MARITTIMO - IT FR - MARITIME

# GIONHA

GOVERNANCE AND INTEGRATED OBSERVATION OF MARINE NATURAL HABITAT

## Fase 2 - Azione 3

## "Messa a punto, anche attraverso la realizzazione di campagne conoscitive di un modello predittivo del limite superiore dei posidonieti in relazione ai parametri idrodinamici costieri"

*Realizzato per Regione Liguria da*

*Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse – Università degli Studi di Genova*

***Relazione di sintesi su***

***Modello previsionale sulla variazione del limite superiore della prateria di Posidonia oceanica in funzione dell'idrodinamismo costiero***

Programma cofinanziato con il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale

Programme cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO AMBIENTE
Settore Ecosistema Costiero

**Liguria Ricerche S.P.A**.

Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue **Risorse**[1]

***UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA***

# "Modello previsionale sulla variazione del limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica* in funzione dell'idrodinamismo costiero"

# FASE 4 FINALE

A cura di: Marco Ferrari, Monica Montefalcone, Chiara Schiaffino, Matteo Vacchi, Alberto Demergasso, Giancarlo Albertelli

Genova, settembre 2011

## Sommario

Premessa.....3
Materiali e metodi .....4
Selezione dei siti pilota e richiamo dei piani di campionamento realizzati .....4
Campagne morfo-sedimentologiche ed idrodinamiche.....6
Rilevamenti in immersione sulle praterie di *Posidonia oceanica* .....7
Elaborazione dei dati .....9
Risultati .....13
Campagne morfo-sedimentologiche ed idrodinamiche.....13
Rilevamenti in immersione sulle praterie di *Posidonia oceanica* .....13
Relazioni tra gli indici morfodinamici ed il limite superiore delle praterie .....13
Analisi multivariate tra i parametri utilizzati.....16
Elaborazione e validazione del modello predittivo.....17
Conclusioni .....20
Bibliografia.....22

## Premessa

**PROGETTO GIONHA (PROGRAMMA DI COOPERAZIONE TRANSFRONTALIERA ITALIA/FRANCIA "MARITTIMO" 2007-2013)**

**Fase 2: Studio sullo stato ambientale e sulla tendenza evolutiva degli ecosistemi marino costieri caratterizzanti il Santuario dei cetacei**

**2.3 Messa a punto, anche attraverso la realizzazione di campagne conoscitive, di un modello predittivo per l'individuazione del posizionamento del limite superiore naturale delle praterie di *Posidonia oceanica* in relazione ai parametri idrodinamici costieri**

La gestione dei SIC marini e la conservazione delle praterie di *Posidonia oceanica*, fanerogama marina endemica del Mediterraneo, risulta di primaria importanza nell'ambito di una gestione integrata della fascia costiera.

In studi pregressi il DipTeRis ha evidenziato l'esistenza di una correlazione tra le caratteristiche morfodinamiche dei litorali, il limite superiore delle praterie ed il loro stato di conservazione (Vacchi et al., 2010; Lasagna et al., 2011). La correlazione evidenziata da tali ricerche ha suggerito la possibilità di implementare un modello predittivo per la definizione teorica del limite superiore delle praterie in relazione alle caratteristiche morfodinamiche della zona in cui insiste e al clima meteomarino del paraggio.

Tale modello risulterebbe un utile strumento gestionale per poter discernere l'influenza dei fattori antropici e delle condizioni ambientali dei settori litorali sullo sviluppo delle praterie di *P. oceanica*, permettendo inoltre di ottenere informazioni in merito alle aree di fondale in cui una prateria di *P. oceanica* non è in grado di sopravvivere ed aree in cui, invece, le condizioni naturali ne permettono lo sviluppo. Questo aspetto è fondamentale in quanto le praterie di *P. oceanica* sono considerate Habitat Prioritari dalla Direttiva Europea EC 92/43/EEC.

Per Regione Liguria il DipTeRis, nell'ambito del progetto GIONHA, si è proposto di analizzare specifici settori della costa ligure opportunamente selezionati in base alle caratteristiche morfo-dinamiche, sedimentarie e biologiche. Dall'analisi dei dati ottenuti è stato elaborato un modello predittivo per le praterie di *P. oceanica*, atto a determinare la posizione teorica naturale del limite superiore di una prateria in relazione all'idrodinamica costiera ed al regime meteomarino dell'area.

## Materiali e metodi

### Selezione dei siti pilota e richiamo dei piani di campionamento realizzati

I siti pilota considerati all'interno del progetto GIONHA sono stati selezionati in base alle condizioni morfodinamiche caratterizzanti la costa ligure ed in relazione alla presenza di praterie di *Posidonia oceanica*. La selezione dei siti di indagine è stata effettuata durante la Fase 1 del progetto, che è stata ultimata ad aprile 2010.

Tra i siti considerati nel progetto si hanno 11 paraggi costieri (Tabella 1), in ciascuno dei quali sono state individuate 3 aree di indagine. Nel complesso 30 aree sono state utilizzate nella Fase 4 per la creazione del modello mentre 3 aree sono state utilizzate per la fase di validazione come aree test.

Tabella 1. Siti di indagine

| SITO | AREE | STATO MORFODINAMICO |
|---|---|---|
| Spotorno-Noli (SV) | Area 1, 2, 3: modello | Area 1,2: Riflessivo<br>Area 3: Intermedio |
| Alassio (SV) | Area 1, 2, 3: modello | Dissipativo |
| Bussana-Arma di Taggia (IM) | Area 1, 2, 3: modello | Intermedio |
| Monterosso (SP) | Area 2, 3: modello<br>Area 1: test | Riflessivo |
| Ospedaletti (IM) | Area 1, 2, 3: modello | Intermedio |
| Pieve Ligure (GE) | Area 1, 2, 3: modello | Riflessivo |
| Arenzano (GE) | Area 1, 2: modello<br>Area 3: test | Dissipativo |
| Imperia (IM) | Area 1, 3: modello<br>Area 2: test | Intermedio |
| Ceriale (SV) | Area 1, 2, 3: modello | Dissipativo |
| Camogli (GE) | Area 1, 2, 3: modello | Riflessivo |
| Framura (SP) | Area 1, 2, 3: modello | Riflessivo |

In tutti gli 11 siti selezionati il DipTeRis ha realizzato, durante la Fase 2 e la Fase 3 del progetto, rilievi diretti per la caratterizzazione morfodinamica, per la valutazione dello stato delle praterie di *P. oceanica* e per l'acquisizione dei dati utili per lo sviluppo del modello predittivo/previsionale.

