

**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 2017**

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	3
<b>2</b>	<b>Materiali e metodi</b>	5
<b>3</b>	<b>Risultati</b>	9
	3.1 Descrittori fisiografici e strutturali del limite inferiore	8
	3.2 Descrittori funzionali	12
	3.2.1 Parametri morfometrici	12
	3.2.2 Parametri lepidocronologici	14
	3.3 Analisi granulometriche	16
<b>4</b>	<b>Discussioni conclusive</b>	17

## Bibliografia

## 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 della seconda fase di 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.

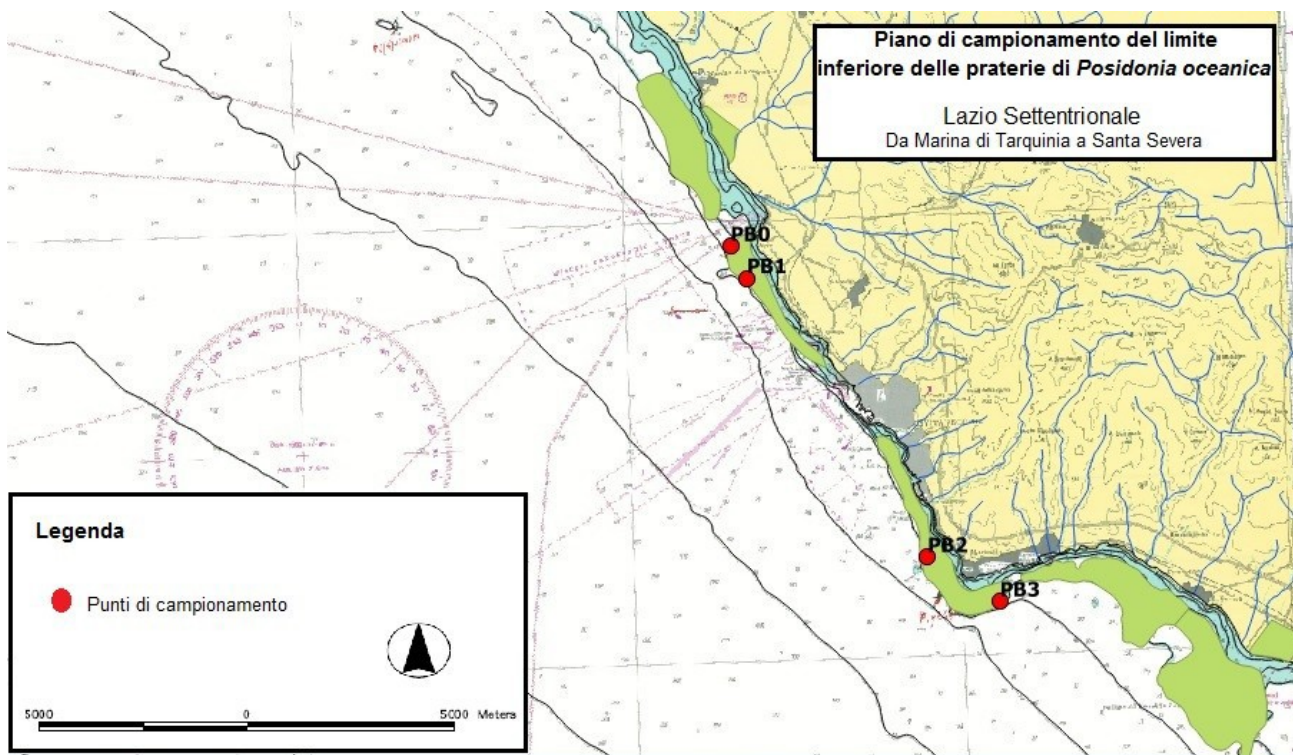
La fase successiva ha previsto il monitoraggio del limite inferiore mediante la tecnica del "balisage", seguendo il protocollo adottato dal Réseau de Surveillance Posidonies en Région Provence-Alpes-Cote d'Azur (Bertrand et al., 1986).

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 ad ottobre 2017.

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. Successivamente è stato effettuato un primo monitoraggio del limite inferiore nel periodo compreso tra giugno e luglio 2016.

