



Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina  
DEB – Università degli Studi della Tuscia

**MONITORAGGIO DEL LIMITE INFERIORE  
DI POSIDONIA OCEANICA (L.) DELILE (BALISAGE)  
NELL'AREA DI STUDIO COMPRESA TRA MARINA DI TARQUINIA E SANTA SEVERA  
(Mar Tirreno, Lazio, Italia)  
ANNO 2016**

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2. MATERIALI E METODI</b>	<b>5</b>
<b>3. RISULTATI</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Descrittori fisiografici e strutturali del limite inferiore</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Descrittori funzionali</b>	<b>14</b>
<i>3.2.1 Parametri morfometrici</i>	<b>14</b>
<i>3.2.2 Parametri lepidocronologici</i>	<b>16</b>
<b>3.3 Analisi granulometriche</b>	<b>18</b>
<b>4. DISCUSSIONI CONCLUSIVE</b>	<b>20</b>
<b>5. REPORT FOTOGRAFICO</b>	<b>23</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## 1. INTRODUZIONE

Lo studio delle praterie di *Posidonia oceanica* è di fondamentale importanza in un'area particolarmente antropizzata e oggetto di numerose opere costiere. Il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM-DEB-Università degli Studi della Tuscia) ha strutturato un progetto di ricerca con lo scopo di valutare lo stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo il tratto di costa compreso tra S. Severa e Tarquinia, al fine di analizzare i potenziali effetti delle diverse attività, con particolare attenzione alle ultime attività di dragaggio effettuate per il potenziamento dell'Hub portuale di Civitavecchia.

La presente relazione ha lo scopo di riportare i risultati del monitoraggio del limite inferiore delle 4 praterie, identificate dai precedenti studi come idonee allo scopo, comprese nell'area di studio tra Marina di Tarquinia e Santa Severa (Mar Tirreno, Lazio) (tab. 1).

La caratterizzazione delle praterie è stata effettuata nel periodo maggio-giugno 2013, da parte del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina, mediante l'applicazione integrata di una serie di descrittori indicativi dello stato del posidonieto, seguendo i protocolli standardizzati riportati nelle "Metodologie analitiche di riferimento" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (Cicero e Di Girolamo, 2001) e successive modifiche (Buia et al., 2003) e aggiornamenti presentati nelle schede metodologiche ICRAM-ISPRA.

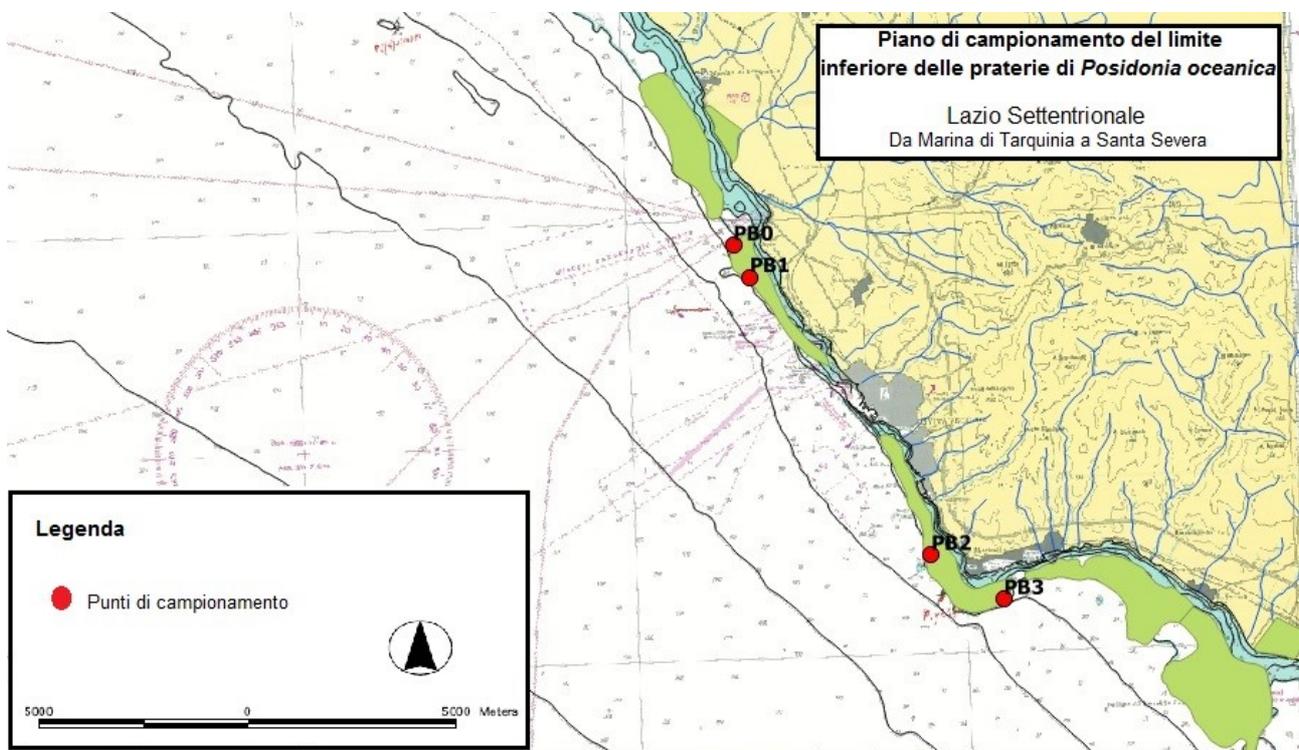
La fase successiva ha previsto il monitoraggio del limite inferiore mediante la tecnica del "balisage", seguendo il protocollo adottato dal Réseau de Surveillance Posidonies en Région Provence-Alpes-Cote d'Azur (Bertrand et al., 1986).

Il limite inferiore di una prateria è il punto in cui essa termina in profondità, zona considerata insieme al limite superiore come più facilmente suscettibile ai cambiamenti ambientali; esso infatti presenta aspetti differenti in funzione dei due principali fattori che governano la distribuzione verticale della prateria: l'intensità della radiazione luminosa e la sedimentazione.

Il rilevamento periodico dei principali descrittori attraverso rilevamenti in immersione subacquea, campionamenti, analisi di laboratorio e successiva elaborazione dei dati raccolti, ha lo scopo di monitorare la dinamica del limite inferiore della prateria, in funzione delle variazioni delle condizioni ambientali nel tempo.

Stazione	Località	Latitudine; Longitudine (WGS84)	Profondità
PB0	Sant'Agostino	42.15789 N; 011.72045 E	~ 20 m
PB1	La Frasca	42.14562 N; 011.72827 E	~ 21m
PB2	Capo Linaro	42.03780N; 011.81564 E	~ 20 m
PB3	Santa Marinella	42.02007 N; 011.85164 E	~ 13 m

**Tab 1.** Località, Coordinate UTM e profondità dei 4 siti individuati per il monitoraggio del limite inferiore delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti nell'area di studio.