In particolare, sono state svolte indagini idrodinamiche, morfo-sedimentarie e rilievi in immersione subacquea al fine di acquisire i dati relativi allo sviluppo delle praterie. Sono state realizzate indagini batimetriche di dettaglio e indagini sedimentologiche. I rilevamenti sulle praterie di *P. oceanica* sono stati effettuati in ciascun sito in corrispondenza di tre transetti di profondità posizionati nelle tre aree di indagine (Fig. 1). Ogni transetto ricopre il tratto di fondale compreso tra la linea di costa, il limite superiore della prateria e la zona di fondo dove gli effetti dinamici delle onde non sono più percepibili. Il posizionamento di ciascun transetto si è reso possibile a seguito delle campagne batimetriche che hanno permesso di definire le profondità di ciascuna stazione di campionamento. Tutte le attività di rilevamento sulle praterie di *P. oceanica* sono pertanto state realizzate successivamente alle campagne batimetriche.

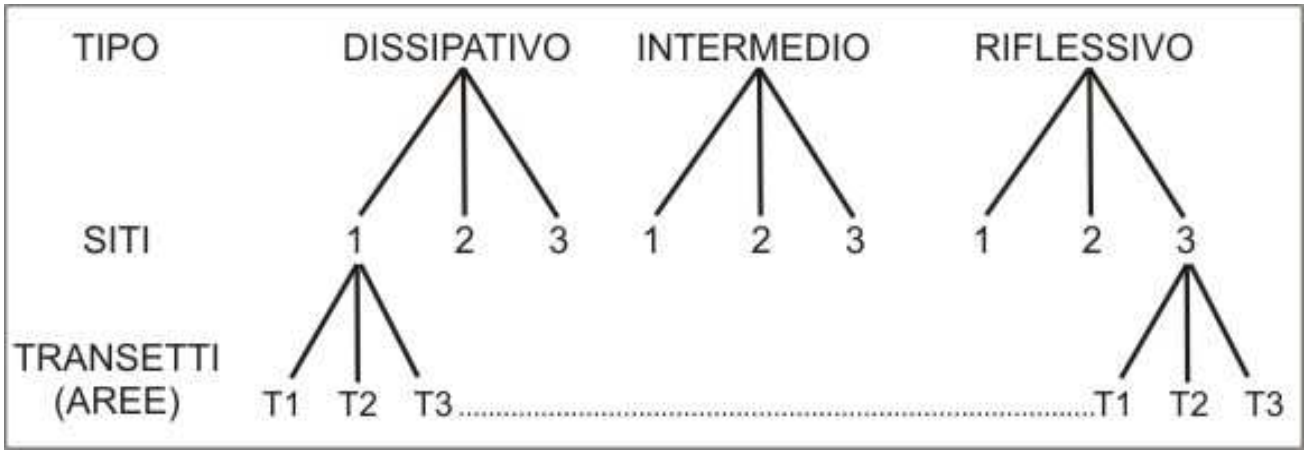


Figura 1: Schema del piano di campionamento realizzato. Dissipativo, Intermedio, Riflessivo indicano lo stato dinamico del tratto di costa in analisi; 1, 2, 3 rappresentano i siti con le praterie di *Posidonia oceanica* indagate dove sono stati condotti un totale di 3 transetti per sito.

## Campagne morfo-sedimentologiche ed idrodinamiche

I rilievi morfologici e sedimentari della spiaggia emersa e sottomarina si sono svolti durante la Fase 2 e la Fase 3 previste dal progetto, dal mese di marzo 2010 al mese di novembre 2010. In tutti i casi, i rilevamenti sono stati realizzati in condizioni di mare calmo (Hs < 50 cm).

Nelle aree dissipative, le indagini nella spiaggia sottomarina si sono realizzate fino ad una profondità massima di 20 m, mentre nelle aree intermedie e riflessive lo studio si è esteso fino ai 30 m di profondità.

Le sezioni di scandagliamento si sono realizzate lungo rotte predefinite, ovvero transetti rettilinei equidistanziati e perpendicolari alla costa; in aggiunta è stato condotto uno scandagliamento lungo una control line compresa tra i 7 ed i 10 m di profondità. L'imbarcazione è stata mantenuta in rotta tramite sistema di posizionamento satellitare dGPS.

Il rilievo della spiaggia emersa ha previsto l'acquisizione tramite dGPS della linea di riva.

Dall'elaborazione dei dati acquisiti e dalla loro successiva integrazione con i dati meteo marini dei paraggi considerati, sono stati calcolati gli indici idrodinamici "Profondità di Frangenza" e "Profondità di Chiusura". Tali indici sono stati in seguito utilizzati per la localizzazione delle stazioni di campionamento dei sedimenti della spiaggia emersa e sottomarina e per i rilevamenti sulle praterie di *P. oceanica*.

In questo studio sono stati prelevati campioni ogni 150 o 300 m, a seconda dell'estensione dell'area, lungo 6 stazioni così posizionate:

1. Battigia
2. Battigia-frangenza
3. Frangenza
4. Frangenza-profondità di chiusura
5. Profondità di chiusura
6. Profondità di chiusura-largo

La navigazione verso le stazioni di campionamento e la loro localizzazione è stata realizzata con sistema di radio-posizionamento satellitare dGPS ed ecoscandaglio Odom Hydrotrack. La raccolta dei campioni di fondo è stata realizzata con benna Van Veen.

Gli operatori scientifici che hanno realizzato le attività di campo sono:

Dott.ssa Geol. C*hiara Francesca Schiaffino*
Assegnista di ricerca del DipTeRis
Università di Genova

Sig. *Alberto Demergasso*
Tecnico di laboratorio del DipTeRis
Università di Genova

## Rilevamenti in immersione sulle praterie di *Posidonia oceanica*

A seguito dei dati raccolti durante le campagne morfo-sedimentologiche ed idrodinamiche negli 11 siti pilota è stato possibile programmare il posizionamento dei 3 transetti di profondità in corrispondenza delle 3 aree di indagine individuate in ciascun sito, lungo i quali sono stati condotti i rilevamenti in immersione subacquea. Il posizionamento e la lunghezza dei transetti sono stati infatti definiti dopo un accurato studio delle caratteristiche idrodinamiche e meteomarine dell'area in esame e, in particolare, dopo la definizione delle profondità di frangenza e di chiusura per ciascuna area di indagine.

