



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche

Corso di Dottorato di Ricerca in

Ecologia e gestione delle risorse biologiche

XXV Ciclo

**ANALISI SPAZIALE E TEMPORALE DELLO STATO DI SALUTE DELLE PRATERIE DI
POSIDONIA OCEANICA PRESENTI LUNGO IL LITORALE DI CIVITAVECCHIA**

Settore Scientifico Disciplinare – BIO/07

Tesi di dottorato di:

Dott. Valentina Gnisci

Valentina Gnisci

Coordinatore del corso

Prof. Giuseppe Nascetti

Giuseppe Nascetti

Firma

Tutore

Prof. Marco Marcelli

Firma

Marco Marcelli

Giugno 2014

INDICE

Abstract

Riassunto

PARTE I. INTRODUZIONE	1
1. La <i>Posidonia oceanica</i>	4
1.1 Struttura e morfologia della <i>Posidonia oceanica</i>	4
1.2 Strategie riproduttive della <i>Posidonia oceanica</i>	15
1.3 Distribuzione ed ecologia della <i>Posidonia oceanica</i>	18
2. L'ecosistema <i>Posidonia oceanica</i>	21
2.1 Struttura delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	21
2.2 Importanza delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	23
2.3 Caratterizzazione e valutazione dello stato di salute delle praterie	27
2.2.1 Descrittori sintetici strutturali	27
2.2.2 Descrittori sintetici funzionali	30
2.2.3 Descrittori derivati	31
2.4 Conservazione delle praterie di <i>Posidonia</i> e quadro normativo	31
2.5 Disturbi naturali ed antropici sulle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	33
2.6 Studio dei cambiamenti delle praterie a medio e lungo termine	36
3. Utilizzo dei modelli idrodinamici e di trasporto solido nella valutazione degli impatti delle attività antropiche sugli ecosistemi marini costieri	41
4. Scopo del lavoro	44
PARTE II. MATERIALI E METODI	
5. Inquadramento dell'area di studio	45
5.1 Geologia, morfologia ed idrografia della fascia costiera	46
5.2 Caratterizzazione sedimentologica dei fondali antistanti l'area di Civitavecchia	51

5.3 Caratterizzazione meteomarina e dinamica costiera	52
5.4 Le praterie di <i>Posidonia oceanica</i> lungo la costa del Lazio settentrionale: raccolta dei dati pregressi	53
5.4.1 Campagne di monitoraggio delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> nel Lazio e restituzione cartografica	60
5.5 Cambiamenti nell'uso del suolo	62
5.6 Inquadramento delle attività antropiche incidenti lungo la costa	65
5.6.1 Descrizione delle attività di riassetto logistico della costa	68
6. Campionamento ed analisi dei dati	70
6.1 Piano di campionamento	70
6.2 Analisi dei descrittori strutturali: descrizione dei rilievi <i>in situ</i> , campionamento e conservazione dei campioni	72
6.3 Analisi di laboratorio: morfometria delle piante	74
7. Raccolta ed analisi dei dati abiotici	76
7.1 Dati pluviometrici	76
7.2 Dati delle portate del fiume Tevere	76
7.3 Dati ottici satellitari	77
7.4 Modelli utilizzati per le simulazioni del campo idrodinamico e per la dispersione del sedimento	80
7.4.1. Propagazione del moto ondoso: Modello STWAVE	80
7.4.2. Dispersione del materiale in sospensione: modello Delft3D	84
PARTE III. RISULTATI	
8. Analisi spaziale dello stato di salute delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	91
8.1 Descrittori strutturali: densità assoluta dei fasci fogliari e densità relativa	92
8.2 Descrittori funzionali: morfometria dei fasci fogliari	104
9. Analisi temporale delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	121
9.1 Descrittori strutturali	122
9.2 Descrittori funzionali (fenologia)	127
10. Analisi della variazione temporale dei parametri ambientali	137

10.1 Variazione temporale dei regimi pluviometrici e delle portate del Tevere	137
10.2 Variazione temporale del coefficiente di attenuazione della luce a 490 nm (K_d 490)	140
11. Risultati del modello di simulazione della dispersione del sedimento in sospensione	141

PARTE IV. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

12. Discussione	152
12.1 Analisi spaziale dei descrittori strutturali e funzionali	153
12.2 Analisi temporale dei descrittori strutturali e funzionali	155
12.3 Analisi temporale delle variabili ambientali	155
12.4 Simulazione della dispersione del sedimento in sospensione attraverso i modelli numerici	157
13. Conclusioni	160

BIBLIOGRAFIA

Spatial and temporal analysis of health status of *Posidonia oceanica* meadows along Civitavecchia coast (Latium, Italy)

PhD student: Valentina GNISCI

Tutor: Prof. Marco MARCELLI

Coordinator: Prof. Giuseppe NASCETTI

Abstract

Posidonia oceanica is an endemic seagrass of Mediterranean Sea and it forms wide meadows along all the coast of the basin, from surface to 40 m depth; the importance of *Posidonia oceanica* meadows in keeping coastal ecological equilibrium is well known all over the world. The principal causes of meadows regression are the reduction of water column transparency and the variation in sediment balance along shore. These are due to the change of land use, the typology of sediments transported by rivers and to the modification of coastline.

The study area is located on northern Latium, in particular Civitavecchia coast; this area is characterized by the presence of a complex geomorphology, consequently *P. oceanica* meadows have settled on both sandy and rocky bottoms, showing a highly fragmented landscape. Furthermore, there are several human activities that influence the health status of coastal marine ecosystems; as example, numerous dredging were performed in the port of Civitavecchia, which may have modified water column transparency.

The aim of this work is to study spatial and temporal variability of *Posidonia oceanica* meadows along Civitavecchia coast in relation to the variation of environmental factors, in particular water column transparency.

Evaluation of health status of *Posidonia oceanica* meadows was carried out through field activities, i.e. scientific diving, and laboratory analysis during June 2013; previous studies have allowed to investigate the evolution of health status of meadows from 2002 to 2013. Environmental data have been collected during the same period. Informations of water column transparency has been achieved through remote sensing data, as a light coefficient attenuation at 490 nm ($K_d 490$); to estimate the quantities and qualities of sediment transported by rivers, land use and rainfall data has been collected from Corine programme and regional hydrographic services. Furthermore, the use of mathematical models has made possible the simulation of the dispersion of suspended particles coming from river mouths and dredging activities; this has allowed to evaluate the influence of natural and anthropic disturbances on *Posidonia oceanica* meadows.

Spatial analysis of health status of meadows has shown the presence of a complex and fragmented landscape; spatial distribution of *Posidonia* mainly depends on edaphic factors and presence of river mouths; temporal analysis has not highlighted significant differences in the health status of meadows. The analysis of environmental data and results of mathematical model have shown as dredging activities have not influenced the evolution of *Posidonia oceanica* meadows present in the area.

Analisi spaziale e temporale dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti lungo il litorale di Civitavecchia (Lazio, Italia)

Dottoranda: Valentina GNISCI

Tutore: Prof. Marco MARCELLI

Coordinatore: Prof. Giuseppe NASCETTI

Riassunto

La *Posidonia oceanica* è una pianta endemica del mar Mediterraneo che forma estese praterie dalla superficie a circa 40 mt di profondità, lungo la maggior parte delle coste del bacino; l'importanza di questa pianta nel mantenimento delle funzionalità ecologiche degli ecosistemi è ormai ampiamente riconosciuta da tutta la comunità scientifica. È una pianta estremamente sensibile alle variazioni ambientali, per tale motivo è spesso utilizzato come indicatore dello stato di qualità delle acque marino costiere (Direttiva Quadro sulle Acque, 2000/60/CE). I principali fattori che determinano la regressione delle praterie sono la diminuzione della trasparenza dell'acqua e la variazione nel bilancio sedimentario costiero; tali fattori sono causati dai cambiamenti nell'uso del suolo della fascia costiera, dalla variazione tessiturale dei sedimenti trasportati dai fiumi e dagli interventi di modificazione della costa (costruzione porti, barriere artificiali, ecc.).

Il presente studio si è svolto sulla costa settentrionale del Lazio, in particolare lungo il litorale di Civitavecchia; quest'area è caratterizzata da una geomorfologia particolarmente complessa che determina la presenza di praterie di *Posidonia oceanica* insediate sia su substrati rocciosi sia su substrati sabbiosi, mostrando un paesaggio sottomarino particolarmente frammentato. Inoltre, lungo la costa sono presenti numerose attività antropiche che influenzano lo stato di salute degli ecosistemi marini; tra queste il Porto di Civitavecchia è quello che incide maggiormente sull'ambiente costiero, soprattutto a causa delle numerose attività di dragaggio che vengono eseguite all'interno dell'area portuale e che possono modificare la delle acque.

Lo scopo del lavoro è studiare la variabilità spaziale e temporale delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti lungo il litorale di Civitavecchia, in relazione alla variazione dei parametri ambientali che ne influenzano la dinamica di crescita, in particolare le variazioni della trasparenza della colonna d'acqua.

La valutazione dello stato di salute delle praterie di *Posidonia* è stata eseguita attraverso l'esecuzione di campionamenti *in situ* eseguiti in immersione nel mese di Giugno 2013. Il confronto dei dati acquisiti durante tale campagna di misura con i dati acquisiti durante le campagne

di monitoraggio, eseguite nella stessa area tra il 2002 ed il 2005, ha permesso di studiare l'evoluzione dello stato di salute delle praterie oggetto di studio negli ultimi anni.

Per lo stesso periodo (dal 2002 al 2013) sono stati raccolti dati relativi ai parametri ambientali che influenzano la torbidità delle acque nell'area di studio; informazioni sulla trasparenza dell'acqua sono state raccolte dai dati acquisiti dalle piattaforme satellitari; la stima della quantità e della qualità del sedimento trasportato dalle aste fluviali è stata eseguita attraverso i dati relativi alle variazioni dell'uso del suolo e ai millimetri di pioggia caduta nei bacini idrografici presenti nell'area.

Inoltre l'utilizzo dei modelli matematici ha permesso di simulare la dispersione dei sedimenti provenienti dalle foci fluviali e dalle attività di dragaggio eseguite all'interno dell'area portuale di Civitavecchia; ciò ha permesso di valutare l'influenza dei disturbi naturali ed antropici sulle praterie.

L'analisi spaziale dello stato di salute della *Posidonia oceanica* non ha evidenziato la presenza di praterie continue, bensì il paesaggio sottomarino appare complesso ed eterogeneo con piccole praterie estremamente frammentate; la distribuzione spaziale della pianta è principalmente legato ai fattori edafici ed alla presenza delle foci di numerosi corsi d'acqua. L'analisi temporale dello stato di salute della pianta non ha messo in evidenza la presenza di fenomeni di regressione delle praterie nei siti campionati. L'analisi dei dati ambientali ed i risultati dei modelli numerici ha mostrato che le attività di dragaggio eseguite negli ultimi anni non hanno influenzato la dinamica di crescita della *Posidonia oceanica* presente nell'area di studio.

PARTE I. INTRODUZIONE

Le fanerogame marine sono angiosperme monocotiledoni che, circa 120 milioni di anni fa, hanno ricolonizzato l'ambiente marino. Svolgono completamente il loro ciclo vitale in acqua e sono in grado di sopravvivere in presenza salinità anche molto variabili; hanno un sistema di ancoraggio che permette di resistere all'energia del moto ondoso e utilizzano un meccanismo di impollinazione idrofilo che consente loro di colonizzare vaste aree soprattutto i substrati sabbiosi (Green e Short, 2003; Kuo e Hartog, 2001). Molte di esse sono considerate specie strutturanti (*engineering species*), in grado cioè di modificare il substrato per renderlo idoneo alla colonizzazione di altre specie e sono specie chiave degli ecosistemi che contribuiscono a costituire (Boudouresque, et al., 2006).

Le fanerogame che hanno ricolonizzato l'ambiente marino appartengono a poche famiglie con poche specie, ma costituiscono alcuni degli ecosistemi più importanti, sia dal punto di vista ecologico, sia dal punto di vista economico (Kuo e Den Hartog, 2000; Costanza, et al., 1997,1998); è stato stimato che le angiosperme marine producono circa 461 g ps/m² di materiale organico, mentre la produzione primaria è circa 2.7 g ps/m²/giorno (Duarte e Chiscano, 1999)

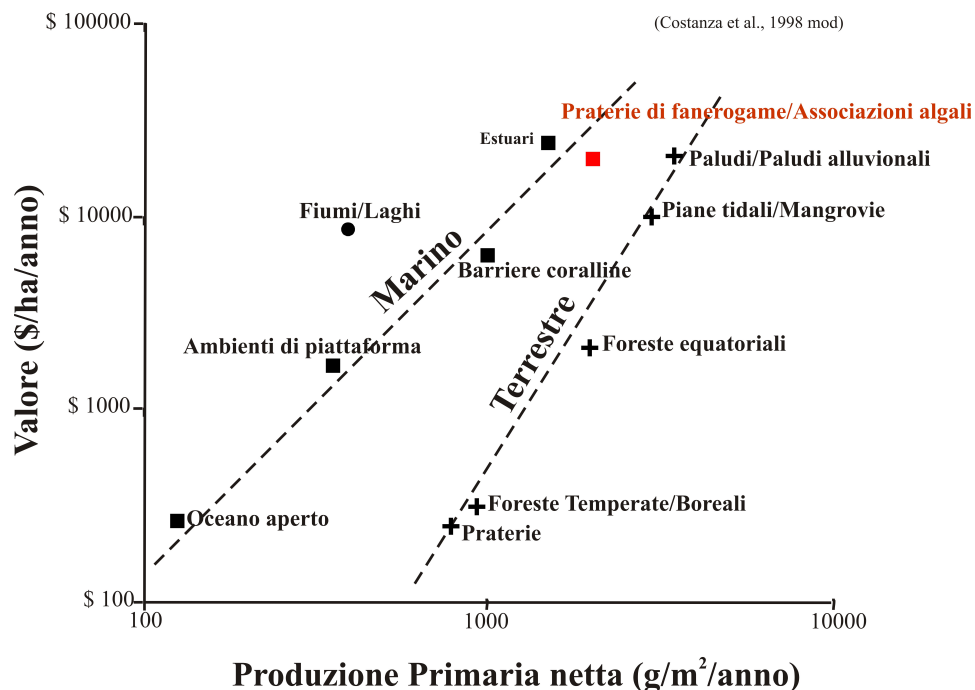


Fig. 1.1. Produzione primaria netta e valore economico per i sistemi terrestri e marini (Costanza, et al., 1998)

Queste piante formano delle associazioni vegetali monospecifiche chiamate “praterie”

I.INTRODUZIONE

ampiamente distribuite lungo tutte le coste temperate e tropicali (Fig. 3.2), costituendo così il più esteso ecosistema costiero al mondo (Kirkman, 1990).

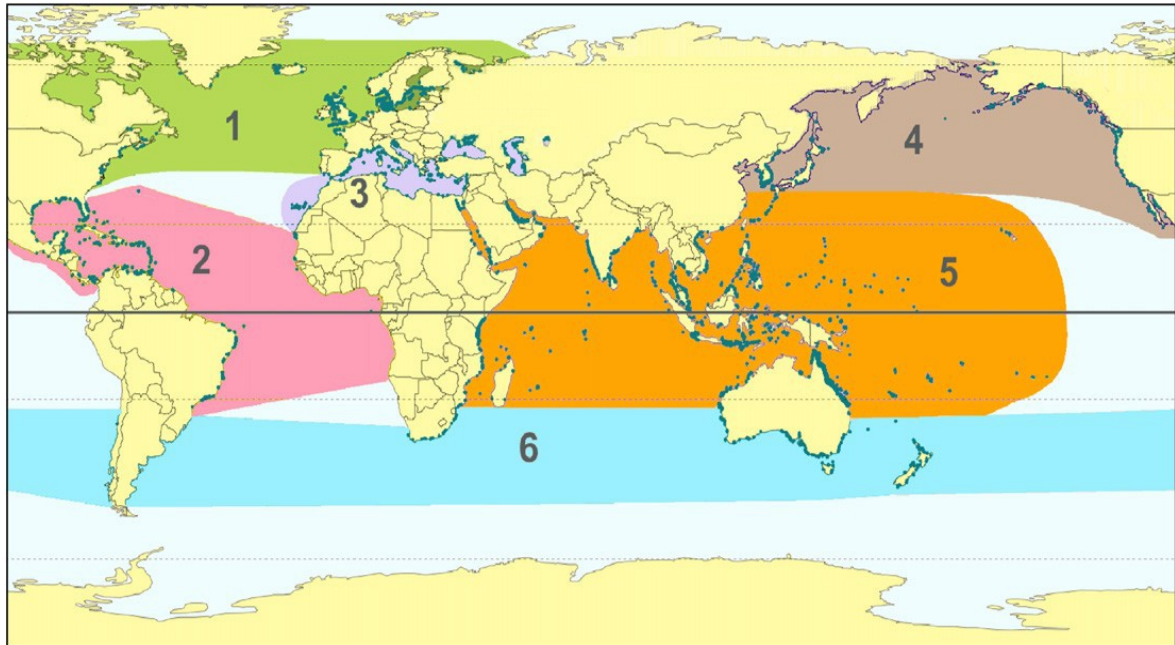


Fig. 1.2. Distribuzione mondiale delle fanerogame marine (Punti blu) nelle sei bioregioni mondiali: 1. Temperata Nord Atlantica; 2. Tropicale Atlantica; 3. Mediterranea; 4. Temperata Nord Pacifica; 5. Tropicale Indo-Pacific; 6. Temperata Oceano Australe (da Short *et al.*, 2007).

La bioregione con la più bassa diversità specifica è la Temperata Nord Atlantica in cui si ha la predominanza di *Zostera marina*, mentre quelle più ricche in specie sono le bioregioni tropicali, in particolare quella Indo-Pacifica in cui si possono osservare nello stesso habitat fino a 14 specie differenti. Il genere *Halophila* è quello che presenta il maggior numero di specie, mentre il genere *Ruppia* è il più diffuso, colonizzando le coste sia delle bioregioni tropicali che di quelle temperate (Short *et al.*, 2007).

Delle 60 specie classificate, e raggruppate in 9 famiglie (*Ordine Alismatales*), solo 7 sono presenti nel mar Mediterraneo (Short *et al.*, 2001; Green & Short, 2003):

- *Cymodocea nodosa*,
- *Halophila stipulacea*,
- *Posidonia oceanica*;
- *Ruppia cirrhosa*,
- *Ruppia maritima*,
- *Zostera marina*
- *Zostera noltii*

I.INTRODUZIONE

Posidonia oceanica e *Cymodocea nodosa* sono le specie più diffuse; la *Posidonia oceanica* forma dense e vaste praterie lungo tutta la fascia litorale spesso accompagnate dalla presenza della *Cymodocea*.

La *Posidonia oceanica*, per il ruolo ecologico che riveste nella conservazione degli ambienti marini costieri è sicuramente la specie più importante tanto che le sue praterie sono oggi considerate habitat primario di importanza comunitaria dalla Direttiva *Habitat* (92/43/CEE).

1. LA *POSIDONIA OCEANICA*

La *Posidonia oceanica* (L.) Delile (subphylum Angiospermae, classe Monocothyledonae, ordine Potamogetonales, famiglia Posidoniaceae) è una fanerogama marina endemica del Mar Mediterraneo che si inserisce nel gruppo di 60 specie di Angiosperme monocotiledoni a vita acquatica, raggruppate nell'ordine delle Alismatales; in particolare appartiene alla famiglia delle Posidoniaceae, di cui costituisce l'unico genere esistente. La pianta è organizzata in radici, fusto (rizoma, per il suo habitus ipogeo) e foglie (fig. 1.3).

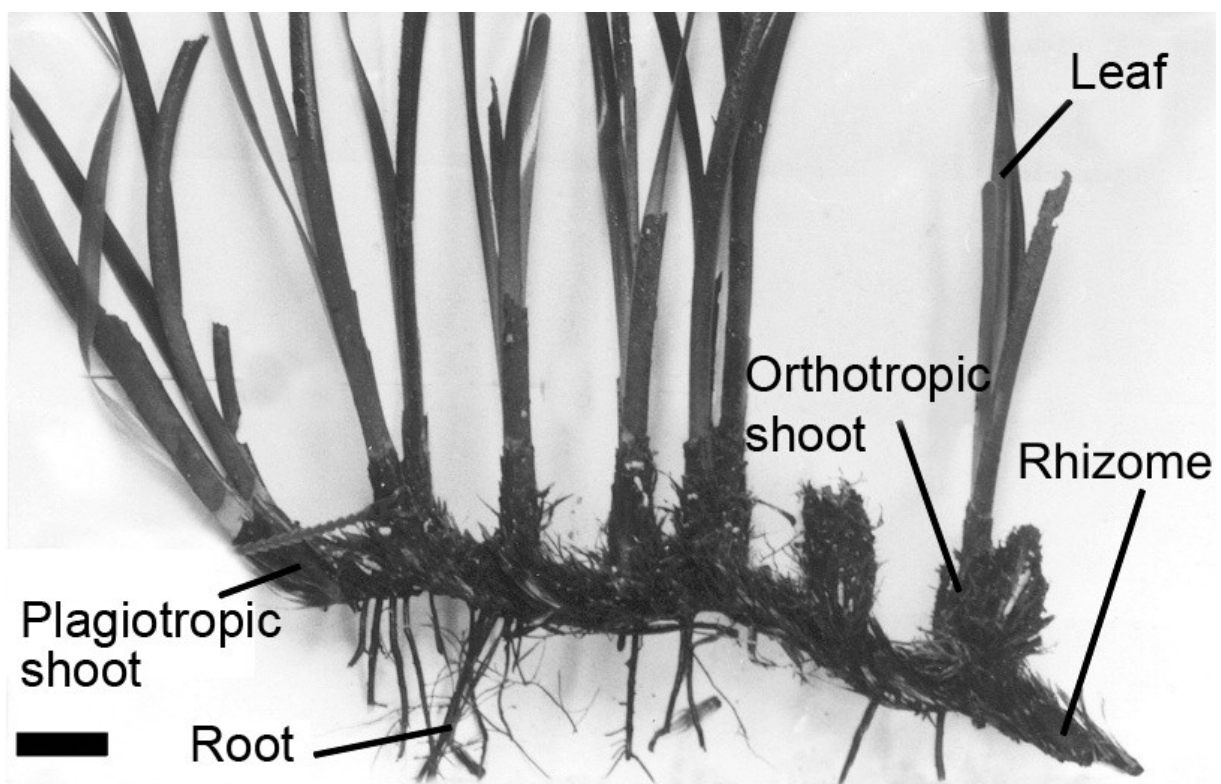


Fig. 1.3. Morfologia della *Posidonia oceanica*

1.1 Struttura e morfologia della pianta

Radici

La pianta presenta radici avventizie che si sviluppano solitamente dal lato inferiore del rizoma, generalmente in corrispondenza delle zone nodali; sono molto sottili, morbide e molto spesso ramificate (Fig. 1.4).



Fig. 1.4. Radici avventizie lungo il rizoma plagiotropo

Spesso le piante vivono in un substrato soggetto all'anossia (mancanza di ossigeno). Per questo motivo le radici, oltre ad assicurare l'ancoraggio e l'assorbimento delle sostanze nutritive, fungono da riserva di ossigeno, prodotto per fotosintesi dalle foglie e trasportato dal parenchima aerifero.

Rizoma

Il rizoma è la sede di immagazzinamento dei materiali di riserva, e, insieme alle radici, è la struttura più importante per l'assorbimento delle sostanze nutritive dal sedimento e per l'ancoraggio della pianta al substrato. Il rizoma può accrescersi per stolonizzazione sia orizzontalmente (rizoma plagiotropo) sia perpendicolarmente al substrato (rizoma ortotropo) (Mazzella *et al.*, 1986).

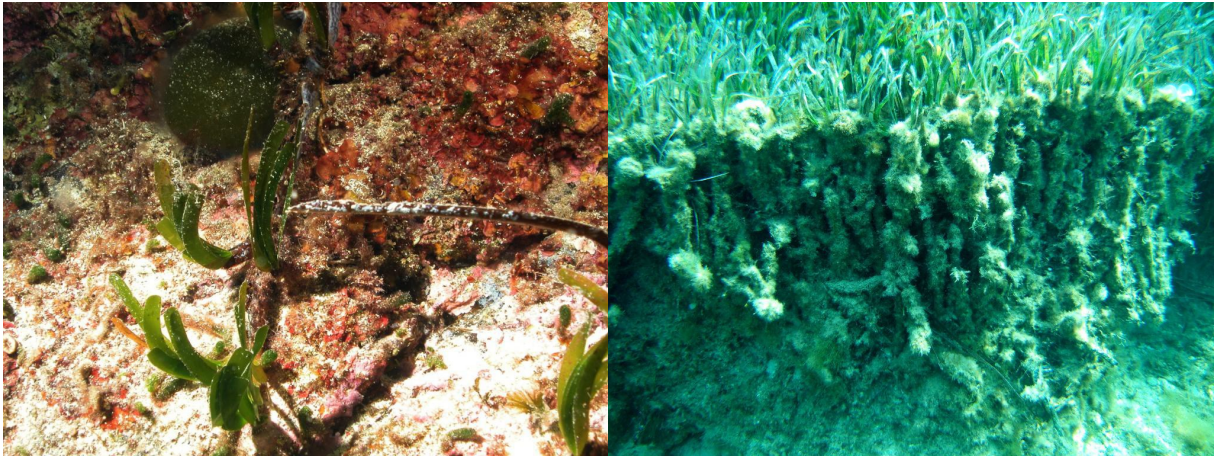


Fig. 1.5. Strategie di colonizzazione della *Posidonia oceanica*: i rizomi plagiotropi (a sinistra) permettono di colonizzare il substrato disponibile, i rizomi ortotropi (a destra) permettono alla pianta di sfuggire all'insabbiamento e alla competizione per la luce (foto da <http://www.naturamediterraneo.com/>)

Il primo permette alla pianta di colonizzare ampie porzioni di substrato, ancorandosi attraverso le radici avventizie che si formano sul lato inferiore; questo tipo di accrescimento permette alla pianta di occupare il substrato fino a che ce ne sia a disposizione; l'aumento del numero di fasci fogliari sul substrato comporta una diminuzione nella velocità di flusso lungo la colonna d'acqua, determinando un aumento nei tassi di sedimentazione del materiale presente in sospensione, portando ad un progressivo insabbiamento degli apici meristematici presenti alla base del fascio. Questo fenomeno induce la pianta alla formazione di rizomi ortotropi, che, attraverso la crescita verticale, sfuggono sia al progressivo insabbiamento, sia alla competizione della luce (Boudouresque *et al.*, 1984). A seconda del substrato a disposizione e delle condizioni ambientali, un rizoma plagiotropo può cambiare il suo orientamento di accrescimento da ortotropo a plagiotropo, e viceversa (Caye, 1980).

Nella parte superiore del rizoma è situato l'apice vegetativo da cui si originano le foglie, organizzate in ciuffi. Le singole piante, possono congiungersi le une alle altre intrecciando gli apparati radicali, dando origine a lunghi stoloni in cui è difficile distinguere le singole unità. In genere ogni unità vegetativa, che può essere lunga fino ad un metro, è costituita da numerosi rizomi sul cui apice si originano fasci di foglie.

Diversi studi eseguiti con traccianti radioattivi su praterie hanno messo in evidenza la presenza di una continuità fisiologica tra fasci distanti tra loro anche qualche metro, il che dimostra bene il fatto che il processo di riproduzione vegetativa porta alla formazioni di strutture assai complesse (Libes, 1985; Libes e Boudouresque, 1983).

La crescita dei rizomi è molto lenta; il rizoma plagiotropo si allunga di circa 5-12 cm l'anno, mentre l'ortotropo si accresce da 0,3 a 7 cm l'anno. Alcune tecniche di analisi (analisi

I.INTRODUZIONE

lepidocronologica, Crouzet, 1981; Pergent et al., 1982) hanno evidenziato che la crescita dei rizomi varia notevolmente in base alla stagione, mentre non sembra essere influenzata dalla profondità cui si trovano, né dalla densità dei fasci fogliari. Il fattore che determina l'allungamento dei rizomi sul substrato o perpendicolarmente ad esso, è principalmente il tasso di sedimentazione: se si aumenta il rateo sedimentario di un fattore di 10 è stato osservato che il rizoma si allunga verso l'altro almeno 10 volte più in fretta, mostrando un perfetto adattamento alla dinamica dell'ambiente fisico che lo circonda (Caye, 1982; Boudouresque e Jeudy de Grissac, 1984). Se il tasso di sedimentazione supera la capacità di risposta della pianta (5-6 cm sopra la ligula) l'apice vegetativo del rizoma va incontro a morte. Si può aggiungere che la crescita orizzontale è pioniera, perché permette alla pianta di colonizzare o ricolonizzare nuove aree, quella verticale permette alla pianta di accrescersi in condizioni limitate di spazio.

Alla morte, il lembo fogliare si distacca mentre le basi restano attaccate al rizoma riducendosi col tempo a sottili scaglie. Rizomi e scaglie, di difficile decomposizione, possono resistere infossati nella *matte* per periodi di tempo estremamente lunghi (più di 4600 anni) (Molinier and Picard, 1952).

Indagini sull'anatomia e lo spessore delle scaglie (Crouzet, 1981) hanno permesso di mettere in evidenza l'esistenza di variazioni cicliche con un preciso significato cronologico: ciascun ciclo corrisponde ad un anno (Pergent, 1987).

La lepidocronologia è una tecnica di analisi che permette di misurare, attraverso lo studio della variazione ciclica dello spessore delle scaglie (Crouzet, 1981; Crouzet et al., 1983; Pergent et al., 1983; Pergent, 1990 a,b), la velocità di crescita dei rizomi, il numero di foglie formati ogni anno, la dinamica di accrescimento delle praterie, la produzione primaria (Dolce, 2010), l'evoluzione della concentrazione di inquinanti nella pianta ((Pergent, 1990b; Pergent and Pergent-Martini, 1990, 1991; Pergent et al., 1992; Pergent- Martini and Pergent, 1994; Pergent-Martini, 1999).

L'accrescimento plagiotropo ed ortotropo dei rizomi di *Posidonia oceanica* porta alla formazione di strutture a terrazzo costituite da un intreccio di rizomi, radici e sedimento poco classato che prende il nome di "*matte*"; la formazione della "*matte*" e' funzione dell'equilibrio perfetto tra la crescita naturale dei rizomi ed il processo di sedimentazione (Boudouresque e Meinesz, 1982).

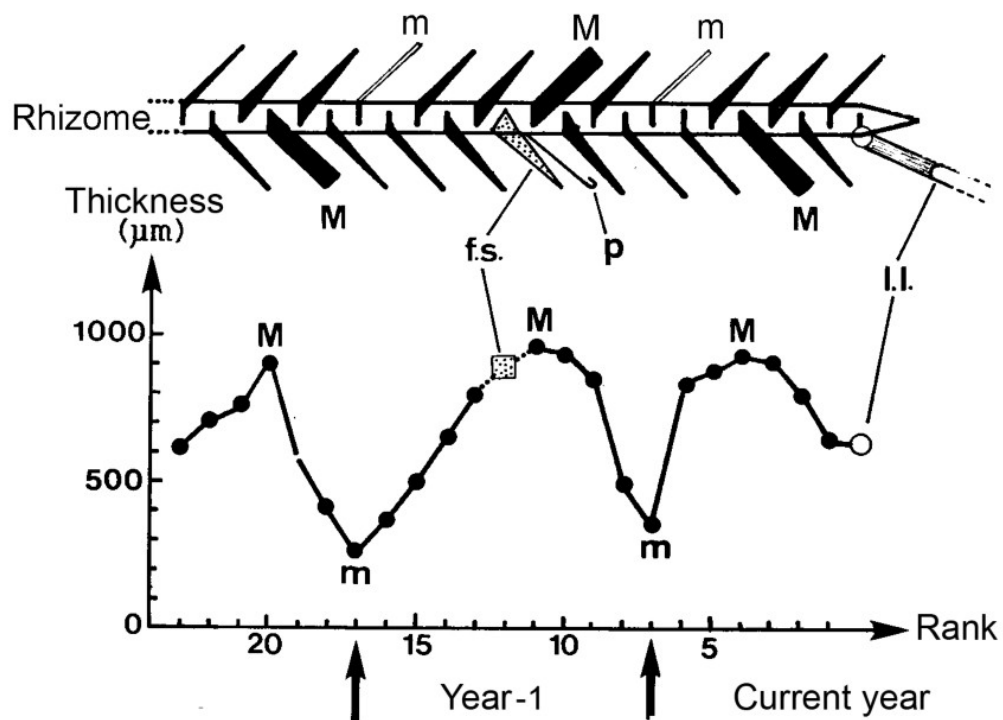


Fig. 1.6. Illustrazione del principio alla base delle analisi lepidocronologica; posizionamento delle scaglie lungo un rizoma ortotropo di *Posidonia oceanica* (in alto) e variazione nel loro spessore (in μm) durante l'anno. M= spessore massimo; m=spessore minimo; f.s.=residuo di stelo florale; l.l.=foglie più vecchia del fascio fogliare (Pergent, et al., 1989).

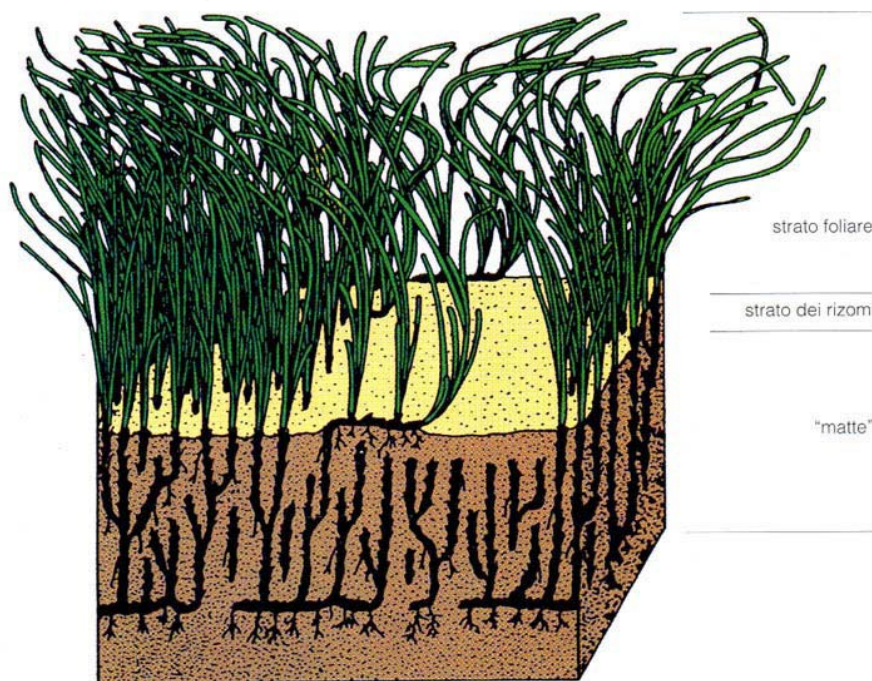


Fig. 1.7. Schema degli strati di una prateria di *Posidonia oceanica* (da Boudouresque e Meinesz, 1982).

Se si verifica un eccessivo accumulo di sedimento il rizoma reagisce aumentando la sua

I.INTRODUZIONE

crescita ortotropa ma, oltre un certo limite, la sua porzione vegetativa rimane troppo affossata e deperisce. Se al contrario si verifica un deficit nell'apporto sedimentario, non solo non viene compensato l'accrescimento verticale dei rizomi, bensì il moto ondoso può provocare la rimozione del sedimento depositatosi in precedenza. Entrambi questi fattori concorrono all'erosione della matte con conseguente distruzione della prateria. Può verificarsi che successivamente alla moria delle piante, la "matte" persista come solo intreccio di rizomi e radici morte; su di questa possono nuovamente insediarsi alghe fotofile o piccole fanerogame.

Il confronto delle carte batimetriche (Molinier e Picard, 1952; Mateo et al., 1997) e le tecniche di datazione con il ^{14}C (Boudouresque e Jeudy de Grissac, 1983), hanno permesso di stimare la velocità di crescita delle *matte* intorno a 1 m/secolo (Boudouresque e Jeudy de Grissac, 1983); è stato osservato come il fattore principale che influenza la dinamica di crescita di queste formazioni sia l'andamento dei processi sedimentari (Boudouresque e Jeudy de Grissac, 1983).

Foglie

Le foglie sono nastriformi, con apice arrotondato; hanno larghezza variabile tra 0.6 e 1.2 cm ed una lunghezza che può superare il metro (Giraud et al., 1979). Risultano costituite da due parti: la *base*, presente solo in quelle che hanno raggiunto un certo sviluppo, e il *lembo*, che rappresenta la parte fotosintetizzante. Il limite tra base e lembo è segnato da una linea concava chiamata *ligula* in corrispondenza della quale, soprattutto in autunno, le foglie si staccano.