Questa ulteriore fase di monitoraggio ha lo scopo di valutare, seppur in maniera ancora preliminare, la tendenza evolutiva del limite inferiore, misurando la sua distanza dai corpi morti precedentemente posizionati.

Vengono di seguito descritte le metodiche utilizzate nei rilievi effettuati e nelle analisi eseguite, così come già riportato nella relazione precedente:

Allo scopo di caratterizzare a livello fisiografico e strutturale il limite delle praterie gli operatori subacquei hanno rilevato diverse variabili in situ, già descritte nella precedente relazione:

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 matre;
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 stazione 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 2016, 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 2016

**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, il substrato è costituito da sabbia con affioramenti rocciosi, sono evidenti zone di matte morta. 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  $121,9 \pm 37,2$  fasci/m<sup>2</sup>, considerato che la copertura è del 30,2 %, la sua densità relativa risulta di 38 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 61 e 173 fasci/m<sup>2</sup>, è da considerare “disturbata” con densità bassa (DB).

**PB1 – Prateria “La Frasca”**

La prateria presenta un limite inferiore a circa 21 metri di profondità 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  $95,8 \pm 49,3$  fasci/m<sup>2</sup> e risulta in uno stato disturbato con densità bassa (DB). Considerato che la copertura è del 34,4 %, la sua densità relativa risulta di 33 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 su un substrato di sabbia grossolana.

In questa stazione al limite inferiore la prateria ha una densità assoluta di  $107,3 \pm 34,3$  fasci/m<sup>2</sup> risultando, secondo la classificazione proposta, in uno stato disturbato con densità bassa (DB). Considerato che la copertura è del 33,3 %, la sua densità relativa risulta di 39 fasci/m<sup>2</sup>.

Non è stata riscontrata la presenza di *Cymodocea nodosa* in nessuna replica mentre risulta elevata la presenza di *C. racemosa* sugli affioramenti rocciosi.

**PB3 – Prateria “Santa Marinella”**

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

roccia.

In questa stazione al limite inferiore la prateria ha una densità assoluta di  $338.5 \pm 98.8$  fasci/m<sup>2</sup> e risulta in uno stato di equilibrio con densità normale (DN). Considerato che la copertura è del 52.1%, la sua densità relativa risulta di  $187.6$  fasci/m<sup>2</sup>.

Non è stata riscontrata la presenza di *Cymodocea nodosa* in nessuna replica mentre la presenza di *C. racemosa* è del 30%.

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 affioramenti rocciosi	$121.9 \pm 37.2$	$30.2 \pm 12.1$	$38.5 \pm 21.8$
PB1	21	SABBIA E MATTE	$95.8 \pm 49.3$	$34.4 \pm 18$	$33.6 \pm 25.7$
PB2	20	SABBIA grossolana	$107.3 \pm 34.3$	$33.3 \pm 13.5$	$39.1 \pm 24.8$
PB3	13	SABBIA e ROCCIA	$338.5 \pm 98.8$	$52.1 \pm 16.6$	$187.6 \pm 92$

**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, caratterizzato da un'alta percentuale di matte morta (compresa tra il 40% e il 70%), presenta un lieve aumento nella percentuale di rizomi plagiotropi (40%), ma anche una lieve variazione negativa della distanza dai picchetti (da luglio 2016), le zone di matte morta proseguono sul fondale oltre il limite, tali caratteristiche fanno supporre un'inversione di tendenza evolutiva, da confermare con il prossimo monitoraggio.

Lo scalzamento medio dei rizomi è di 5.8 cm e 2.7 cm rispettivamente per gli ortotropi e i plagiotropi; si registra quindi una diminuzione dello scalzamento rispetto al rilievo del 2016

**PB1:** il limite è di tipo erosivo caratterizzato da un netto scalino di matte (circa 40 cm), il fattore limitante è presumibilmente rappresentato dall'idrodinamismo. Si registra una lieve variazione positiva della distanza dai picchetti rispetto al rilievo del 2016 e valori più bassi dello scalzamento

dei rizomi ortotropi e plagiotropi (valori medi di 6.4 cm e 5.4 cm rispettivamente). La percentuale di matte morta registrata risulta aumentata rispetto al 2016.