**Fig 1.** Carta dei SIC compresi nell'area di studio e localizzazione dei punti di campionamento e analisi

## 2. MATERIALI E METODI

Le attività di rilevamento e campionamento sono state condotte tra giugno e luglio 2016.

Per lo studio dei parametri strutturali della prateria, le analisi fenologiche e lepidocronologiche dei campioni, le analisi granulometriche dei sedimenti, come precedente riportato, ci si è basati sulle metodologie standard di riferimento citate in precedenza.

Ai fini della valutazione della dinamica del limite inferiore, come già specificato, durante il primo anno di indagine, nelle praterie selezionate, sono stati posizionati sul limite profondo 3 picchetti, ad una distanza di 5 m l'uno dall'altro (periodo di posizionamento: Maggio-Giugno 2014 per le stazioni PB1, PB2, PB3 e Febbraio-Marzo 2015 per la stazione PB0).

I picchetti (balises), contrassegnati da numeri progressivi, sono stati posizionati ad una distanza precisa dal limite della prateria e fotografati da tre angolature diverse (per maggiori dettagli sulle singole attività si faccia riferimento alla relazione contenente il resoconto delle attività relative allo studio del limite inferiore consegnata a marzo 2015).

Ciò ha permesso, in questa fase di monitoraggio, di misurarne la differenza, in centimetri, rispetto alla posizione iniziale e valutare quindi la dinamica del limite inferiore: un aumento della distanza dei corpi morti dal limite si traduce in una sua regressione.

Allo scopo di caratterizzare a livello fisiografico e strutturale il limite delle praterie, inoltre, gli operatori subacquei hanno rilevato le seguenti variabili in situ:

1. profondità e tipologia del limite inferiore (erosivo, progressivo, netto o regressivo);
2. continuità della prateria
3. tipo di substrato
4. presenza e caratteristiche della matte;
5. scalzamento dei rizomi (cm) e della prateria (percentuale di rizomi scalzati dal sedimento);
6. rapporto ortotropi/plagiotropi, (percentuale di rizomi ortotropi rispetto ai plagiotropi);
7. densità della prateria (numero di fasci fogliari/m<sup>2</sup>)
8. ricoprimento (percentuale di superficie di fondo marino ricoperta dalla pianta viva);
9. presenza di altre fanerogame e/o di alghe alloctone (% C. nodosa, % C. racemosa)

Il principale descrittore strutturale di una prateria di *P. oceanica* è la sua densità che corrisponde al numero di fasci fogliari presenti sull'unità di superficie ( $n$  fasci / $m^2$ ); poiché il suo valore varia, per ogni prateria, in base alla profondità ed alle condizioni dell'ambiente (luce, substrato) risulta essere un buon parametro nel quadro di indagini a lungo termine sulla vitalità di una prateria, in quanto dipende poco dal periodo della misurazione restando costante nel corso dell'anno (Pergent et al. 1995).

In base alla densità fogliare, la prateria viene classificata nei seguenti stadi vitali (Giraud, 1977):

- Stadio I (più di 700 fasci/ $m^2$ ): sono praterie definite *molto dense*, situate fra 0 e 25 m di profondità su “matte”. Tale densità non si riscontra mai sul limite inferiore.
- Stadio II (da 400 a 700 fasci/ $m^2$ ): sono praterie denominate *dense*, poste fra 0 e 25 m di profondità.
- Stadio III (da 300 a 400 fasci/ $m^2$ ): sono praterie cosiddette *rade*, con tendenza alla regressione oppure in espansione. Questo stadio può essere presente su vari substrati e a tutte le profondità.
- Stadio IV (da 150 a 300 fasci/ $m^2$ ): sono praterie definite *molto rade*, vi appartengono sia praterie in regressione o modificate da fenomeni di erosione, sia praterie in via di colonizzazione del substrato. Possono essere presenti su vari tipi di substrato.
- Stadio V (da 50 a 150 fasci/ $m^2$ ): sono le *semi praterie* situate verso il limite profondo, di solito oltre i 20 m di profondità, poste su sabbie fangose o su fango.

Oltre il V stadio si hanno fasci isolati che non possono essere definiti come prateria, e la cui densità è compresa tra 1 e 50 fasci/ $m^2$ .

Tale classificazione non tiene però conto del fattore profondità e quindi non è molto adatta all'utilizzo della densità come parametro descrittore della qualità dell'ambiente. Un determinato valore di questo parametro ha infatti significati ecologici diversi se rilevato a profondità differenti. La classificazione proposta da Pergent et al. (1995), ottenuta esaminando una notevole mole di dati disponibili in letteratura, tiene conto della profondità e di altre variabili quali torbidità, disturbi antropici, e definisce su questa base 4 categorie: • Densità anormale, che corrisponde a situazioni critiche, in cui la vitalità della prateria è estremamente bassa; • Densità bassa, che corrisponde ad una riduzione della vitalità della prateria e deve costituire un segnale di allarme ai fini di intraprendere azioni di risanamento; • Densità normale, che corrisponde a valori di vitalità soddisfacenti, osservabili quando non esistono segni di pressione antropica; • Densità elevata, che

corrisponde a situazioni particolarmente eccezionali in termini di vitalità della pianta o di estensione batimetrica della prateria.

Per lo studio dei descrittori strutturali, secondo la metodologia di Buia et al. (2003), il rilevamento dei dati è avvenuto mediante misure dirette di densità realizzate in cinque quadrati di 40 cm di lato posizionati casualmente in aree effettivamente occupate dalla prateria in ogni stazione. All'interno di ogni quadrato sono stati contati i fasci presenti. Inoltre, la porzione di substrato ricoperto dalla prateria all'intorno del punto-stazione è stata valutata indipendentemente da due operatori che hanno espresso le loro stime in sedicesimi. Dai dati raccolti sul campo è stato possibile calcolare la densità assoluta, ottenuta come valore medio dei dati rilevati nei singoli quadrati ed espressa in fasci/m<sup>2</sup> (Giraud, 1977); da questa è stata poi calcolata la densità relativa, rapportando i valori di densità assoluta dei fasci fogliari ai valori di ricoprimento percentuale del fondo con P. oceanica, stimati visivamente in corrispondenza di ciascuna stazione. I valori medi di densità assoluta ottenuti in ciascuna delle 10 stazioni sono stati quindi moltiplicati per i valori di ricoprimento del fondo.