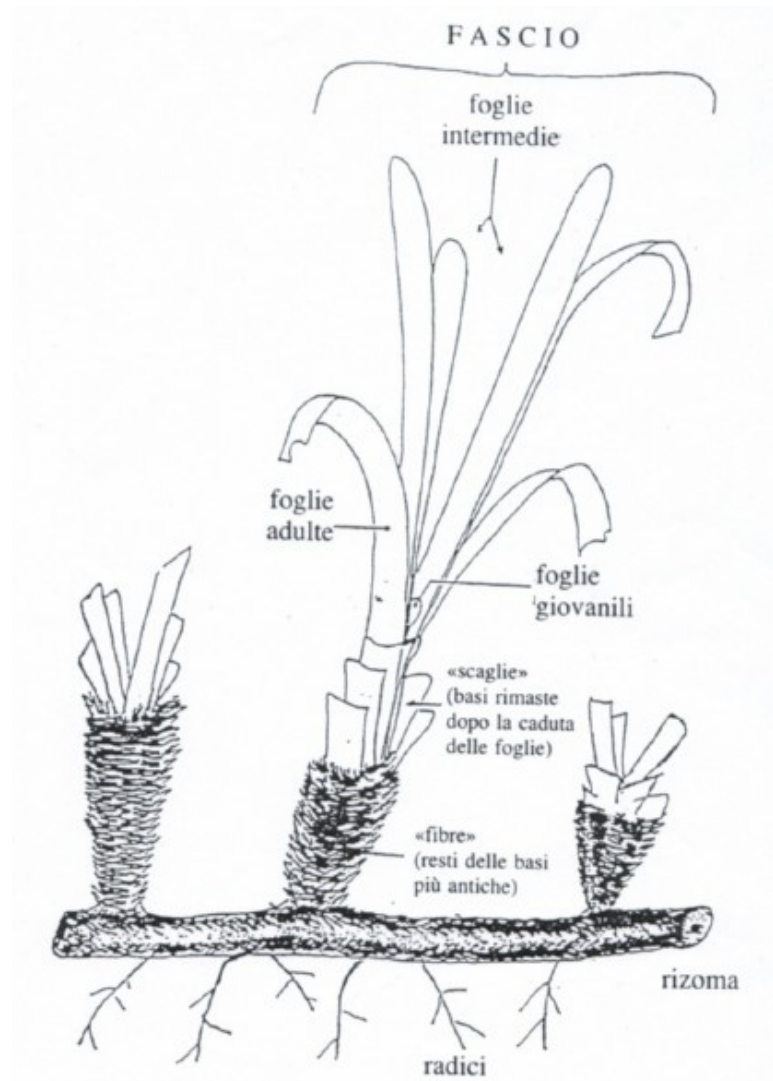


Fig. 1.8. Struttura di un fascio fogliare di *Posidonia oceanica*

Generalmente formano gruppi di 4-8 elementi (Panayotidis e Giraud, 1981), disposti tipicamente a ventaglio (fillotassi distica), con le foglie più giovani racchiuse all'interno del fascio, mentre le più vecchie sono disposte esternamente. In base al grado di maturità vengono distinte 3 categorie di foglie:

- foglie giovanili: la cui lunghezza è inferiore ai 5 cm;
- foglie intermedie: la cui lunghezza è superiore ai 5 cm ma non mostrano la presenza della ligula;
- foglie adulte: mostrano la tipica struttura costituita da base e lembo fogliare.

In queste ultime la base ha una lunghezza che può variare da 2 a 70 mm; quando raggiunge la lunghezza dei 10 mm si iniziano ad osservare delle lamine triangolari dette *stipule*, che si ripiegano verso il basso formando una guaina spaccata in tutta la sua lunghezza.

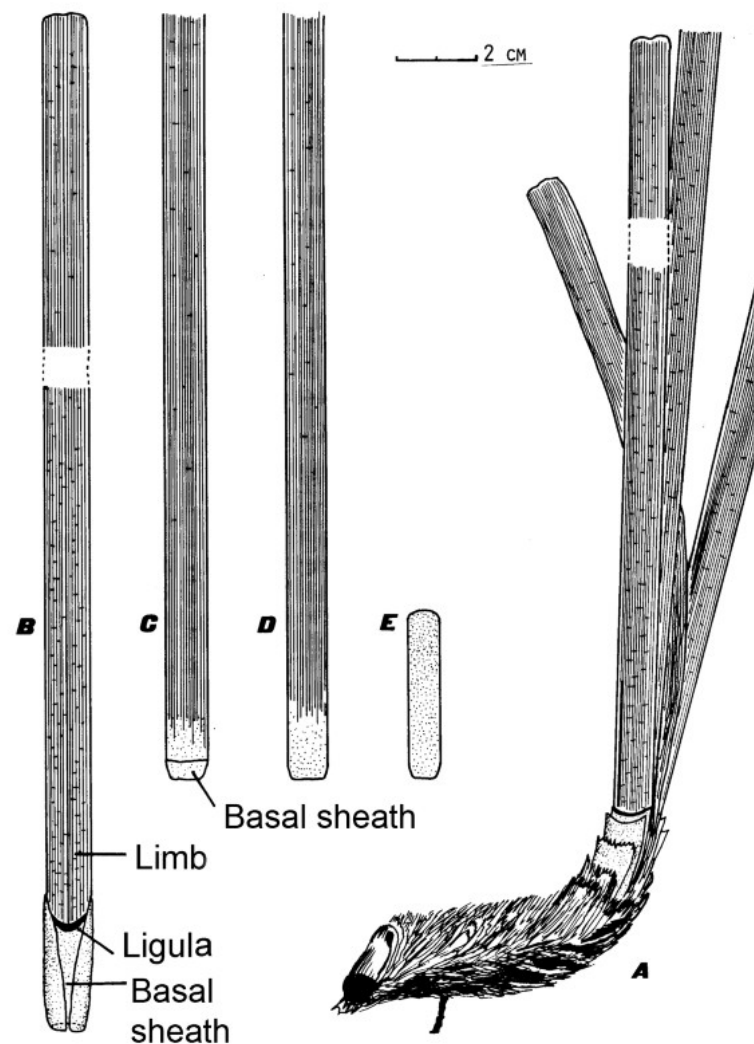


Fig. 1.9. .Diverse categorie di foglie in un fascio di *Posidonia oceanica*: rizoma con il fascio fogliare e le scaglie basali residue (A); foglie adulte con la presenza della base, delle stipole per l'avvolgimento al picciolo e della ligula ben evidente (B); foglia appena diventata adulta con la presenza dell'abbozzo della base (C); foglia intermedia senza la base né la ligula (D); foglia giovanile (E). (Boudouresque, et al, 2006)

Oltre ad essere il centro di fissazione del carbonio, sono anche importanti per l'assorbimento delle sostanze nutritive dall'acqua (Fresi e Saggiomo, 1981). Tutte presentano un meristema basale che determina un accrescimento per formazione di nuovo tessuto alla base. Ciò crea lo stabilirsi di un gradiente di età all'interno della lamina fogliare in senso longitudinale, così la porzione apicale, la parte più vecchia della foglia, va incontro per prima a fenomeni degenerativi che si manifestano con l'apparire di una colorazione bruna e con la rottura degli apici.

Sebbene siano presenti tutto l'anno, il ritmo di crescita delle foglie che costituiscono il fascio varia con la stagione in cui queste compaiono (Ott, 1980); ad esempio, nei mesi di

I.INTRODUZIONE

giugno e luglio si osserva un cospicuo rallentamento nell'accrescimento delle foglie, in modo da poter distinguere la crescita della generazione fogliare successiva da quella precedente rappresentata dalle foglie più vecchie dell'ultimo anno, ancora presenti sulla pianta. Le prime tempeste autunnali generalmente strappano via queste ultime dal fascio, sulla quale già sono presenti le foglie del nuovo ciclo annuale; da questo punto in poi le foglie continuano ad apparire poi ad intervalli crescenti di tempo. L'ultima foglia della generazione di un anno appare generalmente alla fine di maggio. Su ogni fascio appare ogni anno una media di 10 foglie che differiscono molto nella percentuale di crescita totale e percentuale di decadenza e conseguentemente nella durata della vita e nella lunghezza massima raggiunta.

La velocità di crescita aumenta continuamente da autunno a primavera, in modo che da 1 a 8 le foglie crescono più velocemente del suo predecessore, mentre le foglie 9-10, che entrano nella fase logaritmica della loro crescita, in giugno e luglio presentano distintamente una crescita più lenta. La percentuale di decadenza così aumenta dal primo inverno all'estate mostrando i tipici cambiamenti nella foglia (fig. 1.10).

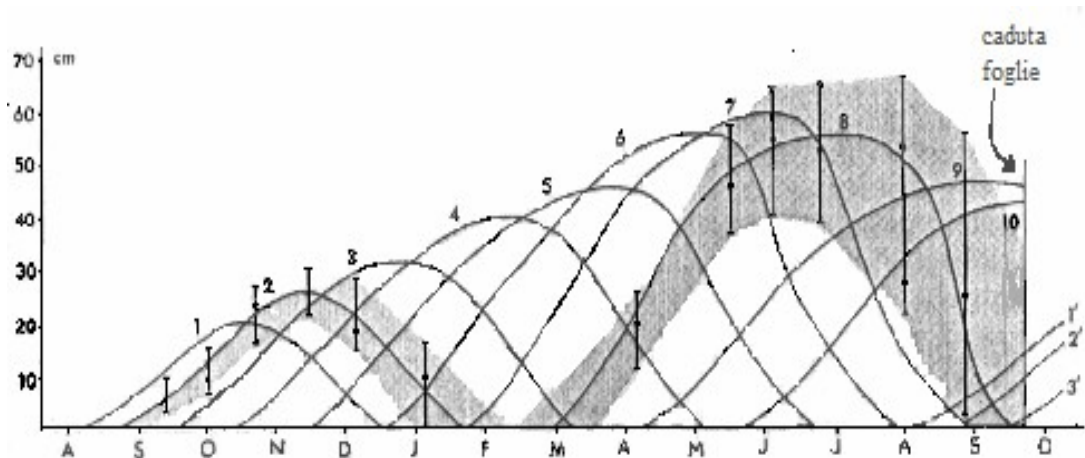


Fig. 1.10. Sequenza della comparsa e della lunghezza apparente delle foglie (numerate da 1 a 10) di un fascio medio di *Posidonia oceanica* durante una stagione di crescita. (da Ott, 1980)

Nel 1981 Panayotidis e Giraud hanno eseguito uno studio dettagliato del ciclo di crescita fogliare nella *Posidonia oceanica*; il ciclo può essere riassunto nelle seguenti fasi:

- fra Settembre e Dicembre si verifica un rinnovamento del fascio fogliare; di conseguenza non si osserva una variazione nel numero di foglie presenti, ma si osserva una diminuzione nella superficie fogliare media, dovuta alla comparsa di foglie giovanili ed intermedie ed alla caduta delle foglie più vecchie;
- fra Dicembre ed Aprile la velocità di crescita delle foglie intermedie appare ridotta;

I.INTRODUZIONE

- fra Aprile e Giugno c'è un incremento nella velocità di crescita delle foglie intermedie e la contemporanea caduta delle foglie adulte e più vecchie (non varia il rapporto tra il numero di foglie intermedie ed il numero di foglie adulte);

- a Giugno si raggiunge la velocità massima di crescita delle foglie intermedie, che tende a diminuire nel periodo successivo.

Riassumendo si può dire che si osserva la crescita di una nuova foglia giovanile almeno una volta al mese e la caduta di almeno una foglia adulta durante tutte le stagioni, sebbene si abbia un picco nel periodo autunnale. Le prime foglie del ciclo annuale di crescita appaiono tra la fine di agosto e l'inizio di settembre e le successive ad intervalli crescenti di tempo fino alla fine di maggio. Ogni foglia successiva cresce più lunga della precedente, cosicché la lunghezza aumenta da giugno o all'inizio di luglio. Le foglie crescono a partire dal meristema basale ed ognuna ha una curva di crescita di tipo sigmoideale, con una debole pendenza, che corrisponde all'inizio della crescita fogliare, un successivo incremento e infine un appiattimento della curva, corrispondente alla fine del periodo di vita della foglia.

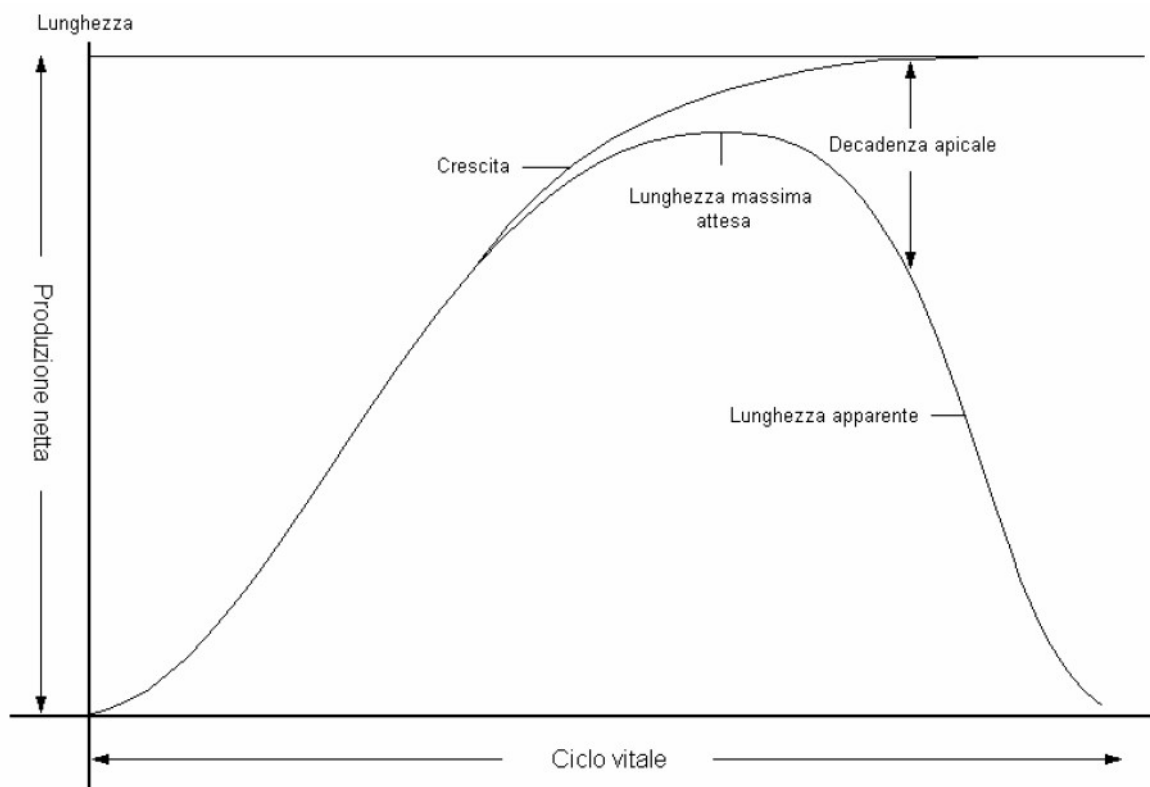


Fig. 1.11. Curva sigmoideale rappresentante il ciclo vitale di una foglia di *Posidonia oceanica* (da Ott, 1980)

Nelle giovani foglie la loro lunghezza corrisponde a quella effettiva ed è integra e con

I.INTRODUZIONE

apice arrotondato; dopo un certo periodo mentre la foglia cresce al suo ritmo più veloce, l'estremità che è ora già ricoperta di epifiti, comincia a perdere i suoi pigmenti fotosintetici, diventa bruna e poi muore: l'attività microbica, il pascolo dei ricci di mare e lo stress meccanico dell'acqua decompongono l'apice fogliare. Così mentre la foglia è ancora nelle fase logaritmica di crescita, mostra un rallentamento di crescita nella lunghezza apparente. Ciò è complicato, comunque, dalla decadenza apicale ad una certa età, cosicché le foglie che stanno ancora crescendo alla base non continuano ad aumentare tuttavia in lunghezza o possono persino diventare più corte, ovvero quando la decadenza eccede la crescita. Quando la crescita si ferma la foglia muore e distacca dalla ligula; le vecchie foglie che sono ancora presenti sul fascio alla fine della stagione di crescita, cioè alla fine di settembre, cadono contribuendo al ben noto fenomeno di spiaggiamento delle foglie sui litorali con la conseguente formazione di strutture tipiche dette *banquettes*, importanti per la difesa dei litorali sabbiosi dal fenomeno di erosione.

La stagionalità nell'accrescimento e nel rinnovamento delle foglie dei fasci di *Posidonia oceanica*, fa sì che l'aspetto della prateria sia influenzato dalla stagione in cui viene effettuata l'osservazione (Ott, 1980): in estate le foglie, molto lunghe e densamente ricoperte di epifiti, conferiscono all'intera prateria un tipica colorazione bruna o bianco-rosata; verso la fine di agosto molte foglie sono morte e le mareggiate autunnali causano il loro distacco. La popolazione epifita è drasticamente ridotta dalla diminuzione della temperatura; il colore della prateria quindi è caratterizzato dal verde brillante delle foglie più giovani. L'altezza delle piante va aumentando finché non raggiunge il suo massimo verso la fine della primavera. La produzione di nuove foglie è continua ma il loro tasso di accrescimento varia con la stagione, minimo in estate e massimo in primavera (Wittman, 1984).

È stato osservato come la morfologia delle foglie cambi in base alla struttura del rizoma che porta il fascio (Caye & Rossignol, 1983). Le foglie presenti sui rizomi ortotropi sono, infatti, più dritte e più lunghe delle foglie portate dai rizomi plagiotropi, che, oltre ad essere più corte, sono ricurve con un andamento geotropico positivo. È stato inoltre osservato che, le foglie presenti sui rizomi plagiotropi secondari sono di solito più corte e più strette di quelle presenti sui rizomi plagiotropi primari (Wittman, 1984).

Studi condotti di recente (Di Maida, et al. 2013), hanno messo in luce come la crescita dei rizomi e la morfologia e la lunghezza delle foglie cambi in base alla tipologia di substrato su cui è insediata la pianta; è stato osservato come le piante cresciute su substrato roccioso, a

I.INTRODUZIONE

differenza di quelle cresciute su sabbia o su matte, presentino una diminuzione nel tasso di crescita del 22-44%; tale riduzione può essere dovuta alla maggiore energia idrodinamica, e di conseguenza al minor rateo sedimentario che caratterizza i substrati rocciosi, con ripercussioni, quindi, anche sulla disponibilità di nutrienti importanti per l'accrescimento della pianta. Inoltre è stato osservato che le foglie di piante posizionate sulla roccia siano in media il 23% meno lunghe di quelle presenti sulla sabbia o sulla *matte*; tale differenza diventa ancora più evidente per quanto riguarda la superficie fogliare di piante su roccia che risulta essere 32% più bassa delle piante su *matte*.

1.2. Riproduzione della *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica si riproduce sia per via vegetativa che per via sessuata. Il principale meccanismo di propagazione è quello vegetativo (stolonizzazione) e si realizza sia con il distacco di rizomi terminali dal rizoma parentale (Molinier e Picard, 1952), sia per divisione e allungamento dei rizomi; un'altra strategia riproduttiva messa in atto dalla *Posidonia oceanica* prevede la formazione di piantine direttamente dalle infiorescenze (pseudoviviparità). Di questi eventi riproduttivi, osservati per la prima volta nel 2004 lungo le coste delle Isole Baleari (Ballesteros et al, 2005), al momento non si conosce né la frequenza né il significato evolutivo; probabilmente si tratta di una strategia utile per la dispersione sulle brevi distanze e per il mantenimento di una specie che può persistere per migliaia di anni e la cui capacità di colonizzare nuovi spazi è molto lenta (Ballesteros et al., 2005).



Fig. 1.12. Formazione di piantine direttamente dalle infiorescenze ancora attaccate al fascio parentale.
(Ballesteros *et al.*, 2005 modificato).

Nella *Posidonia oceanica* la riproduzione sessuale avviene attraverso la fecondazione di fiori ermafroditi, raggruppati in infiorescenze e prodotti all'inizio del periodo autunnale; la fruttificazione si completa nel periodo primaverile, attraverso la produzione di una drupa chiamata “oliva di mare” la quale, una volta staccatasi dalla pianta, viene dispersa dalle correnti.

Diversi studi hanno evidenziato la stretta relazione tra gli sporadici fenomeni di fioritura della pianta e la temperatura dell'acqua; infatti nelle praterie più profonde, la fioritura si presenta con circa due mesi di ritardo rispetto alle praterie superficiali (Mazzella *et al.*, 1986). La relazione tra la fioritura e la temperatura dell'acqua è basata sull'osservazione di tale fenomeno successivamente alla presenza di condizioni di elevate temperature raggiunte nel periodo estivo precedente (Giraud, 1977 b); tale ipotesi sembra essere confermata dal fatto che solitamente viene osservata la presenza di fiori circa un mese dopo il raggiungimento

della massima temperatura annuale (Mazzella e Buia,1991).



Fig.1.13.Infiorescenza della *Posidonia oceanica* (foto da <http://www.naturamediterraneo.com/>)

La dispersione del polline avviene attraverso le correnti marine, in quanto il polline presenta una densità simile a quella dell'acqua. e l'impollinazione è idrofila.



Fig. 1.14 Olive di mare

I.INTRODUZIONE

Anche la dispersione dei frutti, e di conseguenza dei semi, avviene tramite il mezzo acquatico; il frutto, infatti, una volta giunto a maturazione e staccatosi dalla pianta, inizia a galleggiare e viene trasportato dalle correnti anche per lunghe distanze. Alcune “olive di mare” finiscono spiaggiate lungo le coste; quelle rimaste in mare con la deiscenza del pericarpo, liberano i semi. Questi cadono sul fondo e in presenza di condizioni favorevoli, in giugno, germinano, senza entrare in quiescenza.



Fig. 1.15. Germinazione di un seme (foto da <http://www.naturamediterraneo.com>)

La fioritura e la fruttificazione della *P.oceanica* sono state da sempre considerate eventi piuttosto rari (Molinier e Picard, 1952). La scarsità delle informazioni sul presentarsi di tali fenomeni non ha finora permesso di valutare il peso che ha la riproduzione sessuata sul mantenimento delle praterie, sebbene sia comunque evidente sia inferiore rispetto all'importante della riproduzione vegetativa (Caye e Meinesz, 1984; Thelin e Boudouresque, 1985; Mazzella e Buia, 1991; Meinesz et al., 1993).

1.3. Distribuzione ed ecologia della *Posidonia oceanica*

La *Posidonia oceanica* ha un areale di distribuzione limitato al mar Mediterraneo, scomparendo infatti nell'estrema zona occidentale dove le acque di questo bacino si

I.INTRODUZIONE

mescolano con le acque provenienti dall'oceano Atlantico. La sua presenza è riscontrata lungo quasi tutte le coste del bacino, sparendo solo in regioni ristrette (sulle coste dell'Egitto, della Palestina, di Israele e del Libano; studi recenti hanno evidenziato la presenza della pianta anche nel mar di Marmara (Meinesz, et al., 2009), mentre è rara a Nord dell'Adriatico e lungo le coste di Camargue e Port-la-Nouvelle e assente nel mar Nero (Boudouresque e Meinez, 1982; Boudouresque et al.2006, 2012).

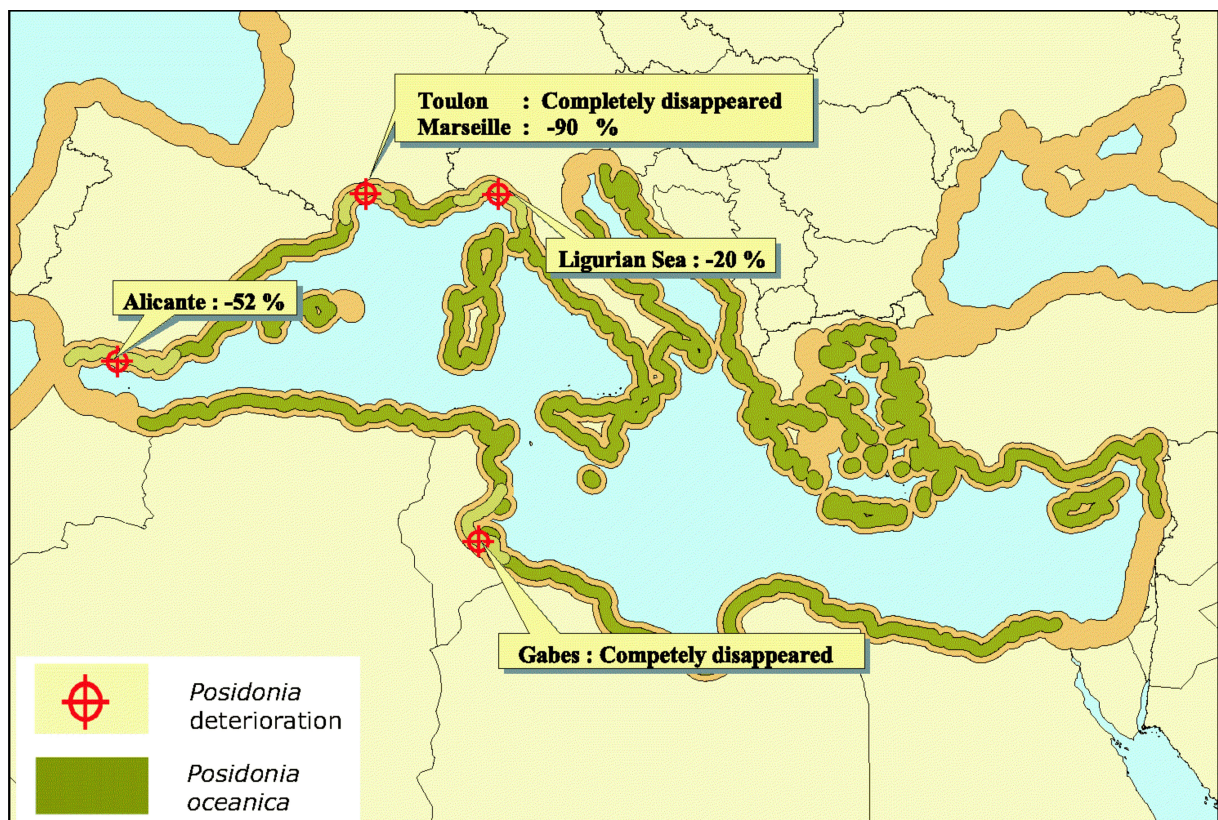


Fig. 1.16.. Distribuzione della *Posidonia oceanica* lungo le coste del mar Mediterraneo (www.eea.europa.eu/)

La pianta colonizza in maniera continua tutte le coste, occupando una superficie di circa 50000 km², pari a circa il 2 e il 4% dell' intero bacino (Den Hartog,1970; Boudouresque et al., 1984; Semroud et al., 1992) definendo i limiti del piano infralitorale, da una profondità di 1 m fino a 45 m (Boudouresque, et al., 1990; Peres e Picard, 1964; Phillips and Menez, 1988; Short, et al., 2007).La luce è uno dei fattori più importanti nel determinare la distribuzione e la densità della *Posidonia oceanica* (Elkalay et al., 2003). La profondità massima che può raggiungere dipende dalla trasparenza della colonna d'acqua; il limite massimo raggiunto è stato osservato in Corsica in cui sono stati rilevati fasci isolati di *Posidonia oceanica* a 45-48 m di profondità (Augier e Boudouresque, 1979; Boudouresque, et al., 1990a). La richiesta

I.INTRODUZIONE

minima di luce da parte della pianta per la sua sopravvivenza è di 0.1 - 2.8 mol PAR fotoni/m²/g (Gattuso et al., 2006).

La pianta è particolarmente sensibile alle variazioni di salinità (stenoalina): si è osservata la morte della pianta in presenza di salinità inferiori al 33‰ (Ben Alaya, 1972), per tale motivo la distribuzione delle praterie si interrompe in prossimità delle foci fluviali ed all'interno di zone lagunari salmastre, mentre sembra resistere meglio alti livelli di salinità, sebbene alcuni studi abbiano dimostrato come la salinità pari al 41‰ risulti essere il suo limite massimo di tolleranza. Il range di temperatura all'interno della quale la pianta vive e si riproduce con successo va da 9°C a 29.5°C; come già getto in precedenza la temperatura influisce in maniera importante nel determinare gli eventi di fioritura e fruttificazione.

L'idrodinamismo troppo elevato tende a strappare porzioni di prateria, erodendo molto spesso la *matte* sia direttamente, sia attraverso frizionamento del sedimento sui rizomi; per questo motivo nelle aree più esposte al moto ondoso la *Posidonia* non appare se non oltre i 2 metri di profondità. In condizioni idrodinamiche favorevoli, nelle zone più riparate, la pianta colonizza fondali molto bassi, con le foglie che possono fuoriuscire dalla superficie del mare.

L'habitat principale della pianta sono generalmente i substrati incoerenti con granulometria prevalentemente sabbiosa; su questi tipi di substrato la pianta può andare a formare praterie molto estese e continue, formando *matte* anche di notevoli dimensioni. Sui substrati rocciosi, in cui l'apporto terrigeno è relativamente scarso, si sviluppano di solito *matte* di modesta entità e le praterie che si formano raramente raggiungono un'estensione rilevante (Buodouresque *et al.*, 2006). Generalmente la pianta, su qualsiasi substrato si insedi, modifica notevolmente il substrato originario (Dauby et al., 1995).

2. L'ECOSISTEMA *POSIDONIA OCEANICA*

2.1. Struttura delle praterie di *Posidonia oceanica*

La morfologia delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti lungo la costa, può essere studiata attraverso osservazioni dirette in immersione tramite operatori subacquei o utilizzando il Side Scan Sonar, soprattutto nel caso di praterie di vaste dimensioni. Le praterie si differenziano per una serie di caratteristiche quali:

- la tipologia di substrato su cui si insedia (praterie su sabbia, su roccia o coralligeno o su matte);
- la presenza di altre fanerogame (praterie monospecifiche “pure”, plurispecifiche “miste”);
- la distribuzione della pianta sul fondo (praterie “omogenee” o praterie “disomogenee”);
- la percentuale di colonizzazione del fondo (praterie continue, discontinue o discrete).

L'estensione e la morfologia delle praterie, sia in profondità sia lungo la costa, dipendono, oltre che dalle caratteristiche biologiche della pianta, anche dalle caratteristiche ambientali, quali:

- tipo e natura del substrato
- geomorfologia del fondo
- idrodinamismo
- profondità e luminosità
- tasso di sedimentazione e torbidità dell'acqua (Buia *et al.*, 2003).

Posidonia oceanica per il suo insediamento predilige fondali sabbiosi, anche se non è raro riscontrarla in presenza di fondali sabbiosi misti a fango, su detriti grossolani o su roccia. In quest'ultimo caso, di solito si sviluppano “matte” di modesta entità e raramente *P. oceanica* riesce a formare praterie con estensione importante.

In una prateria si distinguono 2 margini:

- limite superiore: più superficiale e prossimo alla linea di costa.
- limite inferiore: il margine più profondo in cui la prateria termina.

Il limite superiore è sempre molto netto mentre il limite inferiore può avere conformazioni diverse, dipende principalmente dalla pendenza del fondale e dall'idrodinamismo

I.INTRODUZIONE

(Boudouresque *et al.*, 1990). Una classificazione basata sui molteplici aspetti morfologici assunti dal limite inferiore, che dipendono dai fenomeni idrodinamici e dalle variazioni di quantità di luce che raggiungono il fondo, è stata proposta da Meinesz e Laurent (1978) e successivamente rielaborata da Pergent *et al.* (1995).

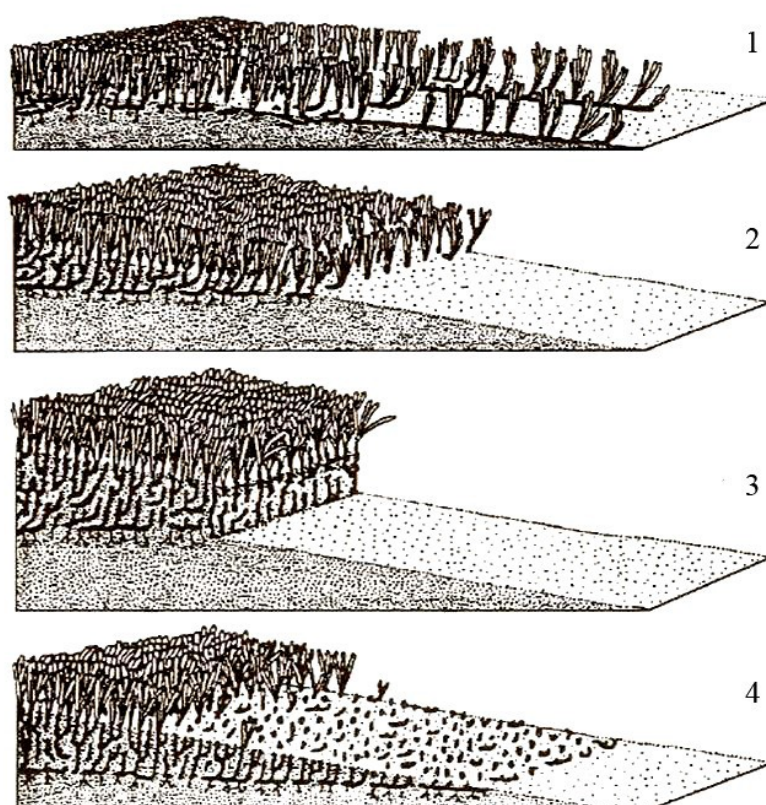


Fig. 2.1. Tipologia del limite inferiore della prateria di *Posidonia oceanica*: 1) limite progressivo; 2) limite netto; 3) limite erosivo; 4) limite regressivo (da Pergent *et al.*, 1995; modificato).

In relazione alla profondità del limite inferiore di una prateria di *P. oceanica*, Pergent *et al.*, (1995) propongono la seguente scala di valutazione della trasparenza dell'acqua:

Profondità limite inferiore (pli)	Valutazione
< 15 m	Acque torbide
15 m < pli < 25 m	Acque poco trasparenti
25 m < pli < 35 m	Acque trasparenti
> 35 m	Acque molto trasparenti

I limiti di una prateria sono soggetti a variazioni nel tempo, anche a causa d'interventi

I.INTRODUZIONE

antropici che possono provocare variazioni ambientali significative sia in superficie sia in profondità. Risulta quindi importante monitorare tali descrittori fisiografici.

2.2 Importanza delle praterie di *Posidonia oceanica*

Le praterie a *P. oceanica* rivestono un ruolo importante e multifunzionale nei sistemi litorali (Duarte, 2002).

Le strutture ipogee della pianta (apparato radicale ed i rizomi) sono fondamentali per la stabilizzazione dei fondali sabbiosi, trattenendo il sedimento durante le mareggiate e impedendone la dispersione verso largo; inoltre la perdita delle foglie, in particolare nel periodo autunnale, porta alla formazione di massicci accumuli di materiale vegetale lungo i litorali (*banquettes*) che riducono l'azione erosiva del moto ondoso sulla spiaggia emersa, assorbendo in parte l'energia che si libera in seguito al frangimento delle onde.

Uno studio condotto circa a metà degli anni '80 (Jeudy de Grissac, 1984) ha mostrato come la perdita di un solo metro cubo di prateria porta ad un arretramento del litorale prospiciente di circa 20 m.

La pianta è una importante fonte di ossigeno per l'ambiente marino costiero; è stato stimato che 1 m² di prateria produca dai 4 ai 20 litri di ossigeno al giorno (Bay, 1978).

Le praterie di *Posidonia* sono tra gli ecosistemi marini costieri più produttivi, occupando lo 0.15% della superficie marina mondiale e contribuendo all'1% della produzione primaria marina mondiale. La maggior parte della materia organica derivante dalla fissazione del carbonio viene trasformata in lignina e cellulosa e da composti fenolici, il cui ruolo è quello di rendere inappetibile le foglie agli erbivori (Piovetti et al., 1984). La produzione primaria netta ammonta in media a 420g ps/m²/anno, raggiungendo in alcuni casi i 1300 g ps/m²/anno; varia molto con la profondità cui si trova la prateria (Mazzella and Ott, 1984; Romero-Martinengo, 1985; Pergent et al., 1994; Pergent-Martini et al., 1994; Pergent et al., 1997). La biomassa vegetale prodotta supera i 900 g ps/m²/anno per il comparto fogliare, mentre la comunità vegetale epifita delle foglie è di circa 470 g ps/m²/anno contro i 50 g ps/m²/anno della comunità epifita dei rizomi, delle scaglie e delle radici (Thélin and Bedhomme, 1983; Pirc, 1983; Libes, 1984; Boudouresque and Jeudy de Grissac, 1986; Ballesteros, 1987; Francour, 1990; Mazzella et al., 1992). La biomassa animale è considerevolmente più bassa di quella vegetale; è stato stimato che un metro quadrato di prateria produce:

I.INTRODUZIONE

- 2-180 g ps di organismi animali presenti sulle foglie;
- 2-25 g ps di pesce;
- 0.2 g ps di *Marthasterias glacialis*;
- 3-6 g ps di fauna vagile (crostacei e molluchi)
- 2-33 g ps di echinoidei;
- 6-9 g ps di oloturoidei;
- 50-70 g ps di endofauna della *matte*.

In totale la biomassa animale prodotta raggiunge i 100-200 g ps/m² (Harmelin, 1964; Vadon, 1981; Harmelin-Vivien, 1982, 1983, 1984; Francour, 1984; Ballesteros, 1987; Francour and Paul, 1987; Francour, 1990; Harmelin- Vivien and Francour, 1992; Jiménez et al., 1997).

Meno del 10% della produzione primaria della *Posidonia oceanica* è utilizzata dagli erbivori, in particolare dallo sparide *Sarpa salpa*, dall'echinoideo *Paracentrotus lividus* e dal crostaceo isopode *Idothea hectica* (Issel, 1918a; Vadon, 1981; Verlaque, 1981; Boudouresque and Meinesz, 1982; Wittmann and Ott, 1982; Chessa et al., 1983; Lorenti and Fresi, 1983; Nédélec and Verlaque, 1984; Velimirov, 1984; Verlaque, 1987, 1990; Pergent et al., 1994, 1997; Rico-Raimondino, 1995; Boudouresque and Verlaque, 2001).

