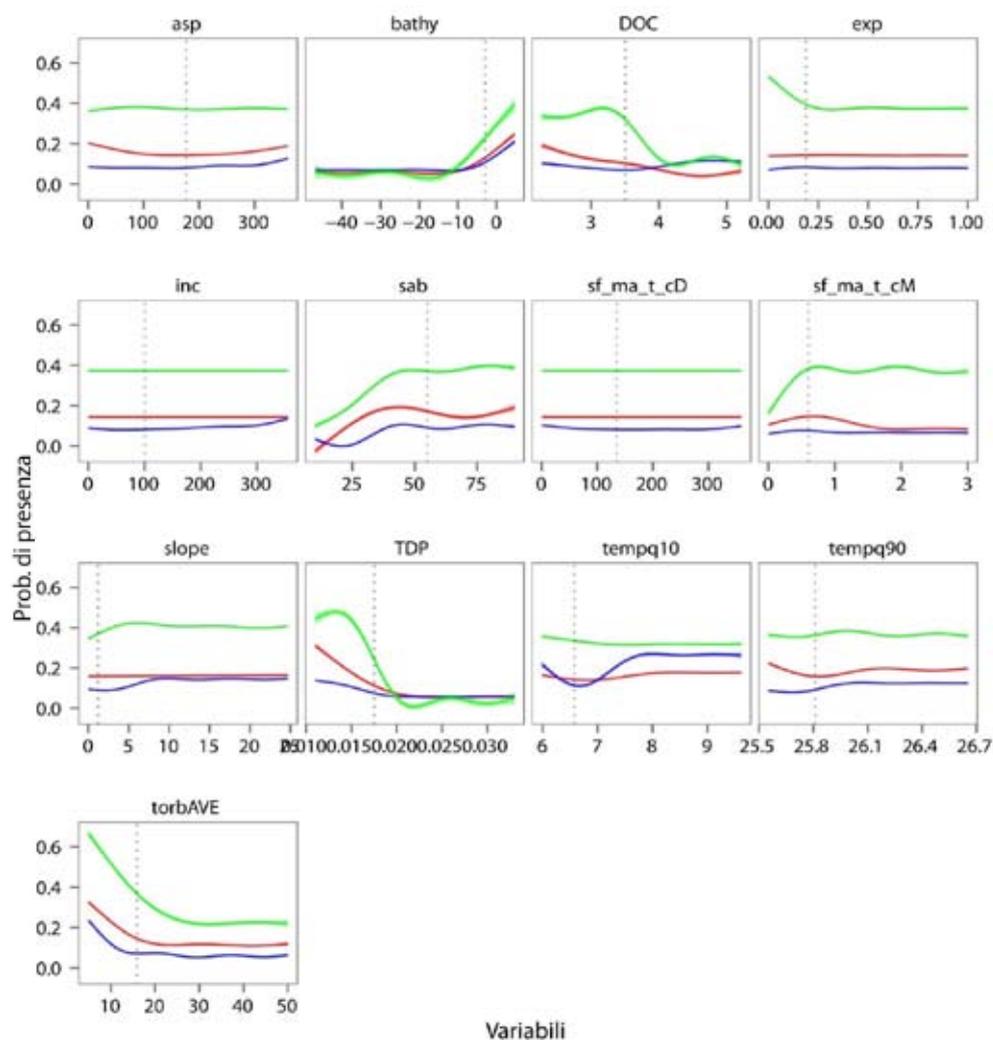
La procedura di selezione dei modelli ha portato allo sviluppo di modelli con caratteristiche parzialmente diverse per le tre specie (*Z. marina*, *N. noltii* e *C. nodosa*). Infatti non tutte le variabili sono incluse nei modelli per le diverse specie. Si può, ad esempio notare che l'incidenza e lo sforzo tangenziale non sono state selezionate nei modelli di *Z. marina* e *C. nodosa*: come conseguenza la probabilità stimata di osservare queste specie non varia al variare di queste due variabili (figura 16).

Le statistiche selezionate per valutare i modelli indicano che questi hanno un'elevata capacità di predizione. Infatti, i modelli per le tre specie sono caratterizzati da un'elevata capacità di discriminazione tra siti idonei e non idonei sulla base della probabilità di presenza (tabella 5), e la percentuale di osservazioni correttamente classificate è compresa tra l'89% (*Z. marina* e *N. noltii*) e il 94% (*C. nodosa*). I modelli sviluppati per *Z. marina* e *N. noltii* sembrano sovrastimare le presenze all'interno del bacino lagunare, dal momento che hanno capacità molto elevate di prevedere correttamente una presenza (*sensitivity*; tabella 2), ma sono caratterizzati da un più alto tasso di errore per quanto riguarda le assenze (la *specificity* è più bassa; tabella 2). Per il modello di *C. nodosa* le variabili più importanti sono la batimetria e il fosforo totale disciolto, seguite dalla granulometria e dallo sforzo al fondo (figura 16). Batimetria, granulometria, temperatura minima, carbonio organico disciolto, torbidità, fosforo disciolto e temperatura massima rappresentano un gruppo di fattori ad elevato peso nello spiegarne la distribuzione spaziale di *N. noltii*. *Zostera marina*, invece, è influenzata soprattutto da granulometria, sforzo al fondo, batimetria, fosforo disciolto e carbonio organico disciolto. Cercando

di sintetizzare le informazioni, quindi, si può dire che nel complesso la profondità, il livello di confinamento (caratterizzato da un arricchimento di carbonio organico e fosforo), la granulometria e in parte i fattori idrodinamici sono le caratteristiche più importanti per spiegare la distribuzione delle tre specie. Inoltre *N. noltii* è influenzata in maniera piuttosto forte anche da fattori climatici e dalla torbidità.

Le fanerogame risultano associate a fondali non troppo profondi, con una tessitura del sedimento non troppo fine (*C. nodosa* sembra essere la specie che maggiormente beneficia di un aumento del tenore di sabbia nel sedimento), una bassa torbidità dell'acqua e basso contenuto di nutrienti e sostanza organica (*C. nodosa* beneficia di un aumento della trasparenza e di una diminuzione dello stato trofico delle acque). *Z. marina* risulta essere avvantaggiata da un moderato livello di energia della corrente, per poi essere svantaggiata ad un ulteriore aumento dello sforzo esercitato dal moto idrodinamico. Al contrario, *C. nodosa* sembra essere più marcatamente favorita da acque caratterizzate da un vivace regime idrodinamico.

Le mappe presentate dalla figura 17 presentano la stima delle distribuzioni nelle tre bocche di porto complessive per le tre specie di fanerogame marine, per la situazione antecedente alla realizzazione delle opere e per quella corrispondente all'attuale configurazione morfologica delle bocche. In generale le aree prossime alle bocche di Chioggia e Malamocco risultano in larga parte idonee alla presenza di fanerogame marine sia nel 2004 che nel 2010, mentre nella zona di Lido solamente alcune aree prossime ai principali canali di navigazione presentano condizioni di elevata idoneità.



16. Forma media delle variabili di risposta al variare delle variabili ambientali per i modelli di *C. nodosa* (verde); *N. noltii* (blu); *Z. marina* (rosso). Exp: esposizione all'aria; sab: percentuale di sabbia nel sedimento superficiale; TDP: fosforo totale disciolto; slope: pendenza; bathy: batimetria; tempq10: temperatura minima (10° percentile); tempq90: temperatura massima (90° percentile); DOC: carbonio organico disciolto; sf\_ma\_t\_cM: sforzo massimo ciclo completo di marea (flusso e deflusso quadratura + sizigia); sf\_ma\_t\_cD: direzione associata allo sforzo massimo ciclo completo di marea (flusso e deflusso quadratura + sizigia); asp: aspetto (orientamento degli elementi); inc: incidenza (angolo formato dall'aspetto e direzione dello sforzo massimo).

Tabella 5. Statistiche utilizzate per valutare l'accuratezza dei modelli sviluppati rispetto al dataset di validazione (PCC: percentuale di osservazioni correttamente classificate; sensitivity: percentuale di presenze correttamente classificate; specificity: percentuale di assenze correttamente classificate; AUC: area sottesa dalla curva ROC-rappresenta la probabilità che ad una presenza sia attribuita una probabilità di presenza superiore che ad un'assenza).

Modello	PCC	sensitivity	specificity	AUC
<i>Z. marina</i>	0.89	0.96	0.89	0.98
<i>N. nolii</i>	0.89	0.97	0.89	0.98
<i>C. nodosa</i>	0.94	0.98	0.94	0.99

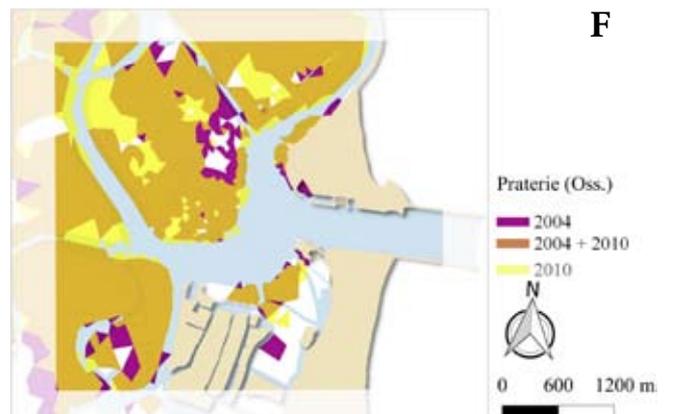
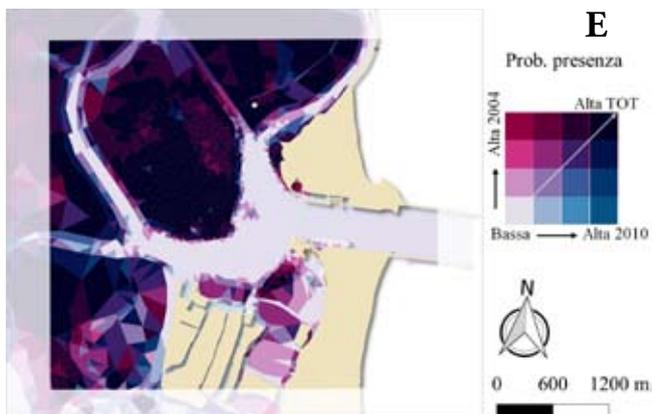
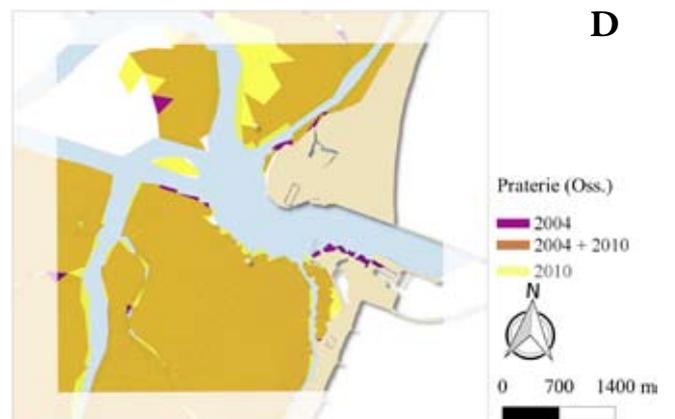
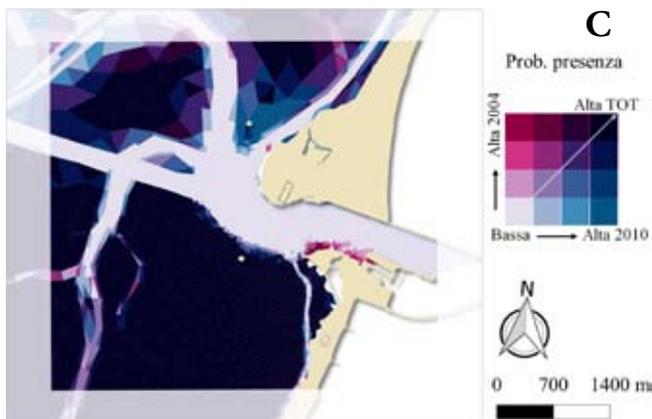
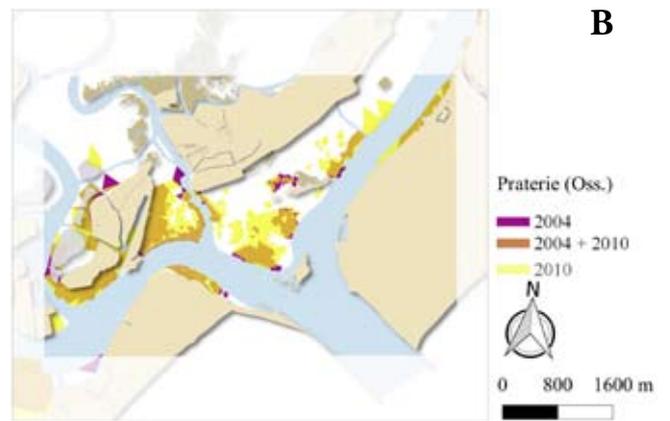
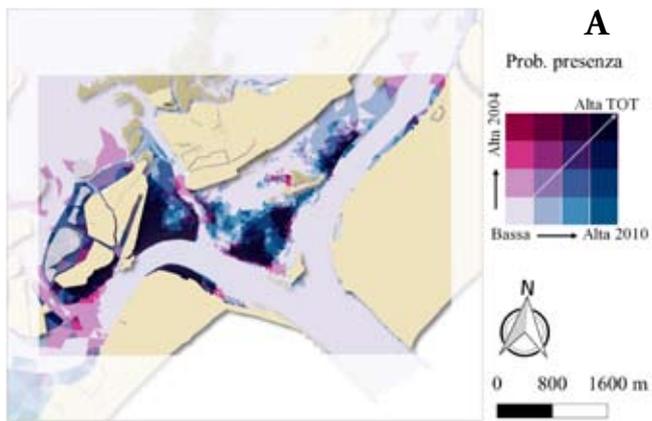
La bocca di porto del Lido che, per caratteristiche generali e conformazione, presenta nel complesso una quantità minore (in termini di area) di zone vocate a praterie, sembra invece essere associata ad un più spiccato miglioramento delle condizioni ambientali nei confronti delle fanerogame marine. Infatti, le zone davanti all'isola di S. Andrea, quelle a ridosso dell'isola artificiale, nell'area del Bacan e nella piana lungo il canale di Treporti fanno registrare un aumento dell'idoneità ambientale per le fanerogame.

Altre aree della bocca di porto di Malamocco, come quella delimitata dal canale Melison e dal canale Malamocco-Marghera, a nord-ovest della bocca, presentano condizioni di elevata vocazionalità per le fanerogame, ma non risultano interamente occupate da praterie. Anche in questo caso, la spiegazione potrebbe essere in parte fornita da pressioni antropiche che non hanno effetti diretti sulle variabili ambientali considerate, ma è interessante sottolineare che l'estensione di praterie che occupano quest'area è aumentata negli anni immediatamente successivi al 2010 (figura 9).

Anche le aree della bocca di Chioggia non interessate dalla presenza di fanerogame marine (figura 15) sembrano presentare condizioni idonee. Pur tenendo conto della possibile incertezza associata alle predizioni del modello, alcune di queste aree sono associate a zone in concessione per l'allevamento delle vongole. Questo significa che le condizioni ambientali incluse nei modelli non sono in grado di descrivere lo stress e l'impatto esercitato sulle fanerogame marine. In generale, però, le condizioni sono buone e quindi la cessazione della situazione di stress (ad esempio per abbandono della zona in concessione) potrebbe riportare ad una colonizzazione dell'area, come già testimoniato per alcune delle aree (figura 15).

Le informazioni pregresse disponibili per la laguna di Venezia hanno permesso di calibrare modelli di distribuzione per *C. nodosa*, *N. nolii* e *Z. marina*, sfruttando la base conoscitiva costruita in questi anni di monitoraggio nell'intero bacino e nelle aree di bocca. I modelli risultano avere buone capacità predittive e capacità di ricostruire la dinamica di occupazione dei fondali lagunari, anche se è stato dimostrato un certo livello di incertezza nelle informazioni usate per caratterizzare le condizioni ambientali. Questa incertezza è legata soprattutto ai dati di batimetria, ritenuti fondamentali per descrivere e spiegare le distribuzioni delle praterie, e caratterizzata da un basso livello di confidenza, soprattutto nelle zone di transizione tra canale e bassofondo. Infatti, la mancanza di un aggiornamento dell'informazione sulla profondità delle aree al margine dei canali portuali ostacola la perfetta interpretazione delle dinamiche spazio-temporali registrate in alcune aree delle bocche di porto negli anni di monitoraggio.

Gli strumenti messi a punto in questa attività, quindi, oltre a fornire spunti sul ruolo dei cambiamenti di condizioni ambientali sulle dinamiche spaziali di colonizzazione delle fanerogame marine in laguna di Venezia, rappresentano una risorsa che può essere impiegata per supportare decisioni gestionali che coinvolgono gli habitat a fanerogame marine. Tra le possibili applicazioni si possono citare la ricerca di aree idonee per effettuare eventuali trapianti programmati (ad esempio estendendo l'applicazione dei modelli al di fuori delle zone di bocca di porto) o l'esplorazione di diversi scenari di gestione o di intervento, in modo da contribuire all'inclusione dei potenziali effetti sull'habitat delle fanerogame marine tra gli elementi da considerare all'interno dei processi decisionali.



16. Confronto tra predizioni per il 2004 e il 2010 in termini di probabilità di presenza (A) e presenza/assenza (B) di praterie a Lido; probabilità di presenza (C) e presenza/assenza di praterie (D) Malamocco; probabilità di presenza (E) e presenza/assenza di praterie (F) a Chioggia.

## Considerazioni finali

Il monitoraggio decennale condotto durante la realizzazione del MOSE alle tre bocche di porto evidenzia un quadro di complessiva stabilità delle praterie a fanerogame marine rispetto alla fase *ante operam* (2003), con solo alcuni descrittori, in particolare quelli relativi all'epifitismo, che richiedono attenzione, anche se non è mai stata evidenziata alcuna specifica relazione di causa-effetto con le opere in realizzazione.

L'analisi dei parametri fenologici e dell'epifitismo, così come la valutazione delle dinamiche di distribuzione delle tre rizofite, hanno sempre dovuto considerare che le aree oggetto del monitoraggio sono sottoposte, oltre che al possibile impatto derivante dalla realizzazione delle opere mobili, anche ad una serie di impatti antropici (es. dragaggi, realizzazione di nuove darsene, fruizione ricreativa, attività alieutiche). Non va poi trascurata la difficoltà di separare gli effetti sulle comunità dovuti agli stress antropici o dovuti ai processi evolutivi naturali; questa difficoltà è tanto maggior quanto più l'ambiente è naturalmente variabile, come nel caso di estuari e lagune.

Valori di attenzione, poiché al di sotto della soglia di riferimento, sono stati registrati in modo più o meno evidente per alcuni indicatori fenologici (in particolare lunghezza delle foglie e lunghezza della ligula) e per i parametri relativi all'epifitismo. Va però anche precisato che per altri parametri sono stati registrati frequentemente valori superiori ai range attesi, con un significato ecologico di stabilità e/o tendenzialmente positivo.

Una maggiore cautela richiede l'analisi della riduzione osservata nella comunità epifita rispetto alla fase *ante operam*, soprattutto a Malamocco e Chioggia e, solo nei primi anni di monitoraggio, a Lido. Mentre nella bocca di porto di Lido l'attenzione per questo parametro è ormai in gran parte rientrata poiché i valori dei parametri sono nella norma o anche superiori ai range, nelle praterie delle bocche di porto di Malamocco e di Chioggia le differenze inerenti la componente epifita rispetto al 2003 appaiono più evidenti, interessando i parametri relativi sia alle abbondanze (ricoprimento e biomassa), sia alla biodiversità (numero di specie totale e medio per ciuffo).

Per spiegare tali difformità riscontrate in merito all'epifitismo fogliare sono state considerate la naturale variabilità delle dinamiche delle praterie e dei comparti ad esse connessi (epifitismo, catena trofica, disponibilità di nutrienti, ecc.), le attività antropiche (soprattutto a Lido e a Chioggia) e, per quanto attiene i possibili effetti delle opere in realizzazione, anche la torbidità e le variazioni idrodinamiche (velocità della corrente). Approfondimenti sulla dinamiche degli epifiti, che hanno tenuto conto di modelli matematici inerenti le variazioni della torbidità e della velocità delle correnti nelle tre bocche di porto rispetto alla fase *ante operam*, non hanno identificato, per questi parametri, le cause della variazioni osservate. Va precisato che la riduzione degli epifiti può essere vista, almeno in parte, anche come un vantaggio per le praterie, dal momento che favorisce lo svolgimento più efficiente della fotosintesi. Non è da escludere, infine, che la causa della riduzione degli epifiti possa essere legata alla generale riduzione di trofia del sistema lagunare.

Il monitoraggio della distribuzione delle praterie ha evidenziato, dopo circa un decennio, un trend positivo in tutte le bocche di porto. L'espansione delle praterie nelle tre bocche non è stata regolare e simile negli anni, ma contrassegnata da incrementi e regressioni e tempistiche diverse in relazione a diversi fattori locali: abbondanza delle singole specie, stato delle pressioni, livello di avanzamento ed ampiezza delle opere per bocca, molteplici attività antropiche che agiscono in laguna. Oltre a questi fattori in grado di modificare le dinamiche delle praterie devono poi essere associate ed interpretate le naturali evoluzioni che avvengono nel tempo nelle comunità biologiche e che si riflettono sulla presenza o meno e sull'abbondanza di alcune specie.

Nelle aree ritenute più critiche per la vicinanza ai cantieri le fanerogame hanno evidenziato un'elevata resilienza, adattandosi alle mutate condizioni e, quando possibile, espan-

dendosi, aumentando il grado di copertura o colonizzando fondali avegetati. Nel caso in cui, invece, siano state segnalate praterie diradate, anche in modo marcato, per l'allevamento delle vongole o l'esecuzione di opere di scavo, una volta terminato il fattore perturbativo si è assistito alla ricolonizzazione delle aree avegetate.

Come era ragionevole attendersi, le maggiori criticità per le praterie a fanerogame si sono avute nelle aree di sovrapposizione con le opere del MOSE ed i cantieri a seguito dell'occupazione fisica o per la vicinanza dei lavori. Complessivamente per le tre bocche di porto, la perdita di praterie, al momento in cui gran parte delle opere fisse sono state realizzate, è di circa 9,1 ha. Le praterie poste invece internamente alle bocche di porto hanno mostrato un incremento stimabile, al 2014, in circa 46 ha a Lido, 261 ha a Malamocco e di 25 ha a Chioggia, pur con regressioni e progressioni negli anni, spesso riconducibili anche a fattori non inerenti le opere in realizzazione.

Il nuovo assetto idrodinamico nella bocca di porto di Lido, significativamente modificato con la realizzazione dell'isola artificiale a supporto delle due serie di paratoie mobili, ha determinato, da un lato, condizioni favorevoli all'espansione di *Cymodocea nodosa* ed alla ricolonizzazione da parte di *Zostera marina* (mancante dall'area dai rilievi del 1990), dall'altro ha instaurato anche situazioni di criticità con erosione lungo un tratto di margine di prateria, in fregio al Canale di S. Nicolò.

Nelle tre bocche di porto, a fronte degli incrementi di copertura osservati al di fuori delle aree direttamente impattate dalle opere, le praterie perdute in quest'ultime appaiono comunque trascurabili; ad eccezione della forte riduzione dell'epifitismo la cui causa non è stata ancora accertata, inoltre, non è mai stata evidenziata alcuna specifica relazione di causa-effetto con le opere in realizzazione.

Va poi considerato l'effetto sulle variazioni di copertura dovuto ai normali mutamenti stagionali/annuali che possono interferire con l'espansione o la riduzione delle praterie; in particolare, basti pensare all'aumento della piovosità e quindi dell'apporto di nutrienti o a come la temperatura possa avere effetti negativi favorendo l'incremento e il veloce degrado di specie a rapido accrescimento come le Ulvaceae.

In accordo con le conclusioni dei progetti MOVECO 1 e MOVECO 2 (Piano di monitoraggio per la definizione dello Stato Ecologico della Laguna di Venezia, ai sensi della direttiva 2000/60/CE e del D. Lgs. 152/2006) si può affermare che le bocche di porto, come le aree lagunari più interne, mostrino un sensibile miglioramento delle condizioni ecologiche evidenziato proprio dalla ricolonizzazione delle fanerogame in aree dove erano scomparse.

Le informazioni rilevate nel decennio circa la distribuzione delle fanerogame marine e sulle variazioni fenologiche stagionali ed annuali delle singole specie sono di rilevante importanza per gli obiettivi dello Studio permettendo di separare, per quanto possibile, gli effetti dei lavori del MOSE dalle variazioni naturali che avvengono nel tempo nelle comunità bentoniche o da localizzati eventi antropici (es. attività alieutiche, scavi di canali) o meteorologici (es. anomale temperature estive o invernali).

Il confronto tra i dati del monitoraggio relativi alle tre bocche di porto e quelli relativi alla distribuzione delle fanerogame marine e sui trend a livello lagunare sono stati di fondamentale importanza poiché hanno permesso di comprendere le dinamiche complessive in atto ed inserire nel giusto contesto le variazioni osservate alle bocche di porto.

Il quadro delle informazioni, comprensivo anche di quanto prodotto da altre matrici (es. idrodinamica, torbidità, macrozoobenthos), ha permesso di comprendere le dinamiche evolutive ed inserire nel giusto contesto le variazioni osservate nelle praterie alle bocche di porto. Tali informazioni potranno essere la base scientifica e metodologica per la programmazione e lo svolgimento di futuri monitoraggi previsti nel quadro di interventi a livello lagunare.

## Ringraziamenti

Si ringrazia Emiliano Checchin ed Andrea Pierini (SELC soc. coop.) per la collaborazione nel corso delle attività.

Gli autori ringraziano il personale di DICEA-UNIPD per gli approfondimenti relativi alla Modellazione matematica idro-morfodinamica delle praterie a fanerogame marine.

## Bibliografia

Ahmad-Kamil E.I., Ramli R., Jaaman S.A., Bali J., Al-Obaidi J.R. (2013) The Effects of Water Parameters on Monthly Seagrass Percentage Cover in Lawas, East Malaysia. *The Scientific World Journal* Volume 2013, Article ID 892746, 8 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/892746>.

Airoldi L., Cinelli F. (1997) Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 215: 269-288.

Araújo M.B., Guisan A. (2006) Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33, 1667-1688.

Arnold T., Mealey C., Leahey H., Miller A.W., Hall-Spencer J-M., Milazzo M., Maers K. (2012) Ocean Acidification and the Loss of Phenolic Substances in Marine Plants. *PLoS ONE*, 7, 4, 140–141, doi:10.1371/journal.pone.0035107.

ARPAV (2012) Piano di monitoraggio dei corpi idrici della laguna di Venezia finalizzato alla definizione dello stato ecologico, ai sensi della direttiva 2000/60/CE. Relazione Finale. pp. 118.

Balata D., Piazzini L., Pica D., Cinelli F. (2004) Influenza della sedimentazione su un popolamento coralligeno Mediterraneo. XIV Congresso della Società Italiana di Ecologia (4-6 Ottobre), Siena.

Balestri E., Benedetti-Cecchi L., Lardicci C. (2004) Variabilità in patterns of growth and morphology of *Posidonia oceanica* exposed to urban and industrial wastes: contrasts with two reference locations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 308: 1–21.

Ballesteros E. (1987) Structure and dynamics of the leaf phytoepiphytes of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Tossa de Mar (Catalonia, Western Mediterranean). *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 54, 13-30.

Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D., Greve T.M. (2004) European seagrasses: an introduction to monitoring and management. Publisher: The M&MS project. September: 2004. <http://www.seagrasses.org>

Breiman L. (2001) Statistical Modeling: The Two Cultures. *Statistical Science* 16: 199-215.

Buia M., Marzocchi M. (1995) Dinamica dei sistemi a *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* e *Zostera noltii* nel Mediterraneo. *Giornale Botanico Italiano*, 129: 319-226.

Caniglia G., Borella S., Curiel D., Nascimbeni P., Paloschi A. F., Rismondo A., Scarton F., Tagliapietra D., Zanella L. (1992) Distribuzione delle fanerogame marine (*Zostera marina* L., *Zostera noltii* Hornem., *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch.) in laguna di Venezia. *Lavori-Società Veneziana di Scienze Naturali*, 17: 137-150.

Caniglia G., Borella S., Curiel D., Nascimbeni P., Paloschi A. F., Rismondo A., Scarton F., Tagliapietra D., Zanella L. (1990) Cartografia della distribuzione delle fanerogame

- marine nella laguna di Venezia. *Giornale Botanico Italiano*, 124: 212.
- Coffaro, G. and M. Bocci (1997) Resources competition between *Ulva rigida* and *Zostera marina*: a quantitative approach applied to the Lagoon of Venice. *Ecological Modelling* 102: 81-95.
- Curiel D., Bellato A., Rismondo A., Marzocchi M. (1996) Sexual reproduction of *Zostera noltii* Hornemann in the lagoon of Venice (Italy, North Adriatic). *Aquatic Botany*, 22: 313-318.
- Curiel D., Rismondo A., Bellemo G. (1999) Fioritura di *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in laguna di Venezia. *Lav. Soc. Ven. Sc. Nat.* 24: 133-134.
- Curiel D., Rismondo A., Scarton F., Marzocchi M. (1997) Flowering of *Zostera marina* in the lagoon of Venice (North Adriatic, Italy). *Bot. Mar.*, 40: 101-105.
- Curiel D., Checchin E., Miotti C., Pierini A., Rismondo A. (2014) Praterie a fanerogame marine della Laguna di Venezia-Aggiornamento cartografico al 2010 e confronto storico. *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat.*, 39: 55-66.
- De Jonge V.N, De Jong D.J. (1992) Role of tide, light and fisheries in the decline of *Zostera marina* L. in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Institute for Sea Res. Publ. Ser.*, 20: 161-176.
- Dennison, W.C. (1987) Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquatic Botany*, 27: 15-26.
- Donnarumma L., Lombardi C., Cocito S., Gambi M.C. (2014) Settlement pattern of *Posidonia oceanica* epibionts along a gradient of ocean acidification: an approach with mimics. *Mediterranean Marine Science*, Doi: 10.12681/mms.677
- Drew E.A. (1978) Factors affecting photosynthesis and its seasonal variation in the seagrasses *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers, and *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 31: 173-194.
- Duarte C.M. (1991) Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, 40: 363-377.
- Duffy J.E., Richardson J.P., Canuel E.A. (2003) Grazer diversity effects on ecosystem functioning in seagrass beds. *Ecol. Lett.*, 6: 637-645.
- Elith J., Graham C.H., 2009. Do they? How do they? Why do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography* 32: 66-77.
- Fabbri F., Espino F., Herrera R., Moro L., Haroun R., Riera R., González-Henriquez N., Bergasa O., Monterroso O., Ruiz de la Rosa M., Tuya F. (2015) Trends of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Magnoliophyta) in the Canary Islands: population changes in the last two decades. *Sci. Mar.*, 79(1): 7-13. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/>
- Facca C., Pellegrino N., Ceoldo S., Tibaldo M., Sfriso A. (2011) Trophic Conditions in the Waters of the Venice Lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy). *The Open Oceanography Journal*. Vol. 5: 1-13.
- Fonseca M.S., Kenworthy W.J. (1987) Effects of current on photosynthesis and distribution of seagrasses. *Aquatic Botany*, 27: 59-78.
- Franklin J. (2009) *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press.
- Gambi M.C., Dappiano M. (2003) Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. *SIBM.*, vol. 10 (suppl.), pp 638.
- García-Marín P., Cabaço S., Hernández I, Vergara J.J., Silva J., Santos R. (2013) Multi-metric index based on the seagrass *Zostera noltii* (ZoNI) for ecological quality assessment of coastal and estuarine systems in SW Iberian Peninsula. *Marine Pollution Bul-*

letin, 68: 46–54.

Garzon M.B., Blazek R., Neteler M., Dios R.S., Ollero H.S., Furlanello C. (2006) Predicting habitat suitability with machine learning models: The potential area of *Pinus sylvestris* L. in the Iberian Peninsula. *Ecological modelling*, 197: 383-393.

Granhag L.M., Larsson A.I., Jonsson P.R. (2007) Algal spore settlement and germling removal as a function of flow speed. *Marine Ecology Progress Series*, 344: 63-69.

Guidetti P., Lorenti M., Buia M.C., Mazzella L. (2002) Temporal dynamics and biomass partitioning in three Adriatic seagrass species: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*. *Marine Ecology*, 23: 51-67.

Guisan A., Thuiller W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8: 993-1009.

Guisan A., Zimmermann N. E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology *Ecological modelling*, 135: 147-186.

Hiemstra P.H., Pebesma E.J., Twenhofel C.J.W., Heuvelink G.B.M. (2009) Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch Radioactivity Monitoring Network. *Computers & Geosciences* 35: 1711–1721

Ibarra-Obando S.E., Kenneth L. H.Jr., Spitzer P.M. (2004) Effects of simultaneous changes in light, nutrients, and herbivory levels, on the structure and function of a subtropical turtlegrass meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 301: 193–224.

Irving A.D., Connell S.D. (2002a) Interactive effects of sedimentation and microtopography on the abundance of subtidal turf-forming algae. *Phycologia*, 41: 517-522.

Irving A.D., Connell S.D. (2002b) Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitat: algal versus invertebrate dominated assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 245: 83-91.

Koch E.W. (2001) Beyond light: physical, geological and geochemical parameters as possible submerged aquatic vegetation habitat requirements. *Estuaries*, 24: 1-17.

Kroeker K.J., Gambi M.C., Micheli F. (2013) Community dynamics and ecosystem simplification in a high-CO<sub>2</sub> ocean. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1216464110](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1216464110).

Larkum A. W. D., Orth R. J., Duarte C. M. (2006) *Seagrasses: biology, ecology, and conservation*. Springer Ed. pp 691.

Lavery P.S., Reid T., Hyndes G.A., van Elven B.R. (2007) Effect of leaf movement on epiphytic algal biomass of seagrass leaves. *Marine Ecology Progress Series*, 338: 97-106.

Littler M. M., Littler D.S. (1980) The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *The American Naturalist*, 116: 25-44.

Luchetta A., Cantoni C., Catalano G. (2010) New observations of CO<sub>2</sub>-induced acidification in the northern Adriatic Sea over the last quarter century. *Chemistry and Ecology*, 26: 1-17.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2002) Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare (MELa2)-2° stralcio triennale. Linea A: "Rilievo delle fanerogame marine in laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe". Rapporto sullo stato delle conoscenze. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2003) Studio B.6.78/I-Attivi-

tà di monitoraggio alle bocche di porto-controllo delle comunità biologiche lagunari e marine. Mappatura di dettaglio delle fanerogame marine nell'area delle bocche di porto. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2004) Attività di monitoraggio ambientale della laguna di Venezia, Esecutivo del 2° stralcio triennale (2002-2005) MELa 2, Attività A Rilievo delle fanerogame marine in Laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe. Resocontazione finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2005) Studio B.12.3/III. La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. Erodibilità del fondale e fattori di disturbo: Rilievi dell'erodibilità del fondale. Rapporto intermedio. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2005a) Attività di monitoraggio ambientale della laguna di Venezia. Esecutivo del 2° stralcio triennale (MELa2). Rilievo delle fanerogame marine in laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe. Attività A-Resocontazione finale della distribuzione della vegetazione acquatica sommersa (fanerogame marine e macroalghe) in laguna di Venezia (2002-2003-2004). Rapporto finale. I anno. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2005b) Attività di monitoraggio ambientale della laguna di Venezia. Esecutivo del 2° stralcio triennale (MELa2). Rilievo delle fanerogame marine in laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe. Rapporto finale delle attività di misura periodica delle caratteristiche fenologiche e dei parametri di crescita delle fanerogame marine. Rapporto finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-Thetis (2005) Programma generale delle attività di approfondimento del quadro conoscitivo di riferimento per gli interventi ambientali. 2° stralcio triennale (2003-2006) "Progetto ICSEL". Attività A. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2010) Monitoraggio di mantenimento delle conoscenze sullo stato delle acque e delle macrofite. MELA 5 (2009-2011). Linea B-Macrofite. Rilievo della distribuzione e della copertura della vegetazione acquatica sommersa (mappatura). Rapporto Tecnico 1 (Rilievo del 2009). Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-SELC (2011) Monitoraggio di mantenimento delle conoscenze sullo stato delle acque e delle macrofite. MELA 5 (2009-2011). Linea B-Macrofite. Rilievo della distribuzione e della copertura della vegetazione acquatica sommersa (mappatura). Rapporto Tecnico 2 (Rilievo del 2010). Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Ve-

- neto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2006-13) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2012a-13a) Studi B.6.72 B/7-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame-Modellazione matematica idro-morfodinamica delle praterie a fanerogame marine. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2012b-13b) Studi B.6.72 B/7-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame-Attività di analisi integrata dei risultati modellizzazione, campionamento fanerogame marine e torbidità. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Marbà N., Duarte C.M. (1994) Growth response of the seagrass *Cymodocea nodosa* to experimental burial and erosion. *Marine Ecology Progress Series*, 107: 307–311.
- Martin S., Cohu S., Vignot C., Zimmerman G., Gattuso J.-P. (2013) One-year experiment on the physiological response of the Mediterranean crustose coralline alga, *Lithophyllum cabiochae*, to elevated pCO<sub>2</sub> and temperature. *Ecology and Evolution*, 3(3): 676–693.
- Martin S., Gattuso J.-P. (2009) Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature. *Global Change Biology*, 15: 2089-2100.
- Martin S., Rodolfo-Metalpa R., Ransome E., Rowley S., Buia M.C., Gattuso J.P., Hall-Spencer J. (2008) Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Biology Letters*, 23, 4(6): 689-92.
- Martínez-Crego B., Prado P., Alcoverro T., Romero J. (2010) Composition of epiphytic leaf community of *Posidonia oceanica* as a tool for environmental biomonitoring. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88: 199-208.
- Mazzella L., Scipione M.B., Buia M.C. (1989) Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a *Posidonia oceanica* meadow. *Marine Ecology*, 10: 107-129.
- Merow, C., Smith, M.J., Edwards, T.C., Guisan, A., McMahon, S.M., Normand, S., Thuiller, W., Wüest, R.O., Zimmermann, N.E., Elith, J. (2014) Back to the basics of species distribution modeling: what do we gain from complex versus simple models? *Ecography*: 1–15. doi:10.1111/ecog.00845
- Murphey P.L., Fonseca M.S. (1995) Role of high and low energy seagrass beds as nursery areas for *Penaeus duorarum* in North Carolina. *Marine Ecology Progress Series*, 121: 91-98.
- Noisette F., Egilsdottir H., Davoult D., Martin S. (2013) Physiological responses of three temperate coralline algae from contrasting habitats to near-future ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448: 179-187.
- Oliva S., Mascaró O., Llagostera I., Pérez M., Romero J. (2012) Selection of metrics based on the seagrass *Cymodocea nodosa* and development of a biotic index (CYMOX) for assessing ecological status of coastal and transitional waters. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 114: 7-17.

- Orfanidis S., Panayotidis P., Uglund K.I. (2011) Ecological Evaluation Index continuous formula (EEI-c) application: a step for-ward for functional groups, the formula and reference condition values. *Mediterranean Marine Science*, 12(1): 199-231.
- Philippart C.J. (1995) Effects of shading on growth, biomass and population maintenance of the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem. In the Dutch Wadden Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 188: 199-213.
- Plus M., Chapelle A., Menesguen A., Deslous-Paoli J.M., Auby I. (2003) Modelling seasonal dynamics of biomasses and nitrogen contents in a seagrass meadow (*Zostera noltii* Hornem.): application to the Thau lagoon (French Mediterranean coast). *Ecological Modelling*, 161: 211-236.
- Porzio L., Buia M.C., Hall-Spencer J. M. (2011) Effects of ocean acidification on macroalgal communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1-2): 278-287.
- Porzio L., Garrard S., Buia M.C. (2013) The effect of ocean acidification on early algal colonization stages at natural CO<sub>2</sub> vents. *Marine Biology*. Published online 14 May 2013-DOI 10.1007/s00227-013-2251-3.
- Prasad A, Iverson L, Liaw A. (2006) Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction. *Ecosystems*, 9: 181-199.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-15) Studi B.6.72 B/9-B/10-Attività di analisi integrata dei risultati modellizzazione, campionamento fanerogame marine e torbidità. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto- Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (2014a) Studio B.6.72 B/9-Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame-Modellazione matematica idro-morfodinamica delle praterie a fanerogame marine. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto- Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (2014b) Studio B.6.72 B/9-Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame-Attività di analisi integrata dei risultati modellizzazione, campionamento fanerogame marine e torbidità. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Qiao, H., Soberón, J., Peterson, T. (2015) No Silver Bullets in Correlative Ecological Niche Modeling: Insights from Testing Among Many Potential Algorithms for Niche Estimation. *Methods Ecol. Evol.* n/a–n/a. doi:10.1111/2041-210X.12397
- R core team (2015) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Ragazzola F, Foster L.C., Form A., Anderson P.S.L., Hansteen T.H., Fietzke J. (2012) Ocean acidification weakens the structural integrity of coralline algae. *Global Change Biology*, 18: 2804-2812.
- Rismondo A., Curiel D., Marzocchi M., Scattolin M. (1997) Seasonal pattern of *Cyrtodoclea nodosa* biomass and production in the lagoon of Venice. *Aquatic Botany*, 58: 55-64.
- Rismondo A., Curiel D., Scarton F., Mion D., Caniglia, G. (2003) A New Seagrass Map

- for the Venice Lagoon. In: Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 03, E. Özhan (Editor), 7-11 October 2003, Ravenna, Italy. Vol 2: 843-852.
- Romero J. (1988) Biomass seasonal variation of leaf epiphytes of *Posidonia oceanica* along a depth gradient in Medes Islands. *Oecologia Aquatica*, 9: 19-25.
- Scarton F., Curiel D., Rismondo A. (1995) Aspetti della dinamica temporale di praterie a fanerogame marine in Laguna di Venezia. *Lavor. Soc. Ven. St. Nat.*, Vol 20: 95-102.
- Schanz A., Polte P., Asmus H. (2002) Cascading effects of hydrodynamics on an epiphyte-grazer system in intertidal seagrass beds of the Wadden sea. *Marine Biology*, 141: 287-297.
- Semesi I.S., Kangwe J., Björk M. (2009) Alterations in seawater pH and CO<sub>2</sub> affect calcification and photosynthesis in the tropical coralline alga, *Hydrolithon* sp. (Rhodophyta). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84: 337-341.
- Sfriso A, Ghetti P.F. (1998) Seasonal variation in biomass, morphometric parameters and production of seagrasses in the lagoon of Venice. *Aquatic Botany*, 61: 207-223.
- Sfriso A, Marcomini A. (1997) Macrophyte production in a shallow coastal lagoon. Part I: Coupling with chemico-physical parameters and nutrient concentrations in waters. *Marine.Environmental.Research*, 44: 351-375.
- Sfriso A, Marcomini A. (1998) Macrophyte production in a shallow coastal lagoon. Part II: Coupling with sediment, SPM and tissue carbon, nitrogen and phosphorus concentrations. *Marine.Environmental.Research*, 47: 285-309.
- Sfriso A., Facca C. (2007) Distribution and production of macrophytes and phytoplankton in the lagoon of Venice: comparison of actual and past situation. *Hydrobiologia*, 577: 71-85.
- Sfriso F., Curiel D., Rismondo A. (2009) The Lagoon of Venice. In: Cecere E., Petrocelli A., Izzo G., Sfriso A. (Eds.), *Flora and vegetation of the italian transitional water systems*. Spinea, Ed. CORILA, Multigraf.: pp 17-80.
- Steneck R.S. (1983) Escalating herbivory and resulting adaptive trends in calcareous algal crusts. *Paleobiology*, 9: 44-61.
- Steneck R.S., Watling L. (1982) Feeding capabilities and limitations of herbivorous molluscs: a functional group approach. *Mar. Biol.* 68: 299-319.
- Tagliapietra D., Cornello M., Pessa G., Zitelli A. (1999) Variazioni nella distribuzione delle praterie a fanerogame marine presso la bocca del Porto di Lido (laguna di Venezia). *Biologia Marina Mediterranea*, 6: 448-451.
- Terrados J., J.D. Ross (1992) Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in a Mediterranean coastal lagoon: the Mar Menor (SE Spain). *Aquatic Botany*, 43: 63-74.
- Thayer G.W., Kenworthy W.J., Fonseca M.S. (1984) The ecology of eelgrass meadows of the Atlantic coast: a community profile. U.S. Fish and Wildlife Services, FWS/OBS-84/02. Washington, D.C.
- Vincenzi S., Zucchetta M., Franzoi P., Pellizzato M., Pranovi F., De Leo G., Torricelli P. (2011) Application of a Random Forest algorithm to predict spatial distribution of the potential yield of *Ruditapes philippinarum* in the Venice lagoon, Italy. *Ecol. Modell.* 222, 1471–1478. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.02.007
- Whalen M.A., Emmett Duffy J., Grace J.B. (2013) Temporal shifts in top-down vs. bottom-up control of epiphytic algae in a seagrass ecosystem. *Ecology*, 94: 510–520

## Summary

Seagrasses meadows are valuable habitats that provide important ecological and morphological services and have been chosen as indicator to monitor the possible environmental impacts of the construction works of mobile barriers at the lagoon inlets (MOSE), highlighting any significant deviation from reference conditions detected during the pre-construction phase (2003).

Each year, seasonal field surveys were carried out at 18 stations, located on seagrasses meadows near the inlets of Lido (6 stations), Malamocco (6 stations) and Chioggia (6 stations) and a mapping of marine seagrasses was produced. The analysis of phenological parameters and structural parameters of the epiphytic organisms and the distribution of the species of seagrasses (*C. nodosa*, *Z. marina* and *N. noltii*) also took account of the fact that the monitored areas were subjected to a series of human impacts and natural evolution processes.

The comparison of the reference maps showed an increase between the survey of 2003 and the following ones (overall + 46 ha at Lido inlet, +261 ha at Malamocco inlet and +25 ha at Chioggia inlet) although the increase was not regular and similar over the years, but marked by increases and regressions and different timing in relation to both the natural evolution process of biological communities and various local factors (species abundance, human activities, etc.). In the areas close to construction sites, seagrasses meadows showed a high resilience, adapting to new conditions and, when possible, expanding or colonizing bare seabed of the lagoon. The most critical changes to seagrasses coverage occurred in the areas of overlap with the construction sites, mostly because of their proximity or physical occupation. Overall, for the three inlets, as a large part of works was realized, the loss of seagrasses reached 9.1 ha.

Compared to 2003, seagrasses meadows showed an overall stability. Values below the reference threshold were found for some phenological indicators (in particular, the length of leaves and ligule) and for the structural parameters of the epiphytic species (in particular, the number of species), even though no specific cause-effect relationship with the works at the lagoon inlets was found. In relation to the presence of some values below the reference threshold, it should be emphasized that the pre-construction phase was characterized by abnormal climatic conditions and by particular ecological conditions in all of the lagoon (2002 was one of the rainiest years and 2003 was one of warmest years). For these reasons, as also observed during the monitoring of aquatic benthic communities, the pre-construction phase is not a completely reliable baseline dataset.

The reduction of the number of epiphytic species was observed mainly in Malamocco and Chioggia and, only during the first years of monitoring, in Lido. The natural variability of seagrasses dynamics, together with human activities and possible effects of the works (e.g. turbidity and changes in hydrodynamic) were all considered to explain these differences. The causes of these variations were not identified, even taking into account both mathematical models (turbidity and current speed variations) and further investigations about epiphyte growth dynamics.





# La comunità bentonica: breve storia alle bocche di porto

## *Benthic community at the Venice lagoon inlets: a brief history*

Davide Tagliapietra, Marco Anelli Monti,  
Emiliano Checchin, Daniele Curiel, Chiara Miotti,  
Fabio Pranovi, Marco Sigovini

### Introduzione

L'insieme degli animali acquatici che hanno un rapporto diretto con il fondale costituisce la comunità zoobentonica e gli organismi di dimensioni superiori al millimetro sono detti macro-zoobentos (MZB). Questa comunità è composta dai principali Phyla di invertebrati marini, dai Celenterati agli Artropodi, passando per Molluschi ed Anellidi. Essendo, di norma, dotati di poca mobilità, questi organismi non sono in grado di mettere l'habitat in relazione a loro stessi come, per esempio, cercare una nuova zona quando le condizioni ambientali diventano troppo sfavorevoli, ma devono mettere loro stessi in relazione all'habitat, ossia devono essere in grado di sopportare ampi range di variazione delle condizioni ambientali circostanti. Per questa ragione, gli organismi bentonici sono considerati ottimi indicatori dello stato dei fondali in quanto rispondono ai cambiamenti dell'habitat con variazioni nella struttura della comunità quali la composizione in specie, l'abbondanza degli individui e le dimensioni. Poiché le risposte della comunità macrozoobentonica ai cambiamenti ambientali avvengono in tempi più o meno lunghi, il MZB riflette non soltanto la situazione al momento del campionamento ma, soprattutto, quella del periodo precedente.

Un'altra caratteristica importante di questa comunità è il ruolo chiave giocato in ambienti a bassa profondità, quali le lagune costiere. In tali ecosistemi, infatti, dato lo scarso sviluppo della colonna d'acqua, tutti i principali processi ecologici sono guidati e determinati proprio da quanto avviene in prossimità del fondo, ossia nel cosiddetto comparto bentonico. Tutto ciò contribuisce a creare un forte accoppiamento bento-pelagico, con i fenomeni sia di produzione primaria che di riciclo/utilizzo della sostanza organica che avvengono proprio a carico della componente bentonica (Kennish e Paerl, 2010).

In tale contesto, la configurazione del fondale stesso assume un ruolo cruciale nel determinare la tipologia di organismi, quindi la struttura della comunità e dunque il funzionamento dell'intero comparto, con profonde ripercussioni per l'intero ecosistema.

