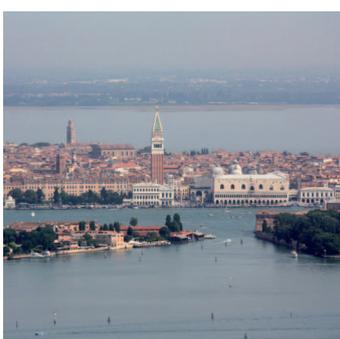


# IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

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



*Editors*

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



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

#### **Alta sorveglianza**

Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto  
- Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle  
Acque)  
Ufficio Salvaguardia di Venezia  
*Giampietro Mayerle, Fabio Riva,  
Valerio Volpe, Maria Adelaide Zito*

#### **A cura di**

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

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

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

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

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

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

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

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

S. Marco 2847, Palazzo Franchetti  
30124 Venezia

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

direzione@corila.it

www.corila.it

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



Stampa Nuova Jolly, Padova 2017

#### **Coordinamento generale**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



# 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).

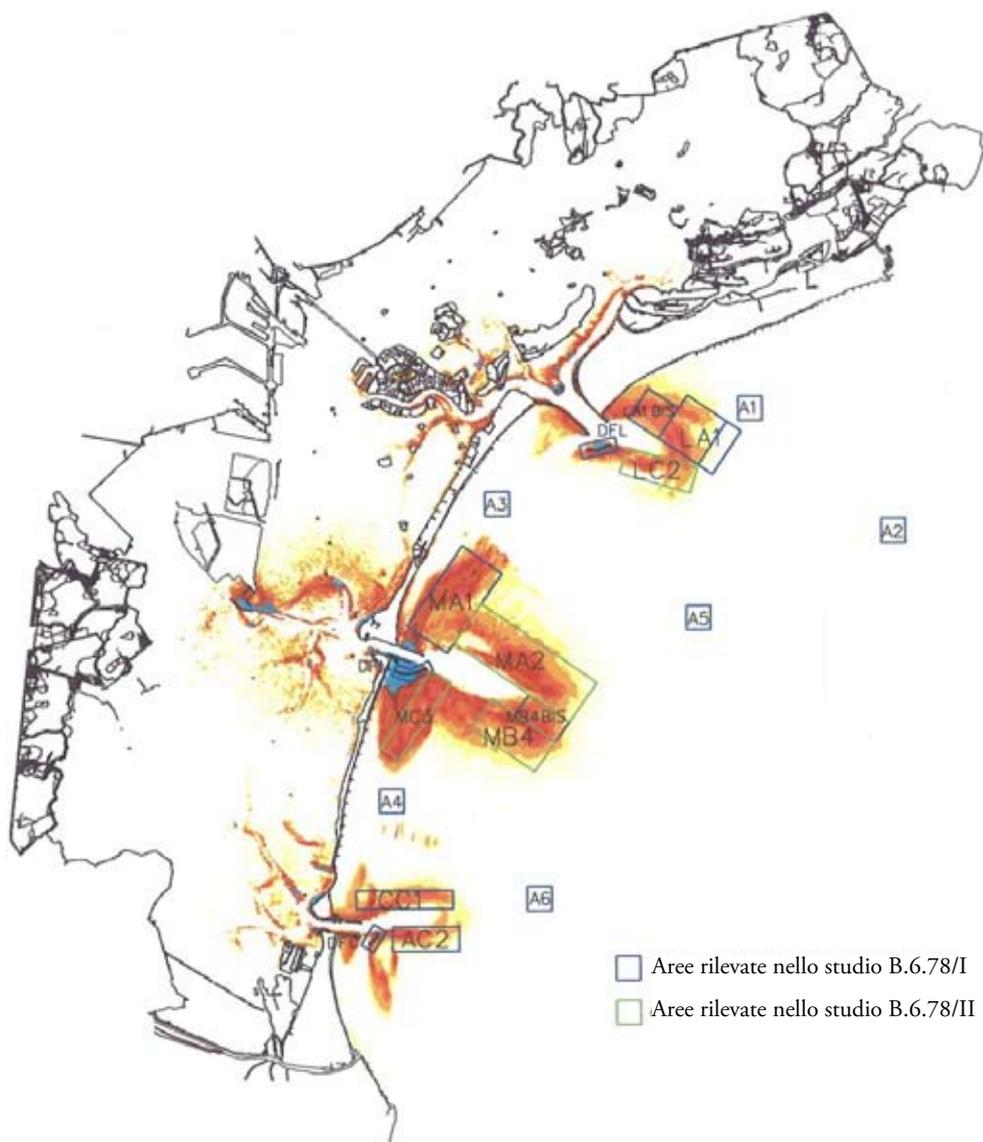
Questi substrati, noti come “tegnùe” lungo le coste venete, sono distribuiti in modo discontinuo nell’area occidentale del Golfo di Venezia, a profondità comprese fra 8 e 40 m. Le dimensioni di questi affioramenti sono molto diverse, possono essere simili a grossi sassi o estendersi per diverse migliaia 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.

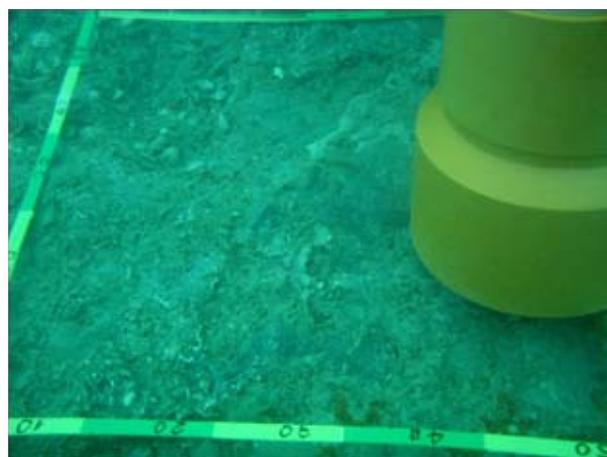
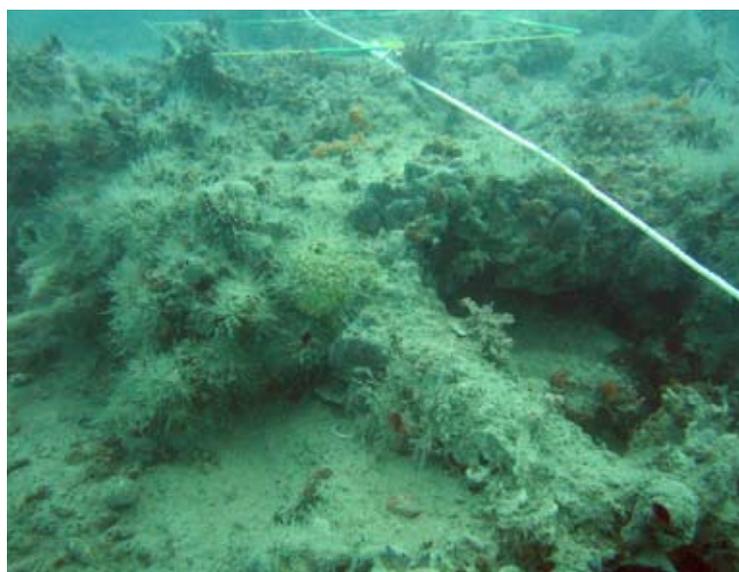