La maggior parte della biomassa prodotta (24-85%) è esportata in forma di foglie morte (Ott and Maurer, 1977; Francour, 1990; Boudouresque et al., 1994b; Pergent et al., 1994; Mateo-Minguez, 1995; Cebrian and Duarte, 2001), una parte invece rimane all'interno della prateria andando a costituire la lettiera che rappresenta il sostegno della rete trofica dei detritivori e dei decompositori.

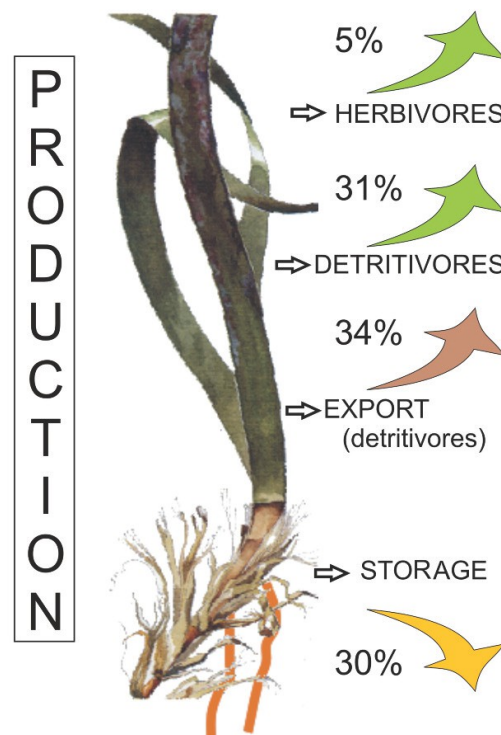


Fig. 2.2. Destino della produzione primaria (in termini di % di carbonio organico) della *Posidonia oceanica*

La rete trofica dei decompositori è la via più rapida di trasmissione dell'energia ai livelli trofici superiori.

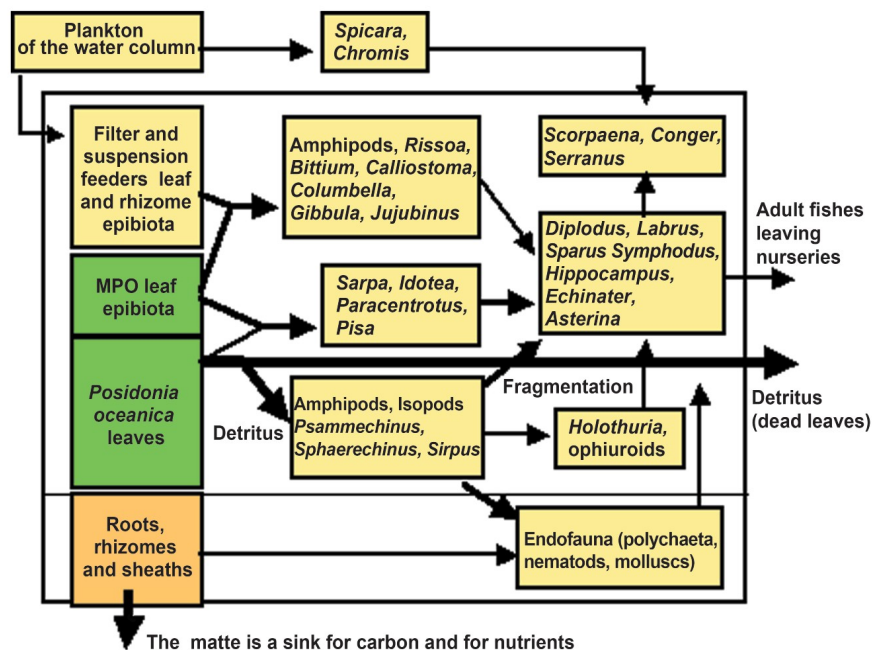


Fig.2.3. Relazioni trofiche e funzionali tra i compartimenti dell'ecosistema *Posidonia oceanica* (Boudouresque et al. (1994b), modified; da Boudouresque et al., 2012)

I.INTRODUZIONE

Le praterie di *Posidonia oceanica* sono degli importanti siti di riproduzione e di *nursery* per molte specie, anche di grande importanza economica; è stato stimato che ospitano più di 400 differenti specie vegetali e diverse migliaia di specie animali, facendo sì che siano considerate degli hotspot di biodiversità Meinesz, 1982; Bell and Harmelin-Vivien, 1982; Bellan-Santini, et al., 1994; Francour, 1997; Boudouresque, 2004).

Le praterie, inoltre, svolgono un importante ruolo nella protezione dei litorali dall'erosione costiera; infatti costituiscono delle vere e proprie barriere naturali parallele alla linea di costa favorendo la sedimentazione delle particelle in sospensione, come una naturale trappola di sedimenti (Boudouresque and Meinesz, 1982; Boudouresque and Jeudy de Grissac, 1983; Jeudy de Grissac and Boudouresque, 1985; Gacia and Duarte, 2001; SDAGE, 2003; Romero, 2004b).

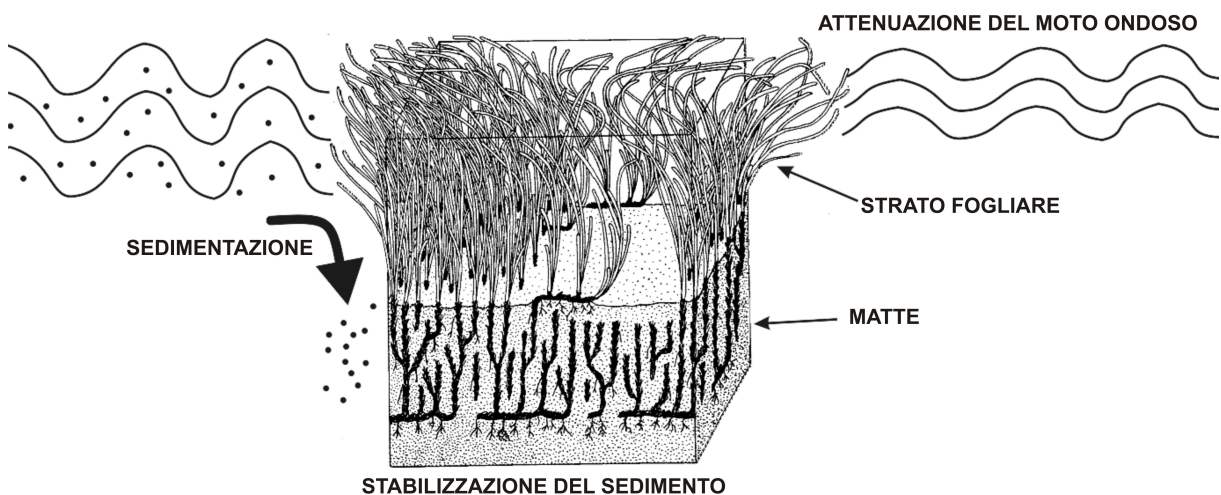


Fig. 2.4. Ruolo delle praterie di *Posidonia oceanica* nell'attenuazione del moto ondoso e nella stabilizzazione dei fondali (Boudouresque e Meinesz, 1982 modificato)

Lo strato fogliare diminuisce la velocità dell'acqua al fondo permettendo al sedimento, anche quello più fine, di decantare; tale sedimento viene intrappolato alla base delle foglie e, insieme ai rizomi ed alle radici, contribuisce alla formazione della *matte*. La riduzione dell'energia del moto ondoso e delle correnti porta ad un'attenuazione dei fenomeni di erosione cui le coste sono soggette (Blanc e Jeudy de Grissac, 1978; Jeudy de Grissac e Boudouresque, 1985; Short et al., 1989; Gacia e Duarte, 2001; Duarte, 2004). Inoltre l'accumulo di foglie morte lungo il litorale, porta alla formazione delle *banquettes* in grado di proteggere la spiaggia emersa in particolare durante le mareggiate invernali (Fig. 2.5)

(Boudouresque e Meinesz, 1982; Jeudy de Grissac e Audoly, 1985; Chessa et al., 2000 ; SDAGE, 2003).

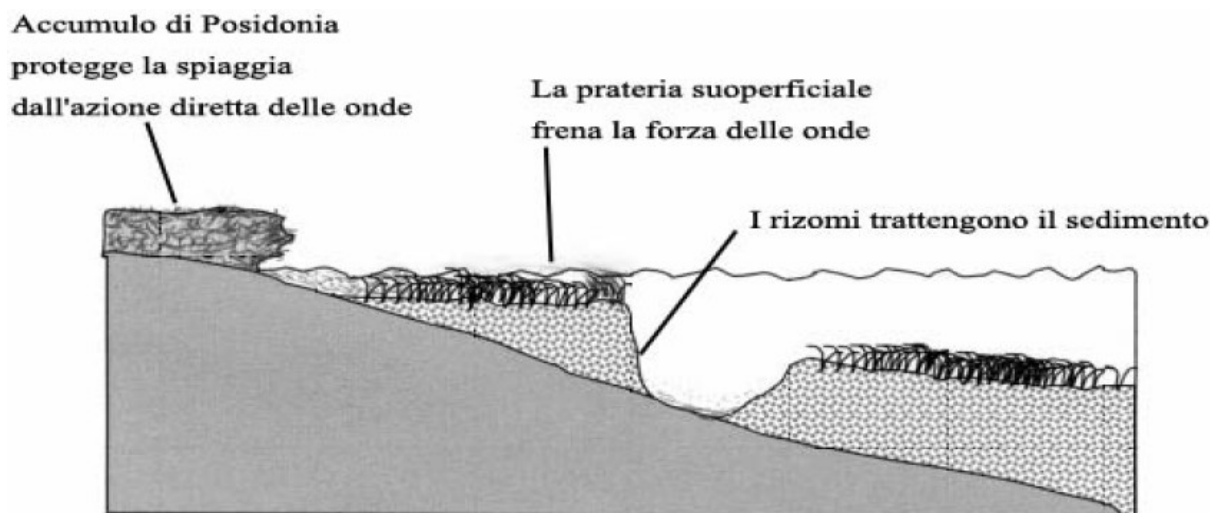


Fig. 2.5. Azione della prateria di *P. oceanica* di protezione della costa

2.3 Caratterizzazione e valutazione dello stato di salute delle praterie

Per caratterizzare e valutare una prateria a fanerogame marine si ricorre a descrittori fisici, fisiografici, strutturali (densità e copertura) e funzionali (fenologia e biomassa, crescita, produzione e produttività); geomorfologia e profilo della costa, estensione batimetrica, geomorfologia del fondale, regime idrodinamico e sedimentologia fanno parte dei descrittori fisici che caratterizzano quindi le proprietà dell'ambiente fisico in cui le fanerogame sono insediate, mentre le caratteristiche e tipologie delle praterie sono caratterizzate da descrittori fisiografici.

2.2.1 Descrittori sintetici strutturali

Vengono definiti descrittori sintetici strutturali quelle variabili che permettono di “pesare” dal punto di vista fisico le praterie di *Posidonia oceanica*; uno dei principali descrittori strutturali dello stato di salute delle praterie è la densità della vegetazione, intesa come numero di fasci fogliari per metro quadro. L'analisi temporale di questa variabile permette di valutare la dinamica della prateria nel tempo, permettendo così di definire le principali forzanti che la governano; riportare su una carta i valori di densità dei fasci fogliari di un

I.INTRODUZIONE

prateria permette, inoltre, di valutarne la struttura interna.

I metodi più utilizzati per la classificazione delle praterie sulla base dei valori di densità assoluta dei fasci fogliari sono due; il primo (Giraud, 1977) classifica le praterie in base al numero di fasci fogliari al metro quadro, suddividendole in 5 classi di densità qui di seguito riportate

Classificazione prateria (GIRAUD, 1977)		
Classe	Numero fasci al m²	Grado di densità
I	> 700 fasci m ²	molto densa
II	da 400 a 700 fasci m ²	densa
III	da 300 a 400 fasci m ²	rada
IV	da 150 a 300 fasci m ²	molto rada
V	da 50 a 150 fasci mm ²	semiprateria

Il secondo, proposto solo recentemente (Pergent et al., 1995), classifica le praterie tenendo conto non solo i valori di densità assoluta dei fasci, ma considerando anche la profondità di campionamento; gli autori, infatti, hanno evidenziato come i valori di densità dei fasci fogliari diminuiscano con la profondità, la quale spiega il 54% dell variabilità di questo fattore.

Le praterie vengono così distinte in 4 categorie, secondo lo schema riportato in Tabella 2.1:

- “prateria molto disturbate”, con densità anormale (DA) che corrisponde a situazioni critiche, in cui la vitalità della prateria è estremamente bassa;
- “praterie disturbate”, con densità bassa (DB) che corrisponde ad una riduzione della vitalità della prateria e deve costituire un segnale di allarme ai fini di intraprendere azioni di risanamento;
- “praterie in equilibrio” con densità nella norma (DN) , che corrisponde a valori di vitalità soddisfacenti, osservabili quando non esistono segni di pressione antropica;
- “praterie in equilibrio” con densità eccezionale (DE) che corrisponde a situazioni particolarmente eccezionali in termini di vitalità della pianta o di estensione batimetrica della prateria.
- La scala temporale con cui questo parametro deve essere preso è quella annuale in quanto le conte stagionali rileverebbero soltanto una variabilità spaziale all’interno della prateria e non fenomeni di espansione/regressione.

I.INTRODUZIONE

Profondità (m)	Densità anormale (DA)	Densità bassa (DB)	Densità normale (DN)	Densità eccezionale (DE)
1	<822	da 822 a 934	da 934 a 1158	>1158
2	<646	da 646 a 758	da 758 a 982	>982
3	<543	da 543 a 655	da 655 a 879	>879
4	<470	da 470 a 582	da 582 a 806	>806
5	<413	da 413 a 525	da 525 a 749	>749
6	<367	da 367 a 479	da 479 a 703	>703
7	<327	da 327 a 439	da 439 a 663	>663
8	<294	da 294 a 406	da 406 a 630	>630
9	<264	da 264 a 376	da 376 a 600	>600
10	<237	da 237 a 349	da 349 a 573	>573
11	<213	da 213 a 325	da 325 a 549	>549
12	<191	da 191 a 303	da 303 a 527	>527
13	<170	da 170 a 282	da 282 a 506	>506
14	<151	da 151 a 263	da 263 a 487	>487
15	<134	da 134 a 246	da 246 a 470	>470
16	<117	da 117 a 229	da 229 a 453	>453
17	<102	da 102 a 214	da 214 a 438	>438
18	<88	da 88 a 200	da 200 a 424	>424
19	<74	da 74 a 186	da 186 a 410	>410
20	<61	da 61 a 173	da 173 a 397	>397
21	<48	da 48 a 160	da 160 a 384	>384
22	<37	da 37 a 149	da 149 a 373	>373
23	<25	da 25 a 137	da 137 a 361	>361
24	<14	da 14 a 126	da 126 a 350	>350
25	<4	da 4 a 116	da 116 a 340	>340
26	0	da 0 a 106	da 106 a 330	>330
27	0	da 0 a 96	da 96 a 320	>320
28	0	da 0 a 87	da 87 a 311	>311
29	0	da 0 a 78	da 78 a 302	>302
30	0	da 0 a 70	da 70 a 294	>294

Tab. 2.1 Classificazione della prateria sulla base della densità assoluta (n fasci fogliari/m²) in funzione della profondità per i primi 30 metri di profondità, secondo Pergent-Martini.

La stima della densità assoluta di una prateria deve essere associata alla stima della percentuale di fondo ricoperto dalla pianta, in modo da darne una più precisa valutazione della struttura. La copertura della percentuale di substrato occupato dalla pianta deriva da una valutazione soggettiva e legata alla stagione (la maggiore lunghezza estiva può mascherare una copertura non omogenea del fondo); per tale motivo questo parametro deve essere stabilito tenendo conto dei valori attribuiti indipendentemente da due operatori distinti.

2.2.2 Descrittori sintetici funzionali

I descrittori sintetici funzionali sono le variabili che dipendono dalle caratteristiche biologiche della specie e risentono delle variazioni ambientali, in questo caso quindi i parametri fenologici e lepidocronologici, ossia i descrittori dei pattern di crescita della pianta.

Le analisi fenologiche consistono nello studio delle strutture anatomiche della pianta, in particolare dei parametri morfometrici delle foglie; queste ultime, come detto in precedenza, hanno una persistenza sulla pianta ed una velocità di accrescimento che dipendono dalla stagione. Per tale motivo l'analisi fenologica della pianta deve tenere in considerazione il periodo di campionamento.

Le analisi lepidocronologiche, invece, vengono eseguite sulla parte ipogea della pianta (sul rizoma) e servono per valutare in maniera indiretta la produzione, in termini di biomassa, della prateria e per determinare l'età della pianta campionata.

L'esame delle scaglie fogliari che permangono sul rizoma successivamente alla caduta delle foglie, permette di risalire al numero di cicli annuali di crescita delle foglie. Le scaglie, infatti, presentano una variabilità ciclica del loro spessore riconducibile al ciclo annuale di crescita di questa specie (Pergent et al., 1982; Pirc, 1983); è possibile così stimare la quantità di biomassa prodotta dalla pianta e di conseguenza, 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.

Un altro descrittore dello stato di salute delle praterie è la comunità animale e vegetale che colonizza le diverse porzioni della pianta, dal rizoma alle foglie; è possibile valutare ad esempio lo stress da *grazing* cui sono sottoposte le foglie; inoltre le lamine fogliari di *Posidonia oceanica*, sono un substrato importante per molte specie animali e vegetali le quali vanno a costituire molto spesso delle comunità ben strutturate (Fresi et al., 1982).

Le comunità che epifitano sia le foglie sia i rizomi della *Posidonia*, sono fondamentali nel trasferimento di energia dalla pianta ai livelli trofici superiori e presentano *pattern* di crescita fortemente influenzati dall'età del substrato (Casola et al. 1987; Cebrian et al., 1999).

2.2.3. Descrittori derivati

I descrittori derivati si ottengono dalle misure e dalle osservazioni dei descrittori sintetici strutturali e funzionali e sono:

- numero medio di foglie per fascio;
- numero medio di foglie adulte o intermedie;
- larghezza media delle foglie adulte e intermedie;
- lunghezza media della base;
- Coefficiente “A” di Giraud (1977), corrispondente alla percentuale di foglie che hanno perduto l’apice;
- Indice L.A.I. (Leaf Area Index) di Drew (1971), corrispondente alla superficie fogliare per fascio o per mq.

Tali parametri contribuiscono a descrivere lo stato di salute delle piante e le sue variazioni nel tempo, ed a determinare eventuali fonti di disturbo.

2.4 Conservazione delle praterie di Posidonia e quadro normativo

L’importanza delle praterie di *Posidonia oceanica*, a livello sia ecologico (protezione della biodiversità, esportazione di biomassa, ecc..) che economico (pesca, turismo, ecc..) e la notevole sensibilità della pianta alle perturbazioni naturali e/o artificiali, ha spinto le autorità nazionali, europee ed internazionali ad azioni volte alla loro protezione.

Nel 1979 la *Posidonia oceanica* viene inclusa nella Lista delle specie vegetali rigorosamente protette (Annesso I) redatta a seguito della Convenzione di Berna; nel 1990 la viene inserita nella Lista Rossa delle specie marine del Mediterraneo a rischio di estinzione (Boudouresque et al., 1990). Nel 1995 viene citata nell’Annesso II (specie minacciate) del Protocollo delle Aree Specialmente Protette della Convenzione di Barcellona; inoltre, nel “Piano d’Azione per la conservazione della vegetazione marina in Mediterraneo”, adottato dai paesi mediterranei nell’ambito della Convenzione di Barcellona nel 1999, le nazioni aderenti si sono impegnate a condurre inventari e mappature delle praterie di *P. oceanica* che insistono lungo le loro coste. Le praterie di *P. oceanica* sono , inoltre, considerate habitat prioritari nell’Allegato I della Direttiva EC 92/43/EEC del 21 maggio 1992 relativa alla Conservazione degli Habitat Naturali e della Fauna e della Flora Selvatiche. La Direttiva definisce questi

I.INTRODUZIONE

habitat prioritari come Siti di Interesse Comunitario (SIC), la cui conservazione richiede la designazione di Aree Speciali di Conservazione. Un SIC è definito come “un sito che, nella o nelle regioni biogeografiche cui appartiene, contribuisce in modo significativo a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat naturale di cui all’Allegato I o una specie di cui all’Allegato II in uno stato di conservazione soddisfacente”.

Secondo la Direttiva, un habitat è considerato in uno stato di conservazione soddisfacente quando:

- la sua area di ripartizione naturale e le superfici che comprende sono stabili o in estensione;
- la struttura e le funzioni specifiche necessarie al suo mantenimento a lungo termine esistono e possono continuare ad esistere in un futuro prevedibile;
- lo stato di conservazione delle specie tipiche è soddisfacente.

In Italia il D.P.R. 357/97 recepisce la Direttiva Habitat 92/43/CE e prevede che le Regioni individuino i siti di interesse comunitario e ne effettuino una valutazione periodica per proporre al Ministero dell’Ambiente una lista dei siti sempre aggiornata: i SIC marini individuati rappresentano fondali colonizzati da praterie di *Posidonia oceanica*.

Secondo la Direttiva Quadro per le Acque (WFD) 2000/60/EC (Allegato V) le fanerogame marine sono da considerarsi degli elementi biologici di qualità, ossia elementi che, per la loro sensibilità ai disturbi antropici, devono essere utilizzati negli studi di monitoraggio ambientale per definire lo stato ecologico delle acque costiere.

La protezione delle praterie prevede sia le azioni di conservazione di un certo territorio geografico (se quest’ultimo ospita delle praterie) sia le azioni che mirano a limitare o compensare i deterioramenti dell’ambiente litorale dovuti alla presenza dell’uomo (Boudouresque et al., 2006).

La regressione dei posidonieti può essere dovuta a numerose cause, quali, per esempio, lo scarico di rifiuti, l’ancoraggio, l’impiego di attrezzi a strascico o di esplosivi, lo sversamento di materiale proveniente da lavori per la costruzione di opere costiere e/o la competizione con specie aliene.

Le procedure legislative che mirano a ridurre gli impatti sulle praterie di *Posidonia oceanica*, sono di seguito elencate:

- limitazione dell’immissione nell’ambiente di sostanze inquinanti (Protocolli della Convenzione di Barcellona),

I.INTRODUZIONE

- controllo del trattamento dei rifiuti urbani (Direttiva 91/271/CEE),
- riduzione dell'eutrofizzazione delle acque (Direttiva 91/676/CEE),
- divieto di certe tecniche di pesca (Regolamento CE n° 1626/94 del Consiglio del 27 giugno 1994, che prevede alcune misure tecniche per la conservazione delle risorse della pesca in Mediterraneo),
- controllo dell'introduzione di specie invasive (Direttiva 92/43/CEE).

L'importanza ormai accertata delle praterie di *Posidonia oceanica* ha fatto sì che sia considerata nell'ambito dei monitoraggi ambientali previsti per il controllo della qualità dell'ambiente marino costiero e nelle procedure di autorizzazione di opere costiere che potenzialmente possono creare impatto sull'ambiente marino.

2.5 Disturbi naturali ed antropici sulle praterie di *Posidonia oceanica*

Per disturbo si intende qualunque fattore esterno alla comunità che ne altera la struttura, modificando la disponibilità delle risorse e l'ambiente fisico (Harper, 1977). un disturbo è caratterizzato secondo l'intensità, la durata e la frequenza, ed è la loro combinazione a determinare l'entità del danno.

I disturbi possono essere sia di origine naturale sia di origine antropica; questi ultimi sono i più numerosi e sono quelli che determinano i cambiamenti più profondi nella struttura di comunità. Possono essere:

- **acuti:** caratterizzati dall'insorgere improvviso di una perturbazione, con un'impennata nell'intensità e di breve durata;
- **cronici:** relativi a perturbazioni di lunga durata o ricorrenti frequentemente, ma non troppo intense.

Gli ecosistemi sono caratterizzati da una certa resistenza (capacità di resistere a perturbazioni) e resilienza (capacità di recuperare da una perturbazione); la resilienza o resistenza di un ecosistema è strettamente legata alla struttura delle comunità che lo costituiscono.

Alcune popolazioni di fanerogame esposte a disturbi periodici sono permanentemente in uno stato di perdita e di recupero (Hemminga e Duarte, 2000): il risultato è una distribuzione a macchie che viene detta "a pelle di leopardo", caratteristica di specie r strateghe come *Cymodocea nodosa*. Quando l'intensità e la frequenza del disturbo superano la soglia critica

caratteristica di ogni specie, si assiste alla sua completa scomparsa (Fig. 2.6).

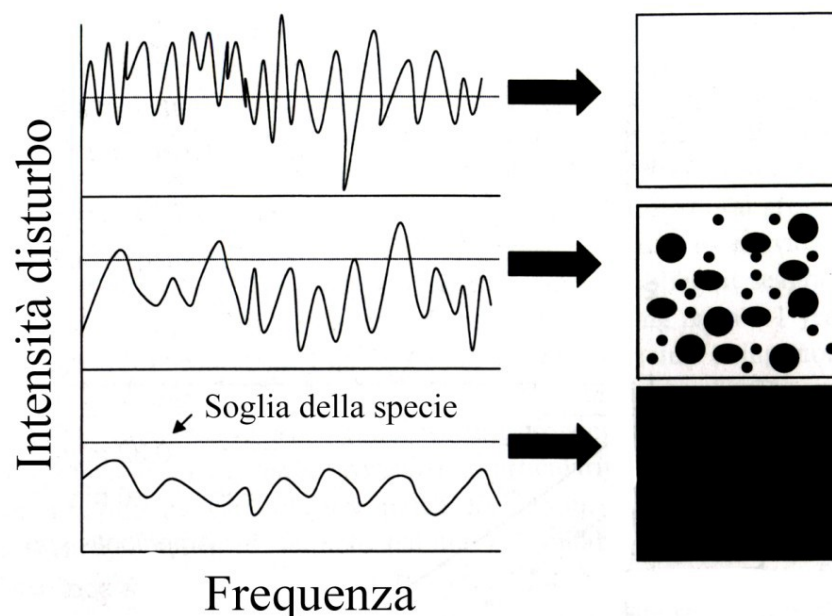


Fig. 2.6. Raffigurazione dell'intensità del disturbo in relazione alla frequenza e risposta della comunità sottoposta al disturbo.

La regressione è un fenomeno che coinvolge tutte le fanerogame a livello mondiale. Per quanto riguarda la *Posidonia oceanica*, le praterie presenti lungo le coste del bacino occidentale sono quelle in questo fenomeno sembra essere più largamente diffuso; in particolare nel settore centro settentrionale del Mar Mediterraneo, è stato osservato una regressione sia del limite superiore sia del limite inferiore delle praterie, con una generale riduzione sia della densità dei fasci fogliari sia dell'estensione dell'areale di distribuzione.

La principale causa della regressione e degradazione delle praterie di *Posidonia oceanica* è rappresentata dalle attività antropiche (Leriche et al., 2006; Montefalcone et al., 2010).

Le opere di riassetto logistico della costa (costruzione di strutture portuali, costruzione di dighe foranee, sbarramenti, barriere artificiali) portano ad una variazione del campo idrodinamico litoraneo, provocando variazioni nel bilancio sedimentario costiero.

Una conseguenza dell'aumento delle attività antropiche costiere è la riduzione della trasparenza dell'acqua, provocata spesso anche dalla presenza di scarichi urbani. Questi, in particolare nel periodo estivo, possono portare ad un aumento delle particelle in sospensione e di nutrienti in acqua, con un conseguente sviluppo di biomassa fitoplanctonica. Il risultato è la

I.INTRODUZIONE

diminuzione della quantità di radiazione luminosa in grado di raggiungere il fondo e le piante che lo colonizzano, riducendo l'attività fotosintetica di queste ultime. Gli scarichi urbani, inoltre, introducono in mare una elevata quantità di sostanze chimiche che causano l'alterazione dei meccanismi di biosintesi dei pigmenti fotosintetici (Augier e Madinas, 1979; Panayotidis et al., 1990). I detergenti presentano caratteristiche tossicologiche in grado di provocare danni letali a livello istologico e alterare i processi di accrescimento delle piante (Augier et al., 1984). Inoltre, la presenza di idrocarburi in acqua, dovuta ad esempio al traffico navale commerciale, ma soprattutto da diporto, ostacola la penetrazione della luce e, quando si deposita sulle foglie delle piante, riduce gli scambi gassosi.

Un'altra fonte di disturbo per le praterie di *Posidonia oceanica* viene dagli impianti di allevamento ittico che vengono posizionati lungo le coste; questi hanno una forte azione impattante dovuta all'aumento del carico organico nell'acqua e nei sedimenti, comportando la degradazione delle praterie dovute all'aumento della comunità epifita presente sulle foglie, all'attenuazione della radiazione luminosa e, molto spesso, a fenomeni di anossia dovuti all'intensa attività antropica (Cancemi et al., 2000; Cancemi et al., 2003; Holmer et al., 2008; Pérez et al., 2008); l'effetto di tali impatti può essere ridotto grazie all'utilizzo di tecniche di trattamento delle acque (Boudouresque et al., 2000).

I danni diretti subiti dalle praterie sono quelli di natura meccanica; le attività di pesca a strascico (Ardizzone et al., 1984), eseguite in passato frequentemente lungo la costa, nonché l'ancoraggio indiscriminato delle imbarcazioni da diporto (Ceccherelli e Campo, 2002; Ceccherelli et al., 2007; Montefalcone et al., 2008), portano all'asportazione di estese porzioni di *matte*; questo porta alla presenza all'interno delle praterie a punti di debolezza nella loro struttura, in particolare a punti maggiormente sensibili all'energia del moto ondoso e delle correnti di fondo

L'introduzione nel Mediterraneo di specie alloctone, quali le diverse specie del genere *Caulerpa*, ha creato in molti casi al presentarsi di squilibri negli ecosistemi marini costieri; tali specie, infatti, risultano essere competitive con le fanerogame per la colonizzazione del substrato (De Villele e Verlaque, 1995; Ceccherelli et al., 2000; Piazzini et al., 2001; Ceccherelli et al., 2002).

Il tendenziale aumento della temperatura dell'acqua riscontrato in tutto il bacino del mar Mediterraneo (Moliner e Picard, 1952; Augier e Boudouresque, 1970; Astraldi et al., 1995; Buia et al., 2006)), ha comportato una variazione nei normali cicli riproduttivi delle piante di

Posidonia oceanica.

La realizzazione di opere nelle zone costiere, modifica localmente il comportamento delle onde e delle correnti, ed interagisce con i processi del trasporto litorale che presiedono alla distribuzione dei sedimenti. In corrispondenza delle opere, infatti, si formano aree di deposizione e di erosione sia del fondo marino, sia della spiaggia emersa (Astier, 1984), dovuto all'alterazione del trasporto solido costiero; Le correnti vengono spostate verso il largo modificando i flussi di sedimento e la loro naturale deposizione o erosione. Ciò può comportare un soffocamento meccanico delle piante ed una riduzione complessiva della trasparenza della colonna d'acqua che ostacola i processi fotosintetici (Tunesi et al., 2001). Gli effetti negativi sulle praterie sono riscontrabili nella diminuzione della densità, copertura, accrescimento e produttività delle praterie (Ruiz e Romero, 2003). La costruzione di strutture di protezione della costa porta ad variazioni del campo idrodinamico locale producendo, in alcune aree, un aumento delle correnti di fondo con danni diretti alle praterie. Anche i **porti turistici** rappresentano minacce costanti per lo stato di vitalità delle praterie sia interne all'area portuale, sia ad essa prospicienti (Peres, 1984). Dove vengono costruiti I porti la praterie scompaiono sia a breve termine, per l'azione diretta dovuta all'impianto dell'opera portuale, sia a lungo termine per le alterazioni che tali strutture causano nell'ambiente circostante (Boudouresque et al., 2006).

2.6. Studio dei cambiamenti delle praterie a medio e lungo termine: effetto delle attività di dragaggio

Uno dei principali fattori che determinano la regressione delle praterie di *Posidonia oceanica* è la diminuzione della trasparenza dell'acqua; la quantità di luce richiesta da una foglia è determinata dal colore naturale dell'acqua, dalla concentrazione di solido sospeso e di biomassa fitoplanctonica e dalla copertura epifita presente sulla foglia (Dennison, 1991; Batiuk et al., 2000).

L'aumento della popolazione e del processo di urbanizzazione, lo sviluppo industriale, il cambio di uso del suolo ha portato ad un aumento nella quantità di apporti fluviali in mare, con la conseguente perdita di trasparenza delle acque neritiche dovuta all'aumento di particelle in sospensione e disciolte, sia inorganiche che organiche.

La torbidità è una misura della riduzione della trasparenza dell'acqua dovuta alla presenza

I.INTRODUZIONE

di solido sospeso, materia organica disciolta e plancton; può essere considerata un parametro di qualità delle acque marine costiere dal momento in cui influenza la penetrazione della luce, e di conseguenza la produttività e la crescita delle specie vegetali bentoniche (Cloern, 1987; Cole and Cloern, 1987; Pennock and Sharp, 1994; Fisher et al., 1999, Moore et al., 1997; Anthony et al., 2004).

L'aumento della torbidità determina una diminuzione della profondità critica, ossia della profondità compatibile con i processi di fotosintesi, e, di conseguenza, una risalita del limite inferiore delle praterie.

La concentrazione di sostanze presenti nelle acque marine costiere, che ne influenzano la trasparenza, interferendo con la propagazione della radiazione luminosa in profondità, è dovuta principalmente agli apporti fluviali di materiali terrigeni e di nutrienti i quali, in prossimità delle foci fluviali, possono innescare fioriture algali. Anche le correnti costiere ed il moto ondoso contribuiscono all'aumento della torbidità risospendendo il materiale sedimentato.

La trasparenza (o torbidità) delle acque neritiche dipende principalmente dalla quantità e dalla qualità del materiale trasportato dai corsi d'acqua. La capacità dei fiumi di trasportare sedimento di una certa granulometria è definita competenza e può variare stagionalmente seguendo l'andamento delle piogge; una volta arrivato al mare il sedimento viene preso in carico dalle correnti marine, e trasportato più o meno lontano in base alla sua composizione granulometrica. Una volta depositatosi, il sedimento può essere risospeso dall'energia del moto ondoso e delle correnti. La variazione nell'uso del suolo (diminuzione della copertura boscosa, aumento delle superfici agricole) e gli interventi di regimazione, di sbarramento e di derivazione delle aste fluviali hanno portato nel corso degli anni ad un cambiamento importante nella capacità di corsi d'acqua di trasportare il sedimento di una certa dimensione (competenza fluviale); negli ultimi anni è stato infatti osservato una variazione nella composizione del sedimento trasportato dai bacini fluviali, costituito soprattutto da materiale di piccole dimensioni (argilla e silt) piuttosto che da materiale più grossolano (sabbia); ciò è dovuto in particolare alla diminuzione della competenza dei bacini stessi.

Recenti studi hanno messo in evidenza come anche le attività antropiche, in particolare le attività di dragaggio, abbiano un effetto negativo sullo stato di salute della pianta; infatti queste attività cambiano in maniera importante le condizioni chimico-fisiche della colonna d'acqua variando la batimetria dei fondali, la velocità delle correnti e l'incidenza e l'energia

I.INTRODUZIONE

del moto ondoso (Jensen and Mogensen, 2000), ed alterando di conseguenza il regime sedimentario della costa causando il sotterramento o l'erosione delle praterie di fanerogame marine. (MacInnis-Ng, 2003). Inoltre i dragaggi, e di conseguenza il materiale portato in sospensione durante tali attività, diminuiscono la trasparenza della colonna d'acqua aumentando la concentrazione di solido sospeso. Quest'ultima ha un duplice effetto sulle fanerogame: comporta un'attenuazione della luce necessaria alle piante per espletare le normali funzioni vitali, ed inoltre può portare alla morte degli organismi (in particolare filtratori) associati alle praterie.

L'impatto delle attività di dragaggio sugli ecosistemi marini costieri risulta evidente nel momento in cui l'aumento della concentrazione del materiale sospeso e il rateo sedimentario da queste causato supera in maniera abbondante l'aumento dovuto ad una variabilità naturale (Strickle, 1978; Orpin, et al., 2004). Tale variabilità naturale può a volte essere consistente a causa di diversi fattori, quali ad esempio le forti mareggiate, azione delle onde indotta dal vento, apporti fluviali e altre perturbazioni locali (Pennekamp, et al., 1996).

L'effetto delle attività di dragaggio inoltre dipende dalla frequenza e dalla durata con la quale vengono eseguite tali attività, dalla quantità del materiale movimentato, dalle tecniche e dagli strumenti utilizzati, dalla profondità e dalla tipologia dei fondali dragati, dalle condizioni di torbidità naturali dell'area interessata e dalle variazioni meteomarine stagionali. In alcuni casi l'impatto delle attività può interessare aree piuttosto piccole e perdurare per brevi periodi di tempo; in altri casi, invece l'effetto può prolungarsi nel tempo, interessando aree molto estese (Lewis, 1976).

Sono stati eseguiti numerosi studi per valutare l'effetto della riduzione della trasparenza dell'acqua sulle praterie di fanerogame marine, la quantità di luce di cui ha bisogno una foglia è determinata dal colore naturale dell'Inoltre i dragaggi, e di conseguenza il materiale portato in sospensione durante tali attività, diminuiscono la trasparenza della colonna d'acqua aumentando la concentrazione di solido sospeso. Quest'ultima ha un duplice effetto sulle fanerogame: comporta un'attenuazione della luce necessaria alle piante per espletare le normali funzioni vitali, ed inoltre può portare alla morte degli organismi (in particolare filtratori) associati alle praterie.

