

Valutazione dello stato di conservazione delle praterie di *Posidonia oceanica* di Ospedaletti (IM) mediante l'utilizzo di modelli predittivi

Gloria Misson

Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26
gloria.misson@edu.unige.it

Riassunto

Posidonia oceanica (L.) Delile è una fanerogama marina endemica del Mar Mediterraneo. Essa è in grado di sviluppare ecosistemi molto produttivi e le praterie sono classificate come Siti di Interesse Comunitario con l'obbligo di piani di gestione per tali aree. Tuttavia, la maggior parte dei posidonieti sono in regressione in tutto il bacino mediterraneo a causa dei notevoli impatti antropici i quali generano danni diretti e indiretti alla fanerogama.

In questo lavoro, sono stati applicati modelli predittivi geospaziali al fine di quantificare la regressione dei limiti superiore e inferiore della prateria di *P. oceanica* dinanzi a Ospedaletti (IM) causata dagli interventi effettuati sul litorale e determinare in tal modo le condizioni di riferimento, ovvero le condizioni ideali di sviluppo in assenza di impatti antropici. I risultati hanno evidenziato come la prateria dinanzi alla discarica a mare abbia subito una notevole regressione, in quanto il materiale versato presentava una rilevante percentuale di pelite. Inoltre, confrontando la situazione attuale con le condizioni di riferimento, è stato possibile quantificare gli ettari di posidonieto scomparsi.

Parole chiave: Modello predittivo, condizioni di riferimento, *Posidonia oceanica*, Ospedaletti, Liguria

Abstract

Posidonia oceanica (L.) Delile is an endemic seagrass of the Mediterranean Sea. It is able to develop highly productive ecosystems and its meadows are classified as Sites of Community Interest: all Member States of European Community are obliged to undertake management plans for these areas. However, most of meadows are suffering regression in the whole Mediterranean basin because anthropogenic coastal impacts generate direct and indirect damages to *P. oceanica*.

The meadow occurring in the Ospedaletti Bay (IM) has been affected by significant coastal interventions from the earliest years of the '900 (i.e. protection structures for railway and sea-dump), which have produced a retreat of the meadow.

In this work, geospatial predictive models have been applied in order to quantify the regression of the upper and lower limits of *P. oceanica* of Ospedaletti caused by human coastal interventions. These models allowed to define the reference conditions, i.e. the ideal conditions in the absence of anthropogenic impacts. The results showed that the meadow before the sea-dump underwent a obvious regression due to considerable quantity of pelitic material versed on the seacoast. In addition, comparing the current situation of *P. oceanica* with reference conditions, it was possible to quantify the meadows hectares that have been lost.

Keywords: Predictive model, reference conditions, *Posidonia oceanica*, Ospedaletti, Liguria

Introduzione

La Direttiva Europea 2008/60/CE nota come Marine Strategy Framework Directive (MSFD) obbliga gli Stati Membri alla determinazione dello stato di conservazione degli ambienti marini considerando non solo i singoli elementi che compongono l'ecosistema ma anche la struttura, le funzioni e i processi che lo governano. Lo scopo della Direttiva è il conseguimento o il mantenimento di un "Buono Stato Ambientale" (GES: Good Environmental State) dell'ambiente marino entro il 2020, al fine di ridurre il fenomeno dello "spostamento delle condizioni di riferimento" (shifting baselines). Per il raggiungimento del GES, ad ogni Stato Membro è richiesta la determinazione dello stato ambientale della regione marina competente mediante la misurazione di alcuni descrittori qualitativi: la loro analisi è fondamentale per l'individuazione delle condizioni di riferimento tipiche e specifiche per il corpo idrico analizzato. Le condizioni di riferimento di un determinato ambiente possono essere definite mediante tre modalità: 1. comparazione dell'area con i siti di stato elevato quali le aree marine protette; 2. confronto delle condizioni attuali con i dati storici, dove disponibili; 3. modellizzazione (CE, 2008).