Per quanto attiene la laguna di Venezia, stiamo parlando di un sistema estremamente complesso, caratterizzato da una elevata varietà di habitat, declinati in una ampia gamma di condizioni ambientali assai differenziate (eterogeneità spaziale) e dinamicità, legata ad esempio all'alternanza della marea (eterogeneità temporale). In tale contesto si sono inserite le opere per la predisposizione del MoSE, che hanno modificato, nel tempo, la struttura ed il funzionamento delle bocche di porto della laguna stessa. Di estremo interesse, dunque, verificare e monitorare i possibili cambiamenti indotti da tali attività sui diversi comparti, tra cui appunto quello bentonico.

Resta da sottolineare che, proprio perché poco mobili e adattate all'elevata dinamicità

ambientale, le comunità bentoniche possiedono un'elevata resilienza, che conferisce loro la capacità di mantenere le funzionalità ecologiche anche a fronte di notevoli cambiamenti strutturali.

Scopo del presente articolo è quello di descrivere le variazioni di struttura e/o funzionamento delle comunità MZB delle bocche di porto nel corso degli ultimi otto anni (2008-2014), indagando se esse siano in qualche modo riconducibili alle attività di cantiere presenti nelle stesse.

## Metodo di indagine

### Area di studio e scelta delle stazioni

Il monitoraggio del MZB è stato condotto nelle aree di basso fondale prospicienti le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, interessate dai lavori per la costruzione delle dighe mobili del MOSE.

Lo studio è stato condotto analizzando i due habitat principali: la prateria di fanerogame marine, nelle diverse declinazioni dell'habitat dovute alla presenza di specie diverse, e il substrato mobile avegetato, costituito da diversi coacervi di sabbie marine e limi estuari.

In queste aree, sono state individuate 16 stazioni, di cui 8 localizzate alla bocca di Lido, 4 a Malamocco e 4 a Chioggia. Il numero doppio delle stazioni al Lido è giustificato dal fatto che essa convoglia le acque di due sottobacini lagunari, quello del Lido e quello di Treporti. Nove di queste stazioni corrispondono a quelle campionate nell'ambito della fase *ante operam* (2003/04), durante precedenti attività di monitoraggio. Tutti i siti di campionamento sono rappresentativi di aree di velma, che emergono durante le basse maree, o di basso fondale, cioè aree sempre sommerse ma comunque con profondità molto ridotta. L'attività di monitoraggio si è articolata in due campagne annuali condotte in estate (2008-2014) e in autunno (2008-2010).

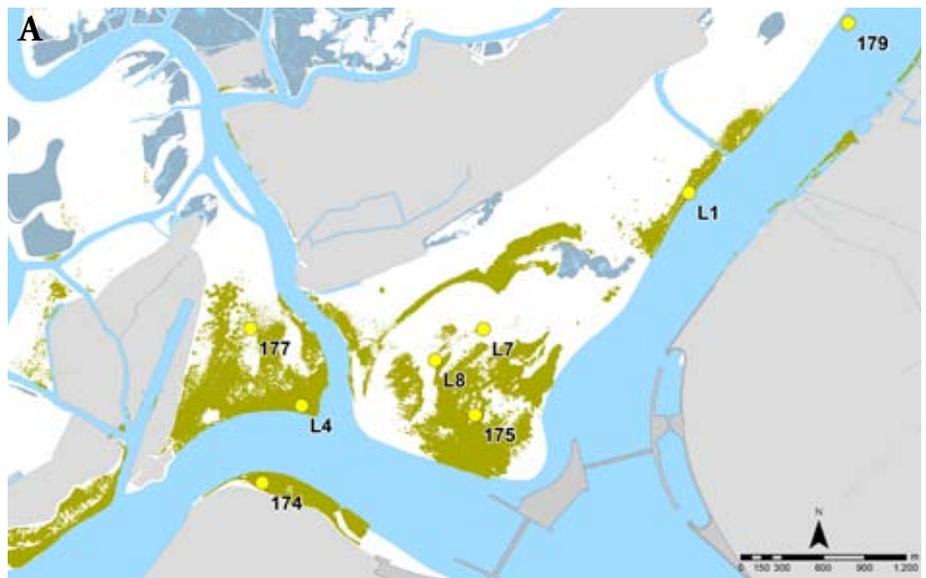
La localizzazione delle stazioni di campionamento alle diverse bocche di porto è riportata nella figura 1; nelle mappe è riportata la distribuzione delle fanerogame marine aggiornata al rilievo dell'ultimo anno di studio (2014, Studio B.6.72 B/10) (PROVV. OO.PP.-CORILA, 2015).

### Modalità di raccolta dei campioni e analisi di laboratorio

I campioni sono stati raccolti con l'ausilio di una sorbona idraulica (figura 2), in grado di penetrare il sedimento verticalmente fino a circa 30 cm, per una superficie di campionamento di 500 cm<sup>2</sup>. In ogni stazione sono state effettuate 5 repliche, per un totale di 2500 cm<sup>2</sup>. All'estremità esalante della sorbona è stato posizionato un sacchetto di rete con maglia inferiore a 1 mm nel quale è stato raccolto il materiale aspirato. Ciascun campione è stato ulteriormente sottoposto a setacciatura su maglia di 1 mm. I campioni, infine, sono stati conservati in contenitori refrigerati, fino alla successiva fase di laboratorio.

Il materiale biologico raccolto è stato quindi sottoposto a identificazione tassonomica, conta di tutti gli individui presenti e successiva determinazione della biomassa per specie, espressa come peso senza ceneri, così da poter comparare diverse tipologie di organismi (ad esempio, con e senza conchiglia).

Per la valutazione delle modificazioni della comunità macrozoobentonica occorse tra il 2008 e il 2014 sono stati utilizzati, per omogeneità, solo i dati relativi alle campagne estive.



1. Ubicazione delle stazioni di campionamento: bocca di porto di Lido (A) (le stazioni 179 e L7 non sono state monitorate nel 2014); bocca di porto di Malamocco (B); bocca di porto di Chioggia (C). Le mappe riportano la distribuzione delle fanerogame marine (2014) (PROVV.OO.PP.-CORILA, 2015).



2. Raccolta dei campioni mediante sorbona idraulica.

## **Analisi dati**

La struttura ed il funzionamento delle comunità sono stati analizzati mediante l'applicazione di alcuni indici univariati, che sintetizzano l'informazione in un singolo numero.

### *Indici di diversità ed equitabilità*

L'indice di Shannon-Wiener ( $H'$ ) è un "classico" indice di diversità che considera sia il numero di taxa presenti sia il modo in cui gli individui sono distribuiti tra essi; non è un indice assoluto ma dipende dalla dimensione del campione che influenza il numero di specie.

L'indice di equitabilità o indice di Pielou (evenness,  $J'$ ), valuta invece il grado di uniformità nella distribuzione degli individui tra i vari taxa. L'equitabilità tende a 1 quanto più gli organismi sono distribuiti uniformemente tra le specie; tende a 0 quanto più poche specie dominano numericamente sulle altre.

### *Indici di saprobietà*

Uno degli aspetti chiave delle comunità MZB è quello di riuscire ad adattarsi alle condizioni più o meno spinte di presenza di sostanza organica nel fondale e nella colonna d'acqua circostante. Dal bilancio della sostanza organica, e pertanto dalla saprobietà del sistema dipendono tutta una serie di caratteristiche dell'ambiente, che vanno dalla generazione di condizioni ipossiche, alla produzione di metaboliti tossici (Tagliapietra *et al.*, 2012). Questo stato del sistema si riflette direttamente sulla struttura della comunità stessa, ossia sulla composizione in specie. Si può, quindi, analizzare la struttura in termini di sensibilità delle specie alle condizioni più o meno spinte di arricchimento organico.

Uno degli indici più usati per valutare lo stato della comunità macrobentonica è il Marine Biotic Index (AMBI) (Borja *et al.*, 2000), che si basa sul calcolo di un coefficiente biotico (Biotic Coefficient, BC) determinato in base alla proporzione di specie sensibili al disturbo presenti nel sito di studio. Il valore di AMBI viene espresso mediante una scala continua di valori che varia da 0, situazione di assenza di inquinamento, a 6, in cui l'ambiente è fortemente inquinato; il valore 7 indica un ambiente privo di organismi macrobentonici. AMBI deriva direttamente da altri modelli (Glémarec & Hily, 1981; Grall & Glémarec, 1997) che suddividono le comunità bentoniche in gruppi di

specie in base alla loro sensibilità nei confronti dell'arricchimento in sostanza organica e del consumo di ossigeno. Esso, quindi, può essere considerato come un indicatore soprattutto di saprobietà, ossia degli effetti legati al metabolismo della sostanza organica, più che di un generico "disturbo" (Sigovini *et al.*, 2013; Tagliapietra *et al.*, 2012).

Un altro indice comunemente usato, soprattutto nell'ambito della Water Framework Directive (2000/60/ EC, WFD; European Community, 2000), è M-AMBI ("Multivariate AMBI") (Bald *et al.*, 2005; Muxika *et al.*, 2007) che rappresenta un ulteriore sviluppo dell'applicazione AMBI. Tale indice, tuttavia, come evidenziato da Sigovini *et al.* (2013), risulta inutilmente ridondante. Pertanto, si è deciso di utilizzare una combinazione grafica fra H' e AMBI. Proiettando i punti sulla diagonale si ottiene il valore dell'indice H-AMBI che approssima molto M-AMBI, ma semplifica la struttura e ne facilita la comprensione.

#### *Analisi multivariata*

L'analisi multivariata (o analisi multidimensionale) dei dati comprende un insieme di metodologie che permettono di sintetizzare un intero data-set, limitando la perdita d'informazione e riuscendo ad evidenziare le strutture intrinseche e le relazioni significative. La similarità strutturale tra i campioni può quindi essere valutata tramite tecniche di analisi multivariata che, invece di riassumere il risultato in un unico valore, utilizzano uno spazio n-dimensionale, poi solitamente ridotto a 2 o 3 dimensioni per ragioni di visualizzazione. In questo modo è possibile tenere conto non solo della struttura in termini quantitativi ma anche qualitativi, ossia di quali specie compongano la comunità stessa e di come queste eventualmente varino nel tempo. Le variazioni temporali nella struttura della comunità sono state quindi analizzate adottando come tecnica di ordinamento il MultiDimensional Scaling (MDS) su una matrice di similarità di Bray-Curtis.

#### *Funzionamento*

Ogni individuo, in relazione alla specie di appartenenza, svolge un preciso ruolo ecologico, per cui la composizione in specie (ossia la struttura) e le sue variazioni spazio-temporali si ripercuotono sulla funzionalità della comunità stessa, ovvero sui processi che governano i rapporti tra comunità e habitat.

Nel presente lavoro vengono analizzati due diversi processi ecologici fondamentali, da un lato la struttura trofica che delinea le modalità di trasferimento dell'energia e dall'altro la capacità di modificare l'ambiente circostante, che nel caso del MZB si esplica principalmente nella capacità di modificare il sedimento (bioturbazione).

Per quanto riguarda la struttura trofica, ciascuna specie, sulla base delle caratteristiche ecologiche, è stata attribuita ad uno dei 5 gruppi trofici individuati: filtratori, detritivori, erbivori, carnivori ed onnivori. Successivamente, utilizzando il numero di individui per specie per replica, si sono calcolate le abbondanze di ciascun gruppo trofico.

La capacità della comunità di "rimaneggiare" l'habitat circostante rappresenta una misura della sua dinamicità, resilienza e adattabilità alle forzanti esterne. L'indicatore Biogenic Mixing Depth (BMD) (Solan *et al.*, 2004 a, b) offre indicazioni utili per comparare le diverse situazioni nella spazio e nel tempo, per quanto attiene alla comunità MZB. Si tratta, infatti, di una stima, basata sulla mobilità e sulle caratteristiche biologiche delle diverse specie relative all'interazione con il sedimento, della capacità di bioturbazione della comunità nel suo complesso, valutata in centimetri di profondità entro cui tale azione si verifica.

## Risultati

Nel periodo di indagine sono stati identificati oltre 250.000 individui suddivisi in 327 taxa appartenenti a 14 Phyla (tabella 1, in calce all'articolo). In generale, Artropodi, Molluschi e Anellidi sono risultati i Phyla maggiormente rappresentati, sia in termini di numero di specie, che di numero di individui.

La composizione specifica della comunità, e soprattutto la presenza delle specie dominanti, risulta stabile nel tempo ma evidenzia differenze tra le bocche. 31 specie sono risultate tra le più abbondanti contribuendo all'abbondanza totale per una percentuale compresa tra 52 ed 88%. In termini di biomassa, invece, le specie più rappresentate sono risultate 27, contribuendo per il 62-92% alla biomassa totale (tabella 1).

La variabile ambientale che ha maggiormente determinato differenze tra le comunità è stata la tipologia di habitat, ovvero la presenza di fanerogame o di un sedimento avvegetato.

Per semplificare la lettura, i risultati verranno descritti per bocca di porto e per habitat, seguendo l'evoluzione nel tempo degli indicatori applicati. Le informazioni sulle singole bocche di porto sono state ottenute trattando statisticamente i dati relativi alle distinte stazioni. I risultati verranno presentati come valore medio per anno, per bocca di porto e per habitat, accompagnato dall'errore standard come misura di variabilità.

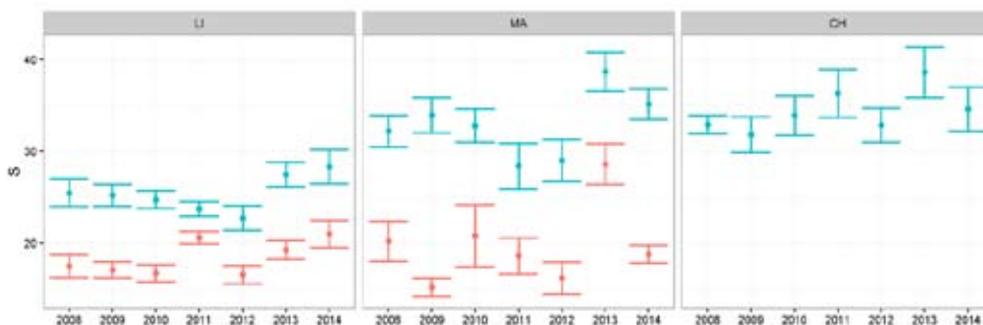
## Struttura

La descrizione della struttura di una comunità biologica passa attraverso l'analisi della ricchezza specifica (numero di specie che compongono la comunità) e della diversità (distribuzione degli individui tra le diverse specie), dell'abbondanza (numero di individui) e della biomassa (quantità di sostanza organica associata a ciascun individuo e dipendente dalle sue dimensioni). Dalla combinazione di alcuni di questi parametri si ricavano gli indici che vengono utilizzati per confrontare nello spazio e/o nel tempo le variazioni della struttura della comunità stesse.

La similarità strutturale tra le comunità può essere valutata anche tramite tecniche di analisi multivariata che tengono conto della presenza delle specie non soltanto in termini quantitativi ma anche qualitativi, nello specifico quali specie compongono la comunità stessa e di come queste varino nel tempo.

### *Ricchezza specifica S*

In tutte le bocche, la ricchezza più elevata corrisponde all'habitat a fanerogame; al Lido l'habitat a fanerogame evidenzia un numero di taxa inferiore rispetto alle altre bocche. Non si osservano andamenti particolari, anche se, negli ultimi anni, si rileva una tendenza all'aumento, come a Malamocco nel 2013 (figura 3).



3. Ricchezza specifica "S" (numero di specie che compongono la comunità). I punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avvegetato; LI = bocca di Lido, MA = bocca di Malamocco e CH = bocca di Chioggia.

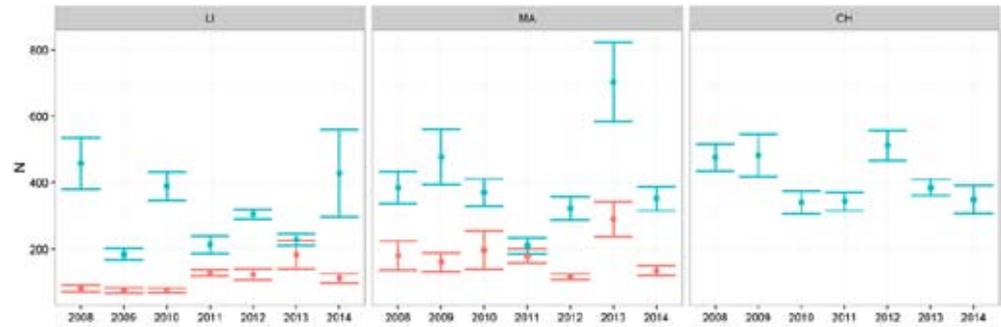
### Abbondanza totale N

Come evidenziato per la ricchezza, anche le abbondanze più elevate corrispondono all'habitat a fanerogame, dove si osservano massimi (2013 a Malamocco e 2014 a Lido) e minimi (2009 a Lido) ma senza particolari trend. A Chioggia si può notare una distinzione tra due periodi 2008-2011 e 2012-2014, entrambi caratterizzati da una tendenza alla diminuzione (figura 4).

#### 4. Abbondanza "N"

(numero di individui/500 cm<sup>2</sup>). I punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avegetato;

LI = bocca di Lido,  
MA = bocca di Malamocco e  
CH = bocca di Chioggia.

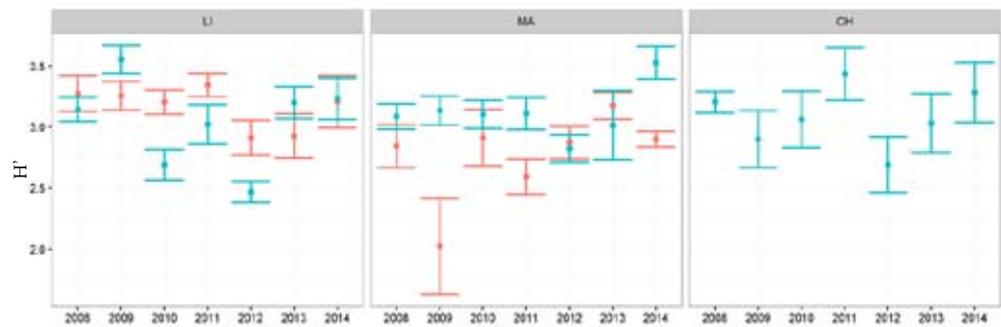


### Indici di diversità H' e J'

Gli indici di diversità di Shannon (H') e di Pielou (J') mostrano andamenti del tutto comparabili tra loro e in relazione alle diverse bocche. A Lido i valori dell'indice di Shannon risultano spesso più elevati nell'habitat avegetato rispetto a quello a fanerogame. Alcune situazioni di overdominance da parte di singole specie hanno determinato significative diminuzioni degli indici, come evidenziato nell'habitat a fanerogame di Lido (2010 e 2012) e nell'habitat avegetato di Malamocco (2009) (figure 5 e 6).

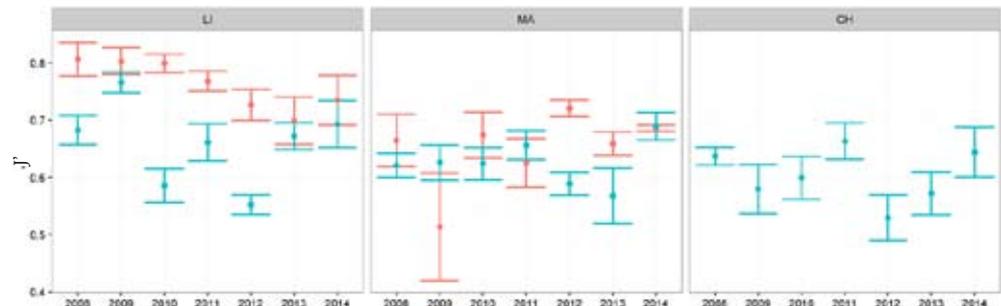
5. Indice di diversità di Shannon "H'" (distribuzione degli individui tra le diverse specie). I punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avegetato;

LI = bocca di Lido,  
MA = bocca di Malamocco e  
CH = bocca di Chioggia.



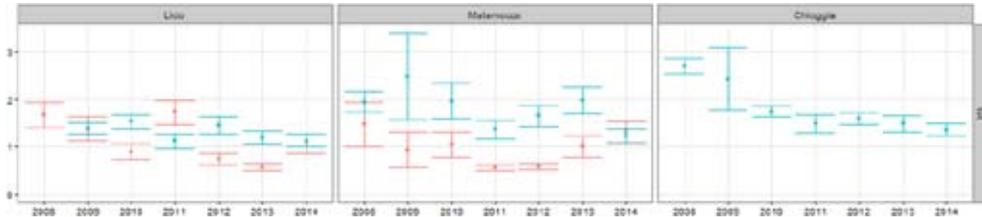
6. Indice di equitabilità Pielou "J'" (omogeneità nella distribuzione degli individui tra le diverse specie). I punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avegetato;

LI = bocca di Lido,  
MA = bocca di Malamocco e  
CH = bocca di Chioggia.



## Biomassa totale

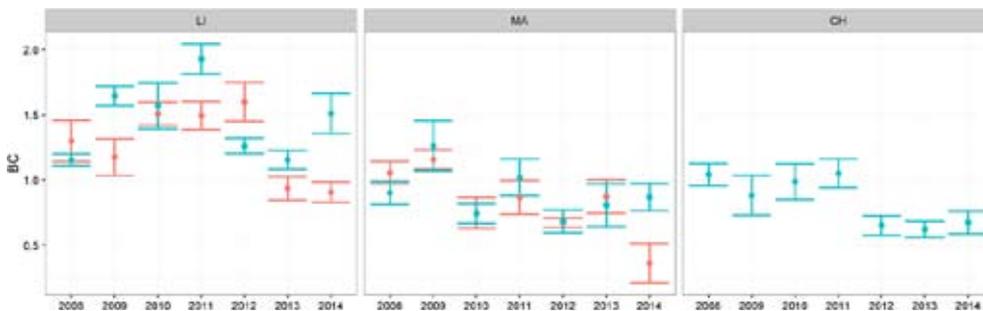
La biomassa totale evidenzia un trend in diminuzione sia a Lido che a Chioggia mentre a Malamocco, ad una diminuzione registrata nel 2014 nell'habitat a fanerogame, corrisponde un aumento in quello avevegetato. Anche per la biomassa è evidente (Lido e Malamocco) la presenza di due periodi 2008-2011 e 2012 (figura 7).



7. Biomassa totale della comunità "B", espressa come peso senza ceneri (grammi/500 cm<sup>2</sup>). I punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avevegetato.

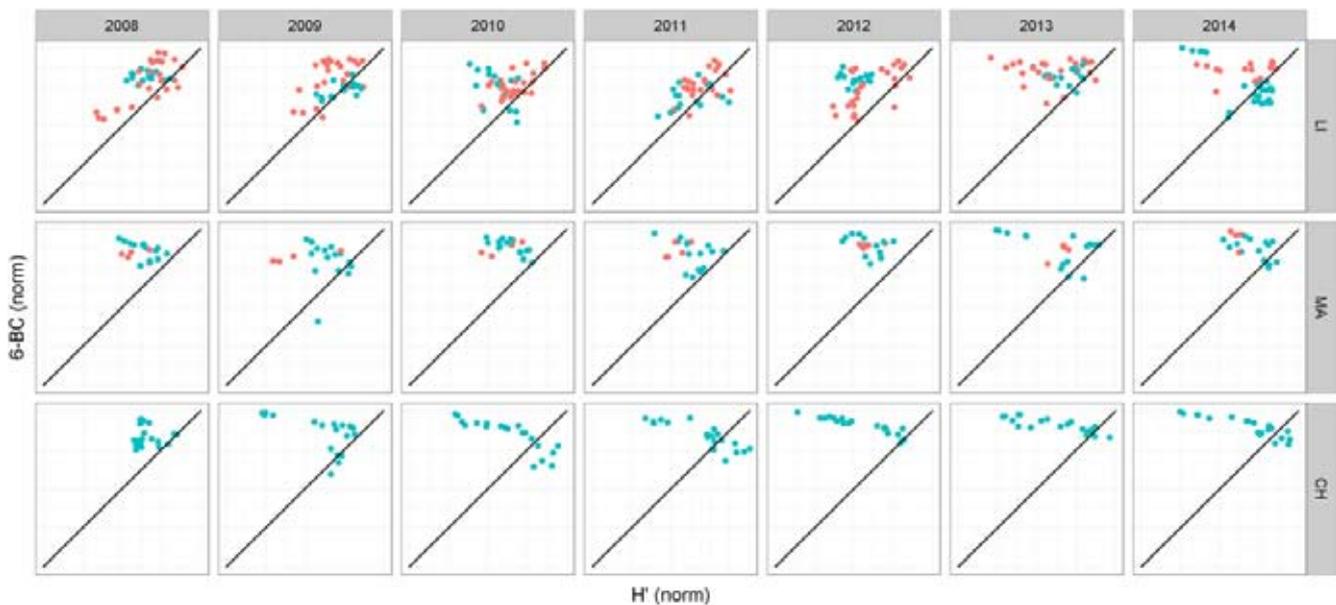
## Indice di Saprobietà BC

L'indice di Saprobietà assegna alle comunità bentoniche, tipiche di un ambiente costiero protetto più che di zone francamente lagunari, valori poco saprobici. Nonostante ciò, il coefficiente evidenzia ancora il trend "a doppio dente di sega" con aumento di specie più tolleranti alla saprobietà dal 2008 al 2011 e poi di nuovo dal 2012 al 2014. Le comunità presenti nelle stazioni a fanerogame sembrano essere più saprobiche di quelle presenti sull'avevegetato, condizione, anche questa, che potrebbe caratterizzare ambienti a forte ricambio idrico dove il detrito si accumula più nelle praterie che sui bassofondali nudi. Oltre all'andamento bimodale, si nota anche una generale tendenza alla marinizzazione, più evidente a Malamocco e Chioggia, rispetto al Lido (figura 8).



8. Indice di Saprobietà (BC); i punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avevegetato; LI = bocca di Lido, MA = bocca di Malamocco e CH = bocca di Chioggia.

Nella figura 9 vengono valutati, sinotticamente, l'indice di Shannon e l'AMBI. I risultati sono stati normalizzati entro un range che varia tra zero ed i massimi valori assunti nel dataset dalle due metriche (per l'AMBI, l'inverso del BC). Nella interpretazione "classica", riferita alla "qualità ambientale", la diagonale va vista come una freccia che, partendo dall'angolo in basso a sinistra, muove verso l'alto a destra, in un ipotetico gradiente di qualità crescente. La figura consente una valutazione del contributo delle varie repliche nello stesso momento: Chioggia mostra negli ultimi anni una forte variabilità di H' e una sostanziale uniformità di BC e sono sempre presenti comunità caratterizzate da specie a "bassa saprobietà" anche in caso di "bassa" diversità, mentre il Lido mostra una ampia variabilità di entrambe le metriche, con un ampio grado di sovrapposizione tra le stazioni vegetate e quelle avevegetate. Malamocco, infine, mostra una situazione intermedia tra le altre due bocche.



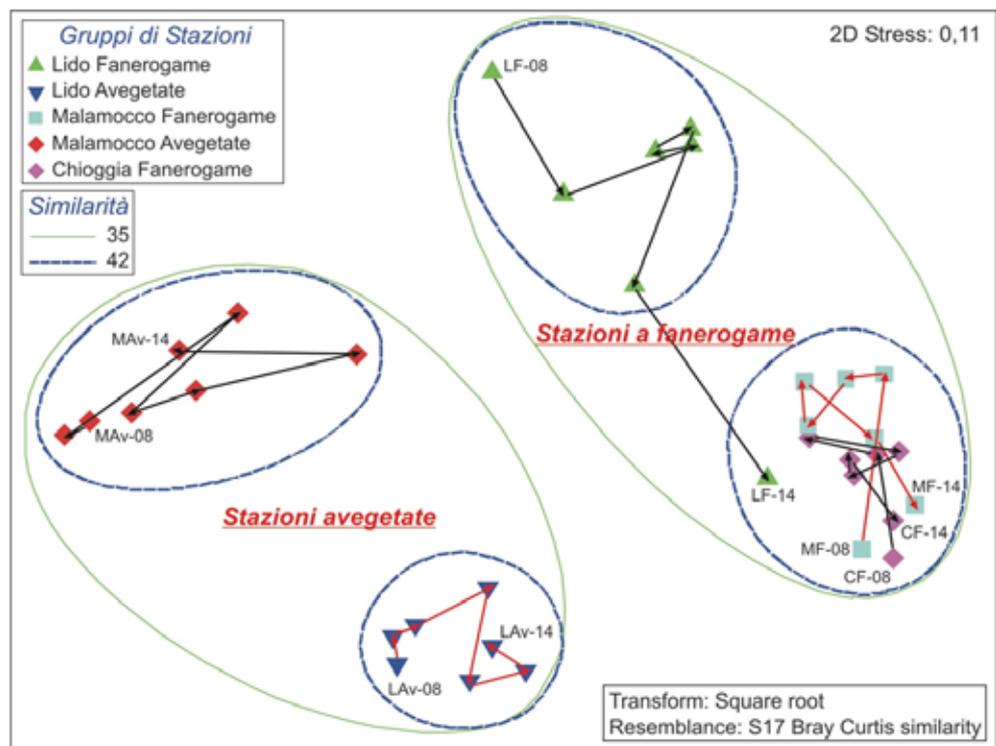
9. Comparazione tra indice di Shannon ( $H'$ ) e Saprobietà (AMBI-BC); in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avegetato; LI = bocca di Lido, MA = bocca di Malamocco e CH = bocca di Chioggia.

*Similarità strutturale*

La struttura delle comunità, in termini di specie e rispettiva abbondanza, può essere quantificata tramite l'indice di similarità di Bray-Curtis e visualizzata con un ordinamento multivariato.

L'analisi multivariata evidenzia chiaramente quattro gruppi principali, costituiti da insiemi di stazioni omologhe (linea blu tratteggiata): le stazioni avegetate di Malamocco (MAv), le stazioni avegetate di Lido (LAv), le stazioni con fanerogame di Lido (LF) ed un ultimo gruppo composto dall'insieme delle stazioni con fanerogame di Chioggia e

10. Analisi multivariata (MultiDimensional Scaling – MDS), riferita alla similarità tra le diverse stazioni nei vari anni (basata sui valori di abbondanza); LF=Lido, habitat a fanerogame, MF=Malamocco, habitat a fanerogame, CF=Chioggia, habitat a fanerogame, LAv=Lido, habitat avegetato e MAv=Malamocco, habitat avegetato; i numeri rappresentano i diversi anni. Una freccia collega le stazioni appartenenti al medesimo habitat/bocca, evidenziando l'evoluzione temporale.



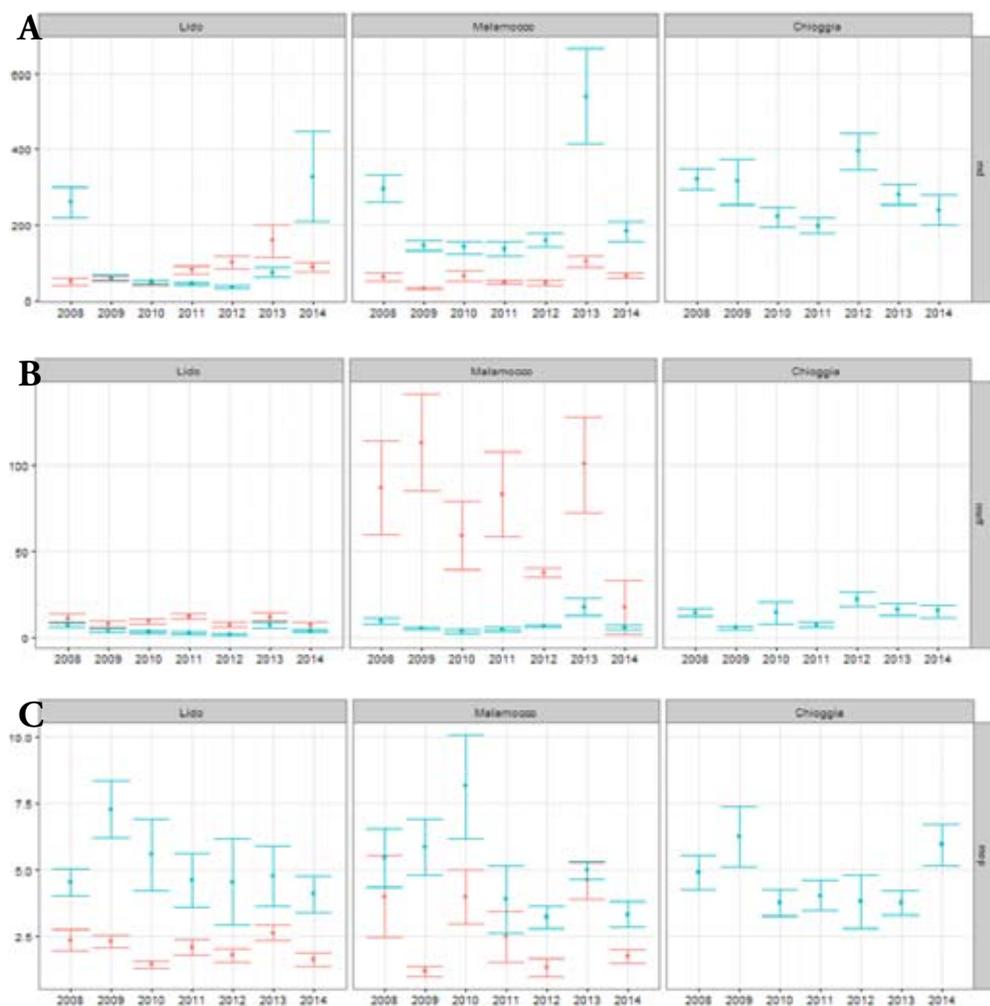
Malamocco (CF, MF), che dimostra la similarità tra le praterie di queste due Bocche. Questi gruppi, poi, si differenziano ulteriormente, ad un livello di similarità inferiore (linea verde continua), tra stazioni avegetate e stazioni a fanerogame. In figura 10, l'evoluzione temporale di ogni ambiente può essere apprezzata seguendo la freccia che collega le diverse annate. Ad esempio, si evidenzia come la situazione delle comunità nell'habitat a fanerogame del 2014 a Lido si ricongiunge a quella degli habitat analoghi di Malamocco e Chioggia.

## Funzionamento

### Struttura trofica

Nel presente lavoro vengono considerati solo i tre principali gruppi trofici: i detritivori, organismi che si nutrono di sostanza organica presente nel sedimento; i filtratori, organismi che si nutrono di sostanza organica, prevalentemente viva, presente in sospensione nella colonna d'acqua; i predatori.

Il gruppo dominante, in termini di abbondanza numerica, nelle tre bocche di porto è sempre risultato quello dei detritivori (figura 11A). La distribuzione dell'abbondanza evidenzia, a Chioggia, due periodi distinti: 2008-2011 e 2012-2014. A Lido, invece, si rileva un incremento delle abbondanze nella parte finale della serie sia per l'habitat a fa-



11. Andamento temporale dell'abbondanza (nr ind./500 cm<sup>2</sup>) di A) detritivori, B) filtratori, C) predatori; i punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avegetato.

nerogame che per l'habitat avegetato. A Malamocco non si notano variazioni temporali se non un picco nel 2013. A Malamocco, inoltre, al contrario di quanto osservato a Lido, è evidente la netta differenza tra i due habitat studiati.

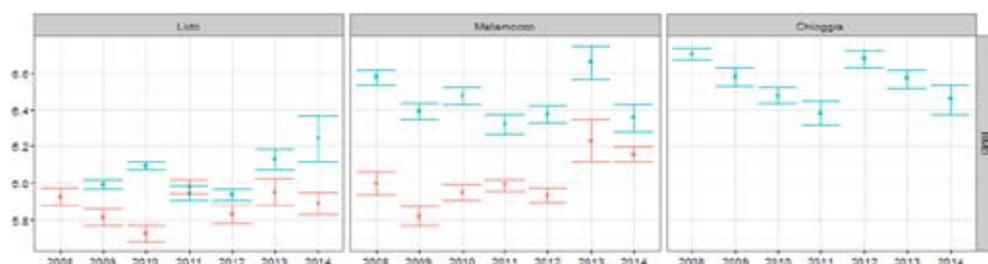
Per quanto riguarda i filtratori, invece, si evidenzia ancora la presenza di due periodi distinti a Chioggia (2008-2011 e 2012-2014). Nelle altre due bocche di porto è evidenziabile un trend in leggera diminuzione che mostra il suo minimo nel 2014, in entrambi gli habitat (figura 11B). Da sottolineare come le abbondanze maggiori siano state rilevate nell'habitat avegetato, con i valori massimi registrati a Malamocco.

Per quanto attiene, infine, ai predatori, nelle tre bocche di porto si rileva uno stesso trend, con un aumento tra 2009 e 2010, seguito da una diminuzione ed una parziale ripresa. In questo caso, le abbondanze maggiori sono registrate sempre nell'habitat a fanerogame (figura 11C).

### Bioturbazione

Ancora una volta (figura 12), a Chioggia emerge il trend con due andamenti paralleli, prima e dopo il 2011. Per quanto riguarda, invece, Lido e Malamocco, l'andamento risulta piuttosto oscillante, con un incremento tra il 2013 e il 2014. In generale, l'habitat a fanerogame mostra valori maggiori rispetto a quello avegetato.

12. Bioturbazione, descritta tramite l'indicatore Biogenic Mixing Depth (BMD), espresso in cm; i punti indicano la media annuale e le barre l'errore standard; in blu è rappresentato l'habitat a fanerogame, in rosso l'habitat avegetato.



## Considerazioni conclusive

I dati raccolti evidenziano la presenza di una comunità tipica di ambienti lagunari, soggetti ad elevata influenza marina, caratterizzata da elevata ricchezza specifica ed abbondanza, che si riflette in un buon livello di diversità e limitata saprobietà. L'elevato idrodinamismo delle aree prospicienti le bocche di porto, infatti, riduce il tasso di sedimentazione di sostanza organica al fondo e consente la coesistenza di specie tipicamente marine (*Chamelea gallina*, *Liocarcinus depurator*, *Hyppolite* spp.) con altre proprie invece di ambienti di transizione (*Cerastoderma edulis*, *Carcinus aestuarii*, *Rhithropanopeus harrisi*). L'analisi dei dati mostra, comunque, chiare differenze spaziali determinate, da un lato, dalla presenza di due habitat diversi (fanerogame e avegetato), seppur ascrivibili al medesimo macrohabitat, e, dall'altro, dalle diverse condizioni idrodinamiche e dalla diversa morfologia del fondale alle tre bocche di porto. Tra le altre cose, è interessante notare come questi elementi agiscano in modo sinergico nel modellare la comunità; si vedano, ad esempio, le differenze rilevate tra l'habitat a prateria di Lido in confronto con quello di Malamocco e Chioggia.

In termini temporali si evidenziano delle variazioni che sono difficilmente associabili al disturbo provocato dai lavori dei cantieri per la costruzione del MOSE, ragione del monitoraggio. Rimane da investigare se non si tratti piuttosto di modificazioni indotte dal cambiamento della struttura delle bocche stesse con effetti, ad esempio, su circolazio-

ne, flussi o tassi di sedimentazione, come sembrerebbe suggerire l'andamento dell'habitat vegetato di Lido che tende ad uniformarsi a quello di Malamocco e Chioggia con il passare del tempo.

Per il periodo 2003-2004 sono disponibili campioni per alcune delle stazioni utilizzate nel presente lavoro. Tali dati potrebbero dunque fornire una sorta di "condizione di riferimento". Il confronto con questa situazione evidenzia, in effetti, differenze sostanziali che, tuttavia, vanno nella direzione opposta a quella che ci si potrebbe attendere in caso di impatto dei cantieri; si nota, infatti, un generale aumento dei parametri, dalla ricchezza specifica, all'abbondanza totale, fino alla biomassa totale e gli indici di diversità. In generale, si tratta di modificazioni che si potrebbero ascrivere ad un miglioramento delle condizioni della comunità MZB in tutte le bocche. Questo fenomeno, tuttavia, potrebbe essere interpretato come una tendenza verso la marinizzazione, con attenuazione delle condizioni tipicamente lagunari, quali ad esempio elevate condizioni saprobiche. In tutto questo, va comunque sottolineato come il 2003 rappresenti un anno caratterizzato da condizioni meteorologiche particolari come primavera secca ed estate calda che si sono sicuramente ripercosse sull'ecologia lagunare, come ha evidenziato la forte contrazione di *Zostera marina* nel biennio 2003-2004 (Rismondo e Mion, 2008). In qualche modo, dunque, lo stato di riferimento non rappresenta una baseline del tutto affidabile.

L'anno 2011, infine, sembra discriminare tra due periodi (2008-2011 e 2012-2014) caratterizzati da trend simili nei maggiori descrittori. Una prima analisi condotta sulle caratteristiche idrologiche non ha evidenziato causalità certe, ma suggerisce una certa dipendenza da variabili meteo-climatiche che meritano di essere investigate in seguito.

In conclusione, quindi, si può affermare che la comunità MZB ha mostrato una sostanziale stabilità nella scala temporale analizzata (2008-2014), pur con l'evidenza di leggeri trend; tuttavia, a parità di habitat, le variazioni osservate all'interno di una stessa bocca si sono spesso rivelate inferiori alle differenze rilevate tra bocche.

## Ringraziamenti

Si ringrazia Andrea Pierini (SELC soc. coop.) per la collaborazione nel corso delle attività.

Tabella 1. Elenco delle specie campionate (☉) nei due habitat “av”, avegetato, e “f”, a fanerogame, nelle tre bocche di porto LI (Lido), MA (Malamocco) e CH (Chioggia); A=specie che, almeno in un anno, era presente nella top5 per abbondanza; B=specie che, almeno in un anno, era presente nella top5 per biomassa.

Phylum	classe/ordine	specie	LI av	LI f	MA av	MA f	CH
Anthozoa		<i>Actiniaria</i> indet.	☉		☉	☉	☉
		<i>Anemonia viridis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
Artropoda	Crustacea Amphipoda	<i>Ampelisca sarsi</i>	☉ A	☉ A	☉ B	☉	☉
		<i>Ampithoe belleri</i>	☉	☉ A	☉	☉ A	☉
		<i>Ampithoe ramondi</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Apherusa</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Apocorophium acutum</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprella acanthifera</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprella equilibra</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprella</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprella liparotensis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprella mitis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprella scaura</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Caprellidea</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Corophiidae</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Dexamine spiniventris</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Dexamine spinosa</i>	☉	☉ A	☉	☉	☉
		<i>Elasmopus pecteniscrus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Elasmopus rapax</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Erichthonius punctatus</i>	☉	☉ A	☉	☉ A	☉ A
		<i>Gammarella fucicola</i>	☉	☉	☉	☉ A	☉
		<i>Gammarus aequicauda</i>		☉	☉	☉	
		<i>Gammarus</i> indet.	☉	☉	☉		☉
		<i>Gammarus insensibilis</i>	☉	☉	☉	☉ A	☉ A
		<i>Iphimedia minuta</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Jassa</i> cfr. <i>marmorata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Leucothoe</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Leucothoe oboa</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Leucothoe procera</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Leucothoe spinicarpa</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Leucothoe venetiaram</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Lysianassa costae</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Maera grossimana</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Medicorophium minimum</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Melita bergensis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Melita palmata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Metaphoxus simplex</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Microdeutopus anomalus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Microdeutopus chelifer</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Microdeutopus</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Microdeutopus versiculatus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Monocorophium insidiosum</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Orchomene humilis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
<i>Pericolodes</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉		
<i>Phoxocephalidae</i> indet.					☉		
<i>Phtisica marina</i>	☉	☉	☉	☉	☉		
<i>Pseudoprotella phasma</i>	☉	☉	☉	☉	☉		
<i>Stenothoe</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉		
<i>Stenothoe valida</i>	☉	☉	☉	☉	☉		
<i>Urothoe poseidonis</i>	☉	☉	☉	☉	☉		
Crustacea		<i>Amphibalanus amphitrite</i>	☉	☉	☉	☉	☉
Balanida		<i>Amphibalanus improvisus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
Crustacea							
Cumacea		<i>Iphinoe</i> sp.	☉	☉	☉	☉	☉

Phylum	classe/ordine	specie	LI av	LI f	MA av	MA f	CH	
Artropoda	Crustacea Decapoda	<i>Athanas nitescens</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Carcinus aestuarii</i>	☺ B	☺ B	☺	☺ B	☺ B	
		<i>Clibanarius erythropus</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Crangon crangon</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Diogenes pugilator</i>	☺	☺	☺ A	☺	☺	
		<i>Dyspanopeus sayi</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Hippolyte inermis</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Hippolyte leptocerus</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Hippolyte longirostris</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Liocarcinus depurator</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Palaemon adspersus</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Pestarella tyrrhena</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Pisidia longimana</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Processa edulis</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Upogebia deltaura</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Upogebia pusilla</i>	☺ B	☺	☺	☺	☺	
		<i>Upogebia tipica</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		Crustacea Isopoda	<i>Arcturidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Bopyridae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
	<i>Cirolanidae</i> indet.		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Cleantis</i> cfr. <i>prismatica</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Cyathura carinata</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Cymodoce truncata</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Dynamene edwardsi</i>		☺	☺			☺	
	<i>Idotea balthica</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Idotea</i> cfr. <i>metallica</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Idotea chelipes</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Jaera</i> indet.		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Janiridae</i> indet.		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Lekanesphaera hookeri</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Lekanesphaera monodi</i>		☺	☺	☺	☺		
	<i>Paracercis sculpta</i>		☺	☺	☺	☺	☺	
	<i>Sphaeroma serratum</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
	<i>Synischia hectica</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
	Crustacea Leptostraca	<i>Nebalia bipes</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Diamysis bahirensis</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Mesopodopsis slabberi</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
	Crustacea Mysidacea	<i>Mysida</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Ostracoda</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Apsendes talpa</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Apsendopsis latreillii</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Leptocheilia savignyi</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
	Crustacea Tanaidacea	<i>Tanaidae</i> indet.	☺				☺	
		<i>Acrocrida brachiata</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Amphipholis squamata</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
		<i>Amphiura chiajei</i>	☺	☺	☺	☺	☺	
	Echinodermata	Asteroidea	<i>Asterina gibbosa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Holothuria</i> (Roweothuria) cfr. <i>poli</i>	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Holothuroidea</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Labidoplax digitata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Ocnus planci</i>					
			<i>Ophiotrix fragilis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Ophiura</i> indet.		☺	☺	☺	
			<i>Ophiura</i> indet. (juv)	☺	☺	☺	☺	☺
		Echinoidea	<i>Paracentrotus lividus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
			<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
Holoturoidea		<i>Trachythyone elongata</i>	☺	☺	☺	☺	☺	

Tabella 1 continua.

Phylum	classe/ordine	specie	LI av	LI f	MA av	MA f	CH
Mollusca	Bivalvia	<i>Abra alba</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Abra prismatica</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Abra segmentum</i>	☺	☺	☺	☺	☺ A
		<i>Abra tenuis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Acanthocardia tuberculata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Anadara transversa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Angulus fabula</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Angulus tenuis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Anomia ephippium</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Arcuatula senhousia</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Azorinus chamasolen</i>					☺
		<i>Cerastoderma glaucum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Chamelea gallina</i>	☺ B	☺	☺ A	☺	☺
		<i>Clausinella cfr. fasciata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Corbula gibba</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Ctena decussata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Donax semistriatus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Dosinia lupinus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Ensis minor</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Flexopecten glaber</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Gari depressa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Gastrana fragilis</i>	☺	☺ B	☺	☺	☺ B
		<i>Glans cfr. trapezia</i>		☺	☺	☺	
		<i>Gouldia minima</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Gregariella petagnae</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Hemilepton nitidum</i>	☺ A	☺	☺	☺	☺
		<i>Hiatella arctica</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lentidium mediterraneum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Limaria hians</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Limaria tuberculata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
			☺	☺		☺	☺
		<i>Loripes lucinalis</i>	A B	A B	☺ A B	A B	A B
		<i>Loripinus fragilis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lucinella divaricata</i>	☺	☺	☺ B	☺	☺
		<i>Mactra stultorum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Mimachlamys varia</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Modiolus barbatus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Modiolus cfr. adriaticus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Moerella cfr. donacina</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Moerella distorta</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Monia patelliformis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Musculus cfr. costulatus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Musculus subpictus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Mytilaster lineatus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Mytilus galloprovincialis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Nucula nucleus</i>	☺	☺	☺	☺	☺ B
		<i>Ostrea edulis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Papillicardium papillosum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Parvicardium exiguum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Peronaea planata</i>	☺	☺	☺ A	☺	☺
<i>Petricola lithophaga</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Pharus legumen</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Phaxas adriaticus</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Pinna nobilis</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Pitar rudis</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Polititapes aureus</i>	☺	☺ B	☺	☺	☺		
<i>Roccellaria dubia</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Ruditapes philippinarum</i>	☺ B	☺	☺	☺	☺		

Tabella 1 continua.