**PB2:** si conferma la presenza di un limite netto, anche se in alcune zone si suppone una tendenza alla regressione; la percentuale di matte morta risulta aumentata e di conseguenza si evidenzia una minore percentuale di copertura del fondale da parte della piantale. Si registra la presenza abbondante di *Caulerpa racemosa* tutt'intorno alla prateria; per quanto riguarda le misure di scalzamento dei rizomi, non si registrano variazioni importanti dal precedente rilievo.

**PB3:** nella prateria di Santa Marinella non sono stati ritrovati i picchetti posizionati precedentemente, risulta leggermente aumentato il numero di rizomi plagiotropi confermando la tendenza della prateria ad avanzare verso batimetrie maggiori (limite progressivo); a differenza delle altre località non si registra un sostanziale aumento di percentuale di matte morta; non si evidenzia uno scalzamento dei rizomi sul limite, poiché questi rimangono piuttosto stabili e ancorati al substrato sabbioso

Stazione	Tipologia limite	Tipologia prateria	plagiotropi/ ortotropi	Matte morta (%)	Scalzamento medio rizomi ortotropi (cm)	Scalzamento medio rizomi plagiotropi (cm)
PB0	tendenza alla regressione	Pura	40-60	55	5.8	2.7
PB1	erosivo	Pura	65-35	60	6.4	5.4
PB2	netto/regressivo	Pura	65-35	30	9.8	4.6
PB3	progressivo	Mista	35-65	15	4.2	3.9

**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 (dx) (cm)	Distanza dal picchetto 1 (centro) (cm)	Distanza dal picchetto 3 (sx) (cm)
PB0	+15	assente	-27
PB1	-13	-18	-49
PB2	-45	assente	-11
PB3	assente	assente	assente

**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 e 6 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 4,8 foglie per fascio. La superficie fogliare media di ciascun fascio è risultata di 168,2 cm<sup>2</sup> mentre il coefficiente "A" delle foglie adulte è pari a 66,7% (per le intermedie è nullo, avendo rilevato in queste sempre apice integro). 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 2.1 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 0.88 $\pm$ 0.24 (g/fascio)

#### **PB1**

La composizione media fogliare (adulte + intermedie) è di 4.4 foglie per fascio, che sviluppano una superficie fogliare di 138.1 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 1.3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Il Coefficiente A, rapporto percentuale di foglie con apice eroso sul totale, considerando solo adulte risulta di 58.5 % (nullo per le intermedie). I valori di biomassa

fogliare risultano di 0,706 g/fascio.

### **PB2**

Il numero medio di foglie per fascio è di 3.9, con una superficie fogliare sviluppata per fascio (desunta dai valori morfometrici delle foglie adulte e intermedie) di 198.7 cm<sup>2</sup>. Il valore dell'indice di superficie fogliare è di 2.1 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, mentre il coefficiente A delle foglie adulte ha un valore medio del 70,8 (nullo per le intermedie per le quali si è registrato sempre apice integro). La biomassa fogliare registrata è di 0.773 g/fascio.

### **PB3**

In questa stazione il numero medio di foglie per fascio è di 4.1, con una superficie fogliare di 112.6 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>; i valori di Coefficiente "A" delle foglie adulte sono pari al 67.8 % (nullo per le foglie intermedie). Il valore di biomassa fogliare è di 0,685 g/fascio.

Stazione	N. medio foglie/fascio	N. foglie intermedie	N. foglie adulte	Lunghezza-larghezza foglie intermedie (cm)	Lunghezza-larghezza foglie adulte (cm)
PB0	4.8	1.3	3.5	9.7 – 0.9	53.2 – 0.9
PB1	4.4	1	3.4	10.2 – 0.8	46.2 – 0.9
PB2	3.9	0.9	3	11 – 0.9	52.7 – 0.9
PB3	4.1	0.3	3.8	6.7 – 0.9	34 – 0.9

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

Stazione	Superficie fogliare (cm <sup>2</sup> /fascio)	Coefficiente A foglie adulte (%)	LAI (m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> )	Biomassa fogliare (g)
PB0	168.2	66.7	2.1	0.881±0.238
PB1	138.1.9	58.5	1.3	0.706±0.229
PB2	143.7	70.8	2.1	0.773±0.273
PB3	112.6	67.8	3.8	0.685±0.386

**Tab. 6.** Valori medi della superficie fogliare, del coefficiente A e della biomassa fogliare nelle 4 stazioni esaminate.

