

Le più  
estese praterie  
a fanerogame  
in ambienti di  
transizione del  
Mediterraneo



Le fanerogame marine svolgono negli ambienti di transizione un ruolo portante nel sostenere la catena trofica e di mediazione dei processi fisici che controllano la morfologia lagunare. Per tali motivi sono ritenute, a livello internazionale, ottimi indicatori per rilevare le situazioni di stress che agiscono sull'ambiente acquatico. Considerato il loro ruolo ecologico e di sentinella, le fanerogame sono state incluse tra le specie marine e salmastre protette a livello internazionale e nazionale, come riportato nel "Protocollo sulle

Aree Specialmente Protette e la Biodiversità in Mediterraneo" (ASPIM - Convenzione di Barcellona, 1995), 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. Nella Rete Natura 2000, principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità, pur non essendo inserite in alcuna lista di specie che necessitano di protezione o gestione, sono comunque valutate come specie di interesse primario che, se seriamente compromesse, possono richiedere l'adozione di opportune misure di mitigazione e compensazione.



Essendo piante acquatiche, diversamente dalle macroalghe, le fanerogame hanno una stretta interazione sia con il mezzo idrico, attraverso l'apparato fogliare, sia con i fondali, tramite i rizomi e le radici che in alcune specie possono penetrare nel sedimento anche per

20-30 cm. Per questa stretta relazione con l'acqua e con il sedimento, una loro regressione o espansione, dopo un'opportuna valutazione delle eventuali pressioni naturali o antropiche che agiscono, possono dare indicazioni delle tendenze in atto nel corpo idrico. Possibili

variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque e dei sedimenti, nonché modificazioni dell'idrodinamica, se persistenti, possono inoltre modificare l'estensione delle coperture, la densità dei ciuffi fogliari e la tipologia delle specie costituenti le praterie.



*Praterie a fanerogame marine in una fase di bassa marea presso la bocca di porto di Lido. A sinistra prateria a Cymodocea nodosa a est del Forte di S. Andrea dove, tra i ciuffi emersi, sono visibili anche numerosi esemplari del mollusco bivalve Pinna nobilis. A destra prateria a Nanozostera noltii in sensibile espansione negli ultimi anni sul bassofondo antistante l'isola di S. Erasmo.*

## Le fanerogame marine: sentinelle dei disturbi ambientali

I monitoraggi delle fanerogame marine previsti dal programma di controlli degli effetti dei cantieri hanno preso avvio nel 2005 ed hanno utilizzato, come condizione di riferimento cui rapportarsi per la valutazione dello stato di qualità biologica, il rilievo eseguito in fase *ante operam*, nel 2003/2004, sulle coperture interessanti l'area delle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, senza comunque tralasciare l'evoluzione che le praterie hanno avuto a livello dell'intera area lagunare.

Il principale obiettivo del monitoraggio delle fanerogame marine è stato quello di valutare se, all'interno della variabilità naturale dei sistemi a praterie nelle bocche di porto, si verificano scostamenti significativi dalle condizioni di riferimento rilevate in fase *ante operam*, come conseguenza di impatti o forzanti provenienti dalle attività di cantiere o delle opere.

Le verifiche hanno compreso la mappatura delle praterie nelle tre bocche di porto, che interessano profondità fino a 3-4 m e l'esecuzione, su una rete di 18 stazioni ubicate su praterie, di campagne stagionali di misura in campo e in laboratorio sui ciuffi fogliari raccolti, incluse le determinazioni degli organismi epifiti presenti sulle foglie (un importante



*Fasi del monitoraggio delle praterie a fanerogame marine. In alto a sinistra, operatore durante una fase di campionamento di zolle di Cymodocea nodosa. In basso, zolla di Cymodocea nodosa raccolta nel campionamento primaverile, che evidenzia un esteso sviluppo di radici e rizomi ma ancora un ridotto apparato fogliare. In alto a destra, dettaglio dell'apparato fogliare di Cymodocea nodosa di una densa prateria presso la bocca di porto di Chioggia, nel periodo estivo.*

indicatore della biodiversità). Al termine di ogni campagna sono state eseguite le misure e le verifiche con i dati storici di riferimento per verificare l'esistenza di possibili scostamenti dai valori attesi.

Valutando i differenti ruoli ed impatti che hanno subito le diverse aree delle bocche durante la realizzazione delle opere, sono state distinte e considerate: a) aree specificamente coinci-

denti con l'impronta delle "opere" in realizzazione, b) aree di "cantieri" corrispondenti agli spazi acquei per l'accesso e la movimentazione dei vari mezzi, strutture temporanee e l'esecuzione dei lavori e c) le rimanenti aree di bocca, coincidenti con la maggioranza dei fondali a fanerogame e più o meno distanti dai cantieri, che costituiscono l'obiettivo principale del monitoraggio.

# Le praterie della laguna di Venezia: conoscenze ed evoluzione

La presenza di queste piante acquatiche nella laguna di Venezia è conosciuta, nei lavori di letteratura scientifica, sin dall'inizio del 1900, mentre le prime informazioni sulla loro localizzazione ed estensione si possono desumere solo dall'analisi delle immagini fotografiche dei voli aerei degli anni 40 e 50.

Dopo la proliferazione delle macroalghe degli anni 80, il Magistrato alle Acque di Venezia ha avviato, ad intervalli temporali diversi, alcune mappature delle fanerogame marine nell'intera laguna, ad esclusione delle aree vallive. La prima mappatura a scala lagunare è stata eseguita nel 1990 mentre le successive, eseguite nell'ambito della rete di monitoraggio "MELa" (Monitoraggio Ambientale Laguna di Venezia) sono state realizzate nel 2002, 2004 e 2010.

Le cartografie sono state realizzate in ambiente GIS (Geographic Information System), integrando immagini aeree e satellitari con rilievi in campo.

Il confronto storico tra le cartografie evidenzia una modesta regressione

(62 ha) tra il 1990 e il 2002; le dinamiche a medio termine, intervenute tra il 2002 e il 2004, sono risultate invece cospicue, con un arretramento di ben 1.759 ha delle specie più sensibili (*Zostera marina* e *Nanozostera noltii*). Vanno, però, ricordate le condizioni meteo estremamente anomale, rispetto agli ultimi 30 anni, sia del 2002 che è stato l'anno con le maggiori precipitazioni, sia del 2003, uno degli anni più caldi in assoluto con effetti sulle praterie non

solo a livello locale ma anche a livello europeo. Tra la mappatura del 2004 e quella del 2010 è stato quindi osservato un incremento complessivo di 136 ha, ascrivibile ad un progressivo recupero delle condizioni.