1. Modello idrodinamico dispersivo, inteso come sommatoria di tutte le condizioni peggiori in fase di simulazione, utilizzato per l'individuazione delle aree potenzialmente soggette ai maggiori impatti, all'interno delle quali sono stati individuati i siti monitorati durante lo studio di riferimento (risultati Studio B.6.78 I/II-MAG. ACQUE, 2006a).

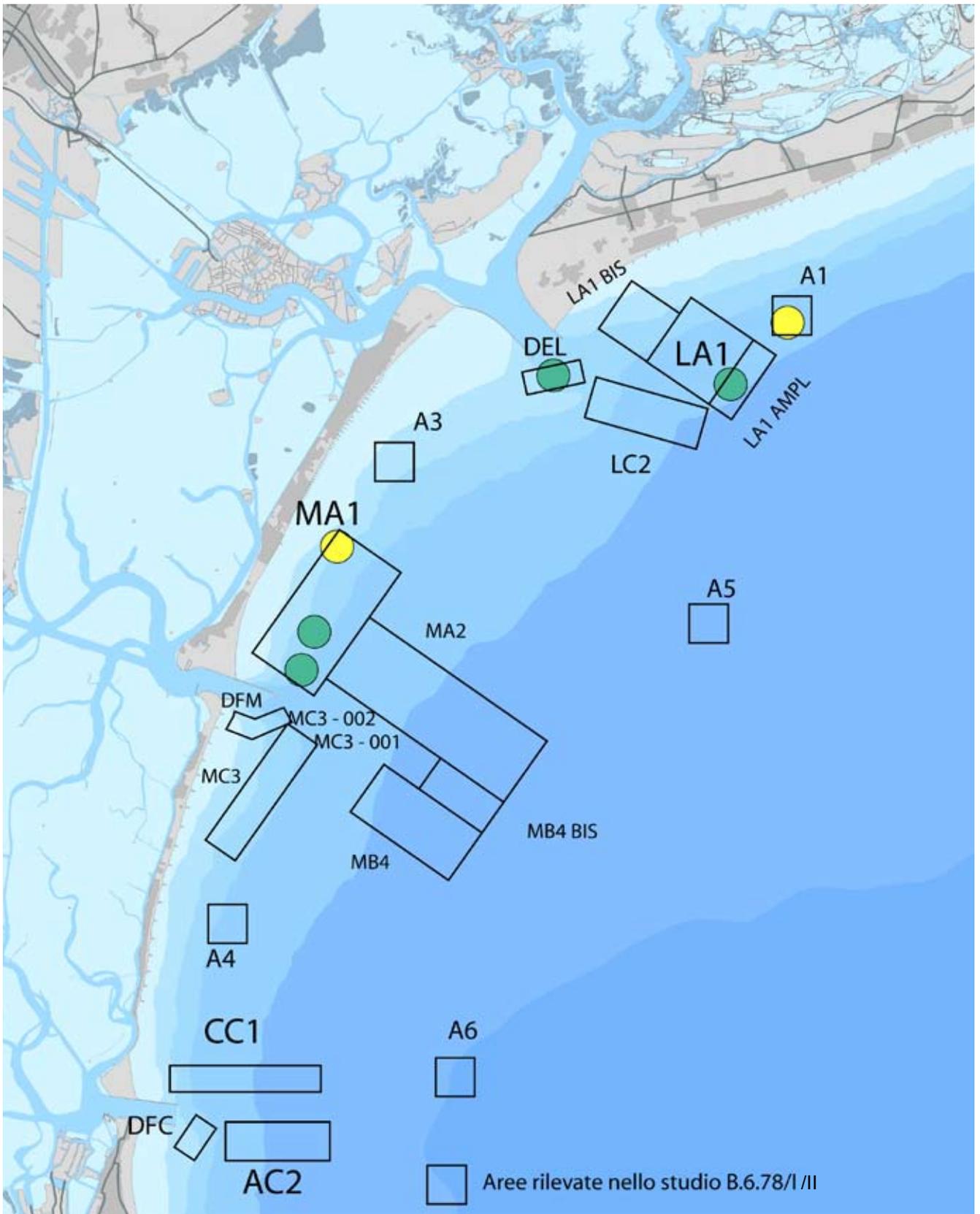
Lo scopo del monitoraggio è stato, quindi, quello di verificare i possibili effetti dei cantieri sugli affioramenti ed eventualmente apportare, in fase d'opera, opportune misure correttive e mitigative.

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

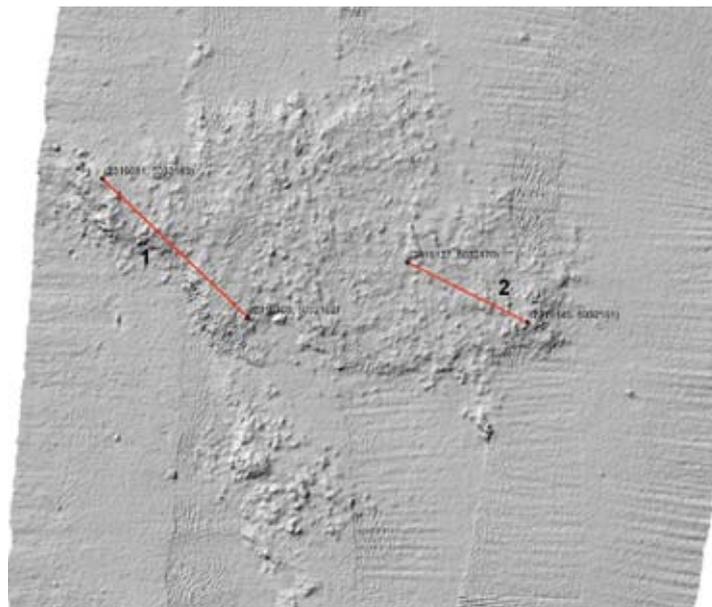
### Scelta degli affioramenti rocciosi

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.