Phylum	classe/ordine	specie	LI av	LI f	MA av	MA f	CH
Mollusca	Bivalvia	<i>Solen marginatus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Spisula subtruncata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Tellinomya ferruginosa</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Tellina nitida</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Thracia corbuloidea</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Thracia phaseolina</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Timoclea ovata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Venerupis decussata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Venus</i> cfr. <i>casina</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Venus verrucosa</i>	☉	☉	☉	☉ B	☉
	Gastropoda	<i>Acteon tornatilis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Alvania cimex</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Bela nebula</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Bittium latreillii</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Bittium reticulatum</i>	☉ A	A B	☉	A B	A B
		<i>Bolinus brandaris</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Calliostoma virescens</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Calyptrea chinensis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Cerithium vulgatum</i>	☉	☉	☉	☉ B	☉
		<i>Coralliophila squamosa</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Cyclope neritea</i>	☉ A B	☉	☉ A B	☉	☉
		<i>Fusinus rostratus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Gibbula adriatica</i>	☉	☉	☉	☉	☉ A
		<i>Gibbula albida</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Haminoea navicula</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Hexaplex trunculus</i>	☉ B	☉ B	☉	☉ B	☉
		<i>Hydrobia acuta</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Nassarius corniculum</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Nassarius incrassatus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Nassarius nitidus</i>	☉ B	☉ B	☉ A	☉ B	☉ B
		<i>Nassarius pygmaeus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Naticarius hebraeus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Nudibranchia</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Ocenebra erinaceus</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Ondina</i> cfr. <i>scandens</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Parthenina indistincta</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Pusillina</i> cfr. <i>sarsii</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Pusillina lineolata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Rissoa splendida</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Smithiella costulata</i>	☉	☉	☉	☉	☉
	<i>Tricolia pullus</i>	☉	☉ A	☉	☉ A	☉ A	
	Polyplacophora	<i>Acanthochitona fascicularis</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Lepidochitona (Lepidochitona) cinerea</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Polyplacophora</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Nemertea</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Pantopoda</i> indet.	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Phoronis muelleri</i>	☉	☉	☉ B	☉	☉
		<i>Alitta succinea</i>	☉	☉	☉	☉	☉
		<i>Ampharete acutifrons</i>					☉
		<i>Amphitene auricoma</i>	☉	☉	☉	☉	☉
<i>Aphroditidae</i> indet.		☉				☉	
<i>Aponuphis fauveli</i>		☉	☉	☉	☉	☉	
<i>Arenicola marina</i>		☉	☉	☉	☉	☉	
<i>Asclerocheilus intermedius</i>		☉	☉	☉	☉	☉	
<i>Branchiomma</i> sp.		☉	☉	☉	☉	☉	

Tabella 1 continua.

Phylum	classe/ordine	specie	LI av	LI f	MA av	MA f	CH
Mollusca	Polyplacophora	<i>Capitella capitata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Capitella minima</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Capitellidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Capitellidae</i> sp.1	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Capitellidae</i> sp.2	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Cirratulidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Cirriformia tentaculata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Chymenura clypeata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Euclymene</i> cfr. <i>lombricoides</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Euclymene lombricoides</i>	☺				☺
		<i>Euclymene oerstedii</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Euclymene palermitana</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Euclymene santandarensis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Euclymene</i> sp.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Eunice</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Eunice pennata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Eunice vittata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Eupolyornia nebulosa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Flabelligeridae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Galathonina oculata</i>	☺	☺	☺		☺
		<i>Glycera alba</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Glycera fallax</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Glycera tridactyla</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Glycera unicornis</i>			☺	☺	
		<i>Harmothoe antilopes</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Harmothoe areolata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Harmothoe longisetis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Harmothoe</i> sp.		☺	☺	☺	
		<i>Heteromastus filiformis</i>	☺ A	☺	☺	☺	☺
		<i>Hilbigneris gracilis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Hydroides dianthus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lagis koreni</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lumbrineridae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lumbrineris coccinea</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lumbrineris</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lumbrineris latreilli</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Lysidice ninetta</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Magelona filiformis</i>	☺	☺	☺	☺	
		<i>Magelona rosea</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Magelona</i> sp.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Maldanidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Marphysa bellii</i>	☺	☺			☺
		<i>Marphysa fallax</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Marphysa sanguinea</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Mediomastus capensis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Megalomma vesiculosum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Melinna palmata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Metavermilia multicristata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Mysta picta</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Mysta</i> sp.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Neanthes caudata</i>	☺	☺ A	☺	☺	☺
		<i>Neanthes irrorata</i>	☺	☺			☺
		<i>Nematoneis unicornis</i>	☺	☺			☺
<i>Neoleanira tetragona</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Nephtys hombergii</i>	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Nereidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺		
<i>Nereis rava</i>	☺	☺	☺	☺	☺		

Tabella 1 continua.

Phylum	classe/ordine	specie	LI av	LI f	MA av	MA f	CH
Mollusca	Polyplacophora	<i>Nereis zonata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Notomastus lineatus</i>	☺ A	☺ A	☺	☺ A	☺ A
		<i>Notomastus profundus</i>		☺	☺	☺	☺
		<i>Notomastus</i> sp.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Onuphidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Onuphis eremita</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Orbinia sertulata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Owenia fusiformis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Paraonidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pectinariae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pectinaria</i> ( <i>Pectinaria</i> ) <i>belgica</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pelogenia arenosa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Perinereis cultrifera</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Petaloproctus terricolus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Petta pusilla</i>	☺				☺
		<i>Pherusa monilifera</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Phylodoce lineata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pilargidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pista</i> sp. 1	☺	☺	☺	☺	
		<i>Platynereis dumerilii</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pomatoceros triquetet</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Praxilella pratermissa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Praxilella gracilis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Protodorvillea kefersteini</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Pseudoleiocardia fauveli</i>	☺ A	☺	☺	☺	☺
		<i>Sabellaria alveolata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Sabellaria spinulosa</i>	☺	☺			☺
		<i>Scalibregma inflatum</i>					☺
		<i>Schistomeringos rudolphi</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Scoloplos armiger</i>	☺				☺
		<i>Serpula vermicularis</i>	☺	☺			☺
		<i>Sigambra tentaculata</i>				☺	
		<i>Spionidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Sibonellais boa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Sygalion mathildae</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Syllis gracilis</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Terebellidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Terebellides stroemii</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Thelepus setosus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Vermiliopsis infundibulum</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Vermiliopsis multistriata</i>	☺	☺	☺	☺	☺
Pycnogonida		<i>Pantopoda</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
Sipunculida		<i>Golfingidae</i> indet.	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Sipunculus</i> ( <i>Sipunculus</i> ) <i>nudus</i>	☺	☺	☺	☺	☺
Tunicata		<i>Asciadiella aspersa</i>	☺	☺	☺	☺	☺
		<i>Molgula</i> indet.	☺	☺			☺

Tabella 1 fine.

## Bibliografia

- Bald J., Borja A., Muxika I., Franco J., Valencia V. (2005) Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: a case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1508–1522.
- Borja A., Franco J., Pérez V. (2000) A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100–1114.
- Direttiva 2000/60/CE del parlamento europeo e del consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. a.u.c.E. 22/12/2000 L 327.
- Glémarec M., Hily C. (1981) Perturbations apportées à la macrofaune benthique de la baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, 2: 139–150.
- Grall J., Glémarec M. (1997) Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44 (Suppl. A): 43–53.
- Kennish M.J., Paerl H.W. (2010) Coastal lagoons. Critical habitats of environmental change. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton FL, 540 pp.
- Muxika I., Borja A., Bald J. (2007) Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 16–29.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (2015) Studio B.6.72 B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Rismondo A., Mion D. (2008) Variabilità dei popolamenti a fanerogame marine in Laguna di Venezia: dinamismi naturali o modificazioni indotte? *Biologia Marina Mediterranea*, 15 (1): 130-133
- Sigovini M., Keppel E., Tagliapietra D. (2013) M-AMBI revisited: looking inside a widely-used benthic index, *Hydrobiologia*, 717: 41–50.
- Solan M., Cardinale B.J., Downing A.L., Engelhardt K.A.M., Ruesink J.L., Srivastava D.S. (2004). Extinction and Ecosystem Function in the Marine Benthos. *Science*, 306 (5699): 1177-1180.
- Solan M., Wigham B.D., Hudson I.R., Kennedy R., Coulon C. H. , Norling K., Nilsson H., Rosenberg R. (2004) In situ quantification of bioturbation using time lapse fluorescent sediment profile imaging (f-SPI), luminophore tracers and model simulation. *Marine Ecology Progress Series*, 271: 1–12.
- Tagliapietra D., Sigovini M., Magni P. (2012) Saprobity: a unified view of benthic succession models for coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 686: 15–28.

## Summary

Benthic compartment plays a crucial role in determining the ecosystem functioning in shallow water environments, such as transitional waters and coastal lagoons. Due to the shallowness, indeed, all the main ecological processes (as primary and secondary production, organic matter degradation, etc.) are mainly in charge to the benthic organisms living on the bottom, instead of organisms living in the water column. On the other side, benthic assemblage, being mainly composed by scarcely mobile species, is considered a good indicator of environmental conditions, offering an integrated view of them on relatively large temporal scale. For these reasons, macrobenthic community has been proposed as one of the elements to be analyzed within the context of the monitoring activities for the effects of the mobile dams (MOSE) at the inlets of the Venice lagoon. The analysis of the samples collected from 2008 to 2014, offers the opportunity to reconstruct a sort of dynamic picture, giving an overview of recent modifications of the compartment. The analysis has been carried out by using both the univariate and multivariate approach, also combining structural and functional issues. The community structure has been described according to 'classic' indicators, namely the specific richness, total abundance, biomass and some diversity indicators as the Shannon and Pielou index; in order to analyze the temporal changes in terms of composition a re-ordination (MultiDimensional Scaling, MDS) based on a similarity matrix (Bray Curtis matrix) has been performed. About the functioning issue, the saprobity (as adaptation of community to organic enrichment, AMBI Biotic Coefficient), the trophic structure and the sediment reworking capability (as combination of mobility and reworking traits of different species) have been calculated. The structural indices resulted higher in the seagrass habitat than in the bare one, with the exception of the Pielou index; the values are comparable across the three inlets (Lido, Malamocco and Chioggia). No clear temporal trend has been detected, even if in some cases (as the Chioggia inlet) a decreasing trend until 2011, a recovery and another decreasing can be recognized. The saprobity index showed a similar pattern, with the highest BC values recorded in the seagrass habitat (differences, however, resulted to be less evident), and again two different 'periods' recognized in Chioggia, before and after 2011. The differences between the two habitats resulted to be more evident in terms of community composition, as revealed by the MDS analysis; bare and seagrass communities are clearly distinguished. In this case, for the bare bottom, differences are recorded also in the comparison between the Lido and the Malamocco inlet. Finally, the temporal trend, showed a good stability of all habitats in all the three inlets, with the exception of the seagrass habitat at Lido, which increases its similarity with the homologue habitat of the other inlets through the time. In relation to the trophic structure, the analysis showed that the community is dominated by detritivorous species in both habitats and all the three inlets. The second most important group is the filter feeders species, which resulted particularly abundant in the bare habitat of the Malamocco inlet. The reworking index resulted to be higher in the seagrass habitat, with values comparable across the inlets and the presence of the above-described trend in Chioggia. In conclusion, the benthic community revealed to be quite resilient, with small changes during the analyzed period. The major differences have been detected in the habitat comparison, whereas the inlets seem to play a relative role. Some trends (before-after 2011) have been detected, but, at the moment, it not so easy to assess a direct cause-effect relationship.





# **Ingresso e distribuzione di uova, larve e giovanili di teleostei marini in laguna di Venezia: connettività mare-laguna e funzione di nursery**

## ***Fish eggs, larvae and juveniles entrance and distribution into the Venice lagoon: sea-lagoon connectivity and nursery functioning***

Francesco Cavraro, Simone Redolfi Bristol,  
Vyron Georgalas, Patrizia Torricelli, Matteo Zucchetta e  
Piero Franzoi

### **Introduzione**

Un aspetto cruciale della funzionalità ecologica degli ambienti lagunari è rappresentato dalla connettività mare-laguna, ed in particolare dal mantenimento dei flussi di organismi dal mare alla laguna e viceversa (Gillanders, 2002; Gillanders *et al.*, 2003; Able, 2005; Herzka, 2005; Sheaves, 2005; Able e Fahay, 2010; Vasconcelos *et al.*, 2012; Reis-Santos *et al.*, 2015; Sheaves *et al.*, 2015). Un elemento del tutto significativo di questa connettività ecologica è rappresentato dalla componente dei “migratori marini”, specie ittiche a riproduzione marina che compiono migrazioni periodiche fra l’ambiente marino e quello lagunare, in modo da sfruttare la grande disponibilità di risorse trofiche presenti negli ecosistemi costieri di transizione. Questi ultimi, sono infatti caratterizzati di norma da livelli di produttività ecologica superiori a quelli riscontrabili negli ecosistemi marini (McLusky e Elliott, 2004). Gli stadi postlarvali e giovanili delle specie di migratori marini si rinvergono in grandi abbondanze all’interno degli ambienti costieri, dove colonizzano massivamente gli habitat di basso fondale (Rossi, 1986; Elliott e Hemingway, 2002; Minello *et al.*, 2003). Dopo la riproduzione in mare, le uova e le larve arrivano sottocosta grazie al trasporto operato dalle correnti marine (Legget *et al.*, 1984; Miller *et al.*, 1984; Miller, 1988; Elliott e Hemingway, 2002). Questo ingresso di migratori giovanili all’interno degli ambienti acquatici di transizione è in genere legato al flusso di marea, anche se non si configura come un trasporto meramente passivo. Le larve possiedono infatti sia ritmi endogeni di comportamento che sistemi sensoriali precocemente funzionali in modo da percepire i “segnali” ambientali. Con il procedere dello sviluppo e all’aumentare delle dimensioni corporee, aumentano poi le capacità di nuoto che consentono agli individui di compiere spostamenti attivi (ad es., migrazioni verticali per la selezione di differenti masse d’acqua). Una volta entrati all’interno degli ambienti di transizione, i migratori giovanili si insediano rapidamente negli habitat di basso fondale, dove la forza delle correnti di marea è molto minore, riducendo così il rischio di essere trasportati nuovamente in mare con il flusso della marea uscente (Creutzberg *et al.*, 1978; Bohelert e Mundy, 1987; Elliott e Hemingway, 2002; Perez-Ruzafa *et al.*, 2004). Dopo un periodo di crescita all’interno degli habitat di transizione, di durata variabile a seconda della specie,

gli individui migrano in mare per reclutare nella popolazione adulta.

Gli ambienti acquatici di transizione rappresentano quindi habitat essenziali per le specie ittiche di migratori marini, svolgendo la funzione di aree elettive di nursery per gli stadi giovanili (Boesh e Turner, 1984; Deegan *et al.*, 2000; Elliott e Hemingway, 2002; Vasconcelos *et al.*, 2007, 2008). Gli habitat di estuario e di laguna offrono infatti ai giovani pesci condizioni e risorse vantaggiose in termini di sopravvivenza, accrescimento e sviluppo (Beck *et al.*, 2001; Elliott e Hemingway, 2002). La funzione di nursery svolta dagli ambienti costieri nei confronti della fauna ittica risulta essere comunque un fenomeno complesso, essendo caratterizzata da dinamiche che sono influenzate da molti fattori (Beck *et al.*, 2001; Dahlgren *et al.*, 2006; Sheaves *et al.*, 2006, 2015).

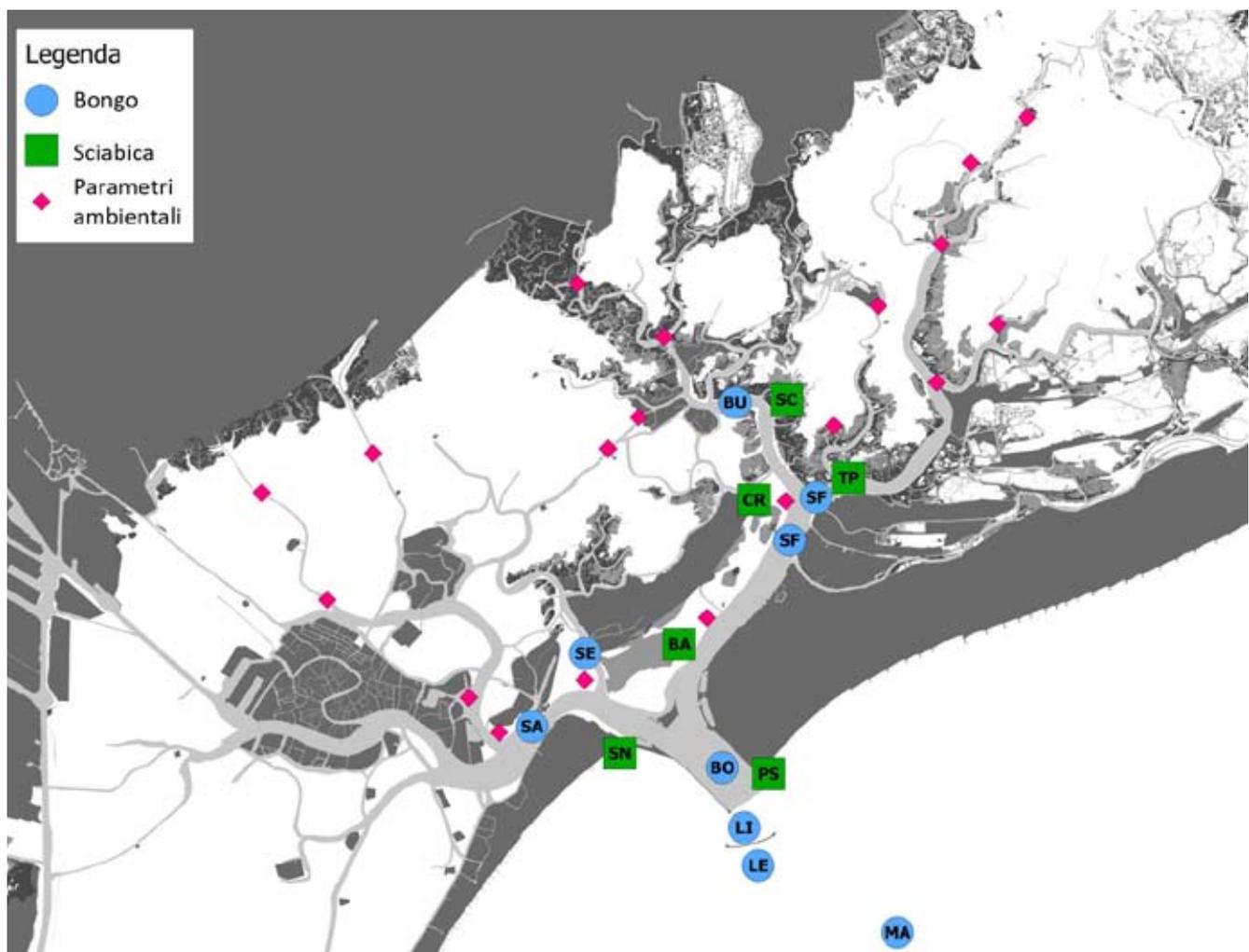
Lo studio della dinamica degli ingressi in laguna dei migratori marini giovanili da una parte, e l'identificazione, la caratterizzazione e la localizzazione degli habitat elettivi per i giovanili dall'altra, rappresentano importanti elementi a supporto della gestione degli ecosistemi lagunari (Beck *et al.*, 2001; Sheaves *et al.*, 2015). Uno degli approcci più usati per individuare la distribuzione degli habitat essenziali per una data specie è quello di sviluppare modelli di distribuzione dell'habitat (in alternativa, indicati anche come modelli di distribuzione delle specie) (Guisan e Zimmerman, 2000; Guisan e Thuiller, 2005; Franklin, 2009). I modelli di distribuzione dell'habitat si basano su una stima quantitativa delle relazioni esistenti tra la distribuzione delle specie e i parametri ambientali (fattori biotici o abiotici) che la influenzano. Una volta messi a punto, i modelli permettono di generare mappe che descrivono l'habitat potenziale di una specie, cioè l'insieme delle condizioni ambientali che assicurano alla specie di soddisfare i propri requisiti vitali fondamentali (Araujo e Guisan, 2006).

In Alto Adriatico, molte specie a riproduzione marina che costituiscono importanti stock sfruttati a fini di pesca, si concentrano allo stadio giovanile negli habitat di basso fondale degli ambienti costieri di transizione. Appartengono a questo gruppo l'orata *Sparus aurata*, la spigola *Dicentrarchus labrax*, la passera *Platichthys flesus*, la sogliola *Solea solea*, i cefali *Liza ramada*, *L. aurata*, *L. saliens*, *Chelon labrosus* e *Mugil cephalus*. I primi arrivi di queste specie sono caratterizzati da larve o postlarve di lunghezza standard inferiore, in genere, ai 20 mm (Rossi 1986; Franzoi *et al.*, 1989; Franzoi e Trisolini, 1991; Franzoi *et al.*, 2005). Anche gli stadi larvali e giovanili di acciuga *Engraulis encrasicolus*, sardina *Sardina pilchardus* e spratto *Sprattus sprattus* sono stagionalmente abbondanti negli ambienti marini costieri, rinvenendosi anche all'interno degli ecosistemi lagunari. Negli ambienti lagunari dell'Alto Adriatico il picco principale di presenze di migratori giovanili si registra in tardo inverno-inizio primavera, anche se un secondo picco di montata dal mare è osservabile a fine-estate-inizio autunno (Rossi, 1986). Gli individui di queste specie migrano poi in mare durante i mesi tardo-autunnali, in corrispondenza della brusca diminuzione di temperatura delle acque lagunari (Rossi, 1986; Franzoi *et al.*, 1989). Per quanto riguarda la laguna di Venezia, sono state condotte numerose ricerche sull'ittiofauna degli habitat lagunari di basso fondale (Mainardi *et al.*, 2002, 2004, 2005; Riccato *et al.*, 2003; Malavasi *et al.*, 2004, 2005, 2007; Franco *et al.*, 2003, 2006, 2012; Franzoi *et al.*, 2010). Fino ad ora erano invece molto scarse e limitate le informazioni relative alla componente ittioplanctonica (Spartà, 1942; Varagnolo 1964, 1971; Ziraldo, 1996).

Nel periodo 2013-15 è stato effettuato uno studio sulla dinamica spaziale e temporale delle abbondanze di uova, larve, postlarve e giovanili di Teleostei in aree marine e lagunari prossime alla bocca di porto di Lido (sottobacino settentrionale della laguna di Venezia). Questa indagine ha fatto parte delle attività di monitoraggio finalizzate alla valutazione degli effetti delle attività di cantiere relative alla costruzione del sistema di paratie mobili MOSE. Studi precedenti avevano già evidenziato l'importanza degli

habitat di basso fondale del sottobacino settentrionale della laguna di Venezia come aree potenziali di nursery per le specie ittiche di migratori marini (Franzoi e Pellizzato, 2002; Franzoi *et al.*, 2005; Franco *et al.*, 2006, 2010; Zucchetto *et al.*, 2009, 2010). I giovani individui che ogni anno si distribuiscono sui bassi fondali lagunari del bacino Nord entrano in laguna attraverso la bocca di porto di Lido. La presenza e l'abbondanza delle uova, delle larve e delle postlarve delle specie di migratori giovanili nelle aree lagunari prossime alla bocca di porto di Lido è strettamente legata alla circolazione idraulica e alle condizioni chimico-fisiche dell'acqua, essendo influenzata non solo dai flussi di marea, ma anche da cambiamenti della configurazione (profilo, portata) o struttura (morfologia, scabrosità) delle bocche di porto. Per questo motivo, questa componente biotica rappresenta un adeguato bio-monitore della connettività fra mare e laguna, anche in relazione al futuro funzionamento del sistema di paratie mobili. L'attività di monitoraggio ha previsto campionamenti stagionali sia di ittioplancton che di giovanili in stazioni prefissate distribuite lungo un ideale transetto mare-laguna. Inoltre, per due specie di migratori giovanili (l'orata e la passera) sono state indagate le relazioni tra i principali parametri ambientali e le presenze di avannotti sui bassi fondali lagunari, mediante l'applicazione di modelli di distribuzione dell'habitat già sviluppati in studi precedenti (Zucchetto *et al.*, 2009, 2010; MAG.ACQUE-DSA, 2011). Questi tipi di strumenti sono stati utilizzati come un'integrazione a supporto dell'interpretazione delle osservazioni raccolte in campo.

1. Laguna di Venezia con evidenziata l'area di studio e la posizione delle stazioni di campionamento dell'ittioplancton (Bongo) e del popolamento ittico di basso fondale (Sciabica) Sono indicati anche i siti di rilevamento dei parametri ambientali per l'applicazione dei modelli di idoneità.



## Materiali e metodi

### Attività di campo e di laboratorio

Le attività di campionamento sono state condotte nei pressi della bocca di porto di Lido (figura 1). Sono stati effettuati campionamenti di ittioplancton (uova e larve) in mare ed in zone lagunari di canale e campionamenti di postlarve e stadi giovanili sia in aree marine che lagunari di basso fondale (profondità inferiore a 1,5 m). Inoltre sono stati raccolti i parametri ambientali necessari all'applicazione dei modelli di idoneità. Le modalità di campionamento sono state standardizzate per garantire i confronti nello spazio e nel tempo, sia nel caso dei campionamenti di ittioplancton che in quello dei campionamenti di giovanili.

I campioni, sia di ittioplancton che di giovanili, sono stati raccolti durante due cicli annuali di monitoraggio (giugno 2013-maggio 2014 e giugno 2014-maggio 2015).

In ognuno dei due cicli annuali di monitoraggio sono state effettuate due campagne di campionamento di ittioplancton per stagione. I campionamenti sono stati condotti in sette stazioni collocate sia all'esterno (mare) che all'interno (laguna) della bocca di porto (figura 1). Nel secondo anno di monitoraggio due stazioni di campionamento (SE ed SF) sono state riposizionate (figura 1) in modo da poter meglio indagare la distribuzione dell'ittioplancton lungo un ideale gradiente dal mare all'interno dell'ambiente lagunare. Per la cattura di uova e larve di pesci sono stati utilizzati due retini conici accoppiati da ittioplancton del tipo "bongo net" (figura 2A), uno con maglia di 350  $\mu\text{m}$  ed uno con maglia di 500  $\mu\text{m}$ , secondo lo standard FAO. Ogni retino era lungo 2,5 m e aveva una bocca di 60 cm di diametro. Ogni retino era corredato di flussimetro, posto all'imboccatura, per la misura della lunghezza di traino; questa informazione è stata poi utilizzata per la valutazione del volume teorico filtrato.

I campionamenti di ittioplancton sono stati condotti sempre in corrispondenza della fase di marea entrante. In ogni stazione è stata effettuata una tirata obliqua, della durata complessiva di 5 minuti, in modo da esplorare l'intera colonna d'acqua. Il traino dei retini è stato effettuato in direzione opposta alla corrente, ad una velocità compresa tra uno e due nodi. Ogni campione è stato immediatamente fissato in formaldeide al 5% neutralizzata con tetraborato di sodio.

In laboratorio i campioni di ittioplancton sono stati filtrati e sciacquati per eliminare ogni residuo di formaldeide. Tutto il campione è stato successivamente osservato allo stereomicroscopio (ingrandimenti 6.3x-80x) per l'identificazione delle uova e delle larve dei Teleostei che sono state quindi separate dal resto del campione e identificate singolarmente. L'identificazione delle uova è stata possibile fino al livello di famiglia e, solo in

2. A) campionamento dell'ittioplancton con "bongo nets"; B) campionamento delle forme giovanili con sciabica da spiaggia.



pochi casi, fino al livello di genere o specie. Nel caso delle larve è stato possibile identificare gli individui, con poche eccezioni, fino al livello di genere o specie.

Per l'identificazione delle forme ittioplanctoniche rinvenute nei campioni è stata utilizzata una grande quantità di materiale bibliografico (Aboussouan, 1964; Arbault, 1968; Cunningham, 1889; D'Ancona e Lo Bianco, 1931-33; FAO, 1987; Fraser, 1976; Lee, 1966; Marinaro, 1971, 1991a, 1991b; Munk, 2005; Palomera e Rubies, 1977; Raffaele, 1888; Ré e Meneses, 2009; Richards, 2006; Russell, 1976; Saka et al., 2001; Spartà, 1942; Tsikliras et al., 2010; Varagnolo, 1964). Le chiavi tassonomiche maggiormente utilizzate in questo lavoro sono state tuttavia quelle proposte da Marinaro (1971), Raffaele (1888) e Russell (1976). Non è ancora presente infatti una chiave tassonomica di identificazione di uova e larve di teleostei mediterranei che riunisca tutte le informazioni presenti in letteratura.

Dopo l'identificazione tassonomica, ad ogni taxon individuato è stata attribuita una guild ecologica sulla base di quanto riportato in letteratura (Franco et al., 2008; Franzoi et al., 2010).

### *Postlarve e stadi giovanili*

In entrambi i cicli di monitoraggio sono stati condotti campionamenti di fauna ittica in 5 stazioni di basso fondale (profondità dell'acqua < 1,5 m; figura 1). Nel secondo anno di indagine, per meglio rappresentare un ideale gradiente mare-laguna, è stata modificata la collocazione di una stazione (TP) (figura 1). Sono state effettuate complessivamente 6 campagne di campionamento per anno: 2 in primavera, 2 in estate e 2 in autunno. I campioni di fauna ittica sono stati raccolti utilizzando una sciabica da spiaggia (figura 2B) a maglia fitta (distanza internodo 2 mm nel sacco centrale e 4 mm nelle ali), lunga 20 m e alta 2.5 m nella porzione centrale. Durante ogni operazione di campionamento è stata calcolata la superficie di fondo esplorata dallo strumento (lunghezza di traino x distanza di apertura della rete), in modo da standardizzare i dati di cattura in termini di unità di superficie campionata. Lo sforzo di campionamento è stato mantenuto per quanto possibile costante, con una superficie di fondo esplorata per stazione e per data di campionamento di circa 600 m<sup>2</sup>. I campioni raccolti venivano mantenuti refrigerati fino all'arrivo in laboratorio e poi surgelati a -20 °C.

In laboratorio, i campioni da processare sono stati di volta in volta tolti dal congelatore e lasciati scongelare per 24 ore in frigorifero a circa 6 °C. Tutti gli individui sono stati identificati, possibilmente fino al livello di specie. L'identificazione tassonomica è stata sempre confermata mediante confronto con la letteratura e l'iconografia scientifica sull'argomento (Tortonese, 1970, 1975; Whitehead *et al.*, 1984-1986; Fisher *et al.*, 1987; Gandolfi *et al.*, 1991; e, limitatamente alle sole forme giovanili: D'Ancona e Lo Bianco, 1932-33; Arias e Drake, 1990, Ré e Meneses, 2009). Per ogni taxon si è proceduto al conteggio degli individui e alla misura del peso totale per campione ( $\pm 0,01$  g oppure  $\pm 0,001$  g); sono state poi effettuate misure di lunghezza (Lunghezza Totale, LT, e Lunghezza Standard, LS,  $\pm 1$  mm oppure  $\pm 0,1$  mm) e peso umido ( $\pm 0,01$  g oppure  $\pm 0,001$  g) individuali. Nel caso di campioni con meno di 100 individui per taxon, le misure sono state effettuate su tutti gli esemplari campionati; nel caso di campioni più abbondanti, le misure sono state limitate ad un sottoinsieme casuale di 100 individui per taxon.

Nel caso delle postlarve e degli stadi giovanili di cefali, l'identificazione effettuata sugli esemplari a fresco è stata confermata dall'osservazione del pattern di disposizione dei cromatofori (Serventi *et al.*, 1986; Franzoi *et al.*, 1989). A questo scopo, l'identificazione degli esemplari di queste specie è stata validata mediante analisi degli individui dopo permanenza per circa tre settimane in una soluzione di formaldeide all'8% neutralizzata

con tetraborato di sodio.

I taxa rinvenuti durante i campionamenti con la tratta sono stati poi classificati in categorie ecologiche (Franco *et al.*, 2009; Franzoi *et al.*, 2010), analogamente a quanto fatto nel caso dell'ittioplancton.

### *Parametri ambientali per la caratterizzazione delle stazioni e per l'applicazione dei modelli di distribuzione*

Contestualmente ai campionamenti con bongo net e con sciabica sono stati rilevati i principali parametri chimico-fisici dell'acqua mediante l'utilizzo di una sonda multiparametrica (Hanna Instruments 9829). Sono stati rilevati: temperatura ( $\pm 0.01$  °C), salinità ( $\pm 0.01$  psu), ossigeno disciolto ( $\pm 0.1$  % saturazione) e torbidità ( $\pm 0.1$  fnu). È stata inoltre misurata la concentrazione di clorofilla totale ( $\pm 0.01$   $\mu\text{g L}^{-1}$ ) mediante lettura spettrofotometrica (Lorenzen, 1967), nel primo anno di indagine, e mediante lettura fluorimetrica (Lorenzen, 1966) nel secondo anno di indagine. Durante l'ultima campagna primaverile di ogni anno di monitoraggio, nelle stazioni campionate con sciabica sono stati raccolti manualmente campioni di sedimento superficiale (carote con diametro di 3 cm), sui quali è stata poi determinata in laboratorio la granulometria (% di sabbia) con il metodo proposto da Sfriso *et al.* (2003).

Inoltre, ai fini dell'applicazione dei modelli di distribuzione dell'habitat, nei mesi di marzo e aprile di ciascun ciclo annuale di monitoraggio sono state effettuate 5 campagne di misura dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua (temperatura,  $\pm 0.01$  °C; salinità,  $\pm 0.01$  psu; ossigeno disciolto,  $\pm 0.1$  % di saturazione; torbidità,  $\pm 0.1$  fnu). I rilevamenti sono stati effettuati in 19 siti di basso fondale (figura 1).

## **Analisi dei dati**

### *Ittioplancton e popolamento ittico di basso fondale*

I dati di densità, relativi sia ai campioni di ittioplancton (espressi come numero di uova o larve per  $\text{m}^3$ ) che a quelli raccolti con la sciabica (espressi come numero di individui per  $100 \text{ m}^2$ ), sono stati analizzati prendendo in considerazione due fattori: la posizione rispetto al gradiente mare-laguna ed il ciclo di monitoraggio (primo: 2013-2014; secondo: 2014-2015). Per quanto riguarda la posizione, per i campionamenti con bongo net le stazioni sono state distinte in marine (all'esterno della bocca di porto; MA, LE, LI), di bocca (BO) e lagunari (all'interno della bocca di porto; SA, SE, SF, BU). Nel caso dei campionamenti effettuati con sciabica, le stazioni PS e SN sono state considerate marine mentre le stazioni BA, CR, TR e SC come lagunari. L'effetto dei due fattori sulle densità registrate è stato analizzato mediante un'analisi basata sui GLM (Generalised Linear Models), con famiglia binomiale negativa, testando l'effetto dell'esclusione dei fattori (test chi-quadro sulla devianza, Vanables e Ripley, 2002).

Per valutare sinteticamente il grado di connettività tra il mare e la laguna è stato considerato un indice di colonizzazione delle acque lagunari IC, calcolato separatamente per uova, larve e giovanili:

dove  $DENS_L$  rappresenta la densità di organismi all'interno della laguna (calcolato come media delle densità registrate nelle stazioni di laguna) e  $DENS_M$  rappresenta la densità

$$I_C = \frac{DENS_L}{(DENS_L + DENS_M)}$$

di organismi in mare (calcolato come media delle densità registrate nelle stazioni di mare).

Per il calcolo di questo indice e relativamente ai campioni effettuati con bongo net, i valori di densità relativi alla stazione BO sono stati mediati con quelli delle stazioni lagunari.

L'indice calcolato in questo modo può variare, in linea teorica tra 0, quando gli individui sono presenti soltanto in mare, e 1, quando invece sono presenti soltanto all'interno della laguna. Valori superiori a 0.5 sono stati considerati come l'indicazione di un accumulo di organismi all'interno dell'ambiente lagunare.

#### *Modelli di distribuzione di orata e passera*

L'applicazione dei modelli di distribuzione è stata condotta per valutare l'idoneità dei fondali lagunari del sottobacino settentrionale della laguna di Venezia ad ospitare postlarve e giovanili di orata e passera, nei due periodi di monitoraggio considerati. A questo scopo, i risultati ottenuti sono stati confrontati con una situazione di riferimento, definita come la probabilità media di presenza dei giovanili delle due specie, ottenuta applicando gli stessi modelli per il periodo 2001-2012.

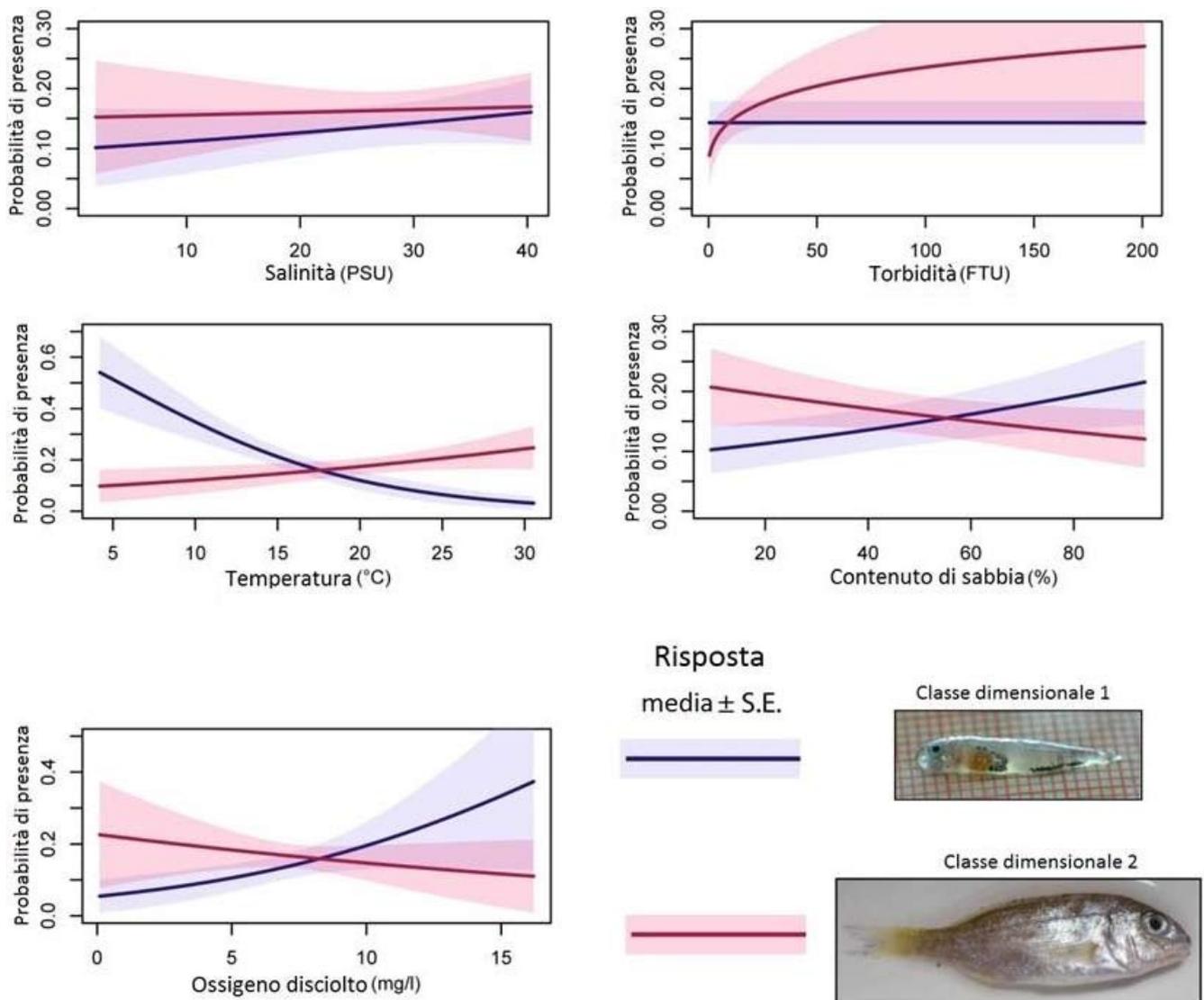
Le predizioni (probabilità di presenza attesa per ciascuna delle due specie, date le condizioni ambientali) sono state ottenute usando mappe dei parametri ambientali come input dei modelli di distribuzione. A tale scopo è stato necessario interpolare i dati raccolti nelle stazioni di monitoraggio su una griglia regolare con celle di 100 m di lato, sfruttando una procedura di *ordinary kriging* utilizzando la libreria "gstat" (Pebesma, 2004) per il pacchetto software R (R Core Team, 2015). Per poter valutare la situazione di riferimento 2001-2012 è stato utilizzato un data-base ottenuto integrando serie di dati raccolti in precedenti cicli di monitoraggio e provenienti da diverse fonti (tabella 1).

La montata dell' orata nell'ambiente lagunare avviene in genere allo stadio di postlarva (lunghezza standard compresa fra 15 e 20 mm) e coincide con il passaggio dalla vita pelagica a quella bentonico demersale (Ferrari e Chiericato, 1981; Rossi, 1986; Rossi *et al.*, 1999). All'interno dell'ambiente lagunare gli individui di questa specie sono caratterizzati da rilevanti cambiamenti ontogenetici, sia dal punto di vista morfologico che fisiologico (Cataldi *et al.*, 1987; Russo *et al.*, 2007; Koumoundouros *et al.*, 2009). Con la crescita si modificano anche le esigenze ecologiche degli individui (Ferrari e Chiericato, 1981; Boidinier *et al.*, 2010).

Per tener conto di queste variazioni, sono state considerate due classi dimensionali: individui con lunghezza standard inferiore a 20 mm e individui con lunghezza standard (LS) compresa fra 20 e 45 mm. Per ciascuna di queste due classi è stato sviluppato un modello statistico che lega la probabilità di presenza della specie con la temperatura, la salinità, la torbidità, l'ossigeno disciolto in acqua e il tenore di sabbia nei sedimenti superficiali (Zucchetto, 2010; MAG. ACQUE-DSA, Unive, 2011). Le forme delle curve

Tabella 1. Fonti dei dati utilizzati per l'allestimento del database ambientale.

Fonte - progetto	Frequenza	Periodo	N° stazioni
MAG. ACQUE Sezione Anti Inquinamento - Stazioni periodiche SAMA	mensile	2005-2008	18
MAG. ACQUE Sezione Anti Inquinamento - Monitoraggio continuo rete SAMANET	semioraria	2004-2012	10
MAG. ACQUE - CVN Progetto MELa 1	mensile	2001-2003	30
MAG. ACQUE - CVN Progetto MELa 3	mensile/quindicinale	2004-2005	23
MAG. ACQUE - CVN Progetto MELa 4	mensile/quindicinale	2007-2009	15
Unive DAIS - CEMAS	mensile	2009-2010	38
MAG. ACQUE - CORILA - STUDIO B.6.72 B/9	circa ogni 10 gg, tra marzo e aprile 2014	2014	18
MAG. ACQUE - CORILA - STUDIO B.6.72 B/10	circa ogni 10 gg, tra marzo e aprile 2015	2015	18



di risposta dei modelli calibrati utilizzando dati raccolti tra il 2002 e il 2010, relativamente ai parametri ambientali considerati e alle due classi dimensionali, vengono mostrate in figura 3.

## Risultati

### Monitoraggio dell'ittioplancton

Durante i due cicli annuali di campionamento sono stati rinvenuti complessivamente 30 differenti taxa ascrivibili a 19 famiglie di teleostei (tabella 2) 15 taxa sono stati rinvenuti sia allo stadio di uovo sia a quello di larva (*Arnoglossus* sp. pl., Callionymidae, *Trachurus trachurus*, *Sardina pilchardus*, *Sprattus sprattus*, *Engraulis encrasicolus*, Gadidae sp. pl., *Dicentrarchus labrax*, Mugilidae sp. pl., *Platichthys flesus*, Sciaenidae, *Buglossidium luteum*, *Pegusa* sp. pl., *Solea solea*, e *Diplodus* sp. pl.), per 3 taxa sono state rinvenute solamente le uova (*Gaidropsarus* sp., *Solea* sp., Trachinidae), mentre 12 taxa sono stati osservati soltanto allo stadio larvale (Bleniidae, *Merlangius merlangus*, *Micromesistius*

3. Curve di risposta per i modelli degli individui giovanili di orata appartenenti alla classe 1 ( $LS \leq 20\text{mm}$ ) e alla classe 2 ( $20\text{mm} < LS < 45\text{mm}$ ). In ciascun grafico è rappresentata la probabilità di presenza stimata al variare di uno dei parametri utilizzati nel modello, mentre gli altri parametri sono stati fissati al loro valor medio.

Tabella 2. Lista dei taxa ritrovati allo stadio di uovo (U) e larva (L) durante i campionamenti con bongo net, nei due periodi di monitoraggio. In grassetto sono evidenziati i migratori marini. R = Residenti, MM = Migratori marini, MS = Marini occasionali.

Famiglia	Taxon	Guild	2013-2014		2014-2015		Totale	
			U	L	U	L	U	L
Blenniidae	Blenniidae sp. pl.	R		X		X		X
Bothidae	<i>Arnoglossus</i> sp. pl.	MS	X	X	X	X	X	X
Callionymidae	Callionymidae	MS	X		X	X	X	X
Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	MS		X	X	X	X	X
Clupeidae	<b><i>Sardina pilchardus</i></b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
	<b><i>Sprattus sprattus</i></b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Engraulidae	<b><i>Engraulis encrasicolus</i></b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>	MS		X				X
	<i>Micromesistius poutassou</i>	MS		X				X
	Gadidae sp. pl.	MS	X		X	X	X	X
Lotidae	<i>Gaidropsarus</i> sp.	MS			X		X	
Gobiidae	Gobiidae sp. pl.	R		X		X		X
Moronidae	<b><i>Dicentrarchus labrax</i></b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
Mugilidae	<b>Mugilidae sp. pl.</b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Pleuronectidae	<b><i>Platichthys flesus</i></b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Sciaenidae	Sciaenidae	MS	X	X		X	X	X
Scophthalmidae	Scophthalmidae	MS				X		X
Soleidae	<i>Buglossidium luteum</i>	MS	X	X	X	X	X	X
	<i>Monochirus</i> sp.	MS		X		X		X
	<i>Pegusa</i> sp. pl.	MS	X	X	X	X	X	X
	<b><i>Solea solea</i></b>	<b>MM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
	<b><i>Solea</i> sp.</b>	<b>MM</b>			<b>X</b>		<b>X</b>	
Sparidae	<i>Diplodus</i> sp. pl.	MS	X	X	X	X	X	X
	<b><i>Sparus aurata</i></b>	<b>MM</b>		<b>X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>
Syngnathidae	<i>Nerophis ophidion</i>	R		X		X		X
	<i>Hippocampus guttulatus</i>	R		X		X		X
	<i>Syngnathus abaster</i>	R		X		X		X
	<i>Syngnathus</i> sp.	R				X		X
Trachinidae	<i>Echichthys vipera</i>	MS	X		X		X	
Triglidae	Triglidae	MS		X				X

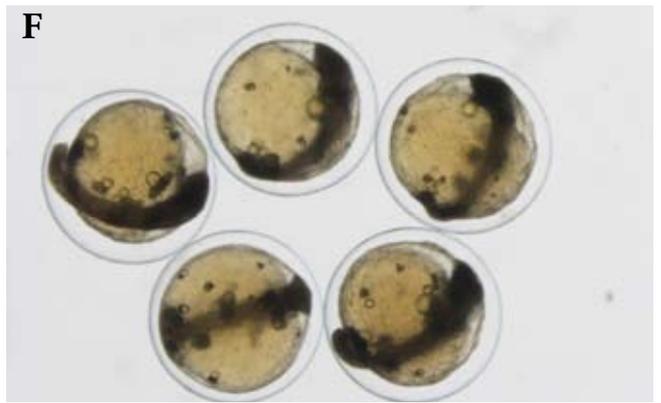
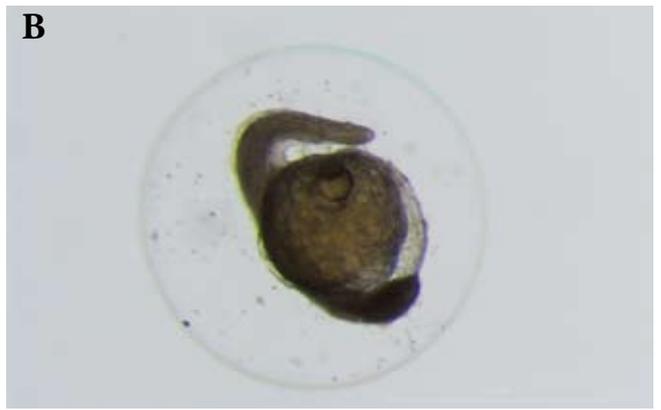
*poutassou*, Gobiidae sp. pl., Scophthalmidae, *Monochirus* sp., *Sparus aurata*, *Nerophis ophidion*, *Hippocampus guttulatus*, *Syngnathus abaster*, *Syngnathus* sp., Triglidae).

Confrontando i due periodi di monitoraggio, si evidenzia che il taxon Triglidae non è stato rinvenuto nel secondo ciclo annuale, mentre sono stati rinvenuti i taxa Lotidae (uova) e Scophthalmidae (larve). Con riferimento ai soli migratori marini (tabella 2; figura 4), il numero di taxa non è variato fra i due periodi di indagine, tuttavia nel secondo ciclo di monitoraggio non sono state rinvenute uova di cefali (Mugilidae sp. pl.), uova di passera e larve di spigola.

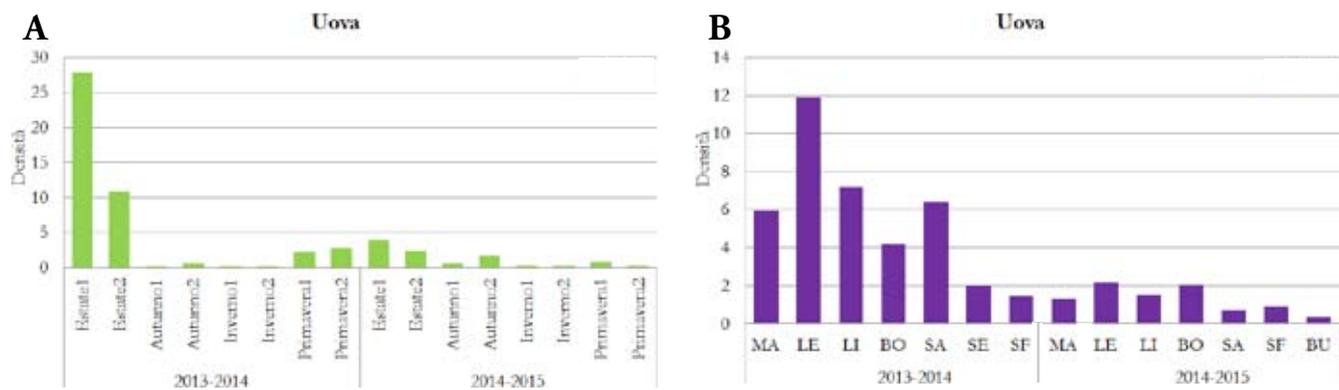
Per quanto riguarda la componente ittioplanctonica rappresentata dalle uova, questa risulta costituita soltanto da taxa marini (MM e MS; tabella 2). Le specie di residenti lagunari che caratterizzano il popolamento ittico della laguna di Venezia, infatti, depongono le uova o attaccandole ad un substrato (ad es. il latterino *Atherina boyeri* e il nono *Aphanius fasciatus*), o attaccandole all'interno di nidi o cavità (Blenniidae, Gobiidae), o all'interno di strutture specializzate del corpo del maschio (Syngnathidae) (Franco *et al.*, 2008).