I trend più significativi dei cambiamenti avvenuti indicano come negli anni le praterie miste si siano in gran parte modificate in praterie pure, con il prevalere soprattutto di *Cymodocea nodosa* e *Zostera marina*.

Laguna di Venezia	1990 (ha)	2002 (ha)	2004 (ha)	2010 (ha)
Prat. pura a <i>Cymodocea nodosa</i>	391	1.777	1.714	2.276
Prat. pura a <i>Zostera marina</i>	266	2.195	1.130	1.404
Prat. pura a <i>Nanozostera noltii</i>	1.436	70	21	57
Prat. mista a <i>N. noltii</i> e <i>C. nodosa</i>	2.157	220	75	21
Prat. mista a <i>N. noltii</i> e <i>Z. marina</i>	692	825	527	27
Prat. mista a <i>Z. marina</i> e <i>C. nodosa</i>	23	141	69	12
Prat. mista a <i>N. noltii</i> - <i>Z. marina</i> - <i>C. nodosa</i>	528	203	136	11
<b>Totale</b>	<b>5.493</b>	<b>5.431</b>	<b>3.672</b>	<b>3.808</b>
Bacino Nord	684	101	60	56
Bacino Centrale	106	863	405	634
Bacino Sud	4.703	4.467	3.211	3.118

*Estensione delle fanerogame marine per tipologia di prateria, pura (monospecifica) e mista (più specie) ed estensione in relazione alla tipica suddivisione della laguna in bacini. Dati rete dei monitoraggi del Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia).*

## La mappatura delle praterie a fanerogame alle tre bocche di porto

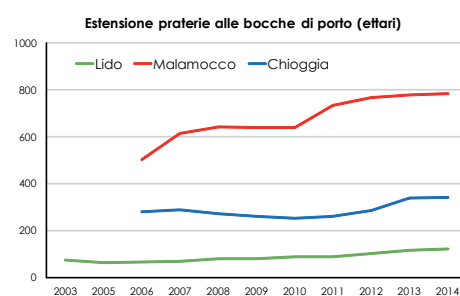
Il monitoraggio pluriennale ha evidenziato, dopo circa un decennio, un trend positivo per tutte le bocche di porto. L'espansione delle praterie non è stata simile tra le tre bocche, ma contrassegnata negli anni da incrementi e regressioni con tempi diversi e legata alla tipologia delle specie, al livello delle pressioni che hanno agito e riconducibili alle opere in realizzazione, alle attività antropiche ma anche agli eventi naturali come quelli meteorologici.

Nelle aree dove le criticità potevano essere maggiori, le fanerogame hanno evidenziato un'elevata resilienza, adattandosi alle nuove condizioni idrodinamiche e, quando possibile, espandendo le praterie esistenti, aumentando il grado di copertura o colonizzando fondali avegetati. Quando invece alcune aree a praterie si sono diradate, anche in modo marcato, in seguito ad eventi legati alla coltivazione delle vongole o all'esecuzione di opere di scavo, una

volta terminato il fattore perturbativo ha preso avvio la ricolonizzazione delle aree avegetate, in primis da parte di *Cymodocea nodosa*.

Nelle praterie delle tre bocche localizzate nelle aree di sovrapposizione con le opere e con i cantieri, che hanno risentito della netta vicinanza dei lavori e della movimentazione di mezzi, non risultano ancora recuperate le perdite di coperture (circa 9,1 ha). Il nuovo assetto idrodinamico nella bocca di porto di Lido con la realizzazione della isola nuovissima a supporto delle due serie di paratoie mobili ha determinato, da un lato, condizioni favorevoli all'espansione di *Cymodocea nodosa* e alla ricolonizzazione 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.

Durante i monitoraggi, le informazioni



*Evoluzione dell'estensione delle praterie nel decennio (a Malamocco e Chioggia, i monitoraggi sono iniziati nel 2006).*

rilevate sulla distribuzione delle fanerogame marine e sui trend a livello lagunare sono stati di fondamentale importanza per il monitoraggio poiché hanno permesso di comprendere le dinamiche evolutive ed inserire nel giusto contesto le variazioni osservate alle bocche di porto. Tali informazioni potranno essere inoltre la base scientifica e metodologica per la programmazione e lo svolgimento di futuri monitoraggi previsti nel quadro di interventi a livello lagunare.

# Fenologia ed epifitismo delle fanerogame alle bocche di porto

Oltre alla mappatura, le verifiche in-situ delle fanerogame marine hanno previsto l'esecuzione di campagne stagionali di misura su una rete di 18 stazioni ubicate su praterie delle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, con la stima del: grado di copertura (%) della prateria rispetto al substrato nell'intorno delle stazioni; densità della prateria (n. ciuffi/m<sup>2</sup>); dimensioni dei ciuffi (cm) e indicatori associati; valutazione della presenza e quantificazione dei ciuffi germinativi; quantificazione dei fenomeni di necrosi fogliare ("wasting disease"); stima dell'epifitismo macroalgale ed animale delle lamine fogliari (numero specie, ricoprimento e biomassa). Al termine di ogni campagna sono stati eseguiti confronti con i dati storici di riferimento del 2003 per verificare eventuali scostamenti dai valori attesi.

Nel corso degli anni, il confronto con i dati *ante operam* per i parametri "guida" dello stato delle praterie ha rilevato, solo per alcuni siti e limitatamente ad alcune stagioni, valori inferiori ai range del 2003. Non sono comunque mai stati raggiunti livelli di criticità tali da incidere sulla capacità di recupero della prateria ("soglia di attenzione" definita pari a una riduzione del 10-20% dei principali parametri). Situazioni di attenzione-criticità sono, invece, state rilevate in relazione ai parametri dell'epifitismo dei ciuffi fogliari delle fanerogame, dal momento che sono stati registrati valori non in linea con quelli della soglia di riferimento, soprattutto a Malamocco e Chioggia e, solo nei primi anni, a Lido. Rispetto allo stato *ante operam*, per l'epifitismo in tutte le bocche si è regi-



Esempi di organismi epifiti dei ciuffi fogliari di fanerogame marine (*Cymodocea nodosa*). A sinistra, alghe rosse appartenenti soprattutto al genere *Ceraminum* e, a destra, idrozoi appartenenti al genere *Aglaophenia*.

strata una riduzione del numero e dell'abbondanza delle specie *turf layer* (alghe di lunghezza inferiore a 10 mm) e delle *erect layer* (alghe superiori ad 10 mm) ed un contemporaneo aumento dell'abbondanza delle *encrusting layer* (alghe incrostanti o prostrate). La dominanza di questa tipologia algale (costituita soprattutto dalle Corallinales, specie indicatrici di elevato livello ecologico) riveste, grande importanza poiché è segnalata in letteratura come una condizione positiva dello stato di qualità delle praterie.