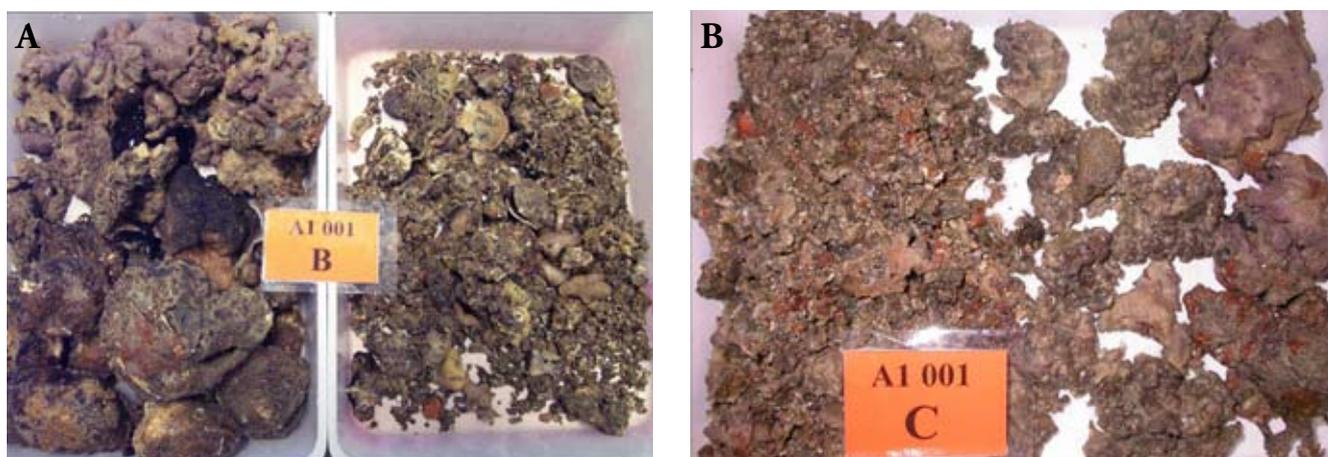
Al momento dell'analisi il campione è stato scongelato e sottoposto a smistamento, suddividendo la frazione animale da quella algale (figura 5). Gli organismi sono stati poi sottoposti a determinazione, possibilmente sino al livello di specie. Sono stati quindi determinati il numero di individui e la 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

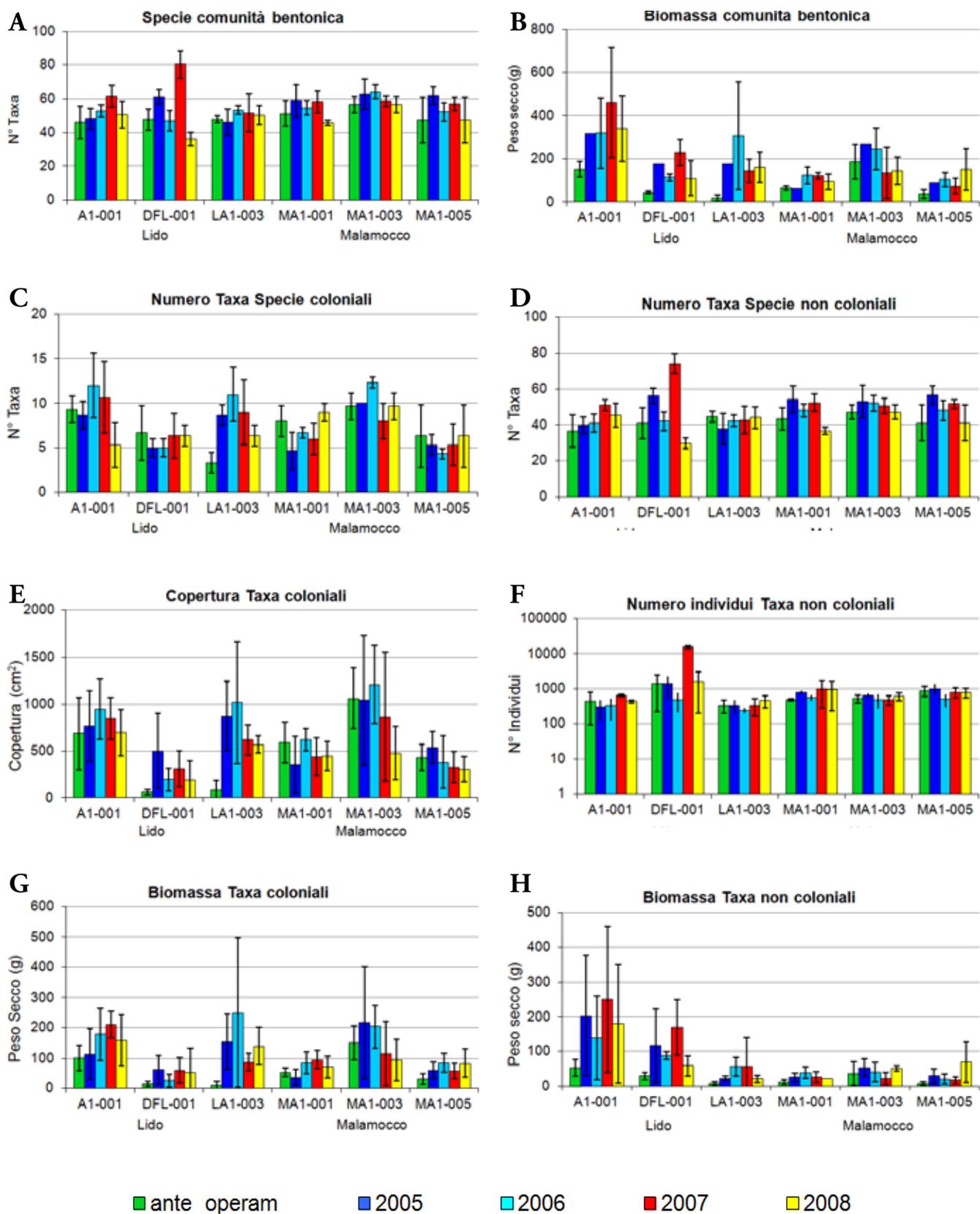
Nei quattro anni di monitoraggio (2005-2008), i principali descrittori univariati della componente zoobentonica, quali la biodiversità (espressa come numero medio di taxa rinvenuti in ciascun affioramento) e la biomassa totale, hanno un andamento irregolare, non indicativo di tendenze in atto. Confrontando 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*.