Posidonia oceanica (L.) Delile è la fanerogama marina dominante nel Mar Mediterraneo, dove forma estese praterie dalle quali si sviluppano ecosistemi altamente produttivi e svolge un ruolo chiave nei sistemi biotici delle acque costiere (Boudouresque et al., 2012). La maggior parte delle praterie di *P. oceanica* sono classificate come SIC (Siti di Importanza Comunitaria; Relini, 2000): la Comunità Europea prevede piani di gestione per i SIC (EEC, 1992) e richiede che gli habitat prioritari presenti nei Siti siano in condizioni soddisfacenti, ciò comporta la conservazione dello stato di salute generale dell'habitat. Nello scorso secolo il continuo e crescente sviluppo demografico ed economico delle città costiere ha causato la regressione delle praterie di *P. oceanica*. La fanerogama presenta un basso tasso di crescita e la ricolonizzazione dei posidonieti degradati è praticamente irreversibile a scala umana (Boudouresque et al., 2009). La distruzione e l'alterazione delle praterie per cause antropiche può essere diretta, mediante danni fisici e chimici, o indiretta, causando un'alterazione dei processi ambientali (Boudouresque et al., 2009). Spesso si assiste a una sinergia dei diversi impatti, i quali non sempre sono facilmente isolabili (Boudouresque et al., 2012). Tuttavia, tale regressione può essere generata anche dall'interazione con fattori naturali, in particolare con l'idrodinamismo, come confermano diversi studi (La Loggia et al., 2004; Occhipinti-Ambrogi, 2007; Giovannetti et al., 2008; Vacchi et al., 2010, 2012, 2013). Infatti, il limite superiore della prateria solitamente è presente all'interno della regione più dinamica del fondo marino (Vacchi et al., 2010, 2012) ma questa zona è spesso sottoposta all'influenza degli impatti antropici, che causano una regressione del limite verso il largo (Montefalcone et al., 2010). Il limite inferiore è soggetto ai cambiamenti fisici generati dal moto ondoso lungo la colonna d'acqua oltre che dalle alterazioni determinate dall'inquinamento (Vacchi et al., 2012).

Nel SIC marino IT1316274 presente nella regione Liguria e denominato "Fondali di Sanremo-Arziglia", si sviluppa una prateria di *P. oceanica* che si estende da Punta di Miglierese ad Ospedaletti (IM). La baia di Ospedaletti, fin dai primi anni del '900, è stata interessata da notevoli interventi costieri, come opere di difesa per la protezione del tratto ferroviario e versamento di materiale fine a mare, i quali hanno in parte determinato un arretramento del posidonieto. In questo lavoro, sono stati applicati modelli predittivi geospaziali su base cartografica 2D al fine di quantificare la regressione dei limiti superiore e inferiore della prateria di *P. oceanica* dinanzi a Ospedaletti causata dagli interventi effettuati sul litorale e determinare in tal modo le condizioni di riferimento. Tale applicazione permette di discriminare l'arretramento causato dalle attività umane rispetto a quello determinato da alterazioni naturali. I modelli identificano la porzione del fondo marino dove i limiti superiore e inferiore del posidonieto dovrebbero essere posizionati in condizioni di riferimento, ovvero nella condizione ideale di sviluppo in assenza di impatti antropici.

Materiali e metodi

Area studio

Il litorale oggetto di studio si trova nel tratto orientale della baia di Ospedaletti (Fig. 1), tra il centro cittadino (ovest) e Capo Nero (est). Il tratto costiero presenta un'orientazione NO-SE, con una spiaggia emersa di natura ghiaiosa-ciottolosa nel tratto centrale, mentre in prossimità di Capo Nero la costa è prevalentemente rocciosa. La spiaggia sommersa presenta una tessitura riferibile alle peliti (Fierro et al., 2010), con un profilo morfodinamico con caratteristiche intermedie tra i profili dissipativi e i profili riflettivi, essendo caratterizzato da pendenze comprese tra 8-15° (Ferrari et al., 2011).

Considerando il clima meteromarinario, l'area di indagine risulta essere interessata particolarmente dalle ondate di Libeccio, con un'orientazione del moto ondoso pari a circa 225°, mentre è colpita con un angolo ad elevata

incidenza dai mari meno energetici provenienti dal secondo quadrante. L'altezza dell'onda, con tempo di ritorno annuale, al largo (H_0) è pari a 4,0 m e con periodo corrispondente a 7,5 sec (Ferrari et al., 2011) (Fig. 2). Fin dalla metà dell' 800 il comune di Ospedaletti è stato interessato da numerosi interventi litorali. Tra il 1860 e il 1870 è stata realizzata la linea ferroviaria, la quale percorreva la località per tutto il suo tratto costiero. L'opera ha comportato l'inizio di un'intensa fase erosiva e nel 1878 sono state realizzate le prime opere difensive per la protezione del rilevato ferroviario (Fierro et al., 2010). Inoltre, nello stesso periodo, il prelievo di inerti direttamente dalle spiagge e dai corsi d'acqua, in particolare dal Roia e dal Nervia, hanno fortemente ridotto il flusso detritico che alimentava la spiaggia di Ospedaletti (Fierro et al., 2010).