Tenendo conto del periodo di campionamento, vengono riportati i valori del Coefficiente A per le sole foglie adulte, avendo registrato per le foglie intermedie sempre apice integro.

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 7 e analizzati di seguito per le singole stazioni.

Stazione	N. scaglie/anno	Lung. rizoma (cm/anno)	P.s. rizoma (g/anno)	Produzione fogliare per fascio (g/anno)
PB0	7.3±1.2	0.44±0.19	0.053±0.032	2.01
PB1	7.3±1.1	0.40±0.16	0.053±0.028	1.55
PB2	7.8±1	0.73±0.27	0.097±0.06	1.46
PB3	7.5±1.1	0.61±0.21	0.092±0.04	1.04

Tab. 7 Parametri lepidocronologici

#### **PB0**

Il numero di cicli registrato nei rizomi ortotropi varia da un minimo di 2 (riscontrato in un solo rizoma) a un massimo di 13, con una media di  $7.8 \pm 3.1$  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  $7.3 \pm 1.2$  e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9. In un rizoma di questa stazione è stato rinvenuto un peduncolo florale appartenente al ciclo lepidocronologico corrispondente all'anno 2013.

Il tasso di crescita in lunghezza del rizoma (cm/anno) è risultato pari a  $0.44 \pm 0.19$  mentre l'incremento ponderale annuo per rizoma ha mostrato un valore medio ( $\pm \text{dev.st.}$ ) di  $0.053 \pm 0.032$  ( $\text{g p.s. anno}^{-1}$ ).

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 2016)



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 2.01g p.s. fascio<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, pari a 245.19 g m<sup>-2</sup> anno<sup>-1</sup> per il limite inferiore della prateria.

### **PB1**

Nei rizomi ortotropi è stato registrato un numero di cicli variabile da un minimo di 3 a un massimo di 9 con una media di  $6.2 \pm 2.2$  cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di  $7.3 \pm 1.1$  e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9. Non sono stati rinvenuti peduncoli fiorali.

La crescita annuale del rizoma in centimetri ha un valore medio di  $0.40 \pm 0.16$ . Per quanto riguarda la produzione annuale del rizoma è stato stimato un valore medio ( $\pm$ dev.st.) pari a  $0.053 \pm 0.028$  (g p.s. anno<sup>-1</sup>).

La produzione fogliare, al limite inferiore della prateria, determinata sempre utilizzando le scaglie integre rinvenute nell'anno 2016, è risultata di 1.55 g p.s. fascio<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup> pari ad un valore di 148.64 g al m<sup>2</sup> all'anno.

### **PB2**

Nei rizomi ortotropi è stato registrato un numero di cicli variabile da un minimo di 5 a un massimo di 12 ( in due rizomi) con una media di  $8.2 \pm 2.6$  cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di  $7.8 \pm 1$  e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9. L'allungamento annuale medio del rizoma è pari a  $0.73 \pm 0.27$  (cm/anno) con una produzione di  $0.097 \pm 0.06$  (g/anno).

La produzione fogliare media stimata è di 1.46 g p.s. fascio<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> pari ad un valore di 156.95 g m<sup>-2</sup> anno<sup>-1</sup>.