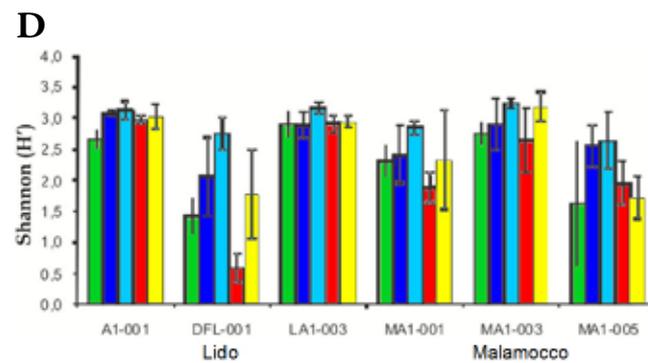
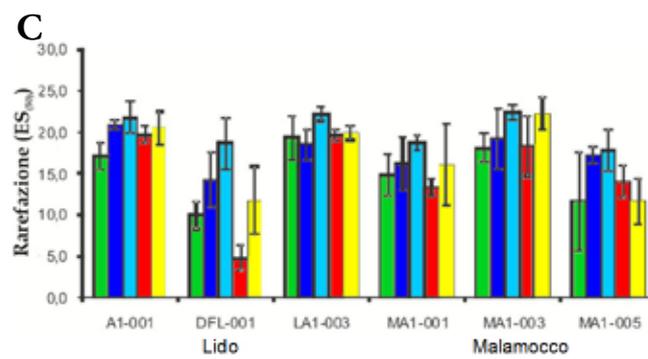
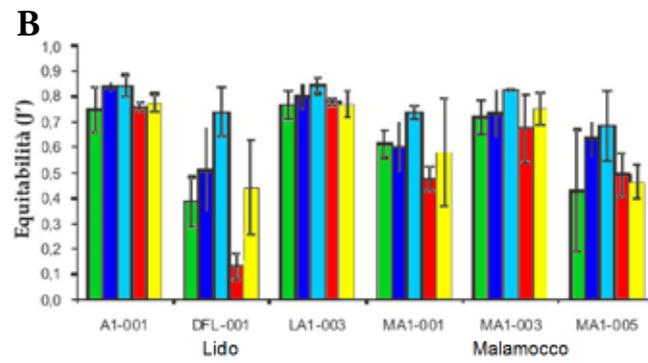
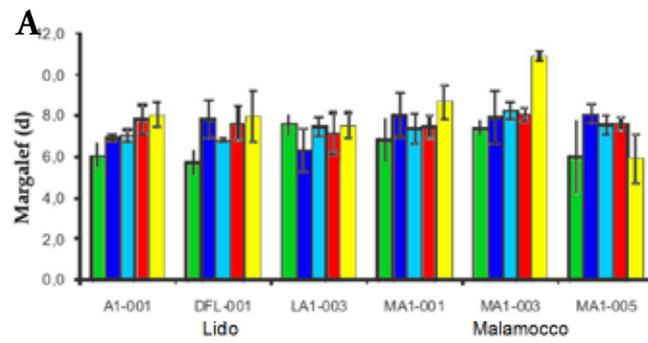
I descrittori degli organismi non coloniali (figure 6D, 6F e 6H) hanno rivelato, nei quattro monitoraggi in corso d'opera, una maggiore stabilità del numero dei taxa e del numero di individui, mentre appare più altalenante l'andamento relativo alla biomassa, soprattutto per gli affioramenti della macroarea 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*,

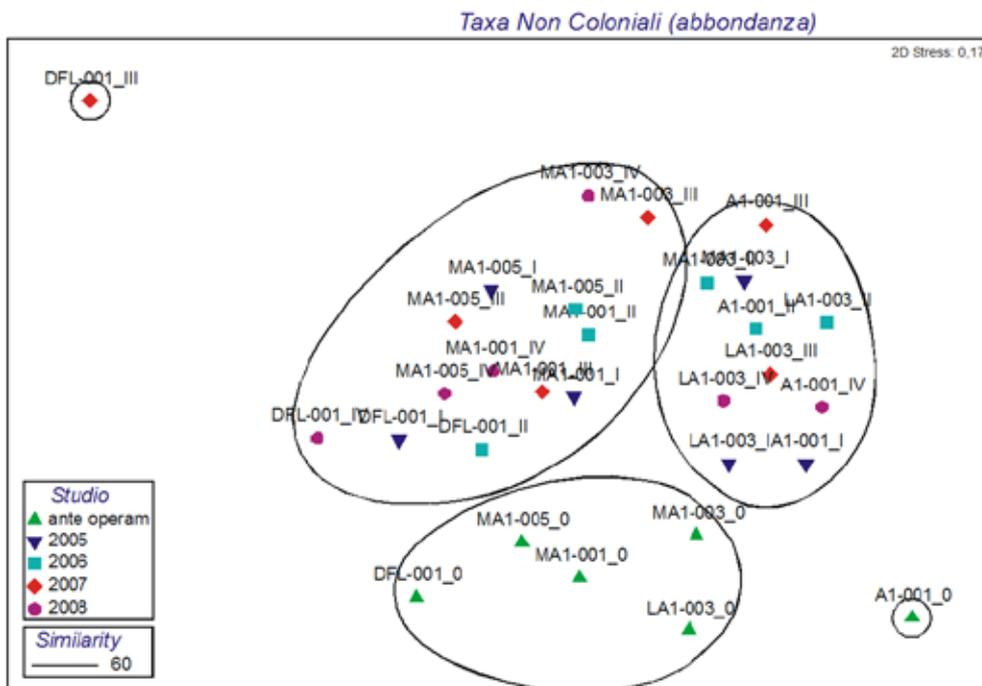


6. Confronto tra i principali parametri delle comunità nei 5 anni di studio. I valori si riferiscono alla media delle tre repliche, pari all'unità di campionamento di 0,25 m<sup>2</sup>. La barra indica la deviazione standard.