Per spiegare le difformità riscontrate in questi anni 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 delle epifite, 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. Sono state valutate anche le condizioni meteo climatiche dei diversi anni, considerando come quelli antecedenti e successivi allo studio *ante operam* siano stati più caldi rispetto alla media del periodo 1962-1999 e, in particolare, le temperature medie degli anni 2002 e 2003 siano risultate tra le più elevate dell'ultimo quarantennio.

Il monitoraggio pluriennale delle epifite si è rivelato di fondamentale importanza poiché ha permesso di evidenziare come, sulla loro differenziazione nel corso degli anni, agiscano due fattori distinti: uno ha prodotto una netta frazione tra *ante operam* e i successivi monitoraggi e uno che, intervenendo più lentamente ma in modo costante, ha modificato gradualmente tali comunità. Tali fattori, comunque, non sembrano legati agli effetti dei cantieri alle opere.



Patrizia Torricelli (UNIVE)  
Giovanni Caniglia (UNIPD)  
Luca Carniello (ICEA-UNIPD)  
Emiliano Checchin (SELC)  
Daniele Curiel (SELC)  
Andrea Defina (ICEA-UNIPD)

Chiara Dri (SELC)  
Giuliano Lorenzetti (ISMAR-CNR e CORILA)  
Giorgia Manfè (ISMAR-CNR e CORILA)  
Francesca Manfrin (ISMAR-CNR)  
Chiara Miotti (SELC)  
Andrea Pierini (SELC)

Andrea Rismondo (SELC)  
Luana Stefanon (ICEA-UNIPD)  
Daniele Viero (ICEA-UNIPD)  
Luca Zaggia (ISMAR-CNR)  
Matteo Zucchetto (DAIS-UNIVE)

Lavoro svolto per conto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato Interregionale per le OO.PP. Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia - tramite il Consorzio Venezia Nuova, coordinato da CORILA.

CORILA Palazzo Franchetti, S. Marco 2847, 30124 Venezia, [www.corila.it](http://www.corila.it)

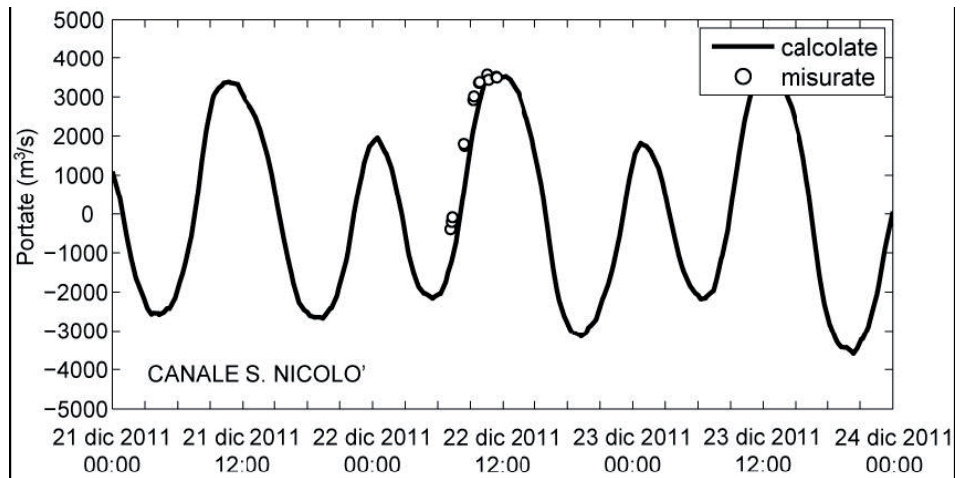
Quest'opera è distribuita con Creative Commons Attribution 4.0 International License



### Modellazione matematica idromorfodinamica delle praterie a fanerogame marine

Nel corso delle attività del monitoraggio, in corrispondenza delle bocche di porto è stata rilevata, per alcune delle praterie di fanerogame presenti, una riduzione della popolazione di epifiti dagli inizi della costruzione delle opere ad oggi. La letteratura esistente in materia indica tra le possibili cause di questo fenomeno una variazione del campo idrodinamico locale. A tale scopo, è stato messo a punto un modello numerico che permette di analizzare il comportamento idrodinamico della laguna di Venezia nelle sue configurazioni *ante* e *post operam*.

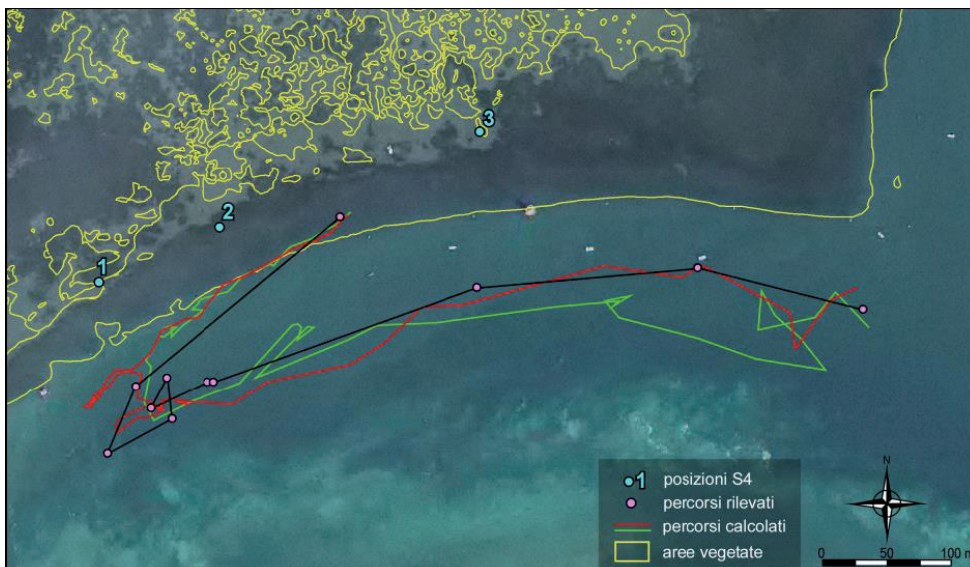
Le analisi sono state condotte utilizzando il modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti sviluppato dal Dipartimento ICEA dell'Università di Padova. Al modello idrodinamico è stato accoppiato un modello di moto ondoso prodotto dal vento, al fine di riprodurre la generazione e la propagazione del moto ondoso nonché l'effetto



Bocca di Lido. Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure del 22 dicembre 2011 e le portate calcolate con il modello lungo il canale S. Nicolò. Le portate positive sono da intendersi come uscenti dalla bocca, mentre quelle negative sono da intendersi come entranti attraverso la bocca.

combinato delle correnti di marea e delle onde da vento che risulta essere di cruciale importanza per descrivere la dinamica dei sedimenti lagunari. Ai due modelli descritti è stato accoppiato un ulteriore modulo in grado di descrivere la risospensione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti in laguna per effetto combinato delle correnti di marea e delle onde prodotte dal vento. I modelli matematici descritti, infine, sono stati applicati a due distinti reticoli di calcolo che riproducono, rispettivamente, le configurazioni *ante* e *post operam* ovvero precedente e successiva alla costruzione delle opere fisse del MOSE.