I dati di densità sono stati quindi riferiti agli stadi proposti da Giraud (1977) e utilizzando la classificazione proposta da Buia et al. (2003) sulla base dei lavori di Pergent et al. (1995) e Pergent-Martini & Pergent (1996), la prateria è stata classificata tenendo conto della relazione tra valori di densità e profondità come “molto disturbata”, “disturbata” o “in equilibrio”.

### **Analisi fenologica**

Attraverso le analisi dei campioni prelevati, inoltre, sono stati stimati i descrittori funzionali, le caratteristiche morfometriche delle foglie (analisi morfometrica) e dei rizomi, dai quali se ne derivano altri per calcolo (detti appunto derivati), come la superficie fogliare, l'indice di superficie fogliare, l'indice di biomassa fogliare, il Coefficiente A, ecc.

Le indagini fenologiche hanno riguardato le strutture anatomiche visibili della pianta; per ogni prateria, a livello del limite inferiore, sono stati prelevati 6 fasci fogliari ortotropi distanti almeno 50-100 cm l'uno dall'altro, evitando di campionare i fasci dicotomici. Ciascun fascio è stato scomposto nelle singole foglie, rispettando l'ordine distico d'inserzione e separandole nelle seguenti categorie: giovanili (lunghezza minore di 5 cm, senza parte verde e senza ligula); intermedie (lunghezza maggiore di 5 cm, con parte verde e senza ligula); adulte (con ligula). Le misure rilevate per ciascuna foglia sono: larghezza, lunghezza totale, presenza della ligula, lunghezza del tessuto

verde o del lembo, lunghezza del tessuto bruno e del tessuto bianco (ove presenti) e stato dell'apice. Sulla base di questi dati sono stati stimati i seguenti parametri morfometrici: lunghezza e larghezza media delle foglie per fascio (cm); numero medio di foglie per fascio (foglie giovanili escluse) e relativo valore medio per stazione; superficie fogliare media per fascio ( $\text{cm}^2/\text{fascio}$ ); indice di superficie fogliare (LAI) di ciascuna stazione ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ); coefficiente "A", espresso come percentuale di apici erosi sul totale delle foglie intermedie e adulte. Per ogni fascio, infine, è stata calcolata la biomassa secca totale (g), relativa a tutte le foglie rinvenute in ciascun fascio in esame, dopo essiccazione in stufa per 3 giorni a  $70^\circ\text{C}$ .

### **Analisi lepidocronologica**

Sempre tra i descrittori funzionali, figura la produzione, intesa come incremento metrico (lunghezza/anno), ponderale (biomassa/anno) o numerico (numero di foglie/anno) nell'unità di tempo. Tra le tecniche indirette per la stima della produzione, la lepidocronologia è senz'altro la più utilizzata (Pergent 1990; Pergent et al, 1994), in quanto consente di retrodatare la produzione della pianta su larga scala temporale, descrivendo i pattern di crescita. Per la stima della produzione primaria, mediante analisi lepidocronologica, le scaglie dei rizomi sono state distaccate seguendo l'ordine di inserzione; ciò ha permesso di ricostruire, sulla base della variazione ciclica di spessore, la sequenza dei cicli annuali di produzione delle foglie (anno lepidocronologico). Dall'analisi di tali dati sono stati stimati i seguenti parametri: numero medio di scaglie (e quindi di foglie) prodotte in un ciclo; lunghezza annuale media del rizoma (cm), delimitata dall'inserzione di due scaglie con spessore minimo; produzione annuale media del rizoma (g) dopo essiccazione in stufa per 3 giorni a  $70^\circ\text{C}$ .

Attraverso la tecnica lepidocronologica è stato possibile inoltre stimare la produzione fogliare, il tasso di incremento del peso, calcolata sulla base della correlazione positiva tra la lunghezza della base e la lunghezza della scaglia che persiste sul rizoma.

Per tale stima, in ciascun fascio sono state rilevate, ove possibile, le misure di almeno una delle due foglie adulte più esterne e con apice integro, ne è stato misurato il peso secco (base e lembo separatamente) e quindi determinata la densità tissutale della foglia ( $\text{mg p.s./cm}$ ) dividendo il peso secco totale della stessa per la sua lunghezza. L'esistenza di una correlazione positiva tra la lunghezza della base (scaglia) e la lunghezza della relativa lamina fogliare, permette di stimare, con

opportune procedure statistiche, la lunghezza fogliare teorica partendo dalla sola misura delle scaglie.

Nel nostro caso, disponendo con una certa continuità solo delle lunghezze delle scaglie integre relative al ciclo lepidocronologico dell'anno 2015, è stata calcolata, solo per questo anno, la produzione fogliare.

Per il calcolo della produzione fogliare annua (g p.s) per fascio (e per m<sup>2</sup> di prateria) nelle varie stazioni è stata utilizzata, quindi, la seguente formula:

$$PF = N * L * D$$

dove:

**N** = numero medio di scaglie (e quindi foglie) prodotte per fascio;

**L** = lunghezza teorica della foglia, determinata a partire dalla media delle lunghezze delle scaglie integre relative al 2015

**D** = densità fogliare media (g cm<sup>-1</sup>) delle foglie adulte più esterne con apice integro.

### **Analisi granulometrica**

Al fine di discriminare in modo puntuale le caratteristiche e le possibili variazioni tessiturali del substrato relativo alle praterie di *Posidonia oceanica* oggetto di studio, in concomitanza dei campionamenti di fasci fogliari sono stati prelevati, inoltre, campioni di sedimento superficiale.

Nel dettaglio, i campioni di sedimento superficiale PB0, PB1, PB2 e PB3 sono stati prelevati all'interno del corrispettivo posidonieto oggetto di indagine grazie ad operatori subacquei.

I campioni di sedimento sono stati riposti in contenitori di polietilene e sono stati trasportati in laboratorio refrigerati ad una temperatura di 4°C.

Successivamente, una volta in laboratorio, i campioni di sedimento sono stati asciugati in stufa ad una temperatura di 40°C per 48 h. Una volta asciugati, i campioni di sedimento sono stati sottoposti ad analisi granulometrica mediante setacciatura meccanica, utilizzando setacci della serie ASTM con intervalli di maglia decrescente di 1  $\phi$  ( $\Phi = -\log_2$  della larghezza della maglia espressa in mm).

Il sedimento trattenuto in ogni setaccio è stato successivamente pesato e sono state costruite le curve granulometriche rappresentative di ogni singola stazione di campionamento (ASTM D422-63, 1998).

### 3. RISULTATI

#### 3.1 Descrittori fisiografici e strutturali del limite inferiore

I valori medi ( $\pm$  dev. st.) dei descrittori strutturali calcolati per ogni singola stazione sono riportati in tabella 2 e vengono di seguito analizzati.