■ 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-

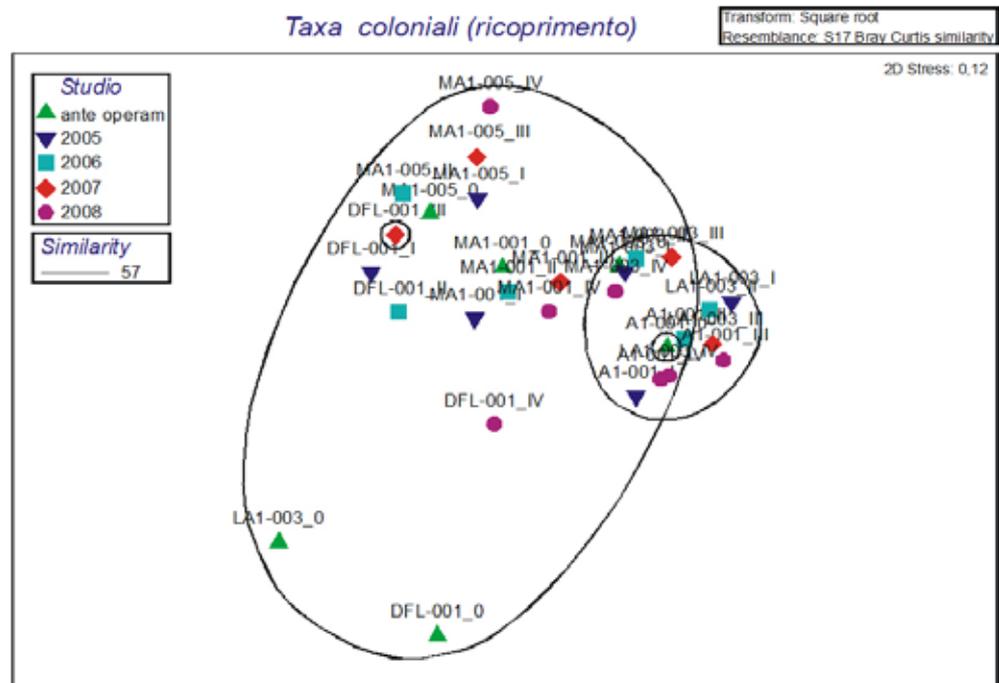
ramenti è ragionevole ritenere che i disturbi siano qui associabili alla batimetria limitata e alla struttura-morfologia degli affioramenti costituiti per lo più da rocce sparse che si elevano poco dal fondo. La scarsa elevazione e la limitata batimetria li rendono più soggetti a disturbi causati dall'idrodinamismo 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.

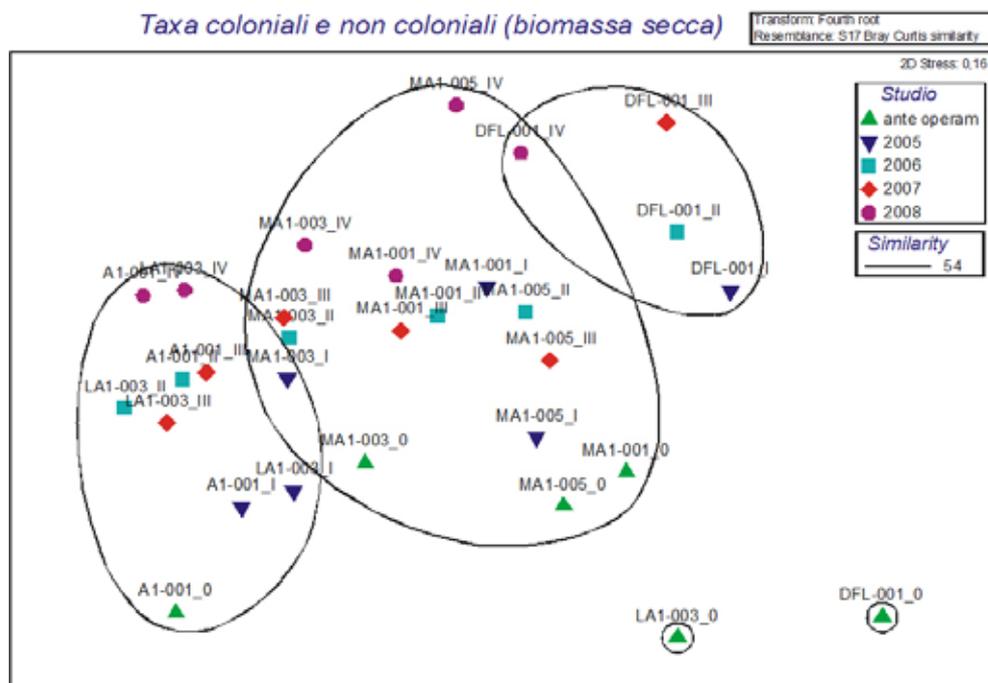
Dal grafico MDS relativo ai valori di biomassa (figura 10), lungo l'asse verticale si coglie un gradiente tra i rilievi della primavera 2005 e i successivi monitoraggi, con una evidente distinzione soprattutto con l'ultimo monitoraggio del 2008.

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.

### Taxa coloniali e non coloniali (biomassa secca)



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.

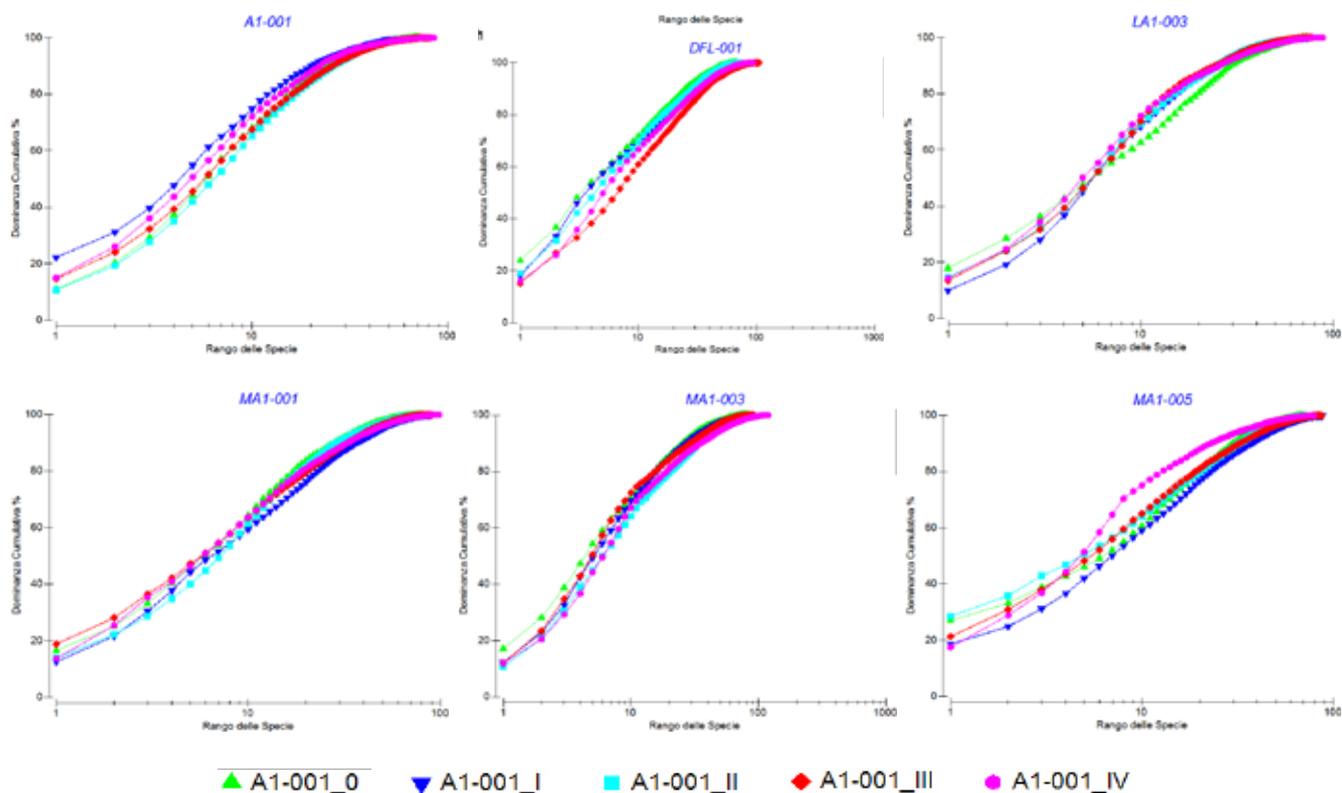
L'isolamento, nel grafico, degli affioramenti DFL-001 ed LA1-003 del campionamento di riferimento è dovuto alla quasi totale assenza di porifera e alla presenza di briozoi come *Schizobrachiella sanguinea* e *Schizoporella errata*.