L'area è stata interessata anche da numerosi interventi di stabilizzazione dei versanti in roccia a picco sul mare, con un conseguente annullamento del contributo sedimentario da parte delle falesie (Fierro et al., 2010). Per tutto il '900 si è registrato un incremento delle opere di difesa, quali versamenti di massi a formazione di scogliere aderenti con un successivo spostamento a levante del fenomeno erosivo e realizzazione di pennelli, alternati ad operazioni di ripascimento con scarsi risultati positivi. Agli inizi degli anni '70, nel litorale di Ospedaletti è stata realizzata una discarica di materiale di risulta proveniente dalla realizzazione del raddoppio autostradale con lo scopo di contrastare il fenomeno erosivo. La presenza nel materiale di una notevole quantità di frazione pelitica, ha determinato un inquinamento dell'area (Fierro et al., 2010). Successivamente la discarica è stata stabilizzata e recentemente l'area è stata bonificata anche con la realizzazione di un porticciolo attualmente in via di ultimazione.



Figura 1. Area di studio, Comune di Ospedaletti (IM)

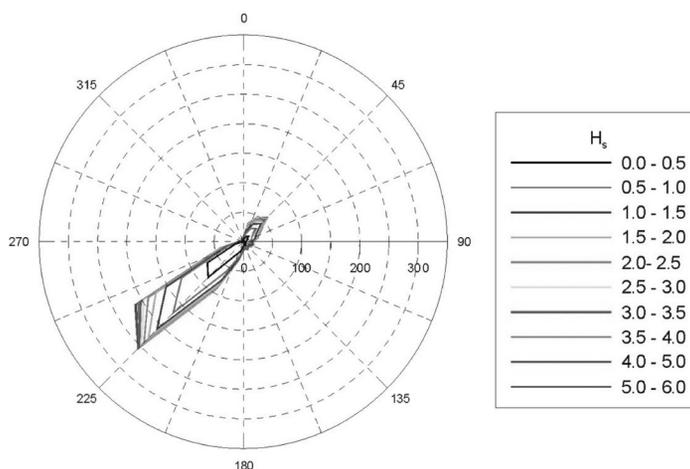


Figura 2. Diagramma polare del moto ondoso con le rispettive altezze d'onda significativa per il settore costiero della provincia di Imperia (Fierro et al., 2010). I dati sono stati desunti da MedAtlas. Dal grafico si evince che le agitazioni di Libeccio sono le più intense, con valori che superano i 5m con un tempo di ritorno 10 anni e valori medi compresi tra 1 e 1,2.

Prateria di P. oceanica

La prateria dinanzi al comune di Ospedaletti fa parte del SIC denominato “Fondali di Sanremo-Arziglia”, il quale presenta un’estensione totale pari a 442,03 ettari circa. La prateria del litorale oggetto di studio è divisa di due aree da un profondo canale di sabbia con direzione perpendicolare alla costa.

Il posidonieto a occidente presenta un’estensione di 52,20 ettari (www.cartografiarl.regione.liguria.it) ed è insediato su sabbia e su matte. È costituito da una sottile striscia ed è distante dalla costa circa 100 - 150 m, con un limite superiore compreso tra -12/-14 m e un limite inferiore compreso tra -17/-25 m (Montefalcone, 2007). A partire dalla batimetrica dei -6 m fino al limite superiore della prateria sono visibili delle grosse chiazze di *Posidonia oceanica* tra la sabbia. Il posidonieto è interrotto da numerosi canali di sabbia e si presenta frammentato, soprattutto presso il limite inferiore, tuttavia il corpo principale della prateria appare continuo e moderatamente frammentato da aree di fondo nudo (Montefalcone, 2007). La copertura media presenta un valore pari al 70% circa: il posidonieto presenta un discreto stato di salute in quanto le superfici interessate da matte morta coprono solo il 2,6% della superficie totale (Montefalcone, 2007). Inoltre la prateria è intersecata dalla tubatura di scarico a mare, la quale si estende fino alla profondità di -47 m.