Tutte le attività di rilevamento in immersione per lo studio delle praterie di *Posidonia oceanica* hanno avuto luogo durante la Fase 2 e la Fase 3 del progetto, da aprile a novembre 2010. I rilevamenti subacquei sono stati effettuati esclusivamente da operatori scientifici subacquei qualificati utilizzando come normativa di riferimento per l'immersione scientifica il codice di pratica dell'Unesco (Scientific Diving: a general code of practice, edizione del 1996 e aggiornamenti successivi) e adottando gli standard previsti dalla Comunità Europea (ESD, European Scientific Diver, e AESD, Advanced European Scientific Diver, MAST CT 96-6351, Maggio 1997) (http://www.aioss.info/).

Gli operatori scientifici subacquei partecipanti alle attività di campo sono stati:

| **NOME** | **BREVETTO** |
|---|---|
| Dott.ssa *Monica Montefalcone*<br>assegnista di ricerca del DipTeRis<br>Università di Genova | PADI Divemaster<br>TDI decompression techniques |

| | |
|---|---|
| Sig. *Nicolas Mannarino-Fernandez*<br>laureando Erasmus<br>Università di Cadice (Spagna) | PADI Open Water Diver |
| Dott. *Valeriano Parravicini*<br>dottorando di ricerca del DipTeRis<br>Università di Genova | PADI Instructor<br>TDI decompression techniques |
| Dott. *Matteo Vacchi*<br>dottorando di ricerca del DipTeRis<br>Università di Genova | PADI Advanced Water Diver<br>TDI decompression techniques |
| Dott.ssa *Giulia Gatti*<br>collaboratrice esterna<br>Università di Genova | PADI Open Water Diver |
| Dott. *Carlo Bertora*<br>collaboratore esterno<br>Università di Genova | PADI Advanced Water Diver |

Gli operatori scientifici sono sempre stati accompagnati in immersione dal personale di diving locali, che hanno curato gli aspetti legati alla sicurezza e all'appoggio logistico sull'imbarcazione.

Le coordinate di entrata previste per ciascuna immersione sono state importate in un ricevitore GPS da software GIS (ArcGis 9.2). Tramite la funzione "GoTo" del ricevitore è stato possibile guidare l'imbarcazione sui punti di immersione previsti. Le coordinate di inizio di ciascun transetto (di seguito denominata "entrata") e di fine del transetto (di seguito denominata "uscita") sono state comunque sempre registrate e verificate in situ tramite GPS e successivamente importate nel sistema di informazione geografica ArcGis.

Ciascun transetto, percorso in immersione subacquea con autorespiratore da due o tre ricercatori contemporaneamente, è stato posizionato perpendicolarmente alla linea di riva partendo dalla battigia fino ad una profondità di circa 10-15 m. Lungo ciascun transetto, sono state individuate le 6 stazioni di campionamento come già precedentemente descritto:

1: in corrispondenza della linea di riva

2: tra la linea di riva e la profondità di frangenza

3: in corrispondenza del limite superiore della prateria

4: ad una profondità compresa tra la frangenza e la chiusura

5: in corrispondenza della profondità di chiusura

6: oltre la profondità di chiusura

In ogni stazione sono stati effettuati i seguenti rilevamenti e misure:

- descrizione della tipologia e dello stato del limite superiore della prateria
- valutazione della percentuale di ricoprimento del fondo con *P. oceanica* viva, con matte morta e con le specie sostitutrici (i.e. *Cymodocea nodosa* e le alghe verdi del genere *Caulerpa*, se presenti) mediante 2 repliche di stime visive da parte dei ricercatori subacquei su di una superficie di fondo pari a circa 25 $m^2$ (Montefalcone, 2009)
- misura della densità dei fasci fogliari di *P. oceanica*, mediante conteggio diretto tramite una cornice quadrata di lato 20 cm x 20 cm in 5 repliche di misura
- valutazione della presenza/assenza di ripple marks e misura della distanza delle creste
- rilevamenti fotografici in corrispondenza di ciascuna stazione e in continuo lungo il transetto.

## Elaborazione dei dati

Dai dati morfologici relativi alla spiaggia emersa e sottomarina si sono redatte le carte batimetriche di dettaglio.

Le analisi tessiturali dei campioni di sedimento sono state eseguite con la metodologia prevista dalla norma UNI EN 933-1 mediante setacciatura a secco, adottando la scala Wenworth ½ φ.

I dati granulometrici sono stati utilizzati per il calcolo degli indici sedimentologici Media, Mediana, Deviazione Standard ed Asimmetria, valori successivamente riportati in carte di distribuzione dei sedimenti.

Con tutti i dati acquisiti morfologici, idrodinamici e sedimentologici sono stati calcolati gli indici morfodinamici di interesse caratterizzanti gli 11 siti pilota. In particolare sono stati

calcolati il parametro di Surf Scaling, il Surf Similarity e l'Indice di Dean. Per il calcolo di tali indici sono stati considerati i dati meteo marini e morfologici riportati in tabella 2.

Tabella 2. Parametri meteo marini e morfologici degli 11 siti analizzati; $H_0$ = altezza dell'onda al largo, $L_0$ = lunghezza dell'onda al largo, $T_0$ = periodo dell'onda al largo (tempo di ritorno 1 anno)

| SITO | AREA | DIREZIONE ONDE (°N) | $H_0$ (m) | $T_0$ (sec) | PENDENZA (tanβ) |
|---|---|---|---|---|---|
| Spotorno-Noli (SV) | 1 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,099800 |
| | 2 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,413223 |
| | 3 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,116279 |
| Alassio (SV) | 1 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,029586 |
| | 2 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,026596 |
| | 3 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,025641 |
| Bussana-Arma di Taggia (IM) | 1 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,058824 |
| | 2 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,050368 |
| | 3 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,043029 |
| Monterosso (SP) | 1 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,105263 |
| | 2 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,182482 |
| | 3 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,094697 |
| Ospedaletti (IM) | 1 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,039683 |
| | 2 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,046685 |
| | 3 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,048450 |
| Pieve Ligure (GE) | 1 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,086207 |
| | 2 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,116279 |
| | 3 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,277778 |
| Arenzano (GE) | 1 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,041322 |
| | 2 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,061576 |
| | 3 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,057737 |
| Imperia (IM) | 1 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,037879 |
| | 2 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,037594 |
| | 3 | 225 | 4,0 | 7,5 | 0,055866 |
| Ceriale (SV) | 1 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,019716 |
| | 2 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,021115 |
| | 3 | 135 | 2,6 | 5,8 | 0,023719 |
| Camogli (GE) | 1 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,057471 |
| | 2 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,062972 |
| | 3 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,071326 |
| Framura (SP) | 1 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,056497 |
| | 2 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,079872 |
| | 3 | 225 | 4,2 | 7,8 | 0,054348 |

I dati di densità dei fasci fogliari registrati in immersione in corrispondenza delle stazioni 3, 4, 5 e 6 in ciascuno dei tre transetti realizzati per sito sono stati successivamente riportati al $m^2$ e ne è stato calcolato il valore medio. Sono stati costruiti dei grafici mostranti

l'andamento dei valori di densità media nei tre transetti e nelle quattro stazioni. Similmente sono stati costruiti dei grafici per evidenziare l'andamento dei valori di ricoprimento del fondo con *Posidonia oceanica* viva lungo i tre transetti e nelle stazioni di campionamento.