##### **PB0 - Prateria “Sant’Agostino”**

La prateria presenta un limite inferiore a circa 20 metri di profondità di tipo progressivo, il substrato è costituito da sabbia con affioramenti rocciosi (circa 20%). La prateria in quest’area appare ricoperta di mucillagine e sostanza organica morta, i fasci fogliari risultano fragili e si distaccano facilmente dai rizomi.

In questa stazione, al limite inferiore, la prateria ha una densità media assoluta di  $177,1 \pm 37,2$  fasci/m<sup>2</sup>, considerato che la copertura è del 63,5 %, la sua densità relativa risulta di 111.5 fasci/m<sup>2</sup>. Non è stata riscontrata la presenza di *Caulerpa racemosa* e *Cymodocea nodosa* in nessuna replica. In base alla classificazione proposta da Buia *et al.* (2003), la prateria nel limite inferiore, avendo valori medi di densità assoluta compreso tra 173 e 397 fasci/m<sup>2</sup>, è da considerare “in equilibrio” con densità normale (DN).

##### **PB1 – Prateria “La Frasca”**

La prateria presenta un limite inferiore a circa 21 metri di profondità di tipo erosivo su un substrato misto di sabbia e matte. La prateria in quest’area appare parzialmente ricoperta di mucillagine.

In questa stazione al limite inferiore la prateria ha una densità assoluta di  $153,1 \pm 44,7$  fasci/m<sup>2</sup> e risulta in uno stato disturbato con densità bassa (DB). Considerato che la copertura è del 68,8 %, la sua densità relativa risulta di 103 fasci/m<sup>2</sup>.

Non è stata riscontrata la presenza di *Caulerpa racemosa* e *Cymodocea nodosa* in nessuna replica.

##### **PB2 – Prateria “Capo Linaro”**

La prateria presenta un limite inferiore a circa 20 metri di profondità di tipo netto su un substrato sabbioso.

In questa stazione al limite inferiore la prateria ha una densità assoluta di  $160.4 \pm 43.1$  fasci/m<sup>2</sup> risultando, secondo la classificazione proposta, in uno stato disturbato con densità bassa (DB). Considerato che la copertura è del 69,8 %, la sua densità relativa risulta di 113 fasci/m<sup>2</sup>. Non è stata riscontrata la presenza di *C. racemosa* e *Cymodocea nodosa* in nessuna replica.

### **PB3 – Prateria “Santa Marinella”**

La prateria presenta un limite inferiore a circa 13 metri di profondità di tipo progressivo, il substrato è misto di sabbia e roccia.

In questa stazione al limite inferiore la prateria ha una densità assoluta di  $363.5 \pm 82.8$  fasci/m<sup>2</sup> e risulta in uno stato di equilibrio con densità normale (DN). Considerato che la copertura è del 58.3%, la sua densità relativa risulta di 223.4 fasci/m<sup>2</sup>.

Non è stata riscontrata la presenza di *C. racemosa* e *Cymodocea nodosa* in nessuna replica.

Stazione	Profondità	Substrato	Densità assoluta (fasci/m <sup>2</sup> ± dev. st.)	Copertura (% ± dev. st.)	Densità relativa (fasci/m <sup>2</sup> ± dev. st.)
PB0	20.5	SABBIA con 20% roccia	$177.1 \pm 37.2$	$63.5 \pm 17$	$111.5 \pm 35.1$
PB1	21	SABBIA E MATTE	$153.1 \pm 44.7$	$68.8 \pm 14.8$	$103 \pm 35.1$
PB2	20	SABBIA	$160.4 \pm 43.1$	$69.8 \pm 21.1$	$113 \pm 52.2$
PB3	13	SABBIA e ROCCIA	$363.5 \pm 82.8$	$58.3 \pm 17.1$	$223.4 \pm 115.5$

**Tab. 2.** Descrittori fisiografici e strutturali relativi alle 4 praterie esaminate.

Dalle osservazioni in immersione sono stati rilevati i parametri descrittivi del limite riportati in tabella 3 e di seguito analizzati per ciascuna stazione.

**PB0:** il limite progressivo è caratterizzato da un’alta percentuale di rizomi plagiotropi disposti parallelamente secondo la direzione della pendenza e la matre è assente. La variazione positiva della distanza dai picchetti (da marzo 2015 a luglio 2016) mostra bene tale progressione.

Lo scalzamento medio dei rizomi è di 12.4 cm e 3.2 cm rispettivamente per gli ortotropi e i plagiotropi; si registra quindi un aumento dello scalzamento solo per i rizomi ortotropi rispetto al rilievo del 2015

**PB1:** il limite erosivo è caratterizzato da un'elevata presenza di rizomi ortotropi e da un netto scalino di matte, il fattore limitante della progressione è presumibilmente rappresentato dall'idrodinamismo. La variazione negativa della distanza dai picchetti rispetto al rilievo del marzo 2015 rende conto dell'evoluzione del limite da progressivo a erosivo, ciò è in accordo con l'aumento dello scalzamento dei rizomi ortotropi e plagiotropi registrato (valori medi di 13.8 cm e 11 cm rispettivamente).

**PB2:** il limite di tipo netto mostra un'interruzione brusca, con presenza di rizomi sia ortotropi che plagiotropi, in questo caso la riduzione di luce sembra essere un fattore limitante per l'avanzamento del limite. Non si registrano variazioni importanti dal rilievo precedente se non per un aumento dello scalzamento nei rizomi ortotropi

**PB3:** in questa stazione si registra una evoluzione del limite da regressivo a progressivo, la variazione positiva della distanza dai picchetti nei confronti tra i due rilievi ben rappresenta tale progressione; la percentuale dei rizomi plagiotropi inoltre risulta aumentata (da 50% a 85%) e lo scalzamento per entrambi risulta in lieve diminuzione.

Stazione	Tipologia limite	Tipologia prateria	Ortotropi/plagiotropi	Matte morta (%)	Scalzamento medio rizomi ortotropi (cm)	Scalzamento medio rizomi plagiotropi (cm)
PB0	Progressivo	Pura	30-70	25	12.4	3.2
PB1	erosivo	Pura	30-70	25	13.8	11
PB2	Netto	Pura	25-75	10	11.6	3.2
PB3	Progressivo	Mista	15-85	10	5.4	4.8

**Tab. 3.** Principali parametri descrittivi del limite inferiore di *Posidonia oceanica* per le 4 stazioni esaminate

In Tabella 4 sono riportate le distanze tra i 3 picchetti posizionati e i fasci fogliari del limite inferiore. Tale misura ha permesso di registrare l'avanzamento o l'arretramento del limite inferiore nel tempo.