L'impatto delle attività di dragaggio sugli ecosistemi marini costieri risulta evidente nel momento in cui l'aumento della concentrazione del materiale sospeso e il rateo sedimentario da queste causato supera in maniera abbondante l'aumento dovuto ad una variabilità naturale

I.INTRODUZIONE

(Strickle, 1978; Orpin, et al., 2004). Tale variabilità naturale può a volte essere consistente a causa di diversi fattori, quali ad esempio le forti mareggiate, azione delle onde indotta dal vento, apporti fluviali e altre perturbazioni locali (Pennekamp, et al., 1996).

Gli indicatori di una sofferenza da parte della pianta per la riduzione della quantità di luce disponibile sono una diminuzione della biomassa ipogea e del contenuto di carboidrati nel rizoma, nonché una riduzione nel contenuto di clorofilla nelle foglie e di altri parametri fotosintetici della crescita (Coles and McKenzie, 2004). Il range di tolleranza da parte delle fanerogame alla richiesta minima di luce è molto ampio (2.5-37% della Irradianza Superficiale, IS) e può variare sia fra specie diverse, sia all'interno di una singola specie (Tab. 2.2)

Species	Location	% SI	Reference
<i>Amphibolis anctartica</i>	Waterloo Bay, Australia	24.7	Duarte, 1991
<i>Cymodocea nodosa</i>	Malta	7.3	Drew, 1978
<i>Cymodocea nodosa</i>	Ebro Delta, Spain	10.2	Duarte, 1991
<i>Halodule wrightii</i>	Laguna Madre, Texas, USA	5	Dunton and Tomasko, 1991
<i>Halodule wrightii</i>	Alabama, USA	14	Shafer, 1999
<i>Halodule wrightii</i>	Texas, USA	16	Czerny and Dunton, 1995
<i>Halodule wrightii</i>	Texas, USA	16	Onuf, 1996
<i>Halodule wrightii</i>	Florida, USA	17.2	Denninson et al., 1993
<i>Halodule wrightii</i>	Texas, USA	17.5	Onuf, 1991
<i>Halodule wrightii</i>	Texas, USA	18	Dunton, 1994
<i>Halodule wrightii</i>	Texas, USA	18	Dunton and Tomasko, 1994
<i>Halodule wrightii</i>	Indian River Lagoon, Florida, USA	29.5	Beal and Schmit, 2000
<i>Halodule wrightii</i>	Indian River Lagoon, Florida, USA	30.5	Kenworthy and Fonseca, 1996
<i>Halophila decipiens</i>	Hobe Sound, Florida, USA	2.5	Denninson, 1987
<i>Halophila decipiens</i>	St. Croix, Caribbean	4.4	Williams and Denninson, 1990
<i>Halophila decipiens</i>	Northwest Cuba	8.8	Duarte, 1991
<i>Halophila engelmanni</i>	Northwest Cuba	23.7	Duarte, 1991
<i>Halophila ovalis</i>	Zanzibar, Tanzania	16	Schwarz et al., 2000
<i>Halophila spp.</i>	Sud Tropical sea	5	Denninson et al., 1993
<i>Halophila stipulacea</i>	Gulf of Eilat, Red Sea	3	Beer and Waisel, 1982
<i>Heterozostera tasmaica</i>	Spencer Gulf, Australia	4.4	Duarte, 1991
<i>Heterozostera tasmaica</i>	Victoria, Australia	5	Bulthuis, 1983
<i>Heterozostera tasmaica</i>	Australia	9	Bulthuis and Woelkerling, 1983
<i>Heterozostera tasmaica</i>	Chile	17.4	Duarte, 1991
<i>Heterozostera tasmaica</i>	Waterloo Bay, Australia	20.2	Duarte, 1991
<i>Posidonia angustifolia</i>	Waterloo Bay, Australia	24.7	Duarte, 1991
<i>Posidonia australis</i>	Australia	10	Fitzpatrick and Kirkman, 1995
<i>Posidonia coriacea</i>	Adelaide coast, Australia	8	Westphalen et al., 2004
<i>Posidonia oceanica</i>	Medas Island, Spain	7.8	Duarte, 1991
<i>Posidonia oceanica</i>	Malta	9.2	Drew, 1978
<i>Posidonia oceanica</i>	Corsica, France	10-16	Dalla Via et al., 1998, Ruiz and Romero, 2003
<i>Posidonia ostenfeldii</i>	Waterloo Bay, Australia	24.7	Duarte, 1991
<i>Posidonia sinuosa</i>	Australia	20	Gordon et al., 1994
<i>Posidonia sinuosa</i>	Waterloo Bay, Australia	24.7	Duarte, 1991

I.INTRODUZIONE

Species	Location	% SI	Reference
<i>Ruppia maritima</i>	Brazil		Duarte, 1991
<i>Ruppia maritima</i>	Australia estuary		Congdon and McComb, 1979
<i>Ruppia megacarpa</i>	Western Australia		Carruthers et al., 1999
<i>Syringodium filiforme</i>	Florida, USA		Denninson, et al., 1993
<i>Syringodium filiforme</i>	Florida, USA		Duarte, 1991
<i>Syringodium filiforme</i>	Northwest Cuba		Duarte, 1991
<i>Syringodium filiforme</i>	Indian River Lagoon, Florida, USA		Kenworthy and Fonseca, 1996
<i>Thalassia testudinum</i>	Florida, USA		Fourqurean et al., 1999
<i>Thalassia testudinum</i>	Texas, USA		Czerny and Dunton, 1995
<i>Thalassia testudinum</i>	Texas, USA		Lee and Dunton, 1997
<i>Thalassia testudinum</i>	Florida, USA		Fourqurean and Zieman, 1991
<i>Thalassia testudinum</i>	Florida, USA		Duarte, 1991
<i>Thalassia testudinum</i>	Gulf of Mexico		Iverson and Bittaker, 1986
<i>Thalassia testudinum</i>	Florida Bay, USA		Stumpf et al., 1999
<i>Thalassia testudinum</i>	Tampa Bay, Florida, USA		Dixon, 2000
<i>Thalassia testudinum</i>	Northwest Cuba		Duarte, 1991
<i>Thalassia testudinum</i>	Puerto Rico		Vincente and Rivera, 1982
<i>Zostera capricorni</i>	Moreton Bay, Australia		Longstaff et al., 1999
<i>Zostera capricorni</i>	Moreton Bay, Australia		Abal and Denninson, 1996
<i>Zostera marina</i>	New Hampshire, USA		Short et al., 1995
<i>Zostera marina</i>	Japan		Duarte, 1991
<i>Zostera marina</i>	Woods Hole, USA		Denninson et al., 1993
<i>Zostera marina</i>	Roskilde, Denmark		Borum, 1983
<i>Zostera marina</i>	Chesapeake Bay, USA		Denninson et al., 1993
<i>Zostera marina</i>	Long Island Sound, USA		Burkholder and Doheny, 1968
<i>Zostera marina</i>	Kattegat, Denmark		Ostenfeld, 1908
<i>Zostera marina</i>	Denmark		Duarte, 1991
<i>Zostera marina</i>	York River, VA (USA)		Moore, 1991
<i>Zostera marina</i>	Netherlands		Duarte, 1991
<i>Zostera marina</i>	Long Island Sound, USA		Koch and Beer, 1996
<i>Zostera marina</i>	California, USA		Backman and Barilotti, 1976
<i>Zostera noltii</i>	Spain		Peralta et al., 2002

Tab. 2.2 . Richiesta minima di luce da parte delle specie di fanerogame marine
(da Erftemeijer, et al., 2006 modificato)

Anche il periodo di sopravvivenza in condizioni di luce al di sotto della soglia richiesta varia da specie a specie, ed è minore nelle specie più piccole e con una piccola riserva di sostanze di stoccaggio rispetto alle specie di maggiori dimensioni e con una maggiore biomassa ipogea (Longstaff, et al., 1999; Peralta, et al., 2002).

Studi condotti sulla *Posidonia oceanica*, hanno messo in evidenza come la pianta abbia dei range di sopravvivenza compresi tra il 7.8 ed il 16 % dell'irradianza superficiale (Duarte, 1991; Drew, 1978; Dalla Via, et al., 1998; Ruiz and Romero, 2003); per quanto riguarda invece il periodo di sopravvivenza al di sotto della soglia minima richiesta di IS, sono stati condotti studi sulla *Posidonia sinuosa* che hanno messo in evidenza una resistenza fino a 24 mesi (Gordon, et al., 1994).

I. INTRODUZIONE

3. UTILIZZO DEI MODELLI IDRODINAMICI E DI TRASPORTO SOLIDO NELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE SUGLI ECOSISTEMI MARINI COSTIERI

La modellistica numerica è da molto tempo uno strumento ampiamente diffuso per la previsione dei cambiamenti degli ecosistemi marini al variare delle condizioni chimiche, fisiche ed idrologiche delle masse d'acqua. I modelli idrodinamici, in particolare, sono utilizzati per descrivere e rappresentare i movimenti delle masse d'acqua sia in mare aperto, sia lungo le zone costiere fornendo importanti informazioni sulle caratteristiche delle masse d'acqua (temperatura, salinità, velocità delle correnti, energia del moto ondoso, ecc) nonché sul trasporto di tutto ciò che è sospeso nella colonna d'acqua.

La capacità di tali modelli di fornire previsioni accurate delle principali variabili oceanografiche (altezza dell'acqua, temperatura, salinità, ecc.) ha fatto sì che il loro utilizzo fosse esteso allo studio degli ecosistemi marini e di molti organismi che vivono interamente, o solo parte, del loro ciclo vitale sospesi nella colonna d'acqua.

Una serie di strumenti matematici sono stati sviluppati al fine di individuare e studiare le reti di connessione, sia biologiche sia ecologiche, tra popolazioni di specie geograficamente separate ma geneticamente collegate tra loro (Proulx et al., 2005), attraverso anche modelli idrodinamici di dispersione (Kininmonth et al., 2010 a,b, Domingues, et al., 2012,).

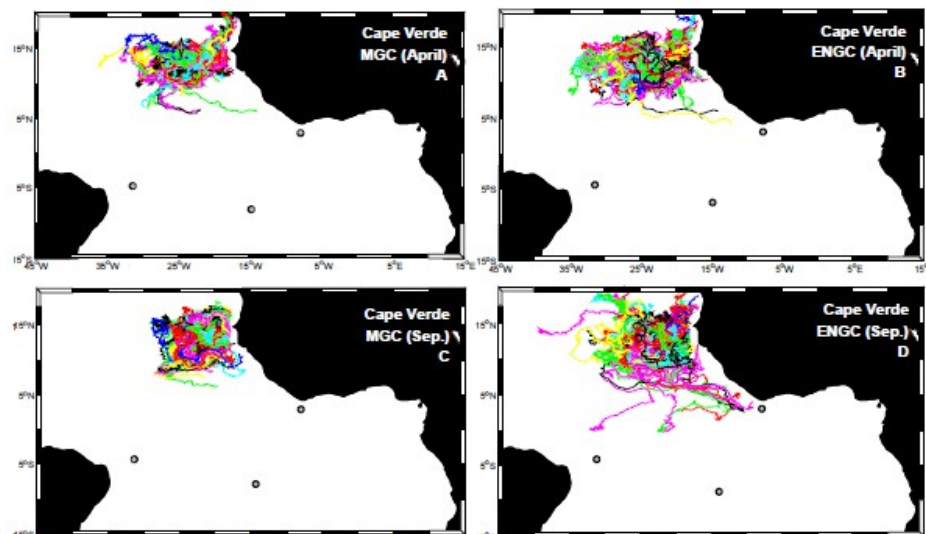
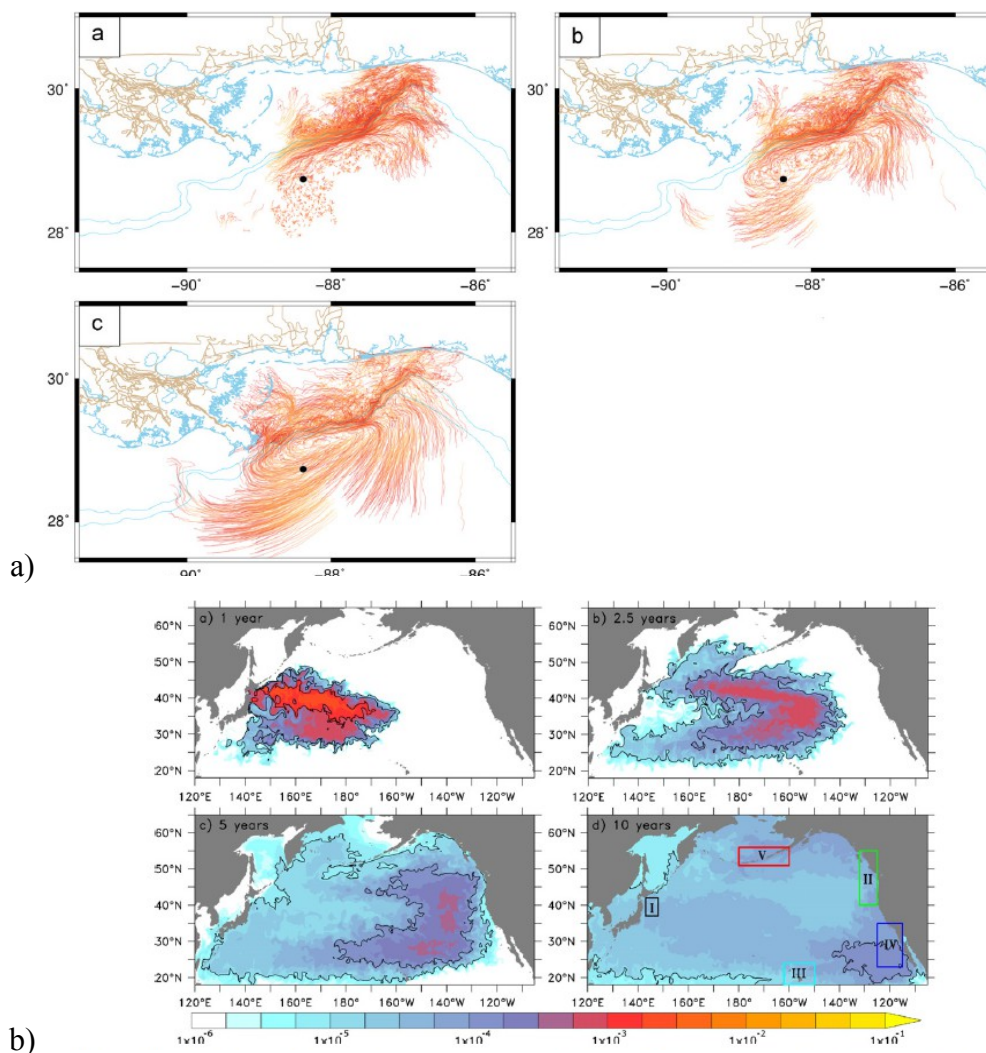


Fig. 3.1. Esempio di dispersione larvale attraverso simulazioni di modelli idrodinamici (da Rudorff, et al., 2009)

I. INTRODUZIONE

I modelli idrodinamici sono anche un valido strumento per la previsione della dispersione di inquinanti di diversa natura e da diverse sorgenti.

Nel caso di disastri ambientali di grandi dimensioni, quale ad esempio l'esplosione della piattaforma petrolifera DeepWater Horizon (2010) nel Golfo del Messico, o come l'incidente nucleare di Fukushima (2011), diventa di fondamentale importanza lo studio della dispersione degli inquinanti attraverso modelli matematici; la bibliografia riguardante tali eventi è estremamente ampia qui si riportano solo le immagini relative al risultato dei modelli di dispersione.



3.2. Esempi di dispersione di inquinanti nel caso: a) del disastro della piattaforma petrolifera DeepWater Horizon nel Golfo del messico (Dietrich, et al., 2012);
b) dell'incidente della Centrale Nucleare di Fukushima in Giappone (Behrens, ET AL., 2012)

I. INTRODUZIONE

Recentemente i modelli idrodinamici di dispersione sono stati applicati anche allo studio della dispersione delle strutture riproduttive delle fanerogame marine (Erftemeijer, et al., 2008).

Oltre che per le emergenze ambientali, ultimamente i modelli vengono sempre più utilizzati per valutare l'impatto delle attività antropiche (quali ad esempio scarichi industriali, impianti di acquacoltura, attività di dragaggio, ecc.) sugli ecosistemi marini costieri.

Nel caso di interventi diretti sui fondali costieri, come costruzione di opere portuali o installazione di barriere artificiali, l'utilizzo dei modelli di dispersione che simulano l'azione del trasporto solido litoraneo dovuto al vento, al moto ondoso e al conseguente campo di correnti, permettono di valutare l'effetto di tali opere sul bilancio sedimentario della zona costiera, mettendo in rilievo l'eventuale insorgenza di fenomeni di erosione o insabbiamento.

Nel caso della valutazione dell'impatto dei dragaggi sugli ecosistemi marini, i modelli permettono di simulare il trasporto e la deposizione del materiale dragato, valutando le strategie migliori da attuare, ed i siti principalmente coinvolti dai processi di sedimentazione.

Il litorale di Civitavecchia, nel Lazio settentrionale, è stata numerose volte oggetto di interventi di riassetto logistico delle attività costiere che hanno determinato altrettanto numerosi interventi di dragaggio dei fondali; la presenza di ecosistemi di notevole importanza ecologica, biologica ed economica intorno a tali siti, quali ad esempio le praterie di *Posidonia oceanica*, diventa necessario valutare, possibilmente *a priori*, l'impatto degli interventi sugli ecosistemi naturali adiacenti.

In questo studio verrà utilizzato il modello bi- e tridimensionale Delft-3D, che permette di simulare sia il campo idrodinamico sia il trasporto solido costiero dell'area di interesse.

4. SCOPO DEL LAVORO

In un'area costiera così complessa dal punto di vista geomorfologico e dal punto di vista antropico quale la costa del Lazio settentrionale, è importante riuscire a valutare quali siano i fattori che maggiormente regolano i pattern di crescita e lo stato di salute della *Posidonia oceanica*.

Lo scopo del presente lavoro è di valutare la variabilità spaziale e temporale dei parametri strutturali e funzionali delle praterie di *Posidonia oceanica* del Lazio settentrionale, e di stimare la possibile corrispondenza tra la variabilità interannuale di tali parametri e la variabilità dei fattori ambientali che più influenzano lo stato di salute e la dinamica di crescita della pianta. Inoltre, l'utilizzo dei modelli numerici idrodinamici ha permesso di fare maggior luce sull'influenza delle dinamiche costiere sulla struttura praterie e sulla funzionalità fisiologica della pianta, nonché di valutare la presenza di un impatto dovuto alla sospensione di sedimenti durante le attività di dragaggio simulandone la dispersione e le zone di sedimentazione.

PARTE II. MATERIALI E METODI

5. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

Il presente studio ha preso in esame il tratto di costa del Lazio settentrionale compreso tra Santa Severa e Marina di Tarquinia. Quest'area è caratterizzata da una elevata complessità geomorfologica e da una costa particolarmente articolata; sul territorio, inoltre, insistono numerose di tipologie di attività di natura antropica, responsabili di molteplici disturbi all'ecosistema marino costiero.



Fig 5.1 Area di studio

L'area di studio interessa un tratto di costa lungo 69 km all'interno della quale si riscontrano condizioni ambientali estremamente diversificate.

II.MATERIALE E METODI

5.1 Geologia, morfologia ed idrografia della fascia costiera

L'area di studio presenta una notevole complessità geologica, risultato delle diverse vicende che hanno coinvolto la penisola italiana a partire dall'era Mesozoica. All'interno di questo territorio si ritrovano affioramenti di formazioni vulcaniche, depositi di *facies* marina e continentale. Questa grande eterogeneità si riflette in modo determinante anche sulla morfologia del paesaggio fisico si presenta ricco di molti elementi: le colline dolci sedimentarie ed i ripiani tufacei, rilievi aguzzi ed aspri delle lave, i laghi craterici o vulcano-tettonici di forma circolare o composta da più circonferenze che si intersecano sovrapponendosi; le forre e i corsi d'acqua a carattere prevalentemente torrentizio (fig. 5.2)

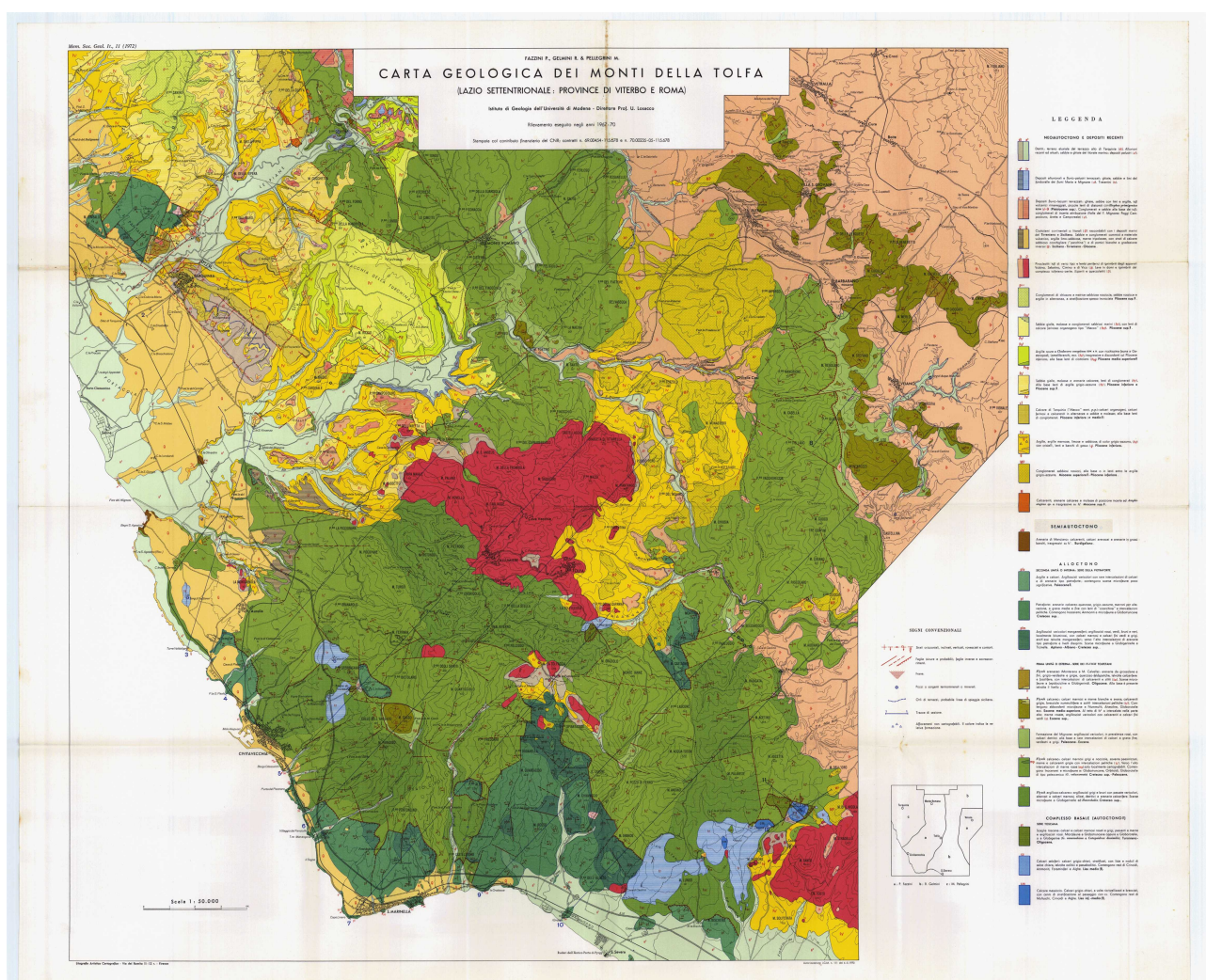


Fig. 5.2. Carta Geologica dei Monti della Tolfa

La zona in corrispondenza di Capo Linaro è occupata principalmente dai Monti della Tolfa,

II.MATERIALE E METODI

costituita da rilievi addolciti, prevalentemente *flysch* calcareo-marnoso e secondariamente da ridotti affioramenti di argilloscisti; in prossimità della costa sono presenti piccole percentuali di pietraforte, l'unico litotipo in grado di determinare una certa quantità di alluvioni sabbiose. Alla base dei rilievi montuosi è presente una porzione estesa di depositi di ciottolami di origine continentale del periodo olocenico. Andando verso nord si incontrano numerosi depositi alluvionali di origine recente, in particolare in corrispondenza dei fossi a carattere torrentizio (Fosso Marangone, Fosso Malapasso, Fosso Scarpatosta, Fosso Zampa d'Agnello, Fosso Fiumaretta) fino ad arrivare all'estesa pianura alluvionale del Fiume Mignone e del Fiume Marta). La produttività sabbiosa è inoltre riconducibile alle vulcaniti tracheitiche che alimentano parzialmente il bacino del Mignone nel versante NE dell'area di Tolfa e Allumiere. Le altre due formazioni citate producono quasi esclusivamente materiali di pezzatura grossolana. La produttività di materiale fine di questo complesso risulta essere trascurabile.

L'ampiezza della piattaforma continentale laziale è variabile: è più limitata nel settore centrale, tra Capo Linaro e Capo Circeo (20 Km), mentre è maggiormente estesa nel settore settentrionale tra l'Argentario e Capo Linaro e meridionale tra Capo Circeo e Gaeta (30-40km). La sua pendenza media è di poco inferiore a 0.5°. Il margine verso mare, in corrispondenza del quale ha inizio la scarpata continentale, è ben definito e si trova ad una profondità variabile tra i 120 m e i 150 m. I fondali antistanti la costa, compresi tra la battigia e l'isobata dei 10m., presentano un andamento e un'ampiezza che riflettono i principali lineamenti della morfologia costiera. Nell'area di Montalto di Castro si osservano fondali poco acclivi, associati a un'ampia fascia costiera (Chiocci e La Monica, 1996; La Monica e Raffi, 1996).

L'area di studio si trova a cavallo di due unità fisiografiche. La prima si estende dal fosso del Chiarone, al confine con la Toscana, fino a Capo Linaro. Questa unità presenta due andamenti diversi. Dal fosso del Chiarone fino a Punta Morelle la piattaforma continentale ha un andamento abbastanza regolare, con pendenza debolmente degradanti verso il largo. In particolare fra le batimetriche di -15 e -20m sono presenti modeste forme positive allungate parallelamente alle isobate, che si elevano di circa 3m rispetto ai fondali circostanti. Le diverse morfologie, positive e negative, interrompono l'omogeneità dei fondali nel tratto compreso tra Punta Morelle e Capo Linaro. La loro presenza è probabilmente da ricollegare alle praterie a *Posidonia oceanica* o ad accumuli legati all'attività incrostante di organismi bentonici che possono essere collegati o no all'attività della *Posidonia*.

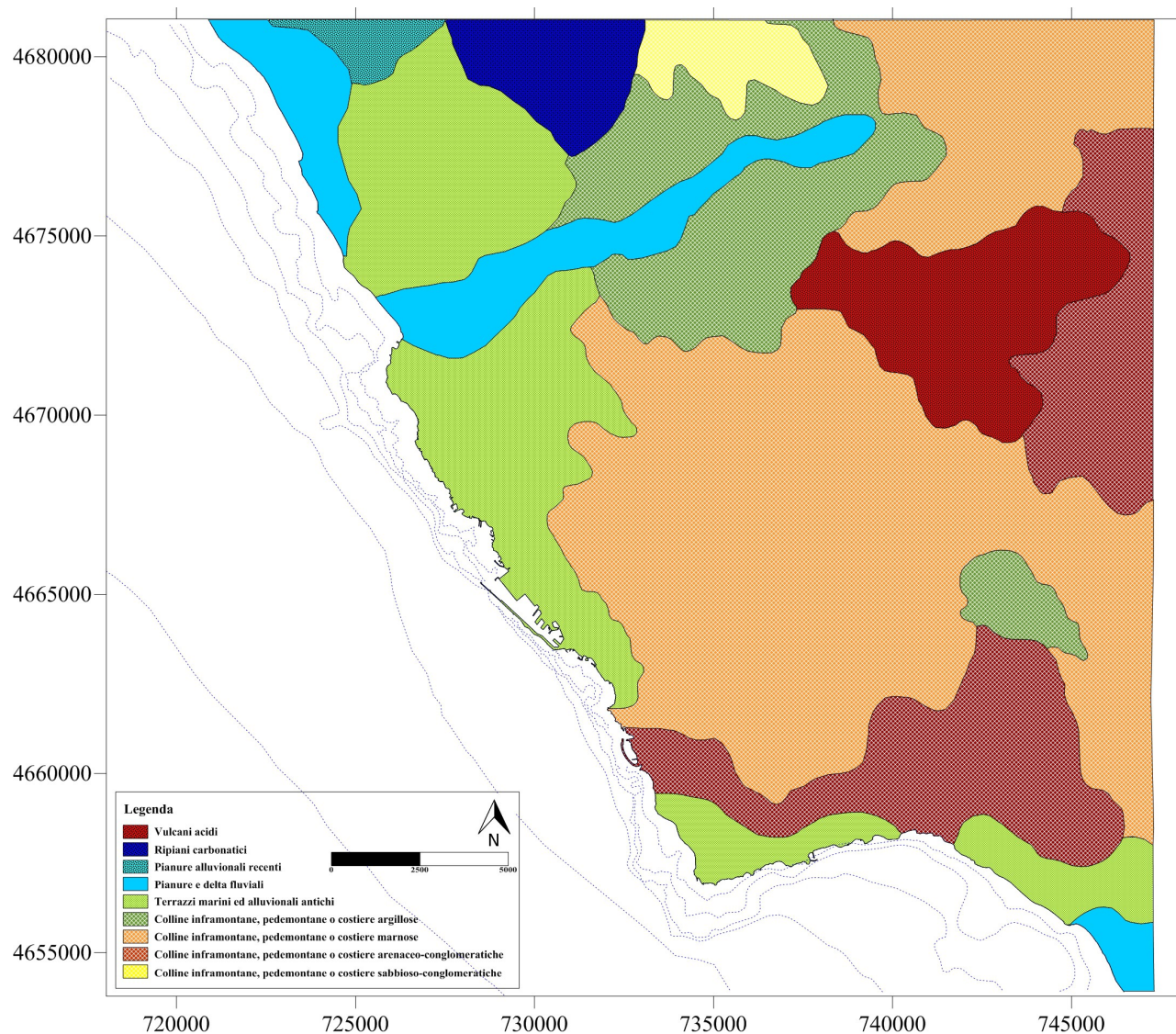
A Sud di S. Agostino e fino a Capo Linaro la costa diviene alta e di ciò risentono in modo assai

II.MATERIALE E METODI

evidente i fondali, la cui pendenza aumenta vistosamente: l'isobata dei -10 m è ubicata, mediamente, a soli 500 m dalla linea di riva. Anche la seconda unità fisiografica che si estende da Capo Linaro fino a Capo Anzio può essere suddivisa in due settori. Nel primo settore (fino a Palo) i fondali, assai articolati fino ai -20 m di profondità, divengono morfologicamente omogenei e digradano verso il largo prima dolcemente (pendenza media fra le isobate -30 e -40 m pari al 0,5% circa) e poi più bruscamente (pendenza media pari a 1% fra -40 e -50 m e a 1,33% fra -50 e -60 m). Al contrario, a Sud di Palo Laziale i fondali sono omogenei a tutte le profondità e scompaiono i posidonieti, attivi o morti che siano. Le caratteristiche della piattaforma continentale interna (ampiezza, pendenza etc.) sono da ricollegare alla presenza del delta che il Fiume Tevere ha costruito nel tempo, utilizzando i sedimenti da esso stesso riversati in mare.

Le attuali caratteristiche dei fondali marini (almeno fino all'isobata dei 120 m) sono il risultato dell'azione di due fattori diversi: l'apporto di sedimenti dalla terraferma e le variazioni glacioeustatiche pleistoceniche (ultimi 2.000.000 anni), in particolare quelle relative all'ultima risalita del livello del mare, circa 20.000-8000 anni fa (La Monica e Raffi, 1996).

Per la caratterizzazione morfologica dell'area di studio è stato fatto riferimento alla classificazione effettuata da Brondi A. (1994). La classificazione relativa alla costa dell'area di studio è rappresentata nella in Fig. 5.3.



5.3 Carta litomorfologica (Brondi, Grauso e Zarlenga e rivista da Brondi e Manfredi Frattarelli nel 2003.)

Tutto il tratto di costa dell'area di studio presenta una costa alta a terrazzi marini formati a seguito delle variazioni glacioeustatiche; l'entroterra è generalmente costituito da strutture collinari costiere di diversa natura (argillose, marnose, arenaceo-conglomeratiche e sabbioso conglomeratiche); la zona settentrionale vede la presenza importante degli apporti fluviali del fiume Mignone e del fiume Marta.

L'idrografia dell'area è caratterizzata dalla presenza di una fitta rete di corsi d'acqua, quasi tutti a carattere prevalentemente torrentizio, che confluiscono nei due fiumi più importanti: il Mignone e il Marta. L'insieme di questi corsi d'acqua costituisce un aspetto di notevole interesse ecologico e paesaggistico dal momento che gran parte di essi con la loro forza di erosione hanno scavato e modellato questo territorio.

II.MATERIALE E METODI

Il Marta con un bacino imbrifero di 1071 Km² occupa l'intera area nord-occidentale dell'area esaminata; si sviluppa su terreni di natura vulcanica e con il suo sistema di torrenti drena gran parte dell'apparato vulcanico vulsino e vicano. Nei comuni di Blera, Barbarano e Veiano si ritrovano diversi suoi affluenti quali fosso Biedano, fosso Leia, torrente Grignano, i quali scorrendo verso nord vanno ad ingrossare nei pressi di Monte Romano il fosso Traponzo, che subito dopo si getta nel Marta.

Il Mignone con un bacino imbrifero di 496 Km², una portata media alla foce di circa 4 m³/sec e una

lunghezza totale di oltre 65 Km è il più importante corso d'acqua della provincia di Roma non affluente del Tevere. Nasce nel territorio del comune di Veiano e dopo aver attraversato affioramenti poco permeabili di natura flyscioide e depositi marini argilloso-sabbiosi, arriva al mare nei pressi di

Civitavecchia. Il suo deflusso idrico è quindi chiaramente influenzato dal ruscellamento superficiale, che determina un regime fortemente impulsivo con episodi di piena molto rilevanti ed a rapido esaurimento. I suoi affluenti principali sono: torrente Vesca, fosso Lenta, fosso della Palombara e fosso Bicione. Al di fuori del suo bacino imbrifero nel comprensorio certite-tolfetano sono presenti anche altri due importanti corsi d'acqua: il primo denominato fosso Marangone che nasce nei pressi di Allumiere; il secondo Rio Fiume (comune di Tolfa) che attraversando i monti Ceriti arriva in mare nei pressi di Santa Marinella.

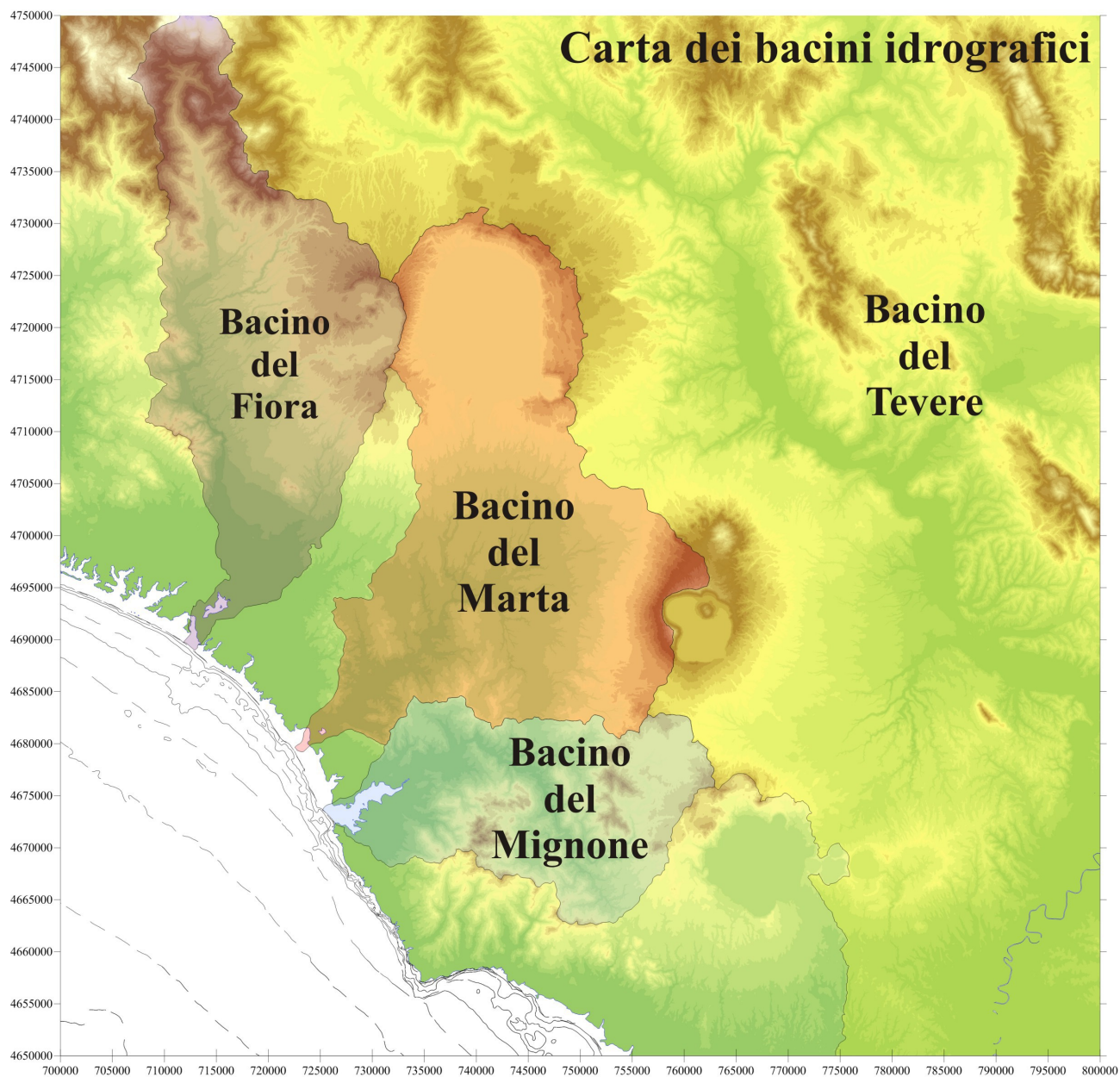


Fig. 5.4. Bacini idrografici primari presenti nell'area di studio

5.2 Caratterizzazione sedimentologica dei fondali antistanti l'area di Civitavecchia

La sedimentologia della piattaforma interna, per l'area oggetto del presente lavoro, è trattata in maniera estensiva da La Monica e Raffi (1996) nel volume “Il Mare del Lazio”.