Il posidonieto presente nel lato orientale del litorale di Ospedaletti si estende per una superficie totale di circa 389,83 ettari (www.cartografiarl.regione.liguria.it), una lunghezza di 3 km ed un’ampiezza compresa tra 100 e 400 m (Ferrari et al., 2011). Tra Capo Nero e San Remo la prateria appare poco frammentata e rigogliosa, mentre tra Capo Pino e il porto di San Remo sono presenti significative erosioni della matte, che si fanno sempre più importanti spostandosi verso est, dove la densità e la copertura diminuiscono in modo evidente (Diviacco e Coppo, 2007). Il limite superiore è sfrangiato ed è compreso tra -7/-15 m, mentre quello inferiore tra -25/-30 m (Ferrari et al., 2011). Il posidonieto è impostato su sabbia e su matte, tuttavia in prossimità di Capo Nero si insedia su un substrato roccioso e in tale tratto il limite superiore raggiunge una profondità di -3 m (Diviacco e Coppo, 2007). Per questo studio si è considerato solo la porzione che insiste sulla baia di Ospedaletti, ad ovest di Capo Nero.

Parametri idrodinamici

Per la definizione delle condizioni di riferimento specifiche per il posidonieto oggetto di studio, sono stati utilizzati il modello previsionale proposto da Vacchi et al. (2013) per la determinazione del limite superiore teorico ed il modello proposto da Vacchi et al. (2012) per la definizione del limite inferiore teorico.

In particolare sono stati determinati i parametri K_{min} e K_{max} corrispondenti, rispettivamente, alla minima e alla massima distanza teorica lineare prevista tra la profondità di breaking e il limite superiore della prateria. K_{min} e K_{max} , essendo equazioni predittive, delineano una regione del fondale che può essere considerata la zona con le condizioni di riferimento per la singola prateria (Vacchi et al., 2013). Tali parametri vengono espressi con le seguenti formule: $K_{min}=5,94+0,29\varepsilon$; $K_{max}=17,83+0,14\varepsilon$; dove ε è l’indice di surf scaling. K_{min} e K_{max} rappresentano, rispettivamente, il 2,5% e il 97,5% dell’intervallo di confidenza atteso (Vacchi et al., 2013). La distanza del fondo tra K_{max} e il limite superiore arretrato può essere interpretata come la regressione in metri del limite superiore del posidonieto e determina la perdita lineare della prateria causata dalle attività antropiche. Tali equazioni sono applicabili per le praterie che si sviluppano su fondali sabbiosi e su matte (Vacchi et al., 2013).

Il parametro Z_c determina il limite inferiore teorico della prateria oggetto di studio e corrisponde a $Z_c=0,32L_0+5,62$ (Vacchi et al., 2012), dove L_0 è la lunghezza dell’onda annuale al largo (m). Vacchi et al. (2012) hanno infatti dimostrato che il limite inferiore non è mai stato trovato a una profondità maggiore della base delle onde di tempesta annuali, pari a $L_0/2$. Ciò viene spiegato in quanto il movimento superficiale dell’acqua produce un campo di velocità che si propaga lungo la colonna d’acqua, pari appunto a $L_0/2$, che interagisce con il fondale generando dei cambiamenti fisici.

Framework concettuale dell’analisi dei dati

Il framework concettuale dell’analisi dei dati si basa su tre componenti essenziali (Tab. 1).

I. Definizione della geometria del limite di breaking mediante l’elaborazione dei dati ondametrici e batimetrici dell’area di studio. La profondità di breaking (d_b) cioè la profondità alla quale le onde frangono, è stata calcolata utilizzando la formula $d_b=H_b/\gamma_b$ (Smith, 2003), dove H_b è l’altezza dell’onda alla frangenza con un tempo di ritorno annuo; γ_b è l’indice di breaking e corrisponde a $\gamma_b=b-a(H_b/gT^2)$ (Weggel, 1972),

dove H_b = altezza dell'onda alla frangenza, g = accelerazione di gravità, T = periodo dell'onda con tempo di ritorno annuale, a e b = parametri empirici determinati in funzione della pendenza della spiaggia. I dati batimetrici utilizzati per tale analisi sono stati ricavati da indagini di campo, effettuate con strumentazione singlebeam durante il progetto Gionha (EU programme Interreg IV Marittimo), e riportate su cartografia in formato digitale con scala 1:5.000 con fondali e isobate ogni metro (Ferrari et al., 2011). Successivamente la geometria del limite di breaking è stata georiferita mediante analisi geostatica.