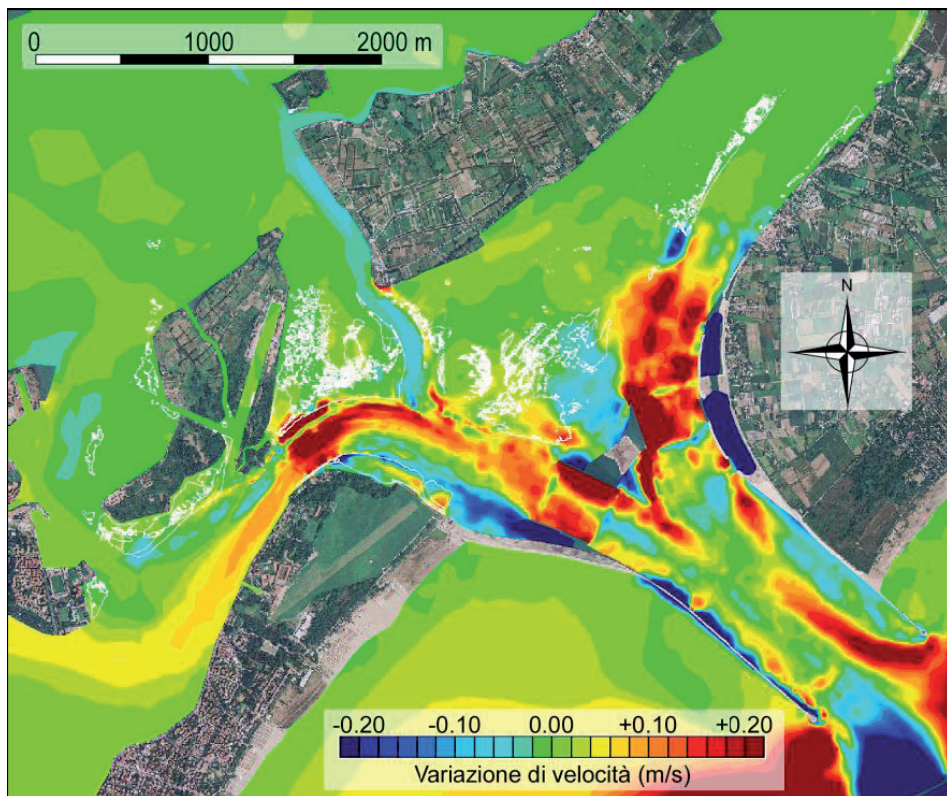
La verifica delle capacità predittive del modello per la configurazione *post operam* delle bocche è stata realizzata attraverso il confronto con i dati rilevati nel corso di specifiche campagne di misure condotte in corrispondenza di tutte e tre le bocche di porto. I confronti tra i dati misurati e i valori calcolati con il modello hanno riguardato i livelli, le portate, le velocità nei canali e sui bassifondi, nonché le traiettorie percorse da alcune droghe lagrangiane (cioè i.e. corpi galleggianti in grado di essere trasportati dalla corrente) rilasciate in punti specifici del campo di moto (ad es. figure in alto e basso).



Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una droga rilasciata durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 (in nero) e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano (in rosso e verde).

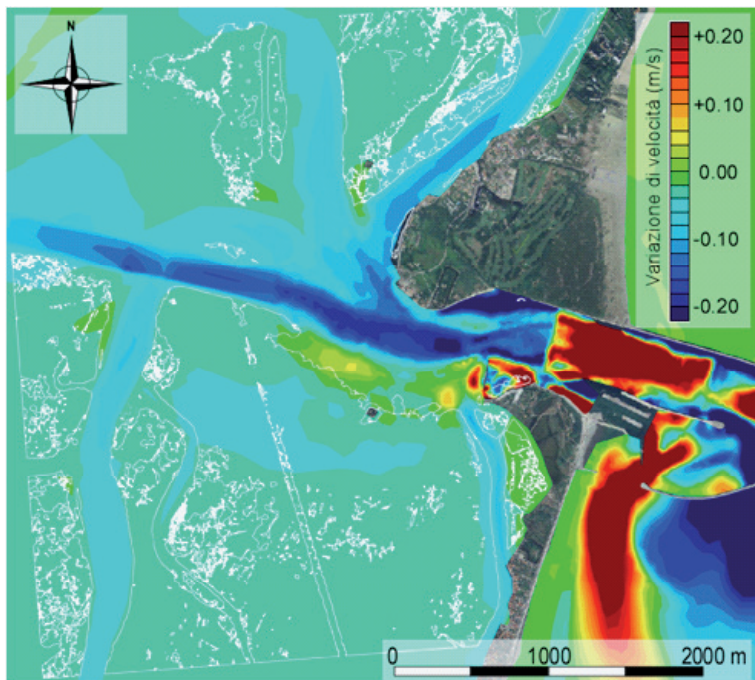
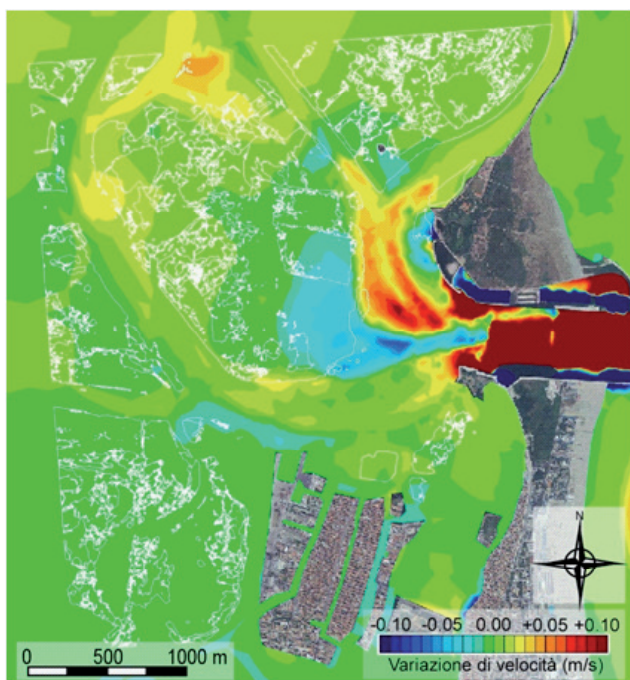
Il confronto tra il comportamento idrodinamico della laguna nelle sue configurazioni *ante* e *post operam* è stato condotto considerando due maree astronomiche tipiche per la laguna di Venezia, una in fase di sizigia e l'altra in fase di quadratura. I risultati del calcolo sono stati rappresentati per ciascuna bocca mediante mappe a colori raffiguranti le differenze riscontrate nei (i) campi di velocità (ad es. figura a destra), (ii) nella distribuzione planimetrica degli sforzi tangenziali e (iii) nella risospensione dei sedimenti generata dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso, nell'ipotesi di considerare un vento di bora costante di intensità pari a 15 m/s.