Nell'unità fisiografica Monte Argentario-Capo Linaro i sedimenti fini (peliti sabbiose) si rinvenivano soltanto in corrispondenza delle foci dei numerosi corsi d'acqua, fra cui i fiumi Fiora, Marta e Mignone (Borelli et al., 1986, citati da Chiocci e la Monica, 1996), mentre i sedimenti molto fini (peliti) si rinvenivano solo al traverso del Fiume Mignone, già a profondità inferiori ai 20

II.MATERIALE E METODI

m. Caratteristica comune a tutto il settore è la mancanza sulla piattaforma interna di sedimenti francamente sabbiosi; infatti i materiali più grossolani presenti sono le sabbie pelitiche. Ciò dimostra che l'azione diretta del moto ondoso su tali fondali è assai modesta, tanto da non riuscire ad allontanare i materiali più fini.

Nel settore settentrionale dell'unità fisiografica Capo Linaro-Capo Anzio (a nord del delta tiberino), come più volte ripetuto, la piattaforma continentale interna è in gran parte sotto l'influenza degli apporti solidi del Fiume Tevere.

Al limite settentrionale (da S.Marinella fino a Ladispoli) la litologia dei fondali è assai monotona in quanto sono presenti soltanto peliti sabbiose, il cui limite verso terra è fortemente condizionato dalla presenza di biocostruzioni. Esse sono presenti su fondali poco più profondi di 10 m, a circa 1 km dalla linea di riva. I sedimenti a elevata componente sabbiosa si rinvennero a SE di Ladispoli (Palo) quando scomparso i posidonieti e le costruzioni ad opera di organismi incrostanti, inizia a farsi sentire in modo evidente l'influenza degli apporti di origine fluviale del Tevere.

5.3 Caratterizzazione meteomarina e dinamica costiera

L'area di studio si estende tra due unità fisiografiche che si susseguono in corrispondenza di Capo Linaro, in cui si osservano diverse derive litorali in base all'orientamento della costa rispetto ai venti dominanti.

Il tratto di costa a nord di Capo Linaro è interessata prevalentemente dai mari provenienti da sud (Mezzogiorno), sud-ovest (Libeccio) e ovest (Ponente) (Milli, 1993). In particolare per i mari da sud la deriva litorale è diretta sempre verso NO, i mari da SO generano due correnti di deriva che si muovono verso SE nel settore settentrionale del litorale e verso nord-ovest in quello meridionale; mentre i mari da ovest influenzano solo l'area tra Punta delle Morelle e Civitavecchia determinando una corrente diretta verso SE (Milli, 1993).

L'azione combinata di queste correnti determina una risultante negli spostamenti dei materiali lungo riva, tale da permettere la distinzione di due settori:

- Settore compreso tra Ansedonia e Punta delle Morelle: è caratterizzato da una prevalente deriva litorale verso SE nel tratto compreso tra il Lago di Burano e la località di Sughereto, e da una corrente lungo riva verso NO nel tratto compreso tra la località di Sughereto e Punta delle Morelle; la località Sughereto, ubicata in posizione centrale rispetto ai due tratti costieri, costituisce così una zona di accumulo di sedimenti (Milli, 1993).

II.MATERIALE E METODI

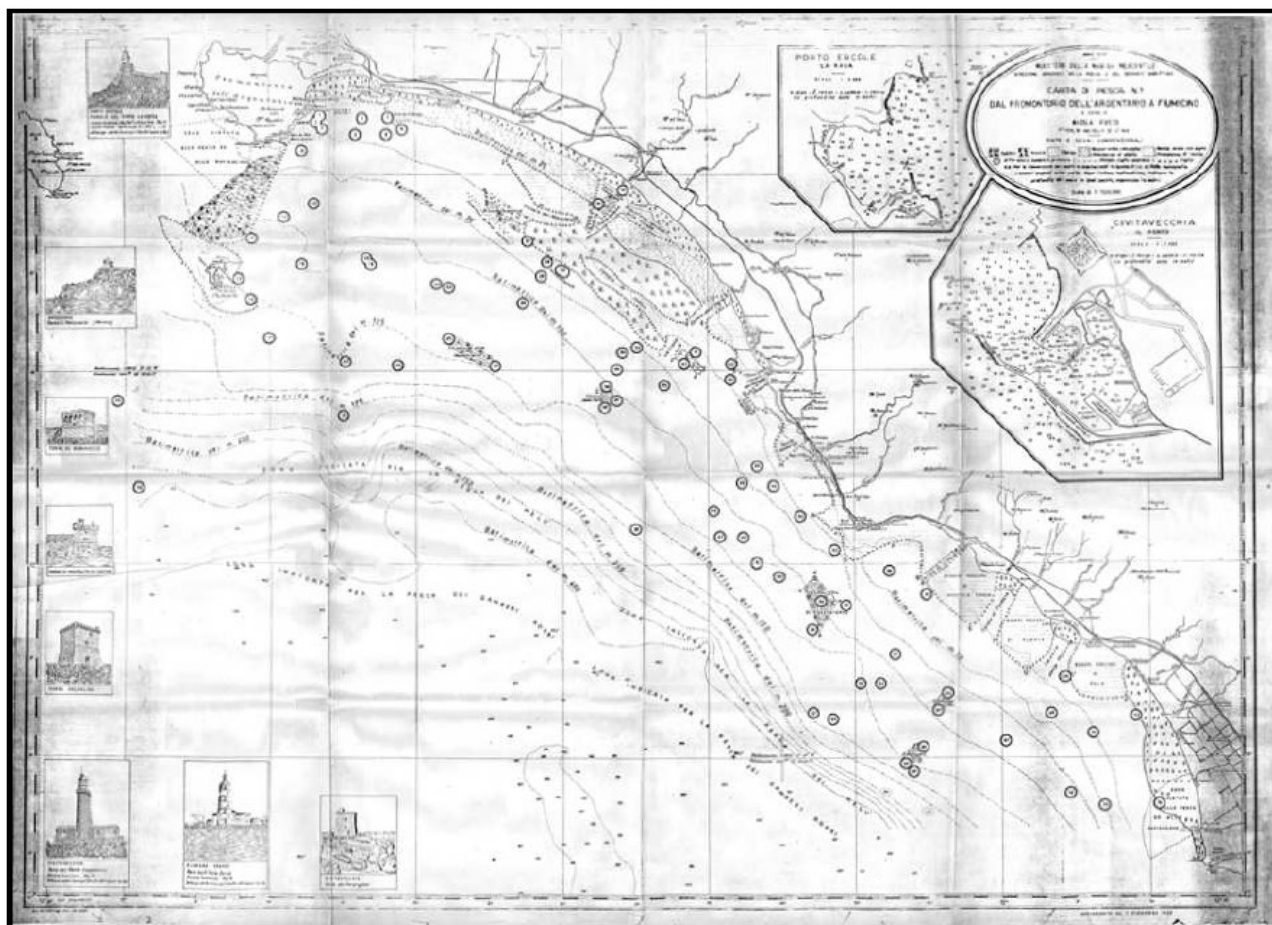
- Settore compreso tra Punta delle Morelle e Torre Sant'Agostino: la corrente di deriva è diretta verso SE nel tratto compreso tra Punta delle Morelle e la foce del torrente del Gesso e verso NO nel tratto compreso tra Torre S. Agostino e la foce del torrente del Gesso (Milli, 1993).

Studi di carattere composizionale hanno individuato in questo litorale un generale trasporto lungo costa dei sedimenti verso NO (Anselmi et al., 1976), avvalorato dall'andamento del tratto terminale delle aste dei fiumi Marta e Mignone e dei loro modesti apparati deltizi che risultano appunto spostati verso NO.

Il tratto di costa compreso tra Capo Linaro e Fiumicino è direttamente interessato dalle ondatazioni provocate dai venti foranei provenienti dal II, III e IV quadrante, che innescano per i mari provenienti da sud una corrente di deriva litorale diretta costantemente verso NO; l'ondazione da SO, soprattutto in corrispondenza dell'aggetto apicale del delta del Tevere, determina condizioni di deriva litorale in opposte direzioni (NO e SE), mentre per i mari provenienti da ovest la corrente di deriva è sempre diretta verso SE (Milli, 1993).

5.4 Le praterie di *Posidonia oceanica* lungo la costa del Lazio settentrionale: raccolta dei dati pregressi

Le praterie di *Posidonia oceanica* del Lazio si estendono in maniera pressoché continua dai confini con la regione Toscana fino al litorale di Sperlonga, e gli unici tratti di costa che non presentano praterie (se non con rarissimi fasci isolati) sono quelli compresi tra Palo e Torre Astura, tra Foce Verde e Sabaudia e tra Sperlonga e Formia. Il quadro delle conoscenze riguardo le praterie in esame, comprende diversi studi effettuati a partire dal 1959. Le prime informazioni vengono riportate nelle Carte della pesca n.1, n.2 e n.3 del Ministero della Marina Mercantile (in scala 1:120.000) redatte da Fusco e pubblicate nel 1960 (Paticchio, 2012).



5.5. Prima carta di distribuzione delle praterie di *Posidonia oceanica* del Lazio Settentrionale (Fusco, 1960)

Nonostante le metodologie impiegate per la realizzazione fossero diverse (il lavoro mirava alla semplice conoscenza dei fondali per fornire informazioni utili ai pescatori), la cartografia rappresenta una prima visualizzazione delle caratteristiche dell'area, la natura dei fondali e l'estensione della praterie presenti. Nel 1996 è stato pubblicato ne "Il Mare del Lazio" uno studio sulle praterie di *P. oceanica* prospicienti le coste tirreniche, descrivendone la distribuzione geografica e la morfologia, la superficie occupata e le caratteristiche principali dello stato di salute (copertura, densità, presenza di matte morta) (Ardizzone e Belluscio, 1996). Infine nel 2001 in una pubblicazione dell' ICRAM, Diviacco et al. riportano le cartografie aggiornate (eseguite tramite l'uso integrato di Side Scan Sonar, ROV e immersioni subacquee) delle praterie di *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa* del Lazio.

La costa settentrionale del Lazio è caratterizzata dalla presenza quasi continua di *P. oceanica* dal confine con la Toscana fino a Civitavecchia, sebbene siano interrotte in più punti a causa dei numerosi apporti fluviali e in parte come conseguenza della costruzione di opere costiere (Diviacco et. al., 2001; Ardizzone e Belluscio, 1996). La loro distribuzione viene rappresentata per la prima

II. MATERIALE E METODI

volta nella carta di pesca n°1 di Fusco (1960) che ne individua i limiti e le interruzioni (identificate spesso come “canali”).

Nella porzione più a Nord del territorio fino alla foce del fiume Fiora, Fusco (1960) indica la presenza di roccia mista ad alghe (con il termine alghe venivano indicate su tali carte le praterie di fanerogame marine, Diviacco et. al, 2001) che si estende in maniera continua fino al canale di Montalto (in corrispondenza del paleoalveo) e fino a 25m di profondità. Ardizzone e Belluscio (1996) individuano nel tratto di costa compreso tra la foce del Fiume Tafone e la foce del Fiora, la presenza di una prateria estremamente degradata e caratterizzata dalla presenza di ampie zone di matte e catini di sedimento fine tra la Posidonia.

Diviacco et. al (2001) confermano una condizione di degrado per questa prateria che si sviluppa su un substrato mobile e presenta chiari segni di impatto legati alla attività antropica. Il limite superiore viene individuato tra i 10 e 12 m, con Posidonia che si sviluppa principalmente su matte con una copertura stimata del 75%. Al crescere della profondità “Posidonia su matte” viene progressivamente sostituita da un mosaico di Posidonia viva e matte morta, ed intorno ai 22m di profondità si individua il limite inferiore della prateria.

Proseguendo verso Sud fino alla foce Mignone, i fondali sono più articolati e le praterie sono intervallate da zone sabbiose e rocce organogene.

Nella zona antistante Montalto Marina Fusco (1960) descrive un'area a chiazze circondata dai canali di Capannelle (a Nord) e il Canale delle Sposine (Sud-Est). Ardizzone e Belluscio (1996) descrivono il fondale a Nord della foce dell'Arrone come un mosaico di “matte”, sabbia e roccia bassa di natura organogena sul quale si intervallano già intorno agli 11m di profondità macchie *P. oceanica* sia su matte che su sabbia (con copertura variabile tra il 30 e il 40%). Vengono individuate poi a largo di Punta Morelle, un'altra serie di formazioni rocciose separate dalle precedenti da una stretta striscia di sabbia. Anche qui sono presenti intorno i 15 metri, affioramenti rocciosi di natura organogena, piuttosto articolati, assieme ad ampie zone di “matte” morta e rade macchie di Posidonia. Tuttavia il fondale mostra una alternanza di “matte” morta di Posidonia fino circa 20m di profondità

Anche Diviacco et. al (2001) individuano in questa zona una piccola prateria di circa 20 ettari che viene descritta come “isole di mosaico di *P. oceanica* viva e morta in una zona di circa 1 Km di estensione tra i 12 e i 18 m”.

Nei pressi della foce del torrente Arrone Fusco (1960) segnala la presenza di roccia mista con alghe e individuando l'interruzione della prateria in corrispondenza del Canale della Marta.

II.MATERIALE E METODI

Ardizzone e Belluscio (1996) descrivono anche in questa zona un fondale caratterizzato da un mosaico di sabbia, roccia organogena e macchie di Posidonia. Oltre i 10 m la Posidonia mostra una copertura che arriva raramente al 50%, sempre intervallata a basse e isolate formazioni rocciose. A nord del fiume Marta, tali autori riscontrano invece un fondale prevalentemente sabbioso, con radi ciuffi di Posidonia su matte e matte morta insabbiata e alternata a roccia alta ed articolata. Diviacco et. al (2001) individuano una prateria di circa 2.2200 ettari, piuttosto degradata sia sul substrato roccioso che nelle zone di matte, ma a seconda del substrato d'impianto la densità della prateria risulta più o meno elevata. Il limite superiore viene individuato intorno a 5-7 m di profondità mentre quello inferiore, caratterizzato dalla presenza di matte morta infangata con alghe e canali "intermatte", intorno ai 20 m. Per tutta la sua estensione la prateria è caratterizzata da zone di erosione che spesso formano dei canali sabbiosi di notevole ampiezza e con andamento pressoché perpendicolare alla linea di costa, il più esteso dei quali ha provocato ha determinato l'interruzione della prateria in corrispondenza del Torrente Arrone.

In corrispondenza di Marina di Tarquinia Fusco (1960) osserva ancora una volta una zona di roccia mista ad alghe la cui estensione è molto simile a quella riportata da Diviacco et. al (2001). Anche Ardizzone e Belluscio (1996) descrivono un fondale prevalentemente roccioso con articolate formazioni di origine organogena dall'aspetto mammellonare intorno i 15 m, inoltre individuano in corrispondenza della foce del fiume Mignone un fondale prevalentemente sabbioso in cui Posidonia presenta una copertura del 20-30%.

Diviacco et. al (2001) confermano le osservazioni di Ardizzone e Belluscio (1996), sebbene segnalino una maggiore presenza di roccia in corrispondenza del limite superiore, individuato intorno i 5-7m, sebbene si allontanano dalla costa nella zona delle saline. Gli Autori indicano un generale stato di degrado per questa prateria, soprattutto oltre i 20m di profondità in cui una zona di mosaico di Posidonia viva e matte morta, lascia il posto ad estese aree di matte morta, indice di un importante fenomeno di regressione ai danni del margine inferiore.

Infine nella zona compresa tra Bagni di S.Agostino e Torre Valdaliga Fusco (1960) segnala una prateria molto estesa sia verso Nord che verso il largo, situazione che invece non viene confermata dai successivi lavori. Ardizzone e Belluscio (1996) segnalano tra la foce del fiume Mignone e Civitavecchia la presenza di macchie di Posidonia più o meno grandi sia in catini di sabbia che su roccia, con un popolamento bentonico di fondi duri ascrivibile talvolta al Precoralligeno. Diviacco et. Al (2001) descrivono una prateria di circa 500 ettari che si sviluppa prevalentemente su substrati duri dalla costa fino al limite inferiore intorno ai 20 m di profondità, caratterizzata da una bassa

II.MATERIALE E METODI

densità sia sottocosta che più a largo.

Nel 2013 sono state redatte delle carte (1:30.000) di distribuzione e dello stato di salute (misurato come Indice di Conservazione) delle praterie di *Posidonia oceanica* del litorale laziale (Paticchio, 2013).

Le praterie presenti sui fondali compresi tra Marina di Tarquinia e Punta Mattonara si estendono prevalentemente su substrato roccioso con porzioni su *matte* e *matte morta*. La prateria che si estende da Marina di Tarquinia a Punta delle Quaglie ha un'estensione di 9.65 km² con percentuali così distribuite (fig. 5.6a):

- 62.6% di roccia con presenza di *P. oceanica*;
- 13.5% di *P. oceanica* su *mattee* /o sabbia;
- 8.2% di *P. oceanica* su *matte* e *matte morta*;
- 7.25% di substrato esclusivamente roccioso;
- 5.3% di *matte morta* e *P. oceanica* a fasci isolati;
- 3.1% di *matte morta*.

La prateria compresa tra Punta Sant'Agostino e Punta Mattonara si estende invece per 4.46 km² con percentuali così distribuite (fig. 5.6b):

- 59.4% di roccia con presenza di *P. oceanica*;
- 35.4% di substrato esclusivamente roccioso;
- 2.7% di *P. oceanica* su *matte* e *matte morta*;
- 1.8% di *P. oceanica* su *mattee* /o sabbia;
- 0.4% di *matte morta* e *P. oceanica* a fasci isolati;
- 0.2% di *matte morta*.

I fondali compresi tra Civitavecchia e Santa Severa sono di natura prevalentemente rocciosa con praterie che appaiono, di conseguenza, molto articolate e discontinue.

La prateria si estende nel litorale tra Civitavecchia e Santa Marinella (fig.5.7a) su un substrato di natura rocciosa (54.6%) ma in parte anche su substrato mobile (solo 3.6%).

La prateria si presenta come una fascia parallela alla costa a volte interrotta da canali di sabbia e larga dai 300 ai 700 m. Nella parte più a Nord della prateria (in corrispondenza di Riva di Traiano) sono stati rilevati in immersioni puntuali anche porzioni di prateria con copertura pari al 100% e densità dei fasci intorno ai 300 per mq.

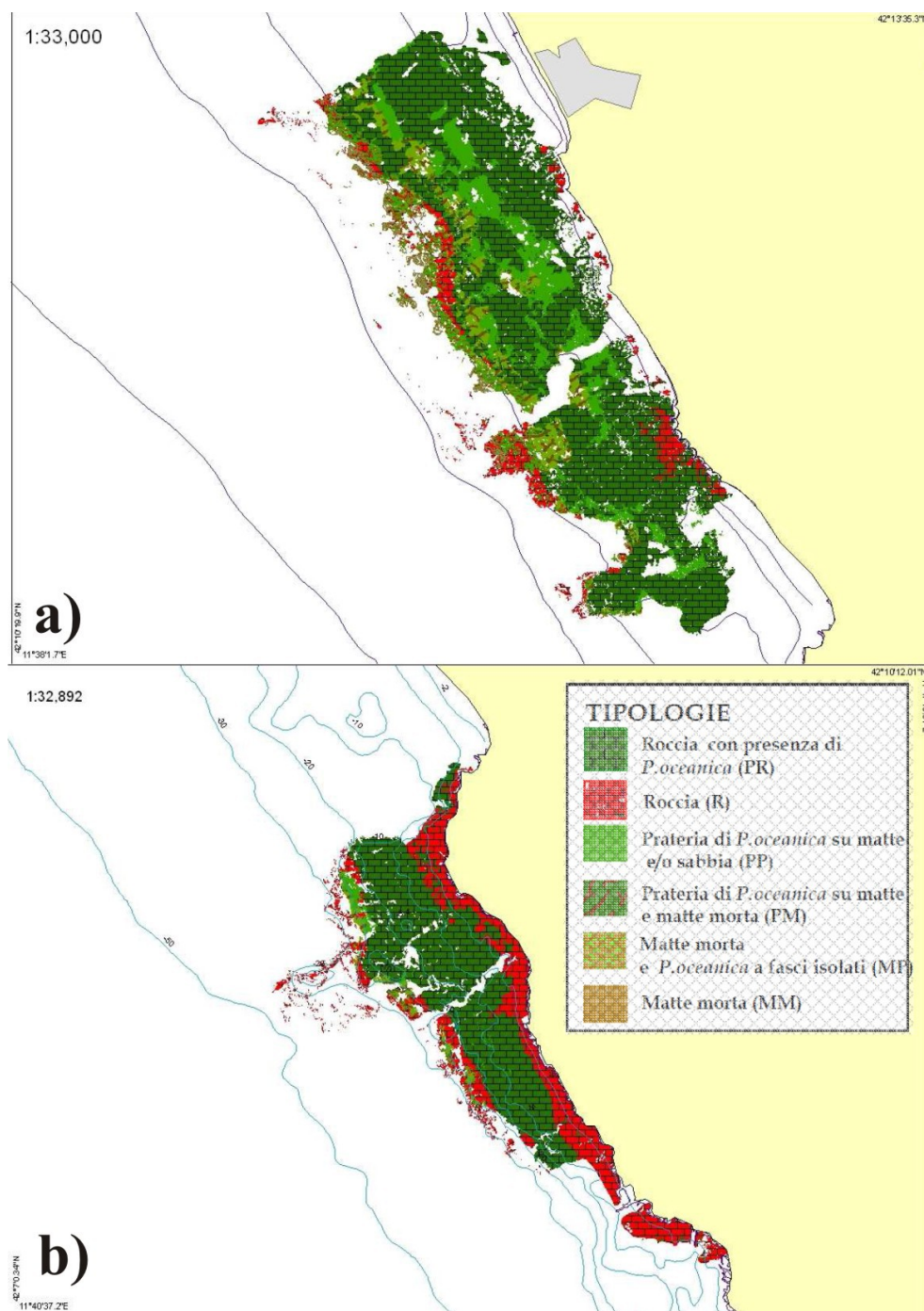


Fig.5.6. Cartografia delle praterie comprese fra Marina di Tarquinia e Punta delle Quaglia (a) e tra Punta Sant'Agostino e Punta Mattonara (b) (Paticchio, 2013)

La prateria compresa tra Santa Marinella e Santa Severa (Fig. 5.7b) si sviluppa in larga parte su un substrato di tipo mobile. Solo in corrispondenza del porto di S.Marinella il fondale è caratterizzato ancora da substrato roccioso ma superato il porto, la tipologia di fondale varia, lasciando spazio a *Posidonia* su matte e/o sabbia a diversi livelli di copertura. Sebbene a livello di superficie la prateria sia molto estesa, il limite superiore si trova mediamente intorno alla

II.MATERIALE E METODI

batimetrica dei 5m e quello inferiore non supera mai i 20m. La porzione di Prateria che si estende su fondali mobili appare molto degradata: i livelli di copertura sono inferiori al 70% già a 12 m di profondità e oltre i 15 m la categoria predominante è “Matte morta con Posidonia a fasci isolati”.

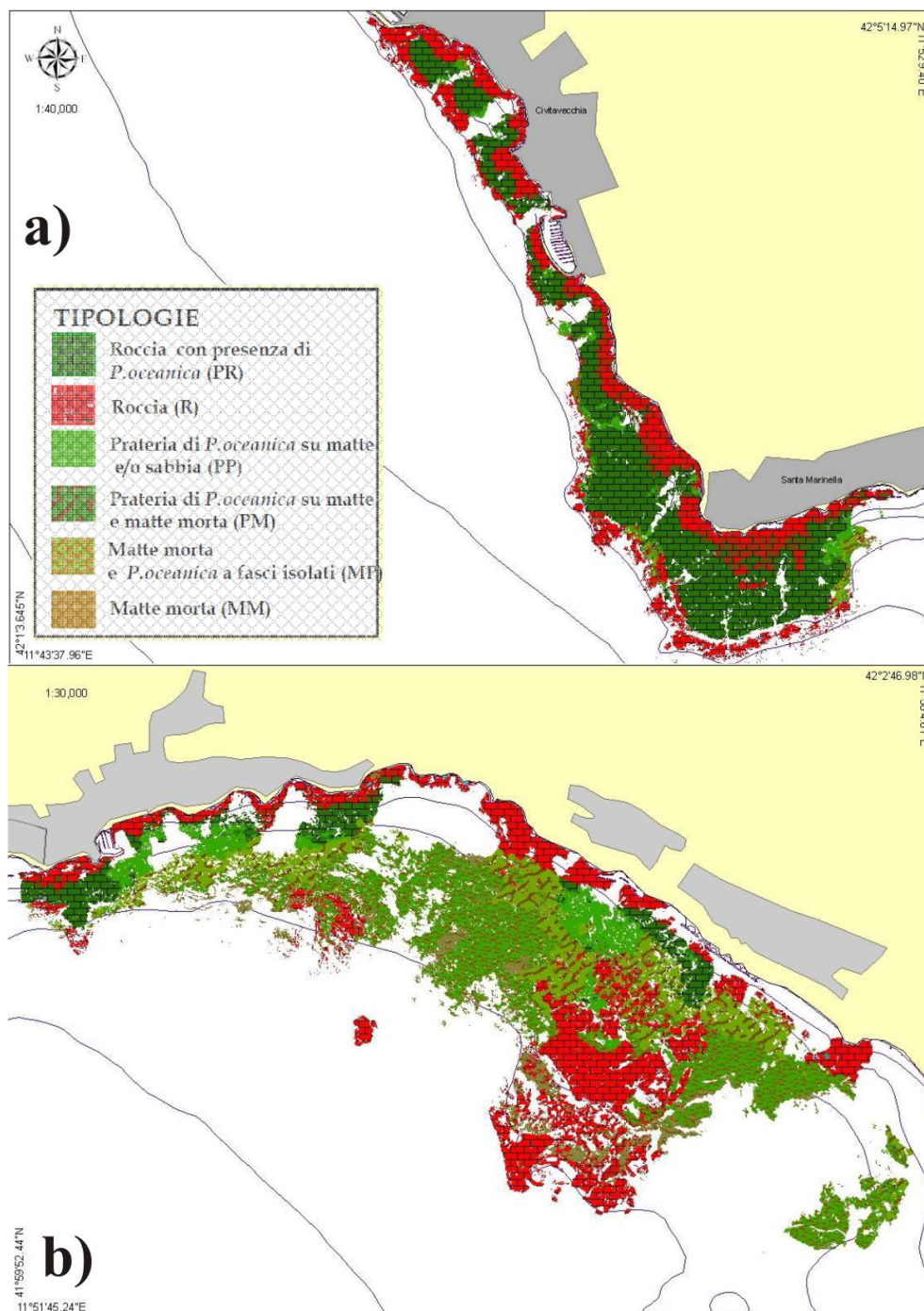


Fig. 5.7. Cartografia delle praterie comprese fra Civitavecchia e Santa Marinella (a) e tra Santa Marinella e Santa Severa (b) (Paticchio, 2013)

II.MATERIALE E METODI

L'area di studio è stata, inoltre, oggetto di due campagne di caratterizzazione e monitoraggio i cui risultati e le cui restituzioni cartografiche hanno permesso di valutare l'evoluzione nello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* negli ultimi 20 anni.

5.4.1 Campagne di monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica* nel Lazio e restituzione cartografica

Progetto Tirreno (Regione Lazio) “Perizia e definizione di risanamento e protezione del litorale laziale” (1990)

Nel 1990 la Regione Lazio ha finanziato un progetto che si proponeva come obiettivo la caratterizzazione idrodinamica, sedimentologica e biologica dell'ambiente marino costiero laziale; durante tale lavoro è stato eseguito il mappaggio delle praterie di *Posidonia oceanica*, utilizzando come base le conoscenze provenienti da studi precedentemente effettuati ed integrando questi con l'acquisizione sperimentale di dati per quelle aree mancanti di dati pregressi; in questi siti sono stati eseguiti rilievi attraverso l'uso di telecamere poste su veicoli (ROV, Remotely Operated Vehicles) trainati da imbarcazioni, lungo transetti prefissati. Nell'area di studio sono stati effettuati 8 transetti perpendicolari a costa.

La carta di distribuzione delle praterie lungo il litorale del Lazio Settentrionale, è stata elaborata sulla base delle immagini acquisite dal ROV durante le campagne del Progetto Tirreno, e pubblicata del lavoro della Regione Lazio precedentemente citato (Il Mare del Lazio).

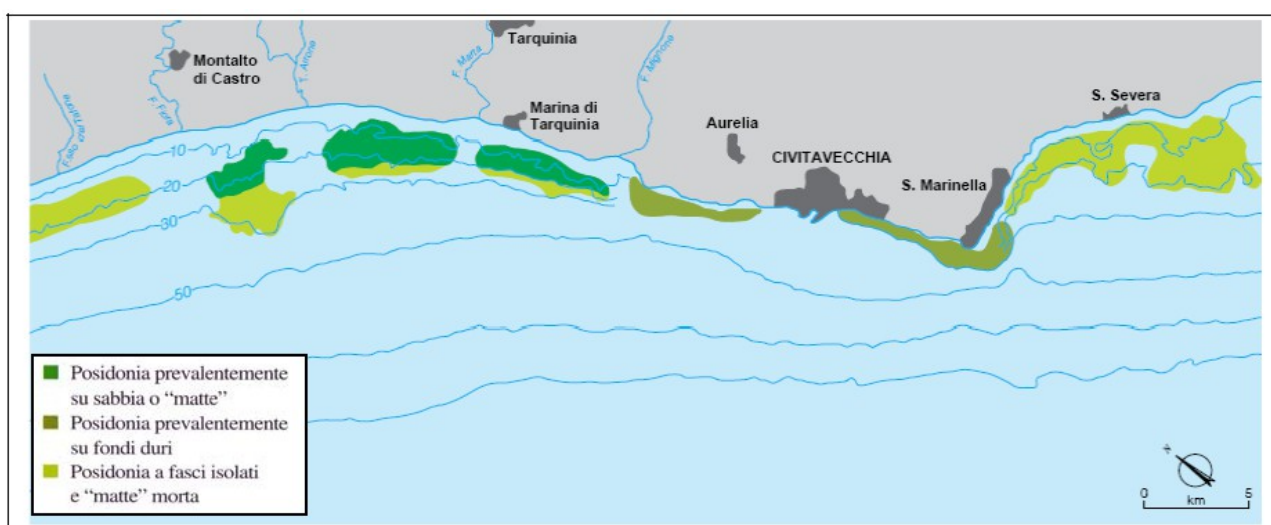


Fig. 5.8. CARTA DI DISTRIBUZIONE DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA LUNGO IL LITORALE DEL LAZIO SETTENTRIONALE (Mare del Lazio, 1995)

II.MATERIALE E METODI

Progetto “Monitoraggio dell'ambiente marino costiero tra Santa Severa e Lido di Tarquinia” realizzato dal R.T.I Conisma e richiesto dall'Autorità Portuale di Civitavecchia

Nel lavoro effettuato per l'Autorità Portuale nel periodo 2001-2005, a seguito di rilievi batimorfologici e rilievi attraverso ROV, sono state individuate 40 stazioni di campionamento su cui sono state eseguite analisi fenologiche, misure di densità e copertura del substrato da parte della pianta.

Questo studio ha portato alla restituzione di una carta di distribuzione delle praterie con la definizione dei limiti superiore ed inferiore, nonché di carte tematiche con la rappresentazione di tutti i valori ottenuti dalle analisi fenologiche e di densità fogliare.

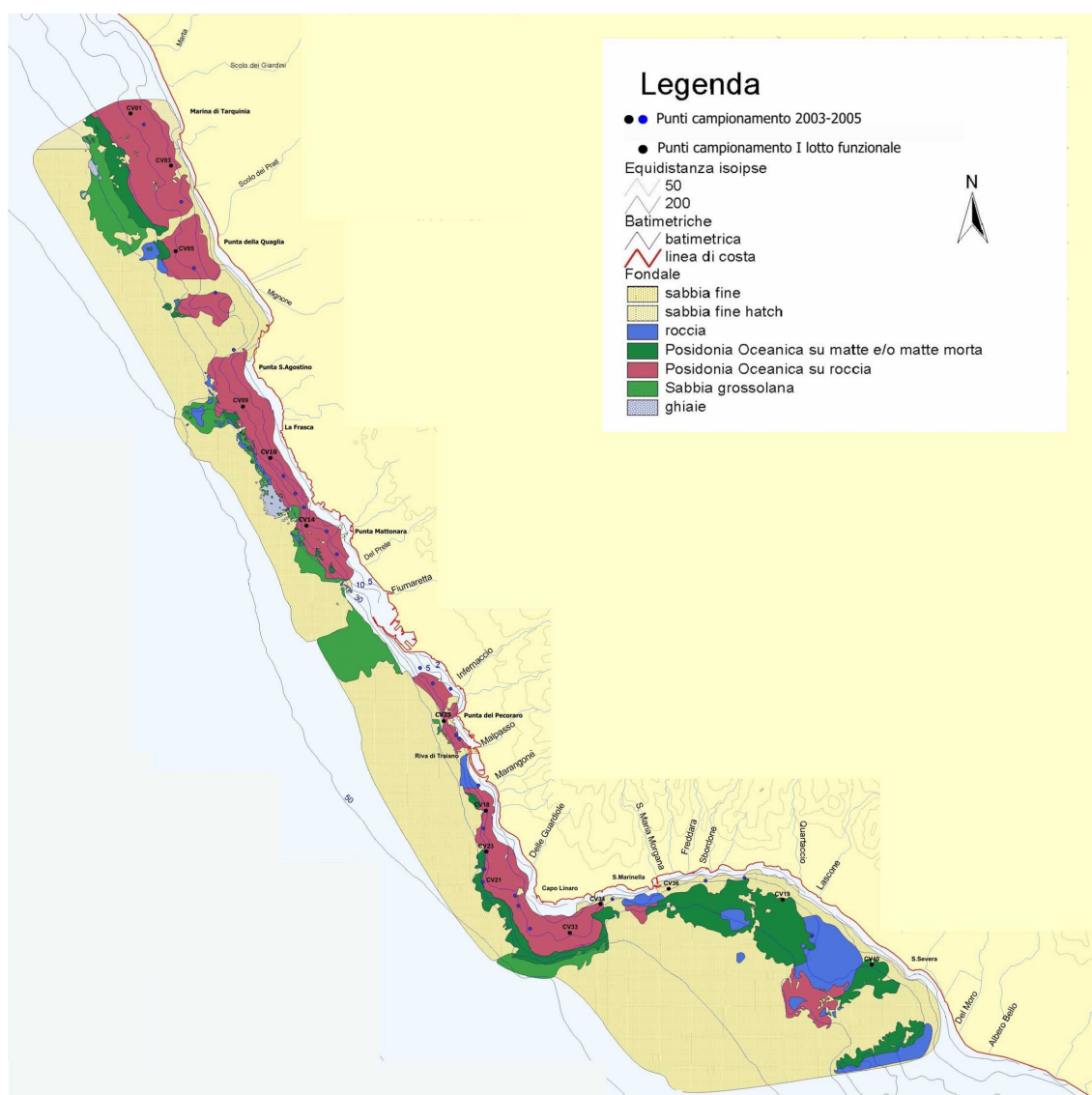


Fig. 5.9. Carta di distribuzione della *Posidonia oceanica* realizzata nell'ambito del monitoraggio dell'ambiente marino costiero richiesto dall'Autorità Portuale di Civitavecchia (2002-2005)

5.5. Cambiamenti nell'uso del suolo

Molti studi hanno indicato un incremento, dagli anni '70 nel tasso di cambiamento nell'uso del suolo associato all'aumento demografico, all'intensificazione nello sfruttamento del territorio, con la conseguente perdita di habitat naturali (Houghton 1994; Dobson et al. 1997; Matson et al. 1997; Lambin et al. 2003; Sodhi et al. 2004; Brown et al. 2005; Lepers et al. 2005).