II. Definizione dei limiti superiore e inferiore della prateria di *P. oceanica* mediante l'utilizzo di cartografie bionomiche di dettaglio (scala 1:10.000) in formato digitale (Diviaco e Coppo, 2006).

III. Definizione dello stato morfodinamico della spiaggia mediante l'applicazione dell'indice di surf scaling (ϵ). È stata applicata la seguente formula: $\epsilon = aw^2/g \tan^2 \beta$, dove a : ampiezza dell'onda, corrisponde a $H_b/2$, w : energia radiante dell'onda incidente o pulsazione, espressa come $2\pi/T$, g : accelerazione di gravità, β : pendenza della spiaggia nella surf-zone (Dean e Dalrymple, 2004). Tale indice ha permesso la determinazione dei parametri K_{min} e K_{max} (Vacchi et al., 2012). Infine il valore di L_0 utilizzato per la definizione del parametro Z_c (Vacchi et al., 2010) è stato calcolato con la nota formula $L_0 = 1.56T^2$, dove L_0 corrisponde alla lunghezza dell'onda al largo e T al periodo dell'onda con tempo di ritorno annuale.

Mediante un'analisi geospaziale, le tre componenti sono state organizzate in layer tematici, la cui sovrapposizione ha prodotto una cartografia 2D nella quale sono state riportate le condizioni di riferimento del posidonieto oggetto di studio: il confronto delle condizioni di riferimento della prateria con la sua estensione e geometria attuale ha permesso di quantificare la regressione in metri lineari dei limiti superiore e inferiore.

Tabella 1. Framework concettuale dell'analisi dei dati

INPUT	OUTPUT
Dati ondametrici e batimetrie	Geometria del limite di breaking
Cartografia bionomica	Limite superiore e inferiore della prateria di <i>P. oceanica</i>
Parametri idrodinamici	Condizioni di riferimento
	= Cartografia 2D finale

Risultati

Lo studio ha evidenziato che nel litorale di Ospedaletti il limite di breaking si sviluppa alla profondità di -6m, mentre in prossimità di Capo Nero, in corrispondenza del fondale roccioso, la profondità di breaking è localizzata maggiormente verso la linea di riva in corrispondenza della batimetrica -4m.

Per tale tratto costiero è stato calcolato anche l'indice di surf scaling: esso presenta valori compresi tra 73,3 e 156,8; tuttavia in prossimità di Capo Nero, in corrispondenza del substrato roccioso, esso si riduce notevolmente fino a raggiungere un valore pari a 20,6.

La cartografia finale prodotta è riportata in Figura 3.

Considerando il posidonieto nel tratto occidentale del settore costiero, questo presenta un limite superiore reale compreso tra -12/-14 m. Tuttavia, l'applicazione delle due equazioni predittive, ha evidenziato che il limite teorico si posiziona in un'area compresa tra -9/-11 m. Per tale posidonieto il limite inferiore si trova alla profondità di -17/-25 m, mentre il calcolo di Z_c ha determinato che il limite teorico si posiziona alla profondità di -33 m. Si evince che sia il limite superiore sia quello inferiore sono regrediti, rispettivamente verso mare e verso terra, rispetto alle condizioni di riferimento.

Analizzando il posidonieto nel tratto orientale dell'area oggetto di studio, questo presenta un limite superiore reale compreso tra -7/-15 m mentre in prossimità del substrato roccioso di Capo Nero il limite superiore avanza verso riva fino a raggiungere la profondità di -3 m. L'applicazione delle equazioni predittive K_{min} e K_{max} ha determinato che la posizione del limite superiore teorico si trova alla profondità di -5 m. Per tale posidonieto il limite inferiore si sviluppa alla profondità di -26/-32 m. Il calcolo del parametro idrodinamico Z_c ha permesso di stabilire che il limite inferiore teorico si posiziona alla profondità di -33 m. Si evince che il posidonieto nel tratto orientale dell'area di studio presenta un limite superiore parzialmente arretrato verso il largo, ad accezione del tratto posizionato in prossimità di Capo Nero il cui limite avanza rispetto ai valori determinati dalle equazioni predittive; e un limite inferiore regredito verso costa, seppur tale arretramento è ridotto.