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



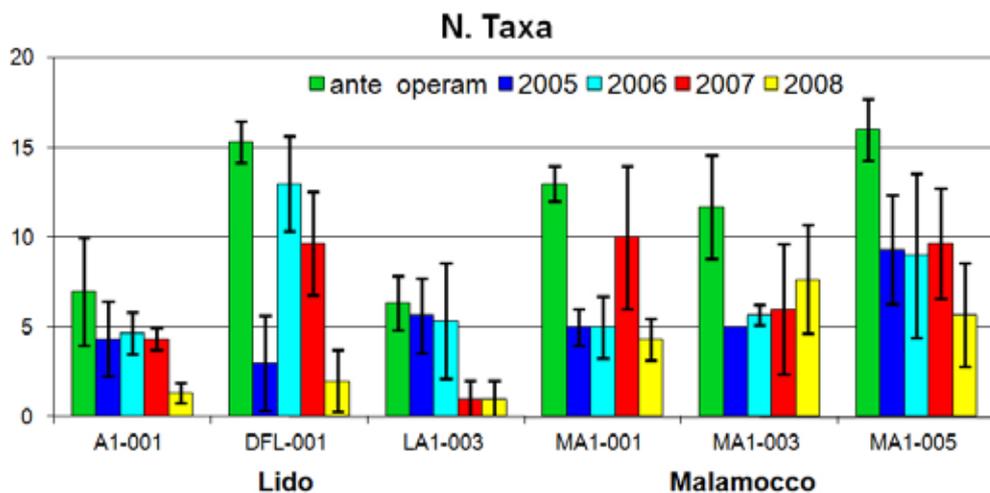
11. Curve di K dominanza dei sei affioramenti suddivise per macroarea (Lido in alto e Malamocco in basso) sulla base dei valori di biomassa secca dei taxa coloniali e non coloniali. In legenda "0" indica lo studio di riferimento mentre i numeri romani (da I a IV) i quattro monitoraggi dal 2005 al 2008.

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-



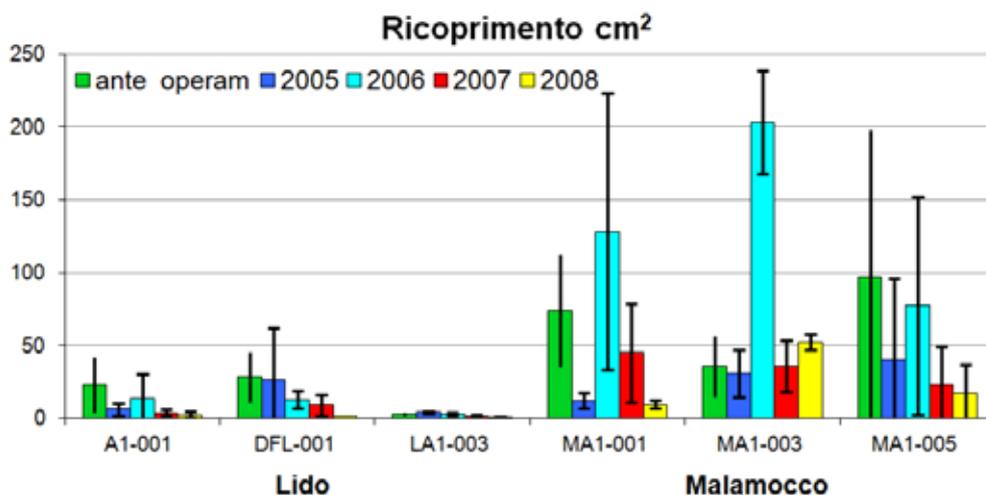
12. Numero di taxa medio per affioramento rilevato nello studio di riferimento e nei successivi monitoraggi 2005-2008. La barra corrisponde alla deviazione standard. I siti di controllo sono A1-001 (bocca di Lido) e MA1-005 (bocca di Malamocco).

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.