Le maggiori densità di uova sono state osservate durante i mesi estivi, con un picco nel primo ciclo di indagine, mentre le densità sono risultate minime durante i mesi invernali (figura 5A). Le densità totali di uova sono risultate di norma maggiori nelle stazioni marine rispetto a quelle lagunari (figura 5B).

Le uova di gran lunga più abbondanti, in entrambi i cicli di monitoraggio, sono risultate quelle dell'acciuga, che sono state rinvenute dalla tarda primavera all'inizio dell'autunno (figura 6) e sono risultate il taxon dominante in tutte le stazioni di campionamento (figura 7). Significative nel popolamento ittioplanctonico sono risultate anche le presenze di uova di sardina, e in misura minore di spratto. Le uova di sardina sono state rinvenute nei campioni dall'autunno all'inizio della primavera, caratterizzando i campioni autunnali nel primo ciclo di monitoraggio e quelli del tardo-autunno-inizio



4. Esempi di migratori marini rinvenuti nei campioni di ittioplancton: uova di acciuga (A), uovo di sardina (B), uova e larve di spratto (C), larva di spigola (D), larva di passera (E), uova di sogliola (F), larva di Mugilide (G), larva di orata (H).



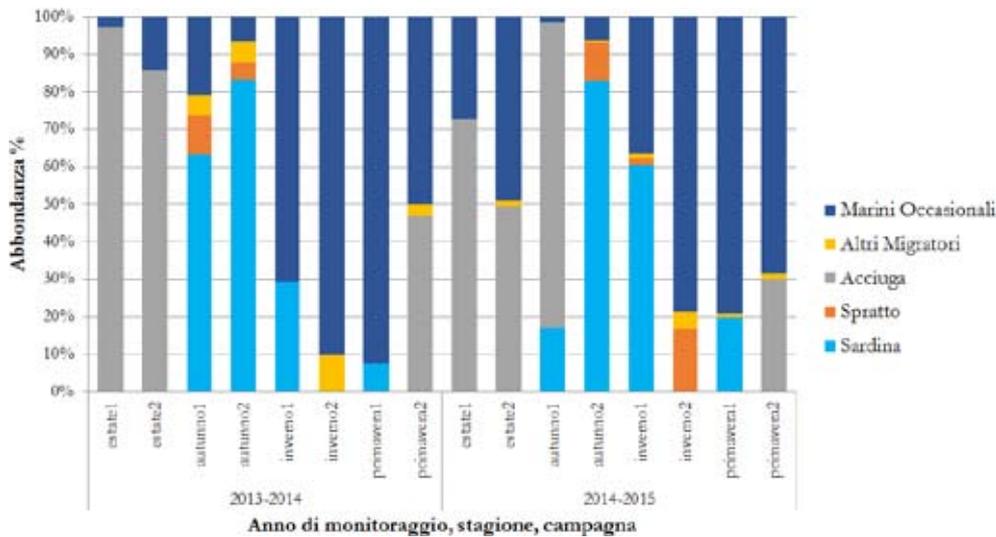
5. Densità totali di uova calcolate per campagna (A) e per stazione (B), separatamente per ciascun ciclo di monitoraggio. I numeri dopo le stagioni indicano la campagna di campionamento.

inverno nel secondo periodo di indagine (figura 6). Le uova di spratto sono state rinvenute in autunno nel primo ciclo di monitoraggio, e nel tardo autunno-inizio inverno durante il secondo ciclo (figura 6). Nel secondo periodo di indagine, l'importanza delle uova di sardina e spratto nel caratterizzare il popolamento ittioplanctonico è risultata diminuire procedendo dalle stazioni marine a quelle lagunari più interne (figura 7). Relativamente sporadica e caratterizzata da valori di densità molto bassi è risultata la presenza delle uova di altre specie di migratori marini (figura 6, 7). Soprattutto durante i campionamenti autunnali ed invernali sono state raccolte uova di sogliola, di spigola, di passera e di cefali (compresi nella categoria "altri migratori"). Le uova di questi taxa sono state rinvenute lungo tutto il gradiente studiato (figura 7), ad eccezione della stazione situata alla bocca di porto (BO) nel primo ciclo di monitoraggio e nella stazione più interna alla laguna (BU), nel corso del secondo ciclo.

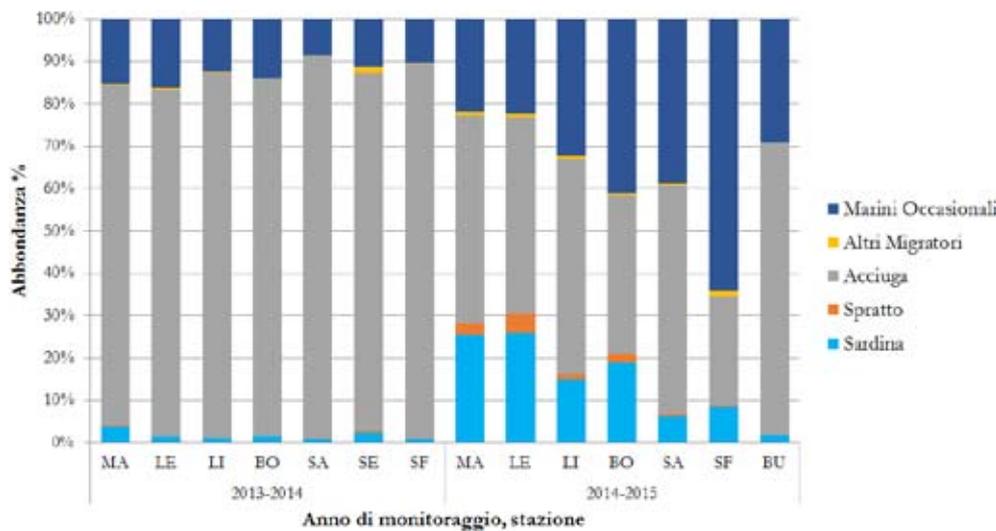
Significativa la presenza nei campioni delle uova di taxa marini occasionali (figura 6): Callionymidae, in estate, Bothidae (appartenenti in particolare al genere *Arnoglossus*), durante quasi tutti i campionamenti, Sparidae (appartenenti al genere *Diplodus*), in estate. Uova di taxa marini occasionali sono state rinvenute in tutte le stazioni di campionamento in entrambi i cicli di indagine (figura 7).

Anche nel caso della componente ittioplanctonica costituita dalle sole larve, le maggiori densità sono state rilevate nel primo ciclo di monitoraggio (figura 8A). Il picco di abbondanza totale è stato osservato nei mesi primaverili, quando il popolamento larvale è risultato dominato dal taxon Gobiidae (figura 9). Per quanto riguarda il gruppo delle specie marine (MM+MS), il picco di abbondanza è stato osservato invece all'inizio dell'estate del primo ciclo di indagine (figura 8A), quando sono risultate dominanti le larve di acciuga (figura 9). Le densità maggiori di larve sono state osservate in stazioni lagunari (SE nel primo ciclo e SF nel secondo ciclo di monitoraggio) (figura 8b), con una netta dominanza del taxon Gobiidae (figura 10).

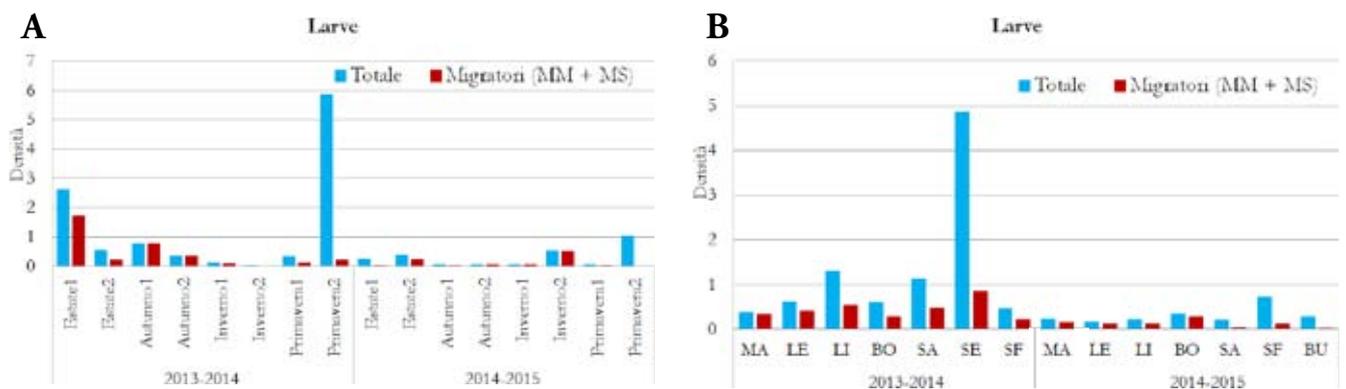
In termini di abbondanza relativa, le presenze di larve di residenti lagunari, principalmente Gobiidae, sono importanti dalla primavera all'inizio dell'autunno (figura 9). Tra i taxa di migratori marini, l'acciuga è ben rappresentata nei campioni durante l'estate nel primo ciclo di monitoraggio e in estate-inizio autunno nel secondo ciclo, mentre le larve di sardina e spratto sono risultate importanti nei mesi autunnali ed invernali di entrambi i cicli di monitoraggio (figura 9). In particolare, le larve di spratto sono risultate dominanti nel popolamento larvale in autunno-inverno nel primo ciclo e durante i mesi invernali nel secondo ciclo di indagine (figura 9). Oltre ai tre taxa appena citati, soprattutto tra l'autunno e l'inverno del primo ciclo di monitoraggio, e tra la fine dell'inverno e la primavera del secondo ciclo, sono state rinvenute nei campioni le larve di altri migratori marini (indicati come "altri migratori" in figura 9), come i cefali, la sogliola, l'orata, la spigola e la passera. Questi taxa sono stati rinvenuti con bassi valori di densità.



6. Abbondanze percentuali calcolate sulle densità totali di uova, cumulando i dati per campagna, separatamente per ciclo di monitoraggio. I numeri dopo le stagioni indicano la campagna di campionamento.

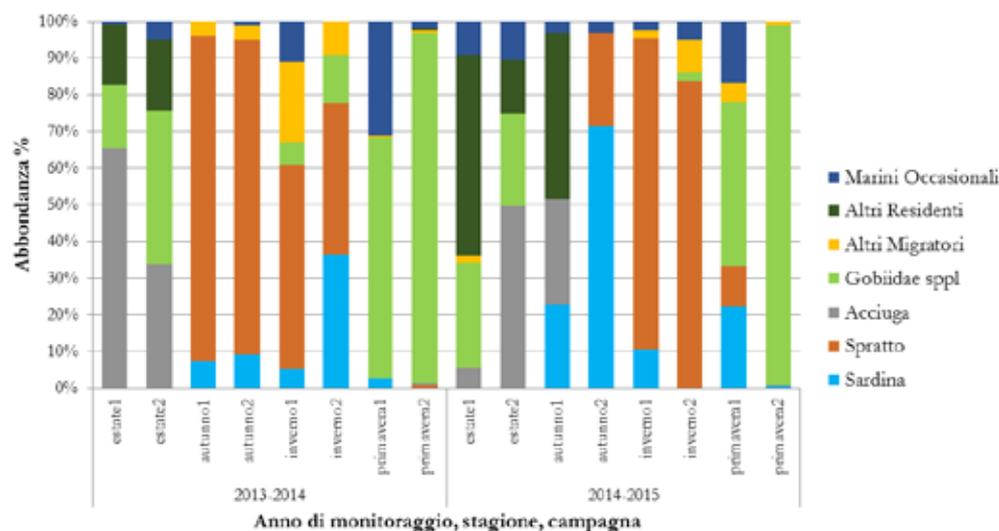


7. Abbondanze percentuali calcolate sulle densità totali di uova, cumulando i dati per stazione, separatamente per ciclo di monitoraggio.

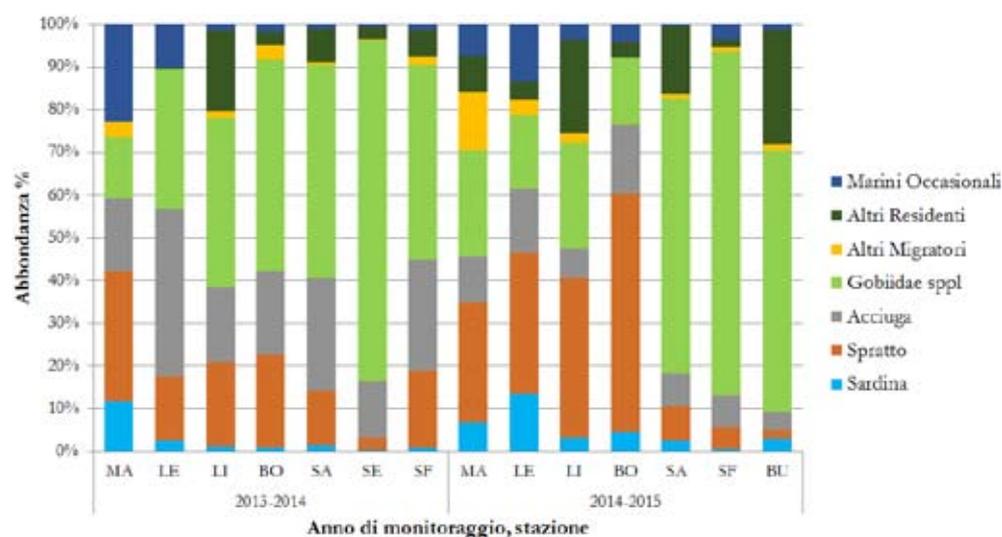


8. Densità medie del popolamento ittico totale e della componente rappresentata dai taxa marini (MM+MS) calcolate per campagna (A) e per stazione (B), separatamente per ciascun ciclo di monitoraggio. I numeri dopo le stagioni indicano la campagna di campionamento.

9. Abbondanze percentuali calcolate sulle densità totali delle larve, cumulando i dati per campagna, separatamente per ciclo di monitoraggio. I numeri dopo le stagioni indicano la campagna di campionamento.



10. Abbondanze percentuali calcolate sulle densità totali delle larve, cumulando i dati per stazione, separatamente per ciclo di monitoraggio.



In entrambi i periodi di studio, ma in particolare nel secondo ciclo, si osserva un trend di progressiva diminuzione dell'importanza delle larve dei taxa residenti passando dalle stazioni lagunari a quelle marine, con un aumento corrispondente dell'abbondanza percentuale dei taxa marini (migratori e occasionali) (figura 10).

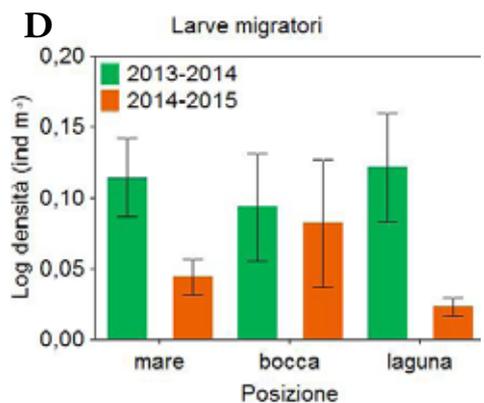
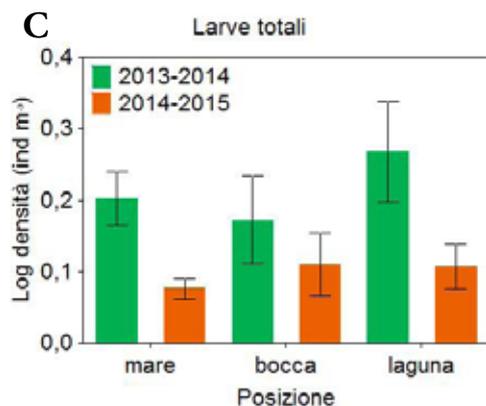
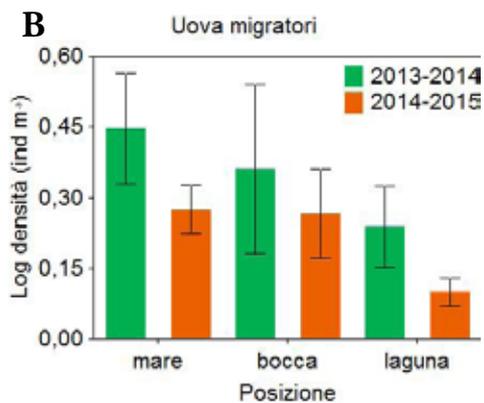
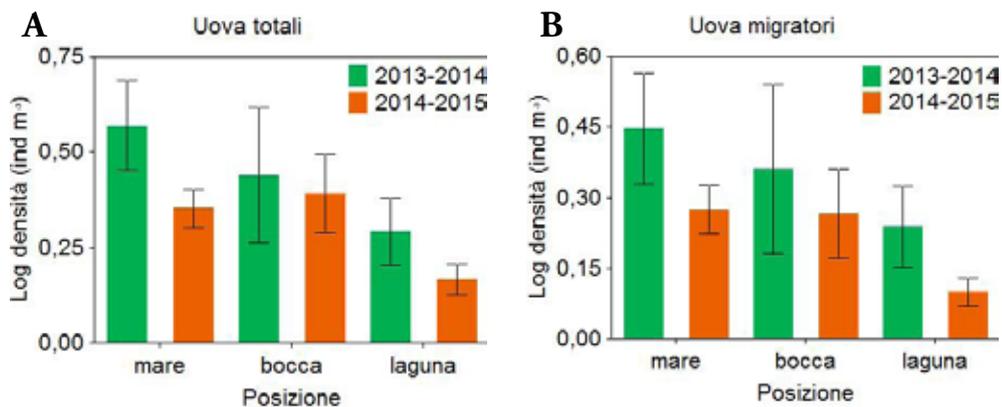
Per evidenziare eventuali differenze di distribuzione dell'ittioplankton tra il mare e la laguna, sono stati confrontati i dati medi annuali di densità dopo aver raggruppato le stazioni sulla base della loro posizione relativamente alla bocca di porto.

Nel caso delle densità di uova totali, i test effettuati mediante GLM hanno evidenziato differenze significative sia tra posizioni che tra i due periodi di monitoraggio (tabella 3): le densità sono risultate sempre minori nelle stazioni lagunari, rispetto a quelle di bocca e di mare, e nel secondo ciclo rispetto al primo ciclo di indagine (figura 11A). Lo stesso pattern è evidenziabile se si considerano le densità delle uova dei soli migratori marini (figura 11B, tabella 3).

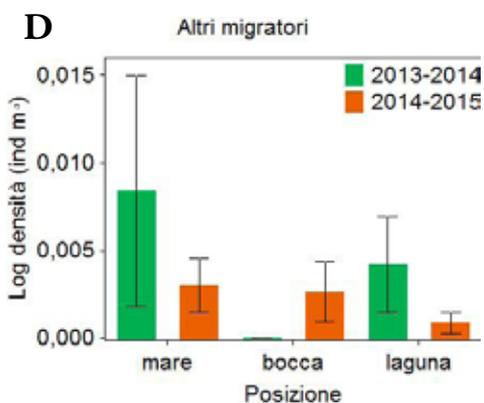
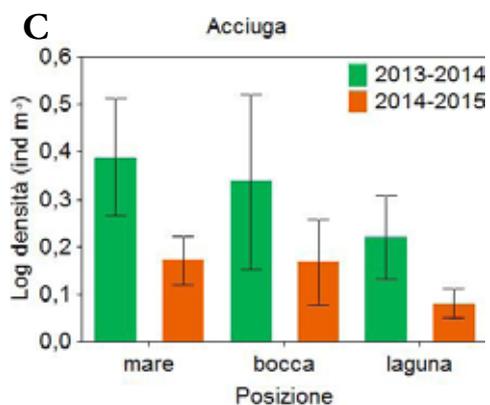
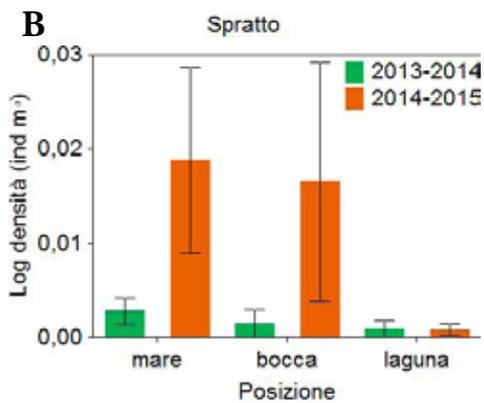
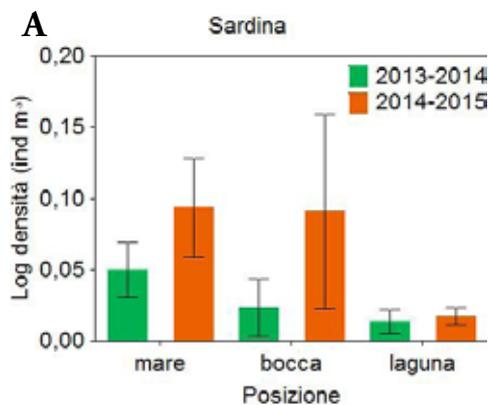
Differenze significative fra le posizioni e fra i due anni di indagine sono state osservate

Tabella 3. Risultati del test chi-quadro sulla devianza per i GLM per i confronti tra cicli di monitoraggio e posizioni, effettuato sulle densità di uova e larve relativamente all'intero popolamento e alla sola componente dei migratori marini \* = test significativo per  $P < 0.05$ , n.s. = test non significativo.

Fattore	Uova totali	Uova Migratori	Larve totali	Larve migratori
Posizione	*	*	*	n.s.
Ciclo	*	*	*	*
PosizionexCiclo	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

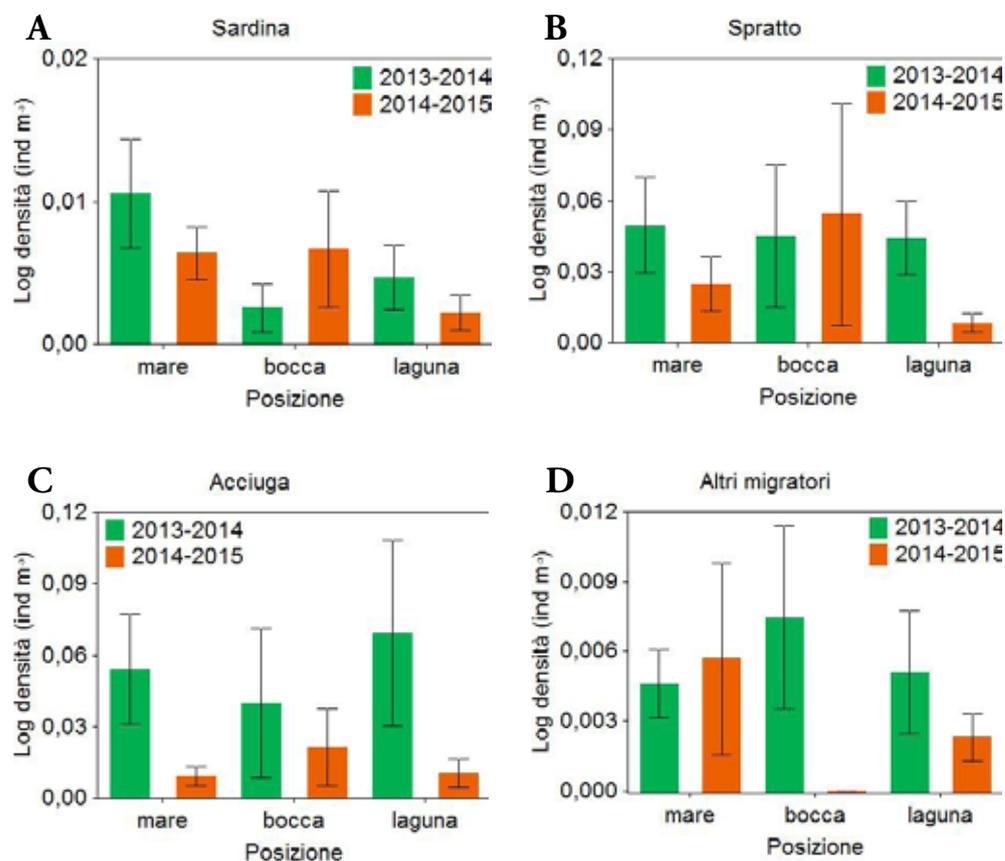


11. Densità medie ( $\pm$ E.S.) annuali delle uova e delle larve campionate nelle sette stazioni raggruppate in base alla posizione: mare (MA, LE, LI), bocca (BO), laguna (2013/2014: SA, SE, SF; 2014/2015: SA, SF, BU).



12. Densità medie ( $\pm$ E.S.) annuali delle uova dei taxa di migratori marini, campionati nelle sette stazioni raggruppate per posizione: mare (MA, LE, LI), bocca (BO), laguna (2013/2014: SA, SE, SF; 2014/2015: SA, SF, BU).

13. Densità medie ( $\pm$ E. S.) annuali delle larve dei taxa migratori marini, campionate nelle sette stazioni raggruppate per posizione: mare (MA, LE, LI), bocca (BO), laguna (2013/2014: SA, SE, SF; 2014/2015: SA, SF, BU).



anche per le densità totali di larve (figura 11C, tabella 3), con densità maggiori in laguna e nel primo rispetto al secondo periodo di indagine. Infine, nel caso delle larve dei soli migratori marini, le differenze sono risultate significative fra cicli ma non fra posizioni, con densità maggiori nel primo ciclo di monitoraggio (figura 11D, tabella 3). Il confronto delle densità fra posizioni e fra anni è stato effettuato anche per le tre specie di migratori giovanili che sono risultate più abbondanti in entrambi gli anni di monitoraggio. Nel caso delle uova di sardina le densità sono risultate significativamente maggiori in mare piuttosto che in laguna, mentre non sono state osservate differenze significative fra i due periodi di indagine (figura 12A, tabella 4). Differenze interannuali significative sono invece evidenziabili per le uova di acciuga, con densità maggiori nel primo ciclo di monitoraggio; in questo caso però, non sono osservabili differenze fra le posizioni (figura 12C, tabella 4). Invece, non sono state rilevate differenze significative nella distribuzione delle uova di spratto, né in termini di posizione né in termini di anno di indagine (figura 12B, tabella 4).

Tabella 4. Risultati del test chi-quadro sulla devianza per i GLM per i confronti tra cicli di monitoraggio e posizioni, effettuato sulle densità di uova di migratori marini relativamente ai taxa rinvenuti con le abbondanze maggiori. \* = test significativo per  $P < 0.05$ , n.s. = test non significativo.

Per quanto riguarda invece la distribuzione delle larve, sono evidenziabili differenze significative soltanto nel caso di acciuga e limitatamente al confronto fra anni: con densità maggiori nel primo rispetto al secondo ciclo di indagine (figura 13C, tabella 5). Infine, sono stati calcolati e confrontati gli indici di colonizzazione per i due periodi di monitoraggio, separatamente per le uova e per le larve (figura 14). L'indice è stato calcolato per il popolamento totale, per l'intera componente dei migratori marini e per i

Fattore	Sardina	Spratto	Acciuga	Altri migratori
Posizione	*	n.s.	n.s.	n.s.
Ciclo	n.s.	n.s.	*	n.s.
Posizione x Ciclo	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Fattore	Sardina	Spratto	Acciuga	Altri migratori
Posizione	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ciclo	n.s.	n.s.	*	n.s.
PosizionexCiclo	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

taxa di migratori presenti con le densità maggiori. Nel caso delle uova, l'indice di colonizzazione è risultato sempre inferiore a 0.5, mentre per le larve l'indice di è risultato superiore a 0.5 nel caso dell'intero popolamento, come conseguenza del contributo dei taxa residenti. Nel caso dei taxa migratori marini sono stati osservati valori dell'indice di colonizzazione superiori a 0,5 (accumulo relativo di larve nelle acque lagunari) in entrambi i cicli di monitoraggio soltanto nel caso dell'acciuga (figura 14B). La componente dei migratori marini nel suo complesso non sembra invece mostrare una preferenza né per le acque marine né per quelle lagunari.

### Monitoraggio delle forme postlarvali e giovanili

L'analisi dei campioni raccolti monitoraggio nel 2013-2014 ha portato all'identificazione di 34 specie ittiche, mentre nel 2014-2015 le specie ittiche identificate sono state 32, alle quali si devono però aggiungere due taxa (post-larve di Blenniidae e di Gobiidae) per i quali non si è riusciti a spingere l'identificazione oltre il livello di famiglia (tabella 6). Nel complesso le specie in comune ad entrambi i cicli di monitoraggio sono risultate 25. Durante il secondo periodo di studio non sono stati campionati individui di *Gobius niger*, *Gobius paganellus*, *Zosterisessor ophiocephalus*, *Chelon labrosus*, *Sciaena umbra*, *Buglossidium luteum*, *Monochirus hispidus*, *Diplodus puntazzo* ed *Hippocampus guttulatus*, mentre sono stati rinvenuti individui di *Arnoglossus kessleri*, *Pomatoschistus canestrini*, *Gaidropsarus* sp., *Mugil cephalus*, *Pomatomus saltatrix*, *Solea solea* e *Boops boops*, non rinvenuti nel primo ciclo di indagine.

Considerando i soli migratori marini, le specie presenti in entrambi i cicli di monitoraggio sono state 11, a cui si devono aggiungere *C. labrosus* nel primo ciclo, *Mugil cephalus* e *S. solea* nel secondo ciclo (tabella 6).

Dei 43 taxa campionati durante i due anni di monitoraggio, il 33% apparteneva alla guild dei migratori marini (figura 15), mentre il 39% ed il 28% rispettivamente alla guild dei residenti e dei marini occasionali (tabella 6).

Nel primo ciclo di indagine sono stati osservati valori di densità relativamente bassi durante i campionamenti estivi ed autunnali (figura 16A), con una dominanza nel popolamento ittico delle specie residenti (figura 17). Il picco di densità è stato rilevato a fine primavera (figura 16A), quando gli habitat di basso fondale sono stati colonizzati dai giovanili di migratori marini: soprattutto cefali (*Liza aurata*, *L. ramada* e, in misura minore, *L. saliens*) e orata (figura 17). Il picco assoluto di densità è stato osservato nel secondo

Tabella 5. Risultati del test chi-quadro sulla devianza per i GLM per i confronti tra cicli di monitoraggio e posizioni, effettuato sulle densità di larve di migratori marini relativamente ai taxa rinvenuti con le abbondanze maggiori. \* = test significativo per  $P < 0.05$ , n.s. = test non significativo.

14. Confronto fra l'indice di colonizzazione delle uova (A) e delle larve (B), calcolato per i due anni di monitoraggio. Vengono considerati il popolamento totale, il totale dei migratori marini, i singoli taxa più abbondanti di migratori marini e i taxa di migratori meno abbondanti raggruppati assieme (altri migratori).

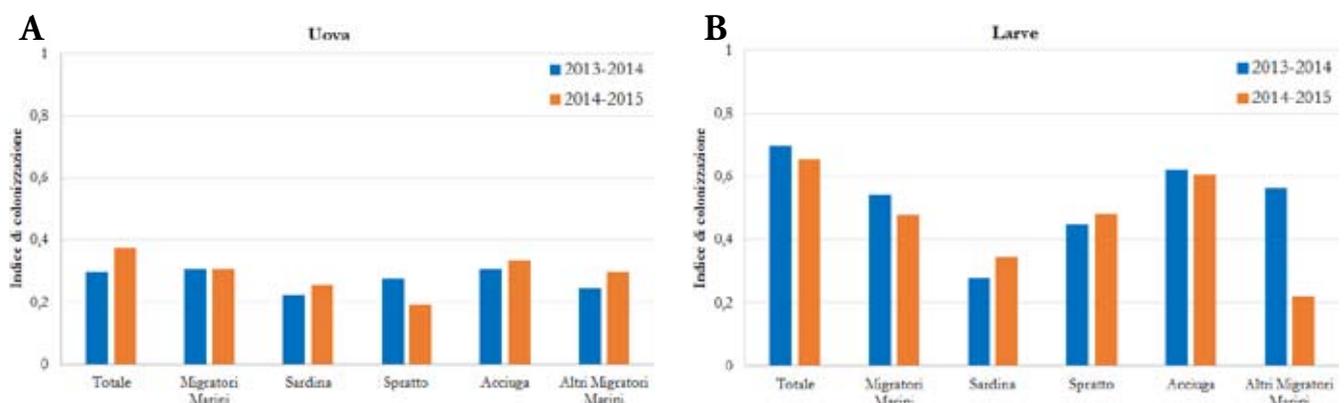
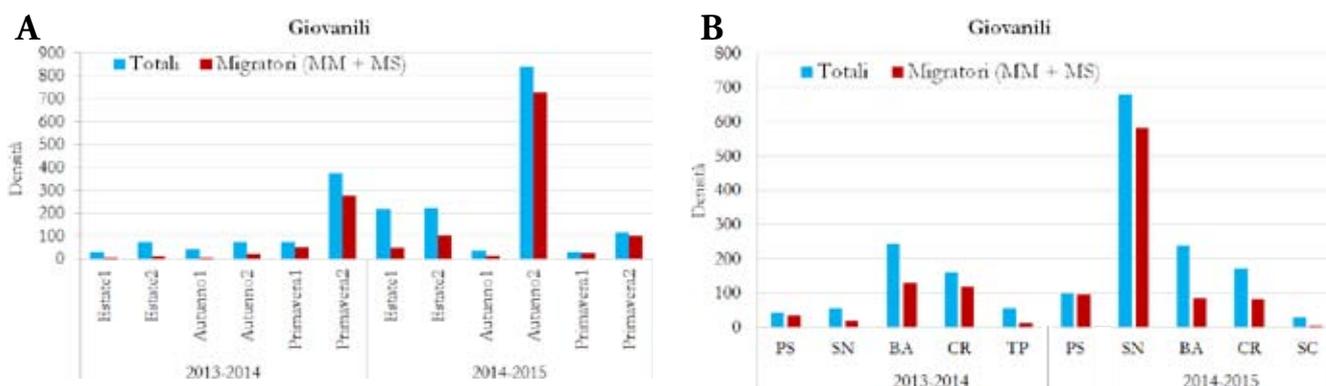


Tabella 6. Lista dei taxa di teleostei catturati durante di due anni di monitoraggio con la sciabica. In grassetto sono evidenziati i migratori marini.

FAMIGLIA	SPECIE	Guild	SIGLA	2013-2014	2014-2015
Atherinidae	<i>Atherina boyeri</i>	R	ABO	X	X
<b>Belontiidae</b>	<b><i>Belone belone</i></b>	<b>MM</b>	<b>BBE</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Blenniidae	<i>Salaria pavo</i>	R	SPA	X	X
Blenniidae	Post-larva Blenniidae	R			X
Bothidae	<i>Arnoglossus kessleri</i>	MS	AKE		X
Callionymidae	<i>Callionymus risso</i>	MS	CRI	X	X
<b>Clupeidae</b>	<b><i>Sardina pilchardus</i></b>	<b>MM</b>	<b>SPI</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Clupeidae</b>	<b><i>Sprattus sprattus</i></b>	<b>MM</b>	<b>SSP</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Cyprinodontidae	<i>Aphanius fasciatus</i>	R	APFA	X	X
<b>Engraulidae</b>	<b><i>Engraulis encrasicolus</i></b>	<b>MM</b>	<b>EEN</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Gobiidae	<i>Gobius niger</i>	R	GNI	X	
Gobiidae	<i>Gobius paganellus</i>	R	GPA	X	
Gobiidae	<i>Knipowischia panizgae</i>	R	KPA	X	X
Gobiidae	<i>Pomatoschistus canestrini</i>	R	PCA		X
Gobiidae	<i>Pomatoschistus marmoratus</i>	R	PMA	X	X
<b>Gobiidae</b>	<b><i>Pomatoschistus minutus</i></b>	<b>MM</b>	<b>PMI</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Gobiidae	<i>Zosterisessor ophiocephalus</i>	R	ZOP	X	
Gobiidae	Post-larva Gobiidae	R			X
Lotidae	<i>Gaidropsarus</i> sp.	MS	GBI		X
<b>Moronidae</b>	<b><i>Dicentrarchus labrax</i></b>	<b>MM</b>	<b>DLA</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Mugilidae</b>	<b><i>Chelon labrosus</i></b>	<b>MM</b>	<b>CLA</b>	<b>X</b>	
<b>Mugilidae</b>	<b><i>Liza aurata</i></b>	<b>MM</b>	<b>LAU</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Mugilidae</b>	<b><i>Liza ramada</i></b>	<b>MM</b>	<b>LRA</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Mugilidae</b>	<b><i>Liza saliens</i></b>	<b>MM</b>	<b>LSA</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Mugilidae</b>	<b><i>Mugil cephalus</i></b>	<b>MM</b>	<b>MCE</b>		<b>X</b>
<b>Mullidae</b>	<b><i>Mullus surmuletus</i></b>	<b>MM</b>	<b>MSU</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Poeciliidae	<i>Gambusia holbrooki</i>	R	GHO	X	X
Pomatomidae	<i>Pomatomus saltatrix</i>	MS	PSA		X
Sciaenidae	<i>Sciaena umbra</i>	MS	SUM	X	
Sciaenidae	<i>Umbrina cirrosa</i>	MS	UCI	X	X
Scophthalmidae	<i>Scophthalmus rhombus</i>	MS	SRH	X	X
Soleidae	<i>Buglossidium luteum</i>	MS	BLU	X	
Soleidae	<i>Monochirus hispidus</i>	MS	MHI	X	
<b>Soleidae</b>	<b><i>Solea solea</i></b>	<b>MM</b>	<b>SSO</b>		<b>X</b>
Sparidae	<i>Boops boops</i>	MS	BBO		X
Sparidae	<i>Diplodus puntazzo</i>	MS	DPU	X	
<b>Sparidae</b>	<b><i>Sparus aurata</i></b>	<b>MM</b>	<b>SAU</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Syngnathidae	<i>Hippocampus guttulatus</i>	R	HGU	X	
Syngnathidae	<i>Nerophis ophidion</i>	R	NOP	X	X
Syngnathidae	<i>Syngnathus abaster</i>	R	SAB	X	X
Syngnathidae	<i>Syngnathus taenionotus</i>	R	STA	X	X
Syngnathidae	<i>Syngnathus typhle</i>	R	STY	X	X
Triglidae	<i>Chelidonichthys lucerna</i>	MS	CLU	X	X

15. Giovanili di acciuga (particolare del capo)(A), sogliola (B) e orata (C).





campionamento autunnale del 2015 (figura 16A), quando il popolamento ittico è risultato dominato dalle postlarve di sardina (figura 17). Anche durante il secondo ciclo di indagine, i campioni estivi sono risultati dominati dalle reclute delle specie residenti e quelli primaverili dai giovanili delle specie marine migratrici (figura 17). Nel primo ciclo di monitoraggio, le densità medie più elevate sono state osservate nelle stazioni lagunari BA e CR (figura 1); nel secondo ciclo invece, le densità medie sia del popolamento totale che della sola componente marina (MM+MS) sono risultate di gran lunga maggiori in una delle due stazioni fuori della bocca di porto (SN; figura 16B).

Tra le specie residenti, presenti nei campioni in differenti stadi di sviluppo (postlarve, giovanili e adulti), quelle maggiormente rappresentate nei campioni sono risultate essere il nono, che caratterizza il popolamento ittico in estate e in autunno, e il latterino, presente in tutte le stagioni in entrambi i cicli di indagine (figura 17). Mentre il nono è stato campionato esclusivamente nelle stazioni lagunari, il latterino è stato rinvenuto in tutte le stazioni di indagine (figura 18).

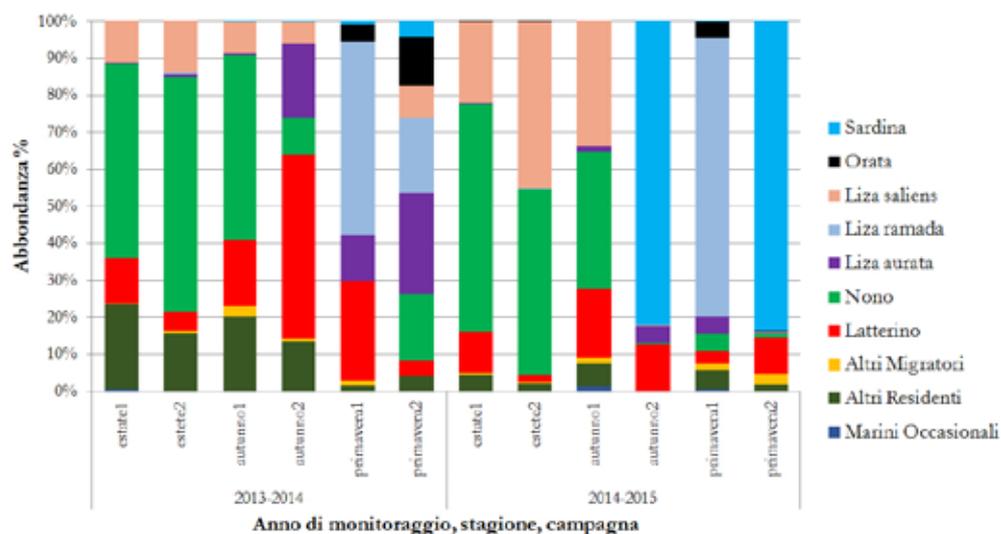
Solo alcune specie di migratori marini sono risultate presenti negli habitat di basso fondale con abbondanze significative. I giovanili di *L. aurata* hanno contribuito a caratterizzare il popolamento ittico in autunno e in primavera (figura 17); se si considera l'intero biennio di monitoraggio, questo mugilide è stato rinvenuto in tutte le stazioni di indagine (figura 18). Le presenze di *L. ramada* sono risultate limitate ai campioni primaverili (figura 17); questa specie ha contribuito a caratterizzare il popolamento ittico delle stazioni CR (primo ciclo di monitoraggio) e PS (primo e secondo ciclo) (figura 18). Anche gli avannotti di orata sono risultati colonizzare le aree di basso fondale durante i mesi primaverili (figura 17). I giovanili di *L. saliens* sono stati invece rinvenuti nei campioni dalla tarda primavera all'autunno (figura 17); le presenze di questo mugilide sono risultate caratterizzare soprattutto le stazioni lagunari BA e CR (figura 18). Infine, le presenze di postlarve e giovanili di sardina sono risultate dominare il popolamento ittico delle stazioni marine (PS e SN) nel tardo autunno e nella tarda primavera del secondo periodo di indagine (figura 17, 18).

Altre specie di migratori marini giovanili (*Belone belone*, *C. labrosus*, *D. labrax*, *E. encrasicolus*, *M. cephalus*, *Mullus surmuletus*, *Pomatoschistus minutus*, *S. sprattus* e *S. solea*; raggruppati come "altri migratori" nelle figure 17 e 18) sono stati rinvenuti soltanto occasionalmente nelle stazioni di basso fondale e con bassi valori di densità.

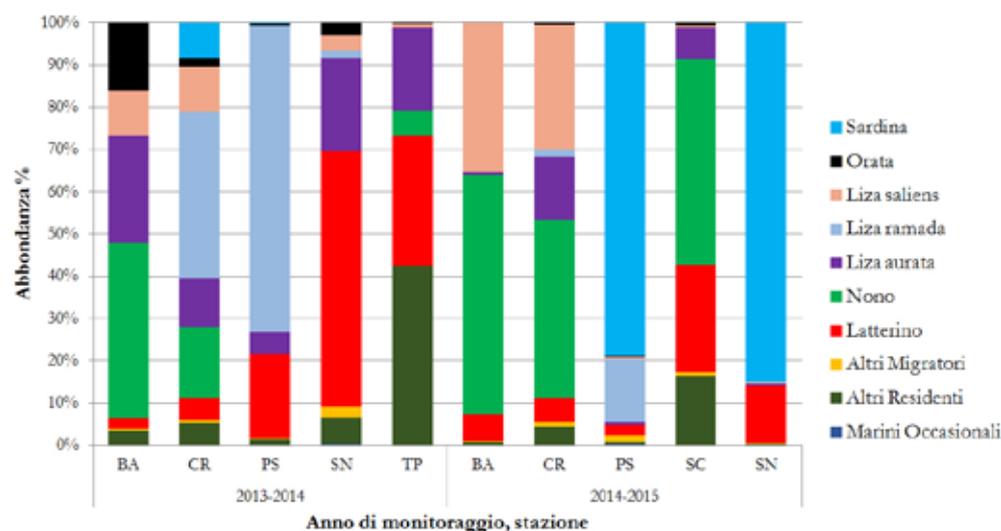
Come per le uova e le larve, anche per i giovanili sono stati confrontati i dati medi annuali di densità dopo aver raggruppato le stazioni sulla base della posizione ("mare" e "laguna") (figura 19). Sia nel caso dell'intero popolamento ittico, sia considerando le densità totali dei soli migratori marini, risulta significativa l'interazione tra posizione ed anno (tabella 7). Sono stati osservati valori medi maggiori nelle stazioni lagunari rispetto a quelle marine, in entrambi i cicli di monitoraggio nel caso delle densità totali, soltanto nel primo ciclo di studio nel caso dei migratori giovanili (figura 19).

16. Densità medie (ind 100 m<sup>-2</sup>) del popolamento ittico totale e della componente rappresentata dai giovanili di taxa marini (MM+MS) calcolate per campagna (A) e per stazione (B), separatamente per ciascun ciclo di monitoraggio. I numeri dopo le stagioni indicano la campagna di campionamento.

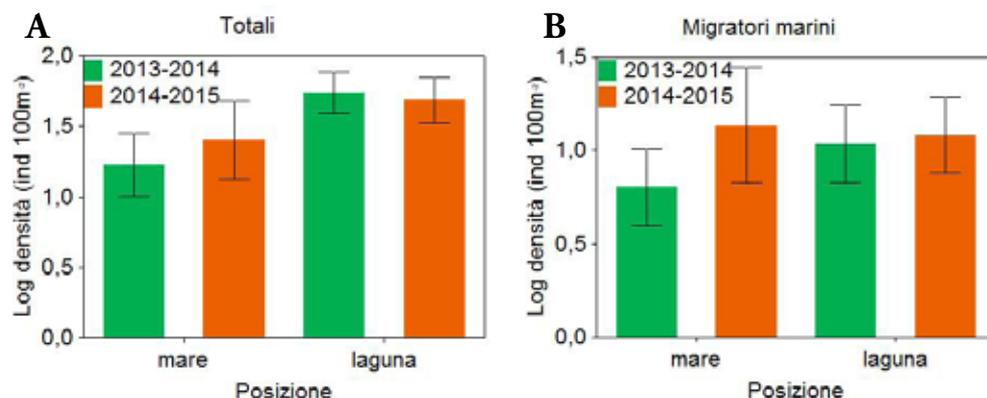
17. Abbondanze percentuali calcolate sulle densità totali dei campioni di sciabica, cumulando i dati per campagna, separatamente per ciclo di monitoraggio. I numeri dopo le stagioni indicano la campagna di campionamento.



18. Abbondanze percentuali calcolate sulle densità totali dei campioni di sciabica, cumulando i dati per stazione, separatamente per ciclo di monitoraggio.



19. Confronto dei campionamenti con sciabica tra i due cicli di monitoraggio delle densità medie ( $\pm$ E.S.) totali e dei soli migratori giovanili calcolate dopo aver raggruppato le stazioni per posizione: mare (PS e SN) e laguna (2013/2014: BA, CR, TP; 2014/2015: BA, CR, SC).

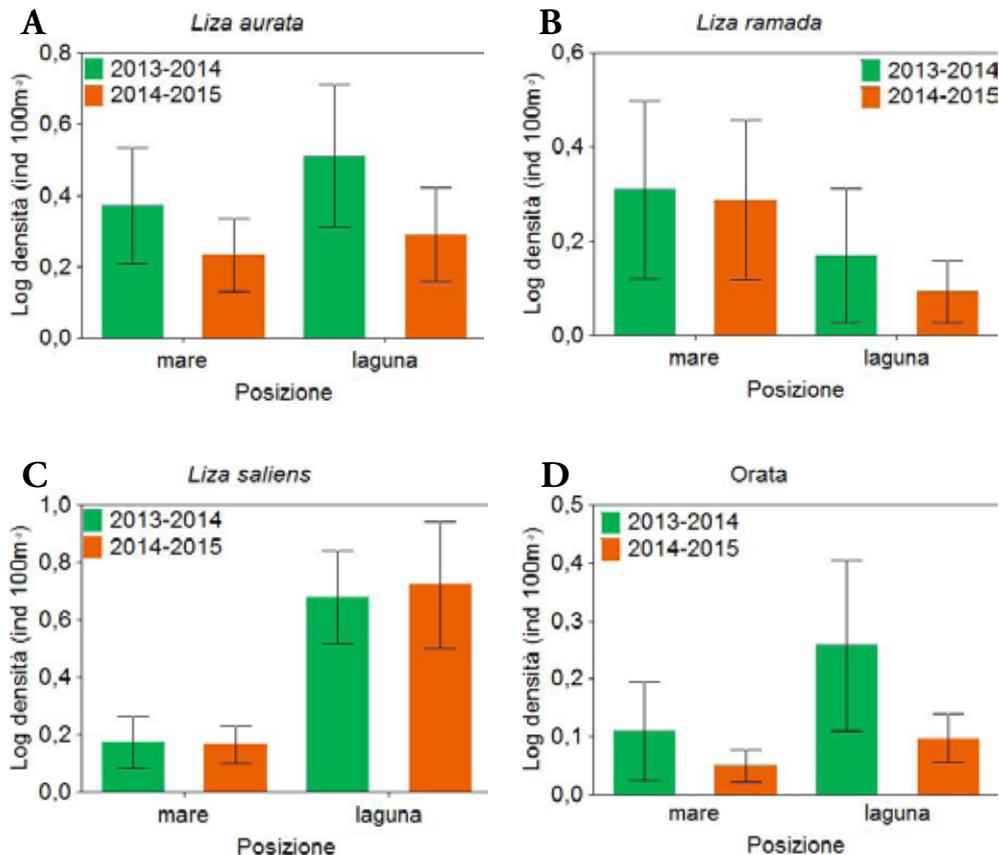


Fattore	Densità Totali	Densità Migratori Marini	<i>L. aurata</i>	<i>L. ramada</i>	<i>L. saliens</i>	Orata
Posizione	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.
Ciclo	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
PosizionexCiclo	*	*	n.s.	*	n.s.	*

Tabella 7. Risultati del test chi-quadro sulla devianza per i GLM per i confronti tra cicli di monitoraggio e posizioni, effettuato sulle densità dell'intero popolamento neotonico e su quelle dei migratori marini (in toto e specie più significative). \* = test significativo per  $P < 0,05$ , n.s. = test non significativo.