I dati derivati dalle analisi morfodinamiche, dalle campagne sedimentologiche e batimetriche e dai rilievi diretti in immersione sono stati successivamente processati attraverso due distinte analisi statistiche. Per ogni area (transetto), la distanza del limite superiore dalla linea di riva e la profondità del limite superiore sono state correlate tramite regressioni lineari con i diversi indici morfodinamici (Surf Scaling, Surf Similarity, Indice di Dean) per un numero totale di 30 casi. Mediante un'analisi multivariata sono state analizzate le variabili caratterizzanti i settori della spiaggia sottomarina. E' stata utilizzata l'analisi multivariata per estrarre, a partire da parametri caratterizzanti predefiniti (media, varianza, coefficienti di correlazione, fattori), correlazioni sussistenti tra le variabili osservate. Per questo studio è stata usata in particolare l'analisi dei fattori (factor analysis, PCA extraction method), in quanto era indispensabile interpretare grandi quantità di dati di natura multidimensionale. L'analisi fattoriale, eseguita utilizzando il software Minitab 15®, si è strutturata su 4 gruppi di variabili che descrivono i diversi parametri geologico-ambientali del fondo marino e su un numero totale di 162 casi (5 stazioni x 3 transetti x 11 siti, escluse le tre aree test). In particolare sono state analizzate tre variabili sedimentologiche (D50, skewness, % sedimento fine ≤ 0,026), due topografiche (distanza verticale della stazione dal limite di breaking e dalla profondità di chiusura), tre variabili legate ai parametri strutturali della prateria (densità, % copertura e % matte morta) ed una variabile legata allo stato morfodinamico (Surf Scaling) (Tabella 3).

Tabella 3. Dettagli di acquisizione delle diverse variabili utilizzate nella costruzione dell'analisi multivariata

| **Variabile** | **Tipologia** | **Unità di misura** | **Tipo di acquisizione** |
|---|---|---|---|
| Distanza breaking | Topografica | m | Carte batimetriche, parametri ondametrici |
| Distanza chiusura | Topografica | m | Carte batimetriche, parametri ondametrici |
| Copertura | Posidonia | % | Rilievo diretto |
| Matte morta | Posidonia | % | Rilievo diretto |
| Densità | Posidonia | fasci fogliari $m^{-2}$ | Rilievo diretto |
| Surf Scaling | Morfondinamica | indice numerico | Carte batimetriche, parametri ondametrici |
| Sedimento fine | Sedimentologica | % | Rilievo diretto |
| Skewness | Sedimentologica | indice numerico | Rilievo diretto |
| D50 | Sedimentologica | φ | Rilievo diretto |

L'analisi fattoriale estrae quindi alcuni fattori (factor scores) che, essendo una combinazione lineare di variabili, spiegano a loro volta la varianza osservata nei dati generali. Ogni fattore spiega una porzione della varianza totale, espressa in percentuale, riferita alla matrice iniziale. Il software fornisce il numero dei valori estratti, la corrispondente percentuale di varianza spiegata da ogni singolo fattore e la massima percentuale di varianza spiegata dai fattori estratti. Quando la varianza spiegata totale risulta maggiore del 70% significa che le variabili utilizzate aderiscono bene al modello creato. Per quanto riguarda il valore di ciascuna variabile per ogni fattore, numeri maggiori di 0,7 indicano che la variabile è influente sul fattore corrispondente ed indica quanto essa possa aderire al modello.

# Risultati

## Campagne morfo-sedimentologiche ed idrodinamiche

Tutti i risultati relativi alle campagne morfo-sedimentologiche ed idrodinamiche sono riportati nelle relazioni intermedie consegnate al termine della Fase 2 (giugno 2010) e della Fase 3 (Novembre 2010).

## Rilevamenti in immersione sulle praterie di *Posidonia oceanica*

Tutti i risultati relativi ai rilevamenti sulle praterie di *P. oceanica* sono riportati nelle relazioni intermedie consegnate al termine della Fase 2 (giugno 2010) e della Fase 3 (Novembre 2010).

## Relazioni tra gli indici morfodinamici ed il limite superiore delle praterie

Le distanze del limite superiore della prateria dalla linea di riva negli 11 siti pilota (30 aree di indagine) hanno evidenziato significative differenze al variare dello stato morfodinamico della spiaggia (Fig. 2). In particolare, all'aumentare dello stato dissipativo corrisponde un allontanamento della prateria dalla linea di riva.

Le regressioni effettuate tra le distanze di limiti superiori e i diversi indici idrodinamici hanno restituito risultati discordanti. Sia il parametro di Surf Scaling sia il parametro di Surf Similarity mostrano una importante correlazione con le distanze del limite superiore dalla linea di riva ($r^2$ rispettivamente di 0,98 e 0,83) (Fig. 3 e 4); la correlazione tra il parametro Indice di Dean e la distanza del limite superiore, al contrario, risulta estremamente bassa con $r^2 = 0,003$ (Fig. 5).