Il mar Mediterraneo è uno dei bacini con la più alta ricchezza di specie (Myers, et al. 2000), nonché uno dei bacini più densamente popolati dal migliaia di anni; in particolare la maggior parte della popolazione si concentra lungo le fasce costiere (Covas and Blondel 1998; Lavorel et al. 1998; Blondel and Aronson 1999; Vallejo et al. 2005).

Negli ultimi 40 anni, i processi che portano alla variazione nella copertura e nell'uso del suolo hanno subito delle piccole inversioni di tendenza, in particolare per quanto riguarda i paesi europei che si affacciano sul Mediterraneo: si è osservato un sempre maggiore sfruttamento delle zone pianeggianti, mentre le zone collinari e montuose sono state lentamente abbandonate e ricolonizzate dalle specie vegetali; si è inoltre osservato un crescente e rapido aumento di insediamenti urbani residenziali e turistici ((UNEP 1989; Ales et al. 1992; Garcia-Ruiz et al. 1996; Debussche et al. 1999; MacDonald et al. 2000; Santos 2000; Lambin et al. 2003).

L'impatto dell'aumento delle attività antropiche e della conseguente perdita di naturalità del territorio, oltre ad avere un effetto diretto sugli ecosistemi terrestri, ha un effetto indiretto sugli ecosistemi marini costieri. I cambiamenti nell'uso del territorio nei bacini idrografici, nonché gli interventi di regimazione, captazione o sbarramento degli alvei fluviali, modifica in maniera importante la capacità dei corsi d'acqua di trasportare materiale (competenza) organico ed inorganico, in particolare il sedimento sospeso di granulometrie medie o grossolane (sabbie e ciottoli). La variazione della competenza fluviale e del conseguente apporto solido al mare fa sì che si verifichino importanti squilibri nel bilancio sedimentario costiero, con l'aumento di fenomeni di erosione dei litorali e, in alcuni casi, con l'aumento della torbidità delle acque causata dall'aumento dell'apporto di materiali fini (silt ed argilla).

Le carte di uso del suolo (CORINE Cover Land Map programme) dal 1996 al 2006 (CLC1990, CLC2000 e CLC2006) danno informazioni relative ai cambiamenti avvenuti nei bacini idrografici dei fiumi Fiora, Marta e Mignone possono dare un'idea di come sia cambiato l'apporto di sedimento da parte di questi corsi d'acqua.

Tali carte hanno una legenda di 44 classi e sono eseguite ad una scala di 1:100000, e sono state

II.MATERIALE E METODI

prodotte utilizzando immagini satellitari (Landsat5 TM per CLC1996, Landsat7 ETM+ per CLC2000 e SPOT-4 HRVIR, SPOT 5 HRG e/o IRS P6 LISS III PER CLC2006) e altri software e informazioni accessorie (Digital Elevation Model-DEM, fotografie aeree, ecc.).

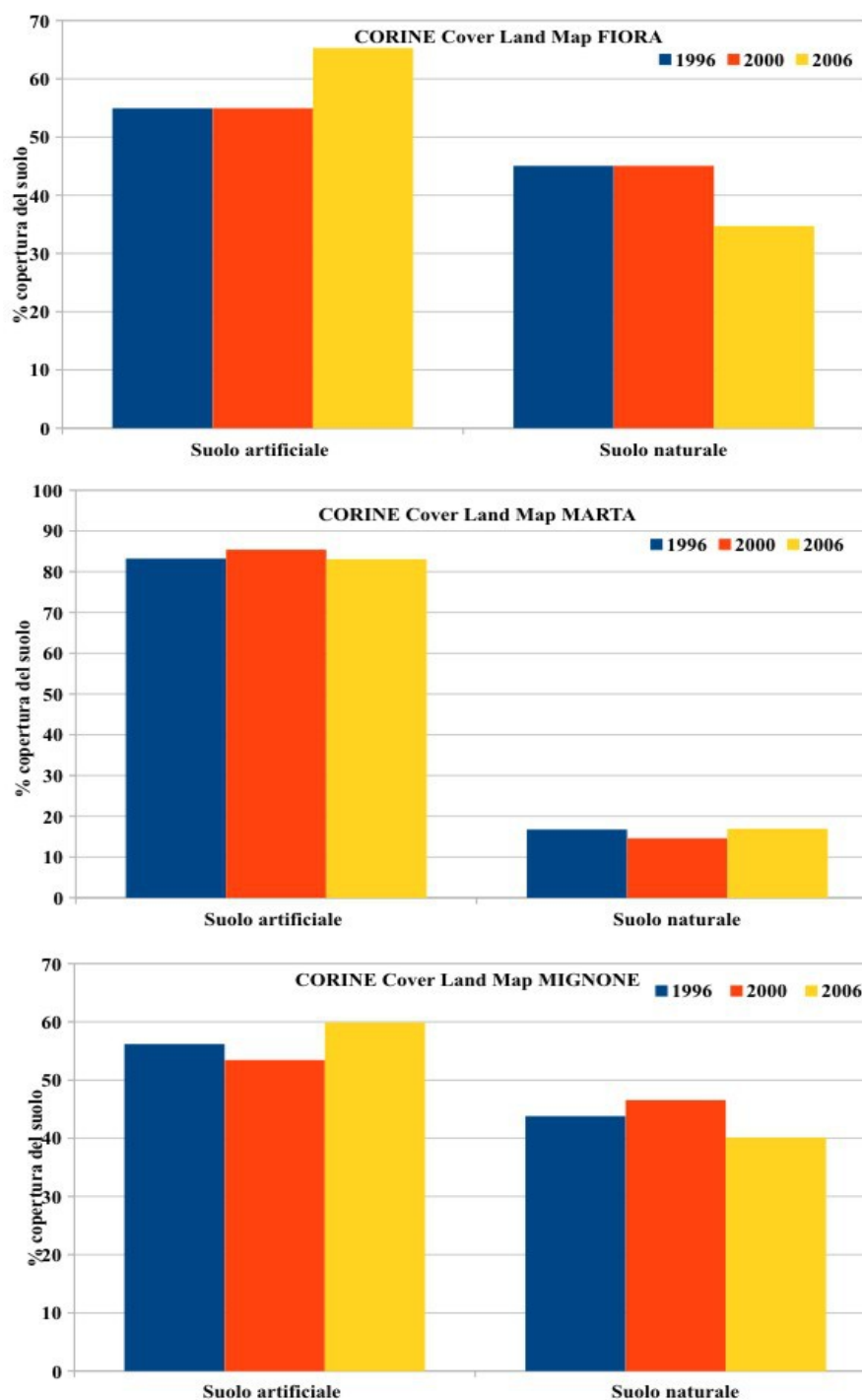


Fig.. 5.10. Percentuale del territorio occupato da suolo naturale e suolo artificiale nei 3 principali bacini idrografici dell'area di studio

II.MATERIALE E METODI

Nella figura qui sopra riportata sono rappresentate le percentuali di suolo artificiale e naturale nei 3 bacini idrografici dal 1996 al 2006; nel bacino del fiume Fiora si osserva un aumento di circa il 20% del suolo artificiale a discapito degli ecosistemi naturali. Il bacino del Marta è quello che presenta la maggior percentuale di superficie antropizzata, sebbene non si osservano aumenti negli anni di tale superficie, mentre nel caso del Mignone si osserva un leggero aumento di artificiale nel 2006.

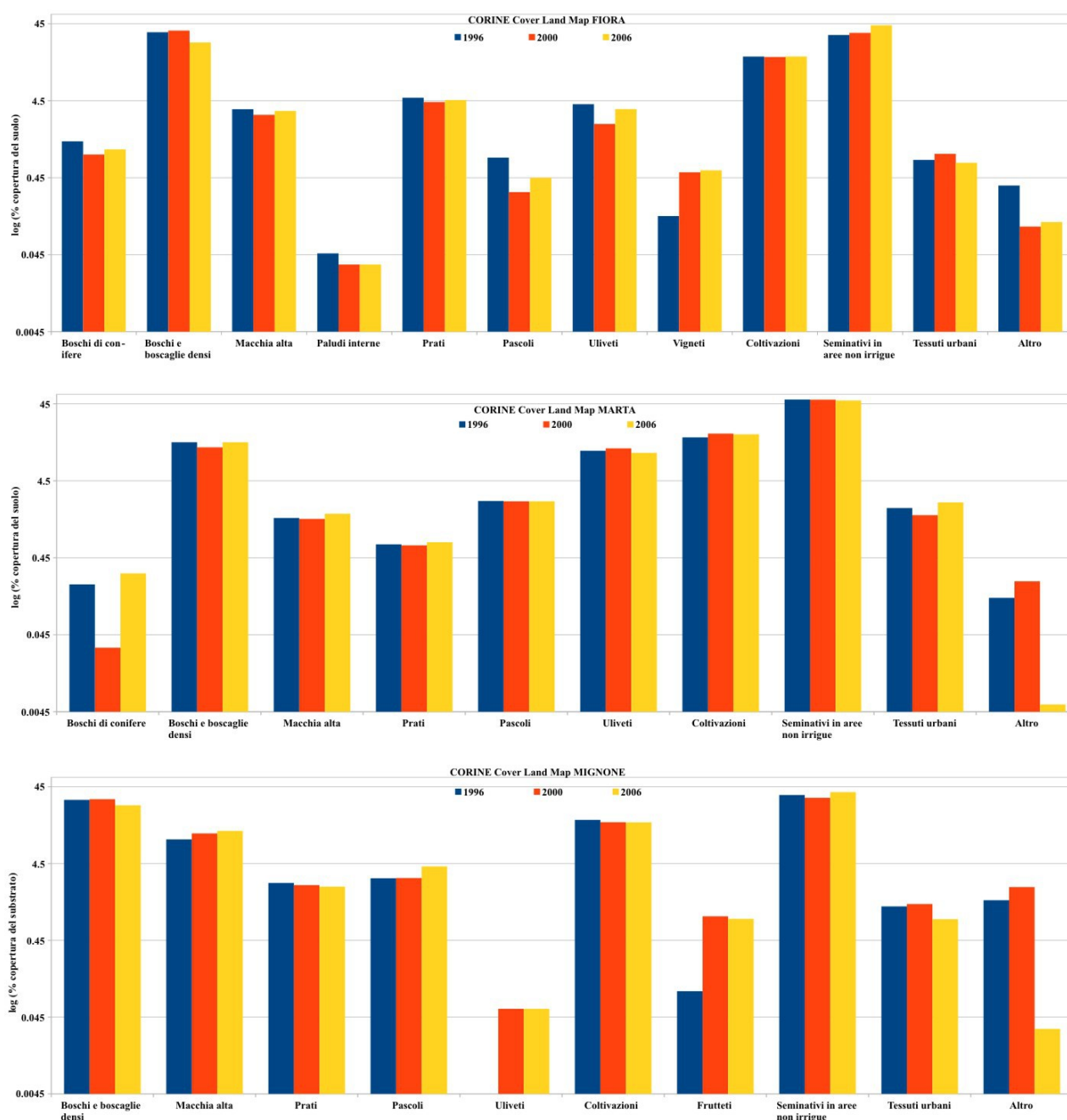


Fig. 5.11. Cambiamenti nella percentuale di copertura del suolo delle singole categorie di uso dal 1996 al 2006 (dati da <http://www.sinanet.isprambiente.it>)

5.6. Inquadramento delle attività antropiche incidenti lungo la costa

L'area di studio, con una lunghezza di circa 65 km di cui il 55% è costituito da costa naturale mentre il 45% da costa artificiale (costruzioni portuali ed opere costiere), è caratterizzato dalla presenza di importanti risorse naturalistiche e da numerose attività antropiche.

Il litorale di Civitavecchia risulta, quindi, di importanza strategica per l'intero territorio regionale, sia dal punto di vista commerciale che economico e sociale.

In questa zona hanno sede due grandi complessi industriali di produzione di energia elettrica:

- la Centrale ENEL di Torrevaldaliga Nord, impianto, con una capacità totale di 1.980 MW, composto da 3 gruppi a carbone-metano;
- la Centrale Tirreno Power di Torrevaldaliga Sud, con tre sezioni a ciclo combinato, che utilizzano tre turbogas alimentati esclusivamente a gas naturale, si compongono di due moduli di produzione di taglia rispettivamente pari a 400 MW e 800 MW, per una potenza complessiva pari a circa 1.200 MW. La sezione 4 da 320 MW è alimentata a gas naturale.



Fig. 5.12. Schema Centrale ENEL Torrevaldaliga e Centrale Tirreno Power di Torrevaldaliga Sud

II.MATERIALE E METODI

La costa, inoltre, è interessata dalla presenza di due porti, uno commerciale e due turistici, che cambiato profondamente l'aspetto della costa.

La costa, inoltre, è interessata dalla presenza di due porti, uno commerciale e due turistici, che cambiato profondamente l'aspetto della costa.

Il Porto commerciale di Civitavecchia è uno dei più antichi porti del mar Mediterraneo, situato nella zona nord della città, rappresenta un importante crocevia per il traffico croceristico e commerciale del nostro bacino; gli ultimi assetti previsti dal nuovo Piano Regolatore Portuale, hanno permesso di ampliare il traffico commerciale raggiungendo le 2 milioni di tonnellate di merci di massa ricevute, circa 2400 accosti di navi e più di 3 milioni di passeggeri in transito tra croceristi e passeggeri di linea (dati 2013, <http://www.port-of-rome.org/>).

E' caratterizzato da 2 milioni di mq di piazzali, 17 km di banchine, 16m di pescaggio e fondali rocciosi, 26 moli operativi e 23 attracchi per yacht da 40 a oltre 100 metri.



Fig. 5.13. Piano portuale e tabella dati traffico merci, passeggeri e automezzi

II.MATERIALE E METODI

I due porti turistici sono rappresentati dal Porto turistico Riva di Traiano e dal Porto turistico Odescalchi di Santa Marinella.

Il primo, costruito intorno alla metà degli anni '80, si trova nel tratto di mare compreso fra Civitavecchia e S.Marinella, al Km. 67,580 della Via Aurelia, 2 miglia a nord di Capo Linaro, è protetto da una massiccia diga foranea, ad andamento leggermente curvo, che si sviluppa parallelamente alla costa per una lunghezza di circa 1 Km e da una diga di sottoflutto di circa 250 m. Lo sviluppo delle banchine utilizzate per l'ormeggio è di 4.800m con 12 pontili perpendicolari alla banchina di terra per circa 1200 barche.



Fig.5.14. Porto turistico di Riva di Traiano

Il secondo è il porto della città omonima, ed è protetto a Sud da un molo a gomito di sopraflutto banchinato di circa 280 m e da un molo di sottoflutto di 190 m con direzione S-SE, per un totale di circa 200 posti barca.



5.15. Porto Turistico di Borgo Odescalchi

5.6.1 Descrizione delle attività di riassetto logistico della costa

La costa del Lazio Settentrionale, in particolare la costa di Civitavecchia, ha subito negli ultimi 20 anni numerosi riassetti logistici, dovuti in particolare agli adeguamenti delle infrastrutture portuali ed industriali; tali interventi hanno un impatto, diretto o indiretto, sugli ambienti marini costieri. Nelle tabelle qui di seguito vengono riportati gli interventi eseguiti nella zona industriale e portuale di Civitavecchia che hanno previsto il dragaggio dei fondali marini.

II.MATERIALE E METODI

Periodo attività di dragaggio	Opere realizzazione	Committente	Quantità di materiale movimentato (m³)	Tipologia di materiale movimentato
1998-1999	Costruzione banchine di attracco 23 e 25	Autorità portuale	1.220.000	n.d.
2002-2003	Prolungamento antemurale "Cristoforo Colombo"	Autorità portuale	n.d.	86% arenaria 14% argilla
2006-2007	Costruzione molo carbone (molo sottoflutto-Darsena Energetico Grandi Masse)	Centrale ENEL TorValdaliga Nord	1950000	n.d.
2009-2010	Lavori di dragaggio in roccia del canale di accesso al porto e fondali antistanti le nuove banchine	Autorità portuale	500000	60% arenaria 40% argilla limosa
2012-2013	Prolungamento antemurale "Cristoforo Colombo" e costruzione darsena traghetti e darsena servizi	Autorità portuale	700000	n.d.

Tab. 5.1. Attività di dragaggio eseguite in prossimità della zona industriale di Civitavecchia

Comune	Località	Anno	Tipologia di intervento	Volumi (m³)
Tarquinia	Porto Clementino	1999	Ripascimento con sabbia da cave terrestri protetto da pennelli soffici in sacchi di poliestere	22,000
Tarquinia	Porto Clementino	1996-1998	Ripascimento con sabbia da cave terrestri protetto da pennelli soffici in sacchi di poliestere	59,000
Tarquinia	Porto Clementino	1990	Ripascimento con sabbia da cave terrestri protetto da pennelli soffici in sacchi di poliestere	49,000
Tarquinia	Porto Clementino	2004	Ripascimento con sabbia da cave terrestri protetto da pennelli semisoffici in massi naturali	570,000
Tarquinia	Porto Clementino	2001	Ripascimento con sabbia da cave terrestri protetto da pennelli semisoffici in massi naturali	11,000
S. Marinella	Lungomare S. Marinella dallo stabilimento	2004-2006	Realizzazione di barriera soffice con massi naturali	---
S. Marinella	Via Aurelia, Km 58+000	2004	Realizzazione di n. 2 barriere emerse distaccate	---
S. Severa	Località Grottini – Castello S. Severa	2003	Rifonitura delle barriere esistenti e ripristino delle parti terminali in massi naturali	---

Tab. 5.2. Attività di dragaggio eseguite nell'area di studio

6. CAMPIONAMENTO ED ANALISI DI LABORATORIO

6.1 Piano di campionamento

I punti di campionamento sono stati scelti sulla base delle informazioni ottenute dalle campagne di monitoraggio eseguite negli anni precedenti e sulla base delle informazioni cartografiche che da esse ne sono risultate.

I rilievi sono stati eseguiti lungo il tratto di costa del Lazio settentrionale compreso tra Santa Severa e Marina di Tarquinia in 18 stazioni di campionamento, in corrispondenza dei Siti di Importanza Comunitaria (SIC-Direttiva 92/43/CEE) presenti.

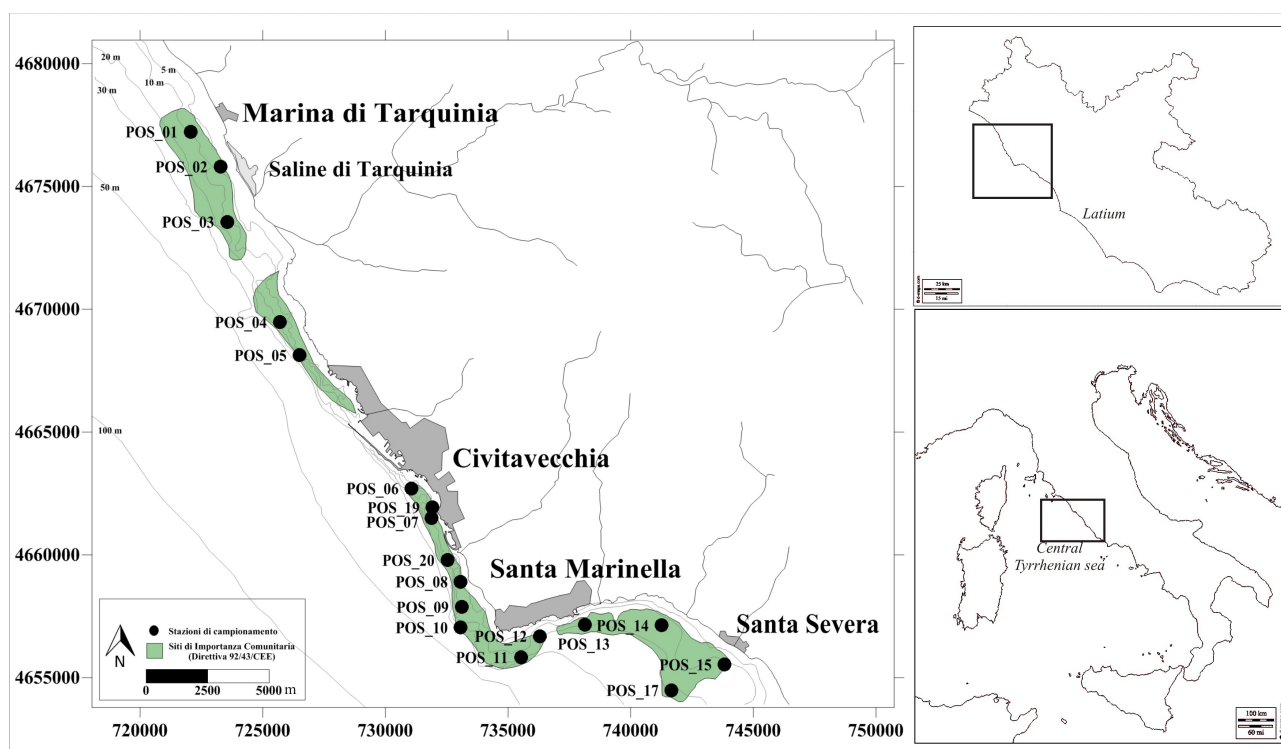


Fig. 6.1. Piano di campionamento per la caratterizzazione delle praterie di *Posidonia oceanica*

Il criterio di scelta delle stazioni di campionamento si è basato sulle informazioni ottenute dagli studi pregressi; 14 punti su 18 coincidono con le stazioni di campionamento oggetto del monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica* eseguito tra il 2001 ed il 2005 nell'area di studio.

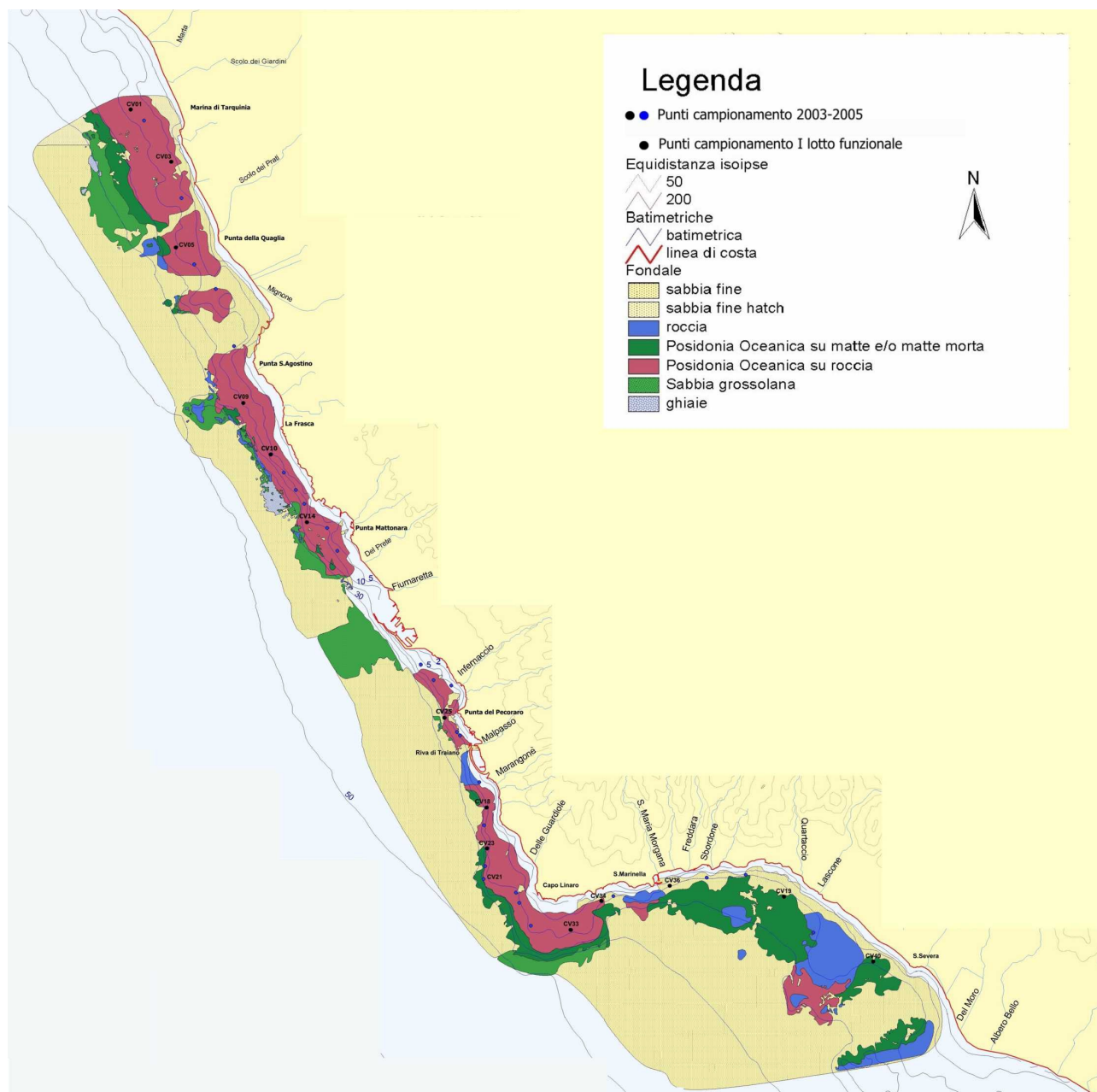


Fig. 6.2. Piano di campionamento relativo al monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica* del periodo 2001-2005

In seguito sono state aggiunte 4 stazioni (POS_06, POS_19, POS_20 e POS_17) sulla base delle informazioni pregresse acquisite dallo studio di Ardizzone e Belluscio (1995).

Nella tabella qui di seguito vengono riportate le coordinate e le profondità delle stazioni di campionamento.

Coordinate metriche (UTM-32T WGS84)			
Stazione	LAT	LONG	Prof(m)
POS_01	4677467	722054	10.0
POS_02	4676134	723266	9.5
POS_03	4673809	723561	13.4
POS_04	4669709	725690	10.3
POS_05	4668364	726491	5.5
POS_06	4662959	731068	4.5
POS_19	4661991	732024	7.5
POS_07	4661443	731789	12.0
POS_20	4660009	732513	10.0
POS_08	4659141	733047	10.3
POS_09	4658047	733112	11.0
POS_10	4657276	733062	16.0
POS_11	4656060	735520	10.9
POS_12	4656902	736307	10.0
POS_13	4657444	738126	13.0
POS_14	4657366	741278	13.2
POS_15	4655767	743820	9.4
POS_17	4654640	741552	13.4

Tab. 6.1. Coordinate e profondità delle stazioni di campionamento

6.2 Analisi dei parametri strutturali: campionamenti *in situ*: campionamento e conservazione dei campioni

Per valutare la presenza di differenze tra le stazioni, in ciascun punto è stato seguito un protocollo di campionamento di tipo gerarchico in modo da avere una confidenza statistica più elevata, e di ridurre la probabilità di includere errori di interpretazione dei dati dovuti alla variabilità naturale della prateria. I campionamenti sono stati eseguiti tra maggio e giugno 2013.

In ogni stazione è stato seguito un piano così come riportato nella seguente figura.

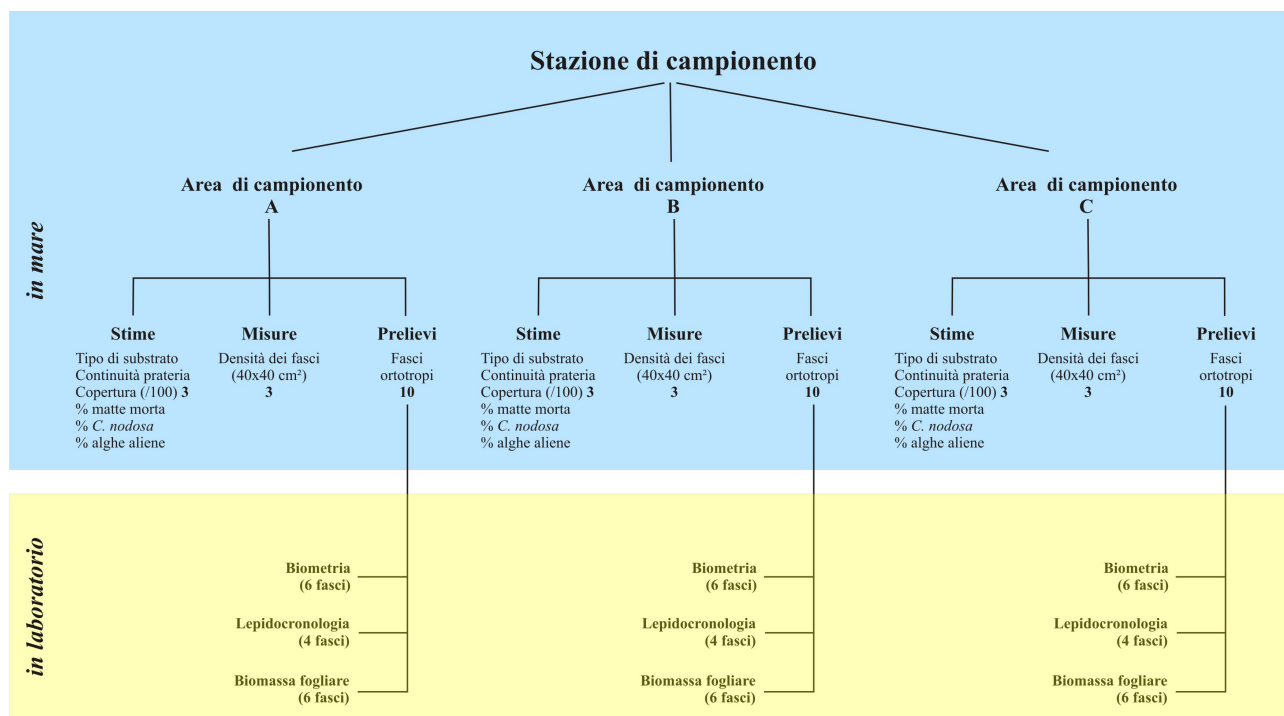


Fig. 6.3. Piano di campionamento per il monitoraggio dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica*

In ogni stazione di campionamento sono state definite 3 aree di almeno 400 m² ciascuna, distanziate tra loro almeno 10 m, in ciascuna delle quali sono state eseguite 9 repliche per le di densità, 3 stime di copertura del substrato da parte della pianta ed il prelievo di 10 fasci ortotropi per la misura dei parametri biometrici.

La definizione dei descrittori strutturali delle praterie è stata eseguita in immersione; la stima di densità dei fasci fogliari è stata eseguita utilizzando quadrati di riferimento 40 x 40 cm di lato; il valore ottenuto è stato poi riportato al m² (Fig.). Le stime di copertura del substrato da parte della pianta sono state invece eseguite con un quadrato di riferimento suddiviso in 16 sottoquadrati, sollevandosi di circa 3 m dal fondale e contando il numero di porzioni che risultavano occupate dalla pianta.



Fig. 6.4. Conte di densità in quadrati di riferimento (sn) e prelievo dei fasci (ds)

Sono state eseguite inoltre stime visive per la valutazione della % di substrato occupata da matte morta, la % di presenza di alghe aliene, è stata inoltre osservata la tipologia di substrato e la continuità della praterie. I campioni di *Posidonia oceanica* sono stati prelevati in ogni area della stazione di campionamento ad una distanza di almeno 1 m l'uno dall'altro per ridurre la probabilità di campionamento di individui clonali.

Conservazione dei campioni

I campioni prelevati, opportunamente etichettati, sono stati trasportati all'interno di contenitori portacampioni con acqua di mare in laboratorio e qui immediatamente analizzati.

6.3 Analisi di laboratorio: morfometria delle piante

In laboratorio sono state eseguite le analisi morfometriche sui campioni prelevati; sono stati analizzati complessivamente 30 rizomi per ciascuna delle 18 stazioni di campionamento, per un totale di 540 rizomi ortotropi. Nel presente studio si è tenuto conto solo delle misure morfometriche che indicano in maniera più esaustiva lo stato di salute delle praterie analizzate in base ai protocolli di riferimento presi in considerazione; inoltre sono stati presi in considerazione quei parametri che potessero essere confrontati con i dati di letteratura (Buia et al., 2000).

Le analisi fenologiche riguardano le misurazioni biometriche di tutte le foglie presenti su un rizoma ortotropo campionato *in situ*; tali misurazioni sono state eseguite seguendo il protocollo di Giraud (1979), presentato anche in Buia et al. (2004); le foglie costituenti ogni ciuffo fogliare sono

II: MATERIALI E METODI

state separate secondo l'ordine distico di inserzione sul rizoma, a partire dalla foglia più esterna (foglia più adulta) fino alla foglia più interna (più giovane). Per ogni foglia sono state misurate le seguenti caratteristiche:

- larghezza del lembo fogliare (cm);
- lunghezza totale (cm);
- lunghezza del tessuto verde (cm);
- lunghezza del tessuto bruno (cm);
- lunghezza del tessuto bianco (cm);
- lunghezza della base (cm);
- stato degli apici (%).

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.

Sulla base delle misurazioni effettuate sull'apparato fogliare, sono stati calcolati i seguenti parametri fenologici:

- numero medio di foglie totali per fascio;
- numero di foglie per categoria (giovanili, intermedie ed adulte) per fascio;
- coefficiente A (%), ossia la percentuale di foglie che presentano l'apice eroso;
- l'indice di superficie fogliare (*Leaf Area Index*-LAI m²/m²), calcolato con la seguente formula:

$$LAI = \left(\frac{L \times W \times n}{10000} \right) * D$$

in cui:

L= lunghezza media del tessuto verde delle foglie adulte ed intermedie analizzate,

W= larghezza media del lembo fogliare,

n= numero di foglie intermedie ed adulte analizzate

D= densità assoluta dei fasci fogliari misurata in quella stazione.

Una volta misurati i parametri morfometrici, le foglie sono state conservate per la misura dei parametri di biomassa.

II. MATERIALI E METODI

7. RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI AMBIENTALI

Il litorale di Civitavecchia, in particolare l'area portuale, come già detto in precedenza, ha subito numerosi interventi di adeguamento (dovuti all'aumento del traffico marittimo ed all'aumento delle rotte crocieristiche) preceduti da altrettanto numerose attività di dragaggio.

Per valutare la presenza di un effetto sullo stato di salute dovuto alla riduzione della quantità di luce disponibile per le praterie causato dalle attività di dragaggio o da una naturale variabilità delle acque costiere dell'area di studio, sono stati raccolti parametri abiotici relativi alla piovosità dell'area di studio, alla torbidità della colonna d'acqua, alle condizioni meteomarine ed alla variazione nell'uso del suolo dell'area di studio.

7.1. Dati pluviometrici

Al fine di stimare la portata dei bacini fluviali presenti nell'area di studio, sono stati acquisiti i dati pluviometrici mensili dal 1995 al 2013 registrati dalle stazioni pluviometriche presenti nei bacini idrografici dei fiumi Fiora, Marta e Mignone e dei fossi minori presenti nella zona compresa tra Civitavecchia-Santa Severa e messi a disposizione dall'Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio (<http://www.idrografico.roma.it>). Per ogni anno è stato calcolato il valore medio mensile di piovosità ed i giorni di pioggia registrati in ogni bacino fluviale. I dati sono stati analizzati al fine di verificare la presenza o meno di un trend temporale dei parametri analizzati. L'analisi del trend per le serie storiche in esame è stata effettuata attraverso test statistici non parametrici che spesso risultano più adatti ad individuare variazioni temporali dei dati ambientali (Helsel, 1987). In particolare per l'analisi delle medie annuali delle piogge sono stati utilizzati i test di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) e Spearman (1904). Il primo è spesso utilizzato per individuare trend monotonici in serie storiche climatologiche (Sneyers, 1998) mentre il secondo può essere impiegato come trend test quando una delle due variabili è il tempo. Attraverso questa analisi è stato possibile verificare se la tendenza evolutiva apparente dei dati sia significativa per definire un trend positivo o negativo della serie storica delle piogge.

7.2. Dati delle portate del fiume Tevere

Per quanto riguarda la portata liquida del Fiume Tevere sono stati acquisiti i dati rilevati

II. MATERIALI E METODI

dall'idrometro posizionato a Ripetta dall'Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio.

Inizialmente è stata effettuata, per la rappresentazione grafica, una procedura di *smoothing* mediante la *Locally Weighted Regression Smooth* (Cleveland 1979, 1981; Chambers et al. 1983), di seguito i dati sono stati sottoposti al test non-parametrico ANOVA di Kruskal-Wallis (Kruskal W.H and Wallis W.A., 1952), che si è manifestato maggiormente sensibile rispetto a metodi parametrici per verificare se i dati relativi ai diversi anni presentano differenze significative per cui è possibile escludere che provengano da un'unica popolazione. Infine le medie annuali sono state analizzate mediante i trend test di Mann-Kendall e Spearman per definire la presenza effettiva di un trend. Per quanto riguarda le informazioni relative ai corsi d'acqua principali degli altri bacini ci si è basati su informazioni di carattere bibliografico.

7.3. Dati ottici satellitari

La capacità dei sensori satellitari di misurare la radiazione elettromagnetica riflessa e riemessa dalle acque marine è ampiamente utilizzata per ottenere informazioni sinottiche circa la concentrazione di fitoplancton, solido sospeso e materia organica disciolta (DOM) presenti, e per stimare la penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua attraverso la derivazione dei coefficienti di attenuazione spettrali dell'irradianza solare discendente.

