



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

**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 2018**



INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. MATERIALI E METODI	6
3. RISULTATI	12
3.1 Descrittori fisiografici e strutturali del limite inferiore	12
3.2 Descrittori funzionali	16
3.2.1 Parametri morfometrici	16
3.2.2 Parametri lepidocronologici	18
3.3 Analisi granulometriche	21
4. DISCUSSIONI CONCLUSIVE	26
5. REPORT FOTOGRAFICO	29
BIBLIOGRAFIA	33

1. INTRODUZIONE

Le praterie di *Posidonia oceanica* rivestono un ruolo fondamentale per l'equilibrio degli ecosistemi marini costieri e svolgono una funzione esclusiva per la protezione dei fondali e dei tratti di litorale antistanti (Boudouresque et al., 2006). Le praterie stanno subendo un progressivo fenomeno di regressione in molte aree del Mediterraneo, sia a causa degli effetti diretti di distruzione conseguenti l'intensa urbanizzazione della fascia costiera, sia a causa di effetti indiretti (erosione dovuta ai cambiamenti nel regime delle correnti, insabbiamento, regressione delle parti profonde delle praterie a causa dell'aumento della torbidità dell'acqua, etc.).

Il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM-DEB-Università degli Studi della Toscana) 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 dell'ultima 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 rilievi 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.

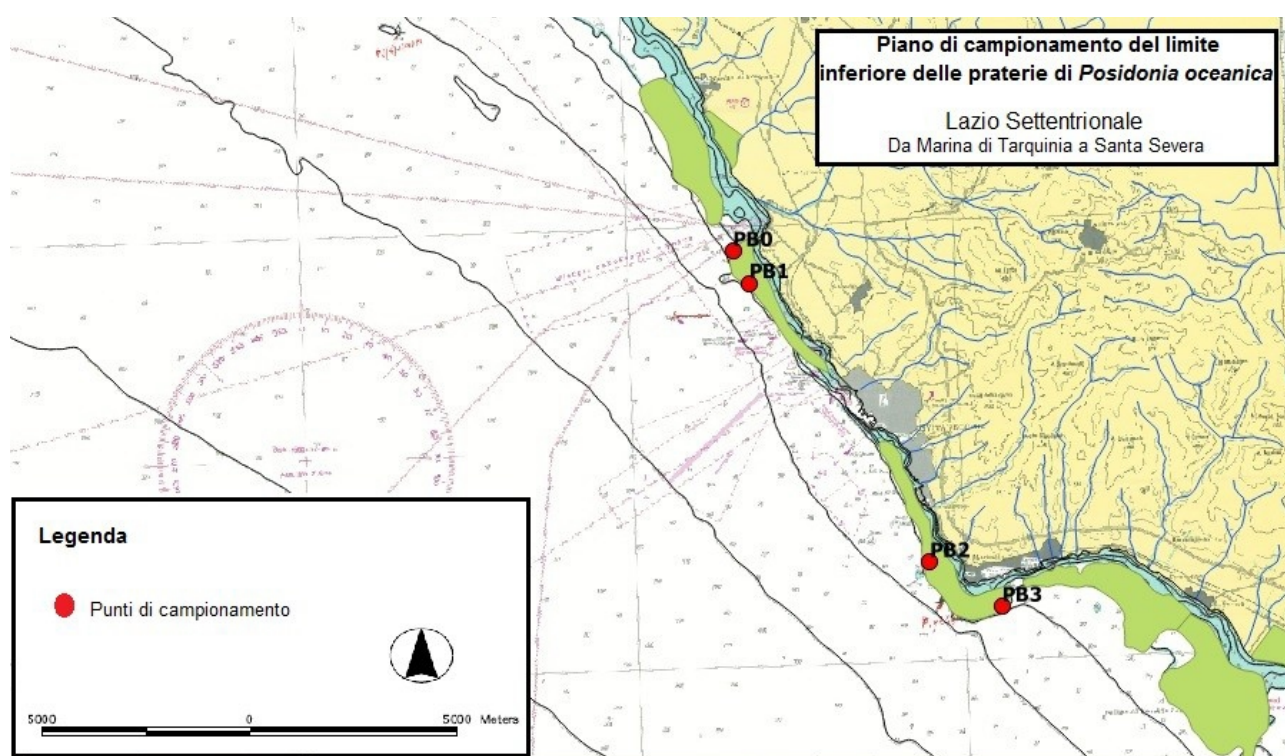


Fig 1. Carta dei SIC compresi nell'area di studio e localizzazione dei punti di campionamento e analisi

2. MATERIALI E METODI

Le attività di rilevamento e campionamento di questa ultima fase di monitoraggio sono state condotte a giugno 2018.

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.

Per valutare la dinamica del limite inferiore nelle praterie selezionate, come già specificato, durante il primo anno di indagine 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 (balise), contrassegnati da numeri progressivi, sono stati posizionati a stretto contatto con il 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 alla sistemazione dei balise e ad ogni fase di monitoraggio, si è provveduto alla caratterizzazione fisiografica e strutturale del limite inferiore delle praterie.