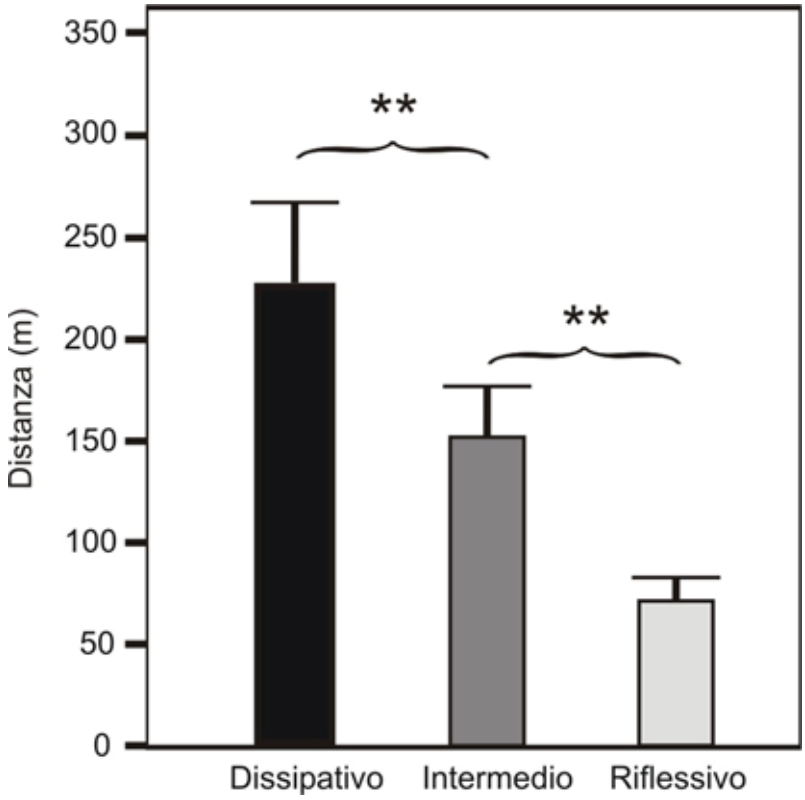


Figura 2: Relazione tra lo stato morfodinamico della spiaggia e la distanza del limite superiore della prateria dalla linea di riva negli 11 siti pilota. ** = $p < 0{,}01$.

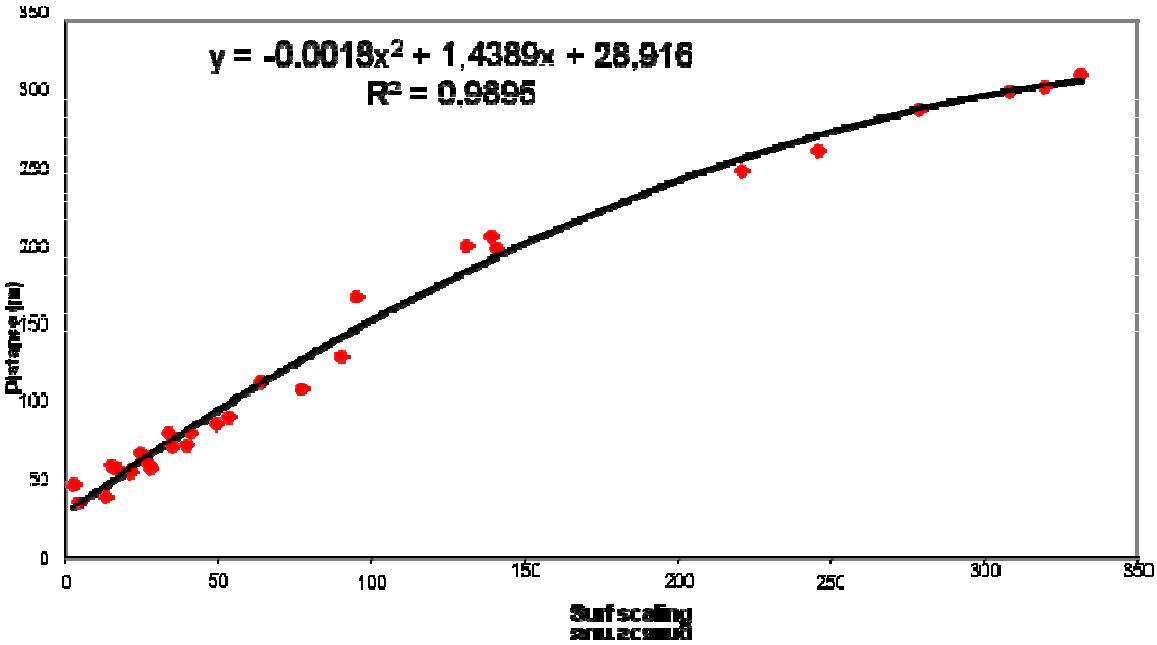


Figura 3: Regressione lineare tra il parametro di Surf Scaling e la distanza orizzontale del limite superiore dalla linea di riva.

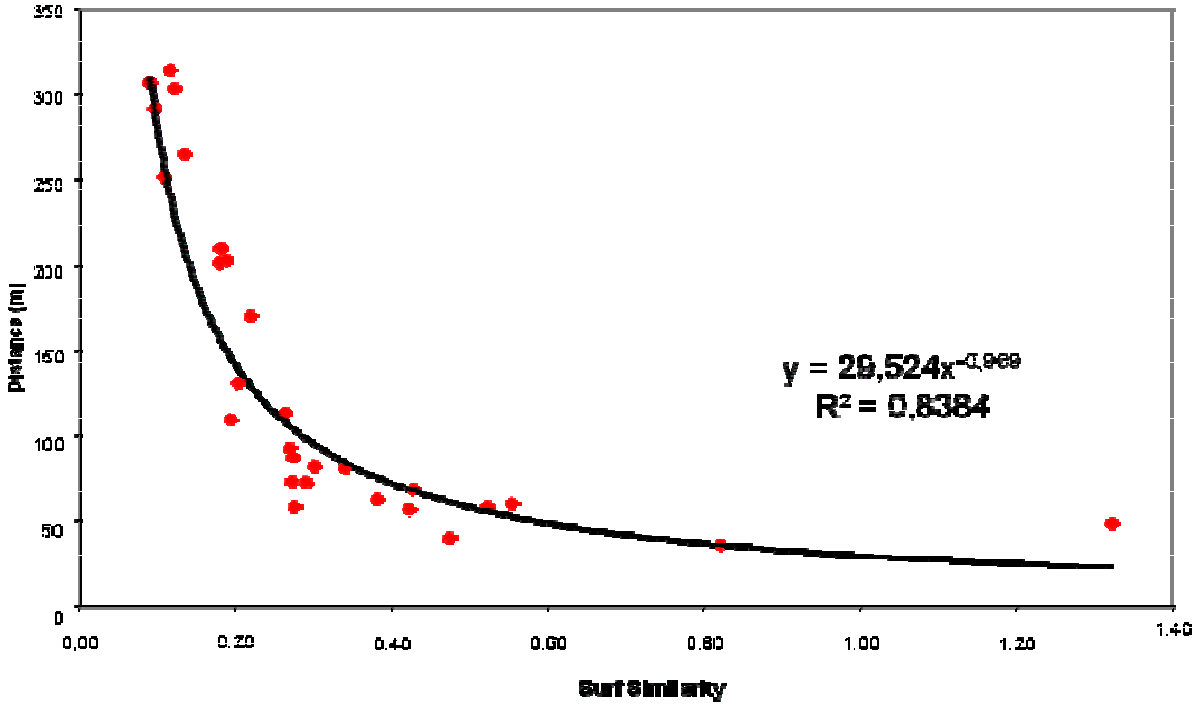


Figura 4: Regressione lineare tra il parametro di Surf Similarity e la distanza orizzontale del limite superiore dalla linea di riva.