### **PB3**

Il numero di cicli registrato nei rizomi ortotropi varia da un minimo di 2 a un massimo di 8 con una media di  $4.1 \pm 1.9$  cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di 7.5

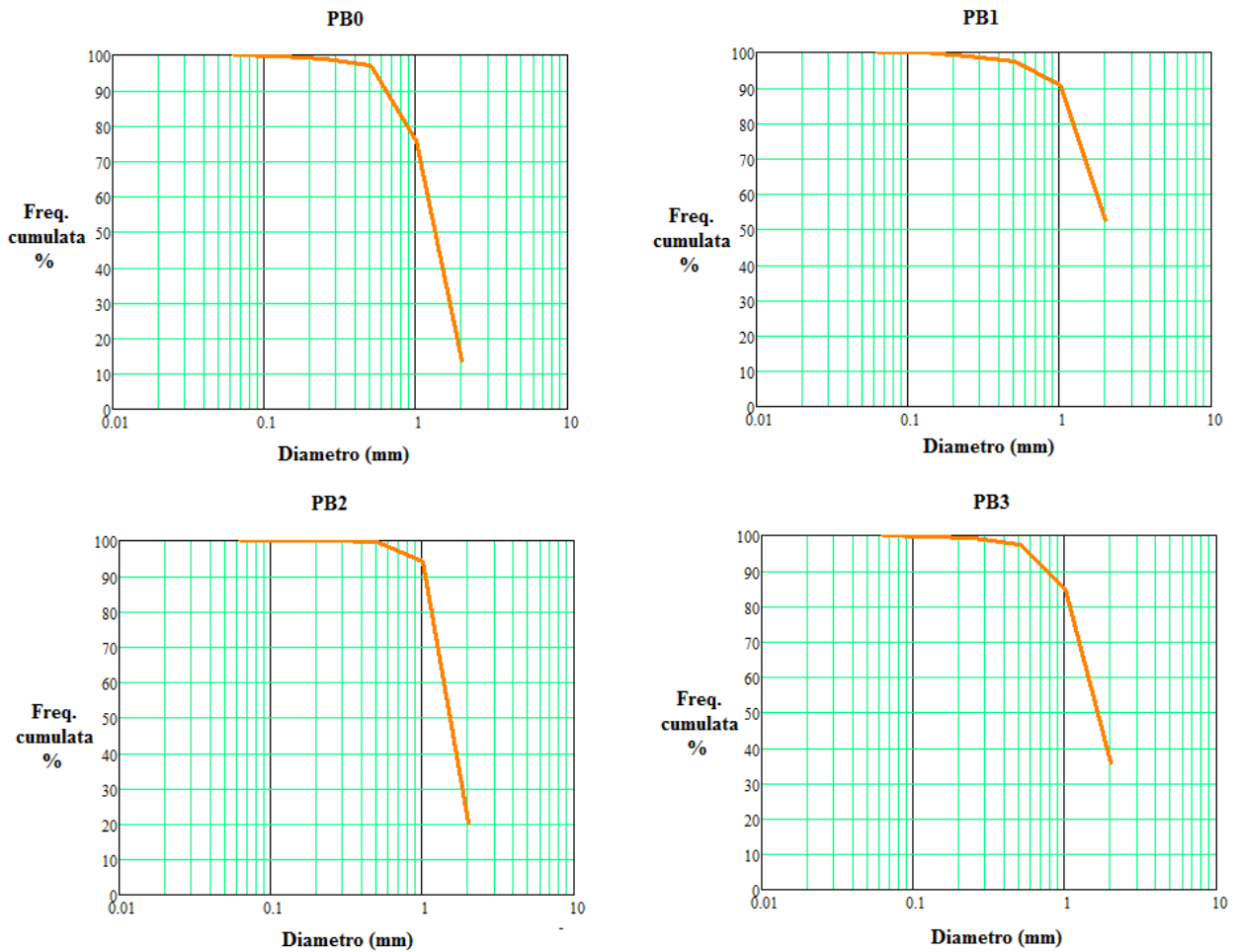
$\pm 1.1$  e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9.

I valori medi di allungamento annuale e produzione annuale per rizoma risultano rispettivamente di  $0.61 \pm 0.21$  cm/anno e di  $0.092 \pm 0.04$  g/anno.

La produzione fogliare media stimata è di  $1.04$  g p.s. fascio<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, considerati i valori di densità più elevati per questa stazione, la produzione al metro quadrato risulta di  $350.42$  g m<sup>-2</sup> anno<sup>-1</sup>.