Le fasi di monitoraggio del limite inferiore sono state così temporizzate: la prima nel periodo compreso tra giugno e luglio 2016, la seconda ad ottobre del 2017.

Questa ultima 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.

L'indagine in situ è stata condotta utilizzando sistemi A.R.A. attraverso lo studio delle variabili macrostrutturali della prateria:

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/m²)
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*)

Tipologia del limite inferiore

In considerazione dell'estensione delle praterie e del diffuso processo di regressione in atto in tutto il bacino mediterraneo, risulta di fondamentale importanza la caratterizzazione dei loro limiti di distribuzione. Generalmente, si indica con limite superiore la batimetrica più superficiale a cui inizia la prateria e con limite inferiore quella più profonda a cui questa si spinge. Mentre il limite superiore dipende essenzialmente dalla pendenza del fondale e dall'idrodinamismo, il limite inferiore tiene conto anche della profondità di compensazione della specie vegetale. Ne consegue che la posizione del limite inferiore delle praterie di fanerogame dipende essenzialmente, oltre che dalla specie, dalla trasparenza media dell'acqua. La *Posidonia oceanica* è, tra le fanerogame marine, quella che estende il suo areale di distribuzione alle profondità maggiori (anche superiori ai 30-35 metri) ed è l'unica a presentare una tipologia del limite inferiore differente a seconda delle condizioni ambientali. Vengono infatti riconosciute quattro diverse tipologie di limite inferiore (Meinesz e Laurent, 1978):

- Limite progressivo, riconoscibile per la presenza di rizomi plagiotropi che si estendono parallelamente in direzione del pendio del fondo e dall'assenza della matte; il ricoprimento della prateria è caratterizzato da un decremento abbastanza regolare fino al limite e indica che la progressione batimetrica della prateria è in atto e non è condizionata dalla graduale diminuzione della luce.
- Limite netto, caratterizzato da un'interruzione netta della prateria, dall'assenza di matte e dalla presenza di rizomi sia plagiotropi sia ortotropi; la prateria presenta un brusco decremento del ricoprimento influenzato soprattutto dalla riduzione dell'intensità luminosa.
- Limite erosivo, caratterizzato dalla presenza di un evidente scalino di matte dopo il quale il ricoprimento è quasi assente e dalla prevalenza di rizomi ortotropi; l'idrodinamismo è il fattore che maggiormente condiziona lo sviluppo della prateria.
- Limite regressivo, caratterizzato dalla presenza di un'estesa superficie di matte morta su cui

si ritrovano isolati ciuffi di *Posidonia*; tale limite è indicatore di fenomeni di regressione della prateria legati, soprattutto, all'aumento della torbidità delle acque.

Il metodo più affidabile per determinare la dinamica dei limiti, come già accennato, prevede il posizionamento sul fondo di corpi fissi di riferimento (balisage). Questa tecnica permette per le praterie di *Posidonia oceanica* di valutare (direttamente in situ), nel tempo, le variazioni del limite inferiore.

Densità

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 e 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 e da questi valori raccolti sul campo è stato possibile calcolare la densità assoluta, ottenuta come valore medio dei dati rilevati nei singoli quadrati ed espressa in fasci/m² (Giraud, 1977). 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”.

Copertura

Una ulteriore variabile che integra le stime di densità nella descrizione strutturale di una prateria è rappresentata dalla copertura, espressa come percentuale di fondale ricoperto dalle piante rispetto a quello non coperto e costituito da sabbia, roccia, matre morta, ecc. La stima della percentuale di fondo ricoperto dalla pianta viene effettuata con rilevamento diretto ricavando la copertura dal rapporto percentuale di subquadrati con presenza di ciuffi rispetto a quelli privi, conteggiati all'interno di un quadrato 40×40 cm, suddiviso in 16 subquadrati.

Rapportando i valori di densità assoluta dei fasci fogliari ai valori di ricoprimento percentuale del fondo con P. oceanica è stata stimata la densità relativa in corrispondenza di ciascuna stazione.

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 (m^2/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 °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°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 (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 2017, è stata calcolata, solo per questo anno, la produzione fogliare.

Per il calcolo della produzione fogliare annua (g p.s) per fascio (e per m² 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 2017

D = densità fogliare media (g cm⁻¹) 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 inoltre prelevati 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 ϕ ($\Phi = -\log_2$ 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. Si conferma una situazione di sofferenza già precedentemente evidenziata, con fasci fogliari fragili che si distaccano facilmente dai rizomi.

In questa stazione, al limite inferiore, la prateria ha una densità media assoluta di 146.9 ± 52 fasci/m², considerato che la copertura è del 57.3 %, la sua densità relativa risulta di 83.1 fasci/m². 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/m², 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.

La densità assoluta, in prossimità del limite inferiore, è di 132.3 ± 41 fasci/m², la copertura è del 37.5 % e la densità relativa risulta di 50.5 fasci/m².

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/m², è da considerare “disturbata” con densità bassa (DB).

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 144.8 ± 37.4 fasci/m² risultando, secondo la classificazione proposta, in uno stato disturbato con densità bassa (DB). Considerato che la copertura è del 44.8 %, la sua densità relativa risulta di 65.4 fasci/m².