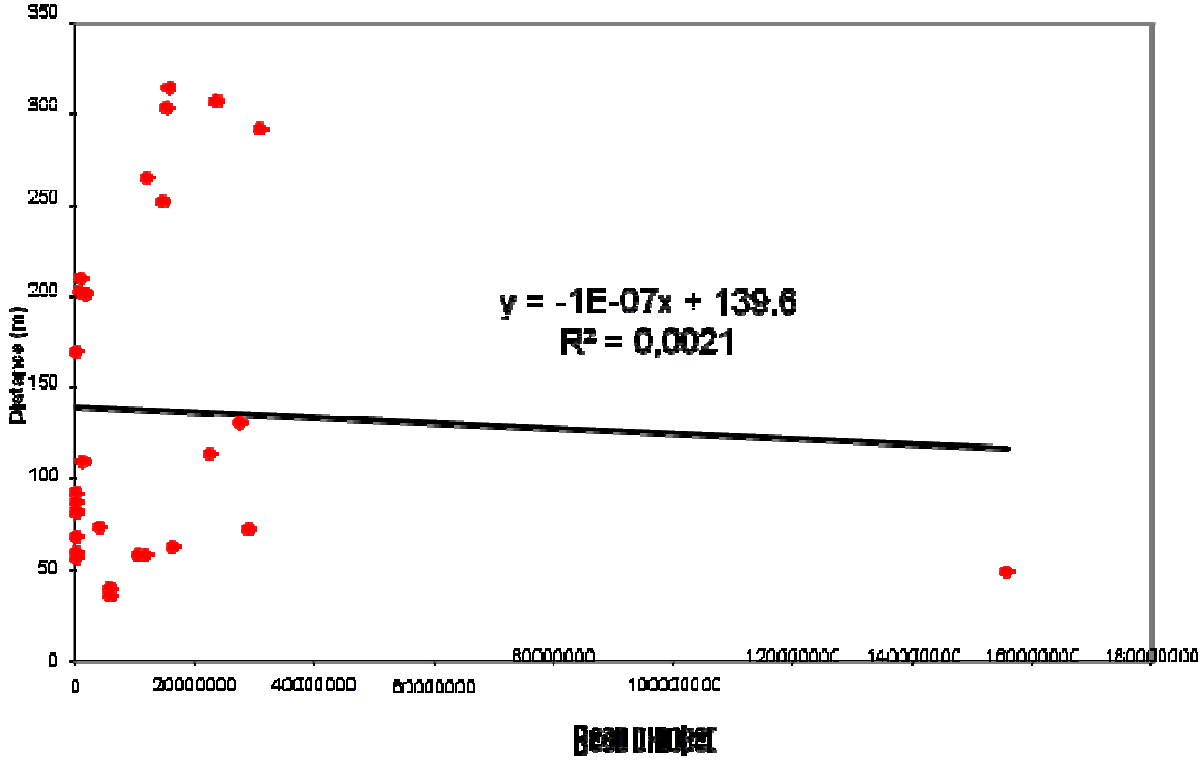


Figura 5: Regressione lineare tra il parametro Indice di Dean e la distanza orizzontale del limite superiore dalla linea di riva.

## Analisi multivariata

L'analisi dei fattori (PCA extraction) ha estratto 3 fattori spieganti il 62% della varianza totale (Tabella 4). Il fattore 1 spiega la percentuale maggiore di varianza (35%) ed è controllato dai parametri topografici e dai parametri di copertura e di densità della prateria. Il fattore 2, spiegante il 20% della varianza totale, è controllato dai parametri sedimentologici di skewness e dal D50, mentre minime percentuali rimanenti di varianza (13%) sono spiegate dal fattore 3 che non mostra evidenze di correlazioni interne tra le variabili.

Tabella 4. Factor scores dell'analisi fattoriale spieganti il 62% della varianza totale. Le variabili evidenziate in blu sono quelle topografiche, in marrone quelle sedimentologiche, in verde quelle legate alla prateria ed in giallo quelle morfodinamiche (vedi paragrafo "Elaborazione dei dati"). In neretto sono indicati i valori significativi

| Variable | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Communalities |
|---|---|---|---|---|
| Distanza breaking | **0,894** | -0,034 | 0,219 | 0,848 |
| Sedimento fine | 0,039 | -0,122 | **0,827** | 0,700 |
| Surf Scaling | -0,043 | 0,399 | 0,512 | 0,423 |
| Distanza chiusura | **0,878** | -0,014 | 0,258 | 0,838 |
| Copertura | **0,894** | 0,086 | -0,201 | 0,848 |
| Skewness | 0,054 | **0,894** | 0,127 | 0,818 |
| Densità | **0,794** | -0,025 | -0,145 | 0,653 |
| D50 | -0,11 | **-0,822** | -0,292 | 0,772 |
| Matte morta | -0,359 | -0,414 | -0,167 | 0,328 |
| Variance | 3,148 | 1,829 | 1,250 | 6,220 |
| % Variance | 0,350 | 0,203 | 0,139 | 6,227 |

Importanti indicazioni sono state estratte dal grafico dove sono riportati il primo e il secondo fattore spieganti, assieme, più del 50% della varianza totale. L'asse relativo al primo fattore raggruppa infatti le stazioni in tre distinti gruppi. Un primo gruppo racchiude tutte le stazioni posizionate a profondità minori del limite di breaking, un secondo gruppo le stazioni posizionate tra la profondità di breaking e quella di chiusura ed un terzo gruppo le stazioni posizionate al di la della profondità di chiusura (Fig. 6).

I risultati dell'analisi multivariata evidenziano quindi come, ad un progressivo allontanamento della porzione superficiale della prateria dal limite di breaking, corrisponda un aumento dei valori di copertura e, secondariamente, di densità. Queste variazioni sembrano essere condizionate solamente dai parametri topografici (i. e., posizione relativa

della stazione rispetto alla linea di riva); infatti, nessuna relazione con i parametri sedimentologici o morfodinamici è emersa dall'analisi multivariata.