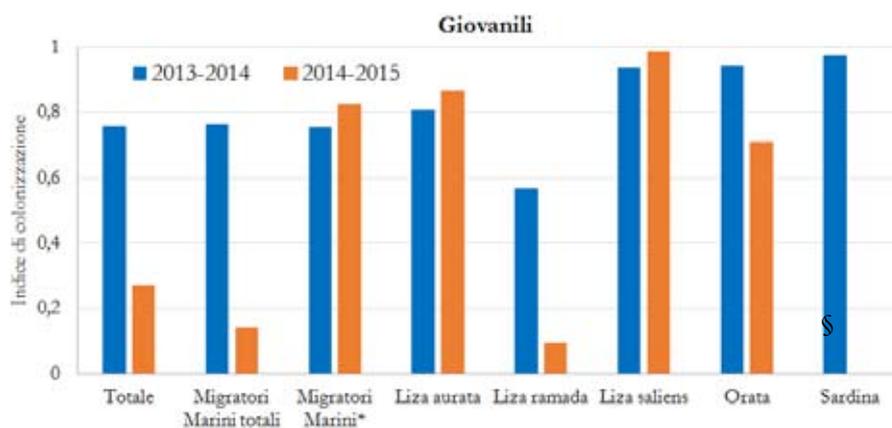
Sono state inoltre indagate le differenze tra posizioni e tra cicli di monitoraggio relativamente alle specie di migratori marini che sono state rinvenute nei campioni con le maggiori abbondanze (figura 20, tabella 7). Sia nel caso di *L. saliens* che di *L. aurata*, le densità sono risultate significativamente maggiori in laguna piuttosto che in mare, in entrambi i periodi annuali di indagine (tabella 7, figura 20C, A). Nel caso di *L. ramada* e di orata, è risultata invece significativa l'interazione tra posizione ed anno (tabella 7). Per quanto riguarda *L. ramada*, si osservano densità maggiori in mare in entrambi gli anni di indagine, ma queste differenze fra posizioni risultano più accentuate nel secondo ciclo di monitoraggio (figura 20B). Infine, le densità di orata sono risultate maggiori in laguna rispetto al mare in entrambi i cicli annuali di monitoraggio; nel complesso, le densità di questa specie sono risultate maggiori nel primo rispetto al secondo ciclo annuale (figura 20D).

Infine, sono stati calcolati gli indici di colonizzazione per i due periodi di monitoraggio, considerando le abbondanze dell'intero popolamento, le abbondanze totali di migratori marini e le abbondanze dei taxa più abbondanti di migratori giovanili (figura 21). L'indice di colonizzazione risulta molto condizionato dalle densità eccezionalmente elevate di postlarve di sardina riscontrate nelle stazioni marine a fine autunno e in tarda primavera nel secondo ciclo annuale di monitoraggio (2014-2015 in figura 21). L'indice di colonizzazione relativo alle densità dei migratori, ricalcolato dopo aver escluso la sardina, porta infatti ad ottenere valori dell'indice superiori a 0,5 e confrontabili con quelli



20. Confronto tra i due cicli di monitoraggio delle densità medie ( $\pm$ E.S.) delle specie di migratori giovanili più rappresentative calcolate dopo aver raggruppato le stazioni per posizione.

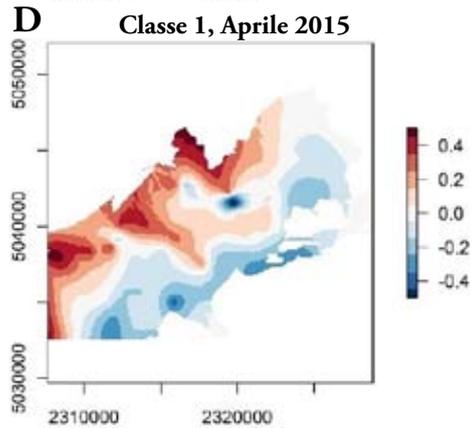
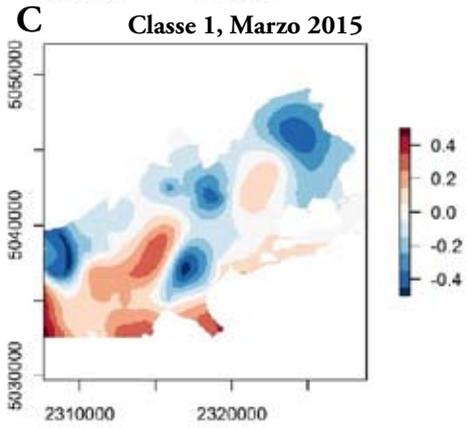
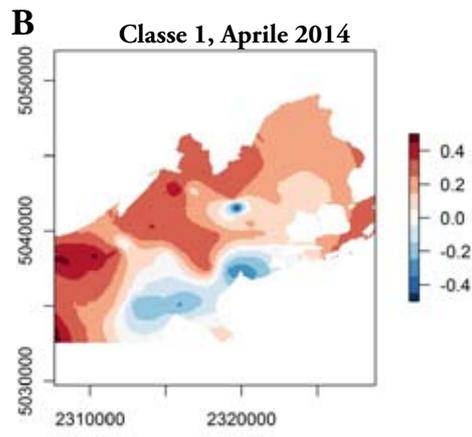
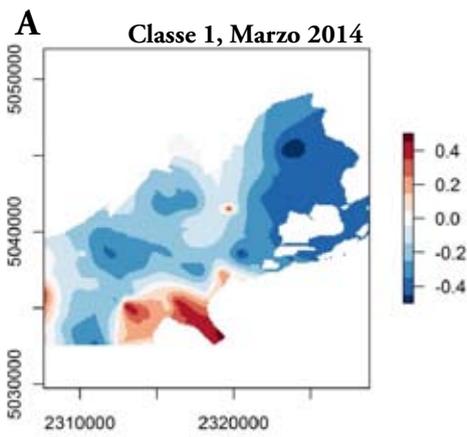
21. Confronto fra gli indici di colonizzazione relativi al popolamento di basso fondale calcolati per i due anni di monitoraggio. Vengono considerati il popolamento totale, il totale dei migratori marini con e senza (\*) la sardina, i singoli taxa più abbondanti di migratori giovanili. Il valore dell'indice per la sardina nel secondo anno di monitoraggio (§) non risulta visibile in nel grafico in quanto uguale a 0.0001.



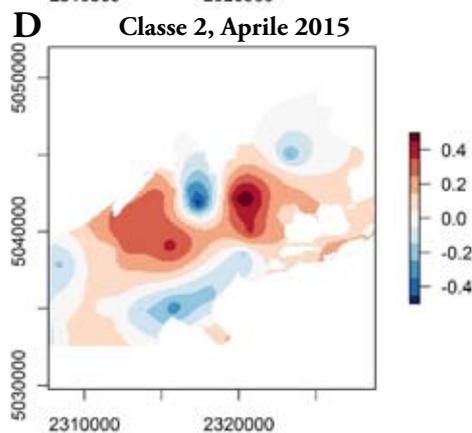
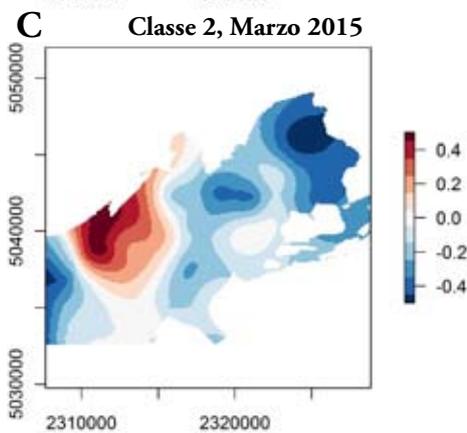
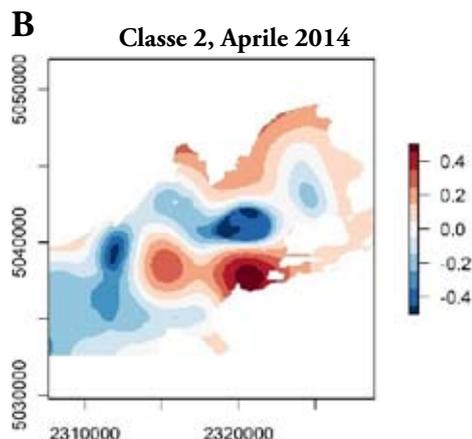
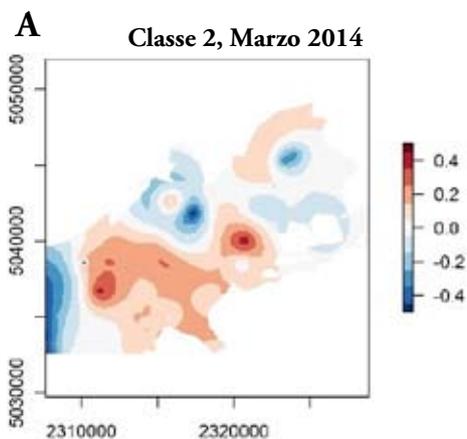
osservati nel primo ciclo di indagine (2013-2014 in figura 21). Se si considerano i singoli taxa più abbondanti, si osserva un complessivo accumulo di individui in laguna per entrambi i cicli di monitoraggio nel caso di *L. aurata*, *L. saliens* e orata. Per *L. ramada* e la sardina si osserva invece un pattern diverso nei due periodi, con valori dell'indice superiori a 0,5 nel primo ciclo e valori invece molto bassi nel secondo ciclo di monitoraggio (figura 21).

### Applicazione dei modelli di distribuzione dell'habitat

Le mappe interpolate dei parametri ambientali rilevati nelle campagne primaverili 2014 e 2015 sono state utilizzate come input per i modelli di distribuzione, producendo mappe di distribuzione potenziale (probabilità di presenza stimata dai modelli di distribuzione). Queste stime, che rappresentano una quantificazione dell'idoneità dell'habitat alla luce delle condizioni ambientali, sono state ottenute per ciascuna campagna di rilievo dei parametri ambientali (5 occasioni di campionamento). Queste mappe sono state combinate in rappresentazioni medie mensili (marzo e aprile) per ciascun ciclo di indagine. Sono state poi analizzate le variazioni di ogni distribuzione mensile rispetto alla distribuzione media calcolata per il periodo di riferimento (2001-2012). Per quanto riguarda i giovanili di orata, le differenze riscontrate rispetto al periodo di riferimento sono state visualizzate come anomalie nella probabilità di presenza: un'anomalia positiva (in rosso sulle mappe) indica condizioni più favorevoli, mentre valori negativi (in blu) evidenziano condizioni meno idonee rispetto alle condizioni medie. Le anomalie delle probabilità di presenza per l'orata di dimensioni inferiori a 20 mm sono presentate in figura 22. In entrambi gli anni di monitoraggio, la bontà delle condizioni ambientali (stimata attraverso la probabilità di presenza predetta dal modello di distribuzione) a marzo risulta generalmente inferiore rispetto a quella del periodo di riferimento nella maggior parte del bacino nord. Rappresenta un'eccezione la zona a maggiore influenza marina in prossimità della bocca di porto di Lido e la parte meridionale del bacino nord, dove la probabilità di presenza è risultata più elevata rispetto alla media 2001-2012. In particolare, per quanto riguarda il 2015, si può evidenziare che in marzo la probabilità di presenza media delle orate più piccole è più bassa rispetto a quella del periodo 2001-2012 in tutta la parte più prossima alla gronda e nella zona della bocca di porto, nei pressi di Sant'Erasmus, mentre le aree del canale portuale vero e proprio e le zone a sud di Venezia mostrano una probabilità di presenza più elevata rispetto alla media (figura 22C). La situazione si inverte in aprile rispetto a quanto riscontrato a marzo, con condizioni più favorevoli in tutte le zone a medio-alto livello di confinamento e una probabilità di presenza di poco inferiore alla media nella zona della bocca di porto, in entrambi i periodi di indagine. Confrontando i risultati dei due anni



22. Anomalia delle probabilità di presenza per l'orata appartenenti alla classe 1 (< 20 mm) a marzo (A) e ad aprile (B) del 2015 e di quelle appartenenti alla classe 1 a marzo (C) e ad aprile (D) del 2015 (differenza tra il 2014 e il 2015 rispetto al periodo 2001-2012).

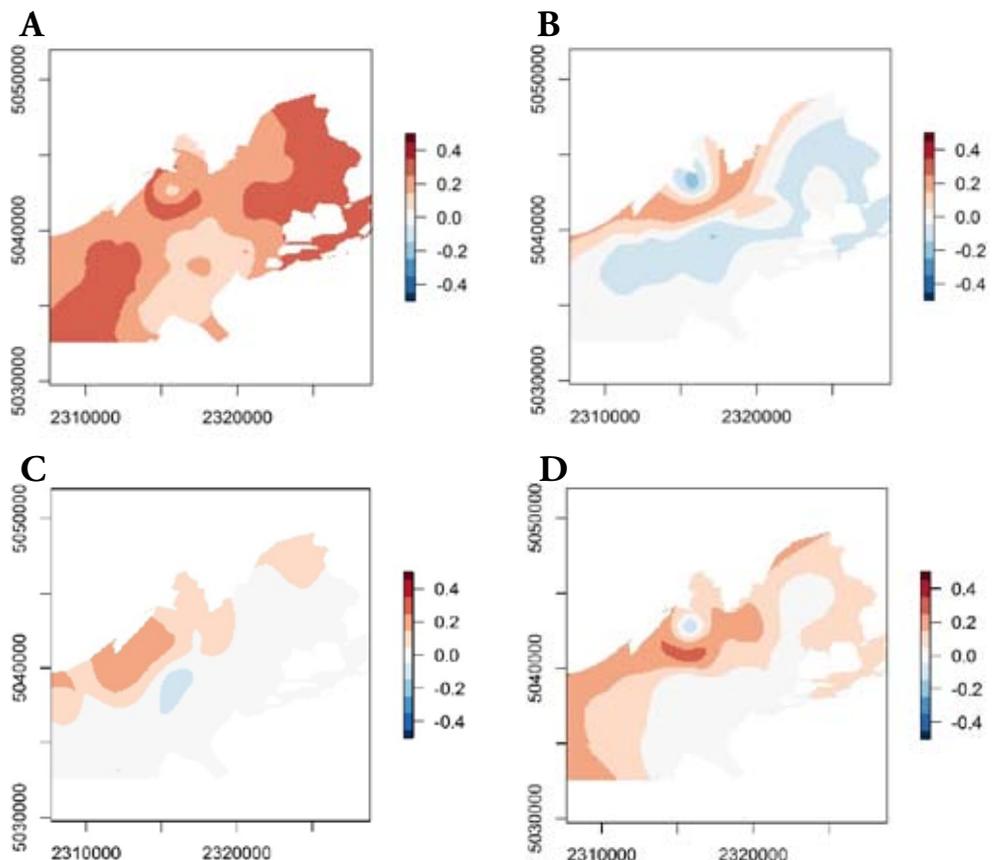


23. Anomalia delle probabilità di presenza per l'orata appartenenti alla classe 2 (> 20 mm) a marzo (a) e ad aprile (b) del 2014 e di quelle appartenenti alla classe 2 a marzo (c) e ad aprile (d) del 2015 (differenza tra il 2014 e il 2015 rispetto al periodo 2001-2012).

considerati, si nota come nel 2015 l'estensione delle aree idonee per le orate di minor dimensioni sia maggiore a marzo, e più concentrata nelle aree vicine alla gronda lagunare in aprile.

Per gli avannotti di orata di maggiori dimensioni, situazioni maggiormente favorevoli rispetto al periodo di riferimento sono state osservate in marzo 2014 e aprile 2015 (figura 23). In particolare, a marzo 2015 (figura 23C) la situazione sembra essere stata meno favorevole per le orate della seconda classe dimensionale a marzo (ad eccezione della zona tra Venezia e Tessera, che mostra valori di probabilità di presenza nettamente superiori a quelli medi del periodo di riferimento), mentre ad aprile dello stesso anno le aree a vocazionalità più elevata rispetto alla media hanno un'estensione maggiore rispetto a quanto riscontrato nello stesso mese del primo anno di monitoraggio (2014; figura 23B e D).

Per quanto riguarda i giovanili di passera, in figura 24 sono riportate le anomalie della probabilità di presenza nei mesi di marzo e aprile del 2014 e del 2015. In generale, le zone più confinate e prossime alla gronda lagunare, che sono le zone le più favorevoli ai giovanili di questa specie (Franco *et al.*, 2010; Zucchetta *et al.*, 2010), hanno una probabilità di presenza più elevata rispetto alla situazione media di riferimento. Emergono, tuttavia, delle differenze tra i due cicli di monitoraggio. Nel 2014, infatti, in marzo si registrano condizioni più favorevoli rispetto alla situazione media in tutto il sottobacino settentrionale, mentre ad aprile la probabilità di cattura di giovanili di passera è di poco più elevata della media nelle zone più confinate e influenzate dall'apporto di acque dolci, mentre risulta un po' più bassa della media nel resto del bacino. Nel 2015, invece, sia in marzo che in aprile si osserva un pattern simile: le condizioni ambientali sono più favorevoli della media nelle zone di gronda e risultano in linea con quanto atteso nelle zone a maggior afflusso marino.



24. Anomalia delle probabilità di presenza per la passera a marzo 2014 (A), aprile 2014 (B), marzo 2015 (C), aprile 2015 (D) (differenza con il periodo 2001-2012).

## Discussione e conclusioni

Nelle due tabelle seguenti sono esposti i calendari di comparsa rispettivamente di uova (tabella 8) e larve (tabella 9) nel popolamento ittioplanctonico della laguna di Venezia, comparando le informazioni reperibili in letteratura (Spartà, 1942; Varagnolo, 1964; Schreiber *et al.*, 1979; Ziraldo, 1996) con quelle relative al presente studio. Date le differenze nelle modalità e nelle periodicità di campionamento tra i diversi studi, questi confronti sono da ritenersi come soltanto indicativi.

Per quanto riguarda le uova (tabella 8), i dati ottenuti nell'ambito del primo (2013-2014) e del secondo ciclo (2014-2015) di monitoraggio sono stati confrontati con le informazioni riportate in Varagnolo (1964) e Ziraldo (1996). Nel complesso, si osserva una sovrapposizione dei calendari di comparsa delle uova dei diversi taxa nel plancton: specie migratrici come l'acciuga e lo spratto compaiono in laguna di Venezia quasi negli stessi periodi e anche altri taxa, come Gadidae, Callionymidae, Trachinidae e Soleidae, sono presenti negli stessi mesi in cui erano stati rinvenuti negli studi passati. Tuttavia in altri casi, ad esempio la sardina e la tracina, *Echiichthys vipera*, la presenza delle uova nel plancton campionato durante i monitoraggi risulta anticipata rispetto a quanto riscontrato in passato (Varagnolo, 1964; Ziraldo, 1996).

Nel caso delle larve (tabella 9), i calendari di comparsa dei diversi taxa risultano ancora più frammentari, principalmente come conseguenza sia della scarsità di informazioni pregresse che della periodicità stagionale dei campionamenti. Comunque, confrontando fra loro i due cicli annuali di monitoraggio, si osserva una sostanziale corrispondenza dei periodi di presenza per molti dei taxa rinvenuti.

L'analisi del popolamento ittioplanctonico rinvenuto in questi due anni di monitoraggio risulta in accordo sia con la composizione tassonomica di altre lagune costiere del Mar Mediterraneo (Perez-Ruzafa *et al.*, 2004), sia con i periodi riproduttivi di molte specie ittiche presenti in letteratura. I clupeidi (sardina e spratto), che in Mar Adriatico si riproducono durante la stagione autunnale ed invernale (Legovini, 2008; Teskeredzic, 1978; Tsikliras, 2010; Vucetic, 1971), sono stati catturati da ottobre a marzo per quanto riguarda le uova, e da ottobre ad aprile per quanto riguarda le larve (Ferreiro e Labarta, 1988). Anche per l'acciuga, presente in maniera considerevole nei campioni raccolti durante i periodi più caldi, i calendari di comparsa coincidono con i periodi riproduttivi presenti in letteratura (Ferreiro e Labarta, 1988; Whitehead *et al.*, 1988).

L'approccio adottato nel presente studio ha così permesso di ottenere un quadro maggiormente esaustivo rispetto alle conoscenze pregresse, evidenziando in particolare la esistenza di una marcata stagionalità nella composizione della comunità ittica, che vede le densità più elevate di taxa migratori nel periodo compreso tra il tardo inverno e la primavera, coerentemente con i cicli biologici delle specie campionate (Rossi, 1986; Rossi *et al.*, 1999).

I dati raccolti mostrano un significativo trasporto passivo all'interno della laguna, in entrambi gli anni di monitoraggio, di uova appartenenti a specie a riproduzione marina, come ad esempio acciughe, sardine e spratti. Nel caso dell'acciuga, è interessante segnalare la presenza di uova anche nella stazione più interna lungo il gradiente mare-laguna considerato. L'ingresso più significativo all'interno delle acque lagunari sembra però avvenire ad uno stadio più avanzato dello sviluppo ontogenetico (Perez-Ruzafa *et al.*, 2004). Oltre al trasporto passivo delle uova è stato infatti osservato un ancor più rilevante ingresso di larve, postlarve e soprattutto giovanili appartenenti a specie migratrici (ad esempio l'acciuga, la sardina, lo spratto, l'orata, la passera, le sogliole, i cefali) che, in entrambi i cicli di monitoraggio, si sono concentrati nelle acque lagunari con densità generalmente superiori a quelle registrate in mare, analogamente a quanto osservato per

Famiglia uova	Specie	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i>												
	<i>Sprattus sprattus</i>												
	<i>Sardinella aurita</i>												
Engraulidae	<i>Engraulis encrasicolus</i>												
Lotidae	<i>Gaidropsarus</i> sp.												
Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>												
	<i>Onos</i> sp.												
	<i>Trisopterus capelano</i>												
	<i>Gadidae</i> sp.												
Callionymidae	<i>Callionymus pusillus</i>												
	<i>Callionymidae</i> sp.												
Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>												
Sciaenidae	<i>Sciaenidae</i> sp.												
Sparidae	<i>Diplodus anularis</i>												
	<i>Diplodus puntazzo</i>												
	<i>Diplodus</i> sp.												
	<i>Litognathus mormyrus</i>												
	<i>Sparidae</i> sp.												
Trachinidae	<i>Echiichthys vipera</i>												
	<i>Trachinus draco</i>												
Mugilidae	<i>Liza saliens</i>												
	<i>Mugilidae</i> sp.												
Bothidae	<i>Arnoglossus laterna</i>												
	<i>Arnoglossus tbori</i>												
	<i>Arnoglossus</i> sp. pl.												
Scophthalmidae	<i>Scophthalmus rhombus</i>												
	<i>Psetta maxima</i>												
Pleuronectidae	<i>Platichthys flesus</i>												
Soleidae	<i>Microchirus variegatus</i>												
	<i>Buglossidium luteum</i>												
	<i>Pegusa impar</i>												
	<i>Pegusa</i> sp. pl.												
	<i>Solea solea</i>												
	<i>Solea</i> sp.												
Uranoscopidae	<i>Uranoscopus scaber</i>												
Mullidae	<i>Mullus barbatus</i>												
Carangidae	<i>Trachurus</i> sp.												
	<i>Trachurus trachurus</i>												
Labridae	<i>Coris julis</i>												
Ophidiidae	<i>Ophidium barbatum</i>												
Serranidae	<i>Serranus scriba</i>												
	<i>Serranus hepatus</i>												

Tabella 8. Confronto tra i calendari di comparsa di uova di teleostei marini nella laguna di Venezia. Rosso: Varagnolo (1966); Blu: Ziraldo (1996); Verde: B/9; Arancione: B/10.

Famiglia larve	Specie	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Atherinidae	<i>Atherina</i> sp.												
Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i>												
	<i>Sprattus sprattus</i>												
Engraulidae	<i>Engraulis encrasicolus</i>												
Serranidae	<i>Serranus hepatus</i>												
Scorpaenidae	<i>Scorpaena</i> sp.												
Callionymidae													
Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>												
	<i>Micromesistius punctatus</i>												
	<i>Gadidae</i> sp. pl.												
Syngnathidae	<i>Hippocampus guttulatus</i>												
	<i>Nerophis ophidion</i>												
	<i>Syngnathus abaster</i>												
	<i>Syngnathus</i> sp. pl.												
Triglidae													
Blenniidae													
Trachinidae	<i>Trachinus</i> sp.												
Carangidae	<i>Carangidae</i> sp.												
	<i>Trachurus trachurus</i>												
Gobiidae													
Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>												
Scophthalmidae													
Sciaenidae													
Sparidae	<i>Sparus aurata</i>												
	Sparidae sp.												
	<i>Diplodus</i> sp. pl.												
Mugilidae	<i>Chelon labrosus</i>												
	Mugilidae sp. pl.												
Bothidae	<i>Arnoglossus laterna</i>												
	<i>Arnoglossus</i> sp. pl.												
Pleuronectidae	<i>Platichthys flesus</i>												
Soleidae	<i>Buglossidium luteum</i>												
	<i>Microbirus</i> sp.												
	<i>Pegusa impar</i>												
	<i>Pegusa</i> sp.												
	<i>Solea solea</i>												

Tabella 9. Confronto tra i calendari di comparsa di larve di teleostei marini nella laguna di Venezia. Azzurro: Spartà (1942); Viola: Schreiber et al. (1979); Verde: Studio B.6.72 B/9; Arancione: Studio B.6.72 B/10.

le coste atlantiche nord americane (Able *et al.*, 2006).

Nel complesso, in queste due fasi del monitoraggio è emersa una certa variabilità circa le specie che compongono la comunità ittica e le loro densità, sia considerando la componente ittioplanctonica che quella giovanile. Tale variabilità potrebbe essere imputabile ad oscillazioni naturali delle condizioni meteo-climatiche che possono influenzare il successo riproduttivo e il reclutamento degli stock marini.

Dai dati raccolti sembra dunque emergere come i tre stadi ontogenetici analizzati (uova, larve e giovanili) mostrino differenti comportamenti durante la fase di migrazione in laguna a seconda dei differenti taxa rinvenuti: mentre acciughe sardine e spratti sembrano entrare in laguna già allo stadio di uovo o larva, altre specie molto comuni nelle acque lagunari, come l'orata, sembrano completare in mare la fase larvale per poi entrare in laguna solo allo stadio di postlarva/giovanile (Perez-Ruzafa *et al.*, 2004). Nonostante queste differenze tra le tre componenti, i risultati mostrano come, nel complesso, il processo di migrazione dal mare alla laguna attraverso la bocca di porto di Lido porti ad una significativa colonizzazione degli habitat lagunari del bacino nord della laguna di Venezia.

L'applicazione dei modelli di distribuzione alle due specie selezionate, orata e passera, ha contribuito a spiegare, in parte, la variabilità delle catture di migratori marini riportata in questo studio. Infatti, sulla base dei risultati prodotti dai modelli si può sottolineare come non solo esista un certo grado di variabilità inter-annuale nell'idoneità dei fondali lagunari ad ospitare i giovanili delle due specie esaminate, ma anche come la situazione possa rapidamente cambiare all'interno della finestra temporale di presenza all'interno del bacino lagunare (differenze tra marzo ed aprile di uno stesso anno). In generale, per la passera le condizioni ambientali registrate nei due anni di indagine non risultano affatto sfavorevoli rispetto a quelle medie stimate per il periodo 2001-2012. Quindi, le esigue catture di questa specie osservate in questo studio sembrano essere legate ad un declino di lungo termine della popolazione (Pranovi *et al.*, 2013) e non a una diminuita variazione dell'idoneità ambientale. L'idoneità degli habitat lagunari per i giovanili di orata ha evidenziato un elevato grado di variabilità spaziale, aumentando la complessità del quadro generale. In entrambi gli anni, comunque, non si registrano particolari criticità, e ampie porzioni del sottobacino settentrionale presentano buone condizioni ad ospitare le giovani orate. Nel complesso le densità di orate sono più elevate all'interno della laguna nel 2014 rispetto al 2015, ma non si può evidenziare per il 2015 un livello di idoneità inferiore rispetto al 2014.

Queste osservazioni evidenziano la necessità di considerare ed integrare fra loro i principali aspetti che influenzano l'utilizzo delle lagune come aree di nursery nel monitoraggio delle specie migratrici: dinamica delle popolazioni; connettività tra mare e laguna e condizioni degli ambienti lagunari.

I campionamenti di uova, larve e giovanili hanno evidenziato la presenza di numerose specie, anche di interesse commerciale (lo spratto e la sardina, la spigola, l'orata, la passera, i cefali e le sogliole), che migrano all'interno della laguna nel periodo che va dal tardo autunno all'inizio della primavera. Questo è anche il periodo in cui si verificano con maggiore frequenza i fenomeni di "acqua alta" che determineranno il sollevamento delle barriere mobili del MOSE e la conseguente interruzione dei flussi in ingresso di uova, larve e giovanili di pesci. Da ciò deriva l'importanza di monitorare nel tempo questa componente della connettività ecologica mare-laguna sia per avere uno "stato zero" robusto (non influenzato cioè da oscillazioni dovute a fenomeni occasionali e puntiformi derivanti, ad esempio, da particolari condizioni meteo-climatiche), sia per poter valutare i possibili effetti derivanti da future interruzioni della connettività mare-laguna in seguito alla messa in opera del MOSE.

## Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare Federico Riccato e Riccardo Fiorin (Laguna Project srl) per l'apporto prestato durante l'effettuazione delle attività di campo.

## Bibliografia

Able, K.W. (2005) A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 5-17.

Able, K.W., Fahay, M.P. (2010) *Ecology of Estuarine Fishes: Temperate Waters of the Western North Atlantic*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 566 pp.

Able, K.W., Fahay, M.P., Witting, D.A., McBride, R.S., Hagan, S.M., (2006) Fish settlement in the ocean vs. estuary: Comparison of pelagic larval and settled juvenile composition and abundance from southern New Jersey, U.S.A. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 280-290.

Aboussouan, A., (1964) Contribution a l'etude des oeufs et larves pelagiques des poissons teleosteens dans le Golfe de Marseille. *Rec. Trav. St. Mar. End. Bull*, 32 (48): 87-117.

Araujo, M.B., Guisan, A. (2006) Five (or so) challenges for species distribution modeling. *Journal of Biogeography*, 33: 1677-1688.

Arbault, S., Boutin, N. (1968) Ichthyoplankton. Oeufs et larves de poissons teleosteens dans le Golfe de Gascogne en 1964. *Revue des Travaux de l'Institut des Peches Maritimes*, 32 (4): 413-476.

Arias, A.M.G., Drake, P.M. (1990) *Estadios juveniles de la ictiofauna en los canos de las salinas de la bahia de Cadiz*. Instituto de ciencias marinas de Andalucia, 164 pp.

Beck, M.W., Heck, J.K., Able, K.W., Childers, D., Eggleston, D., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C., Hoshino, K., Minello, T., Orth, R., Sheridan, P., Weinstein, M. (2001) The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51: 633-641.

Boehlert, G.W., Mundy, B.C. (1987) Recruitment dynamics of metamorphosing English sole, *Parophrys vetulus*, to Yaquina Bay, Oregon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

Boesh, D.F., Turner, R.E. (1984) Dependence of fishery species on salt marshes: the role of food and refuge. *Estuaries*, 7: 460-468.

Bodinier, C., Sucrè, E., Lecurieux-Belfond, L., Blondeau-Bidet, E., Charmantier, G. (2010) Ontogeny of osmoregulation and salinity tolerance in the gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 157 (3): 220-228.

Cataldi, E., Cataudella, S., Monaco, G., Rossi, L., Trancioni, L. (1987) A study of the histology and morphology of the digestive tract of the sea-bream, *Sparus aurata*. *Journal of Fish Biology*, 30: 135-145.

Creutzberg, F., Eltink, A.T.G.W., Van Noort, G.J. (1978) The migration of plaice larvae, *Pleuronectes platessa*, into the western Wadden Sea. In: *Physiology and behavior of marine organisms*, McLusky, D.S., Berrij, J. (Eds.) Peergamon Press, New York: 243-251.

Cunningham, J.T. (1889) Studies of the reproduction and development of teleostean fishes occurring in the neighbourhood of Plymouth. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1: 10-54, Pls I-VI.

- D'Ancona, U., Lo Bianco, S. (1931-1933) Fauna e flora del Golfo di Napoli. Stazione Zoologica. Monografia No. 38.
- Dahlgren, C.P., Kellison, G.T., Adams, A.J., Gillanders, B.M., Kendall, M.S., Layman, C.A., Ley, J.A., Nagelkerken, I., Serafy, J.E. (2006) Marine nurseries and effective juvenile habitats: Concepts and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 312: 291-295.
- Deegan, L.A., Hughes, J.E., Rountree, R.A. (2000) Salt marsh ecosystem support of marine transient species. In: *Concepts and controversies in tidal Marsh Ecology*, Weinstein, M.P., Kreeger, D.A. (Eds.) Kluwer Academic Publisher.
- Elliott, M., Hemingway, K.L. (2002) *Fishes in Estuaries*. Blackwell Science, Oxford, 636 pp.
- FAO (1987) *Fishes FAO d'identification des especes pour les besoins de la peche. Mediterranee et Mer Noire, Zone de peche 37, Volume II*.
- Ferrari, I., Chierigato, A.R. (1981) Feeding habits of juvenile stages of *Sparus aurata* L., *Dicentrarchus labrax* L., and *Mugilidae* in a brackish embayment of the Po River Delta. *Aqua-culture*, 25: 243-257.
- Ferreiro, M.J., Labarta, U. (1988) Distribution and abundance of teleostean eggs and larvae on the NW coast of Spain. *Marine Ecology Progress Series*, 43: 189-199.
- Fischer, W., Schneider, M., Bauchout, M.L. (1987) *Fiches FAO d'identification des especes pour le besoins de la peche, Mediterranee et Mer Noire, zone de peche 37, Vol II, Vertebres*. FAO, Rome.
- Franco, A., Fiorin, R., Malavasi, S., Franzoi, P., Torricelli, P. (2003) Spatial and temporal variation in reproductive and somatic investment of *Zosterisessor ophiocephalus* (Pisces, Gobiidae) in the Venice Lagoon. *Biologia Marina Mediterranea*, 10 (2): 152-158.
- Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., Torricelli, P., Mainardi, D. (2006) Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 67-83.
- Franco, A., Elliott, M., Franzoi, P., Torricelli, P. (2008) Life strategies of fishes in European estuaries: the functional guild approach. *Marine Ecology Progress Series*, 354: 219-228.
- Franco, A., Torricelli, P., Franzoi, P. (2009) A habitat-specific fish-based approach to assess the ecological status of Mediterranean coastal lagoons. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 1704-1717.
- Franco, A., Fiorin, R., Zucchetta, M., Torricelli, P., Franzoi, P. (2010) Flounder growth and production as indicators of the nursery value of marsh habitats in a Mediterranean lagoon. *Journal of Sea Research*, 64: 457-464.
- Franco, A., Malavasi, S., Pranovi, F., Franzoi, P., Torricelli, P. (2012) Age and reproductive investment in grass goby females in the Venice lagoon. *Environmental Biology of Fishes*, 93: 419-425.
- Franklin, J. (2009) *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Franzoi, P., Trisolini, R., Carrieri, A., Rossi, R. (1989) Caratteristiche ecologiche del popolamento ittico ripario della Sacca di Scardovari (Delta del Po) *Nova Thalassia*, 10: 399-405.
- Franzoi, P., Trisolini, R. (1991) Rimonta del novellame. *Laguna*, 2: 24-29.
- Franzoi, P., Pellizzato, M. (2002) La pesca del pesce novello da semina in laguna di Venezia nel periodo 1999-2001. *Lavori Società Veneziana di Scienze Naturali*, 27: 57-68.

- Franzoi, P., Maio, G., Pellizzato, M., Zucchetta, M., Franco, A., Georgalas, V., Fiorin, R., Riccato, F., Busatto, T., Rossi, R., Torricelli, P. (2005) Messa a punto di metodologie innovative applicabili alla valutazione del novellame da allevamento. Nuovi metodi ecologici per la valutazione del reclutamento e della distribuzione del novellame di orata, spigola e mugilidi ai fini della gestione sostenibile di ecosistemi lagunari. Ministero per le politiche agricole e forestali-Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura-VI Piano Triennale della pesca e dell'acquacoltura in acque marine e salmastre, 129 pp.
- Franzoi, P., Franco, A., Torricelli, P. (2010) Fish assemblage diversity and dynamics in the Venice lagoon. *Rendiconti Lincei*, 21 (3): 269-281.
- Fraser, J.H., Thorson, G. (1976) Fiches d'identification du zooplancton. Charlottenlund Slot, Conseil International pour l'Exploration de la Mer.
- Gandolfi, G., Zerunian, S., Torricelli, P., Marconato, A. (1991) I pesci delle acque interne italiane. Ministero dell'Ambiente e Unione Zoologica italiana. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma. pp. 450-472.
- Gillanders, B.M. (2002) Connectivity between juvenile and adult fish populations: Do adults remain near their recruitment estuaries?. *Marine Ecology Progress Series*, 240: 215-223.
- Gillanders, B.M., Able K.W., Brown, J.A., Eggleston, D.B., Sheridan, P.F. (2003) Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile marine fauna: an important component of nurseries. *Marine Ecology Progress Series*, 247: 281-295.
- Guisan, A., Zimmermann, N.E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- Guisan, A., Thullier, W. (2005) Predicting species distributions: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-1009.
- Herzka, S.Z. (2005) Assessing connectivity of estuarine fishes based on stable isotope ratio analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61 (1): 58-69.
- Koumoundouros, G., Ashton, C., Xenikoudakis, G., Giopanou, I., Georgakopoulou, E., Stickland, N. (2009) Ontogenetic differentiation of swimming performance in gilt-head seabream (*Sparus aurata*, Linnaeus 1758) during metamorphosis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 370: 75-81.
- Lee, J.Y. (1966) Oeufs et larves planctoniques de Poissons. *Revue des Travaux de l'Office Scientifique et Technique des Peches Maritimes*, 30 (3): 171-208.
- Legget, W.C. (1984) Fish migrations in coastal and estuarine environments: a call for new approaches to the study of an old problem. In: *Mechanisms of migrations in fishes*. (Eds. McCleave J.D., Arnold, G.P., Dodson J.J., Neil, W.H.), NATO conference Series, IV (14), Plenum Press, New York-London, 159-178.
- Legovini, S. (2008) Ecologia trofica di sardina *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) e acciuga *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) nel golfo di Trieste. Tesi di dottorato, Università degli studi di Trieste, 136 pp.
- Lorenzen, C.J. (1967) Determination of chlorophyll in sea water. UNESCO, Technical Papers of Marine Science, 35-120.
- Lorenzen, C.J. (1966), A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep-Sea Research*, 13: 223-227.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto- Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-DSA Unive, (2011) Studio B.12.3/V. La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. Individuazione di indicatori di funzionalità ambientale. Seconda Relazione Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

- Mainardi, D., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Giovanardi, O., Granzotto, A., Liber-  
tini, A., Malavasi, S., Pranovi, F., Riccato, F., Torricelli, P. (2002) Fish diversity in the  
Venice lagoon: preliminary report (pp. 583-594). In: Scientific research and safeguar-  
ding of Venice (Ed. P. Campostrini), Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti-Venezia,  
CORILA, Venezia.
- Mainardi, D., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Granzotto, A., Malavasi, S., Pranovi, F.,  
Riccato, F., Zucchetto, M., Torricelli, P. (2004) Seasonal distribution of fish fauna in the  
Venice Lagoon shallow waters: preliminary results. In: Scientific research and safeguar-  
ding of Venice, CORILA Research Programme 2001-2003: Volume 2- 2002 Results (P.  
Campostrini ed.), pp. 437-447.
- Mainardi, D., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Pranovi, F., Riccato, F.,  
Zucchetto, M., Torricelli, P. (2005) Composition and distribution of fish assemblages  
in the shallow waters of the Venice Lagoon. In: Campostrini, P. (Ed.) Scientific resear-  
ch and safeguarding of Venice, Corila Research Programme 2001-2003, 2003 results.  
(vol.3, pp. 405-419). CORILA, Venezia.
- Malavasi, S., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Granzotto, A., Riccato, F., Mainardi, D.  
(2004) Fish assemblages of Venice Lagoon shallow waters: an analysis based on species,  
families and functional guilds. *Journal of Marine Systems*, 51: 19-31.
- Malavasi, S., Franco, A., Fiorin, R., Franzoi, P., Torricelli, P., Mainardi, D. (2005) The  
shallow water gobiid assemblage of the Venice Lagoon: abundance, seasonal variation,  
and habitat partitioning. *Journal of Fish Biology*, 67 (Supplement B): 146-165.
- Malavasi, S., Franco, A., Riccato, F., Valerio, C., Torricelli, P., Franzoi, P. (2007) Habitat  
selection and spatial segregation in three pipefish species. *Estuarine, Coastal and Shelf  
Science*, 75: 143-150.
- Marinaro, J.Y. (1971) Contribution a l'etude des oeufs et larves pelagiques de poissons  
mediterraneens. Oeufs pelagique de la Baie d'Alger. *Bulletin de l'Institut Oceanographi-  
que*, 3 (1), 118 pp.
- Marinaro, J.Y. (1991 a) Eggs and larvae in some species of the genus *Solea* (Pisces, So-  
leidae) of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. *Bollettino di Zoologia*,  
58: 163-169.
- Marinaro, J.Y. (1991 b) Eggs of the *Microchirus* species (Soleidae) from the bay of Al-  
giers. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 71: 117-  
125.
- McLusky, D.S., Elliott, M. (2004) *The estuarine ecosystem: ecology, threats and mana-  
gement*, 3rd edn. Oxford University Press, Oxford.
- Miller, J.M., Reed, J.P., Pietrafesa, L.J. (1984) Patterns mechanisms and approaches to  
the study of migrations of estuarine-dependent fish larvae and juveniles. In: *Mechani-  
sms of migration in fishes* (Eds. McCleave J.D., Arnold G.P., Dodson, J.J., Neil, W.H.),  
NATO Conference series, IV (14), Plenum press, New York-London, 209-225.
- Miller, J.M. (1988) Physical processes and the mechanism of coastal migrations of im-  
mature marine fishes. *American Fisheries Society Symposium*, 3: 68-76.
- Minello, T.J., Able, K.W., Weinstein, M.P., Hays, C.G. (2003) Salt marshes as nurseries  
for nekton: testing hypotheses on density, growth and survival through meta-analysis.  
*Marine Ecology Progress Series*, 246: 39-59.
- Munk, P., Nielsen, J.G. (2005) *Eggs and larvae of North Sea fishes*. Edition Biofolia,  
Denmark, 215 pp.
- Palomera, M.I., Rubies, P. (1977) Descripcion de huevos y larvas de *Microchirus*  
*ocellatus* y *M. azevia* (pleuronectiformes, soleidae) de las costas del NW de Africa. *Res.*

- Exp. Cient, 6: 211-220.
- Pebesma, E.J. (2004) Multivariable geostatistics in S: the 'gstat' package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691.
- Perez-Ruzafa, A., Quispe-Becerra, J.I., Garcia-Charton, J.A., Marcos, C. (2004) Composition, structure and distribution of the ichthyoplankton in a Mediterranean coastal lagoon. *Journal of Fish Biology*, 64: 202-218.
- Pranovi, F., Caccin, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Zucchetta, M., Torricelli, P. (2013) Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice Lagoon. *Journal of fish biology*, 82: 847-864.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2015) Studi B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Ittiofauna. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Raffaele, F. (1888) Le uova galleggianti e le larve dei Teleostei nel golfo di Napoli. *Mitt. Zool. Stn. Neapel*, 8: 1-85, Pls I-V.
- Ré, P., Meneses, I. (2009) Early stages of marine fishes occurring in the Iberian peninsula. IPMAR/IMAR, 282 pp.
- Reis-Santos, P., Tanner, S.E., Franca, S., Vasconcelos, R.P., Gillanders, B.M., Cabral, H.N. (2015) Connectivity within estuaries: An otolith chemistry and muscle stable isotope approach. *Ocean and Coastal Management*, 118: 51-59.
- Riccato, F., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Libertini, A., Pranovi, F., Torricelli, P. (2003). Population structure and re production of three pipefish species (Teleostei, Synnathidae) in a seagrass meadow of the Venice Lagoon. *Biologia Marina Mediterranea*, 10 (2): 138-145.
- Richards, W.J. (2006) Early stages of Atlantic fishes: an identification guide for the Western Central North Atlantic. Volume I e II. Taylor and Francis Group.
- Rossi, R. (1986) Occurrence, abundance and growth of fish fry in Scardovari Bay, a nursery ground of the Po River Delta (Italy) *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 20: 259-280.
- Rossi, R., Trisolini, R., Franzoi, P. (1999) Elementi di biologia del pesce novello da semina. *Laguna*, 6/99 suppl.: 21-30.
- Russell, F.S. (1976) The eggs and planktonic stages of british marine fishes. Academic Press, London, UK, 524 pp.
- Russo, T., Costa, C., Cataudella, S. (2007) Correspondence between shape and feeding habit changes throughout ontogeny of gilthead seabream *Sparus aurata* L., 1758) *Journal of Fish Biology*, 71: 629-656.
- Saka, S., Firat, K., Kamaci, H.O. (2001) The development of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) eggs in relation to temperature. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 25: 139-147.
- Schreiber, B., Torricelli, P., Pesaro, M., Gandolfi, G. (1979) Ricerche sulla distribuzione di uova e larve di specie ittiche di interesse economico in Alto Adriatico. In: Estratto dagli Atti del Convegno Scientifico Nazionale, Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini, Roma, 5-6-7 Marzo, 319-327.
- Serventi, M., Harrison, I.J., Torricelli, P., Gandolfi, G. (1996) The use of pigmentation and morphological character to identify Italian mullet fry. *Journal of Fish Biology*, 49: 1163-1173.

- Sfriso, A., Facca, C., Ceoldo, S., Silvestri, S., Ghetti, P.F. (2003) Role of macroalgal biomass and clam fishing on spatial and temporal changes in N and P sedimentary pools in the central part of the Venice lagoon. *Oceanologica Acta*, 26: 3-13.
- Sheaves, M. (2005) Nature and consequences of biological connectivity in mangrove systems. *Marine Ecology Progress Series*, 302: 293-305.
- Sheaves, M., Baker, R., Johnston, R. (2006) Marine nurseries and effective juvenile habitats: an alternative view. *Marine Ecology Progress Series*, 318: 303-306.
- Sheaves, M., Baker, R., Nagelkerken, I., Connolly, R.M. (2015) True value of estuarine and coastal nurseries for fish: incorporating complexity and dynamics. *Estuaries and Coasts*, 38: 401-414.
- Spartà, A. (1942) Sulla presenza di uova e larve di Teleostei nella Laguna veneta. Materiale raccolto dal Prof. Luigi Sanzo. Memoria CCXCIII. *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, Roma, 2 (1): 3-12.
- Teskeredzic, Z. (1978) The spawning of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walb.) in the Kvarner region of the Adriatic sea. *Thalas Jugoslav*, 14 (3/4): 323-338.
- Tortonese E. (1970) *Fauna d'Italia-Osteichthyes (Pesci ossei)*, Parte 1, Calderini, Bologna.
- Tortonese E. (1975) *Fauna d'Italia-Osteichthyes (Pesci ossei)*, Parte 2, Calderini, Bologna.
- Tsikliras, A.C., Antonopoulou, E., Stergiou, K.I. (2010) Spawning period of Mediterranean marine fishes. *Reviews in Fish Biology and Fishereis*, 20: 499-538.
- Varagnolo, S. (1964) Calendario di comparse di uova pelagiche di teleostei marini nel plancton di Chioggia. *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 13 (2): 249-279.
- Varagnolo, S. (1971) Variazioni diurne della presenza degli stadi di sviluppo di alcuni Teleostei marini nel plancton di Chioggia. *Bollettino di Zoologia*, 31 (2): 1037-1047.
- Vasconcelos, R.P., Reis-Santos, P., Tanner, S., Fonseca, V., Latkoczy, C., Gunther, D., Costa, M.J., Cabral, H. (2007) Discriminating estuarine nurseries for five fish species through otolith elemental fingerprints. *Marine Ecology Progress Series*, 350: 117-126.
- Vasconcelos, R.P., Reis-Santos, P., Tanner, S., Maia, A., Latkoczy, C., Gunther, D., Costa, M.J., Cabral, H. (2008) Evidence of estuarine nursery origin of five coastal fish species along the Portuguese coast through otolith elemental fingerprints. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79: 317-327.
- Vasconcelos, R.P., Reis-Santos, P., Cabral, H.N., Costa, J.L., Costa, M.J. (2012) River-coast connectivity, estuarine nursery function and coastal fisheries. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 10: 81-107.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. (2002) *Modern applied statistics with S*. Fourth edition. Springer. XII, 498 pp.
- Vucetic, T. (1971) Fluctuations a long terme de meroplankton dans l'Adriatique centrale: oeufs de *Sardina pilchardus*, Walb., *Engraulis encrasicolus*, L., et larves de different poissons. *Arch Oceanog. Limol.*, 17: 141-156.
- Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., Hureau, J.C., Nielsen, J., Tortonese E. (1984-1986) *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 1, 2, 3. Paris. Unesco.
- Whitehead, P.J.P., Nelson, G.J., Wongratana, T. (1988) *FAO Species Catalogue. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei) An annotated and illustrated catalogue of the herring, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herring*. *Synop.* 125 (7/2): 305-579. Rome.
- Ziraldò, L. (1996) *Analisi qualitativa e quantitativa di campioni di ittioplancton nell'Al-*

to Adriatico e considerazioni sulla capacità di bioaccumulo di microinquinanti nelle prime fasi di sviluppo dei pesci. Tesi di laurea in Scienze Ambientali. Università Ca' Foscari di Venezia, AA. 1996-1997, 100 pp.