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

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 292.7 ± 47 fasci/m². Considerato che la copertura è del 38.5%, la sua densità relativa risulta di 108.3 fasci/m².

Non è stata riscontrata la presenza di *Cymodocea nodosa* in nessuna replica mentre la presenza di *C. racemosa* è del 10%.

In base alla classificazione proposta da Buia et al. (2003), la prateria nel limite inferiore, avendo valori medi di densità assoluta compreso tra 282 e 506 fasci/m², è da considerare “in equilibrio” con densità normale (DN). Bisogna tenere presente che, pur mostrando la prateria una struttura discontinua in funzione del substrato presente, la conta dei fasci fogliari per la stima della densità si realizza nei quadrati posizionati casualmente in aree effettivamente occupate dalla prateria.

Stazione	Profondità	Substrato	Densità assoluta (fasci/m ² ± dev. st.)	Copertura (% ± dev. st.)	Densità relativa (fasci/m ² ± dev. st.)
PB0	20.5	SABBIA con affioramenti rocciosi	146.9 ± 52	57.3 ± 11.5	83.1 ± 30
PB1	21	SABBIA E MATTE	132.3 ± 41	37.5 ± 8.8	50.5 ± 22.4
PB2	20	SABBIA grossolana	144.8 ± 37.4	44.8 ± 4.7	65.4 ± 19.1
PB3	13	SABBIA e ROCCIA	292.7 ± 47	38.5 ± 18.7	108.3 ± 47.1

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

I rilevamenti in immersione hanno permesso di ricavare i parametri descrittivi del limite, riportati in tabella 3 e di seguito analizzati per ciascuna stazione. Per quanto riguarda il parametro “percentuale di matite morta” bisogna tener conto che nel periodo estivo la sua misura può essere affetta da un errore che porta ad una lieve sottostima legata allo sviluppo massimo dell’apparato fogliare.

PB0: nella fascia del limite inferiore si registra la presenza di matite morta che copre circa il 45% del fondale e la presenza di rizomi plagiotropi del 30%, tali valori sono confrontabili con quelli del 2017; dai valori rilevati in immersione relativi alla distanza delle piante dai balise si evince che tale limite si presenta con interdigitazioni che mostrano una lieve regressione solo a livello del picchetto 2 mentre i picchetti 1 e 3 rimangono più interni alla prateria che in quelle aree si mostra in progressione.

I valori di scalzamento medio dei rizomi è di 6.4 cm e 3.6 cm rispettivamente per gli ortotropi e i plagiotropi e non si discostano dalle misure prese nel rilievo precedente.

PB1: il limite è di tipo erosivo caratterizzato da un gradino di matite di circa 21 cm, il fattore che limita la colonizzazione del fondale da parte delle piante è presumibilmente l’idrodinamismo. Si continua a registrare una lieve variazione positiva della distanza del limite dai picchetti 2 e 3

rispetto al rilievo del 2016 ma non dal picchetto centrale (numero 1), mentre l'aumento delle misure di scalzamento dei rizomi ortotropi e plagiotropi (valori medi di 14.6 cm e 11.8 cm rispettivamente) si riflette sulla diminuzione del gradino di matte evidenziando un processo erosivo in atto. La percentuale di matte morta registrata risulta confrontabile a quella rilevata nel 2017.

PB2: si conferma la presenza di un limite netto, con distanza dai picchetti pressochè uguale a quella del rilievo precedente, anche se in alcune zone si suppone una tendenza alla regressione messa in evidenza dalle digitazioni sabbiose che entrano all'interno della prateria; la matte morta occupa circa il 20% del fondale. Lo scalzamento dei rizomi ha un valore medio di 6.2 cm e 3.2 cm rispettivamente per gli ortotropi e i plagiotropi.

PB3: nella prateria di Santa Marinella la complessità geomorfologica del fondale determina una prateria strutturalmente eterogenea, con un limite che non sempre si riesce ad evidenziare, la tipologia di substrato di impianto, roccia con catini sabbiosi, impedisce una colonizzazione omogenea. La percentuale di rizomi plagiotropi resta uguale a quella del rilievo precedente ma non si può confermare una tendenza progressiva in assenza dei picchetti; la percentuale di matte morta si mantiene bassa (5%) ciò anche in risposta al fondale di impianto; non si evidenzia uno scalzamento dei rizomi sul limite, poiché questi rimangono piuttosto stabili e ancorati al substrato.

Stazione	Tipologia limite	Tipologia prateria	plagiotropi/ ortotropi	Matte morta (%)	Scalzamento medio rizomi ortotropi (cm)	Scalzamento medio rizomi plagiotropi (cm)
PB0	Tendenza alla regressione in alcune aree	Pura	30-70	45	6.4	3.6
PB1	erosivo	Pura	40-60	55	14.6	11.8
PB2	netto/ tendenza regressione	Pura	40-60	20	6.2	3.2
PB3	Netto	Mista	35-65	5	2.4	1.4

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	+8	+9	0
PB1	-2	-20	-40
PB2	-12	assente	-50
PB3	assente	assente	assente

Tab. 4. Distanze relative tra i fasci fogliari e i 3 picchetti nelle 4 stazioni esaminate. Il picchetto centrale nella stazione PB2, riposizionato nel 2017, non è stato ritrovato