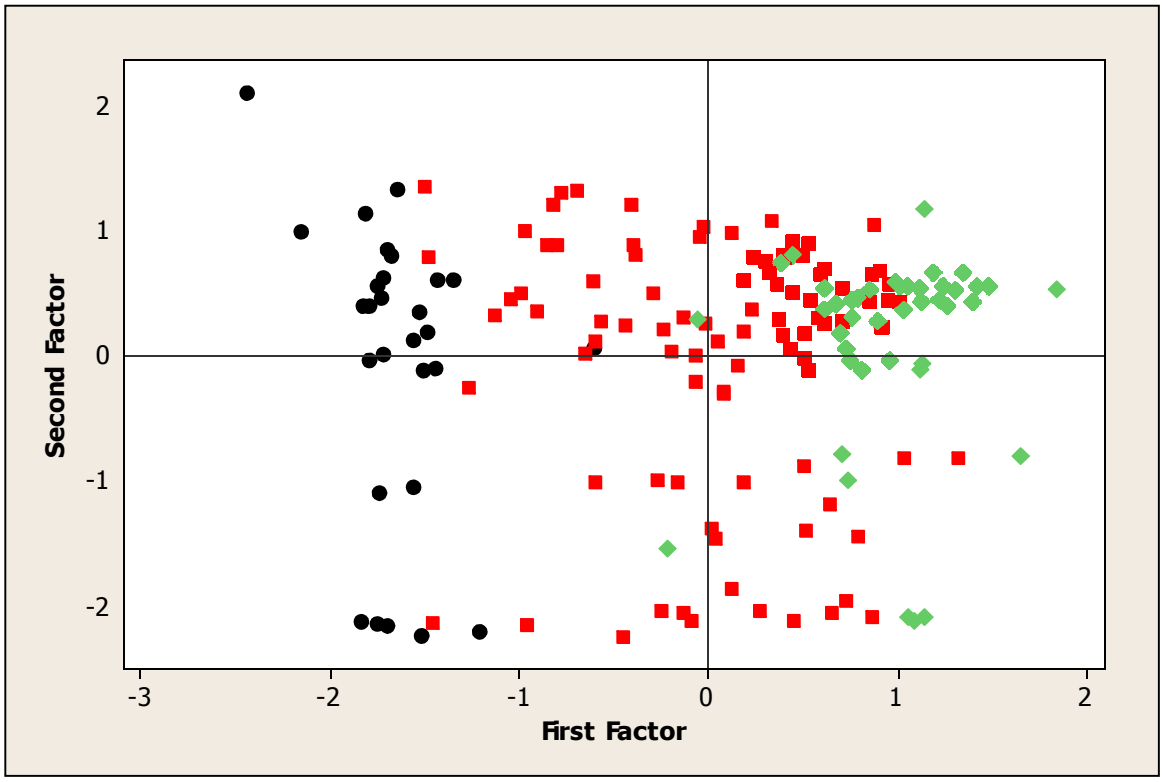


Figura 6: Scoreplot dei primi due fattori della PCA extraction. Le stazioni in nero sono quelle comprese tra la linea di riva ed il limite di breaking, le stazioni in rosso quelle comprese tra il limite di breaking e la profondità di chiusura mentre le stazioni in verde sono posizionate oltre la profondità di chiusura.

## Elaborazione e validazione del modello predittivo

Dai dati relativi alle correlazioni tra i parametri morfodinamici e le distanze del limite superiore di *P. oceanica* e quelli ottenuti tramite l'applicazione dell'analisi multivariata nelle 30 aree test, è stata selezionata come relazione caratterizzante predittiva della distanza teorica tra il limite superiore delle praterie e la linea di riva la seguente equazione:

$$y = -0.0018x^2+1.4389x+28.916$$

Per rendere l'equazione facilmente applicabile sia in studi inerenti gli effetti dell'antropizzazione costiera sugli habitat marini, sia in fase progettuale prima della realizzazione di interventi lungo la costa, è stato implementato un software in base Matlab ® (Fig. 7)

Per l'utilizzo del software è necessario conoscere le caratteristiche meteo marine del sito di interesse (in particolare i parametri $H_0$, $T_0$ e la direzione delle onde) e la pendenza della spiaggia. Inserendo questi dati negli appositi spazi l'utente, in via del tutto automatica, otterrà il parametro di Surf Scaling relativo e la distanza teorica del limite superiore della prateria di *P. oceanica* dalla linea di riva.