Ospedaletti (IM)

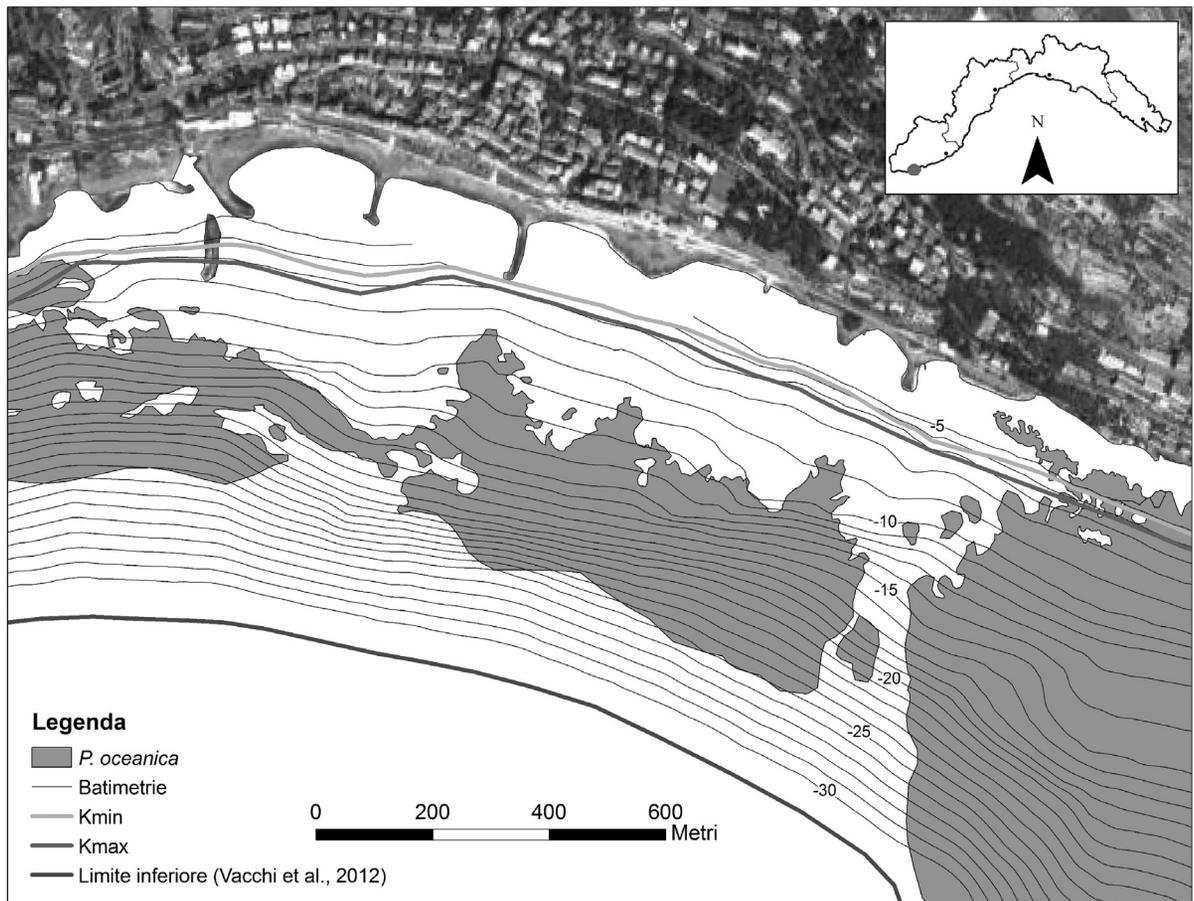


Figura 3. Determinazione teorica del posizionamento del limite superiore, espresso come area compresa tra i parametri Kmin e Kmax, e del limite inferiore della prateria di *P. oceanica* dinanzi al comune di Ospedaletti (IM).

Discussioni e conclusioni

La valutazione dello stato delle praterie di *Posidonia oceanica* è parte dei programmi di monitoraggio richiesti dalla direttiva 2008/56/CE nota come Marine Strategy Framework Directive, la quale obbliga gli Stati Membri al raggiungimento o al mantenimento del “Buono Stato Ambientale” per ogni regione o sottoregione del corpo idrico analizzato entro il 2020.