Zucchetta, M., Franco, A., Torricelli, P., Franzoi, P. (2009) Using habitat distribution models to identify nursery areas in the Venice lagoon. *Biologia Marina Mediterranea*, 16: 220-221.

Zucchetta, M., Franco, A., Torricelli, P., Franzoi, P. (2010) Habitat distribution model for European flounder juveniles in the Venice lagoon. *Journal of Sea Research*, 64 (1-2): 133-144.

Zucchetta M. (2010) Modelli di distribuzione dell'habitat per la gestione di specie lagunari di interesse alieutico e conservazionistico. Tesi di Dottorato, Università Ca' Foscari di Venezia, 194 pp.

## Summary

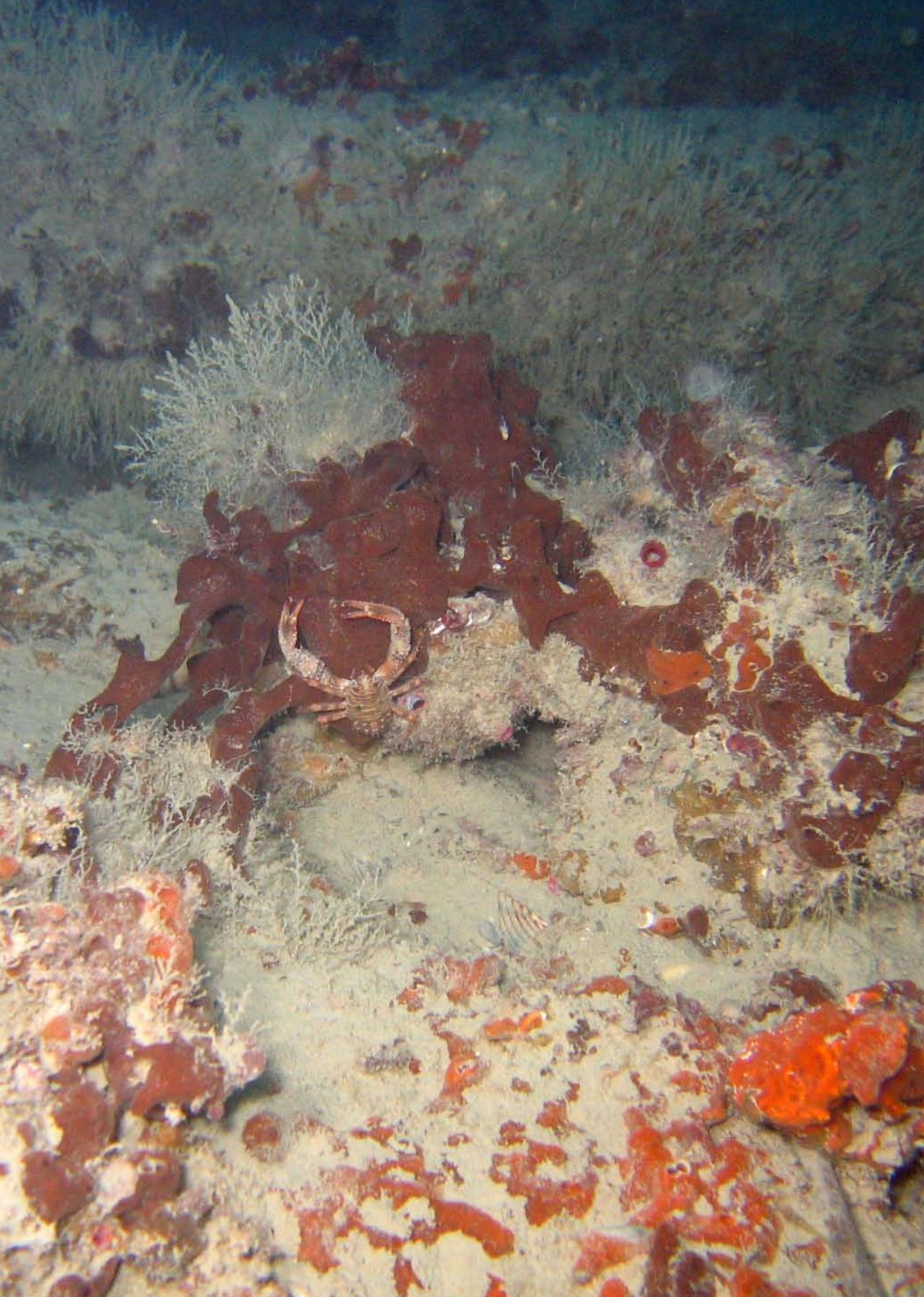
Sea-lagoon connectivity is a crucial aspect in the functioning of transitional waters, in particular considering the movements of aquatic organisms between the two ecosystems. Marine migrant fish strongly depend from this connectivity to complete their life cycle. Early life stages of these species enter lagoons and estuaries to colonise shallow water habitats, where they take advantage of the shelter function provided by these areas, together with the high levels of trophic resources available. Therefore, these habitats represent fundamental nursery areas for many species of marine fish. In the context of lagoon ecosystem management, it is strategic to analyse the entrance of juvenile marine migrant and to identify elective habitats, coupling experimental studies with the application of species distribution models.

In the Venice lagoon many studies have been carried out regarding the distribution of fish species in shallow water habitats, but information about the ichthyoplanktonic component are still scarce. In the years between 2013 and 2015 the spatio-temporal dynamics of eggs, larvae and juvenile of fish species have been studied with seasonal samplings along the sea-lagoon gradient of the Lido sea inlet. Furthermore, for two key species of marine migrants, habitat distribution models were applied to integrate the experimental data collected.

This study was carried out in the context of the monitoring activities related to the evaluation of the effects deriving from the construction of the MOSE infrastructure. Even if it is not a solely passive transport, the migration into transitional waters is linked to tidal fluxes. Therefore, this process can be influenced by the hydrodynamic regime, the chemico-physical condition of the water and, thus, by the structural modification of the sea inlets. For these reasons, early life stages of fish can be used as a biomonitor of sea-lagoon connectivity, also considering the functioning of the MOSE system in the next future.

Data collected gave a more complete picture of the spatio-temporal dynamics of fish early life stages in the North Adriatic, in accordance with the information available from the literature, showing a peak of marine migrant species from the late Autumn to Spring. Even if a significant transport of eggs was found for some species, our results suggested that the migration into lagoon waters occurs at the larval-juvenile stage for most of the marine migrant species. This migration seems to be characterised by a relevant variability in the density and composition of species, that could derive from natural variations in meteo-climatic oscillations on a wider geographic scale. This variability can be partly explained by the application of habitat distribution models, that confirmed the inter-annual variability of lagoon habitat suitability for juveniles.

The migration into the Venice lagoon of many fish species, some of which are of commercial interest, from the late Autumn till Spring coincides with the period of “high tide” phenomena in the city of Venice. Thus, the construction of a consistent baseline is essential to monitor, in the future, the possible effects of the interruption of tidal fluxes deriving from the MOSE functioning.



# Comunità bentoniche degli affioramenti rocciosi (tegnùe) nelle aree di bocca di porto (Lido e Malamocco)

## *Benthic communities of rocky outcrops distributed near the Lido and the Malamocco inlets*

Daniele Curiel, Chiara Miotti, Luca Mizzan,  
Andrea Rismondo

### Introduzione

Nel bacino Adriatico settentrionale, tra Grado e il delta del fiume Po, su un fondale composto da depositi incoerenti, sabbiosi, limosi e argillosi, sono occasionalmente presenti substrati rocciosi e biocostruiti che assumono forme e morfologie molto variabili (Falace *et al.*, 2015; Gordini *et al.*, 2004; Stefanon e Zuppi, 2000).

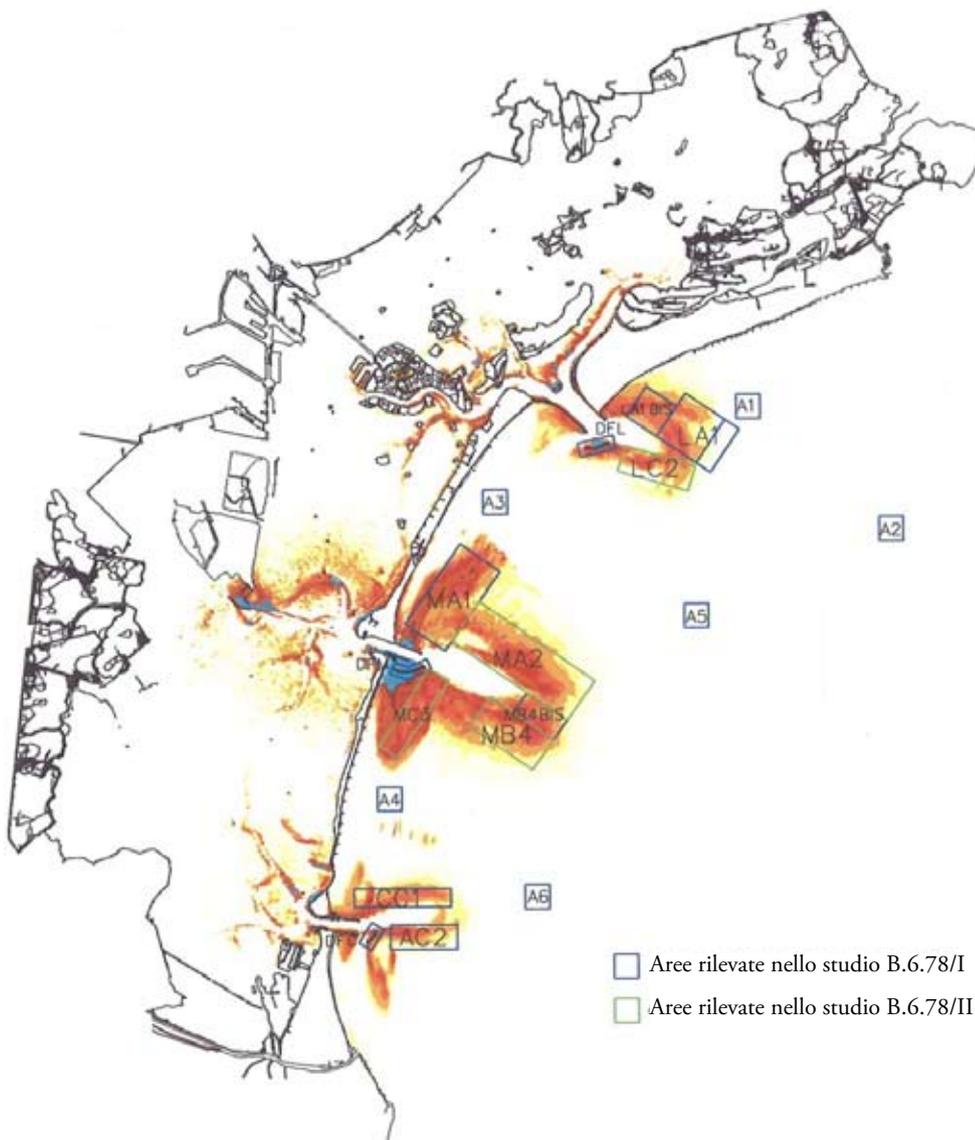
Questi substrati, noti come “tegnùe” lungo le coste venete, sono distribuiti in modo discontinuo nell’area occidentale del Golfo di Venezia, a profondità comprese fra 8 e 40 m. Le dimensioni di questi affioramenti sono molto diverse, possono essere simili a grossi sassi o estendersi per diverse migliaia di metri quadri. Si elevano dal fondale incoerente per pochi decimetri, nelle formazioni con morfologia tabulare definite “lastrure”, ma possono svilupparsi in altezza per 3-4 m.

La presenza di tali formazioni rocciose in acque non eccessivamente profonde favorisce l’aumento della biomassa e della biodiversità. Su questi substrati si insediano, infatti, organismi sessili che non potrebbero aderire al fondale incoerente circostante e trovano riparo e protezione diverse specie di pesci e crostacei. La presenza di un gradiente verticale, offerto dall’elevazione delle strutture dal fondale, e la disponibilità di materiale organico in sospensione o già sedimentato, fa sì che le tegnue siano “oasi” di abbondanza e biodiversità.

Nonostante la loro presenza sia nota da alcuni secoli (Olivi, 1792), una conoscenza più approfondita di questi affioramenti e della loro localizzazione risale agli anni ‘60 (Stefanon, 1966) ed è associata all’avvento di nuove tecnologie di rilevamento geofisico e, più recentemente, alla georeferenziazione. L’origine di queste formazioni rocciose, ancora oggi discussa e in corso di studio, non è probabilmente univoca bensì riconducibile a diversi processi genetici, da quelli tipici della formazione delle beachrock a quelli connessi alla fuoriuscita di fluidi dal sottosuolo (Stefanon, 2001; Bonardi *et al.*, 2006; Donda *et al.*, 2015). Organismi costruttori, come le alghe coralline, ne favoriscono il successivo accrescimento. Soltanto recentemente è stato evidenziato l’importante ruolo di biocostruzione svolto dalle macroalghe, evidenziandone la significativa ricchezza (Curiel *et al.*, 2001, 2008, 2012, 2014; ARPAV, 2006; Falace *et al.*, 2015). In precedenza la maggior parte degli studi sulla colonizzazione biologica di questi affioramenti, ha riguardato la componente animale, lo zoobenthos (Boldrin 1979; Mizzan 1992, 1994, 1995, 1999; Casellato e Stefanon, 2008; Cesari e Mizzan, 1994; Gabriele *et al.*, 1999; Ponti, 2001; Ponti e Mescalchin, 2008; Soresi *et al.*, 2004; ARPAV, 2006).

La necessità di valutare gli effetti dei cantieri su questi ambienti deriva dalle considerazioni contenute nello Studio di Impatto Ambientale (SIA) relativo all'opera e dalla valutazione dei risultati dei modelli idrodinamici di dispersione dei sedimenti in mare (figura 1) che evidenziavano possibili incrementi della torbidità dell'acqua e dei tassi di sedimentazione durante la fase operativa dei cantieri. Gli organismi che colonizzano le teggìe potrebbero risentire della riduzione di luce, come nel caso delle macroalghe, o, per la componente animale, potrebbero vedere ostacolati la filtrazione, la crescita, il reclutamento o il normale svolgimento dei processi metabolici. Gli effetti di questi fenomeni potrebbero, pertanto, determinare variazioni nella struttura e nella composizione delle comunità portando ad una riduzione della biodiversità o alla dominanza di specie opportunistiche (Airoldi e Cinelli, 1987; Irving e Connell, 2002a, b).

In presenza di sedimentazione si può verificare un cambiamento nella struttura delle comunità fitobentonica, con l'aumento di specie a "feltrò" (*turf*) "più opportunistiche" e una riduzione delle specie a tallo eretto, più sensibili ecologicamente (Balata *et al.*, 2004). Più complesse sono invece le valutazioni degli effetti della sedimentazione sulla componente animale. Esistono, infatti, specie che traggono vantaggi dall'incremento di deposizioni.

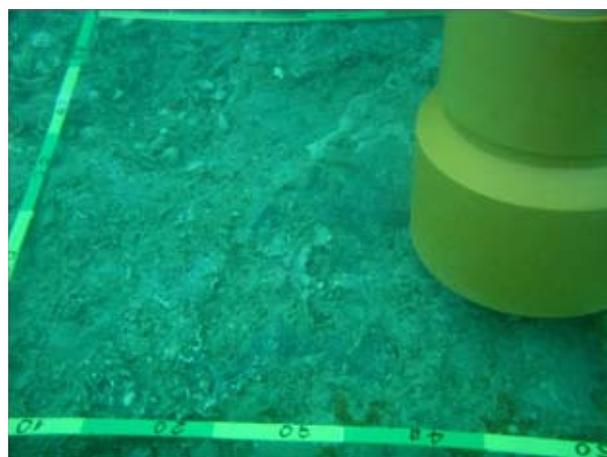


1. Modello idrodinamico dispersivo, inteso come sommatoria di tutte le condizioni peggiori in fase di simulazione, utilizzato per l'individuazione delle aree potenzialmente soggette ai maggiori impatti, all'interno delle quali sono stati individuati i siti monitorati durante lo studio di riferimento (risultati Studio B.6.78 I/II-MAG. ACQUE, 2006a).

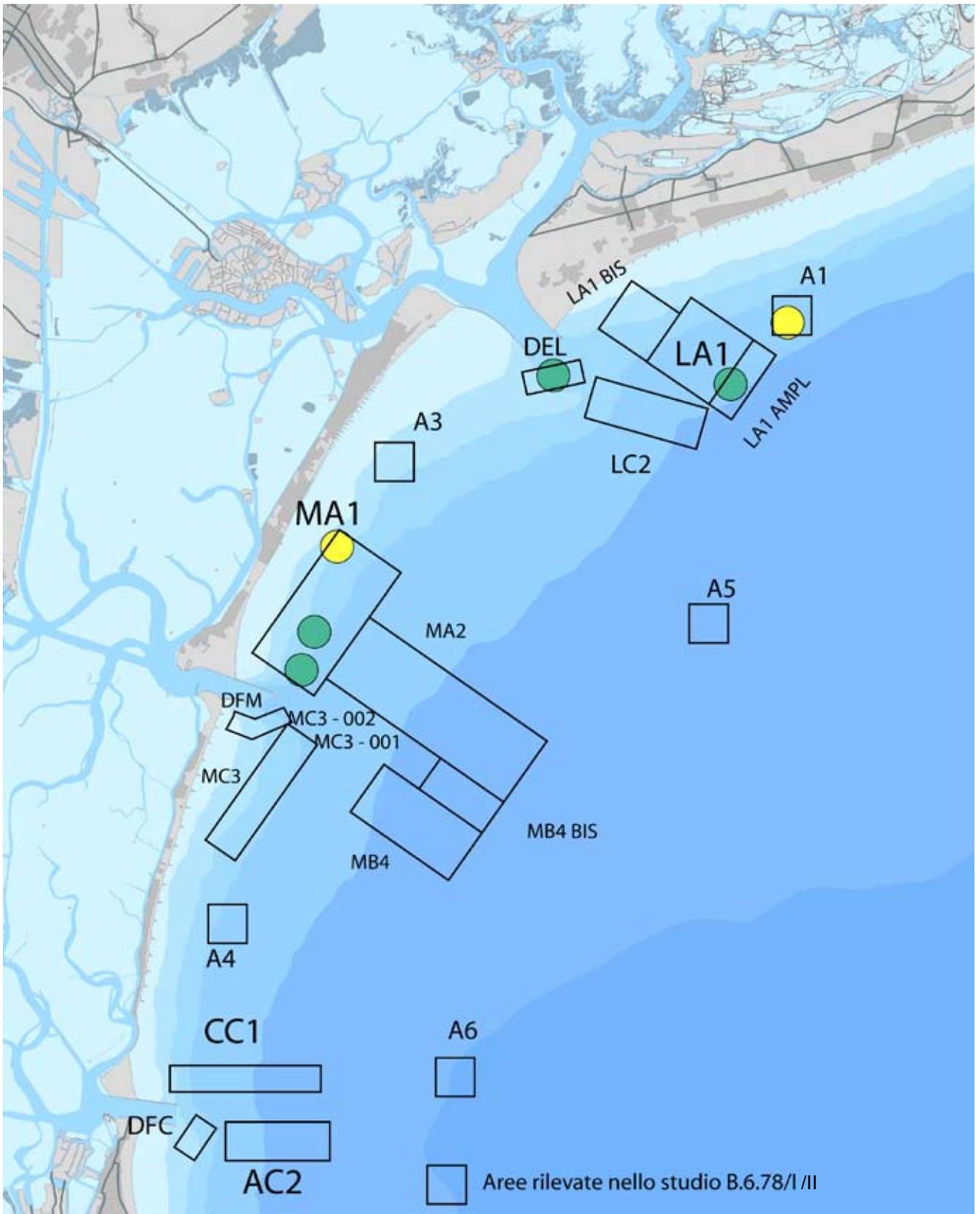
Lo scopo del monitoraggio è stato, quindi, quello di verificare i possibili effetti dei cantieri sugli affioramenti ed eventualmente apportare, in fase d'opera, opportune misure correttive e mitigative.

I controlli di questi habitat di pregio sono iniziati con l'esecuzione di una caratterizzazione di riferimento (primavera 2005, Studio B.6.78 I/II), contestualmente all'avvio dei lavori, ripetuta poi annualmente (Studio B.6.72). Lo studio di riferimento B.6.78 I/II ha avuto lo scopo di descrivere, attraverso indicatori biologici (es. biodiversità, abbondanza, biomasse, ecc.), la struttura delle comunità fito e zoobentoniche. Le attività *ante operam* hanno compreso anche la caratterizzazione morfologica (con rilievi acustici mediante side scan sonar e multibeam), strutturale e mineralogica in 21 affioramenti rocciosi, risultati poi utili per la scelta dei siti più idonei per il monitoraggio in corso d'opera.

Il monitoraggio condotto per i successivi 4 anni (MAG. ACQUE-CORILA 2006b, 2007, 2008, 2009) è volto alla valutazione degli impatti delle attività di cantiere sugli affioramenti rocciosi antistanti le bocche di porto. Al riguardo, però, è opportuno rilevare che, nonostante le tegnùe siano conosciute da oltre 30 anni, poco o nulla è noto sulla variabilità annuale delle comunità colonizzatrici. I monitoraggi in corso d'opera hanno preso in esame solamente una parte degli affioramenti presenti nei fondali limitrofi alle due bocche di porto di Lido e Malamocco, scelti in base alle conoscenze scientifiche e morfologiche disponibili ed alle elaborazioni modellistiche che hanno individuato le aree potenzialmente impattate dalle attività di cantiere (figura 2).



2. Affioramento roccioso (MA1 001) durante la fase di preparazione e campionamento con sorbona.



3. Localizzazione delle aree investigate durante lo studio di riferimento Studio B.6.78 I/II tra cui i 6 affioramenti rocciosi selezionati per il monitoraggio (in verde gli affioramenti potenzialmente impattabili e in giallo quelli di controllo).

## Aree di studio e materiali

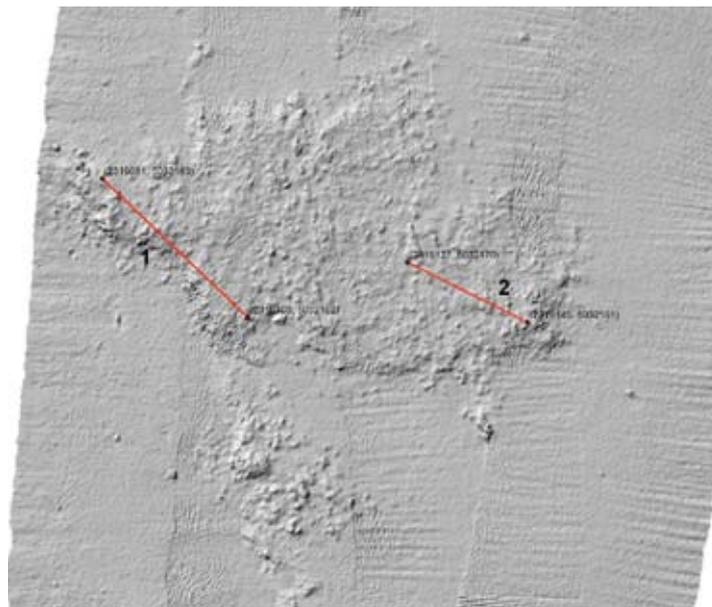
### Scelta degli affioramenti rocciosi

La scelta degli affioramenti da monitorare è derivata da una serie di valutazioni che hanno tenuto conto dello stato di avanzamento dei lavori alle bocche di porto e delle elaborazioni modellistiche sul possibile rilascio dei sedimenti a causa dei lavori, delle dimensioni degli affioramenti, dell'analisi di immagini acustiche side scan sonar e di immagini fotografiche. Sulla base di queste valutazioni e considerando come le tegnùe di Chioggia siano Zone di Tutela Biologica, e quindi non sia possibile effettuare campionamenti, l'attività si è concentrata alle bocche di Lido e Malamocco. In prossimità di ciascuna bocca di porto sono stati selezionati tre affioramenti, uno di questi, sufficientemente lontano da possibili impatti, ha rappresentato il controllo: A1-001 (controllo), DFL-001 e LA1-003 a Lido; MA1-005 (controllo), MA1-001 e MA1-003 a Malamocco. La profondità degli affioramenti di Lido è variata tra gli 11 e 14 metri e quella di Malamocco tra 7,5 e 11 metri. Nella figura 3 è riportata la localizzazione delle aree marine oggetto dell'indagine e sono indicati i 21 affioramenti studiati durante lo studio di riferimento. Sulla base delle informazioni acquisite, su ogni affioramento è stato individuato un transetto (di lunghezza compresa tra i 15 e i 20 metri) (figura 4) lungo il quale gli operatori sono intervenuti in immersione. In tutti gli affioramenti il transetto è stato allineato lungo la maggiore elevazione media, per avere condizioni omogenee di esposizione alla luce, sedimentazione e idrodinamica.

### Metodologia di campionamento, di laboratorio e analisi dei dati

Le metodologie di campionamento e di analisi adottate per i monitoraggi durante i lavori ai cantieri sono state le stesse impiegate nello Studio di riferimento B.6.78 I/II, effettuato nella tarda primavera del 2005.

Per motivi organizzativi e logistici le campagne di monitoraggio (2005, 2006, 2007 e 2008) sono state realizzate nel periodo invernale. Nella valutazione dei dati, l'aspetto temporale è stato considerato poiché può condizionare la presenza e l'abbondanza delle specie fito-zoobentoniche.



4. Immagine *shaded relief* dell'affioramento DFL001 indagato e i 2 transetti selezionati per eseguire i rilievi subacquei.

Le attività in campo sono state condotte da operatori subacquei muniti di attrezzatura ARA. I prelievi sono avvenuti in modo casuale lungo un transetto identificato da una cima opportunamente munita di etichette di riferimento poste ad intervalli non regolari. In ogni affioramento, tramite grattaggio, sono stati prelevati gli organismi all'interno di 3 quadrati (repliche) di 50x 50 cm definiti da un telaio semirigido. Le tre repliche di ogni affioramento costituiscono un campione. La superficie di campionamento è stata fotografata prima del prelievo per intero oppure secondo la tecnica del fotomosaico. La raccolta dei campioni biologici è avvenuta mediante raschiamento ed aspirazione con sorbona munita di sacco con maglia da 1 mm di luce. Una volta portato a bordo, il materiale biologico è stato posto in secchi con acqua di mare ed anestetico (Cloruro di Magnesio al 7%) per 30 minuti per migliorare la visione al microscopio. È stato quindi trasferito in seguito in sacchetti di plastica e conservato refrigerato fino al momento della consegna al laboratorio. Una volta in laboratorio il materiale è stato congelato.

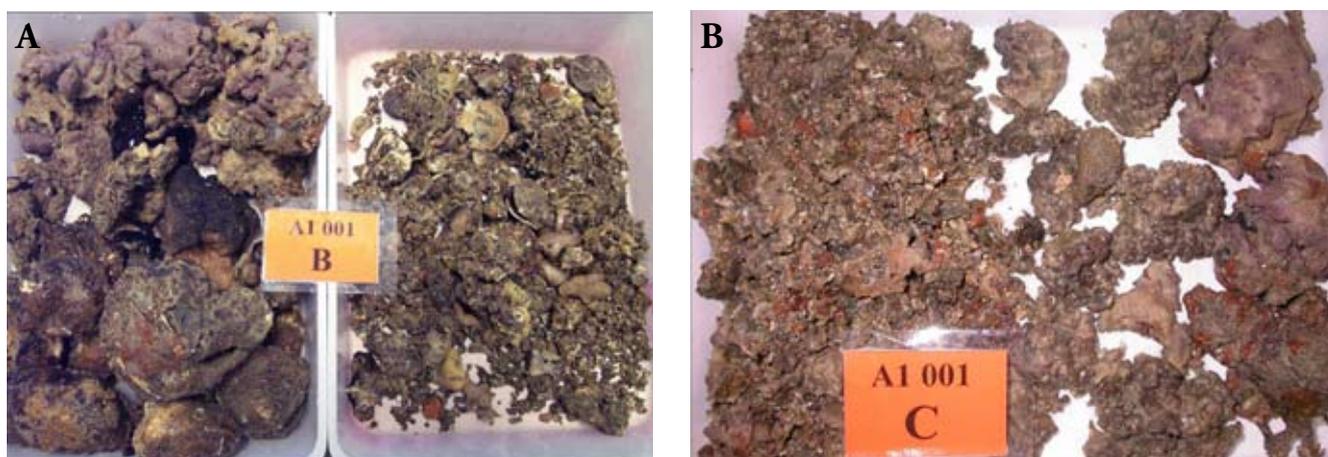
Al momento dell'analisi il campione è stato scongelato e sottoposto a smistamento, suddividendo la frazione animale da quella algale (figura 5). Gli organismi sono stati poi sottoposti a determinazione, possibilmente sino al livello di specie. Sono stati quindi determinati il numero di individui e la biomassa complessiva. Per le specie animali coloniali (Briozoi, Idrozoi, Poriferi, ecc.), così come per le specie algali, non essendo possibile valutare il numero di individui, sono stati calcolati il ricoprimento, cioè lo spazio occupato in proiezione sul substrato (Boudouresque, 1971), e la biomassa, come peso fresco e peso secco.

I risultati sono stati riportati all'unità di superficie indagata in modo da fornire un quadro della presenza faunistica in termini di abbondanza (n. individui/0,75 m<sup>2</sup>, n. taxa/0,75 m<sup>2</sup>), ricoprimento dei taxa coloniali (cm<sup>2</sup>/0,75 m<sup>2</sup>), biomassa (peso fresco e peso secco in g/0,75 m<sup>2</sup>).

Per le macroalghe è stata valutata l'abbondanza come ricoprimento e, quando possibile, anche come biomassa (peso fresco e peso secco). Le analisi della componente algale sono state condotte sulla base del valore del ricoprimento di ogni singola specie (cm<sup>2</sup>/0,75 m<sup>2</sup>). Sono state condotte analisi statistiche (ANOVA, ANOSIM, PERMANOVA, Curve di Abbondanza, K-Dominanza, Curve ABC e MultiDimensional Scaling) sui dati ottenuti separando quelli relativi alle comunità zoobentoniche da quelli delle comunità fitobentoniche. I dati relativi allo zoobenthos, infatti, fanno riferimento al numero di individui (taxa non coloniali) mentre per il fitobenthos ci si riferisce al ricoprimento. Ciò rende incompatibile un trattamento comune dei dati, se non al livello ipotetico di biomassa.

Ognuno dei 4 monitoraggi annuali è stato analizzato nelle sue caratteristiche principali, verificando se gli indicatori presi in esame o le analisi statistiche eseguite evidenziassero

5. A: campione disposto in contenitori di plastica prima del sorting iniziale. B: durante il sorting, gli organismi appartenenti ai gruppi zoologici simili sono stati raggruppati per facilitare la successiva fase di determinazione tassonomica.



differenze nelle comunità bentoniche degli affioranti per ogni macroarea (Lido e Malamocco), anche in riferimento all'affioramento di controllo.

Di anno in anno i risultati sono stati confrontati con quanto osservato durante lo Studio di riferimento B.6.78 I/II. Nell'analisi e valutazione delle comunità bentoniche, si deve sempre considerare come queste siano naturalmente soggette a sensibili variazioni interannuali per effetto delle interazioni intraspecifiche ed interspecifiche, dei fattori meteorologici e delle pressioni antropiche, soprattutto lungo la fascia costiera dove è forte la pressione della pesca a strascico, in particolare nelle vicinanze degli affioramenti rocciosi (Colombo *et al.*, 1991; Kollmann e Stachowitsch, 2001).

## Risultati

### La comunità zoobentonica

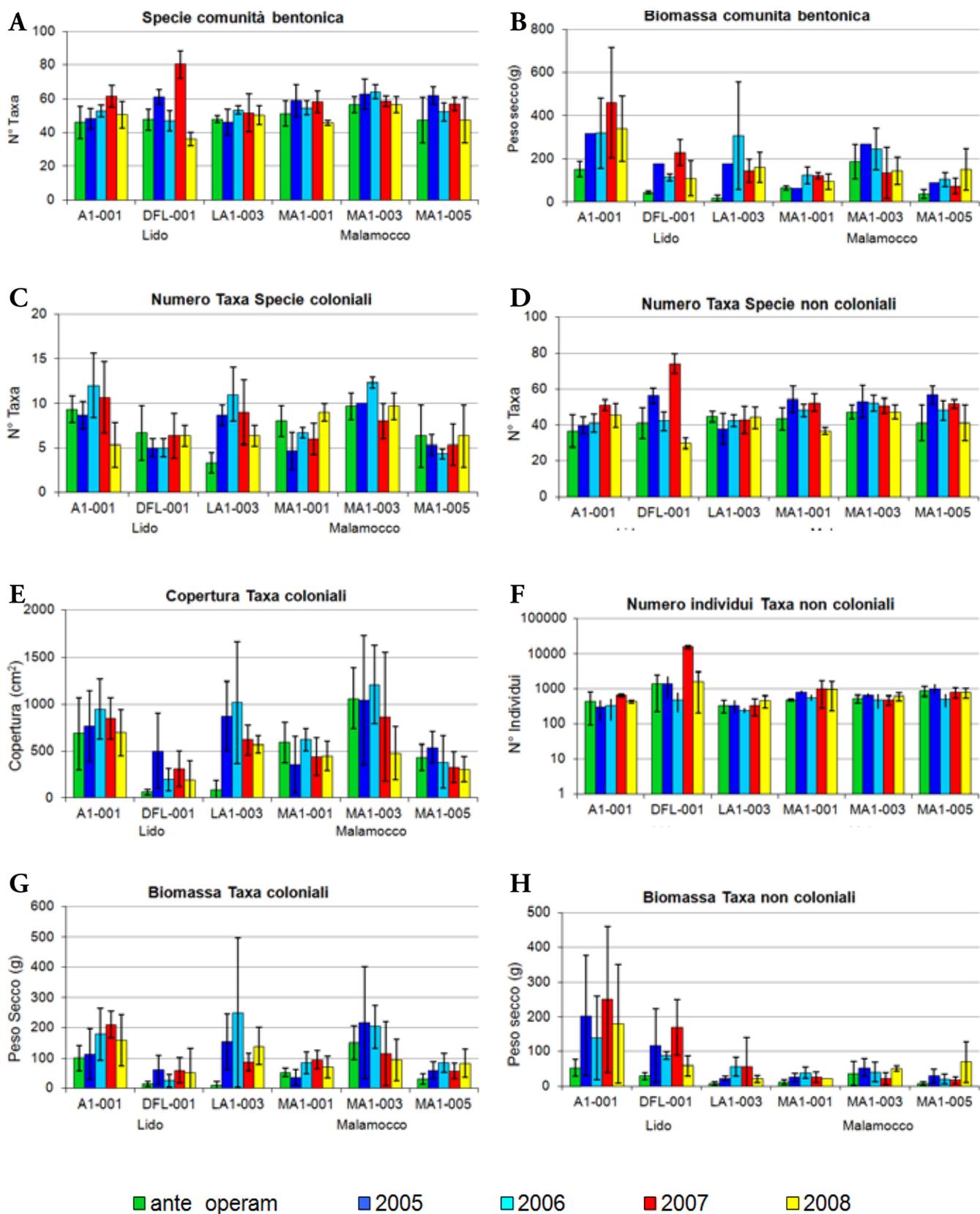
Nei quattro anni di monitoraggio (2005-2008), i principali descrittori univariati della componente zoobentonica, quali la biodiversità (espressa come numero medio di taxa rinvenuti in ciascun affioramento) e la biomassa totale, hanno un andamento irregolare, non indicativo di tendenze in atto. Confrontando i risultati quadriennali con quelli dello Studio di riferimento B.6.78 I/II, si confermano andamenti altalenanti negli anni sia per lo stesso affioramento, sia tra i diversi affioramenti ma tali fluttuazioni rientrano comunque nella variabilità del campionamento (figure 6A e 6B).

Analizzando la comunità zoobentonica separandola nelle due componenti, taxa coloniali e taxa non coloniali (figure 6C-6H), si osserva come le specie coloniali (come spugne e briozoi) evidenzino, negli anni, una maggiore variabilità (figure 6C, 6E e 6G) rispetto alle specie non coloniali. In generale, però, non si osserva una variazione uniforme rispetto allo studio *ante operam*.

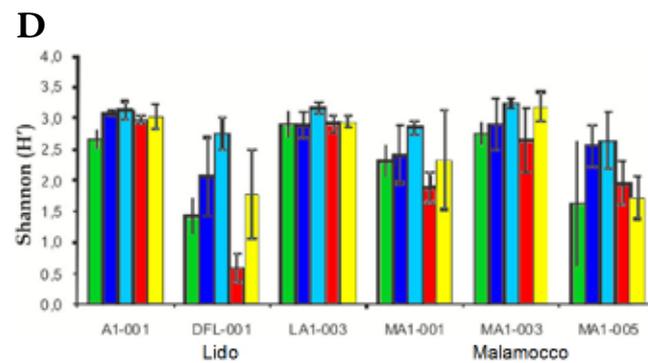
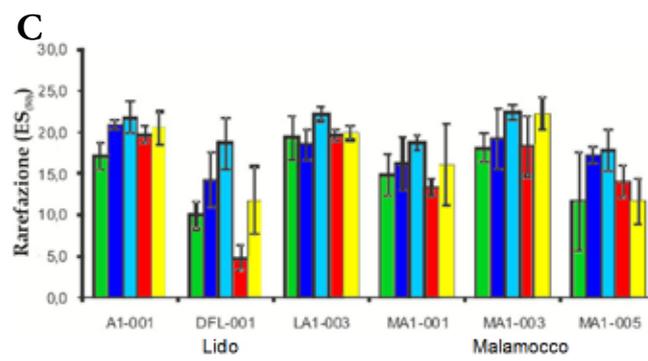
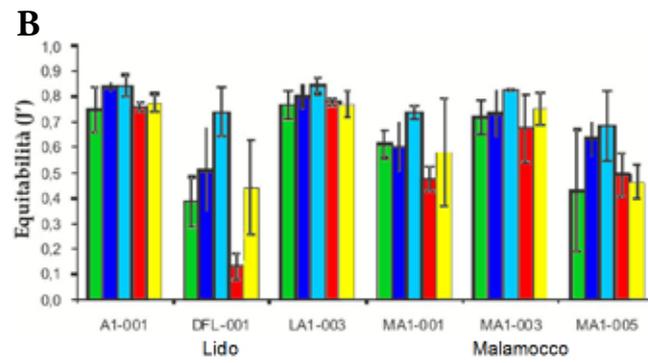
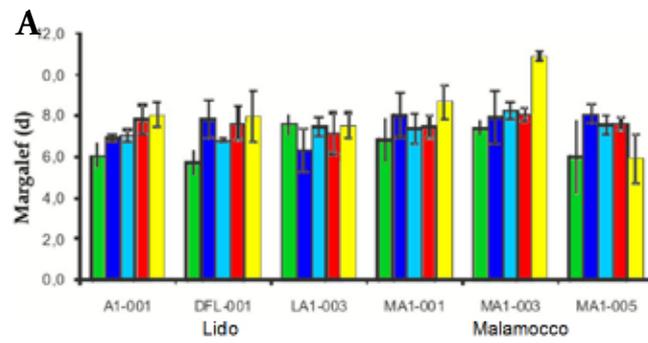
I descrittori degli organismi non coloniali (figure 6D, 6F e 6H) hanno rivelato, nei quattro monitoraggi in corso d'opera, una maggiore stabilità del numero dei taxa e del numero di individui, mentre appare più altalenante l'andamento relativo alla biomassa, soprattutto per gli affioramenti della macroarea di Lido (A1 001 e DFL-001). Rispetto allo studio di riferimento, i tre parametri indicano una situazione di sostanziale stabilità per il numero di individui e un incremento per il numero di taxa e la biomassa.

Il rapporto tra le abbondanze e il numero di taxa è stato approfondito anche attraverso la valutazione comparata dei principali indici ecologici (figure 7A-7D), come l'indice di ricchezza di Margalef, l'indice di equitabilità (equidistribuzione) di Pielou, l'indice di diversità di Shannon e quello di diversità-rarefazione di Hurlbert ( $ES_{(50)}$ ). Come già visto per i precedenti macrodescrittori, si rileva un graduale incremento dei valori degli indici nei primi anni e una parziale riduzione negli ultimi. Al termine del quarto anno di monitoraggio i valori degli indici appaiono comunque confrontabili rispetto a quelli dello studio di riferimento del 2005. L'indice di ricchezza di Margalef risente, negli anni, in particolare della variazione del numero di taxa e dell'abbondanza delle specie più presenti, come il polichete *Sabellaria spinulosa*, la stella serpentina *Ophiotrix fragilis* ed i molluschi bivalvi *Gastrochaena dubia* e quelli del genere *Hiatella*.

L'analisi della comunità zoobentonica con tecniche di valutazione multivariata permette un ulteriore esame dello zoobenthos in un confronto tra gli affioramenti e tra gli anni. L'analisi MDS (figura 8), relativa agli organismi non coloniali, indica uno scostamento tra lo studio di riferimento e i rilievi di corso d'opera (2005-2008), probabilmente legato allo sfasamento di alcuni mesi del periodo di campionamento. Peculiare appare la posizione dell'affioramento DFL-001, che si distanzia dagli altri affioramenti (soprattutto nel dicembre 2007), per l'elevata abbondanza del polichete sedentario *Sabellaria spinulosa*,

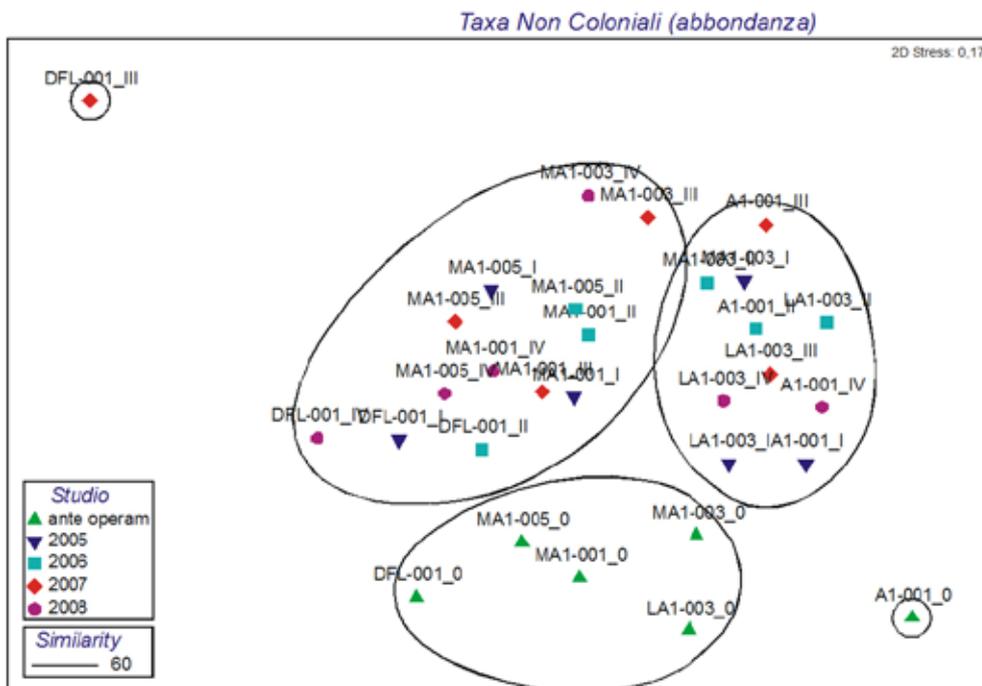


6. Confronto tra i principali parametri delle comunità nei 5 anni di studio. I valori si riferiscono alla media delle tre repliche, pari all'unità di campionamento di 0,25 m<sup>2</sup>. La barra indica la deviazione standard.



■ ante operam    ■ 2005    ■ 2006    ■ 2007    ■ 2008

7. Variazioni dei principali indici ecologici (Margalef, Equitabilità, Rarefazione e Shannon) nel corso dei cinque studi. I valori si riferiscono alla media delle tre repliche pari all'unità di campionamento di 0,25 m<sup>2</sup>. La barra indica la deviazione standard.



8. MultiDimensional Scaling (MDS) della comunità bentonica dei taxa non coloniali (valori di abbondanza). I raggruppamenti fanno riferimento alla Cluster Analysis non riportata.

di tunicati del genere *Molgula* e di stelle serpentine della specie *Ophiotrix fragilis*.

Dal grafico MDS appare evidente, con alcune eccezioni, la differenza tra le comunità degli affioramenti della macroarea di Lido e quelli della macroarea di Malamocco. Alla similarità del 60% si individuano tre raggruppamenti principali: quello relativo ai campionamenti dello studio di riferimento del 2005 (Studio B.6.78 I/II), quello degli affioramenti DFL-001 e dell'area di Malamocco e quello degli affioramenti riferibili all'area di Lido con l'affioramento MA1-003 (solo del 2005 e del 2006).

Le differenze che si rilevano tra lo studio di riferimento del 2005 e i successivi monitoraggi sono state valutate con le analisi statistiche ANOVA (che indaga se tutti i campioni appartenenti ad un gruppo sono più vicini agli altri membri dello stesso gruppo piuttosto che ai campioni degli altri gruppi) e PERMANOVA (che si basa sulla ripartizione della variabilità multivariata). Entrambe le analisi rilevano la presenza di differenze significative ( $p < 0,001$  in ANOVA e  $p < 0,05$  in PERMANOVA) tra lo studio di riferimento (primavera 2005) e i successivi quattro monitoraggi.

Le variazioni delle comunità zoobentoniche presenti nei singoli affioramenti sono state analizzate separatamente per le due macroaree di appartenenza. Negli affioramenti riferibili all'area di Lido, i valori di copertura e di abbondanza degli organismi non coloniali indicano comunità simili per le stazioni A1-001 e LA1-003 nel corso di tutti gli studi (primavera 2005 e monitoraggi in corso d'opera). La teggia DFL-001 presenta invece popolamenti più simili a quelli delle teggie di Malamocco MA1-001 ed MA1-005, soprattutto per la presenza di tre specie che caratterizzano questi tre affioramenti in tutti gli studi: il polichete *Sabellaria spinulosa*, il granchio *Pisidia longimana* e la stella serpentina *Ophiotrix fragilis*. Al contrario, l'affioramento MA1-003 ha un popolamento di taxa non coloniali più simile a quello degli affioramenti di Lido A1-001 e LA1-003.

Le curve ABC (non riportate nel testo) relative agli organismi non coloniali evidenziano, per i tre affioramenti dell'area di Lido, popolamenti più strutturati e meno disturbati nel corso dei monitoraggi di controllo rispetto allo studio di riferimento. Per gli affioramenti MA1-001 e MA1-005 dell'area di Malamocco, le curve indicano comunità zoobentoniche meno strutturate e ricche rispetto all'affioramento MA1-003, in particolare modo negli ultimi due monitoraggi. Tenendo conto delle caratteristiche degli affio-

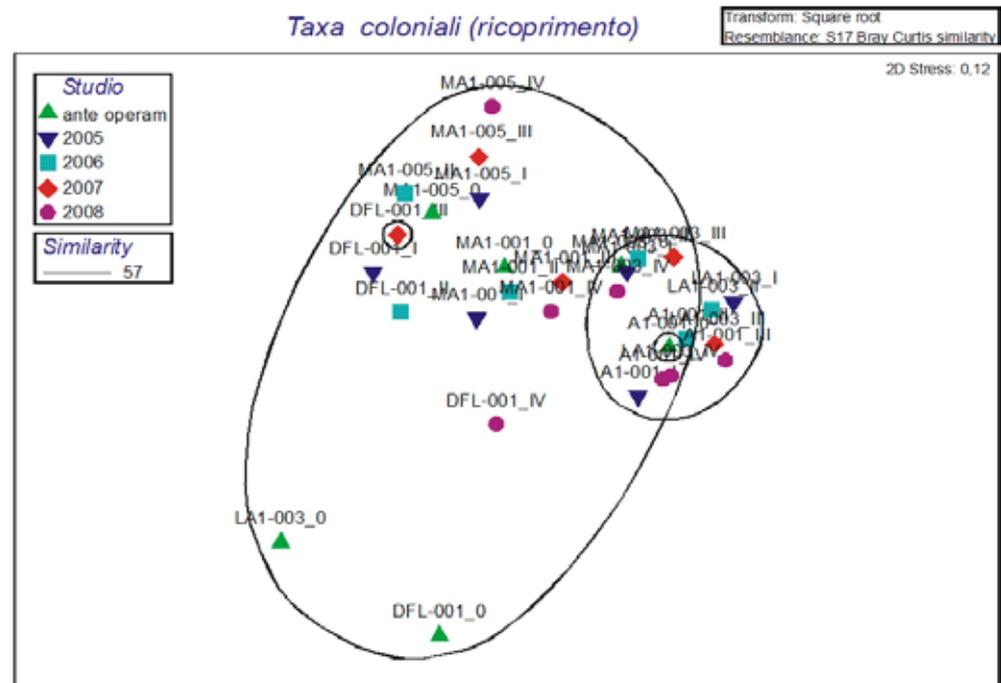
ramenti è ragionevole ritenere che i disturbi siano qui associabili alla batimetria limitata e alla struttura-morfologia degli affioramenti costituiti per lo più da rocce sparse che si elevano poco dal fondo. La scarsa elevazione e la limitata batimetria li rendono più soggetti a disturbi causati dall'idrodinamismo e da un eccesso di sedimentazione a causa di mareggiate o di movimenti di trasporto lungo la costa.