Stazione	Distanza dal picchetto 2 (nord) (cm)	Distanza dal picchetto 1 (centro) (cm)	Distanza dal picchetto 3 (sud) (cm)
PB0	+60	-2	-19
PB1	-27	-52	-
PB2	-26	-	-44
PB3	+9	+11	-36

**Tab. 4.** Distanze relative tra i fasci fogliari e i 3 picchetti nelle 4 stazioni esaminate.

## 3.2 Descrittori funzionali

### 3.2.1 Parametri morfometrici

I parametri morfometrici derivati dall'analisi fenologica dei fasci fogliari sono riportati nelle tabelle 5, 6 e 7 e analizzati di seguito per le 4 stazioni esaminate.

#### **PB0**

L'analisi morfometrica dei fasci ha evidenziato una composizione media fogliare (foglie giovanili escluse) di 7,1 foglie per fascio. La superficie fogliare media di ciascun fascio è risultata di 162,7 cm<sup>2</sup> mentre il coefficiente "A" totale (adulte + intermedie) è pari a 13,3%. Il LAI (Leaf Area Index) della stazione, ottenuto integrando il valore dell'indice fogliare con le stime di densità dei fasci al metro quadro, è risultato di 3.0 m<sup>2</sup> /m<sup>2</sup>.

Per quanto attiene il calcolo della biomassa fogliare media, determinata come grammi di sostanza secca per fascio, le analisi di laboratorio hanno evidenziato un valore medio ( $\pm$ dev.st.) di 1.29 $\pm$ 0.8 (g/fascio)

#### **PB1**

La composizione media fogliare (adulte + intermedie) è di 6.5 foglie per fascio, che sviluppano una superficie fogliare di 152.9 cm<sup>2</sup>; riportando questo valore alla densità media dei fasci al m<sup>2</sup> si ottiene il valore del LAI pari a 2.3 m<sup>2</sup> /m<sup>2</sup>. Il Coefficiente A, rapporto percentuale di foglie con apice eroso sul totale (considerando solo adulte e intermedie) risulta di 11.1%. I valori di biomassa fogliare risultano di 0,319 g/fascio.

#### **PB2**

Il numero medio di foglie per fascio è di 6.2, con una superficie fogliare sviluppata per fascio (desunta dai valori morfometrici delle foglie adulte e intermedie) di 177.8 cm<sup>2</sup>. Il valore dell'indice di superficie fogliare è di 2.9 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, mentre il coefficiente A (adulte + intermedie) ha un valore medio del 12%. La biomassa fogliare registrata è di 0.321 g/fascio.

### PB3

In questa stazione il numero medio di foglie per fascio è di 7.8, con una superficie fogliare di 103.9 cm<sup>2</sup>. Mostrando questa stazione i valori più elevati di densità dei fasci fogliari, presenta anche un valore di LAI più elevato pari a 3.8 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; bisogna sottolineare, per questa stazione, i valori più elevati di Coefficiente “A” pari al 78.6 % che derivano da un valore di coefficiente A per le foglie adulte del 100% (tutte con apice eroso) e del 54% per le foglie intermedie. Il valore di biomassa fogliare è di 0,202 g/fascio.

Stazione	N. medio foglie/fascio	N. foglie giovanili	N. foglie intermedie	N. foglie adulte
PB0	7,1	2,2	2,2	2,8
PB1	6.5	2,2	2,2	2,2
PB2	6,2	2	2	2,2
PB3	7,8	3,2	1,8	2,8

**Tab. 5.** Numero di foglie medio, per fascio e per rango (giovanili, intermedie, adulte) nelle stazioni esaminate

Stazione	Lunghezza-larghezza foglie giovanili (cm)	Lunghezza-larghezza foglie intermedie (cm)	Lunghezza-larghezza foglie adulte (cm)
PB0	0.3 – 0.4	42.3 – 0.8	35 – 0.9
PB1	0.4 - 0.5	49.2 – 0.8	33.5 – 0.9
PB2	0.7 – 0.5	50.6 – 0.9	39.4 – 1
PB3	0.4 – 0.4	28.2 – 0.8	25.1 – 0.9

**Tab. 6.** Valori medi di lunghezza e larghezza delle foglie nelle 4 stazioni esaminate.

Stazione	Superficie fogliare (cm <sup>2</sup> /fascio)	Coefficiente A (%)	LAI (m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> )	Biomassa fogliare (g)
PB0	162.7	13.3	3	1.29±0.8
PB1	152.9	11.1	2.3	0.788±0.123
PB2	177.8	12.0	2.9	0.872±0.166
PB3	103.9	78.6	3.8	0.576±0.182

**Tab. 7.** Valori medi della superficie fogliare, del coefficiente A e della biomassa fogliare nelle 4 stazioni esaminate.

La superficie fogliare ( $\text{cm}^2/\text{fascio}$ ) rappresenta la media della somma della superficie di tutti i lembi per fascio mentre l'indice derivato LAI indica la superficie fogliare per metro quadro di prateria ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ )

### 3.2.2 Parametri lepidocronologici

I valori medi dei parametri derivati dall'analisi lepidocronologica sono riportati in tabella 8 e analizzati di seguito per le singole stazioni.

Stazione	N. scaglie/anno	Lung. rizoma (cm/anno)	P.s. rizoma (g/anno)	Produzione fogliare (g/anno)
PB0	7.5±1.25	0.44±0.16	0.061±0.033	0.73
PB1	7.1±1.12	0.40±0.13	0.048±0.024	0.634
PB2	7.8±0.95	0.68±0.18	0.088±0.022	1.049
PB3	7.5±1.42	0.63±0.21	0.065±0.024	-

Tab. 8 Parametri lepidocronologici

#### **PB0**

Il numero di cicli registrato nei rizomi ortotropi varia da un minimo di 4 (riscontrato in due rizomi) a un massimo di 8 (riscontrato in un rizoma), con una media di  $5 \pm 1.55$  cicli per rizoma. Uno dei parametri determinati è stato il tasso di formazione fogliare (n. foglie prodotte per fascio all'anno), importante per comprendere quante foglie in media produce ciascun fascio in un anno. Il numero medio di scaglie stimato per ciascun ciclo è di  $7.5 \pm 1.25$  e varia da un minimo di 6 ad un massimo di 10 (riscontrato negli anni 2013 e 2012). Nessun peduncolo florale è stato rinvenuto.