Il modello predittivo applicato permette di individuare la regione del fondo marino dove i limiti superiore e inferiore della prateria dovrebbero trovarsi in condizioni naturali (o condizioni di riferimento), cioè quelle determinate dai diversi fattori idrodinamici in assenza di significativi impatti antropici.

Dallo studio si evince che il posidonieto nel tratto occidentale è in netta regressione e presenta un limite superiore regredito di circa 90-140 m lineari verso il largo rispetto a quanto determinato dalle condizioni di riferimento. Tale regressione è imputata presumibilmente all'inquinamento generato dall'ex discarica. La presenza di notevoli quantità di sedimento pelitico hanno causato sia danni diretti, ovvero il seppellimento dei rizomi della fanerogama, sia danni indiretti: il materiale fine versato per lungo tempo lungo costa, ha ridotto la penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua, alterando in modo significativo la capacità di fotosintesi di *P. oceanica* (Boudouresque et al., 2012). Inoltre, l'analisi ha evidenziato che il limite inferiore del posidonieto presente sulla costa occidentale è traslato di circa 150-200 m lineari verso riva. Tale regressione è confermata anche dalla morfologia sfrangiata del limite inferiore.

Lo studio ha rilevato che il limite superiore della prateria nel tratto di costa orientale ricade parzialmente

all'interno dell'area buffer determinata dalle due equazioni predittive K_{min} e K_{max} . Tuttavia è presente un notevole arretramento, pari a circa 200-230 m, in prossimità del canale sabbioso che divide le due praterie. Nei pressi di Capo Nero, il limite superiore avanza rispetto alle condizioni di riferimento. Montefalcone et al. (2014) hanno dimostrato che, in presenza di un forte idrodinamismo (tipico in prossimità di fondali rocciosi), *P. oceanica* colonizza solamente litotipi rocciosi con una bassa porosità e con alti valori di resistenza e durezza, i quali sono meno erodibili dall'azione del moto ondoso. Tale tipologia di substrato permette l'attecchimento dei rizomi, in quanto fornisce delle nicchie di ancoraggio. In tali situazioni la fanerogama risente solo parzialmente dell'influenza dell'idrodinamismo ed è in grado di avanzare verso costa oltre il limite di breaking. Il calcolo del parametro idrodinamico Z_c ha determinato che il limite inferiore si presenta in alcuni tratti avanzato verso riva, di circa 30-50 m lineari rispetto al valore teorico.

L'analisi eseguita in questo studio ha evidenziato che la prateria di *P. oceanica* presente nel tratto occidentale è stata maggiormente influenzata dalle alterazioni antropiche, in particolare dai sedimenti prevalentemente di natura pelitica provenienti dalla ex discarica, i quali hanno causato sia danni diretti sia danni indiretti alla fanerogama. Considerando l'estensione attuale delle praterie e relazionandola con i metri lineari di posidonieto perso, è possibile stimare che la prateria presente nel lato occidentale dell'area studio ha subito una perdita di circa 50,6 ettari rispetto a quanto determinato dalle condizioni di riferimento, mentre il posidonieto presente a oriente ha subito una riduzione di 11,5 ettari. L'applicazione delle equazioni predittive ha permesso di stimare quanta superficie di prateria è andata persa. Tale aspetto risulta fondamentale per un miglioramento dell'analisi gestionale in quanto, dalla stima degli ettari perduti in un posidonieto, come conseguenza dell'arretramento dei suoi limiti superiori e inferiori, è possibile intervenire puntualmente in tali aree al fine di limitare ulteriori impatti antropici e favorire così la ricolonizzazione di *P. oceanica*.

Vista la notevole importanza di tale applicazione, al fine di rendere la determinazione delle condizioni di riferimento maggiormente fruibile per diversi enti operanti sul territorio, è necessario continuare la ricerca in tale ambito, applicando tale modello in altre aree studio non solo a scala regionale ma anche a scala mediterranea.