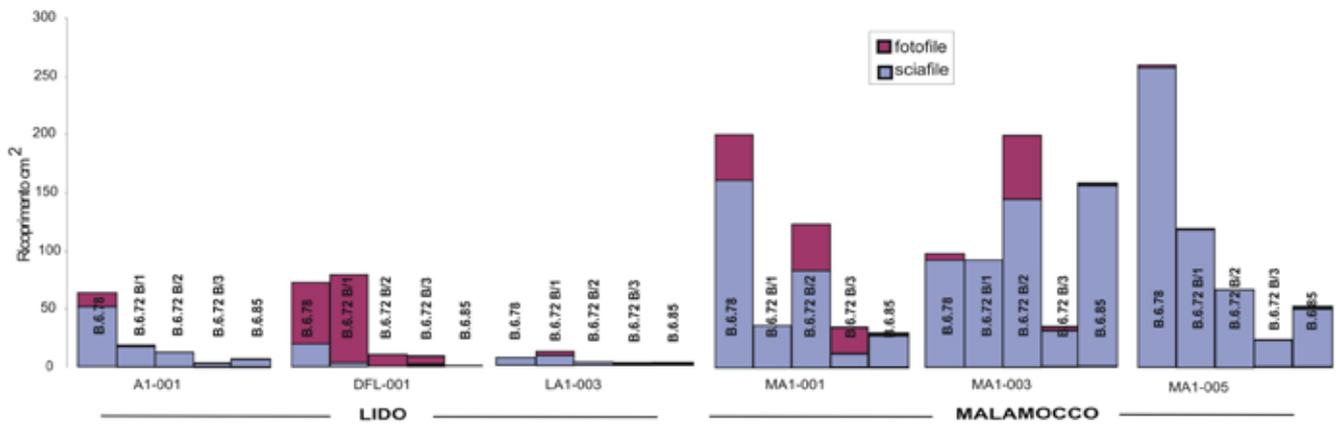
Come per il numero di taxa, la maggiore riduzione delle abbondanze riguarda ancora le alghe rosse e, solo secondariamente, le alghe verdi. La totale assenza di alghe brune, rilevata anche nello studio di riferimento, è dovuta alla carenza di luce e ai livelli di sedimentazione/torbidità troppo elevati 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).



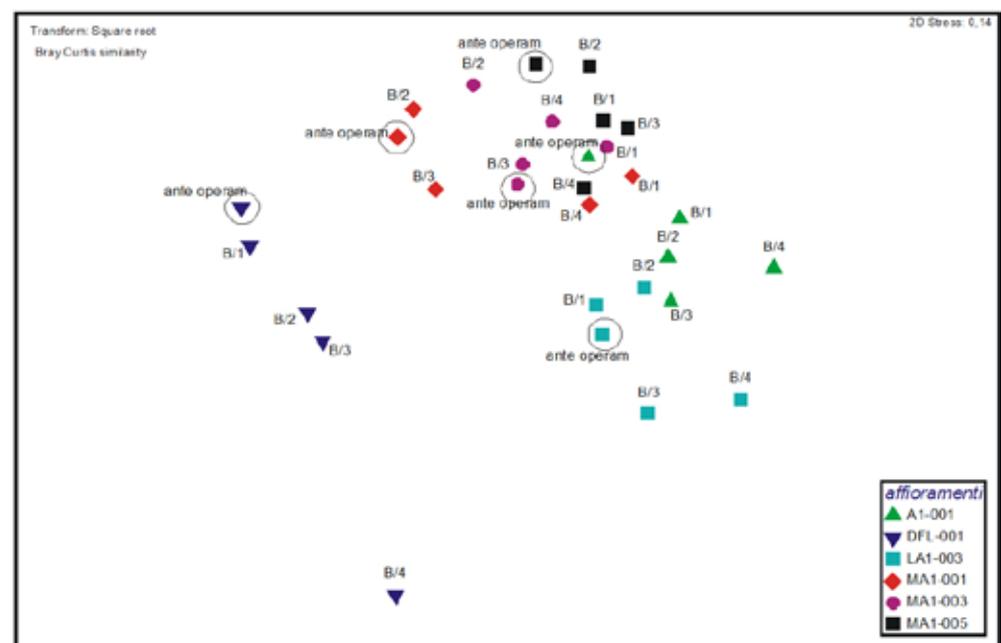
14. Confronto delle abbondanza in relazione al gruppo ecologico sciafilo – fotofilo e relativa allo studio di riferimento ed ai successivi monitoraggi 2005-2008. I valori fanno riferimento all'elenco floristico complessivo delle tre repliche (0,75 m<sup>2</sup>).

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).

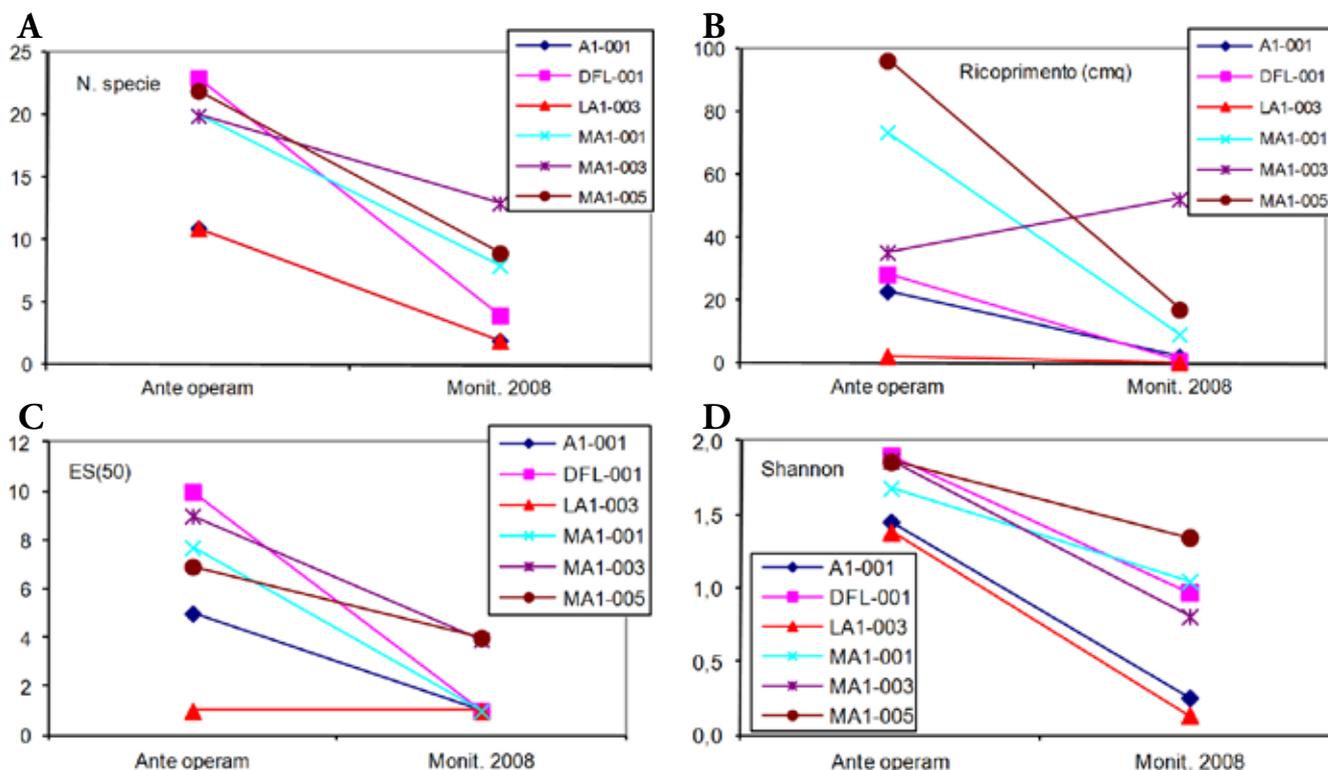
Il test Mann-Whitney U Test che ha comparato i valori delle repliche tra i due periodi (studio di riferimento e monitoraggio 2008) ha confermato come siano presenti differenze statisticamente significative ( $p < 0,05$ ) per il numero di taxa e per gli indici ES(50) e Shannon.