Nel confronto con lo studio di riferimento del 2005, l'analisi MDS degli organismi coloniali (figura 9) non indica sostanziali variazioni nella struttura e composizione, mostrando una marcata differenza solamente per due affioramenti (LA1 003 e DFL 001) che si discostano dagli omologhi del monitoraggio in corso d'opera per la limitata copertura di spugne (porifera) e di briozoi incrostanti del genere *Schizobrachiella*. Le analisi statistiche ANOSIM e PERMANOVA confermano, comunque, per la comunità degli organismi coloniali, l'assenza di differenze statisticamente significative tra gli anni.

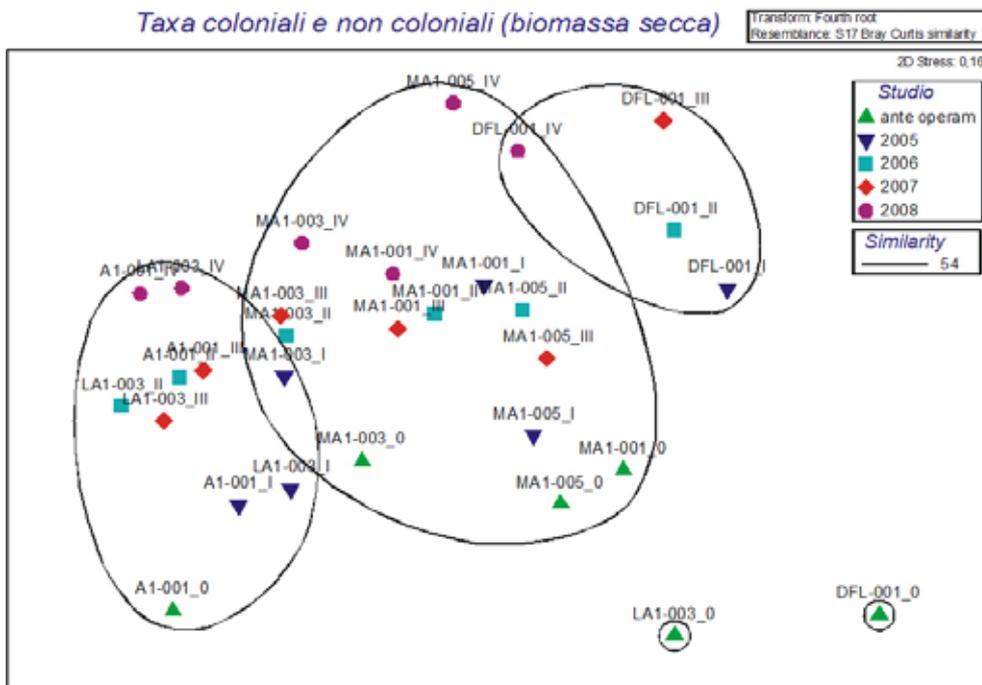
L'analisi comprensiva della comunità zoobentonica coloniale e non coloniale dei sei affioramenti è stata condotta utilizzando i dati di biomassa o di presenza/assenza. Considerando le biomasse (peso secco), i rapporti tra le comunità sembrano essere fortemente influenzati dagli organismi coloniali caratterizzati spesso da un maggior peso (ad es. Porifera). L'analisi risente in parte di questa componente mostrando, comunque, una tendenziale differenziazione tra i rilievi dello studio di riferimento del 2005 e quelli dei successivi monitoraggi. Rispetto allo studio di riferimento del 2005, l'analisi ANOSIM indica differenze basse-moderate per i primi tre monitoraggi e moderato-elevate per l'ultimo monitoraggio ( $p < 0,001$ ). L'analisi PERMANOVA, invece, rileva l'esistenza di differenze statisticamente significative ( $p < 0,05$ ) tra lo studio di riferimento e ognuno dei quattro monitoraggi.

Dal grafico MDS relativo ai valori di biomassa (figura 10), lungo l'asse verticale si coglie un gradiente tra i rilievi della primavera 2005 e i successivi monitoraggi, con una evidente distinzione soprattutto con l'ultimo monitoraggio del 2008.

Come per l'abbondanza, anche la biomassa marca una differenza tra gli affioramenti dell'area di Lido e di Malamocco, con la tendenza dell'affioramento DFL-001 ad aggregarsi con il raggruppamento Malamocco e dell'affioramento MA1-003 ad aggregarsi con il raggruppamento Lido.



9. MultiDimensional Scaling (MDS) dei taxa coloniali (valori di ricoprimento). I raggruppamenti fanno riferimento alla Cluster Analysis non riportata.



10. MultiDimensional Scaling (MDS) dell'ordinamento delle comunità bentoniche dei sei affioramenti in base ai valori di biomassa (peso secco) di tutti gli organismi. I raggruppamenti fanno riferimento alla Cluster Analysis non riportata.

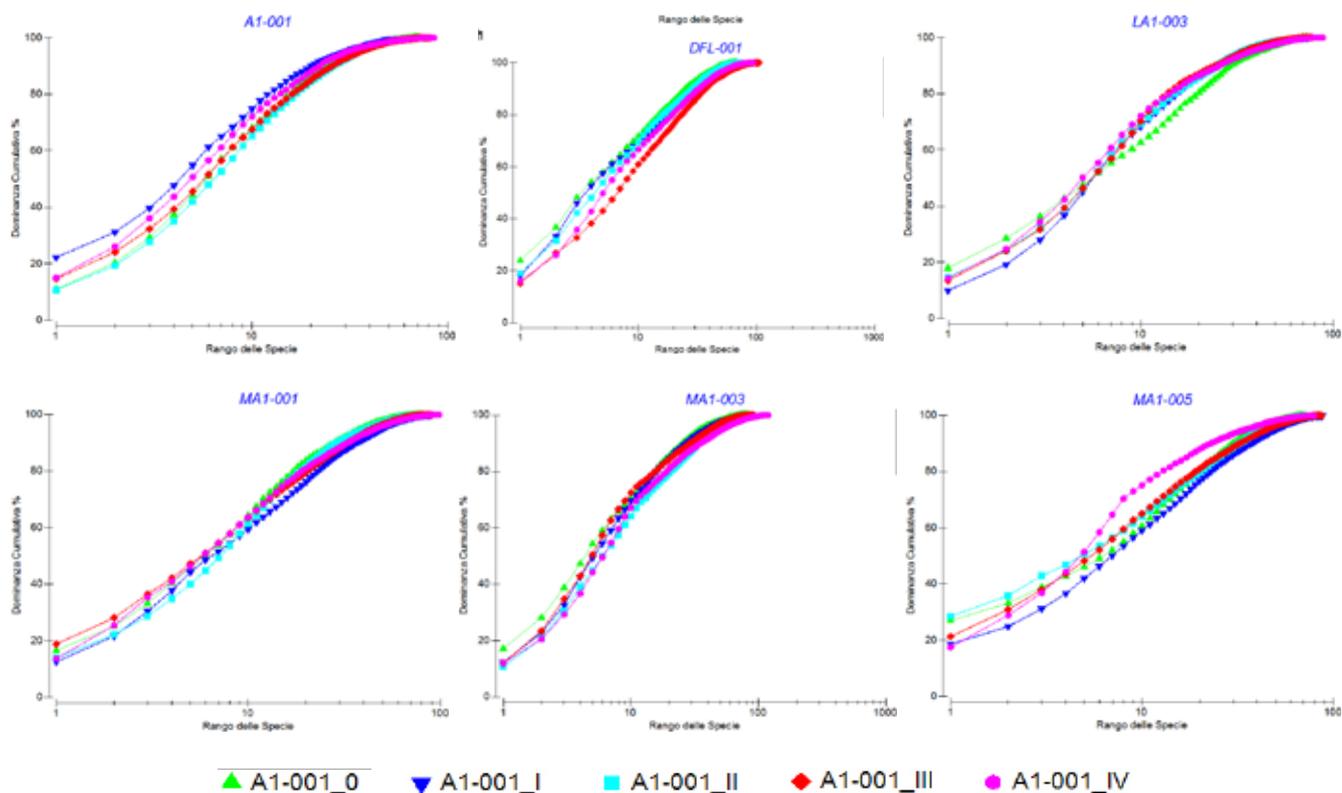
L'isolamento, nel grafico, degli affioramenti DFL-001 ed LA1-003 del campionamento di riferimento è dovuto alla quasi totale assenza di porifera e alla presenza di briozoi come *Schizobrachiella sanguinea* e *Schizoporella errata*.

Gli affioramenti di Lido A1-001 e LA1-003 si caratterizzano per la maggior biomassa dei Porifera *Sarcotragus spinosulus*, *Ircinia variabilis*, *Tedania anhelans*, *Cliona viridis* e *Chondrosia reniformis*. Il gruppo delle stazioni di Malamocco, invece, si contraddistingue per la dominanza dei popolamenti di poriferi come *Tedania anhelans* e *Halichondria* sp., dei tunicati *Microcosmus vulgaris* e *Pyura dura*, nonché per la presenza di gasteropodi e bivalvi (in particolar modo di *Gastrochaena dubia*).

In relazione alle differenze tra la biomassa zoobentonica degli affioramenti dell'area di Malamocco e quelli dell'area di Lido (A1-001 e LA1-003) si segnalano la minore presenza e dominanza dei poriferi (*Cliona* e *Chondrosia*), degli cnidari (*Epizoanthus*) e dei bivalvi (*Ostrea edulis*) e la minore presenza del porifero *Halichondria*.

L'analisi multivariata condotta sulla matrice delle presenze/assenze (grafico non riportato) conferma quanto già osservato nell'analisi separata dei popolamenti, evidenziando ancora la contrapposizione tra i rilievi dello studio di riferimento e quelli dei monitoraggi in corso d'opera, soprattutto quello del 2008. L'analisi dei taxa responsabili delle differenze negli anni indica che, in termini di presenza/assenza, quelli non coloniali risultano più significativi, come, ad esempio, i policheti *Ceratonereis costae* e *Syllidae*, i molluschi *Gastrochaena dubia*, *Hiatella arctica* e *Nassarius* o i crostacei anfipodi. I taxa coloniali rilevati nello studio di riferimento sono scarsamente rappresentati da antozoi (es. *Epizoanthus arenaceus*) e Porifera (*Chondrosia reniformis* e *Sarcotragus spinosulus*) e più ricchi di briozoi.

Il confronto tra le curve di K-dominanza (figura 11) dei medesimi affioramenti negli anni indicherebbe una situazione di stabilità o miglioramento della dominanza tra il 2005 e l'ultimo monitoraggio del 2008. Nei tre affioramenti relativi alla bocca di porto di Lido, nonostante siano presenti alcune variazioni tra gli anni, si rilevano condizioni relativamente simili, con un lieve miglioramento per LA1-003 e DFL-001 e stabilità per A1-001. Per gli affioramenti della bocca di Malamocco le curve indicano un



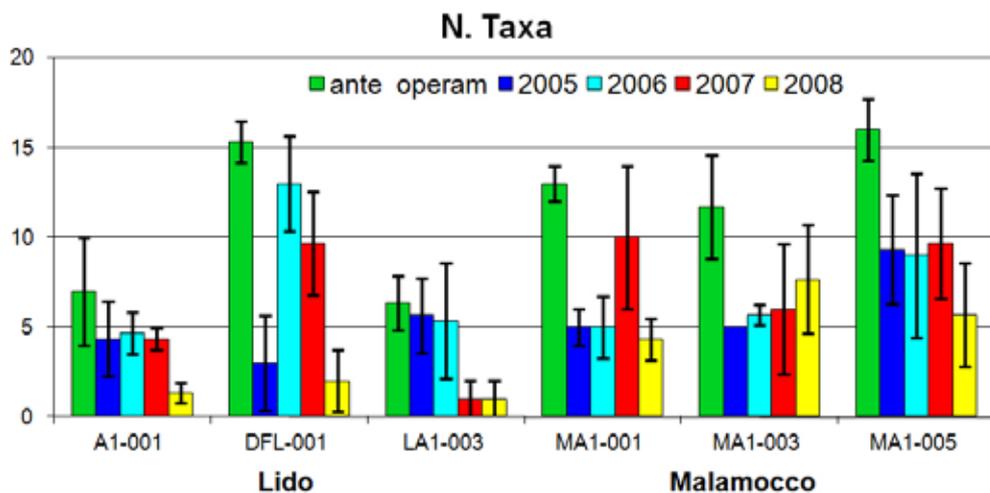
11. Curve di K dominanza dei sei affioramenti suddivise per macroarea (Lido in alto e Malamocco in basso) sulla base dei valori di biomassa secca dei taxa coloniali e non coloniali. In legenda "0" indica lo studio di riferimento mentre i numeri romani (da I a IV) i quattro monitoraggi dal 2005 al 2008.

lieve miglioramento per l'affioramento MA1-003 e sostanziale similarità negli anni per MA1-001 e MA1-005. In relazione all'ultimo campionamento del 2008, si rileva complessivamente la migliore distribuzione delle dominanze dell'intero ciclo di monitoraggio. Le curve degli affioramenti potenzialmente soggetti agli impatti, in particolare DFL-001 e MA1-005, assumono una posizione intermedia e comunque indicano un disturbo non rilevante.

### La comunità fitobentonica

La comunità macroalgale, rispetto a quella zoobentonica, è soggetta ad una maggiore variabilità interannuale sia in relazione ai cicli stagionali di luce e temperatura, sia per la presenza di cicli biologici complessi che fanno assumere, alla stessa specie, morfologie, forme e dimensioni anche molto diverse (es. macroscopiche e microscopiche). Tutto ciò appare più accentuato nel nord Adriatico, dove le differenze meteo-climatiche tra i mesi invernali e quelli estivi risultano più marcate che in altri mari, per luminosità, trasparenza, termoclino, temperatura dell'acqua o apporti fluviali. Per ovviare a questa variabilità, le comunità vegetali avrebbero dovuto essere investigate almeno due volte all'anno, per disporre di una base dati rappresentativa (Cormaci, 1995; Cormaci *et al.*, 2003).

Il numero di taxa evidenzia una regressione che, a partire dallo Studio di riferimento B.6.78 I/II, prosegue nel corso dei monitoraggi dal 2005 al 2008 (figura 12). Fa eccezione l'affioramento MA1-003. Rispetto allo studio di riferimento, in cui erano stati rilevati mediamente 11,6 taxa per affioramento, nel 2008 il numero medio di taxa identificati è risultato pari a 3,7. Questo decremento, pur essendo stato rilevato in ambedue le macroaree, appare più marcato negli affioramenti della bocca di Lido (-84%), rispetto a quelli di Malamocco (-56%). Pur con alcune differenze tra gli affioramenti, la riduzione interessa prevalentemente le alghe rosse, che costituiscono la frazione delle macroalghie più rappresentata. Anche in termini di ricopertura dei substrati (figura 13) si conferma una generale ri-



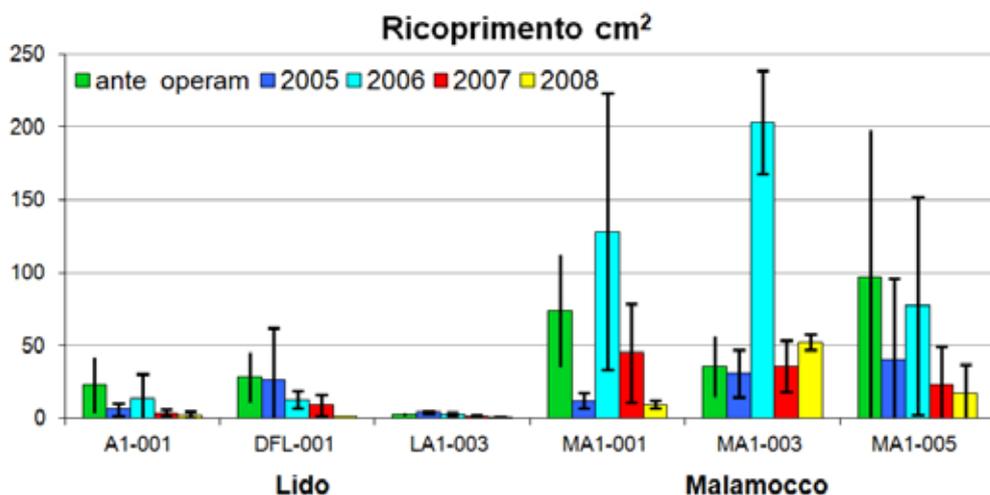
12. Numero di taxa medio per affioramento rilevato nello studio di riferimento e nei successivi monitoraggi 2005-2008. La barra corrisponde alla deviazione standard. I siti di controllo sono A1-001 (bocca di Lido) e MA1-005 (bocca di Malamocco).

duzione. Soltanto l'affioramento MA1-003 (in accordo con il numero di taxa) presenta valori di abbondanza superiori a quanto rilevato nello studio *ante operam*. Nel complesso, la riduzione del grado di copertura dei substrati è pari al 67%, più marcata negli affioramenti della macroarea di Lido (-93%) rispetto a quella di Malamocco (-61,5%). Tali riduzioni, se riferite alla superficie complessiva colonizzabile (2500 cm<sup>2</sup>), appaiono comunque poco rilevanti, considerando che variano da un ricoprimento medio del 2-3% nello studio di riferimento, a valori dell'ordine dell'1% nel 2008 negli affioramenti di Malamocco e inferiori all'1% nei tre affioramenti di Lido.

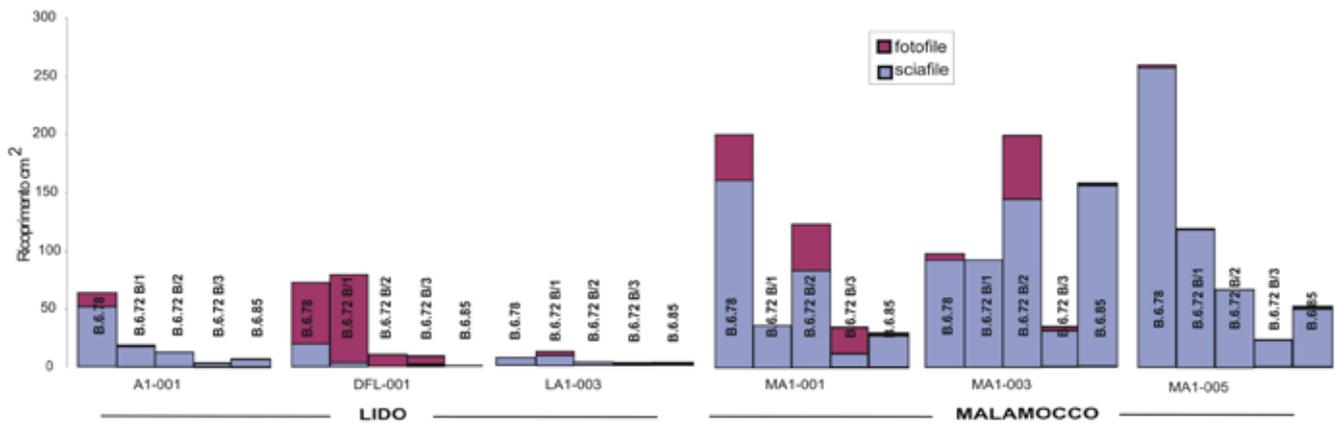
Come per il numero di taxa, la maggiore riduzione delle abbondanze riguarda ancora le alghe rosse e, solo secondariamente, le alghe verdi. La totale assenza di alghe brune, rilevata anche nello studio di riferimento, è dovuta alla carenza di luce e ai livelli di sedimentazione/torbidità troppo elevati per la loro sensibilità ecologica.

Il confronto delle abbondanze in relazione all'affinità delle alghe per la luce (sciafile-specie che gradiscono poca luce e fotofile-specie che richiedono luce), evidenzia come la riduzione sia più marcata per le specie sciafile, anche perché sono la componente più rilevante delle macroalghe che colonizzano gli affioramenti (figura 14). Solo nella stazione DFL-001, posta nelle vicinanze della bocca di Lido, si rileva una maggiore abbondanza delle alghe fotofile per la presenza di talli dell'alga verde nitrofila *Ulva* sp.

Tramite le analisi uni- e multivariata sono state esaminate le variazioni negli anni, tenendo conto della struttura della comunità macroalgale. Il test ANOSIM suggerisce l'assenza di differenze tra i 5 monitoraggi ( $p > 0,05$ ). Nel grafico MDS si rileva comun-



13. Abbondanza media per affioramento roccioso relativa allo studio di riferimento ed ai successivi monitoraggi 2005-2008. Si ricorda che i siti di controllo sono A1-001 (bocca di Lido) e MA1-005 (bocca di Malamocco).



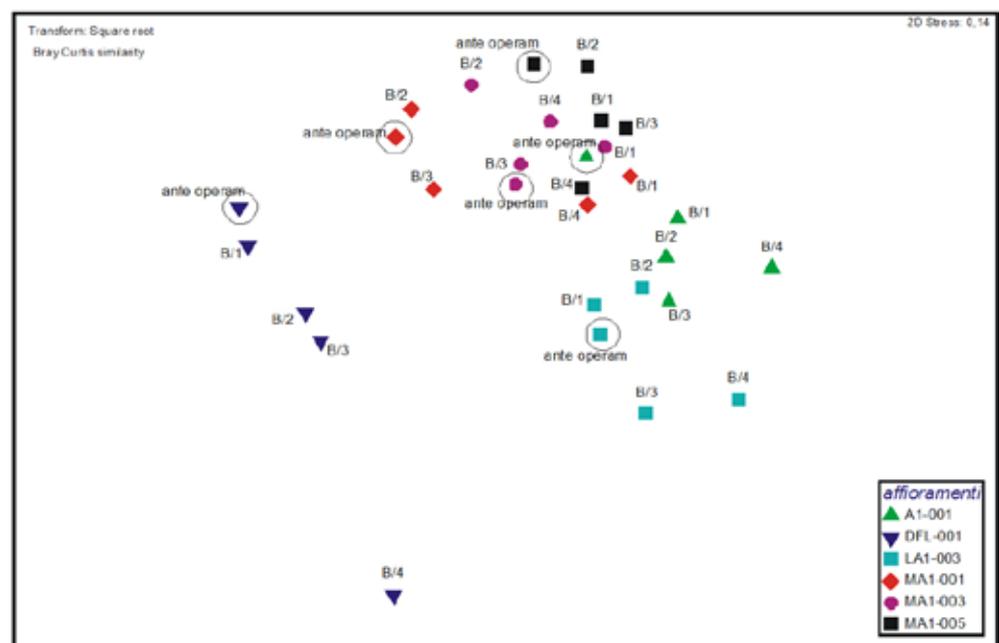
14. Confronto delle abbondanza in relazione al gruppo ecologico sciafilo – fotofilo e relativa allo studio di riferimento ed ai successivi monitoraggi 2005-2008. I valori fanno riferimento all'elenco floristico complessivo delle tre repliche (0,75 m<sup>2</sup>).

que come negli anni siano avvenuti cambiamenti nei medesimi affioramenti (figura 15). La maggiore variazione appare quella dell'affioramento DFL-001, situato nelle vicinanze della bocca di Lido; anche l'affioramento A1-001 evidenzia nel grafico, già dopo il primo anno, uno scostamento rispetto allo studio di riferimento ma con un progressivo distanziamento nel terzo e nel quarto anno di monitoraggio. Nel grafico appaiono, invece, più ravvicinati negli anni gli affioramenti della macroarea di Malamocco. In accordo con quanto rilevato per lo zoobenthos, l'analisi macroalgale suggerisce anch'essa che il maggiore scostamento dallo studio di riferimento si verifichi nel monitoraggio del 2008.

Al pari dell'analisi ANOSIM, l'analisi PERMANOVA conferma, considerando globalmente i 6 affioramenti studiati, l'assenza di differenze statisticamente significative tra i cinque monitoraggi, poiché il valore risulta superiore alla soglia di riferimento ( $p > 0,001$ ).

Una valutazione distinta tra le due macroaree indica, per Lido, l'assenza negli anni di differenze statisticamente significative (studio di riferimento e monitoraggi in corso d'opera) sia per l'analisi ANOSIM, sia per quella PERMANOVA; per la macroarea di Malamocco, il test ANOSIM suggerisce moderate differenze mentre il test PERMANOVA ( $p < 0,001$ ) indica differenze significative tra i 5 periodi (studio di riferimento e monito-

15. Analisi MDS dei cinque studi differenziati per affioramento roccioso per entrambe le bocche di porto. Si ricorda che i siti di controllo sono A1-001 (bocca di Lido) e MA1-005 (bocca di Malamocco).



raggi in corso d'opera). Nella macroarea di Malamocco, i test a coppie PERMANOVA indicano che le differenze più elevate si hanno tra lo studio di riferimento e, rispettivamente, il primo (2005) e l'ultimo (2008) dei monitoraggi in corso d'opera.

Riprendendo alcuni indicatori di sintesi, si notano variazioni tra lo studio di riferimento e quello più recente del 2008, che hanno comportato una perdita complessiva di biodiversità e ricoprimento sugli affioramenti (figura 16).

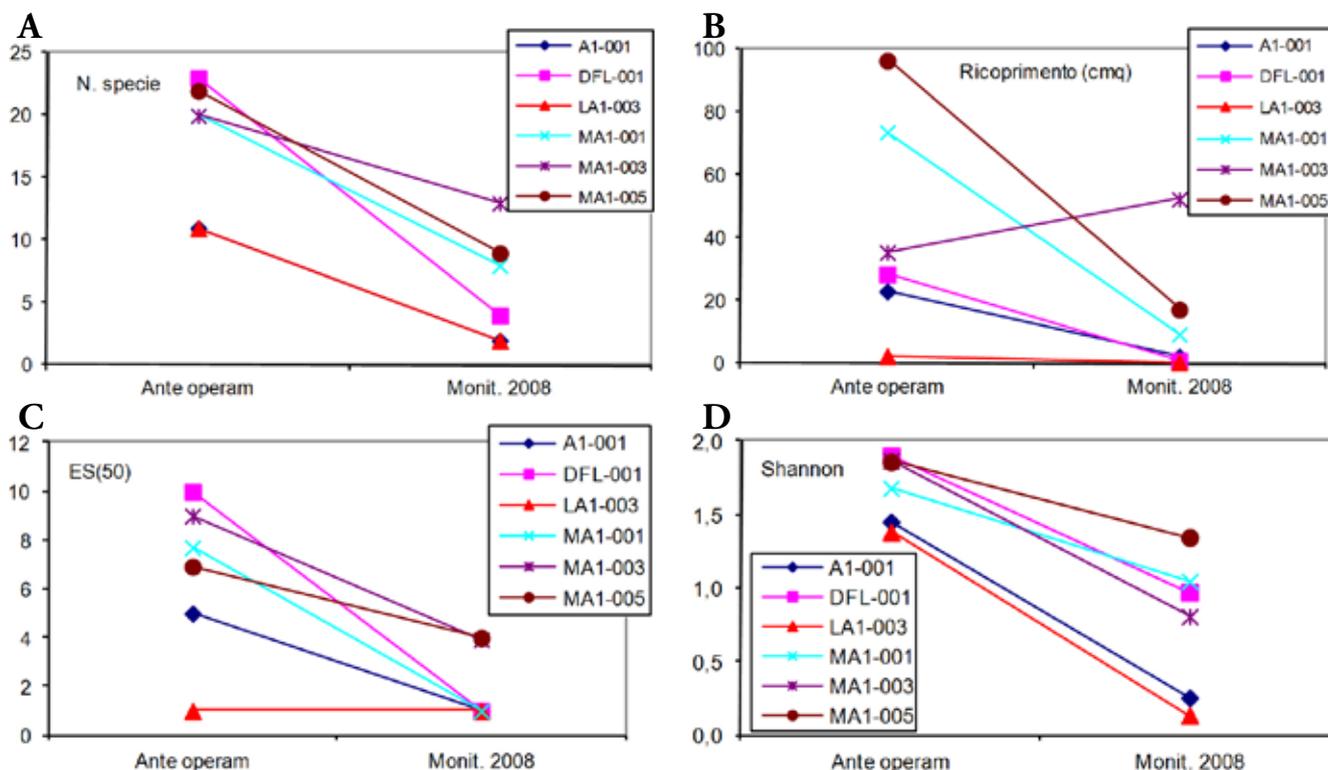
Il test Mann-Whitney U Test che ha comparato i valori delle repliche tra i due periodi (studio di riferimento e monitoraggio 2008) ha confermato come siano presenti differenze statisticamente significative ( $p < 0,05$ ) per il numero di taxa e per gli indici ES(50) e Shannon.

L'analisi ANOSIM, suggerisce la presenza di moderate differenze tra lo studio di riferimento e quello del 2008 mentre l'analisi PERMANOVA conferma l'esistenza di differenze significative per le comunità degli affioramenti di ambedue le macroree ( $p < 0,001$  per Malamocco). Il test a coppie Monte Carlo, ritenuto più idoneo del test Permanova in presenza di un limitato numero di permutazioni (Anderson *et al.*, 2008), per ciò che riguarda i sei affioramenti omologhi, nei due periodi a confronto (studio di riferimento e monitoraggio 2008), rileva per tutti differenze statisticamente significative ( $P_{mc} < 0,05$ ).

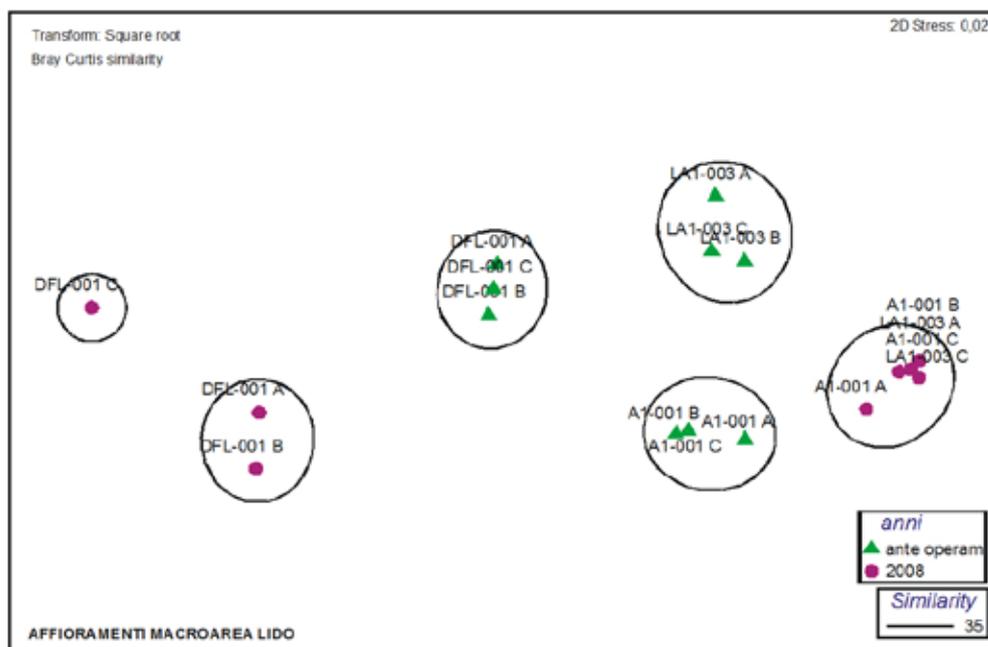
I grafici MDS delle due macroree Lido e Malamocco (figure 17 e 18) mostrano un diverso livello di omogeneità tra le comunità macroalgali degli affioramenti. Alla similarità del 35%, quelli dell'area di Malamocco mostrano un maggior livello di uniformità rispetto a quelli dell'area di Lido. Questa diversa distribuzione potrebbe derivare dalla maggiore uniformità, struttura, morfologia e batimetria degli affioramenti di Malamocco (rocce sparse, poco elevate su quote di 8,5-10 m) rispetto a quelli di Lido, che variano maggiormente sia per batimetria (da 11-14 m), sia per tipologia (da lastrure fronte bocca con scarsa elevazione dal fondale a rocce estese e uniformi che si elevano anche per 2 m dal fondale).

L'analisi SIMPER indica come, tra lo studio di riferimento e l'ultimo monitoraggio del 2008, si sia verificato un impoverimento generale della comunità macroalgale. Nel 2008, negli affioramenti della macroarea Malamocco, le comunità algali sono caratteriz-

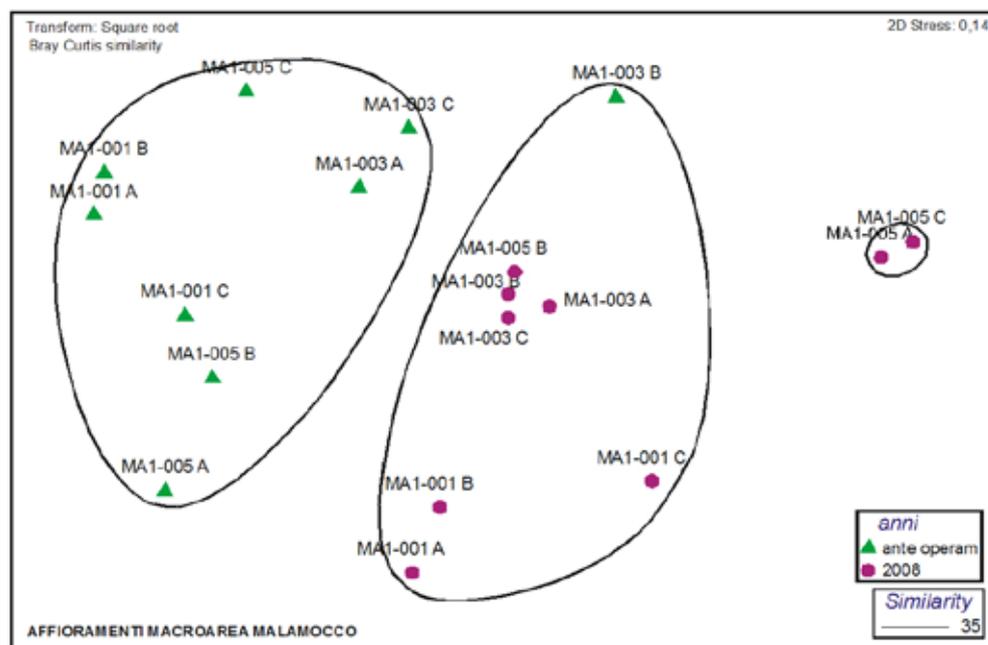
16. Variazione dei principali indicatori e indici univariati (numero di taxa, ricoprimento e indici ES(50) e di Shannon) tra lo studio di riferimento e quello del 2008.



17. Analisi MDS degli affioramenti rocciosi nel monitoraggio di riferimento e il quarto (2008) per la bocca di porto di Lido. La stazione A1-001 corrisponde al controllo.



18. Analisi MDS degli affioramenti rocciosi nel monitoraggio di riferimento e il quarto (2008) per la bocca di porto di Malamocco. La stazione MA1-005 corrisponde al controllo.



zate dalle alghe rosse *Rhodymenia ardissoni* e *Cryptonemia lomation* mentre, nello studio di riferimento, oltre a queste, risultano più diffuse, anche se non con elevate abbondanze, le alghe rosse *Rhodophyllis divaricata*, *Radicilingua thysanorhizans*, *Aglaothamnion* spp. e *Dasya* sp.

Nella macroarea Lido, la comunità macroalgale degli affioramenti appare più diversificata tra i tre affioramenti. L'affioramento DFL-001, rispetto a quanto registrato nello studio di riferimento, mostra una riduzione o perdita complessiva di taxa (*Ulva*, *Radicilingua*, *Neosiphonia*, *Dasya*, *Gracilariopsis* e *Dictyota*) anche se non rilevante a livello di abbondanza. Per gli altri due affioramenti (A1-001 e LA1-003), più profondi e simili per morfologia, rispetto allo studio di riferimento si registra una riduzione o perdita complessiva di taxa quali *Cryptonemia lomation*, *Rhodymenia ardissoni*, *Lithophyllum pustulatum*, *Antithamnion* spp., *Ceramium* spp. e *Radicilingua thysanorhizans*.

## Considerazioni conclusive

L'analisi pluriennale, oltre a perseguire lo scopo di valutare eventuali impatti delle opere di costruzione del MOSE su habitat di pregio, ha consentito di ottenere informazioni sulla variabilità delle comunità bentoniche che colonizzano gli affioramenti.

Le differenze e le similarità osservate, negli anni, nelle comunità bentoniche degli affioramenti devono essere valutate ricordando sempre che si tratta di “parametri indiretti”, per i quali non esiste una chiara e netta relazione causa-effetto tra la realizzazione delle opere e le possibili modificazioni nel loro assetto. A rendere complessa la valutazione delle possibili variazioni in atto, specialmente quando queste ultime non sono marcate, contribuisce il fatto che le conoscenze delle dinamiche temporali in questi ambienti sono molto scarse.

Per gli affioramenti rocciosi, tra i possibili impatti derivanti dalla realizzazione delle opere mobili alle bocche, la stessa VIA segnalava un eventuale aumento della sedimentazione e/o del livello di torbidità durante le fasi operative dei cantieri. Tali impatti erano stati preventivamente identificati mediante elaborazioni con modello idrodinamico-dispersivo e utilizzato anche in fase di scelta dei siti sia di possibile impatto, sia di controllo (vedi figure 2 e 3).

Tra le cause che determinano variazioni nella struttura e composizione della comunità bentonica sono poi da considerare anche quelle, sempre di origine antropica ma non connesse alle opere in realizzazione come, ad esempio, la pesca. Oltre a questo è necessario tener presente gli eventi meteo-marini anomali<sup>1</sup>, frequenti negli ultimi decenni, che hanno più volte innescato al fondo la formazione di mucillagini con conseguenti processi anossici. Si deve poi tener conto della vicinanza alla costa di questi affioramenti e della limitata profondità in cui si trovano, poiché questo li rende più sensibili agli apporti lagunari e fluviali e alla risospensione dei sedimenti, in particolare in occasione di mareggiate di particolare intensità, eventi che sembrano nell'ultimo periodo essere aumentati sensibilmente nella loro frequenza.

Le analisi condotte rendono conto di variazioni che, anche se non univoche, erano già state rilevate sin dal primo monitoraggio in corso d'opera del 2005 e sono diventate più evidenti nell'ultimo monitoraggio del 2008.

Tra le due componenti biologiche esaminate, quella zoobentonica ha evidenziato le maggiori fluttuazioni nel tempo, nei valori di abbondanza e di copertura dei substrati, soprattutto per le specie coloniali che, rispetto allo studio di riferimento (Studio B.6.78 I/II), sono aumentate nei primi due anni dei monitoraggi e diminuite negli ultimi due. L'analisi delle variazioni di alcune di queste specie indicatrici, soprattutto quelle appartenenti ai poriferi, permette di formulare alcune considerazioni sui trend osservati e sui possibili impatti avvenuti. I poriferi *Chondrosia reniformis* e *Chondrilla nucula* sono organismi che possiedono caratteristiche fisiologiche simili e tali da far loro trovare un buon habitat in ambienti dove è presente una forte sedimentazione mentre, al contrario, il porifero *Tedania anhelans* è una specie che non gradisce l'elevata sedimentazione.

Il fatto che *Chondrilla nucula* sia stata rinvenuta solo nell'area del Lido, nelle teggue più esterne e con coperture più elevate solo nel corso del primo anno di monitoraggio (2005), periodo in cui sono stati effettuati i maggiori lavori di dragaggio, avvalorerebbe la tesi che la specie si sia avvantaggiata solo inizialmente delle mutate condizioni di torbidità, per poi rientrare nei livelli di abbondanza attesi. Anche l'andamento del porifero *Chondrosia reniformis*, presente in quasi tutte le campagne negli affioramenti A1-001, LA1-003 e MA1-003, localizzati ad una distanza intermedia o lontana dalla costa, pur mostrando variabilità negli ultimi due monitoraggi (2007 e 2008), ha presentato valori

<sup>1</sup> Sono eventi che si verificano occasionalmente nei mesi invernali (ad esempio forti mareggiate che distruggono gli arenili) ma che sono diventati più frequenti negli ultimi anni.

sostanzialmente stabili nel tempo. Il trend dei valori di abbondanza di questi due organismi indicatori farebbe quindi escludere un aumento della sedimentazione negli ultimi anni, evento che avrebbe potuto favorire l'incremento dei due poriferi.

Al contrario, *Tedania anhelans*, specie che non gradisce elevata sedimentazione, risulta tra i più frequenti poriferi rinvenuti sugli affioramenti monitorati e, per valori di copertura e biomassa, è risultata sostanzialmente stabile nel corso del periodo di osservazione. Pur presentando alcune oscillazioni negli anni, i livelli di presenza e abbondanza indicherebbero comunque l'assenza di significativi eventi negativi legati alla sedimentazione e tali da incidere sull'abbondanza di questa specie.

Per quanto riguarda le specie non coloniali, dai valori di abbondanza, di biomassa e degli indici ecologici si rileva come le comunità bentoniche nelle aree esposte ai possibili impatti dei cantieri alle bocche non diano indicazioni circa possibili cambiamenti in atto, legati agli effetti di tali opere. Le variazioni osservate, infatti, sembrano attribuibili a dinamiche naturali di insediamento e competizione intra ed interspecifica dei taxa, piuttosto che a modificazioni dei parametri ambientali.

L'andamento delle curve ABC delle abbondanze e della K Dominanza per gli affioramenti DFL-001, MA1-001 ed MA1-005 segnalano condizioni di stress negli ultimi due anni, essendo fortemente caratterizzate dalla dominanza di alcuni organismi non coloniali, primo fra tutti il polichete *Sabellaria spinulosa*. Negli anni di monitoraggio, questi tre affioramenti si sono sempre distinti dagli altri per un diverso andamento dei principali parametri della comunità bentonica. Soprattutto negli ultimi due anni gli affioramenti DFL-001 e MA1-005 sono stati caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini e sabbiosi sul substrato roccioso che, come avvenuto per l'affioramento DFL-001, hanno determinato uno sbilanciamento tra numero di taxa non coloniali e taxa coloniali. È interessante notare infatti come gli affioramenti DFL-001 e MA1-001 siano i più vicini alle rispettive bocche di porto, mentre l'affioramento MA1-005, pur considerato come controllo in quanto esterno alle aree di impatto individuate dai modelli (figura 2), sia tuttavia il sito in assoluto più vicino alla costa ed in battente d'acqua sensibilmente basso (solo 8 m).

D'altro canto va considerato come la variabilità ambientale ed il disturbo idrodinamico naturale ed antropico, ai quali questi affioramenti sono soggetti, siano tali da non poter far collegare in modo diretto queste variazioni alle opere alle bocche o a cambiamenti generali della qualità degli habitat da esse indotte. Tali considerazioni tengono conto anche del fatto che le comunità zoo-bentoniche hanno mostrato spesso le medesime variazioni sia negli affioramenti di possibile impatto (perché vicini alle bocche), sia in quelli più lontani, considerati di controllo poiché teoricamente non soggetti agli impatti sulla base del modello di dispersione dei sedimenti.

La componente fitobentonica, apparsa, sin dal primo monitoraggio, limitata in termini di abbondanza sui substrati (2-3% dell'area di campionamento) ma non per numero di taxa, ha evidenziato, soprattutto negli ultimi anni, una semplificazione nella struttura della comunità. Da 45 taxa nello studio di riferimento, si è giunti a 20 taxa nell'ultimo monitoraggio del 2008 e anche il ricoprimento dei substrati ha subito riduzioni ( $\leq 1\%$ ). Come per lo zoobenthos, in tutti gli anni sono sempre state rilevate variazioni simili tra gli affioramenti più lontani dalle bocche (controllo) e quelli più vicini e potenzialmente soggetti ad impatti da torbidità da ricondurre alle opere.

Gli indici di diversità di Shannon e ES(50), che sintetizzano lo stato delle comunità algali in termini di ricchezza floristica confermano i cambiamenti in atto, evidenziando valori inferiori rispetto allo studio di riferimento. Comparando i valori per repliche tra il primo (riferimento) e l'ultimo controllo (2008), il Mann-Whitney U Test indica differenze statisticamente significative per il numero di taxa e per gli indici ES(50) e Shannon.

Rispetto allo studio di riferimento, che registrava ricoprimenti algali dell'ordine del 2-

3%, nei successivi monitoraggi, e soprattutto nell'ultimo, si è verificata una progressiva riduzione sino a livelli medi dell'1%, che ha interessato soprattutto il gruppo morfo-funzionale delle alghe a tallo foglioso. Queste ultime sono quelle che maggiormente risentono per dimensioni e tipologia dei talli degli impatti dovuti alla torbidità delle acque e alla sedimentazione (Steneck e Dethier, 1994; Irving *et al.*, 2002a, b). Dal confronto tra lo studio di riferimento e il monitoraggio del 2008 emerge come la riduzione del grado di copertura sui substrati sia più marcato negli affioramenti della macroarea Lido rispetto a quella di Malamocco.

Le analisi statistiche ANOSIM e PERMANOVA, condotte per singole macroaree, indicano la presenza di differenze tra lo studio di riferimento e il più recente monitoraggio del 2008. Seppur limitata, la riduzione delle coperture algali tra i due periodi (dal 3% all'1% dell'area di campionamento) ha riguardato le alghe rosse *Rhodymenia ardissoni* e *Cryptonemia lomation*, *Rhodophyllis divaricata*, *Radicalingua thysanorbizans*, *Aglaothamnion* spp. e *Dasya* spp.

Tali variazioni di abbondanza, se rapportate alle abbondanze algali presenti sui substrati campionati, risultano, nel complesso, limitate e non riconducibili ad un mutamento complessivo della struttura e della composizione della comunità.

Una valutazione complessiva della comunità fito-zoobentonica degli affioramenti rocciosi indagati rileva, anche se in modo non sempre univoco, differenze con lo studio di riferimento. Il trend generale osservato nel corso del monitoraggio descrive una graduale perdita di biodiversità per le specie macroalgali ed una variazione della struttura della comunità zoobentonica. Sulla base della tipologia delle specie variate, è ragionevole ricondurre quanto osservato prevalentemente a fattori collegati a variazioni di livelli di sedimentazione dipendenti da fattori meteo-marini o antropici. Dal quadro generale emerge come le variazioni nella struttura e della composizione delle comunità riguardino sia affioramenti prossimi alle bocche (vedi soprattutto DFL-001 e MA1-005), sia quelli lontani che svolgono la funzione di controllo. Dall'analisi dei dati pluriennali non appare evidente una sorgente o una specifica causa che determini impatti, bensì si rileva l'azione su ampia scala di più cause, che ragionevolmente includono anche le opere alle bocche, che si sommano ed interagiscono tra loro e dei quali non è facile stabilire il peso dei singoli contributi.

Alle variazioni osservate potrebbero contribuire fattori di disturbo riconducibili alla vicina laguna e alle bocche di porto, ai quali se ne sommano altri, come, ad esempio, lo sfasamento tra i periodi di campionamento rispetto allo studio di riferimento, le dinamiche interannuali delle comunità bentoniche, il forte impatto della pesca, la sedimentazione e la torbidità generali e diffuse, dovute alla vicinanza alla linea di costa e alle foci fluviali. L'anomalo andamento meteo-climatico del decennio, come ad esempio quello dell'inverno 2008-2009, che ha visto il ripetersi di mareggiate e precipitazioni, ha probabilmente contribuito a marcare ulteriormente le differenze tra lo studio di riferimento e il quarto monitoraggio (2008). Quest'ultimo fattore può aver inciso in modo significativo sulla perdita di biodiversità, soprattutto macroalgale, considerando che, per le avverse condizioni, la fase di campionamento si è prolungata da dicembre 2008 sino a marzo 2009. Queste mareggiate, i cui effetti si sono avuti sino alla profondità di 8-10 metri, hanno determinato fenomeni di risospensione dei sedimenti e di persistente torbidità che hanno inciso soprattutto sulla più sensibile e già limitata comunità algale.

## Ringraziamenti

Si ringrazia Emiliano Checchin ed Andrea Pierini (SELC soc. coop.) per la collaborazione nel corso delle attività.



Talli dell'alga rossa *Halymenia floresia* (affioramento MA1 003).



Talli dell'alga rossa *Rhodymenia ardissoni* (affioramento MA1 001).



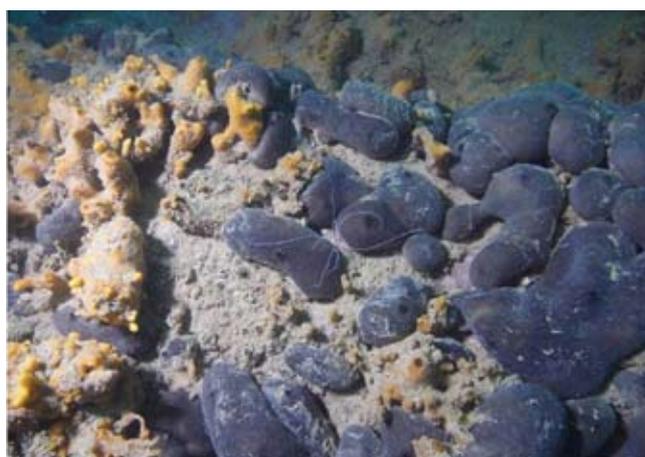
Esemplare del porifero *Tedania* (affioramento DFL 001).



Esemplare del porifero *Dysidea* (affioramento LA1 001).