Il tasso di crescita in lunghezza del rizoma (cm/anno) è risultato pari a  $0.44 \pm 0.16$  mentre l'incremento ponderale annuo per rizoma ha mostrato un valore medio ( $\pm \text{dev.st.}$ ) di  $0.061 \pm 0.033$  ( $\text{g p.s. anno}^{-1}$ )

La produzione fogliare, intesa come biomassa secca delle foglie prodotta annualmente per fascio e per  $\text{m}^2$  di prateria, è stata stimata solo per l'ultimo ciclo lepidocronologico completo (anno 2015) rilevato sui rizomi campionati. Questo perché, come già accennato nel capitolo relativo alla metodologia, solo per l'anno precedente a quello di campionamento sono state ritrovate scaglie

fogliari integre, dalla cui misura di lunghezza si è potuto stimare la lunghezza teorica delle foglie e quindi la produzione fogliare media relativa al ciclo lepidocronologico considerato. La produzione fogliare calcolata è di  $0.73 \text{ g p.s. fascio}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ , pari a  $129.28 \text{ g m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$  per il limite inferiore della prateria.

### **PB1**

Nei rizomi ortotropi è stato registrato un numero di cicli variabile da un minimo di 4 a un massimo di 7 con una media di  $5.83 \pm 0.98$  cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di  $7.1 \pm 1.12$  e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 10 (riscontrato nell'anno 2013). Non sono stati rinvenuti peduncoli fiorali.

La crescita annuale del rizoma in centimetri ha un valore medio di  $0.40 \pm 0.13$ . Per quanto riguarda la produzione annuale del rizoma è stato stimato un valore medio ( $\pm \text{dev.st.}$ ) pari a  $0.048 \pm 0.024$  (g p.s.  $\text{anno}^{-1}$ )

La produzione fogliare, al limite inferiore della prateria, determinata sempre utilizzando le scaglie integre rinvenute nell'anno 2015, è risultata di  $0.634 \text{ g p.s. fascio}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  pari ad un valore di  $97.02 \text{ g al m}^2 \text{ all'anno}$ .

### **PB2**

Nei rizomi ortotropi è stato registrato un numero di cicli variabile da un minimo di 7 a un massimo di 13 con una media di  $10 \pm 2$  cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di  $7.8 \pm 0.95$  e varia da un minimo di 6 ad un massimo di 10 (riscontrato nell'anno 2012).

L'allungamento annuale medio del rizoma è pari a  $0.68 \pm 0.18$  (cm/anno) con una produzione di  $0.088 \pm 0.022$  (g/anno).

La produzione fogliare media stimata è di  $1.049 \text{ g p.s. fascio}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  pari ad un valore di  $168.22 \text{ g m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$

### **PB3**

Il numero di cicli registrato nei rizomi ortotropi varia da un minimo di 11 a un massimo di 13 con una media di  $11.8 \pm 0.84$  cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è

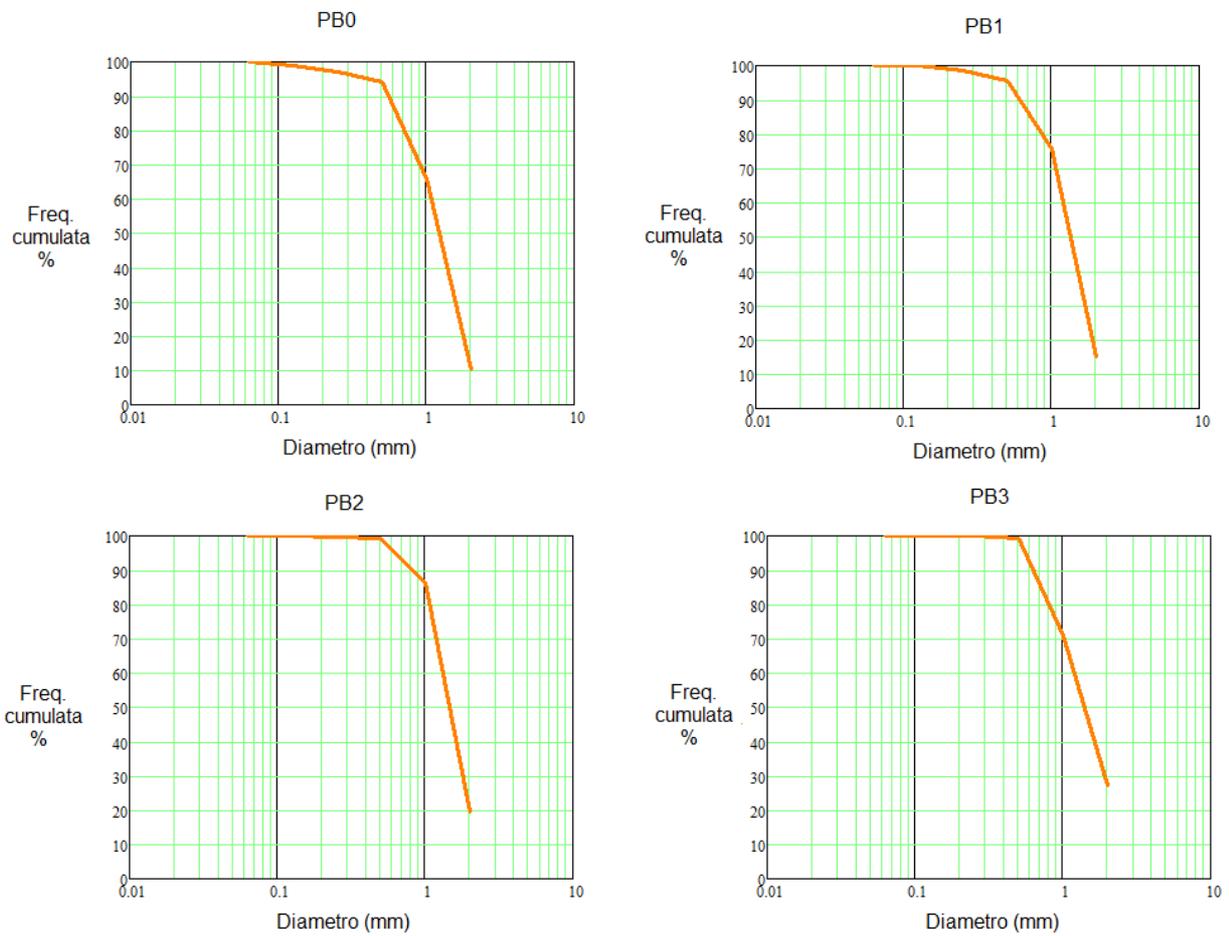
di  $7.5 \pm 1.42$  e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 11 e 12 (rispettivamente negli anni 2013 e 2012).

I valori medi di allungamento annuale e produzione annuale per rizoma risultano rispettivamente di  $0.63 \pm 0.21$  cm/anno e di  $0.065 \pm 0.024$  g/anno.

In tale stazione, come si evince anche dai dati fenologici, si è registrato per le foglie adulte un valore di coefficiente A pari al 100%, ciò vuol dire che non sono state ritrovate foglie adulte con apice integro necessarie per stimare, mediante una correlazione diretta, la lunghezza teorica dei lembi fogliari a partire dalla lunghezza delle scaglie rinvenute sul rizoma. La mancanza di tale dato non ha permesso la stima della produzione fogliare media per tale stazione.