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 5.3 foglie per fascio. La superficie fogliare media di ciascun fascio è risultata di 223.6 cm² mentre il coefficiente "A" delle foglie adulte è pari a 27.3% e pari a 4.6% per le intermedie. L'indice di superficie fogliare (LAI, Leaf Area Index) della stazione, ottenuto integrando il valore della superficie fogliare con le stime di densità dei fasci al metro quadro, è risultato di 3.3 m²/m². 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 1.02 $\pm$ 0.27 (g/fascio)

PB1

La composizione media fogliare (adulte + intermedie) è di 5.2 foglie per fascio, che sviluppano una superficie fogliare di 212.2 cm²; riportando questo valore alla densità media dei fasci al m² si ottiene il valore del LAI pari a 2.8 m²/m². Il Coefficiente A, rapporto percentuale di foglie con apice eroso sul totale, risulta di 31.9 % per le adulte, mentre risulta nullo per le intermedie avendo presentato quest'ultime sempre apice integro. I valori di biomassa fogliare risultano di 0.905 g/fascio.

PB2

Il numero medio di foglie per fascio (adulte + intermedie) è di 5.0, con una superficie fogliare sviluppata per fascio (desunta dai valori morfometrici delle foglie adulte e intermedie) di 189.6 cm². Il valore dell'indice di superficie fogliare è di 2.7 m²/m², mentre il coefficiente A delle foglie adulte ha un valore medio del 28.5 (nullo per le intermedie per le quali si è registrato sempre apice integro). La biomassa fogliare registrata è di 0.943 g/fascio.

PB3

In questa stazione il numero medio di foglie per fascio è di 5.4 (adulte + intermedie), con una superficie fogliare di 226.9 cm². Mostrando questa stazione i valori più elevati di densità dei fasci fogliari, presenta anche un valore di LAI più elevato pari a 6.6 m²/m²; il valore di Coefficiente "A" delle foglie adulte è pari al 20.8 % mentre per le foglie intermedie il valore è di 23.6 %. La biomassa fogliare è di 0.993 g/fascio.



Stazione	N. medio foglie/fascio	N. foglie intermedie	N. foglie adulte	Lunghezza-larghezza foglie intermedie (cm)	Lunghezza-larghezza foglie adulte (cm)
PB0	5.3	2.1	3.2	52.1 – 0.9	46.7 – 1.0
PB1	5.2	2	3.2	56 – 0.8	42.9 – 1.0
PB2	5.0	2.0	3.0	47 – 0.9	37.7 – 1.0
PB3	5.4	2.3	3.1	48.6 – 0.9	45.4 – 1.0

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

Stazione	Superficie fogliare (cm ² /fascio)	Coefficiente A foglie intermedie (%)	Coefficiente A foglie adulte (%)	LAI (m ² / m ²)	Biomassa fogliare (g)
PB0	223.6	4.6	27.3	3.3	1.018±0.274
PB1	212.2	0	31.9	2.8	0.905±0.213
PB2	189.6	0	28.5	2.7	0.943±0.443
PB3	226.9	23.6	20.8	6.6	0.993±0.295

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

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	7.4±1.1	0.47±0.18	0.051±0.030	1.95
PB1	7.0±1.1	0.37±0.15	0.034±0.017	1.61
PB2	7.2±1.0	0.47±0.22	0.043±0.025	1.76
PB3	7.1±1.0	0.54±0.19	0.052±0.024	1.59

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 9, con una media di 4.7 ± 2.2 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 7.4 ± 1.1 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 2014.

Il tasso di crescita in lunghezza del rizoma (cm/anno) è risultato pari a 0.47 ± 0.18 mentre l'incremento ponderale annuo per rizoma ha mostrato un valore medio ($\pm$ dev.st.) di 0.051 ± 0.030 (g p.s. anno⁻¹)

La produzione fogliare, intesa come biomassa secca delle foglie prodotta annualmente per fascio e per m² di prateria, è stata stimata solo per l'ultimo ciclo lepidocronologico completo (anno 2017) rilevato sui rizomi campionati. Questo perché, come già accennato nel capitolo relativo alla metodologia, scaglie fogliari integre sono state ritrovate quasi esclusivamente nell'anno precedente a quello di campionamento, dalla lunghezza media di tali scaglie è stata stimata la lunghezza teorica delle foglie e quindi la produzione fogliare media relativa al ciclo lepidocronologico considerato. La produzione fogliare calcolata è di 1.95 g p.s. fascio⁻¹ anno⁻¹, pari a 286.84 g m⁻² anno⁻¹ per il limite inferiore della prateria.

PB1

Nei rizomi ortotropi è stato registrato un numero di cicli variabile da un minimo di 1 (un solo rizoma) a un massimo di 14 con una media di 6.8 ± 4.1 cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di 7.0 ± 1.1 e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9. Non sono stati rinvenuti peduncoli floreali.

La crescita annuale del rizoma in centimetri ha un valore medio di 0.37 ± 0.15 . Per quanto riguarda la produzione annuale del rizoma è stato stimato un valore medio ($\pm$ dev.st.) pari a 0.034 ± 0.017 (g p.s. anno⁻¹)

La produzione fogliare media stimata è di 1.61 g p.s. fascio⁻¹ anno⁻¹ che risulta di 212.68 g al m² all'anno.