Le variazioni più consistenti nel campo di moto idrodinamico nelle due configurazioni *ante* e *post operam* sono state osservate in corrispondenza della bocca di Lido. In condizioni di sizigia, infatti, per la configurazione *post operam* è stato evidenziato un incremento delle portate uscenti dalla bocca lungo il canale S. Nicolò e un incremento generalizzato delle velocità in fase di riflusso lungo il canale rispetto alla condizione *ante operam*. Tale incremento, dell'ordine dei 40-50 cm/s, ma che raggiunge localmente valori massimi di 80 cm/s, arriva a lambire le praterie lungo i margini dei bassofondi che si affacciano sul canale S. Nicolò. Alle bocche di Chioggia e Malamocco, invece, le differenze nelle velocità per le



Marea di sizigia. Variazione complessiva in due cicli di sizigia delle velocità massime alla bocca di Lido (sopra), Malamocco (in basso a sinistra) e Chioggia (in basso a destra), calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

due configurazioni *ante* e *post operam* sono modeste e in ogni caso inferiori ai 30 cm/s.

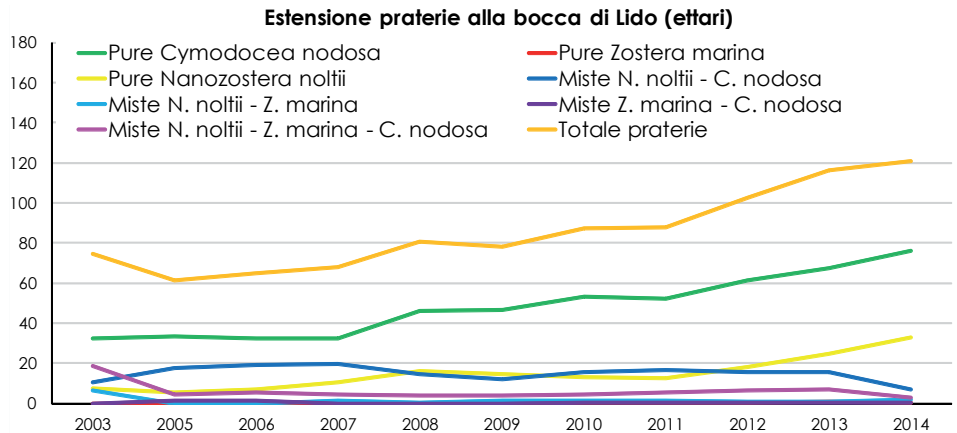


### Evoluzione delle praterie a fanerogame alla bocca di porto di Lido

Il monitoraggio della distribuzione delle praterie a fanerogame marine nella bocca di Lido ha evidenziato negli anni una complessiva stabilità, con coperture che al termine del decennio sono risultate superiori a quelle dello studio ante operam. Nel 2014, tra praterie pure e miste, sono state rilevate coperture pari a 121,1 ha, con un incremento di 46,4 ha rispetto al 2003. Sino al 2007 le praterie sono risultate inferiori alla fase *ante operam* mentre, negli anni successivi, l'incremento è stato più o meno costante, variando in relazione alle dinamiche delle singole specie e delle diverse tipologie di praterie. Progressivamente le praterie miste, dove due o più specie coesistevano (ma sempre con una dominante), si sono modificate divenendo pure a seguito del prevalere della specie principale. Nel corso degli anni, le maggiori dinamiche (regressive e progressive) si sono avute soprattutto nell'area del "Bacan", un fondale lagunare che presenta ampi tratti sempre sommersi (2-3 m) ma anche estese piane intertidali che emergono durante le basse maree. Le perdite di praterie, in parte recuperate negli ultimi 2-3 anni, hanno riguardato principalmente la fanerogama marina *Nanozostera noltii* in fregio ai bassi fondali.



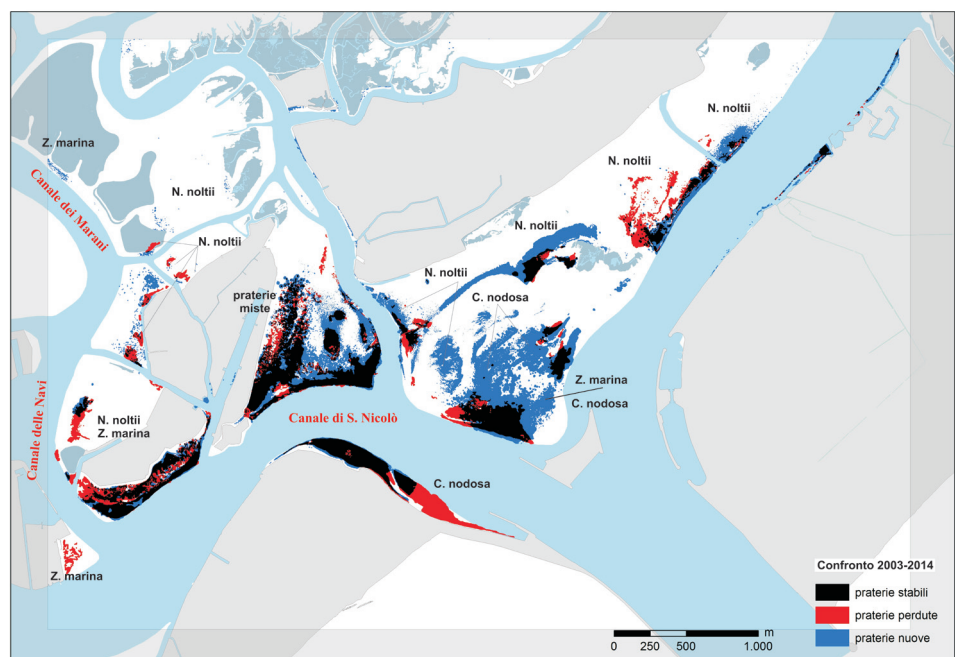
Margine della prateria in un tratto di bordo canale.