### **3.3 Analisi granulometriche**

In Figura 1 sono riportate le curve di frequenza cumulata relative alla frazione sabbiosa delle quattro stazioni di campionamento PB0, PB1, PB2 e PB3. La frazione pelitica corrispettiva di ogni campione di sedimento è risultata inferiore all'1 %. Come evidente dalle quattro distribuzioni, il substrato delle praterie oggetto di indagine risulta caratterizzato da sedimenti grossolani. In particolare, in tutti i quattro campioni, le granulometrie con frequenza più elevata appartenenti alle sabbie risultano essere sabbia grossa e sabbia molto grossa (intervallo compreso tra 1 mm e 2 mm).



**Fig. 1** Distribuzione granulometrica dei campioni nelle stazioni PB0, PB1, PB2 e PB3.

#### 4. DISCUSSIONI CONCLUSIVE

Finalità di questa prima fase di monitoraggio è quella di raccogliere informazioni su eventuali dinamiche in atto a carico del limite inferiore, rilevando in tal modo eventuali stati di sofferenza dell'intera prateria e del sistema marino nel quale essa si trova. Il periodo trascorso dall'inizio del posizionamento dei picchetti, tuttavia, non è ancora sufficiente per dare indicazioni precise sulle dinamiche, saranno necessari i risultati delle successive indagini previste per avere tali indicazioni. Ciò nonostante, lo studio dei parametri indagati durante questo periodo può segnalarci un andamento del limite delle praterie e dello stato di salute della pianta.

Sulla base delle osservazioni condotte in questo studio si rileva, infatti, che per due delle quattro praterie monitorate il limite inferiore si registra in evoluzione; in particolare nella prateria in località "La Frasca" (stazione PB1) questo passa da una tipologia in progressione ad una tipologia di limite erosivo con gradino di matte stimato in media di 27 cm; questo limite è verosimilmente condizionato da correnti di fondo e non dall'incidenza della luce, la riprova della presenza di correnti di fondo è data dalla documentazione fotografica e dalla misura della distanza del limite inferiore della prateria dai picchetti posizionati.

In località "Santa Marinella" (stazione PB3) l'evoluzione invece è in senso positivo, con un limite che sta progredendo verso maggiore profondità e che si caratterizza per l'aumentato numero di rizomi plagiotropi in percentuale e un minor grado di scalzamento sia per i plagiotropi che per gli ortotropi.

Dalla correlazione tra le misure di densità assolute rilevate in ciascuna stazione con le corrispondenti profondità (Pergent et al., 1995), il limite inferiore delle praterie è risultato in "equilibrio" e con una "densità normale" nelle stazioni PB0 e PB3, mentre è da definirsi disturbato con bassa densità in PB1 e PB2.

Dall'analisi dei dati relativi al ricoprimento si nota che i valori percentuali più bassi di copertura del fondale si riscontrano nelle stazioni PB0 e PB3, dove la natura del fondale, con frequenti affioramenti rocciosi, non consente lo sviluppo ottimale dei rizomi e quindi dei fasci fogliari.

Per quanto riguarda i descrittori derivati dai parametri morfometrici bisogna sottolineare che il comparto fogliare ha una persistenza ed un accrescimento variabili con la stagione, per tale motivo il descrittore morfometrico deve tenere conto del periodo di campionamento. I dati raccolti, in

relazione alla stagione, risultano nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

Bisogna segnalare, in particolare, che nella stazione PB3 la superficie fogliare media sviluppata dai fasci fogliari, calcolata in  $\text{cm}^2 \text{ fascio}^{-1}$  e riferita per convenzione ad un solo lato della pagina fogliare, mostra valori medi più bassi essendo in relazione diretta con lo sviluppo in lunghezza delle foglie che risente di fattori di disturbo legati alla minor profondità del limite inferiore.

I parametri derivati dai dati morfometrici sono LAI e Coefficiente “A”.

I valori di LAI risultano, per tutte le stazioni, abbastanza bassi ma in accordo con i dati di densità assoluta dai quali si derivano.

Il coefficiente “A”, che esprime principalmente l’effetto combinato dell’azione meccanica dell’idrodinamismo sulle foglie e del grazing degli erbivori, risulta coerente con la profondità delle stazioni esaminate. Infatti la percentuale di apici erosi risulta più alta nella stazione PB3 (con un valore del 100% per le foglie adulte), prateria in cui il limite inferiore si registra a circa 13 metri di profondità dove tali fattori fanno sentire maggiormente i loro effetti.

I valori di biomassa fogliare risultano coerenti con i parametri morfometrici rilevati; si deve evidenziare nuovamente il valore più basso registrato nella stazione PB3 dove, una plausibile sinergia di fattori incidenti sull’integrità dei fasci (idrodinamismo, grazing, erbivoria), più presente nelle acque superficiali rispetto a quelle relativamente più profonde, influenza lo sviluppo in lunghezza delle foglie.

L’alga *Caulerpa racemosa* v. *cylindracea*, la cui prima segnalazione per l’Italia si è avuta a Lampedusa (Alongi et al., 1993), non è mai stata rinvenuta nelle stazioni esaminate.

Le praterie di *P. oceanica* in salute possono essere considerate una barriera naturale contro la colonizzazione di *C. racemosa* contrastandola con un effetto di ombreggiatura e confinandola ai loro margini (Ceccherelli et al., 2000).

Per comprendere la dinamica delle praterie e l’evoluzione dei sistemi ambientali nei quali esse si sviluppano, viene spesso applicato il metodo lepidocronologico che, permettendo la determinazione dell’età di un numero significativo di rizomi, rappresenta un potente strumento ed una importante chiave di lettura di tali ecosistemi. In questo modo, infatti, pur senza avere a disposizione lunghe serie storiche, è possibile valutare la produzione di una prateria, sia come misura integrata su un

intervallo temporale standardizzato sia su base annuale, mettendo in evidenza eventuali variazioni prodotte da stress ambientali a cui il sistema può essere andato incontro nel corso degli anni.

L'analisi lepidocronologica ha permesso di registrare il numero di scaglie prodotte per anno (ciclo lepidocronologico); per tale parametro è da sottolineare che il valore più alto (10 scaglie per ciclo) è stato registrato negli anni 2012 e 2013 nelle diverse stazioni monitorate.