PB2

Nei rizomi ortotropi è stato registrato un numero di cicli variabile da un minimo di 2 a un massimo di 20 con una media di 8.7 ± 5.1 cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di 7.2 ± 1.0 e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9. L'allungamento annuale medio del rizoma è pari a 0.47 ± 0.22 (cm/anno) con una produzione di 0.043 ± 0.025 (g/anno).

La produzione fogliare media stimata, determinata sempre utilizzando le scaglie integre rinvenute nell'anno 2017, è di 1.76 g p.s. fascio⁻¹ anno⁻¹ pari ad un valore di 255.05 g m⁻² anno⁻¹

PB3

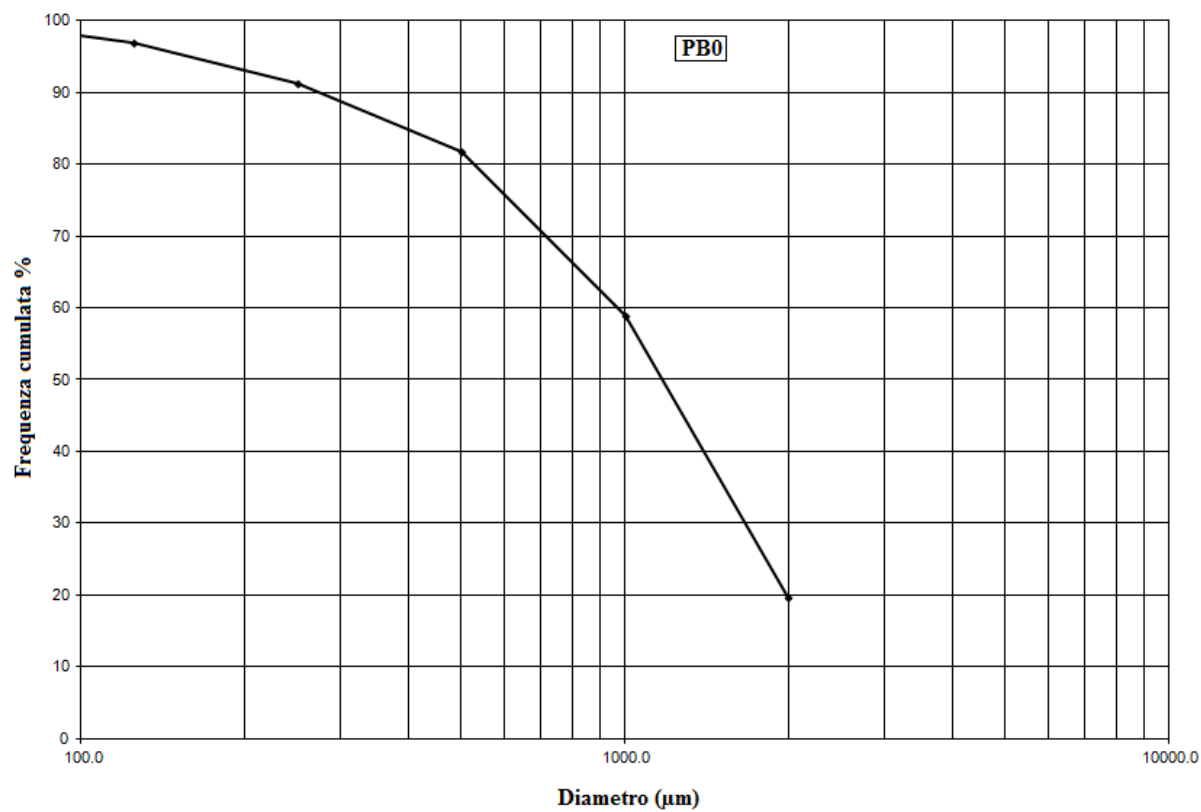
Il numero di cicli registrato nei rizomi ortotropi varia da un minimo di 2 a un massimo di 12 con una media di 6.0 ± 3.4 cicli per rizoma. Il numero medio di scaglie riscontrato per ciascun ciclo è di 7.1 ± 1.0 e varia da un minimo di 5 ad un massimo di 9.