### **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

Questa seconda fase di monitoraggio ha lo scopo 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. Pur rappresentando tale fase uno stadio intermedio di rilevazione, lo studio dei parametri indagati può suggerire alcune valutazioni iniziali riguardo l'andamento del limite delle praterie e dello stato di salute della pianta.

Sulla base delle osservazioni condotte in questo studio si rileva, infatti, che in tutte le praterie ma in minor misura in PB3 la copertura risulta inferiore rispetto al rilievo del 2016. La prateria di Sant'Agostino (PB0) a livello del suo limite inferiore si mostra in sofferenza con un probabile inizio regressivo, la percentuale di matte morta è aumentata e si conferma la presenza di mucillagine e di piante fragili che si staccano facilmente.

La prateria in località "La Frasca" (PB1) non mostra sostanziali variazioni nel suo limite inferiore se non per l'aumento percentuale di matte morta e conseguente diminuzione della copertura del fondo da parte della Posidonia.

La prateria in località Capo Linaro (PB2) non evidenzia particolari differenze dal precedente monitoraggio anche se alcune aree sembrano sottoposte all'avvio di un processo regressivo

La prateria di Santa Marinella risulta caratterizzata in diverse aree dalla presenza di *Caulerpa racemosa*, ciò lascia supporre uno stato di sofferenza della prateria, più incline ad essere colonizzata da specie aliene invasive; il suo limite, comunque, posto ad una profondità minore sembra ancora in uno stato di progressione.

I picchetti mancanti in PB0 e PB2 sono stati riposizionati a contatto con il limite della prateria per poter effettuare i rilevamenti futuri.

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" nella sola stazione PB3, mentre è da definirsi disturbato con bassa densità in PB0, PB1 e PB2, registrando una diminuzione del valore assoluto di densità dal rilievo del 2016 in queste tre stazioni.

Altra evidenza interessante è l'aumento generale di matte morta nelle 4 stazioni, in particolare in PB0 e PB1 in cui si registra un incremento di 30 e 40 punti percentuali rispettivamente.

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 risultati ottenuti hanno evidenziato, infatti, rispetto al rilievo precedente, valori minori nella lunghezza media delle foglie intermedie e valori maggiori nella lunghezza media delle foglie adulte, ciò in relazione al diverso periodo di campionamento. I dati raccolti, comunque, in relazione alla stagione, risultano nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

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. Si deve precisare che tale parametro è stato calcolato solo per le foglie adulte poiché le foglie intermedie hanno presentato tutte apice integro, in accordo con la stagione di prelievo. I valori di biomassa fogliare risultano coerenti con i parametri morfometrici rilevati.

La variabilità rilevata tra il 2016 e il 2017 per i descrittori indagati, sia strutturali, che funzionali è ascrivibile per lo più alla naturale variabilità presente su piccola scala spaziale nelle praterie di P. oceanica, che è stato dimostrato essere sempre piuttosto elevata (Balestri et al., 2003).

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 medio di scaglie prodotte per anno (ciclo lepidocronologico). 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 non risultano sostanzialmente variati rispetto al 2016 e sempre compresi nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

Bisogna sottolineare il ritrovamento di un peduncolo florale nella prateria di Sant’Agostino appartenente al ciclo lepidocronologico corrispondente all’anno 2013.

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. In questa fase sono state rinvenute un maggior numero di foglie adulte con apice integro e la loro lunghezza è risultata superiore rispetto al rilievo del 2016 (in accordo con il diverso periodo di campionamento), ciò ha permesso di calcolare i valori di produzione anche in PB3 (precedentemente non calcolati per mancanza di foglie adulte integre). I valori ottenuti risultano nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

## **Bibliografia**

- Balestri E., Cinelli F., Lardicci, C., 2003.** Spatial variation in *Posidonia oceanica* structural, morphological and dynamic features in a northwestern Mediterranean coastal area: a multi-scale analysis. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 250: 51-60.
- 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., Piazza 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". Rottneest 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
- Standard, A. S. T. M. D422-63, 1998** - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998.