Il coefficiente di attenuazione ($K_d(\lambda)$) è definito come la diminuzione esponenziale dell'irradianza discendente all'aumentare della profondità (Kirk, 2011). Tale parametro dipende sia dalla composizione del mezzo attraverso cui si propaga la luce, sia dall'angolo di diffusione della stessa; per tale motivo i coefficienti di attenuazione sono compresi tra le proprietà ottiche apparenti dell'acqua (Preisendorfer, 1976). Inoltre il loro valore varia con lo zenith solare (l'angolo fra lo zenith locale e la linea di vista del sole), con la copertura nuvolosa e con le condizioni della superficie del mare, nonché con la profondità dello strato mescolato (Gordon, 1989; Liu et al., 2002).

Il coefficiente di attenuazione della luce dipende dalle sostanze otticamente attive presenti nel mezzo acquatico, in particolare dal tripton (particelle sospese inorganiche), dal fitoplancton, dalla CDOM (Chromophoric Dissolved Organic Matter) e dall'acqua stessa. Le acque marine costiere rientrano nelle acque di Caso 2 (Morel e Prieur, 1977) alle cui proprietà ottiche contribuiscono principalmente i sedimenti della piattaforma continentale risospesi dal moto ondoso o dalle correnti ed il materiale disciolto e/o sospeso derivante dalle foci fluviali o dagli scarichi urbani; tali sostanze

II. MATERIALI E METODI

interferiscono con la penetrazione della luce nell'acqua attraverso fenomeni di assorbimento e backscattering.

Il coefficiente di attenuazione dell'irradianza discendente è un parametro importante in molti ambiti di ricerca oceanografica, in particolare quelli che riguardano lo studio della torbidità dell'acqua di mare (Jerlov, 1976; Kirk, 2011).

Austin e Petzold (1981) hanno derivato una relazione empirica per ottenere i coefficienti di attenuazione a 490 e 520 nm dal rapporto delle radianze misurate dal Coastal Zone Color Scanner (CZCS) per $\lambda=443$ e 520 nm.

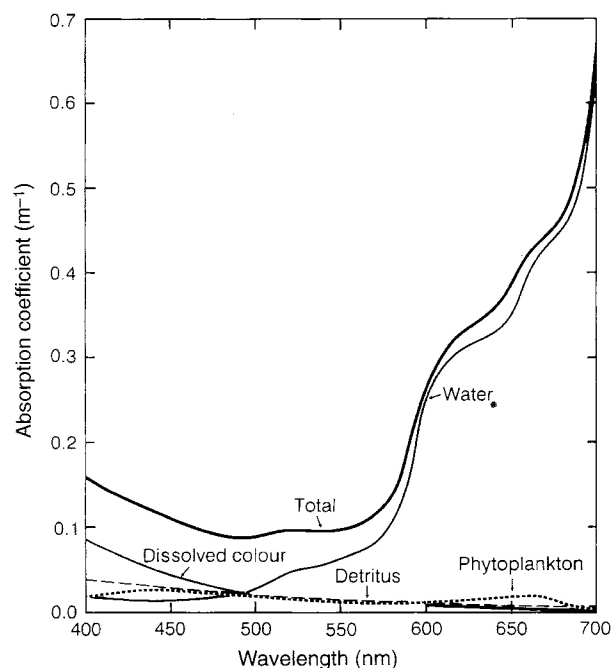


Fig. 7.5. Spettro di assorbimento dell'acqua di mare con una produttività di 1mg/m³ di clorofilla a) e spettro di assorbimento delle singole componenti presenti nel mezzo (Kirk, 2011)

Per ottenere informazioni circa la torbidità naturale dell'area di studio, sono state acquisite immagini satellitari giornaliere, scelte sulla base dei dati pluviometrici. Sono state acquisite immagini a partire dal 1997 fino al 2013, utilizzando i prodotti ottenuti da sensori montati su diverse piattaforme satellitari:

- SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor), spettroradiometro montato sul satellite Sea Star e funzionante dal 1° Agosto 1997 fino al 2010;
- MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), è un sensore montato sui satelliti Terra (EOS AM) e Aqua (EOS AM), attivo dal 23 Giugno 2002 e tutt'ora in funzione;
- MERIS (Medium-spectral Resolution Imaging Spectroradiometer), è un sensore montato

II. MATERIALI E METODI

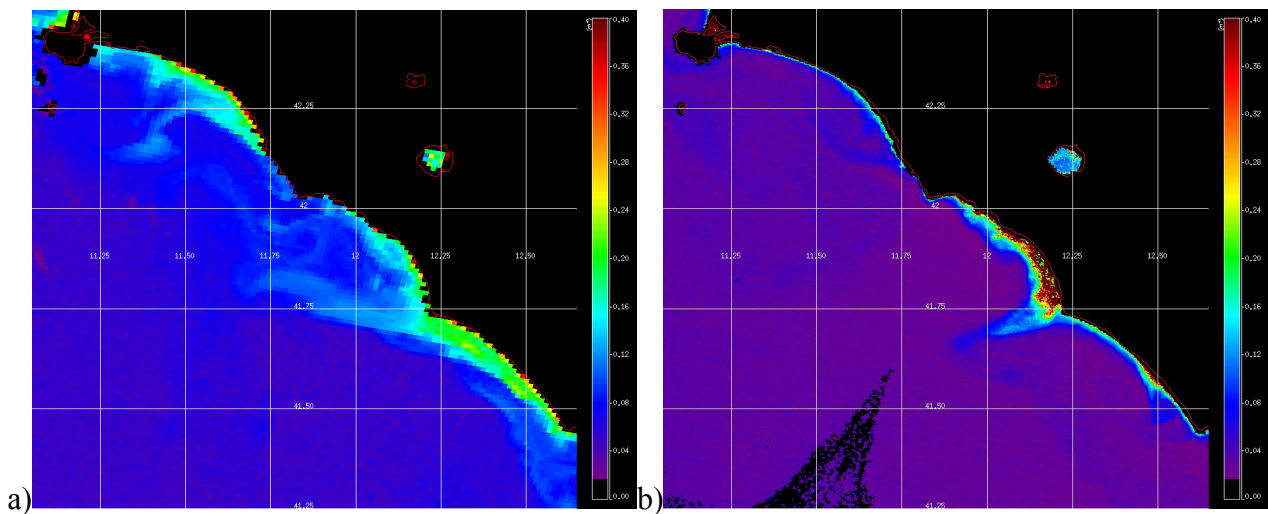
dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sul *Envisat Earth Observation Satellite*, lanciato nell'Aprile 2002 e spento ad Aprile 2012.

I prodotti ottenuti da tali sensori sono stati scaricati in formato L2 (*Level 2*) dal sito della NASA *OceanColor* (www.oceancolor.gsfc.nasa.gov); le immagini ottenute derivano dal processamento del dato acquisito dal sensore già pulito dall'interferenza dell'atmosfera, in cui il valore del pixel costituisce il valore processato della variabile geofisica.

La risoluzione del dato acquisito varia in base al sensore; nel caso del SeaWiFS e del MODIS il dato acquisito ha una risoluzione di 1 km², mentre la dimensione di un pixel ottenuto dal MERIS è di 260 m × 290 m.

Il prodotto L2 è stato rimappato, visualizzato e convertito il formato ASCII e TIF grazie al programma SeaDAS (*SeaWiFS Data Analysis System*), un software sviluppato dalla NASA utilizzato per il processamento, la visualizzazione, l'analisi ed il controllo qualità dei dati acquisiti dai diversi sensori ottici.

Il dato di Kd 490 ottenuto è stato utilizzato per valutare l'evoluzione della torbidità delle acque nell'area di studio, nel periodo temporale preso in considerazione.



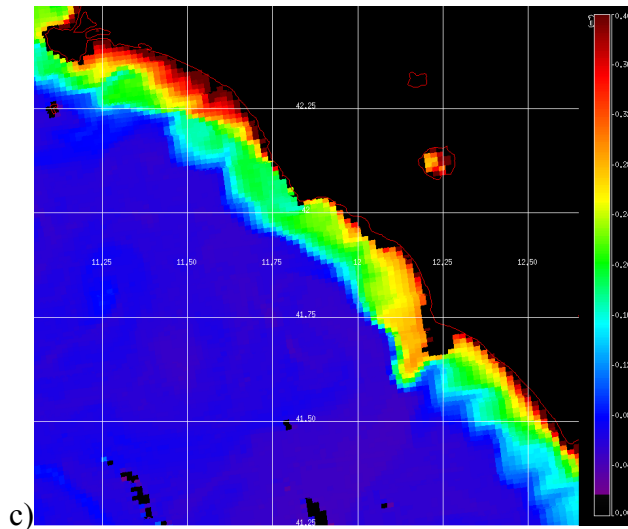


Fig. 7.6. Esempi di immagini ottenute dai sensori SeaWiFS (a), MERIS (b) e MODIS (c)

Lo studio dei regimi pluviometrici mensili del periodo temporale in esame, ha permesso di individuare i mesi con abbondanti e scarse precipitazioni; nel primo caso si avrà la concentrazione massima di solidi in sospensione di origine fluviale con un aumento della torbidità dell'acqua, mentre nei periodi di scarse precipitazioni il valore di tale parametro dipenderà esclusivamente dalle caratteristiche ottiche dell'acqua. Sono stati analizzati di conseguenza i dati ottenuti dalle immagini giornaliere dei mesi presi in considerazione, ottenendo valori massimi e minimi del $K_d 490$, nonché il valore medio per ogni stazione di campionamento.

7.4. Modelli utilizzati per le simulazioni del campo idrodinamico e per la dispersione del sedimento

Per la simulazione del campo di velocità delle correnti indotte dal moto ondoso e dal vento e della dispersione del materiale sospeso nella colonna d'acqua sono stati utilizzati due diversi modelli.

7.4.1. Propagazione del moto ondoso: Modello STWAVE

Per analizzare la propagazione del moto ondoso verso costa è stato utilizzato il modello alle differenze finite STWAVE che evidenzia gli effetti dei fenomeni di shoaling, di diffrazione e di rifrazione.

L'STWAVE (*Steady-state spectral WAVE model*) è un modello alle differenze finite che risolve

II. MATERIALI E METODI

l'equazione di propagazione dell'onda. Lo scopo della sua applicazione in regioni costiere è quello di descrivere quantitativamente i cambiamenti dei parametri dell'onda (come l' altezza, il periodo, la direzione e la deformazione dello spettro) tra la zona offshore e quella *nearshore*. Infatti, in acque profonde il campo d' onda è relativamente omogeneo, mentre in prossimità della costa, dove le onde sono fortemente influenzate dalle variazioni di batimetria e dalle correnti, i parametri d'onda possono variare significativamente sulla scala di decine di metri. La caratterizzazione dell'onda nearshore è di fondamentale importanza per dimensionare le opere di ingegneria costiera e per calcolare le correnti litoranee dalle quali si determina il trasporto sedimentario e il relativo cambiamento morfologico del fondale.

L'STWAVE simula i fenomeni di rifrazione e *shoaling* indotte dalla profondità, di diffrazione e riflessione causata da ostacoli naturali (coste alte) o artificiali (pennelli o antemurali di porti); calcola i parametri d' onda, come l'altezza, il periodo e la direzione, la zona del dominio dove l'onda frange e il radiation stresses. Tiene conto dell'interazione corrente-onda e vento-onda.

L' equazione fondamentale che risolve l' STWAVE è la relazione di dispersione dell'onda (*Smith et al, 2001*). L'approccio alla sua formulazione segue dalla descrizione delle variabili su due diversi sistemi di riferimento: quello in movimento con le correnti dove le variabili hanno il pedice r , e quello relativo alla Terra (sistema assoluto) dove le variabili hanno il pedice a .

La relazione di dispersione per un sistema in movimento è data da (*Jonsson 1990*) :

$$\omega_r^2 = g \cdot k \cdot \tanh(k \cdot d) \quad (1)$$

In un sistema di riferimento assoluto, l'equazione di dispersione è calcolata mediante:

$$\omega_a = \omega_r + k \cdot U \cdot \cos(\delta - \alpha) \quad (2)$$

Le soluzioni per la rifrazione e lo shoaling richiedono sia la celerità della singola onda, C , sia la celerità di gruppo, C_g . Nel sistema di riferimento relativo alla corrente si ha :

$$C_r = \frac{\omega_r}{k} \quad (3)$$

$$C_{gr} = 0.5 \cdot C_r \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \quad (4)$$

II. MATERIALI E METODI

La direzione di entrambe le celerità è α , ovvero la direzione ortogonale al fronte d' onda. Nel sistema di riferimento assoluto le espressioni delle velocità dell'onda si ottengono sono date da:

$$C_a = C_r + U \cdot \cos(\delta - \alpha) \quad (5)$$

$$(C_{ga})_i = (C_{gr})_i + (U)_i \quad (6)$$

dove il pedice i indica la notazione tensoriale per le componenti nella direzione x e y. In questo caso la direzione con cui si propaga la velocità dell'onda singola (α) è perpendicolare al fronte d'onda, mentre la celerità di gruppo definisce il cosiddetto raggio dell'onda (μ), (Fig.7.7).

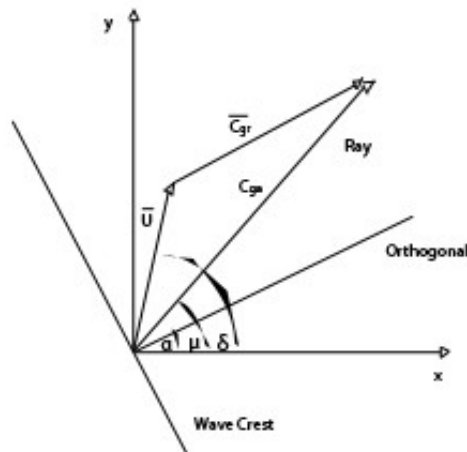


fig. 7.7: Viene mostrata la direzione con cui si propaga la velocità dell'onda singola (α) e quella con cui si sposta la celerità di gruppo (μ).

La direzione di quest'ultimo è definita dalla seguente formula:

$$\mu = \tan^{-1} \left(\frac{C_{gr} \cdot \sin(\alpha) + U \cdot \sin(\delta)}{C_{gr} \cdot \cos(\alpha) + U \cdot \cos(\delta)} \right) \quad (7)$$

Si ha quindi che, in presenza di corrente, l' energia dell'onda si muove lungo il suo raggio mentre la direzione effettiva è quella perpendicolare alla sua cresta.

II. MATERIALI E METODI

I fenomeni di rifrazione e di shoaling sono implementati nel modello STWAVE applicando l'equazione di conservazione dell'onda che è definita nelle due direzioni sopracitate. Se si considera la propagazione perpendicolare al fronte d'onda (assenza di corrente) si ha :

$$C_{ga} \frac{D\alpha}{DR} = - \frac{C_r \cdot k}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \cdot \frac{Dd}{Dn} \cdot \frac{k_i}{k} \cdot \frac{DU_i}{Dn} \quad (8)$$

mentre se si tiene conto della direzione lungo il raggio d'onda (interazione onda-corrente) si ottiene:

$$(C_{ga})_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a \cdot C_{ga} \cdot \cos(\mu \cdot \alpha) \cdot E(\omega_a, \alpha)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r} \quad (9)$$

Il fenomeno di diffrazione viene incluso nel modello attraverso lo smoothing dell'energia dello spettro d'onda in una specifica banda di direzione e frequenza. Il risultato è la seguente espressione:

$$E_j(\omega_a, \alpha) = 0.55 \cdot E_j(\omega_a, \alpha) + 0.255 \cdot [E_{j+1}(\omega_a, \alpha) + E_{j-1}(\omega_a, \alpha)] \quad (10)$$

Il frangimento dell'onda è stato implementato all'interno di STWAVE dalla seguente formula empirica :

$$H_{mo_{max}} = 0.1 \cdot L \cdot \tanh(k \cdot d) \quad (11)$$

I gradienti del radiation stress sono calcolati nel modello per fornire le forzanti al campo idrodinamico sotto forma di correnti nearshore e di cambiamenti del livello dell'acqua (wave setup e setdown). Le correnti indotte dalle onde sono infatti le principali artefici del trasporto sedimentario all'interno della surf zone.

I tensori del radiation stress sono calcolati sulla base della teoria lineare dell'onda :

$$S_{xx} = \rho_w \cdot g \cdot \iint E(f, \alpha) \cdot \left[0.5 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot (\cos^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha \quad (12)$$

$$S_{xy} = \rho_w \cdot g \cdot \iint \frac{E(f, \alpha)}{2} \cdot \left[0.5 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot \sin(2 \cdot \alpha) \right] df d\alpha \quad (13)$$

$$S_{yy} = \rho_w \cdot g \cdot \iint E(f, \alpha) \cdot \left[0.5 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot (\sin^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha \quad (14)$$

I relativi gradienti hanno quindi la seguente forma :

$$\tau_x = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (15)$$

$$\tau_y = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (16)$$

Per ottenere un'elevata risoluzione spaziale (circa 20 m) in tutte le griglie di calcolo sono presenti circa 1.130000 elementi.

7.4.2. Dispersione del materiale in sospensione: modello Delft3D

Il modello DELFT3D consente di simulare diversi aspetti relativi alla dinamica costiera come la velocità della corrente indotta da vento e moto ondoso (modulo DELFT3D-FLOW), la propagazione dell'onda verso costa (modulo DELFT3D-WAVE) e il trasporto litoraneo e il relativo cambiamento morfologico del fondale e della linea di costa a scala intra e interannuale.

Il modello idrodinamico che verrà utilizzato per effettuare le simulazioni delle correnti marine è il DELFT3D-FLOW che risolve le equazioni shallow water nelle tre direzioni. Il sistema di equazioni comprendono le equazioni orizzontali del moto, l'equazione di continuità, quella del trasporto e l'equazione di chiusura della turbolenza. L'equazione della quantità di moto nella direzione z è ridotta all'equazione idrostatica in quanto l'accelerazione verticale è assunta essere troppo piccola paragonata all'accelerazione di gravità. Questo consente al modello DELFT3D di predire il flusso in diverse aree come in domini dove è valida la condizione shallow water, zone costiere, estuari, lagune, fiumi e laghi. Nel modello vengono utilizzate per il piano orizzontale coordinate cartesiane o coordinate geografiche, mentre nel piano verticale il sistema σ il quale si basa su un numero costante di piani verticali (Fig.7.8).

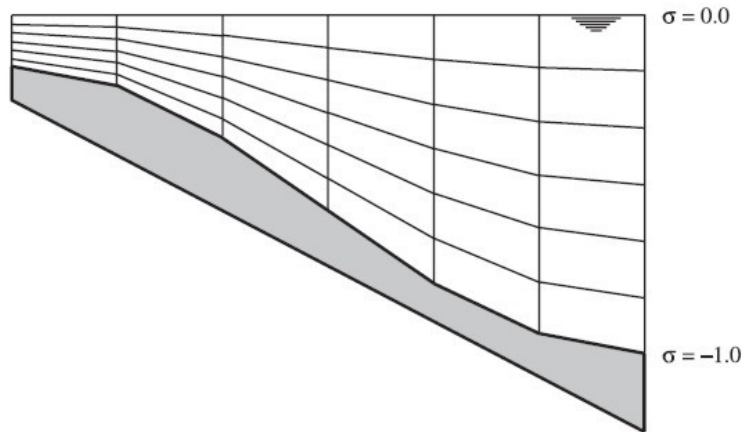


Fig. 7.8. Un esempio di griglia verticale consistente di sei strati σ di uguale spessore.

Per semplicità le equazioni del modello verranno scritte in coordinate cartesiane.

L'equazione idrostatica

Considerando l'approssimazione *shallow water*, l'equazione della quantità di moto verticale si riduce all'equazione idrostatica. L'accelerazione verticale, quindi, dovuta all'effetto di galleggiamento non viene presa in considerazione. L'espressione risultante sarà:

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -\rho \cdot g \cdot h \quad (17)$$

Le equazioni della quantità di moto orizzontali

Le equazioni della quantità di moto orizzontale sono:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\varpi}{h} \frac{\partial U}{\partial \sigma} - fV = -\frac{1}{\rho_0} P_x + F_x + M_x + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_\nu \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \quad (18)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\varpi}{h} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - fU = -\frac{1}{\rho_0} P_y + F_y + M_y + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_\nu \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \quad (19)$$

nelle quali i termini di pressione orizzontale, P_x e P_y , sono date dall'approssimazione di Boussinesq:

$$\frac{1}{\rho_0} P_x = g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \sigma'}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma'$$

II. MATERIALI E METODI

(20)

$$\frac{1}{\rho_0} P_y = g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\partial \sigma'}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma'$$

(21)

Gli stress di Reynolds orizzontali , F_x e F_y , sono determinati usando il concetto di eddy viscosity (Rodi, 1984). Per simulazioni a grande scala, quando lo shear stress lungo il boundary chiuso può essere trascurabile, F_x e F_y si riducono a:

$$F_x = \nu_H \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad F_y = \nu_H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right)$$

(22)

nei quali i gradienti sono presi lungo i piani σ . Nelle equazioni della quantità di moto M e M rappresentano il contributo dovuto delle sorgenti o pozzi.

L'equazione di continuità

L'equazione di continuità è data da:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [h\bar{U}]}{\partial x} + \frac{\partial [h\bar{V}]}{\partial y} = S$$

(23)

nella quale S rappresenta il contributo per unità di area dovuto alla scarica o al prelievo di acqua, evaporazione e precipitazione.

L'equazione del trasporto

II. MATERIALI E METODI

L'equazione di avvezione-diffusione si scrive:

$$\frac{\partial[hc]}{\partial t} + \frac{\partial[hUc]}{\partial x} + \frac{\partial[hVc]}{\partial y} + \frac{\partial[h\sigma]}{\partial \sigma} = h \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_H \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_H \frac{\partial c}{\partial y} \right) \right] + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_V \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right] + hS \quad (24)$$

nella quale S rappresenta sorgente e pozzo per unità di area.

Per risolvere queste equazioni bisogna trovare un'espressione per i termini di viscosità orizzontale (v_H e v_V) e di diffusività (D_H e D_V). Nel modello DELFT3D-FLOW, la viscosità e la diffusività orizzontale possono essere scomposti in tre parti:

1. viscosità molecolare
2. “turbolenza 3D”
3. “turbolenza 2D”

La viscosità di un fluido è un valore costante, dell'ordine di 10^{-6} . In una simulazione 3D, la “turbolenza 3D” è computata attraverso il modello di chiusura della turbolenza. La “turbolenza 2D” è una misura del mescolamento orizzontale che non è risolta dall'avvezione su una griglia di calcolo orizzontale. I valori di tale parametro possono essere specificati come una costante, fatti variare nello spazio o calcolati utilizzando un modello di simulazione degli eddy orizzontali che prende il nome di HLES.

Modelli di chiusura turbolenta

I modelli di chiusura turbolenta sono implementati nel DELFT3D-FLOW e sono basati sul concetto di “eddy viscosity”. Gli “eddy viscosity” nei modelli hanno la seguente forma:

$$v_V = c'_\mu L \sqrt{k} \quad (25)$$

in cui c'_μ è una costante determinata per mezzo della calibrazione, L è la lunghezza del mescolamento e k è l'energia cinetica turbolenta. Principalmente, vengono utilizzati due modelli: il primo usa formule analitiche per determinare i parametri k e L e quindi gli eddy viscosity verticali, il secondo k e il termine di dissipazione ϵ sono calcolati attraverso gli shear stress al fondo, in

II. MATERIALI E METODI

superficie e all'interno del flusso.

Gli effetti dell'onda possono essere inclusi nel modello idrodinamico DELFT3D-FLOW facendo girare separatamente il modulo DELFT3D-WAVE che simula la propagazione del moto ondoso verso costa. Le variabili calcolate dal modello DELFT3D-WAVE come l'altezza d'onda, il picco di periodo nello spettro, la direzione dell'onda, il flusso di massa, ecc. vengono letti dal modello DELFT3D-FLOW che calcola le velocità delle correnti nelle tre direzioni prodotte dal moto ondoso. Le simulazioni sulla propagazione delle onde possono essere performate utilizzando modelli di seconda generazione come HISWA (Holthuijsen et al., 1989) o modelli di terza generazione come SWAN (Holthuijsen et al., 1993). Un pratico vantaggio del modello SWAN è quello di poter girare sulla stessa griglia curvilinea usata per il modello idrodinamico.

Nelle situazioni in cui il livello dell'acqua, la batimetria o il campo di velocità cambiano significativamente durante la simulazione del modello DELFT3D-FLOW, sarebbe opportuno richiamare più volte il modello DELFT3D-WAVE. Il campo d'onda computato può quindi essere aggiornato tenendo conto del cambiamento di profondità e delle velocità della corrente. Questo tipo di funzione è resa possibile grazie al processo di “steering” che richiama in maniera alternata il modello idrodinamico e quello di moto ondoso.

Nella zona costiera, l'azione dell'onda può influenzare la morfologia per diverse ragioni come:

(1) l'azione dell'onda dovuta al fenomeno di breaking (attraverso i gradienti di radiation stress) è modellata come uno shear stress sulla superficie del mare. Il gradiente di radiation stress è modellato usando l'espressione semplificata di Dingemans et al. (1987), dove il contributo legato all'energia dell'onda viene trascurato. La sua espressione è data da:

$$\vec{M} = \frac{D}{\omega} \vec{k} \quad (26)$$

In cui $\vec{M}$ è la forzante dovuta ai gradienti di radiation stress (N/m²), D è la dissipazione dovuta al frangimento dell'onda (W/m²), ω è la velocità angolare (rad/s) e k è il numero d'onda (rad/m).

(2) L'effetto dello shear stress al fondo è preso in considerazione dalla parametrizzazione di Soulsby et al. (1993).

(3) Il flusso di massa indotto dall'onda è incluso ed è corretto per gli spostamenti di Stokes non uniformi verticalmente.

(4) La produzione di turbolenza addizionale dovuta alla dissipazione dell'onda al fondo e al frangimento è incluso come termine nel modello di chiusura turbolenta.

II. MATERIALI E METODI

(5) La corrente indotta dall'onda vicino al fondo è modellata come uno shear stress addizionale agente attraverso lo spessore dello strato del boundary layer al fondo.

I processi (3), (4) e (5) sono stati inclusi di recente nel DELFT3D-FLOW e sono fondamentali se l'effetto delle onde sul flusso viene correttamente rappresentato nelle simulazioni 3D. Tali fenomeni risultano importanti anche nei modelli di trasporto in prossimità della costa.

Per simulare il trasporto di materiale coeso e non coeso, il sedimento può, all'interno del modello DELFT3D-FLOW essere aggiunto ad una lista di costituenti che possono essere calcolati attraverso le equazioni del trasporto riportate sopra. Possono essere definite 5 frazioni sedimentarie, ogni frazione deve essere classificata come sabbia o fango in quanto vengono utilizzate differenti formulazioni per lo scambio con il fondo e per la velocità di deposizione. Oltre alle equazioni di trasporto vengono utilizzate espressioni ausiliari che descrivono meglio il comportamento del sedimento. Tali equazioni comprendono:

(1) Effetto di densità. L'equazione di stato usata per il calcolo della densità dell'acqua con la variazione di salinità e temperatura è stata estesa per includere l'effetto di densità del sedimento in sospensione:

$$\rho = \rho_w + \sum_{l=1}^{LSED} c_{vol}^{(l)} (\rho_s^{(l)} - \rho_w) \quad (17)$$

nella quale ρ_w è la densità dell'acqua di mare che include gli effetti di salinità e temperatura; $c_{vol}^{(l)}$ è la concentrazione volumetrica della frazione sedimentaria l ; $\rho_s^{(l)}$ è la densità delle particelle solide della frazione sedimentaria l ; LSED è il numero totale di frazioni sedimentarie.

(1) Velocità di deposizione. La velocità di deposizione del sedimento è modellata come funzione di concentrazione e di salinità le quali possono avere un impatto significativo quando viene simulato il trasporto di alte concentrazioni di sedimento coesivo molto fine.

(2) Scambio di sedimento con il fondo. Lo scambio di sedimento con il fondo è implementato attraverso pozzi e sorgenti che si trovano in prossimità del substrato. Le frazioni sedimentarie sono calcolate in maniera differente in base al tipo di granulometria (sabbia o fango).

Il trasporto sul fondo è calcolato per la frazione sedimentaria sabbiosa da formulazioni empiriche prodotte da van Rijn (1993). Tali espressioni tengono conto per il trasporto sedimentario vicino al fondo, di un spessore limite a , all'interno del quale avvengono i fenomeni di erosione, trasporto e sedimentazione.

II. MATERIALI E METODI

Per analizzare la variazione morfologica del fondale in lunghi periodi di tempo viene utilizzato l'approccio del “morphological factor” descritto da Roelvink (2006). Tale metodo consente di estendere di n volte la durata della simulazione idrodinamica che viene quindi considerata rappresentativa dell'intero periodo in cui avvengono i cambiamenti morfologici.

PARTE III. RISULTATI

8. ANALISI SPAZIALE DELLO STATO DI SALUTE DELLE PRATERIE DI *POSIDONIA OCEANICA*

La complessità geomorfologica dell'area di studio porta ad una elevata eterogeneità strutturale delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti; la maggior parte di queste, infatti, si sviluppa su substrato roccioso interrotto da numerosi catini sabbiosi, con evidenti ripercussioni sulla copertura e sulla densità assoluta dei fasci al m². Per tale motivo oltre ai valori medi dei dati rilevati, che tendono ad appiattire l'informazione, vengono calcolati anche i valori mediani che riescono a dare un'informazione più precisa della situazione riscontrata *in situ*. L'immagine qui di seguito riportata mette in evidenza la complessità geomorfologica dell'area e le differenti tipologie di substrato colonizzate dalle praterie oggetto di studio. Come si osserva dall'immagine (Fig. 8.1) la maggior parte delle stazioni di campionamento sono state eseguite su substrato roccioso a profondità comprese tra i 5m ed i 16 m di profondità.

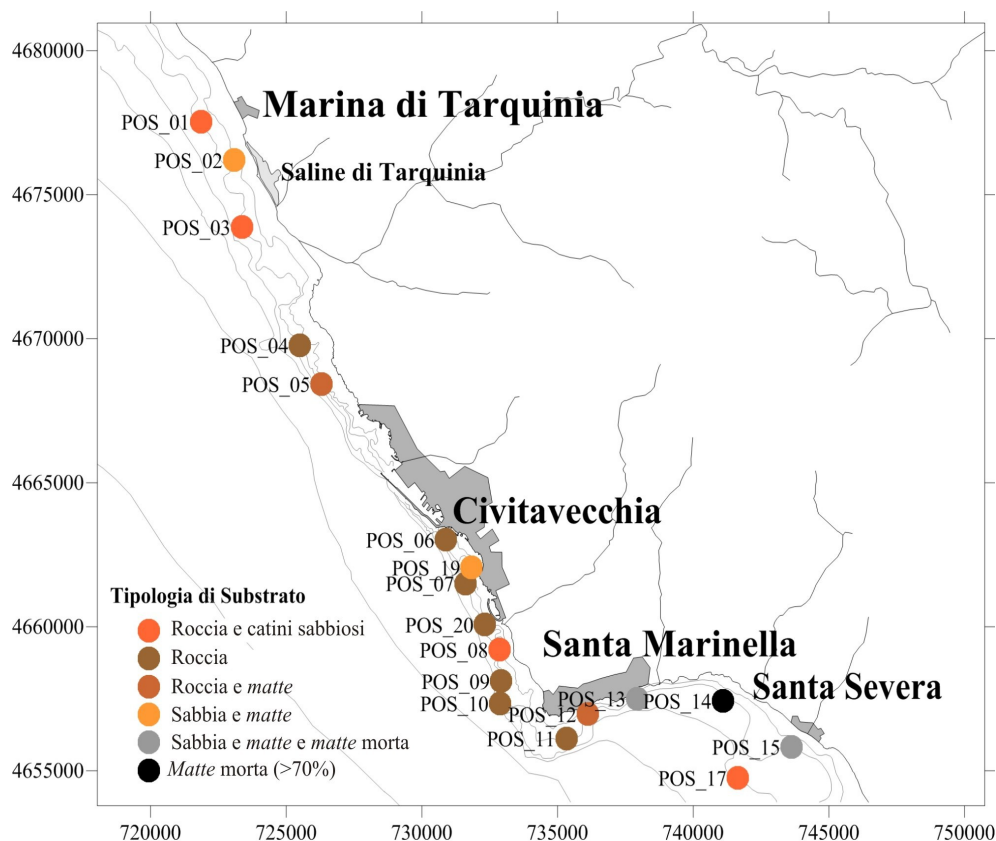


Fig. 8.1. Morfologia del fondo nelle stazioni di campionamento

III. RISULTATI

8.1. Descrittori strutturali: densità assoluta dei fasci fogliari e densità relativa

Qui di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dall'analisi dei parametri strutturali delle praterie oggetto di studio.

Densità assoluta

I grafici riportati in figura 8.2 mostrano i valori medi delle 9 conte di densità assoluta eseguite in ogni stazione di campionamento.

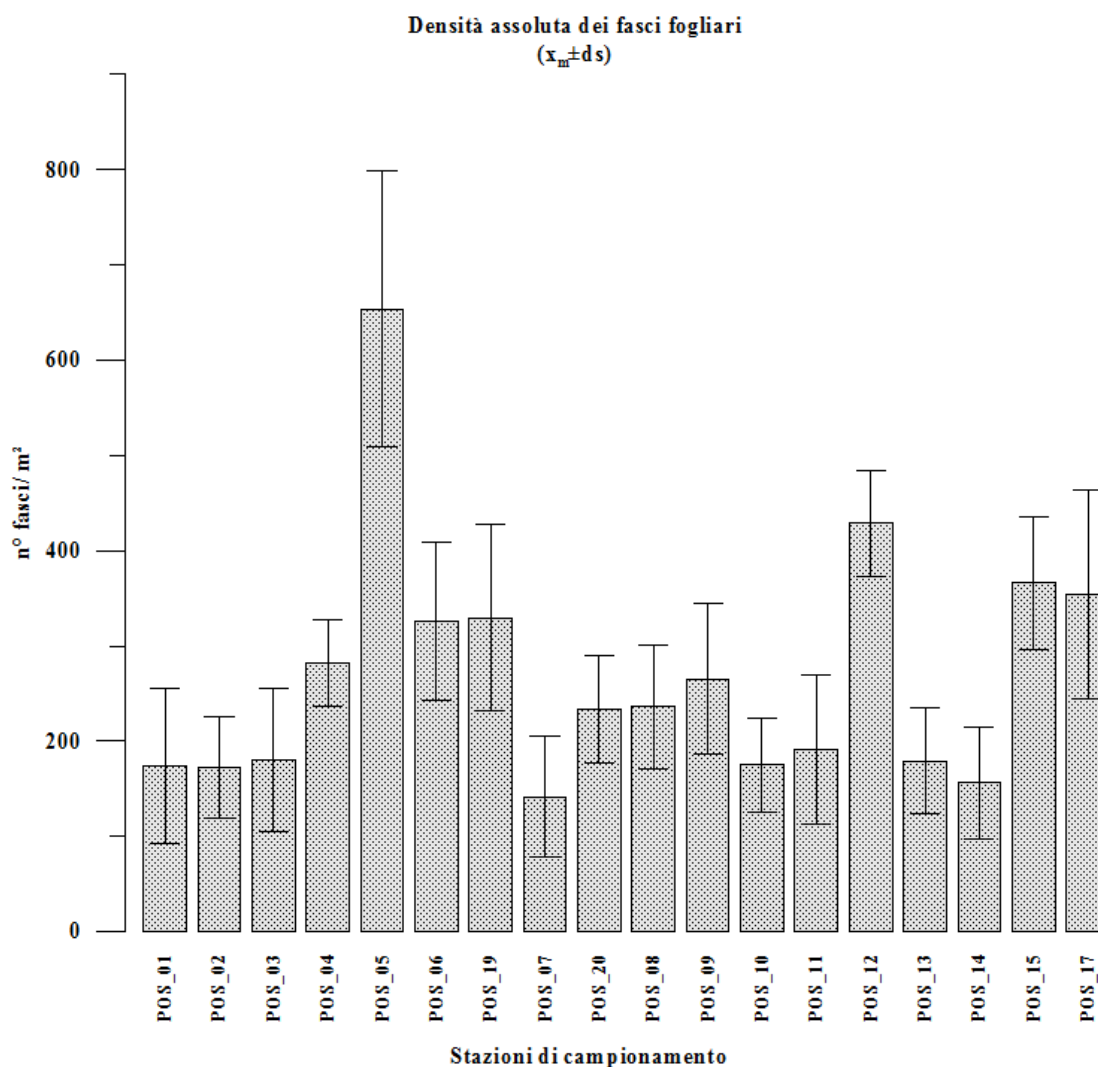


Fig. 8.2. Valore medio di densità assoluta dei fasci fogliari rilevata in ogni stazione

Il valore medio massimo di densità assoluta è stato rilevato nella stazione POS_05 con

III. RISULTATI

653.5 ± 145.2 fasci/m² mentre il valore minimo è stato rilevato nella stazione POS_07 con 141.7 ± 62.9 fasci/m²; come si può osservare dai grafici, il dato è molto eterogeneo lungo tutta l'area di studio, con deviazioni standard molto alte intorno ai valori medi. Vista l'elevata eterogeneità del dato sono stati calcolati anche i valori mediani delle conte ottenendo quanto riportato nella figura 8.3.