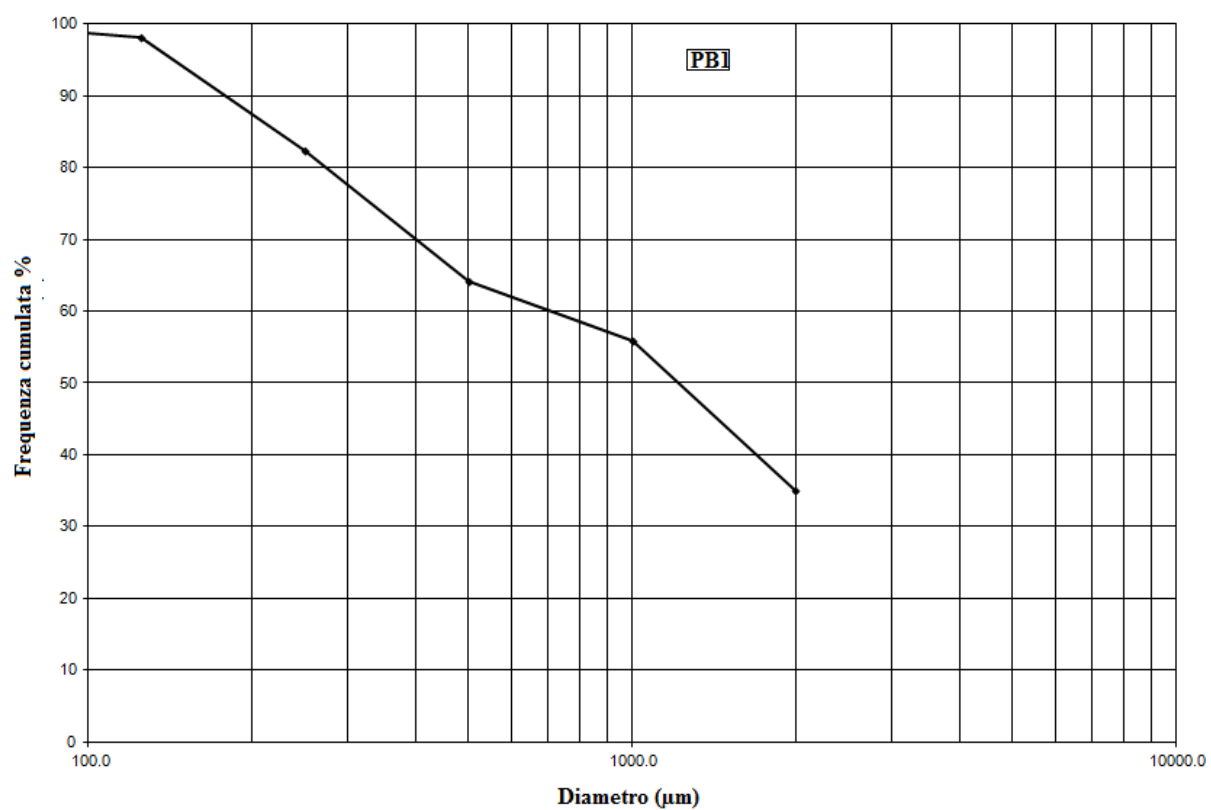
I valori medi di allungamento annuale e produzione annuale per rizoma risultano rispettivamente di 0.54 ± 0.19 cm/anno e di 0.052 ± 0.024 g/anno.

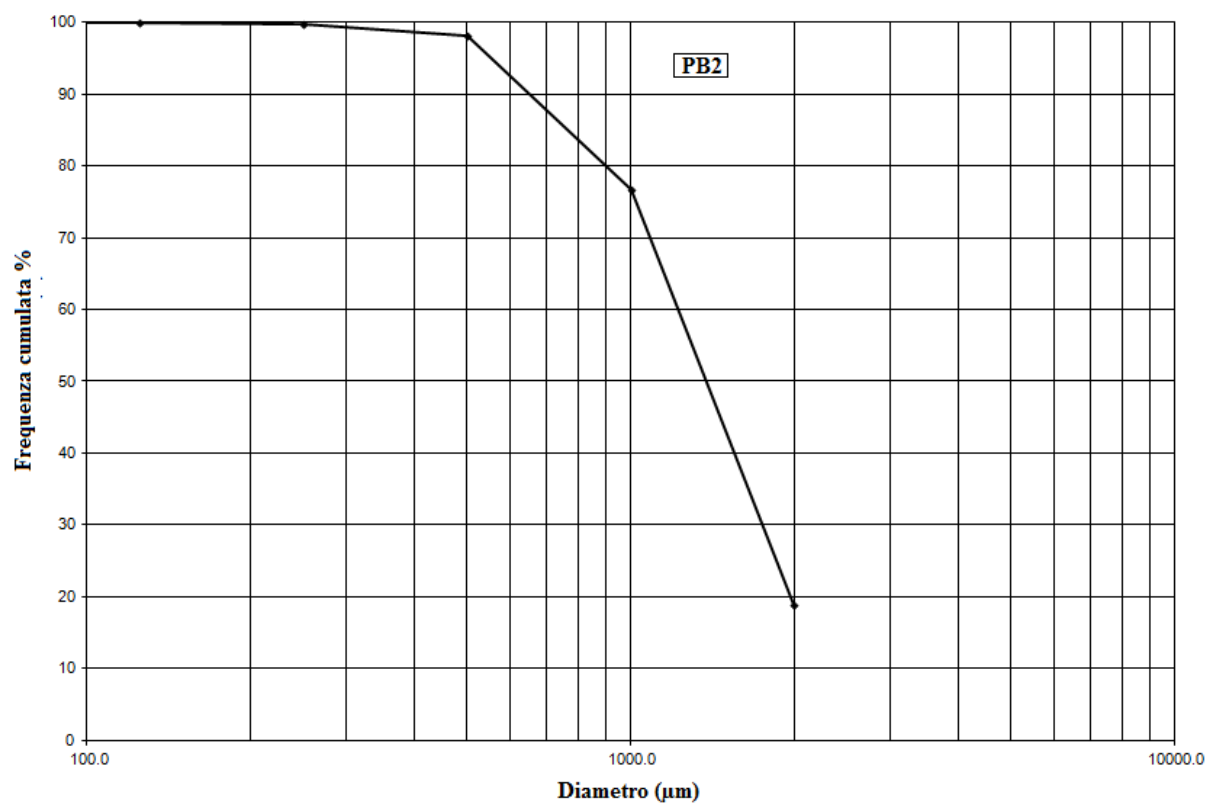
La produzione fogliare media stimata è di 1.59 g p.s. fascio⁻¹ anno⁻¹, considerati i valori di densità più elevati per questa stazione, la produzione al metro quadrato risulta di 466.3 g m⁻² anno⁻¹