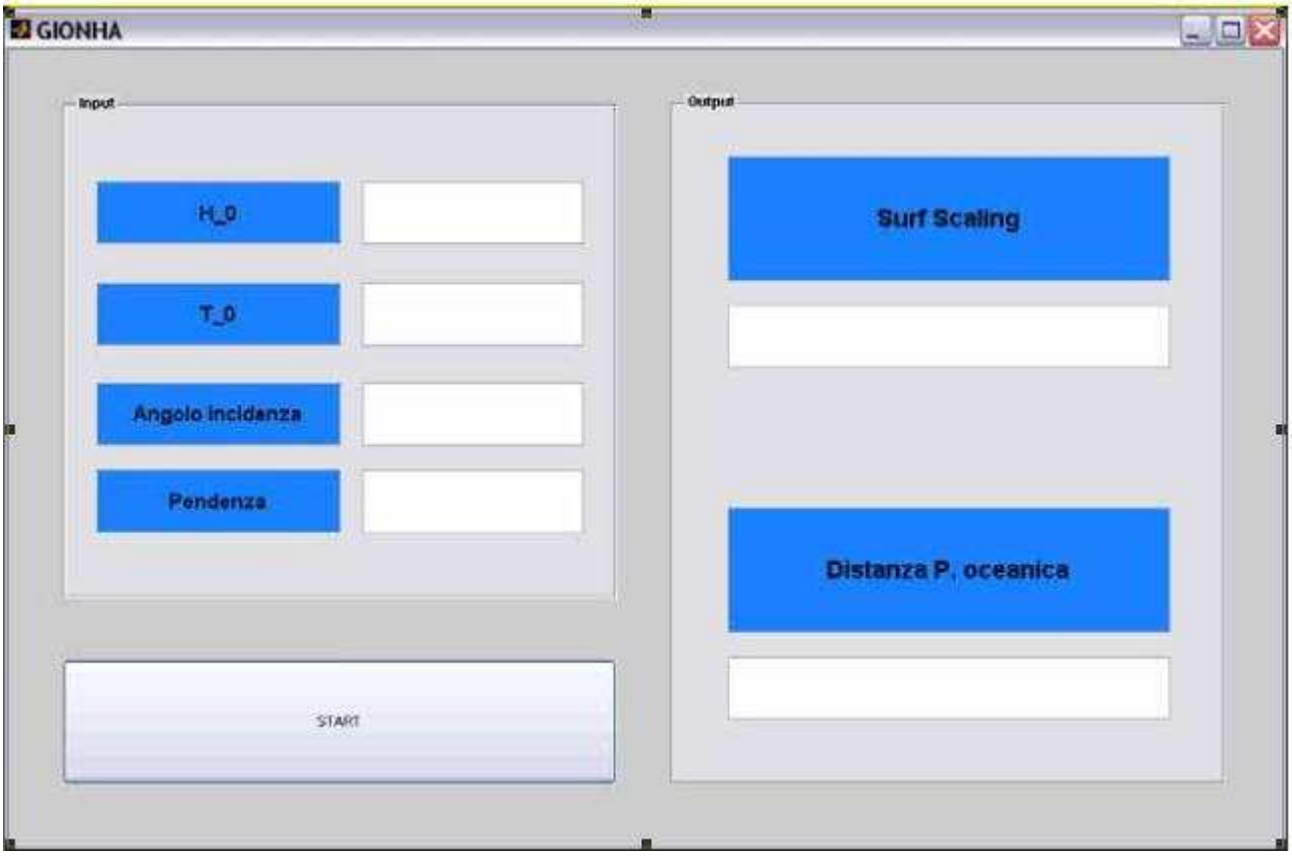


Figura 7: Interfaccia grafica del software sviluppato per il calcolo teorico della posizione del limite superiore delle praterie di *P. oceanica*.

Il modello predittivo è stato successivamente validato sulle tre aree di test previste fin dalla fase iniziale del progetto, ovvero l'area 2 di Imperia, l'area 3 di Arenzano e l'area 1 di Monterosso. I risultati della comparazione tra la distanza teorica esistente, calcolata per

mezzo del modello, tra il limite superiore della prateria e la linea di riva con la distanza reale rilevata in campo sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5. Comparazione tra la distanza teorica esistente, calcolata per mezzo del modello, tra il limite superiore della prateria e la linea di riva con la distanza reale rilevata in campo

| Area | Stato morfodinamico | Distanza reale (m) | Distanza calcolata (m) | Errore (m) |
|---|---|---|---|---|
| Imperia 2 | Intermedio | 201.5 | 195.8 | 5.7 |
| Arenzano 3 | Dissipativo | 73.0 | 83.0 | 10.0 |
| Monterosso 1 | Riflessivo | 40.1 | 47.2 | 7.1 |

## Conclusioni

L'indagine a larga scala effettuata nell'ambito del progetto Gionha su 11 siti opportunamente selezionati lungo l'intero arco della Liguria ha permesso di verificare e validare le osservazioni raccolte in precedenza dal DipTeRis dove era stata ipotizzata l'esistenza di una correlazione tra le caratteristiche morfodinamiche dei litorali, la posizione del limite superiore delle praterie di *Posidonia oceanica* ed il loro stato di conservazione (Vacchi et al., 2010; Lasagna et al., 2011). Il progetto ha inoltre permesso di raccogliere una quantità tale di dati utili per l'elaborazione di un modello predittivo per la definizione della posizione teorica del limite superiore delle praterie in relazione alle caratteristiche morfodinamiche di un determinato tratto costiero in cui insiste e al clima meteomarino del paraggio. Il modello così elaborato, caratterizzato da una semplice formulazione e facilità di applicazione, rappresenta uno strumento gestionale innovativo in quanto permette di discriminare l'influenza dei fattori antropici dalle condizioni ambientali naturali sullo sviluppo delle praterie di *P. oceanica*. L'applicazione del modello in una determinata area permetterà di evidenziare quali siano le aree di fondale in cui una prateria di *P. oceanica* non sia in grado di sopravvivere a causa delle specifiche caratteristiche ambientali presenti (clima meteo-marino), e quali invece siano le aree di fondo dove le condizioni naturali ne permettano lo sviluppo.

La validità del modello proposto, seppure elaborato su ampia scala, resta comunque limitata alla regione della Liguria e, pertanto, necessiterà di future integrazioni ed un numero maggiore di casistiche provenienti da altre aree geografiche del Mediterraneo per potere ottenere una sua formulazione a scala globale. La distanza del limite superiore dalla linea di riva risulta inoltre essere un valido proxy per l'elaborazione del modello sempre considerando la realtà della Liguria; in aree differenti, caratterizzate ad esempio da altezze d'onda maggiori, potrebbe essere maggiormente opportuno utilizzare la distanza del limite superiore dalla profondità di breaking.

Il modello è risultato maggiormente adeguato nel determinare la posizione teorica del limite superiore delle praterie nelle aree caratterizzate da sedimento sciolto come substrato di impianto; praterie impiantate su di un substrato roccioso sembrano invece discostarsi maggiormente da quanto previsto dal modello.

L'elaborazione del modello predittivo utilizzando altezze d'onda cinquantennali ha fornito buone correlazioni comparabili con quelle ottenute con le onde decennali (Tab. 6). Per

quanto riguarda invece i valori di altezza d'onda e periodo annuali i risultati ottenuti non mostrano una adeguata attendibilità (Tab. 7).

Tabella 6. Comparazione tra la distanza teorica e la distanza reale utilizzando valori di altezza d'onda con tempo di ritorno di 50 anni

| Area | Stato morfodinamico | Distanza reale (m) | Distanza calcolata (m) | Errore (m) |
|---|---|---|---|---|
| Imperia 2 | Intermedio | 201.5 | 182.0 | 19.5 |
| Arenzano 3 | Dissipativo | 73.0 | 77.3 | 4.3 |
| Monterosso 1 | Riflessivo | 40.1 | 44.1 | 4.0 |

Tabella 7. Comparazione tra la distanza teorica e la distanza reale utilizzando valori di altezza d'onda con tempo di ritorno di 1 anno

| Area | Stato morfodinamico | Distanza reale (m) | Distanza calcolata (m) | Errore (m) |
|---|---|---|---|---|
| Imperia 2 | Intermedio | 201.5 | 150.1 | 51.4 |
| Arenzano 3 | Dissipativo | 73.0 | 65.4 | 7.6 |
| Monterosso 1 | Riflessivo | 40.1 | 40.3 | 0.2 |

## Bibliografia

Lasagna R., Montefalcone M., Albertelli G., Corradi N., Ferrari M., Morri C., Bianchi C.N. 2011. Much damage for little advantage: field studies and morphodynamic modeling highlight the environmental impact of an apparently minor coastal mismanagement. Estuarine, Coastal and Shelf Science, in press.

Montefalcone M. 2009. Ecosystem health assessment using the seagrass *Posidonia oceanica*: A review. Ecological Indicators 9, 595-604.

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. Marine Ecology 31, 546-554.