Bibliografia

- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruittons S., Tunesi L. (2012) - *Protection and conservation of Posidonia oceanica meadows*. RAC/SPA & RAMOGE pub., 202 pp.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M. (2009) - Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Bot. Mar.*, 52, 395-418.
- Dean R.G., Dalrymple R.A. (2004) - *Coastal processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Diviacco G., Coppo S. (2007) - *Atlante degli habitat marini della Liguria: descrizione e cartografia delle praterie di Posidonia oceanica e dei principali popolamenti marini costieri*. Genova: Regione Liguria, 205 pp.
- EC (2008) - Council Directive 08/56/EC on establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Communities*, No L 164/19 on 17 June 2008.
- EEC (1992) - Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of the European Communities*, No L 206 del 22 luglio 1992.
- Fierro G., Berriolo G., Ferrari M. (2010) - *Le spiagge della Liguria occidentale: analisi evolutiva*. Genova: Regione Liguria - Dipartimento Pianificazione Territoriale, Università degli Studi di Genova - Dip. Te. Ris., 174 pp.
- Ferrari M., Montefalcone M., Schiaffino C. F., Vacchi M., Demergasso A., Albertelli G. (2011) - Progetto Giohna: modello previsionale sulla variazione del limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica* in funzione dell'idrodinamismo costiero. *Relazione di sintesi del progetto*. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università degli studi di Genova, 231 pp.
- Giovannetti E., Lasagna R., Montefalcone M., Bianchi C.N., Albertelli G., Morri C. (2008) - Inconsistent responses to substratum nature in *Posidonia oceanica* meadows: an integration through complexity levels? *Chem. Ecol.*, 24(1), 145-153.

- Guza R.T., Inman D.L. (1975) - Edge waves and beach cusps. *J. Geophys. Res.*, 80, 2997-3012.
- La Loggia G., Calvo S., Circolo G., Mazzola A., Pirrotta M., Sara G., Tomasello A., Virzini S. (2004) - Influence of hydrodynamic conditions on the production and fate of *Posidonia oceanica* in a semi-enclosed shallow basin (Stagnone di Marsala, Western Sicily). *Chem. Ecol.*, 20, 183-201.
- Montefalcone M. (2007) - Relazione finale per l'anno zero del piano di monitoraggio della prateria di *P. oceanica* presente sui fondali dell'area di progettazione del Parco e Marina di Baiaverde, Ospedaletti (IM). Monitoraggio di 6 anni della prateria di *Posidonia oceanica* (SIC IT 1316274) presente sui fondali di Sanremo-Arziglia, in relazione alla realizzazione del progetto Parco e Marina di Baia Verde ad Ospedaletti (Imperia). Relazione depositata nel Comune di Ospedaletti, 98 pp.
- Montefalcone M., Parravicini V., Vacchi M., Albertelli G., Ferrari M., Morri C., Bianchi C.N. (2010) - Human influence on seagrass habitat fragmentation in NW Mediterranean Sea. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 86, 292-298.
- Montefalcone M., Vacchi M., Schiaffino C. F., Morri C., Carbone C., Cabella R., Elter F. M., Bianchi C.N., Ferrari M. (2014) - Meadow development of the seagrass *Posidonia oceanica* on the rocky seabed: a preliminary study in the Ligurian Sea. EGU General Assembly 2014, 27 April - 2 May 2014, Vienna, Austria.
- Occhipinti-Ambrogi A. (2007) - Global change and marine communities: alien species and climate change. *Mar. Poll. Bull.*, 55, 342-352.
- Relini G. (2000) - Nuovi contributi per la conservazione della biodiversità marina in Mediterraneo. *Biol. Mar. Medit.*, 7(3), 173-211.
- Smith M.J. (2003) - Surf zone hydrodynamics. In: Demirbilek Z. (Ed.), *Coastal Engineering Manual, part II, Coastal hydrodynamics chapter II-4, Engineer manual 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Vacchi M., Montefalcone M., Bianchi C. N., Morri C., Ferrari M. (2010) - The influence of coastal dynamics on the upper limit of the *Posidonia oceanica* meadow. *Mar. Ecol.*, 31, 546-554.
- Vacchi M., Montefalcone M., Bianchi C. N., Morri C., Ferrari M. (2012) - Hydrodynamic constraints to the seaward development of *Posidonia oceanica* meadows. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 97, 58-65.
- Vacchi M., Montefalcone M., Schiaffino C., Parravicini V., Bianchi C.N., Morri C., Ferrari M. (2013) - Towards a predictive model to assess the natural position of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow upper limit. *Mar. Poll. Bull.*, 83(2), 458-466.
- Weggel J.R. (1972) - Maximum breaker height. Journal of waterways, harbors, coastal engineering division. *ASCE*, 98 pp.
- www.cartografiarl.regione.liguria.it