3.3 Analisi granulometriche

In Figura 2 sono riportate le curve di frequenza cumulata percentuale relative alla frazione sabbiosa delle quattro stazioni di campionamento PB0, PB1, PB2 e PB3. 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). La percentuale di fanghi, invece, è risultata minore dell' 1% in tutti i campioni analizzati.







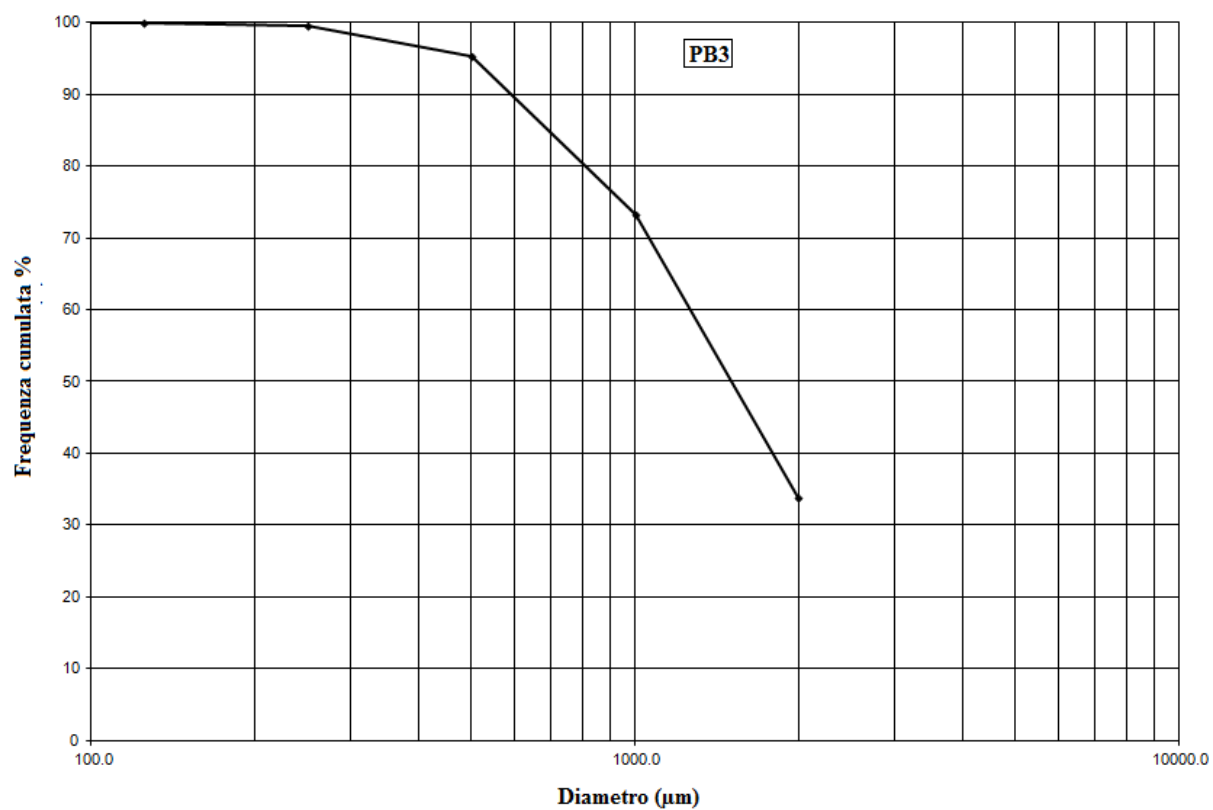


Fig. 2. Distribuzione granulometrica (Frequenza cumulata %) dei campioni nelle stazioni PB0, PB1, PB2 e PB3.

4. DISCUSSIONI CONCLUSIVE

Questa ultima fase di monitoraggio ha lo scopo di raccogliere informazioni su possibili 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.

A tale scopo, le osservazioni condotte in questo studio sono state integrate con i risultati delle fasi di monitoraggio precedentemente eseguite.

I risultati ottenuti dall'analisi dei descrittori strutturali (densità assoluta, densità relativa e ricoprimento del fondo) evidenziano il generale stato di sofferenza delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti sui fondali dell'area indagata.