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 ( $P_{mc} < 0,05$ ).

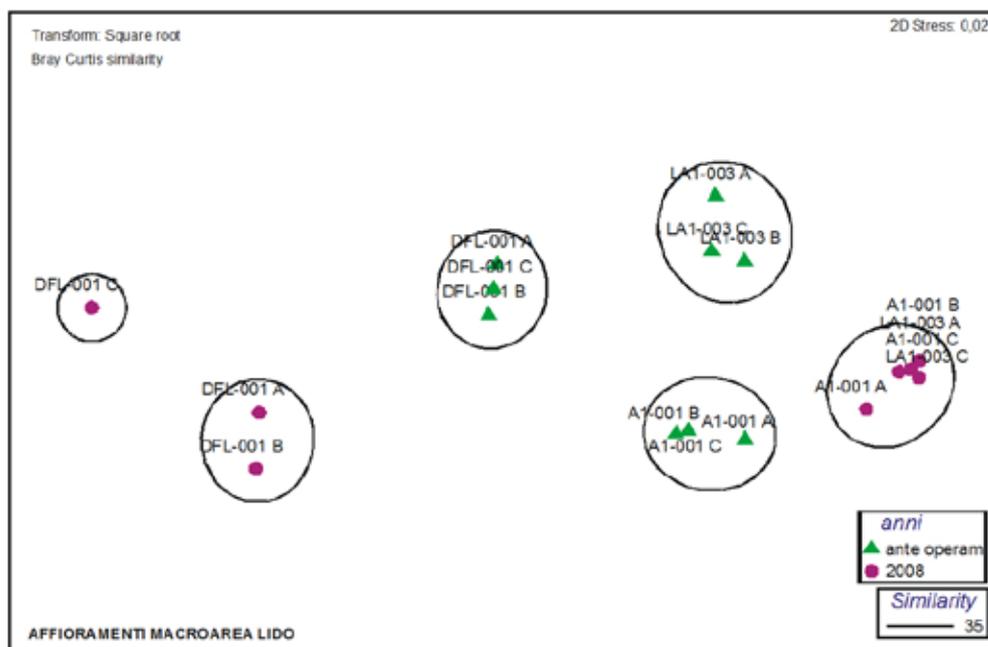
I grafici MDS delle due macroree Lido e Malamocco (figure 17 e 18) mostrano un diverso livello di omogeneità tra le comunità macroalgali degli affioramenti. Alla similarità del 35%, quelli dell'area di Malamocco mostrano un maggior livello di uniformità rispetto a quelli dell'area di Lido. Questa diversa 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-

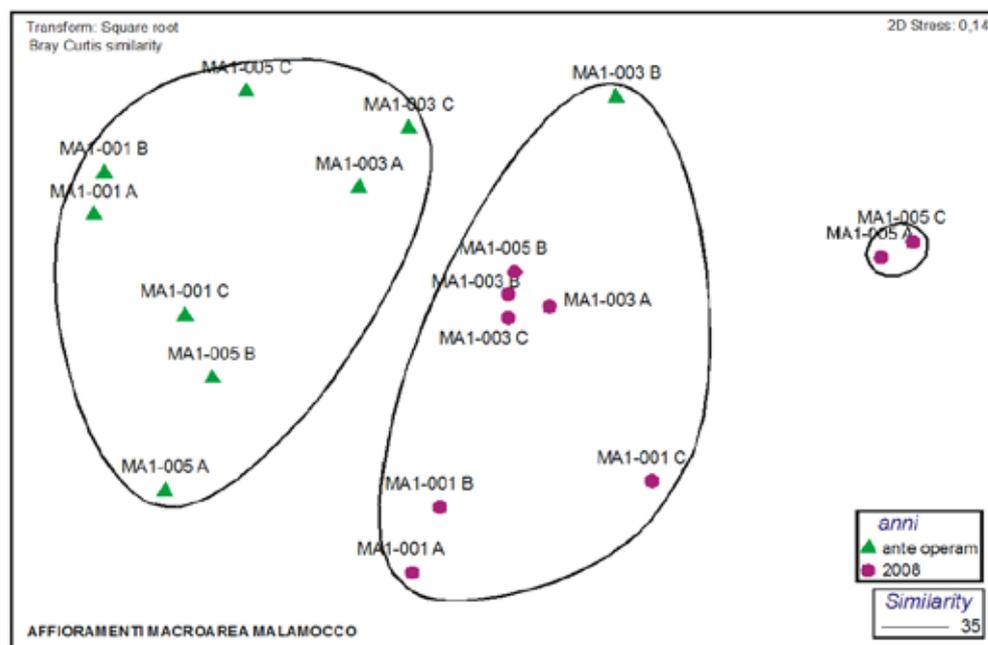
16. Variazione dei principali indicatori e indici univariati (numero di taxa, ricoprimento e indici ES(50) e di Shannon) tra lo studio di riferimento e quello del 2008.



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 tegnie 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).



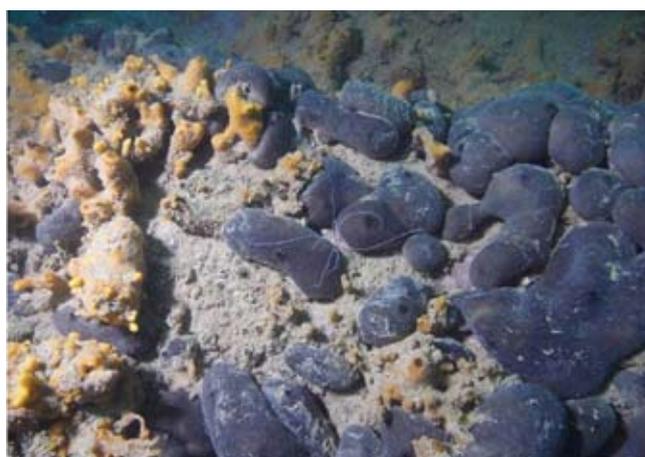
Esemplare del porifero *Tedania* (affioramento DFL 001).



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., Piazzì 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.