Bocca di Lido. Evoluzione dell'estensione delle praterie per specie e per tipologia.

Definitivamente perdute sono alcune praterie presenti sino al 2010 presso Venezia, a seguito della realizzazione di una darsena, e le praterie più vicine alle opere parallelamente alla diga sud, per le modifiche strutturali avvenute al molo foraneo e ai fondali adiacenti. Gli incrementi di areali più significativi si sono avuti sui fondali retrostanti la nuova isola posta al centro del porto canale e realizzata a supporto del sistema di paratoie. Elevata è l'espansione delle praterie di *Cymodocea nodosa* che hanno colonizzato i substrati a maggiore profondità e più marinizzati (+43,9 ha nella sola tipologia pura, dallo studio

*ante operam*). Negli ultimi anni sono importanti anche gli incrementi di *Nanozostera noltii* che, dopo circa un decennio di assenza, ha ricolonizzato parte dei fondali più superficiali dove era presente nella mappatura del 1990. Per *Zostera marina* attualmente gli incrementi sono ancora limitati (0,5 ha) ma appaiono ugualmente importanti per il significato ecologico e per il contributo alla biodiversità che questa specie porta, assieme alle altre due, alla conservazione dell'habitat prioritario 1150\* (lagune costiere) e all'habitat di specie e alla comunità bentonica e ittica.



Bocca di Lido. Regressioni (in rosso) e nuove colonizzazioni (in blu) avvenute nel decennio. In nero le praterie rimaste stabili nel tempo.

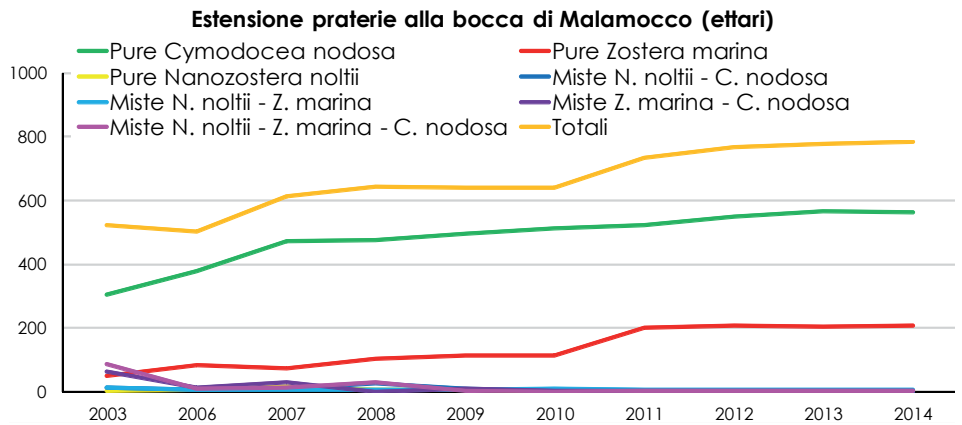
### Evoluzione delle praterie a fanerogame alla bocca di porto di Malamocco

Dopo un decennio di monitoraggio, la distribuzione delle praterie a fanerogame marine della bocca di porto di Malamocco appare in aumento rispetto alla fase *ante operam*. Dal 2003, quando erano stati rilevati areali per 521,7 ha, sono ora state mappate praterie per 783,2 ha, pari ad un incremento di 261,5 ha. Questo trend non è stato costante negli anni ma si è accentuato soprattutto nel 2007, con un aumento principalmente di *Cymodocea nodosa*, e nel 2011 con un incremento sensibile di *Zostera marina*.

Per spiegare le dinamiche delle praterie di questa bocca di porto va anche segnalato come, a causa di uno scavo del 2004 per l'interconnessione tra i sistemi acquedottistici di Venezia e Chioggia, si sia verificata una significativa perdita di fanerogame, con effetti indiretti in un'area notevolmente più estesa di quella interessata dall'intervento. La successiva fase di ricolonizzazione è stata caratterizzata dal prevalere di *Cymodocea nodosa* sul-



Immagine dello scavo del 2004 che ha attraversato le praterie a fanerogame.

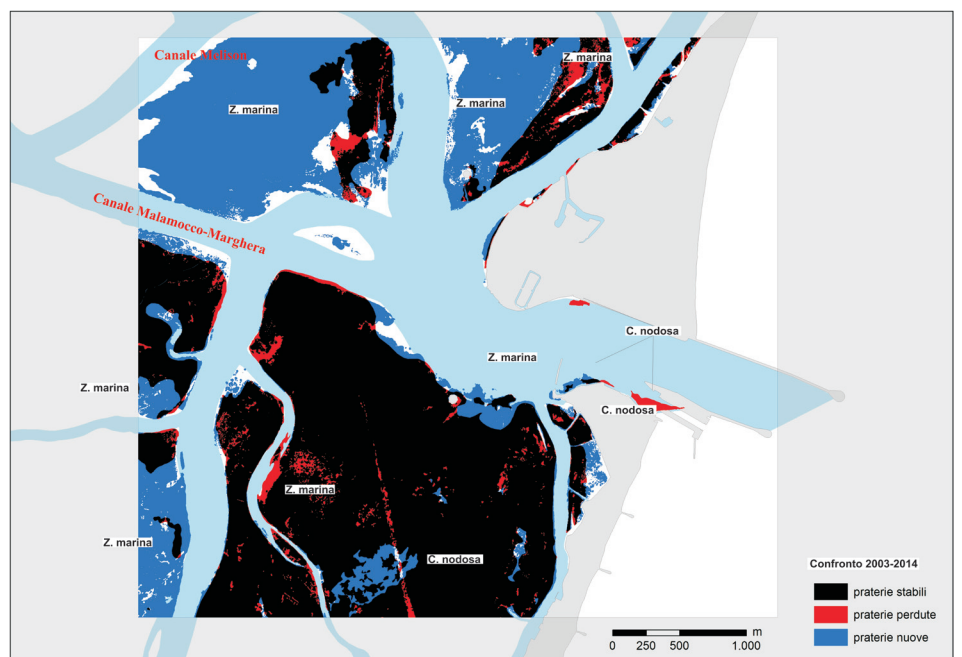


Bocca di Malamocco. Evoluzione dell'estensione delle praterie per specie e per tipologia.

le altre specie, per la sua migliore strategia e rapidità di colonizzare substrati avvegetati (elevata resilienza e strategia riproduttiva diversificata in gamica e vegetativa). Nel settore nord della bocca, su fondali di 1,5-3,0 m, l'aumento di areali ha visto come protagonista *Zostera marina*, una specie molto sensibile alle variazioni ambientali e che nel 2003 aveva subito forti regressioni in tutta la laguna a causa delle anomale ed elevate temperature registrate nei mesi estivi.