I valori di densità assoluta in tutti i siti monitorati identificano praterie rade o molto rade secondo la classificazione di Giraud (1977). Prendendo in considerazione anche il fattore batimetrico, le praterie risultano quasi sempre in una condizione di densità bassa, densità che rispecchiano situazioni di praterie disturbate (Buia et al., 2003). Solo la stazione posizionata sul limite inferiore del sito PB3 (Santa Marinella) mostra densità normali che individuano una porzione di prateria in equilibrio. I valori registrati nel tempo non mostrano, comunque, variazioni sostanziali, soprattutto in considerazione della variabilità strutturale delle praterie a piccola scala spaziale.

I rilevamenti in immersione hanno permesso di evidenziare situazioni evolutive differenti nei vari siti.

La prateria di Sant'Agostino (PB0) a livello del suo limite inferiore si mostra in sofferenza, con piante fragili che si staccano facilmente, percentuale di matte morta che è andata ad aumentare dal rilievo del 2015 ed una iniziale regressione in alcune aree.

La prateria in località "La Frasca" (PB1), con un limite di tipo erosivo, mostra variazioni in particolare riguardo all'aumento percentuale di matte morta e conseguente diminuzione della copertura del fondo da parte della *Posidonia*, rilevate negli ultimi anni di monitoraggio.

Nella prateria in località Capo Linaro (PB2) non sono stati evidenziati particolari cambiamenti in atto anche se alcune aree sembrano sottoposte a disturbo che determina la formazioni di canali sabbiosi.

La porzione profonda della prateria in località Santa Marinella (PB3), vicina al limite inferiore, presenta un grado di copertura del fondale basso e una elevata complessità strutturale del ricoprimento che dipende strettamente dalla struttura geomorfologica del sito. La conformazione della prateria rende difficoltoso individuare l'esatta posizione del limite inferiore e determinarne la tipologia; i fasci fogliari nelle aree esaminate appaiono ben saldi al substrato ma la presenza di *Caulerpa racemosa* che colonizza primariamente la matte morta può essere un segnale di allarme dell'espansione di questa specie invasiva.

La regressione delle praterie di *P. oceanica* può infatti portare ad un "cambiamento di fase" nell'ecosistema (phase shift), che inizia con la comparsa della matte morta per poi evolvere, aggravandosi, verso la sostituzione con altre specie a minore capacità strutturante.

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. Tenendo in conto tali possibili fattori di variazione, i risultati del monitoraggio hanno evidenziato valori confrontabili e all'interno del range di variazione ritrovato 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, così come i valori di biomassa fogliare relativamente ai parametri morfometrici rilevati.

La variabilità rilevata in queste fasi di monitoraggio anche per i descrittori 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, è stato inoltre 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.

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 nelle diverse fasi di monitoraggio e sempre compresi nel range di variazione riscontrato in altre praterie del Tirreno centrale.

La tecnica lepidocronologica ha permesso il ritrovamento di peduncoli fiorali e quindi la datazione degli eventi di fioritura; in particolare per la prateria di Sant'Agostino ciò è avvenuto nel ciclo lepidocronologico corrispondente all'anno 2013 e 2014. Al di là della datazione precisa, visto lo sfasamento temporale possibile tra ciclo lepidocronologico e anno solare, si sottolinea l'importanza di registrare un evento relativamente raro e di difficile acquisizione.

5. REPORT FOTOGRAFICO

Selezione delle foto relative ai picchetti posizionati sul limite inferiore

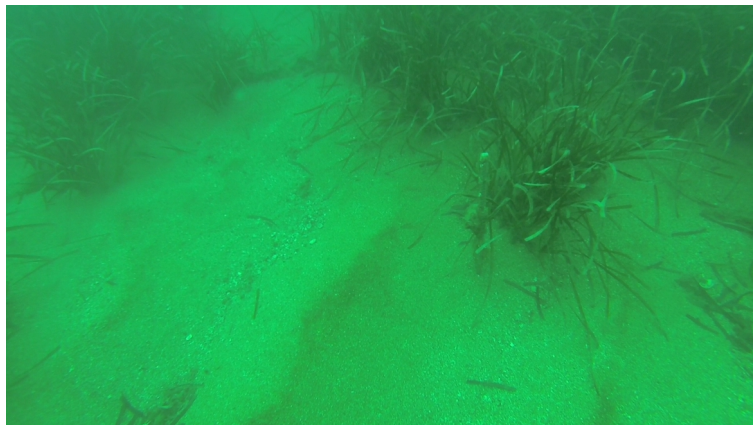
PB0 – località Sant'Agostino



PB 1 – località La Frasca



PB 2 – Località Capo Linaro



PB 3 – Località Santa Marinella

In seguito al mancato ritrovamento dei picchetti vengono riportate le immagini relative al limite nei punti corrispondenti alle coordinate di posizionamento degli stessi.

Inoltre, allo scopo di osservare l'evoluzione del limite inferiore anche in monitoraggi futuri e al fine di raccogliere dati utili alla prosecuzione del progetto di ricerca, è stata predisposta l'attività di riposizionamento di n°3 picchetti mediante l'ausilio di operatori subacquei.



Centrale



Destra



Sinistra

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.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RaMoGe publication, Monaco, 202 pp.

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

Standard, A. S. T. M. D422-63, 1998 - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998.