Mediante la stessa analisi è stato possibile stimare la produzione annuale del rizoma come biomassa (g/anno) e come allungamento (cm/anno). Per entrambe queste grandezze i valori risultano nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

In questa fase, infine, utilizzando la tecnica lepidocronologica si è integrato il lavoro con la stima della produzione fogliare per ottenere, mediante analisi puntuali, una rappresentazione della dinamica della prateria altrimenti ricostruibile solo con una serie storica di dati raccolti sul campo nel tempo. I valori ottenuti risultano bassi ma nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

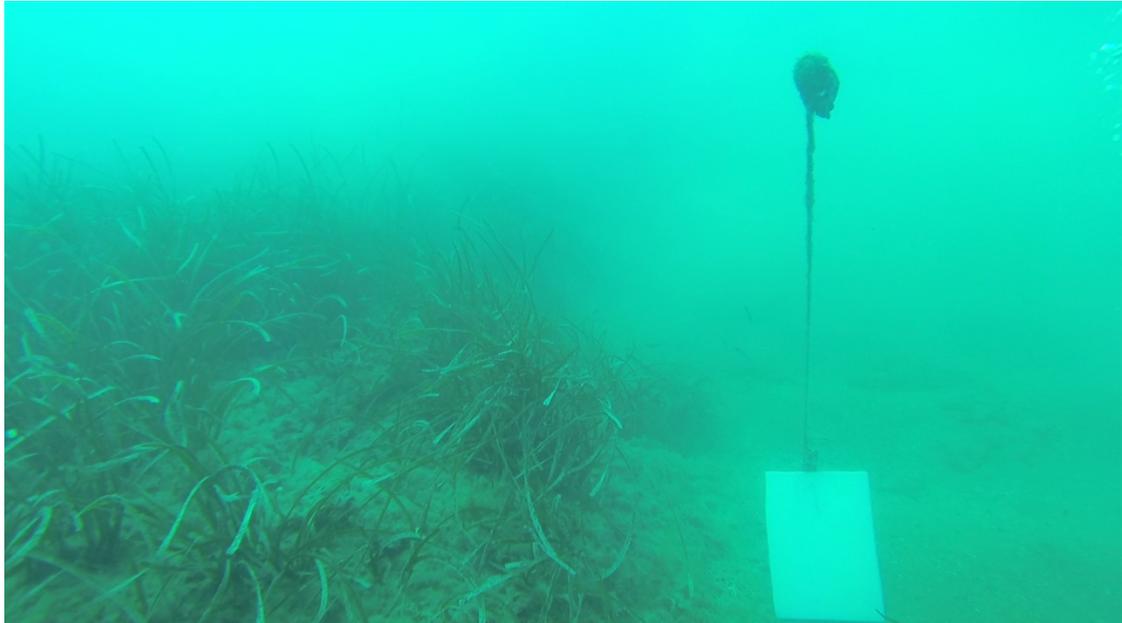
## 5. REPORT FOTOGRAFICO

Selezione delle foto relative ai picchetti posizionati sul limite inferiore

### PB0 – località Sant’Agostino



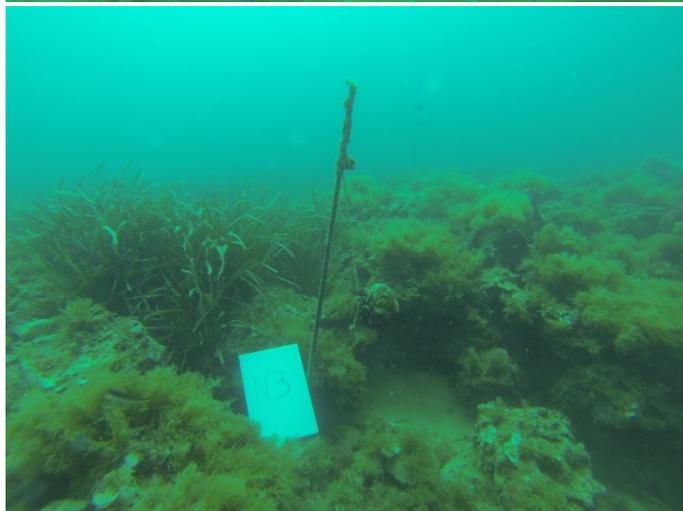
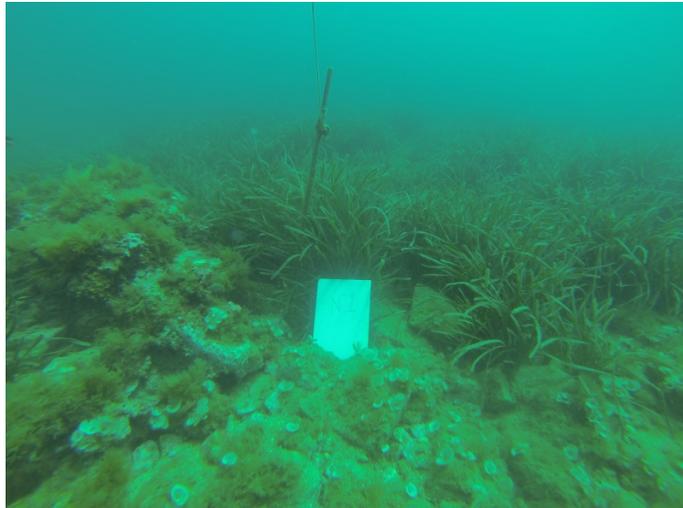
**PB1 –Località La Frasca**



**PB2 – Località Capo Linaro**



### **PB3 –Località Santa Marinella**



## BIBLIOGRAFIA

**Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. 2003** - I sistemi a fanerogame marine. In: Gambi M.C., Dappiano M. (Editors). Manuale di Metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Biol. Mar. Med, 19 (Suppl.): 145-198.

**Ceccherelli G., Piazzì L., Cinelli F., 2000** - Response of non indigenous *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh to the native seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: effect of density of shoots and orientation of edges of meadows. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 243: 227–240.

**Cicero A.M., Di Girolamo I. (Ed), 2001** - Metodologie analitiche di riferimento del Programma di Monitoraggio dell'ambiente marino costiero (Triennio 2001-2003). Roma, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ICRAM.

**Giraud G., 1977** - Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Bot. Mar., 20: 487-491.

**Meinesz A., Laurent R., 1978** - Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes Maritimes - France. Campagne Poseidon 1976. Bot. Mar., 21 (8): 513-526.

**Pergent G., 1990** - Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: a standardized approach. Aquatic Botany, 37: 39-54.

**Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F. 1995** - Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état de connaissances. Mésogée, 54: 3-29.

**Pergent-Martini C., Pergent G. 1996** - Spatio-temporal dynamics of *Posidonia oceanica* beds near a sewage outfall (Mediterranean - France). In Kuo J. et al. eds. "Seagrass Biology". Rottnest Island, Western Australia: 299-306.

**Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M.A., Boudouresque C.F. 1994** - Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. Mar. Ecol. Progr. Ser. 106: 139-146.