Nelle aree a maggiore impatto delle

"opere" e dei "cantieri", già dal primo anno del monitoraggio (2006) è stata registrata la perdita netta di praterie: dei 3,0 ha totali ne sono rimasti solo 0,5 ha. Queste perdite, da ricondurre alla fanerogama *Cymodocea nodosa*, sono avvenute in gran parte nei settori delle opere dove sono state apportate modifiche strutturali ai moli foranei, su profondità quasi al limite per la sopravvivenza di questa specie per la qualità delle acque nell'interfaccia mare-laguna.



Bocca di Malamocco. Regressioni (in rosso) e nuove colonizzazioni (in blu) avvenute nel decennio. In nero le praterie rimaste stabili nel tempo.

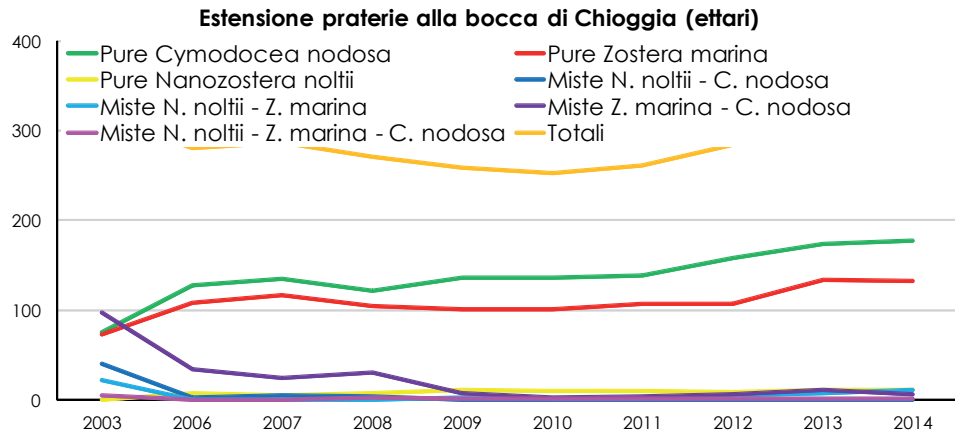


### Evoluzione delle praterie a fanerogame alla bocca di porto di Chioggia

Le dinamiche delle praterie di questa bocca sono apparse sin dal 2006, primo anno del monitoraggio, più complesse rispetto a quelle delle altre due bocche di porto per la presenza di estese aree per la coltivazione delle vongole. Negli anni, queste aree di allevamento sono variate in estensione e posizione; inoltre in alcuni anni sono state sfruttate, in altri lasciate inattive. Considerando l'elevata pressione antropica, tra il 2003 e il 2014 il bilancio dell'estensione delle praterie è nel complesso positivo, essendo variate da 314,6 ha in fase *ante operam* agli attuali 339,6 ha, con un incremento di 25,0 ha. Dopo i controlli *ante operam* del 2003, già dal monitoraggio del 2006 erano state segnalate perdite di praterie, in gran parte nelle aree delle concessioni o prossime ad esse. Successivamente, con un trend non regolare segnato da incrementi e riduzioni, le praterie si sono progressivamente ampliate, soprattutto



Estensione delle aree in concessione per la coltivazione delle vongole, in verde, che si sono succedute dal 2003 al 2014. In blu i limiti delle concessioni Ruditapes (2003-2013). In rosso le aree occupate complessivamente dai cantieri, da specchi acquei in concessione ed aree interdette alla navigazione.



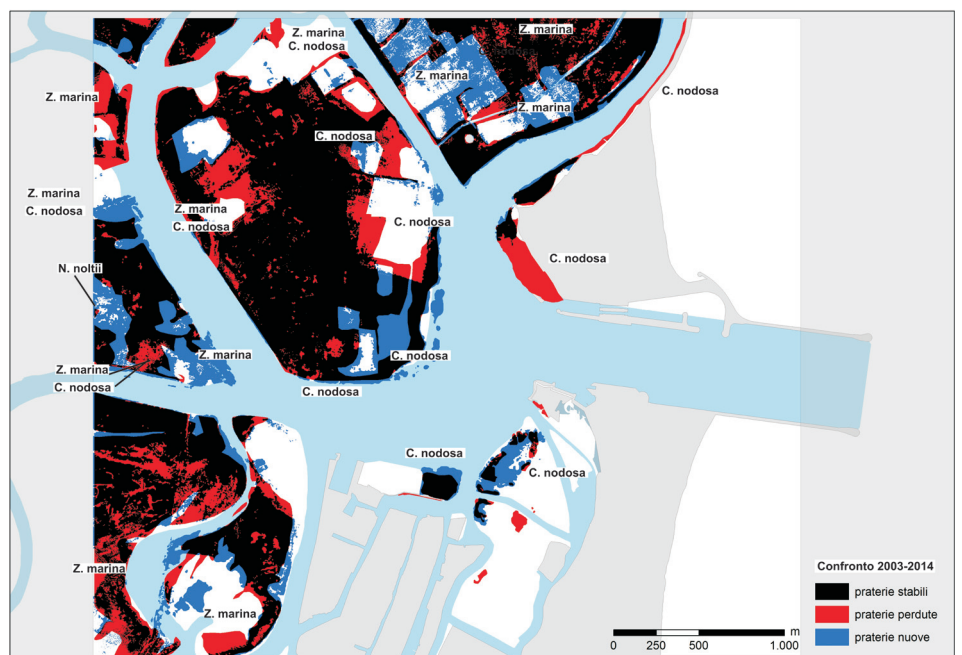
Bocca di Chioggia. Evoluzione dell'estensione delle praterie per specie e per tipologia.

dal 2010, quando da 252,2 ha (valore più basso raggiunto nel corso del monitoraggio) hanno raggiunto gli attuali 339,6 ha. A seguito di totali o parziali dismissioni nelle aree in allevamento, infatti, si è verificata una progressiva colonizzazione dei fondali avevegetati da parte di *Zostera marina*, originariamente presente sui fondali prima dell'avvio di queste pratiche.