Esemplare del porifero *Tethya* (affioramento MA1 001).



Esemplare del porifero *Chondrosia reniformis* (affioramento MA1 003).



Esemplare del mollusco bivalve *Pinna nobilis* (affioramento MA1 003).



Esemplari del polichete sedentario *Sabellaria spinulosa* (affioramento MA1 003).



Campioni del porifero *Ircinia variabilis* raccolti nel monitoraggio del 2006 (immagine di laboratorio).

## Bibliografia

- Airoldi L., Cinelli F. (1997) Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 215: 269-288.
- Anderson M.J., Gorley R.N., Clarke K.R. (2008) PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods, PRIMER-E, Plymouth. 214 pp.
- ARPAV (2006) Fornitura di servizi tecnico scientifici, analitici e informativi per attività di studio e monitoraggio ambientale in acque marino – costiere del veneto (tegnue). Rapporto conclusivo. Esecutori Thetis-SELC.
- Balata D., Piazzini L., Pica D., Cinelli F. (2004) Influenza della sedimentazione su un popolamento coralligeno Mediterraneo. XIV Congresso della Società Italiana di Ecologia (4-6 Ottobre), Siena.
- Boldrin A. (1979) Aspetti ecologici delle formazioni rocciose dell'Alto Adriatico. *Atti Conv. Scien. Naz. Prog. Oceanog.*: 1197-1207.
- Bonardi M., Tosi L., Rizzetto F., Brancolini G., Baradello L. (2006) Effects of climate changes on the late Pleistocene and Holocene sediments of the Venice Lagoon, Italy. *J. Coastal Res.*, 39, 279-284.
- Boudouresque Ch.F. (1971) Recherches de bionomie analytique, structurale et expérimentale sur les peuplements benthiques sciaphiles de Méditerranée occidentale (fraction algale). Thèse Doct. Univ. Marseille Luminy. 624 pp.
- Casellato S., Stefanon A. (2008) Coralligenous habitat in the northern Adriatic Sea: an overview. *Mar. Ecol.*, 29: 321-341.
- Cesari P., Mizzan L. (1994) Dati sulla malacofauna marina costiera del Veneziano. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia*, 224 (43): 179-190.
- Colombo G., Ferrari I., Ceccherelli V. U., Rossi R. (1991) Marine eutrophication and population dynamics. *Poc. 25th EMBS, Olsen & Olsen, Fredensborg DK.* 394 pp.
- Cormaci M. (1995) Struttura e periodismo dei popolamenti a *Cystoseira* (Fucophyceae, Fucales) del Mediterraneo. *Giorn. Bot. Ital.*, 129: 357-366.
- Cormaci M., Furnari G., Giaccone G., (2003) Macrofitobenthos. In: Gambi M.C., Dappiano M., (ed.) *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Biol. Mar. Medit.*, 10 (Suppl): 233-262.
- Curiel D., Orel G., Marzocchi M. (2001) Prime indagini sui popolamenti algali degli affioramenti rocciosi del Nord Adriatico. *Boll. Soc. Adriatica Sc.*, 80: 3-16.
- Curiel D., Rismondo A., Mizzan L., Cerasuolo C., Cecconi G. (2008) Benthic communities of some rocky outcrops (tegnue) offshore venetian coast (Northern Adriatic sea-Italy). 9th International Conference LITTORAL 2008-Proceedings of the 9th International Conference LITTORAL 2008, Venice, Italy, 25-28 November 2008. In: Campostrini P. (ed.) *A changing coast: challenge for the environmental policies.* Arzanà, Venice. (electronic publication). (Abstract, pp. 228).
- Curiel D., Falace A., Vinko B., Kaleb S., Solidoro C., Ballesteros E. (2012) Species composition and spatial variability of macroalgal assemblages on biogenic reefs in the northern Adriatic Sea. *Bot. Mar.* 55 (6): 625-638. DOI 10.1515/bot-2012-0166
- Curiel D., Miotti C, Checchin E., Rismondo A, Cerasuolo C., Kaleb S, Falace A. (2014) Biodiversità macroalgale e gradienti ecologici degli affioramenti rocciosi del litorale veneto. *Boll. Mus. St. Nat. Venezia*, 65: 5-21.
- Donda F., Forlin E., Gordini E., Panieri G., Buenz S., Volpi V., Civile D., De Santis

- L. (2015) Deep-sourced gas seepage and methane-derived carbonates in the Northern Adriatic Sea. *Basin Res.*, 27: 531–545. doi:10.1111/bre.12087
- Falace A., Kaleb S., Curiel D., Miotti C., Galli G., Querin S., Ballesteros E., Solidoro C., Bandelj V. (2015) Calcareous Bio-Concretions in the Northern Adriatic Sea: Habitat Types, Environmental Factors that Influence Habitat Distributions, and Predictive Modeling. *PLoS ONE* 10 (11): 1-21 doi:10.1371/journal.pone.0140931
- Gabriele M., Bellot A., Gallotti D., Brunetti R. (1999) Sublittoral hard substrate communities of the northern Adriatic Sea. *Cah. Biol. Mar.*, 40: 65-76.
- Gordini E., Marocco R., Tunis G., Ramella R. (2004) The cemented deposits of the Trieste Gulf (Northern Adriatic Sea): areal distribution, geomorphologic characteristics and high resolution seismic survey. *J. Quat. Sci.*, 17: 555–563.
- Irving A.D., Connell S.D. (2002a) Interactive effects of sedimentation and microtopography on the abundance of subtidal turf-forming algae. *Phycologia*, 41: 517-522
- Irving A.D., Connell S.D. (2002b) Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitat: algal versus invertebrate dominated assemblages. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 245: 83-91.
- Kollmann H. Stanchowitsch M. (2001) Long-Term Changes in the Benthos of the Northern Adriatic Sea: a Phototranssect Approach. *Mar. Ecol.*, 22 (1): 135-154.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia) (2006a) Studio B.6.78/I/II. Attività di monitoraggio alle bocche di porto. Controllo delle comunità biologiche lagunari e marine. Valutazioni dello stato ecologico degli affioramenti rocciosi nelle aree prossime alle bocche di porto. Relazione finale. Consorzio Venezia Nuova-Esecutore L. Mizzan.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2006b-08) Studi B.6.72 B/1-B/3. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area Ecosistemi di pregio. Macroattività: Affioramenti rocciosi, Tegnue. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (2009) Studio B.6.85 II. Proseguimenti degli interventi di valorizzazione ambientale dei litorali veneziani ed innesco di processi insediativi alle bocche di Malamocco e Chioggia. Macroattività: Monitoraggio degli affioramenti rocciosi “tegnue” nelle aree di bocca. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Mizzan L. (1992) Malacocenosi e faune associate in due stazioni altoadriatiche a substrati solidi. *Boll. Mus. civ. St. Nat. Venezia*, 41: 7-54.
- Mizzan L. (1994) Malacocenosi in due stazioni altoadriatiche a substrati solidi (2): analisi comparativa fra popolamenti di substrati naturali ed artificiali. *Lavori Soc. Ven. Scien. Nat. Venezia*, 18: 83-88.
- Mizzan L. (1995) Le “Tegnùe”. Substrati solidi naturali del litorale veneziano: Potenzialità e prospettive. *ASAP Venezia*. 46 pp.
- Mizzan L. (1999) Localizzazione e caratterizzazione di affioramenti rocciosi delle coste veneziane. Primi risultati di un progetto di indagine. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia*. 50: 195-212.
- Olivi G. (1792) *Zoologia Adriatica*. Reale Accademia Sc. Lett. Arti, 344 pp.
- Ponti M. (2001) Aspetti biologici ed ecologici delle “tegnue”: biocostruzione, biodiversità e salvaguardia. *Chioggia, Rivista di studi e ricerche*, 18: 179-204.

- Ponti M., Mescalchin P. (2008) Meraviglie sommerse delle "Tegnùe. Guida alla scoperta degli organismi marini". Associazione "Tegnùe di Chioggia"-onlus, Editrice La Mandragora, Imola (BO). 424 pp.
- Soresi S., Cristofoli A., Masiero L., Casellato S. (2004) Benthic communities of rocky outcrops in the northern Adriatic Sea: a quantitative survey. In: Rapport du 37e Congrès de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée. Barcellona. pp. 331.
- Stefanon A. (1966) First notes on the discovery of outcrops of beach rock in the Gulf of Venice (Italy). XX Congrès-Assemblée Plénière de la C.I.E.S.M.M. in Rapp. Comm. int. Mer. Médit., 19 (4): 648-649.
- Stefanon A., Zuppi G.M. (2000) Recent carbonate rock formation in the Northern Adriatic Sea. Hydrogeologie, 4: 3-10.
- Stefanon A. (2001) Cenni sulla geologia e gli organismi costruttori delle "tegnue". Chioggia, Rivista di studi e ricerche, 18: 171-178.
- Steneck R.S., Dethier M.N. (1994) A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. Oikos, 69: 476-498.

## Summary

Benthic communities of natural rocky outcrops (tegnùe) offshore of the Venetian coast, in the proximity of lagoon inlets, were monitored from 2005 to 2008 to assess potential impacts due to construction works for the mobile barriers at the lagoon inlets (MOSE). These natural submerged structures provide important ecological services and play a peculiar role enhancing diversity in underwater landscape and bottom morphology. Significant deviations from reference conditions acquired in spring 2005 and any specific cause-effect relationship with the works at the lagoon inlets were considered and highlighted.

Over the years, the zoobenthic community (especially colonial organisms) revealed major fluctuations in abundance and coverage values. The analysis of changes of some indicator species, especially those belonging to the sponges (*Chondrosia reniformis*, *Chondrilla nucula* and *Tedania anhelans*) would rule out an increase in sedimentation in recent years. As for the non-colonial species, the variations seem attributable to colonization dynamics and intra- and inter-specific competition, rather than changes in pressures and in the environmental parameters. In any case, these outcrops are also subject to environmental variability and natural or human-induced hydrodynamic disturbance and, because of these factors, changes in communities cannot be directly connected to the gate construction works. Zoobenthic community often showed the same modifications both in the inshore outcrops (subjected to possible impacts because located in the proximity of lagoon inlets) and in the offshore outcrops (theoretically not subjected to impacts according to the sediment dispersion model and therefore considered as control).

Since the first monitoring, the phytobenthic communities showed limited coverage and number of species. As for the zoobenthos, phytobenthos often presented the same modifications in both the farthest offshore outcrops (control) and the outcrops located in the proximity of lagoon inlets (potentially subject to turbidity impacts due to the works). Compared with reference conditions, these algal communities showed a gradual reduction of coverage, especially in the morpho-functional group of foliose frond algae, that is the most affected one by the impacts due to water turbidity and sedimentation. Comparison of the pre-construction study and the 2008 monitoring pointed out a reduction of coverage that results more pronounced on the substrates of the Lido outcrops than the ones of Malamocco.

The phyto- and zoobenthic communities of the rocky outcrops showed differences between the pre-construction monitoring and the under-construction one. A gradual loss of macroalgal biodiversity and a variation of the main species of sponges and filter-feeding bivalves were registered. These modifications are probably due to changes in sedimentation levels dependent on weather and human factors. Changes in the structure and composition of benthic communities were detected in both the offshore outcrops (control) and the inshore ones. Cause of this change were not clearly identified because of the several factors that probably interact with each other resulting in combined action, difficult to separate. Examples are the different sampling periods, inter-annual dynamics of communities, fishing impact, sedimentation and turbidity due to coast and river mouths proximity, the construction works of mobile barriers and the irregular weather events of the last decade.





# **Il porto di Venezia e i cantieri del Mose: individuazione e analisi delle potenziali interrelazioni**

## ***The port of Venice and the MOSE construction sites: identification, analysis and main evidences of potential correlations***

Marco Mazzarino, Marco Della Puppa

### **Importanza e complessità del settore marittimo-portuale**

Le dinamiche attuali della logistica globale configurano una serie di scenari strategici e di sfide rilevanti che interessano i sistemi logistico-produttivi europei, mediterranei e alto-adriatici (Mazzarino, 2012; 2013). Il trasporto marittimo di merci e passeggeri riveste un ruolo chiave all'interno della catena logistica per l'entità dei flussi movimentati a livello mondiale, per la marcata caratterizzazione *capital intensive* nonché per la multi-attorialità che coinvolge sia operatori privati (spedizionieri, multimodal transport operators-MTO, terminalisti, ecc.) che soggetti istituzionali/pubblci (Autorità Portuali, Capitanerie, ecc.).

In effetti il sistema marittimo-portuale risulta caratterizzato da un elevato grado di complessità strutturale e da un forte livello di eterogeneità. Basti pensare, ad esempio, alle diverse tipologie di servizi offerti e alla varietà di merceologie e tipologie di passeggeri che utilizzano tali servizi (Stopford, 1997; Marchese, 2000).

Per comprendere nel dettaglio le dinamiche sottostanti l'esercizio di un trasporto che comprenda anche servizi via mare, non è possibile prescindere dal ruolo rivestito dai porti che rappresentano l'anello di congiunzione e di scambio tra l'operatività terrestre e quella marittima; il ragionamento resta valido anche per i porti che operano soltanto sul lato mare raccordando tra loro diverse rotte marittime. L'impatto, diretto, indiretto o indotto, che un porto, o un sistema portuale, genera sulla società e sull'economia del territorio su cui insiste è positivo perché i servizi che esso offre contribuiscono al benessere collettivo; per questo motivo è di fondamentale importanza che esso operi in modo efficiente ed efficace senza compromettere il potenziale flusso di traffici commerciali del suo bacino di riferimento.

### **Efficienza e criteri di scelta marittimo-portuale**

La strategicità dei porti e la loro efficienza operativa sono sempre stati oggetto di particolari attenzioni ma recentemente si è rafforzato l'interesse in seguito ai cambiamenti dell'economia mondiale, come la globalizzazione della produzione e del consumo, ed alle modificazioni dei processi logistici. In particolare, mentre la crescita dei traffici mondia-

li è notevolmente aumentata a partire dagli anni '80 del secolo scorso con la crescente divisione internazionale del lavoro e con l'internazionalizzazione dei processi produttivi, i processi logistici hanno vissuto, per quanto riguarda il solo aspetto trasportistico, il passaggio da una catena segmentata in tante modalità ad una integrata, disegnata per soddisfare le esigenze degli utenti. È in uno scenario di questo tipo che, data la pressione esercitata sui porti affinché essi aumentino le proprie *performance*, produttività ed efficienza assumono fondamentale importanza, anche perché sono strettamente connessi all'operatività delle navi che vi fanno scalo.

Dal punto di vista scientifico non mancano analisi dell'efficienza e della competitività portuale e dei criteri di scelta del servizio marittimo-portuale (Mazzarino, 1999; 2003; 2004).

Il grado di efficienza di un porto, che si traduce nella capacità di attrarre nuovo traffico e di fidelizzare quello già presente<sup>1</sup>, è il risultato di un ampio numero di fattori tra cui:

- qualità delle infrastrutture portuali (bacini, moli, banchine, ormeggi, ecc.);
- disponibilità di spazi per lo stoccaggio delle merci;
- favorevoli condizioni geo-morfologiche (pescaggio, accessibilità, localizzazione, mercato di riferimento), istituzionali/amministrative e sociali<sup>2</sup>;
- specializzazione in una o più tipologie di traffico;
- buoni collegamenti con le infrastrutture di trasporto terrestre (strade, ferrovie, idrovie);
- qualità dei servizi portuali offerti a navi e carichi (sdoganamento, carenaggio, servizi informatici, ecc.);
- disponibilità di adeguate attrezzature per la movimentazione dei carichi;
- adeguato numero di rotte/servizi e relativa frequenza;
- disponibilità di forza lavoro qualificata;
- disponibilità di capitali per il potenziamento dell'offerta.

È l'interazione di questi elementi, materiali e non, che concorre a determinare i volumi di traffico movimentati, la redditività del porto, la velocità delle operazioni portuali<sup>3</sup>, il livello dei costi del trasporto marittimo e la *customer satisfaction*. Di converso un porto che lavora in modo inefficiente ha ripercussioni negative sui tempi di attesa delle navi<sup>4</sup>, sui tempi di permanenza dei carichi all'interno del porto<sup>5</sup> (con il conseguente pericolo di danneggiamento degli stessi) e sui costi a carico dell'utenza<sup>6</sup>.

## Pianificazione operativa del monitoraggio

Alla luce degli elementi sin qui esposti, la strutturazione del Piano di monitoraggio degli effetti indotti dai cantieri del MOSE sulla regolare operatività della portualità ve-

<sup>1</sup> Fattore non secondario in un mercato, quale quello marittimo, caratterizzato da un'elevata volatilità in cui gli operatori modificano velocemente le proprie strategie orientandosi verso quei porti che si rivelano maggiormente attrattivi.

<sup>2</sup> Frequenza scioperi, tensioni sociali, ecc.

<sup>3</sup> E quindi il rispetto delle sailing list, ovvero degli orari di partenza delle navi.

<sup>4</sup> Con fenomeni di congestione e di allungamento del transit time totale del viaggio e di maggiori esborsi in termini di diritti portuali.

<sup>5</sup> Sia di quelli destinati all'imbarco che di quelli destinati alla spedizione terrestre.

<sup>6</sup> In quanto maggiore è il tempo che una nave trascorre ormeggiata in un porto minore è la sua produttività.



neziana, e quindi sulla sua competitività, ha tenuto in considerazione alcune indicazioni essenziali:

- la necessità di monitorare l'impatto dei lavori su specifici servizi marittimi-tipo; tali servizi sono stati individuati attraverso un piano di campionamento stratificato;
- l'importanza di concentrare il monitoraggio non soltanto sui flussi di traffico ma anche sulla "qualità del servizio";
- la rilevanza da assegnare ad aspetti scarsamente quantificabili (percezioni, strategie, tendenze, ecc.), che sono stati gestiti secondo modalità "qualitative" all'interno di un tavolo di riferimento che raggruppa i principali *opinion leader* del settore marittimo-portuale veneziano.

Dal punto di vista operativo il monitoraggio ha avuto come momento iniziale la definizione dello stato di fatto (*ante operam*), ovvero l'inquadramento della realtà rispettivamente prima ed all'avvio delle fasi di cantiere, che è stato utilizzato quale termine di paragone per evidenziare ed analizzare le variazioni nei fenomeni osservati eventualmente manifestatisi durante le suddette fasi.

Il fenomeno considerato è stato analizzato in modo approfondito si da individuarne le logiche di funzionamento e dunque definire un approccio metodologico esaustivo capace di produrre un insieme significativo di parametri rappresentativi dei possibili impatti delle opere di cantiere sull'attività portuale. La costruzione dello stato di fatto e del progresso è stata dunque funzionale allo sviluppo del fenomeno in futuro. In estrema sintesi, i parametri specifici che sono emersi risultano:

- i flussi di traffico;
- i parametri di qualità del servizio;
- l'analisi dei porti concorrenti ("effetto concorrenza");
- le percezioni degli operatori (parametri "qualitativi").

Tali parametri sono stati controllati per tutta la durata del monitoraggio<sup>7</sup> sviluppando

le seguenti attività:

- misurazioni dirette;
- acquisizione continua di informazioni da fonti secondarie;
- sviluppo del tavolo di riferimento;
- analisi dei dati;
- produzione di report mensili (di natura descrittiva in cui sono stati “fotografati” i parametri oggetto di monitoraggio) e quadrimestrali (aventi una natura critica di commento dei dati dei report mensili).

### **Portualità veneziana**

Il porto di Venezia ha vissuto una recente trasformazione da porto a preponderante vocazione industriale a porto commerciale. La sua evoluzione si può riassumere in due fasi temporalmente ben delineate. La prima, che si protrae fino alla fine degli anni '80, vede un porto prevalentemente industriale (Figura 1), un luogo di sbarco di petrolio e di merci rinfuse, principalmente secche (es.: carbone), che andavano ad alimentare l'attività della zona industriale di Marghera. Alla fine del decennio il porto commerciale attraversa invece un periodo di crisi principalmente a causa fattori quali:

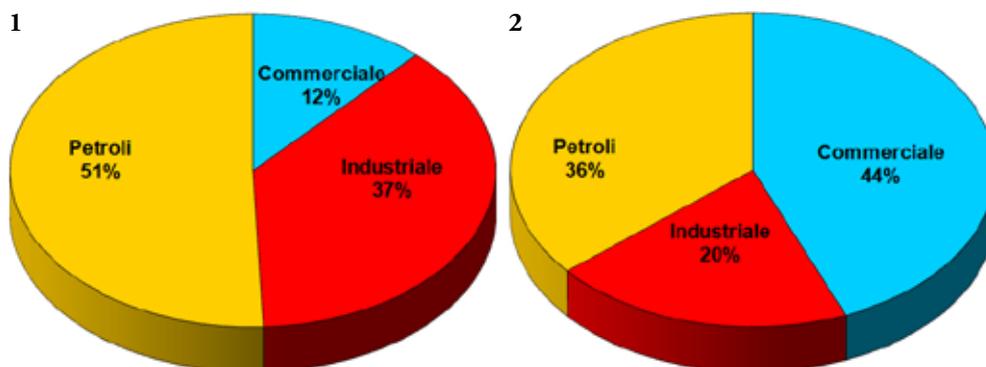
- inefficienza nell'organizzazione complessiva ed elevata sindacalizzazione<sup>8</sup> che hanno provocato lo spostamento dei traffici verso altre infrastrutture portuali e non (Chioggia, Monfalcone, Ravenna, interporto di Padova, ecc.);
- ragioni di mercato, tra le quali le politiche delle compagnie di navigazione che scelgono i porti in cui fanno scalo con l'obiettivo di ottenere le maggiori economie di scala possibili e la migliore efficienza nel servizio.

La seconda fase inizia negli anni '90, periodo nel quale, a causa degli avvenimenti nell'ex Jugoslavia, ridiventano interessanti i servizi marittimi a corto raggio che servono a bypassare le zone in questione ed in cui viene condotta una strategia di ricollocamento di Venezia, grazie al *federaggio* ed all'articolazione di sistemi *hub-and-spoke* nel Mediterraneo.

Sempre nel corso degli anni '90, in seguito all'emanazione della legge n. 84 del 1994 che

<sup>7</sup> Oltre a questi parametri è stato altresì oggetto di monitoraggio l'andamento di alcuni parametri economici (es.: costo delle operazioni di rimorchio, costo dei piloti); essendo tuttavia questo tipo di parametro rigidamente predeterminato e modificabile solo attraverso specifiche ordinanze, si è ritenuto di segnalare esclusivamente le eventuali variazioni.

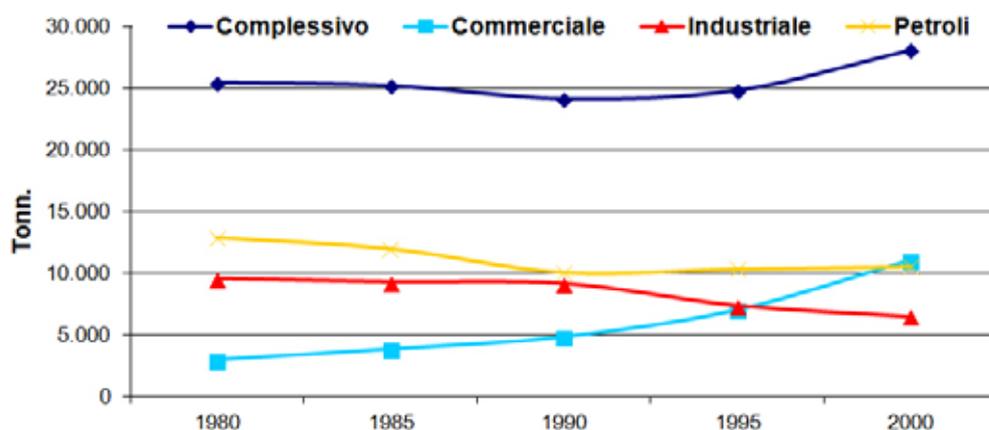
<sup>8</sup> Questo vale per tutti i porti, basti pensare alla situazione del porto di Genova a fine anni '80 in merito alle prestazioni temporanee di lavoro fornite dalle allora Compagnie Portuali.



1. Suddivisione dei traffici del Porto di Venezia per settore portuale, anno 1980. Fonte: elaborazione su dati A.P.V.

2. Suddivisione dei traffici del Porto di Venezia per settore portuale, anno 2004. Fonte: elaborazione su dati A.P.V.

3. Andamento dei traffici per settori nel Porto di Venezia.  
Fonte: elaborazione su dati A.P.V.



riforma il settore portuale, parte degli spazi industriali vengono riconvertiti e adibiti ad attività commerciali privilegiando, per motivi di opportunità, tutte le attività che non prevedono la manipolazione della merce all'interno del porto. La mutazione dello scenario ha fatto sì che il movimento commerciale visse una forte espansione portandolo a diventare il traffico più rilevante per lo scalo veneziano (Figure 2 e 3).

### **Flussi di traffico dei porti concorrenti**

La ricostruzione dello stato *ante operam* ha tenuto in considerazione, seppure a livello aggregato, i principali indicatori di operatività dei porti che in qualche modo ricadono nell'area di potenziale (ed effettiva) concorrenzialità con la portualità lagunare. Sono stati individuati cinque scali, potenzialmente concorrenti di Venezia, in base alle tipologie di traffico movimentate e al bacino di riferimento.

- Ancona: importante soprattutto per il traffico ro-ro/ferry<sup>9</sup>;
- Ravenna: rilevante per il settore delle rinfuse secche;
- Trieste: significativo per il traffico ro-ro/ferry, per quello containerizzato e per quello passeggeri;
- Genova: uno dei principali scali italiani e rilevante, ai fini del monitoraggio, soprattutto nel movimento container e nel traffico passeggeri;
- La Spezia: importante nel settore container.

Il monitoraggio dei livelli di traffico dei suddetti porti è stato finalizzato all'individuazione di eventuali casi di spostamento di quote di traffico dal porto di Venezia verso di essi e, conseguentemente, all'individuazione e segnalazione dell'eventuale correlazione con le opere di infrastrutturazione presso le bocche lagunari.

### **Qualità del servizio marittimo-portuale**

Oltre alla rilevazione dei flussi di traffico, è sembrato ineludibile inserire nel Piano di monitoraggio anche una serie di parametri riconducibili ad un concetto di "qualità del servizio portuale" offerto dal porto di Venezia. È noto, infatti, che attualmente l'efficacia di un servizio logistico (merci o passeggeri) e la sua competitività sul mercato dipendono sempre più da elementi di natura qualitativa, in cui un ruolo assolutamente fondamentale viene assunto dagli elementi di carattere temporale.

Per la ricostruzione dello stato di fatto si è reso necessario procedere con un piano di cam-

<sup>9</sup> Con questo termine si indicano i traghetti che possono portare solo merci o merci e contemporaneamente passeggeri.

pionamento mirato a determinati settori operativi del sistema marittimo-portuale veneziano (campione stratificato). Specificamente, sono stati selezionati settori significativi, operativamente e strategicamente sensibili a parametri di qualità del servizio. Per quanto concerne il criterio di “significatività”, sono stati selezionati, in maniera disaggregata, i settori con trend di crescita rilevanti; per il criterio della “sensibilità” sono stati individuati i servizi dipendenti (e vulnerabili) da fattori temporali, ad esempio il servizio passeggeri. Alla luce di quanto detto il campione ha riguardato i servizi con caratteristiche di linea ed in particolare i settori di seguito indicati:

- i servizi ro-ro (traghetti solo merci);
- i servizi container, suddivisi sulla base della lunghezza (crescente) delle rotte percorse in *feeder*, diretti tipo *feeder* e diretti a lunga percorrenza;
- ferry (traghetti misti passeggeri-merci);
- crociere.

Per ciascuno dei servizi marittimi individuati sono stati rilevati i tempi di:

- sosta in rada: differenza tra orario di arrivo e orario di accesso al porto;
- ritardo in entrata: differenza tra orario previsto di accesso e arrivo del pilota a bordo;
- manovra di entrata: tempo tra imbarco del pilota ed ormeggio al terminal;
- sosta in banchina: tempo di operatività al terminal;
- ritardo in partenza: periodo tra autorizzazione alla partenza ed arrivo del pilota a bordo;
- manovra di uscita: tempo tra imbarco del pilota e sua discesa in prossimità della bocca.

In questo caso lo stato di fatto è rappresentato dalle rilevazioni dei valori assunti dai parametri individuati in riferimento al periodo aprile 2004-marzo 2005.

### **Parametri qualitativi: le strategie e percezioni degli operatori**

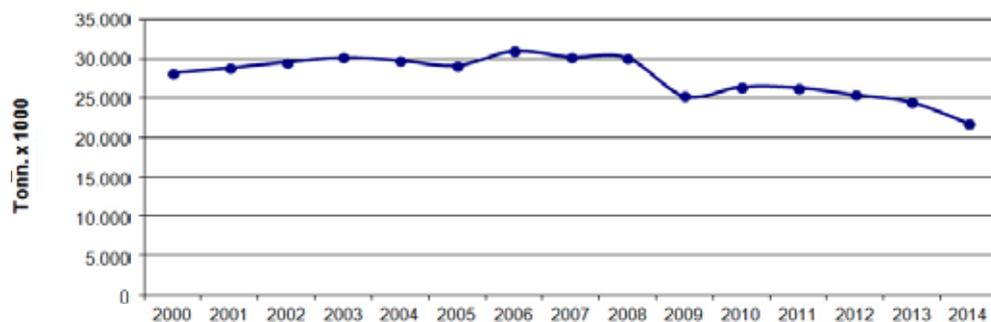
Data la struttura multi-attoriale tipica del mondo marittimo-portuale, si è ritenuto opportuno monitorare una serie di parametri rilevanti per definire lo stato di fatto e soprattutto per seguire l'evoluzione dei lavori di cantiere. Tali parametri, pur non avendo un carattere quantitativo, erano in grado di catturare aspetti di natura qualitativa tali da rappresentare un *early warning* in merito a decisioni strategiche da parte degli operatori. Ci si riferisce, in buona sostanza, alle strategie poste in essere dagli attori in funzione dello sviluppo dei lavori di cantiere, alle loro percezioni (fattore fondamentale in campo logistico-trasportistico) ed in generale all'evoluzione dei processi decisionali strategici, tattici ed operativi di tutti coloro che risultano coinvolti dai lavori in essere in campo portuale-marittimo. Metodologicamente si è proceduto, attraverso l'individuazione di una rappresentanza significativa di attori, alla costituzione e l'avvio di un tavolo di riferimento cui è stato inizialmente sottoposto un questionario semi-strutturato e che successivamente, durante il monitoraggio, è stato interpellato mediante l'effettuazione di interviste semi-strutturate. Le principali figure rappresentative di attori/operatori sono state: armatori, agenti marittimi, spedizionieri, terminalisti, Autorità Portuale di Venezia, rimorchiatori, piloti, Capitaneria di Porto di Venezia.

## **Principali evidenze del Piano di monitoraggio**

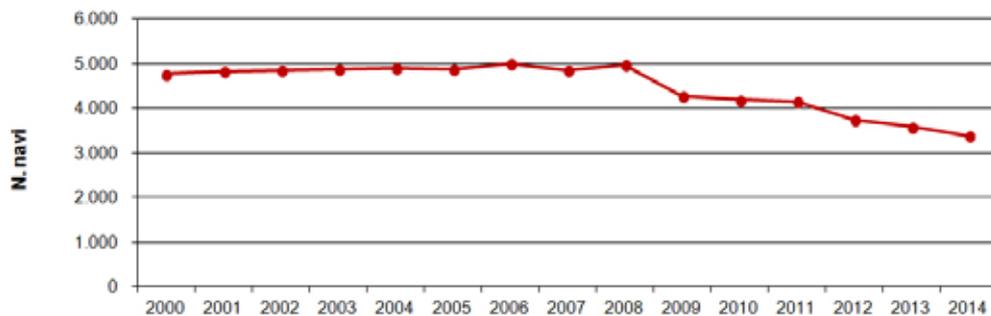
### **I traffici del porto di Venezia**

In termini aggregati, l'andamento storico dei traffici merci del porto di Venezia è risultato essere caratterizzato, in un quadro di generale rallentamento, dal consolidarsi di una

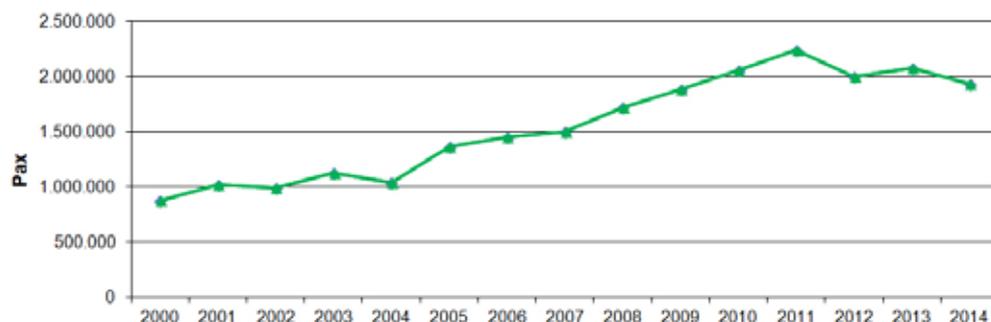
4. Serie temporale (2000-2014) di dati relativi ai traffici portuali.  
Fonte: elaborazione su dati A.P.V.



5. Serie temporale (2000-2014) di dati relativi alla movimentazione contenitori.  
Fonte: elaborazione su dati A.P.V.



6. Serie temporale (2000-2014) di dati relativi alla movimentazione passeggeri.  
Fonte: elaborazione su dati A.P.V.



connotazione commerciale in un contesto precedentemente caratterizzato dalla vocazione essenzialmente industriale. Durante il periodo di monitoraggio, dal 2004 al 2015, si è verificata una continua “perdita di terreno” dei traffici delle merci “tradizionali”, come rinfuse liquide, carbone, minerali, ecc. (Figura 4), e si è assistito al progressivo rafforzamento dei traffici “specializzati”, cioè essenzialmente di quelli intermodali (Figura 5). In relazione a questi ultimi, l’andamento nel corso delle diverse annualità è risultato inoltre essere sostanzialmente allineato ai trend generali del settore, che vedono la progressiva crescita dei container ed il calo, dopo un avvio positivo, dei traghetti, ovvero all’andamento dei commerci internazionali determinato dalla congiuntura economica in atto. Per quanto riguarda i traffici passeggeri (Figura 6), l’andamento complessivamente positivo del settore è stato determinato dall’incremento del movimento crocieristico, essendo invece risultate essere tendenzialmente in calo le altre categorie di passeggeri (es.: traghetti).

### **Il monitoraggio dei porti concorrenti**

In termini generali, i risultati del monitoraggio nel periodo 2004-2015 non hanno evidenziato significativi spostamenti di quote di traffico dal porto lagunare verso gli altri scali.

Prendendo spunto sia da quanto rilevato per il porto di Venezia sia da quanto emerso

dal monitoraggio dei porti *competitors*, possono tuttavia essere svolte una serie di considerazioni di carattere generale e alcune valutazioni più specifiche diversificandole in base alla “strategicità” e alla caratterizzazione *MOSE-sensitive* dei traffici oggetto di monitoraggio.

In questo senso, partendo dai traffici tradizionali considerati e concentrandosi sulle rinfuse solide più specificatamente, tanto il porto di Venezia quanto quello di Ravenna hanno realizzato trend positivi a fronte di una conferma del (pesante) calo nei confronti del 2004. Nei traffici di linea, come già detto *MOSE-sensitive* e particolarmente strategici nei moderni cicli logistico-trasportistici, si osserva, rispetto al 2004, il perdurare della flessione nel settore ro-ro/ferry nei porti di Venezia, Ancona e Trieste, a fronte di segnali positivi negli ultimi due scali nel confronto con i dati più recenti.

Per quanto riguarda i traffici containerizzati, il quadro complessivo che riguarda tutti i porti analizzati è essenzialmente positivo. Tanto nel porto di Venezia quanto in quelli di Trieste, Genova e La Spezia si sono avuti trend positivi sia nei confronti del recente passato sia rispetto al 2004. Questo dato assume poi una valenza particolarmente rilevante per lo scalo lagunare dove il recente incremento è senz'altro in parte dovuto anche alla ripresa di servizi oceanici regolari, gli stessi che da qualche tempo avevano smesso di toccare Venezia.

A conclusione del quadro devono essere infine citate le performance del comparto passeggeri che, diversamente da quanto rilevato in passato, vedono attualmente un momento di rallentamento generalizzato. Parzialmente diversa è invece la situazione rispetto al 2004 perché, se i porti *competitors* confermano la flessione, nel caso dello scalo lagunare il saldo è invece positivo a testimoniare la rilevanza del settore che attualmente risulta essere “in sofferenza” principalmente a causa delle vicende delle così dette “grandi navi”.

### **La qualità del servizio marittimo-portuale**

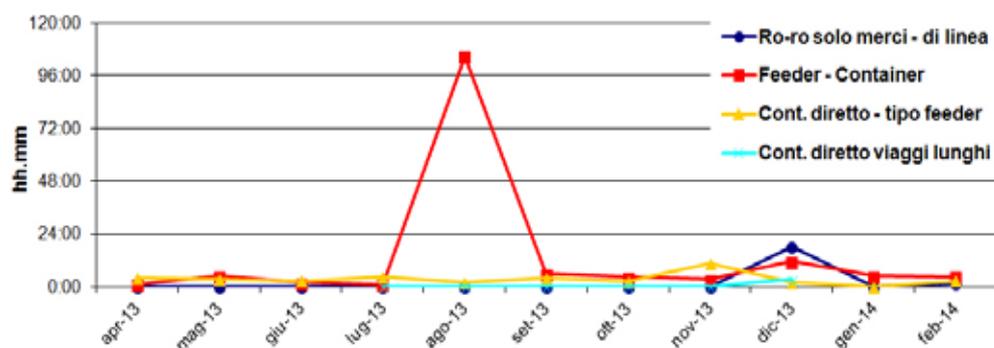
Il Piano di monitoraggio ha evidenziato come non si siano manifestati trend di scadimento della qualità del servizio offerto dal porto di Venezia a causa dei cantieri alle bocche poiché i tempi medi riferiti ai parametri monitorati nel corso degli anni non hanno evidenziato alterazioni rilevanti e continuative (Figure 7 e 8). L'ordine di grandezza delle variazioni (sia in aumento che in diminuzione) è stato nella maggior parte dei casi inferiore ai trenta minuti (frequentemente +/- dieci minuti), dunque in qualche maniera fisiologico, mentre scostamenti di maggiore entità (in aumento) si sono manifesti per lo più in conseguenza a fattori esogeni quali condizioni meteo, discrepanza tra orari previsti ed orari effettivi di arrivo delle navi, operatività ai terminal, ecc.

### **Il tavolo degli operatori**

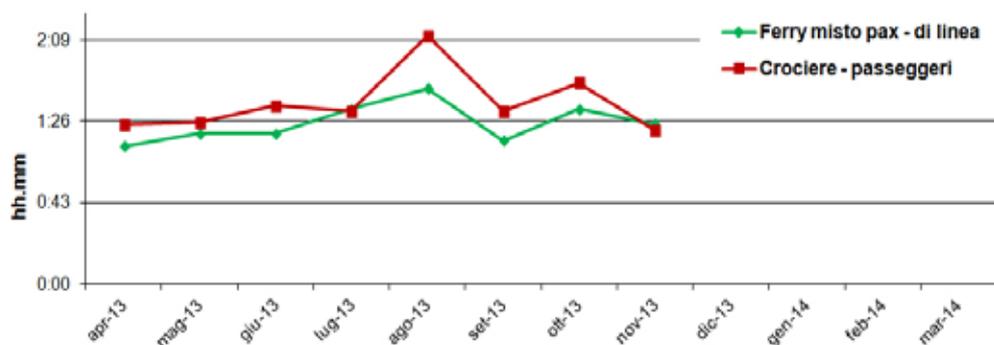
Il Tavolo di riferimento ha sottolineato il costante adeguamento degli operatori alle modificazioni strutturali del porto. Nonostante i lavori presso le bocche e il modificarsi di alcune correnti, non sono stati riscontrati disagi particolari in quanto, dopo un primo periodo di adattamento, i soggetti preposti al pilotaggio ed al rimorchio hanno internalizzato le nuove condizioni marine operative ed hanno sviluppato nuove procedure che sono diventate in breve standard. Preoccupazioni sono invece talvolta emerse tra gli stakeholder in merito al posizionamento strategico del Porto di Venezia dopo l'entrata in funzione del MOSE: si teme che le scelte delle compagnie marittime possano ricadere su altri porti anche a seguito della percepita scarsa utilizzabilità della conca di navigazione per naviglio di dimensioni importanti.

Oltre ai timori derivanti dalla nuova caratterizzazione infrastrutturale alla bocca di porto di Malamocco, che prevede l'uso della conca di navigazione in determinate condizioni

7. Andamento medio (hh) della sosta in rada per i diversi tipi di servizi containerizzati.



8. Andamento medio (hh) della manovra di entrata per i diversi tipi di servizi containerizzati. Da novembre a febbraio navi di questi tipo non hanno fatto scalo nel porto di Venezia.



di marea, ci sono importanti preoccupazioni per l'andamento del traffico commerciale del porto; gli operatori attivi nella comunità portuale stanno assistendo a difficoltà legate in modo particolare al settore ro-ro. Gli attori coinvolti ritengono che si avranno momenti complessi per la comunità portuale di Venezia; i cambiamenti strutturali e la competizione con gli altri scali dell'Adriatico intimoriscono ed è sentita la necessità di ripensare il ruolo per un nodo portuale importante come quello di Venezia.

## Conclusioni

L'impianto metodologico utilizzato per monitorare il possibile insorgere di legami tra le fasi di cantiere del MOSE e la portualità veneziana è risultato essere, al termine di dieci anni di monitoraggio, adeguato ai fini per i quali è stato concepito.

Allo stato attuale è possibile affermare che le interferenze manifestatesi (es.: variazioni delle correnti) oltre ad aver riguardato essenzialmente alcune fasi della navigazione in prossimità delle bocche, sono state prontamente "fatte proprie" e superate dagli operatori.

Più che le fasi di cantiere destano attualmente particolare attenzione la futura operatività del sistema, una volta attestatosi a regime, e le possibili ricadute che potrebbero verificarsi sul complesso portuale. Ragion per cui la rilevanza di una prosecuzione del monitoraggio nella fase di "esercizio" si renderebbe quanto mai auspicabile.

## Bibliografia

Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia)-CORILA (anni 2005-2013) Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Settore portuale. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Marchese U. (2000) Lineamenti e problemi di economia dei trasporti, ECIG, Genova, 2000.

Mazzarino M. (2003) Analysis and assessment of port/shipping choice criteria in the ro-ro sector: a case study on the Italy-Greece axis. *Annals of Maritime Studies*, 41, 1, 395-426.

Mazzarino M. (1999) Modelling container terminal efficiency using stochastic methods (Un modello stocastico di equilibrio di breve periodo per la valutazione dell'efficienza portuale). *Trasporti Europei*, n.11, 35-40.

Mazzarino M. (2004) Port competitiveness as a function of trans-shipment development in the Mediterranean: the case of the Trieste container terminal. In *Transport Issues and Problems in Southeastern Europe*, Ashgate, Aldershot, 189-198.

Mazzarino M. (2012) Strategic scenarios of global logistics: what lies ahead for Europe? *European Transport Research Review*, 4, 1, 1-18

Mazzarino M. (2013) Scenari mediterranei: il ruolo del trasporto e della logistica nell'ambito della teoria della New Economic Geography-un contributo originale. Il Mulino, Bologna.

Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia (ex Magistrato alle Acque di Venezia)-CORILA (anni 2014-2015) Studi B.6.72 B/9-B/10. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Settore portuale. Rapporti Finali. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Stopford M. (1997) *Maritime economics*, London, Routledge, New York, 1997. 2 ed.

## Summary

Current trends of global logistics determine a number of strategic scenarios and significant challenges for European, Mediterranean and North Adriatic transport and logistics systems. Maritime transport, both of goods and passengers, plays a key role within the supply chains due to the capital intensive characterization as well as for the number of involved players-both private (freight forwarders, multimodal transport operators, terminal operators, etc.) and public (Port Authorities, customs, etc.). In this context, ports-connecting maritime and land based transport modes-are supposed to operate in efficient and effective ways in order to foster their hinterland's potential trades and development. The development of the MOSE project has thus raised the need to build upon an effective monitoring plan of the potential impacts on the port activities. Such a monitoring plan has been based on some guidelines, in particular:

- monitoring the impacts on specific maritime services, which have been identified through a stratified sampling plan;
- monitoring the quality of port service on top of traffic flows;
- monitoring non-quantifiable aspects (perceptions, strategies, trends, etc.) through the establishment and management of a "port stakeholder forum" aiming at bringing together the different opinion leaders operating in the Venetian maritime and port sector.

The monitoring plan first consists of a report focused on the *ante operam* scenario outlining the pre-construction state. It is taken as a milestone to highlight all major variations concerning the regularity of port activities during the whole monitoring plan. The report closely considers and analyzes the port structure (physical, organization, strategies, etc.) in order to also define a comprehensive and significant set of parameters capable of pointing out the possible impacts of construction activities on port operations. The specific parameters identified in the report are:

- traffic flows;
- service quality attributes;
- competing ports performances ("competition effect");
- operators' perceptions and strategies ("quality" parameters).

These parameters were monitored over the whole duration of the plan by developing the following activities:

- direct measurements;
- acquisition of information from secondary sources (web sites, reports, etc.);
- development of the "stakeholder forum";
- data analysis;
- monthly (with a descriptive nature) and quarterly reporting (with a more critical and assessing approach).

Eventually, the monitoring plan turned out to be suitable since it was able to detect all the relevant elements and also to provide detailed explanation of them.



# ELENCO AUTORI

Marco Anelli Monti  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - marco.anellimonti@gmail.com

Natale Emilio Baldaccini  
Dipartimento di Biologia, sezione di Etologia, Università di  
Pisa - natale.emilio.baldaccini@unipi.it

Francesco Barbieri  
katarra@tiscalinet.it

Franco Belosi  
Istituto di Scienze dell' Atmosfera e del Clima, Consiglio  
Nazionale delle Ricerche, Bologna - f.belosi@isac.cnr.it

Pierpaolo Campostrini  
CORILA, Venezia - campostrini@corila.it

Alessandro Casasso  
Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino -  
alessandro.casasso@polito.it

Isabelle Cavalli  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia - cavalli@selc.it

Francesco Cavraro  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - cavraro@unive.it

Daniela Cesari  
Istituto di Scienze dell' Atmosfera e del Clima, Consiglio  
Nazionale delle Ricerche, Lecce - d.cesari@isac.cnr.it

Emiliano Checchin  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia - checchin@selc.it

Francesca Coccon  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - francesca.coccon@hotmail.it

Daniele Contini  
Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Consiglio  
Nazionale delle Ricerche, Lecce - d.contini@isac.cnr.it

Renzo Cremonini  
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara -  
renzocremonini@gmail.com

Daniele Curiel  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia. - curiel@selc.it

Caterina Dabalà  
CORILA, Venezia - dabala@corila.it

Chiara Dall'Angelo  
CORILA, Venezia - dallangelo@corila.it

Marco Della Puppa  
Università IUAV di Venezia - mdellapuppa@gmail.com

Antonio Di Molfetta  
Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino -  
studio@bortolami-dimolfetta.com

Giampaolo Di Silvio  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale,  
Università degli Studi di Padova - giampaolo.disilvio@unipd.it

Elena Elvini  
elena.elvini@gmail.com

Patrizio Fausti  
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara -  
pfausti@ing.unife.it

Piero Franzoi  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - pfranzoi@unive.it

Andrea Gambaro  
Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali, Consiglio  
Nazionale delle Ricerche, Venezia - gambaro@unive.it

Vyron Georgalas  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - bgeorgalas@gmail.com

Leonardo Ghirelli  
ghirelli.leonardo@alice.it

Maria Carmen Guerra  
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara -  
mariacarmen.guerra85@gmail.com

Giuliano Lorenzetti  
Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche,  
Venezia - giuliano.lorenzetti@gmail.com

Giorgia Manfè  
Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche,  
Venezia - giorgia.manfe@ve.ismar.cnr.it

Marco Mazzarino  
Università IUAV di Venezia - mazzarin@iuav.it

Daniele Mion  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia. - mion@selc.it

Chiara Miotti  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia. - miotti@selc.it

Luca Mizzan  
Museo di Storia Naturale, Venezia -  
luca.mizzan@fmcvenezia.it

Elisa Morabito  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - elisamora@unive.it

Fabio Pranovi  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - fpranovi@unive.it

Simone Redolfi Bristol  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - redolfibristol.s@gmail.com

Andrea Rismondo  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia - rismondo@selc.it

Andrea Santoni  
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara -  
sntndr1@unife.it

Giovanni Sburlino  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - sburlino@unive.it

Giuliano Scalpelli Quiqueto  
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara -  
gquiqueto@gmail.com

Francesco Scarton  
SELC soc. coop., Marghera, Venezia - scarton@selc.it

Rajandrea Sethi  
Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino -  
rajandrea.sethi@polito.it

Marco Sigovini  
Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche,  
Venezia - marco.sigovini@ve.ismar.cnr.it

Davide Tagliapietra  
Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche,  
Venezia - davide.tagliapietra@ve.ismar.cnr.it

Patrizia Torricelli  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - torri@unive.it

Marco Uliana  
Museo di Storia Naturale, Venezia -  
marco.uliana@fmcvenezia.it

Cecilia Vianello  
Museo di Storia Naturale, Venezia -  
cecilia.vianello@fmcvenezia.it

Luca Zaggia  
Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche,  
Venezia - luca.zaggia@ve.ismar.cnr.it

Lorenzo Zanella  
lorenzo.zanella@libero.it

Nicolò Zuccherini Martello  
Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara -  
nicolo.zuccherinimartello@unife.it

Matteo Zucchetta  
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,  
Università Ca' Foscari di Venezia - matzuc@unive.it

ISBN 9788889405321



9 788889 405321 >