Nel corso degli anni, le maggiori dinamiche delle praterie si sono avute nel settore centro-nord della bocca dove sono localizzati gli allevamenti di vongole o in aree ad essi vicini.

Nel settore sud della bocca di porto, poco

o nulla interessato dalla presenza di allevamenti di vongole, le variazioni delle fanerogame sono apparse influenzate dalla proliferazioni macroalgali del genere *Ulva*. Gli eventi anossici dovuti alla degradazione delle macroalghe hanno causato, con fasi alterne, la scomparsa o quantomeno la fluttuazione periodica delle fanerogame marine lagunari, soprattutto delle specie più sensibili, come *Zostera marina*. Attribuibili alle opere in realizzazione sono invece le perdite di circa 4-5 ha di prati a *Cymodocea nodosa* su fondali profondi 3-4 m lungo la conterminazione lagunare di Ca' Roman, trasformata in area rifugio per le imbarcazioni.



Bocca di Chioggia. Regressioni (in rosso) e nuove colonizzazioni (in blu) avvenute nel decennio. In nero le praterie rimaste stabili nel tempo.

### Modelli di distribuzione dell'habitat per le praterie di fanerogame marine

Con il raggiungimento del decimo anno di monitoraggio è stato deciso di sviluppare modelli di distribuzione dell'habitat per le tre specie di fanerogame marine presenti in laguna di Venezia (*Zostera marina*, *Nanozostera noltii* e *Cymodocea nodosa*), con la finalità di:

- spiegare il ruolo della variazione delle condizioni ambientali nelle dinamiche delle praterie in bocca di porto attraverso l'integrazione di diverse fonti di dati (informazioni pregresse, rilievi e simulazioni effettuati nell'ambito del monitoraggio dei cantieri);
- supportare l'individuazione di aree dove sono presenti le specie in condizioni ambientali non ottimali, indicando le variabili che maggiormente ne limitano la probabilità di presenza (analisi di sensitività);
- evidenziare la presenza di aree ad alta vocazionalità al di fuori delle attuali praterie, per identificare aree favorevoli in cui può avvenire un'espansione delle praterie o che possono essere considerate candidate per il ricevimento di un eventuale trapianto di fanerogame.

Questa attività è stata avviata proprio in questa fase tenendo conto dello stato di avanzamento dei lavori, che permette di considerare l'assetto morfologico delle bocche di porto, sostanzialmente definitivo, ed alla luce del patrimonio di informazioni raccolte nel corso dei monitoraggi sull'occupazione dei fondali lagunari da parte delle fanerogame marine.

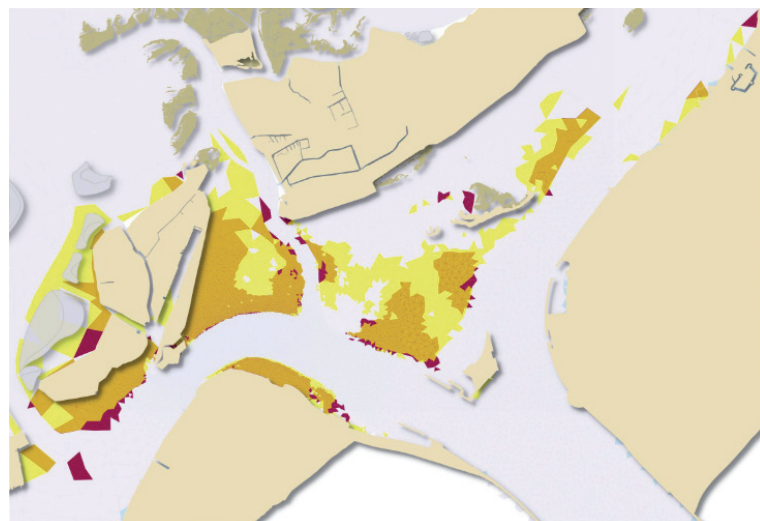
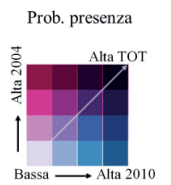
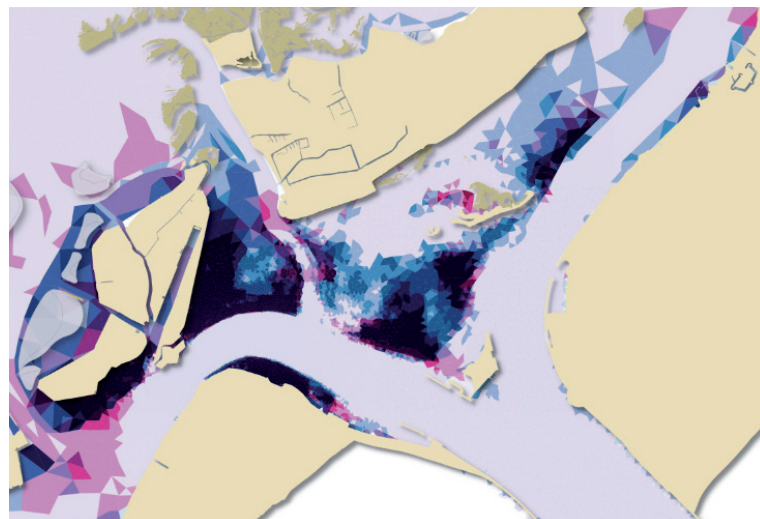
I modelli di distribuzione dell'habitat si basano sulla quantificazione delle relazioni esistenti tra la distribuzione delle specie e i parametri ambientali (fattori

biotici o abiotici che ne influenzano la distribuzione). 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 minimi.

I modelli sviluppati per *C. nodosa*, *N. noltii* e *Z. marina* risultano avere buone capacità predittive ed una adeguata capacità di ricostruire la dinamica di occupazione dei fondali lagunari.

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 potrà 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) oppure i modelli potrebbero essere sfruttati per esplorare diversi scenari di gestione o di intervento, in modo da contribuire all'inclusione dei potenziali effetti sull'idoneità dell'ambiente lagunare tra gli elementi da considerare all'interno dei processi decisionali.



Risultato dell'applicazione dei modelli di distribuzione dell'habitat alla bocca di porto di Lido. Sopra: differenza tra la probabilità di presenza delle fanerogame marine prima (2004) e dopo la realizzazione degli interventi (2010). Sotto: distribuzione delle aree idonee prima (2004) e dopo la realizzazione degli interventi (2010).