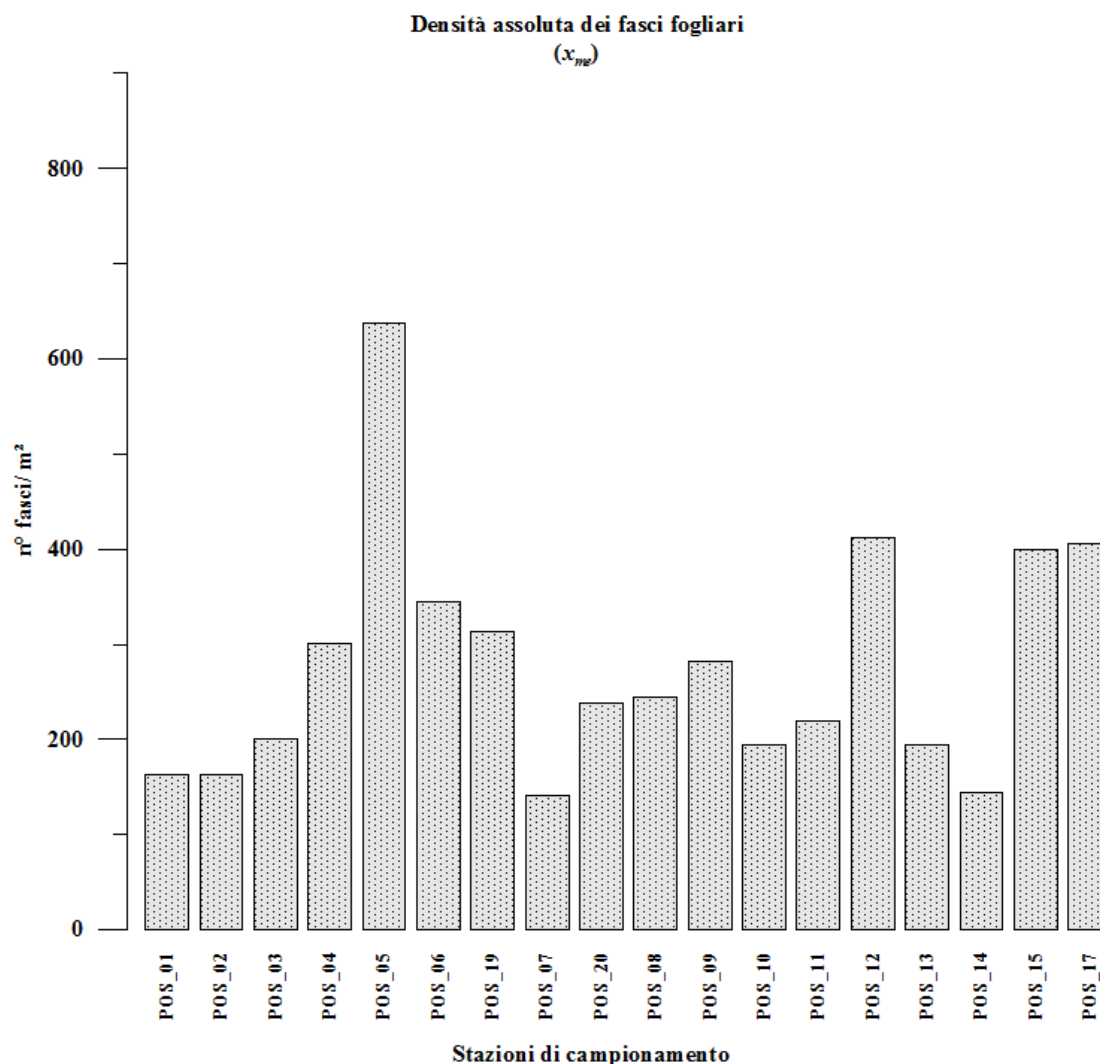


Fig. 8.3. Valori mediani di densità assoluta in ogni stazione di campionamento

I valori mediani della densità assoluta poco si discostano dai valori medi, con il massimo rilevato anche in questo caso nella stazione POS_05 con 637 fasci/m² e il minimo nella stazione POS_07 con 141.7 fasci/m².

I valori di densità assoluta dei fasci fogliari sono stati rapportati alle due scale di valutazione usate per definire lo stato di salute delle praterie: la classificazione di Giraud

III. RISULTATI

(1977) e una proposta più recentemente da Pergent et al. (1995, mod.)

In base alla classificazione proposta da Giraud (1977) delle 18 stazioni di campionamento eseguite nell'area di studio:

- 2 sono ascrivibili alle classe V (semiprateria);
- 11 sono ascrivibili alla classe IV (prateria molto rada);
- 4 sono ascrivibili alla classe III (prateria rada);
- 2 sono ascrivibili alla classe II (prateria densa).

SIC	Stazione	Densità assoluta (n° fasci/m ²)	Classi di Giraud (1977)
IT6000004	POS_01	173.61 ± 81.06	IV
IT6000004	POS_02	172.92 ± 53.13	IV
IT6000004	POS_03	180.21 ± 74.94	IV
IT6000005	POS_04	281.25 ± 45.39	IV
IT6000005	POS_05	653.47 ± 145.24	II
IT6000006	POS_06	325.69 ± 82.29	III
IT6000006	POS_19	329.17 ± 98.08	III
IT6000006	POS_07	141.67 ± 62.92	V
IT6000006	POS_20	233.33 ± 56.34	IV
IT6000006	POS_08	236.11 ± 65.09	IV
IT6000006	POS_09	265.28 ± 78.82	IV
IT6000006	POS_10	175.00 ± 49.61	IV
IT6000006	POS_11	190.97 ± 78.57	IV
IT6000006	POS_12	428.47 ± 55.65	II
IT6000007	POS_13	179.17 ± 55.20	IV
IT6000007	POS_14	156.25 ± 58.46	IV
IT6000007	POS_15	365.97 ± 69.60	III
IT6000007	POS_17	353.47 ± 109.47	III

Tab. 8.1. Classificazione delle praterie sulla base delle classi di Giraud (1977)

I valori di densità assoluta nei Siti di Importanza Comunitaria presenti nella zona mostrano come 3 praterie su 4 siano ascrivibili alla IV classe di Giraud (Prateria molto rada), mentre una sola corrisponde alla III classe (Prateria rada); in particolare i valori medi ottenuti nelle quattro aree sono i seguenti:

- SIC IT6000007 (Fondali antistanti Santa Marinella) presentano in media 256.4 ± 123.6 fasci/m² (Classe IV - “prateria molto rada”);
- SIC IT6000006 (Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro) presentano in media 271.8 ± 89.5 fasci/m² (Classe IV - “prateria molto rada”);
- SIC IT6000005 (Fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara) presentano in media 467.4 ± 205.9 (Classe III - “prateria rada”);

III. RISULTATI

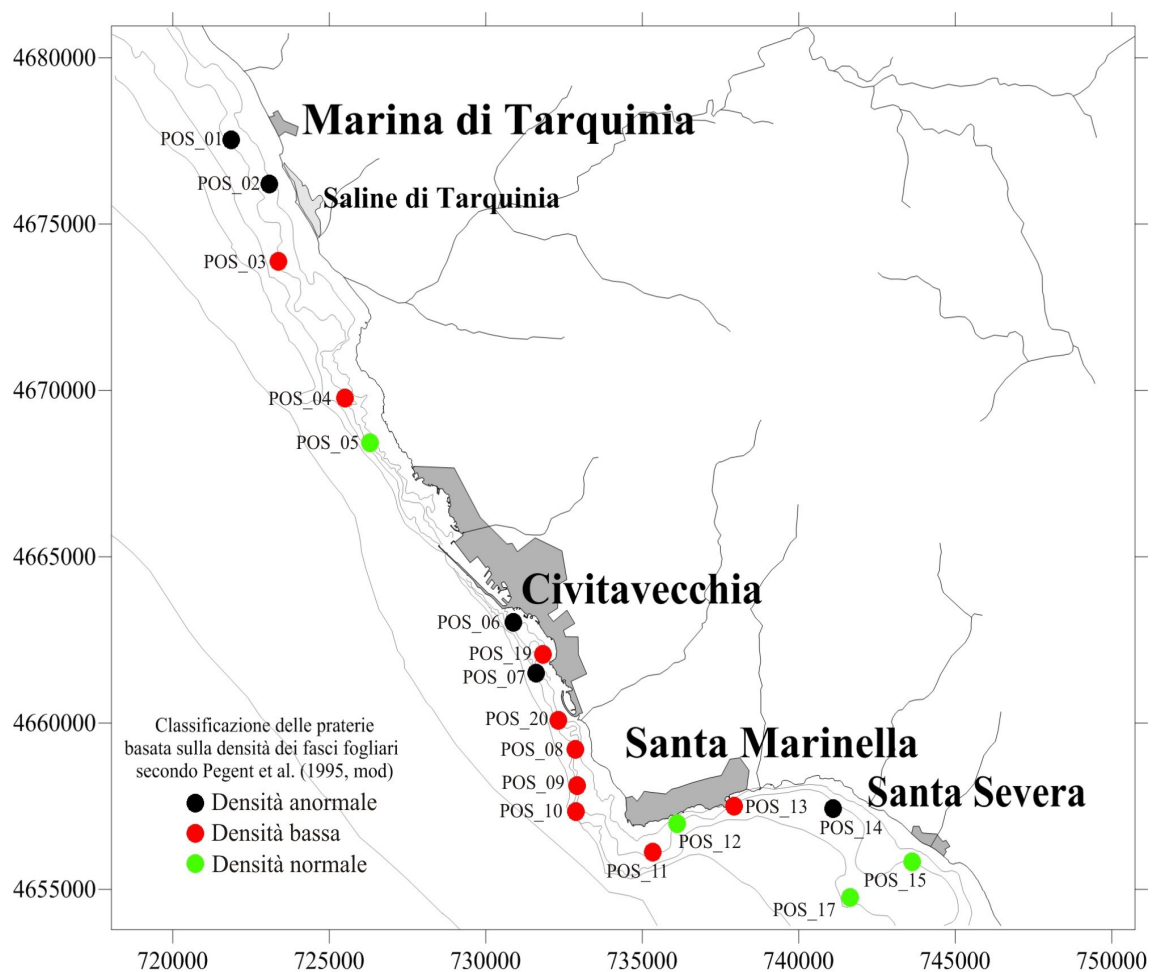
- SIC IT6000004 (Fondali tra Marina di Tarquinia e Punta Quaglia) presentano valori 175 ± 50.2 fasci/m² (Classe IV - “prateria molto rada”) (Fig. 8.4).



Fig. 8.4. Classificazione delle praterie dei Siti di Importanza Comunitaria secondo le classi di Giraud

Secondo la più recente classificazione proposta da Pergent et al. (1995, modificata), che evidenzia come la densità della prateria vari in funzione della profondità, le praterie indagate sono risultate essere molto disturbate con densità dei fasci fogliari anormale (DA) o bassa (DB) (Fig. 8.5).

L'area situata a nord di Civitavecchia presenta valori di densità assoluta al m² decrescenti man mano che ci si allontana dalla zona portuale, mentre l'area centrale è caratterizzata da valori di densità piuttosto bassi con due stazioni (POS_06 e POS_07), situate in prossimità del centro abitato, che presentano una densità anormale. L'area a sud, invece, presenta una situazione migliore alle due precedenti, tranne per la stazione POS_14 in cui la prateria è risultata essere in un avanzato stato di degrado.



L'area di campionamento può essere suddivisa in tre settori (Fig. 8.6), che tengono conto della presenza di una fonte di disturbo, quale il porto di Civitavecchia:

- settore a Nord (SN) del Porto di Civitavecchia, comprendente le stazioni POS_01, POS_02, POS_03, POS_04 e POS_05;
- settore centrale (SC) compresa tra il Porto di Civitavecchia e Capo Linaro, con le stazioni POS_06, POS_19, POS_07, POS_20, POS_08, POS_09 e POS_10;
- settore a sud (SS) di Capo Linaro, in cui si trovano le stazioni di campionamento (POS_11, POS_12, POS_13, POS_14, POS_15 e POS_17).

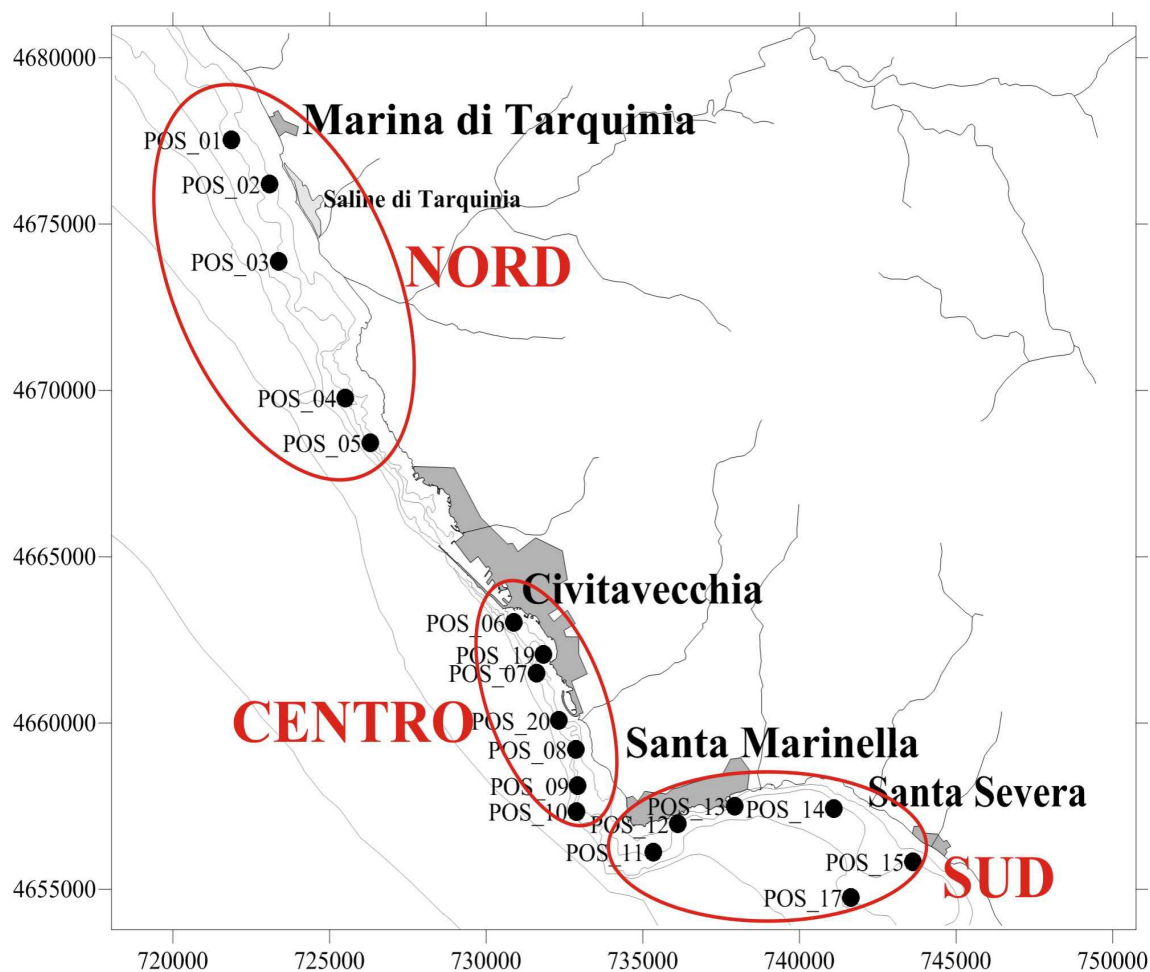


FIG. 8.6. Suddivisione dell'area di campionamento in 3 settori: Nord (Marina di Tarquinia-Porto di Civitavecchia), Centro (Porto di Civitavecchia- Capo Linaro) e Sud (Capo Linaro- Santa Severa)

La differenza dei valori di densità assoluta tra le stazioni di campionamento sulla base della profondità, della posizione geografica e della tipologia del substrato è stata eseguita attraverso la *three-way ANOVA* (Tab. 8.2).

<i>Three-way ANOVA - Densità assoluta dei fasci fogliari</i>					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Profondità	226471	2	113235.5	12.56	***
Posizione	31885.8	2	15942.9	1.77	0.1868
Substrato	76990.4	2	38495.2	4.27	*
Error	288410	32	9012.8		
Total	896383.4	50			

Tab. 8.2. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e della tipologia del substrato di campionamento
(* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

L'analisi della varianza mostra l'assenza di differenze significative nei valori di densità

III. RISULTATI

assoluta delle stazioni posizionate nei tre settori (SN,SC e SS), mentre ci sono differenze significative tra stazioni poste a diverse profondità e su diversi substrati (Fig. 8.7).

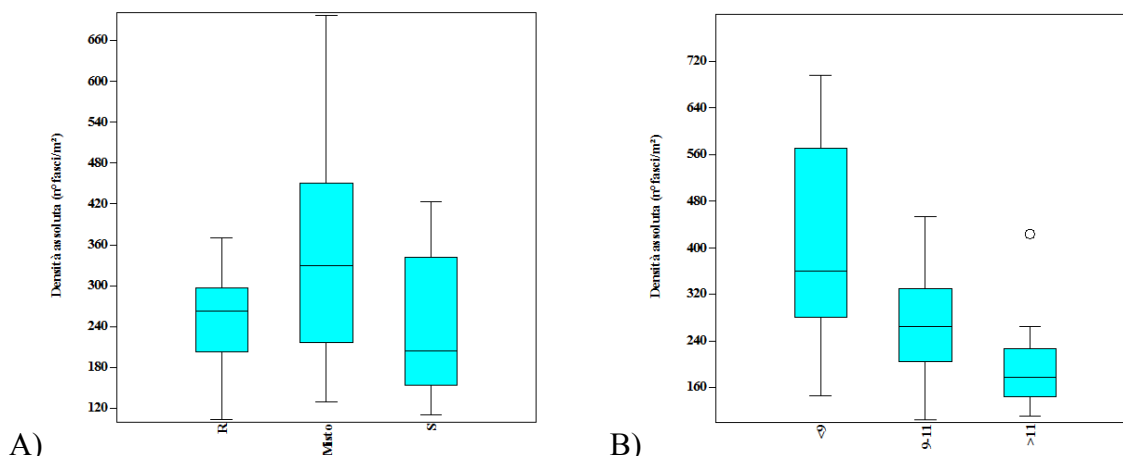


Fig. 8.7. Box plot dei dati di densità assoluta sulla base della tipologia del substrato (A) della profondità della stazione (B)

Per quanto riguarda la tipologia del substrato è stato eseguito il Levene's test per valutare l'attendibilità del risultato della *three-way* Anova, il quale ha messo in evidenza una bassa omogeneità del dato medio e mediano (Levene's test, $p < 0.001$); per tale motivo è stato eseguito il test di Kruskal-Wallis il quale non ha mostrato la presenza di differenze significative tra le tipologie di substrato ($p = 0.102$). Il *box plot* della figura 8.7A, tuttavia, mostra come i valori di densità delle praterie insediate su substrati misti risultino essere mediamente più alti e più variabili rispetto a quelli di praterie insediate su substrati più omogenei.

Dalla figura 8.7B si evince come i valori di densità assoluta delle praterie più superficiali (profondità < 9 m) siano significativamente diversi dai valori rilevati a profondità maggiori (ANOVA, $p < 0.01$ e $p < 0.001$); si osserva un trend negativo della densità assoluta man mano che aumenta la profondità di campionamento, accompagnato da una marcata riduzione della variabilità del dato (valore della distanza interquartile-IQR: $\text{prof} < 9\text{m} = 291$; $9 \leq \text{prof} \leq 11 = 125$; $\text{prof} \geq 11\text{m} = 82$).

Per quanto riguarda la posizione geografica delle stazioni all'interno dell'area di campionamento non si rilevano differenze significative nei valori di densità assoluta; il valore medio di densità assoluta è di 307.6 ± 205.7 fasci/m², 259.5 ± 68.8 fasci/m² e 253.8 ± 114.6 fasci/m² rispettivamente nelle aree nord, centro e sud. Si osserva, inoltre, che l'area centrale

III. RISULTATI

presenta valori di densità più variabili rispetto ai settori adiacenti.

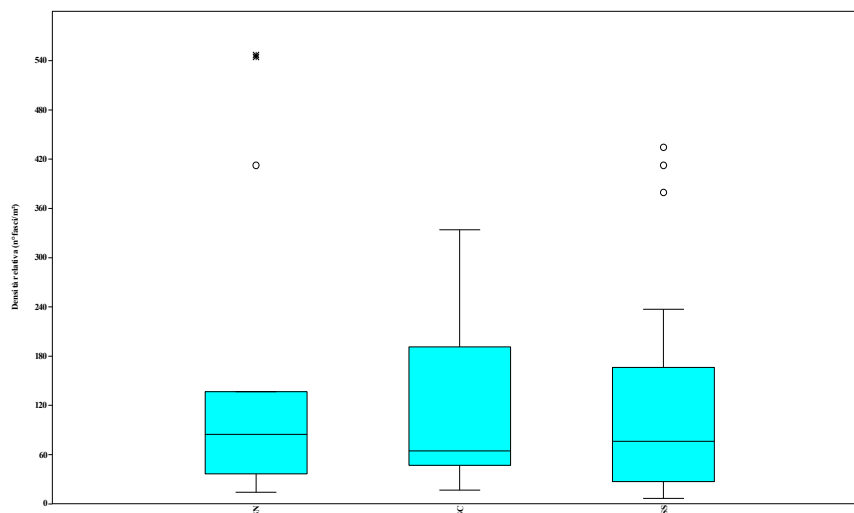


Figura 8.8. *Box plot* dei dati di densità assoluta raggruppati in base alla posizione delle stazioni di campionamento (NORD= stazioni a Nord del Porto di Civitavecchia; CENTRO= stazioni tra il Porto e Capo Linaro; SUD=stazioni tra Capo Linaro e Santa Severa)

Prima di effettuare l'analisi, è stato utilizzato il *Levene's test* per testare l'omogeneità della varianza dei valori di densità assoluta, mentre il *Tukey's test* ha permesso di confrontare le medie delle densità nelle tre aree tra loro.

One-way ANOVA-Densità assoluta dei fasci fogliari					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	26547.2	2	13273.6	0.7418	n.s.
Within groups:	858882	48	17893.4		
Total:	885429	50			
omega^2:	-0.01023				

Levene's test for homogeneity of variance based on means: p(same) = **
 Levene's test for homogeneity of variance based on medians: p(same) = n.s.

Welch F test in the case of unequal variances: F=0.3882; p=n.s.

Tukey's pairwise comparisons: Q below diagonal p(same) above diagonal

	NORD	CENTRO	SUD
NOR		n.s.	n.s.
CENTRO	1.468		n.s.
SUD	1.643	0.1748	

Tab. 8.3. Risultati delle differenze tra le tre aree di campionamento
 (ns= non significativo; * = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 > p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

Densità relativa

La densità relativa tiene conto anche dei valori di copertura rilevati in ogni stazione di campionamento; il valore medio massimo di densità relativa è stato rilevato nella stazione POS_05 con 490.1 ± 185.9 fasci/m² mentre il valore minimo è stato rilevato nella stazione POS_14 con 9.85 ± 4.68 fasci/m² (Fig 8.9).

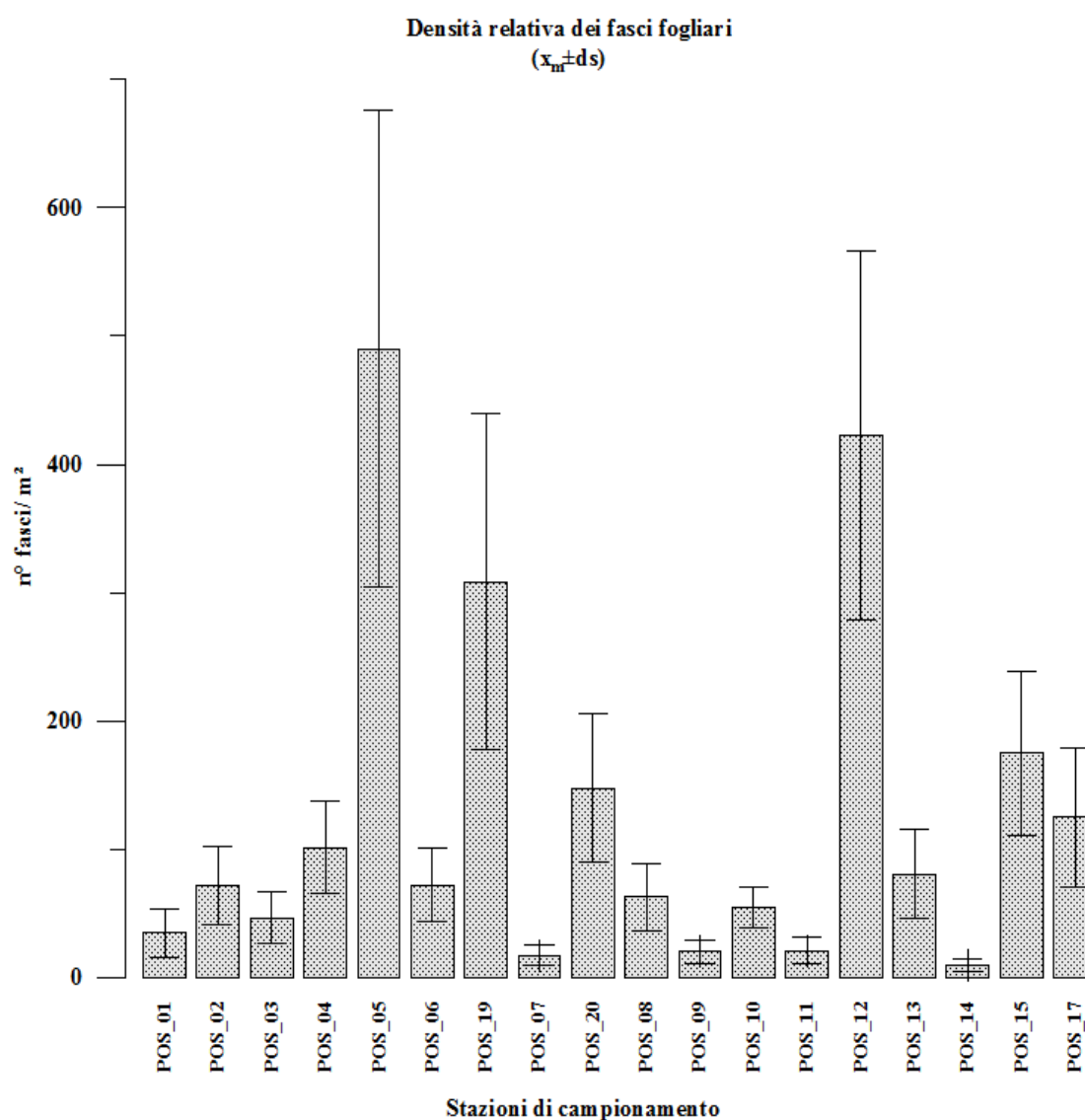


Fig. 8.9. Densità media relativa dei fasci fogliari rilevata in ogni stazione

Vista l'elevata eterogeneità del dato sono stati calcolati anche i valori mediani delle conte ottenendo quanto riportato nella figura 8.10; anche in questo caso i valori mediani non si

discostano significativamente dai valori medi (ANOVA, $p=0.8876$).

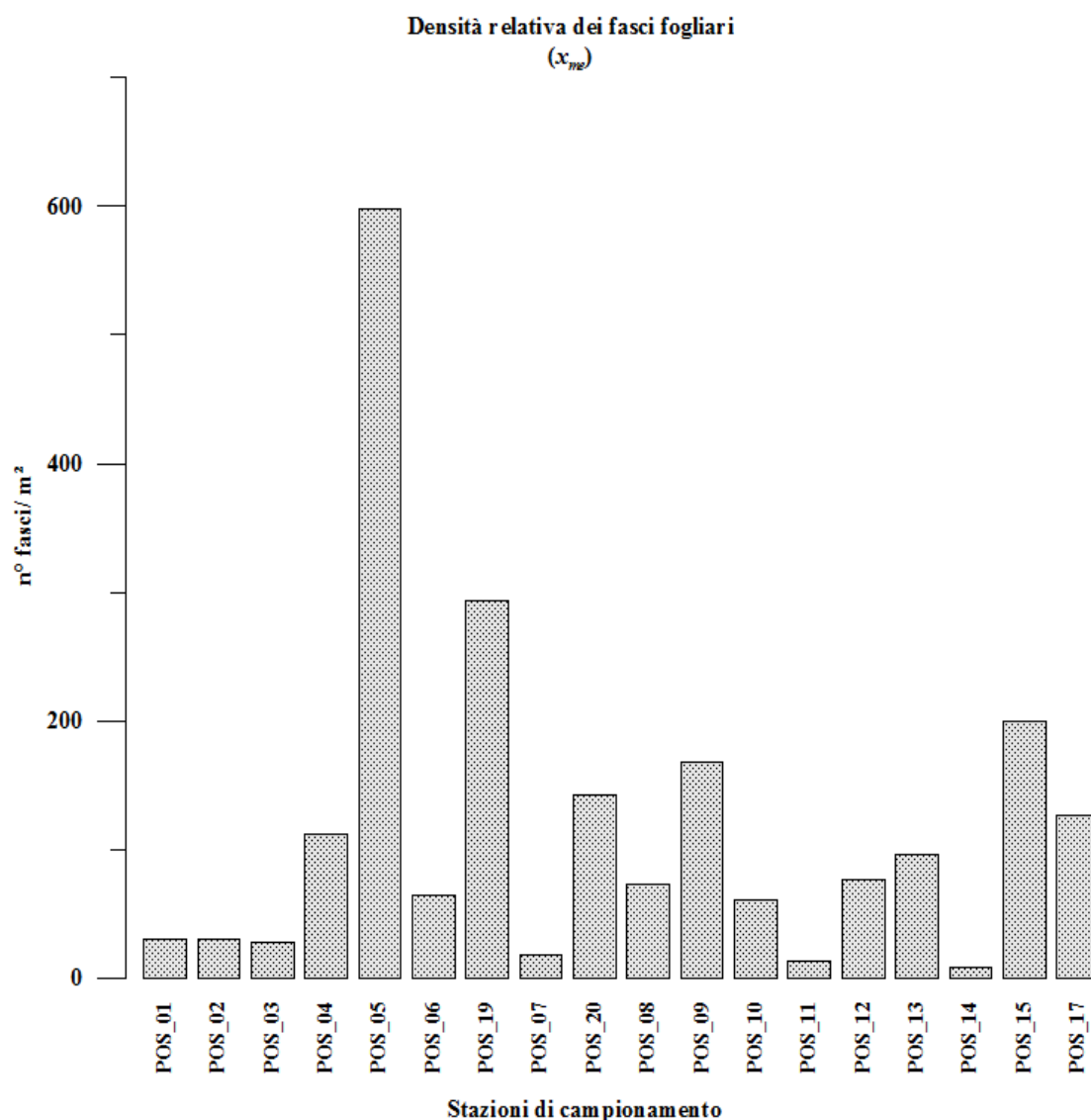


Fig. 8.10. Valori mediani di densità relativa in ogni stazione di campionamento

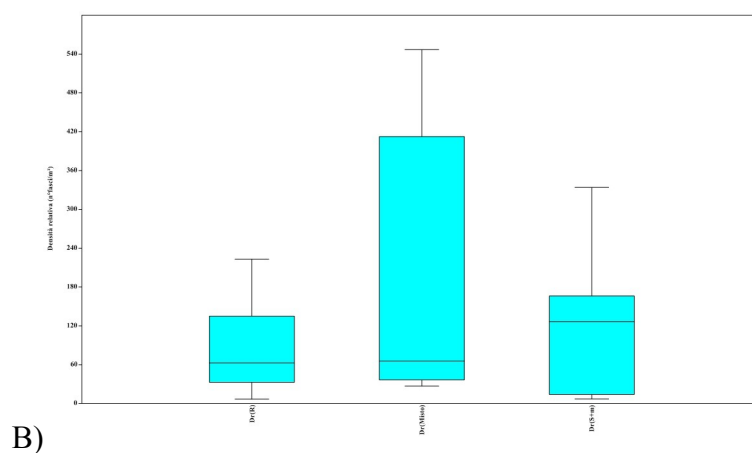
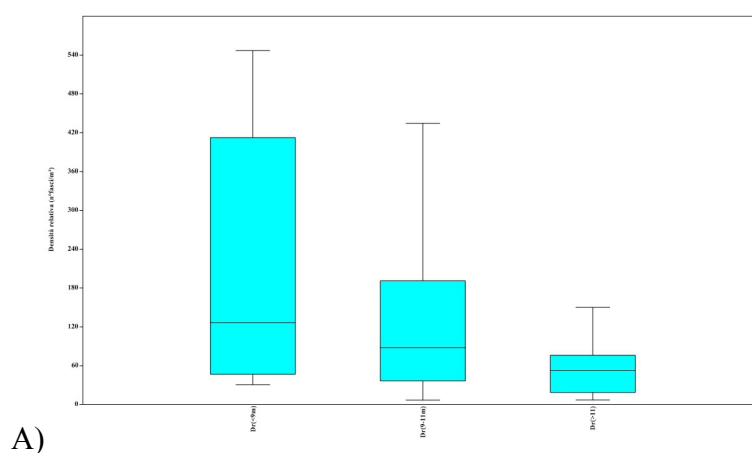
La differenza dei valori di densità relativa tra le stazioni di campionamento sulla base della profondità, della posizione geografica e della tipologia del substrato è stata eseguita attraverso la *three-way ANOVA* (Tab. 8.4).

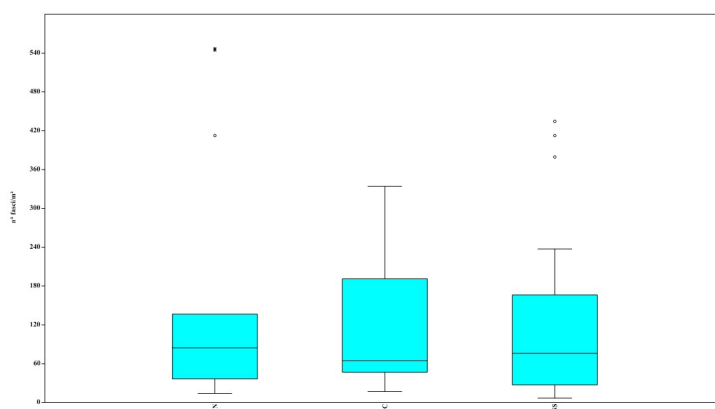
III. RISULTATI

<i>Three-way ANOVA - Densità relativa dei fasci fogliari</i>					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Profondità	211804	2	105902	7.24	**
Posizione	35798.5	2	17899.3	1.22	0.304
Substrato	135217.6	2	67608.8	4.62	*
Error	643611.1	44	14627.5		
Total	1013833	50			

Tab. 8.4. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e della tipologia del substrato di campionamento (* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

Anche la densità relativa, così come la densità assoluta, è strettamente legata alla profondità cui si trova la prateria (ANOVA, $p < 0.001$), e dal tipo di substrato su cui è insediata la prateria (ANOVA, $0.05 > p > 0.01$), mentre non è influenzata dalla posizione della stazione all'interno dell'area di studio (ANOVA, $p = 0.304$).



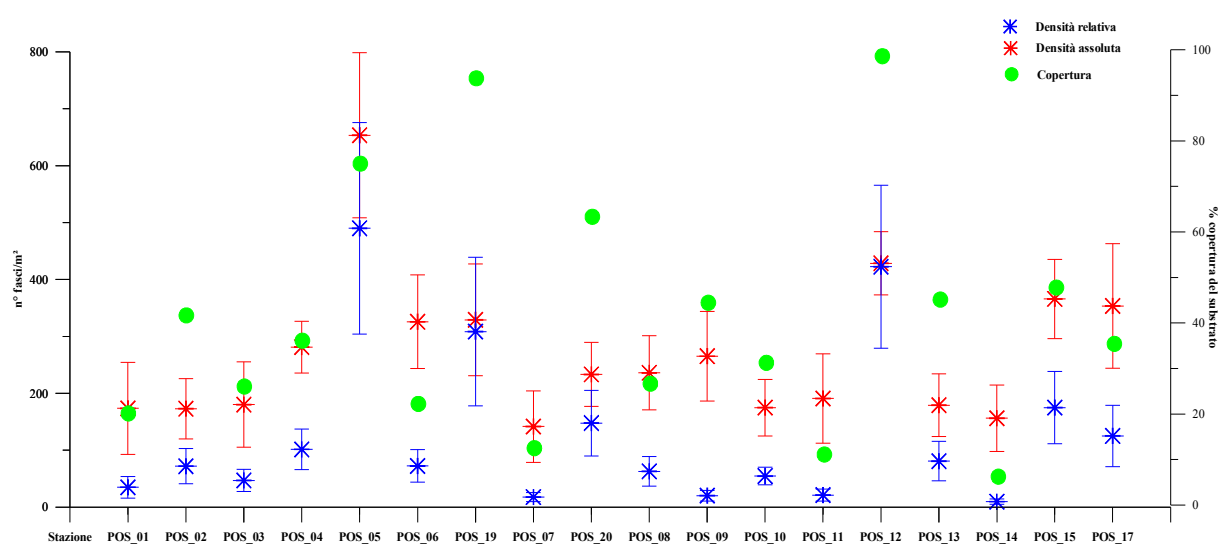


C)

Fig. 8.11. Box plot dei dati di densità assoluta sulla base della profondità della stazione (A), della tipologia del substrato (B) e della posizione all'interno dell'area di studio (C)

Il box plot (Fig. 8.11) mostra come le zone nord e sud (valori medi rispettivamente 159.8 ± 190.7 e 131.2 ± 143.7 fasci/m²) siano caratterizzate da una minore variabilità rispetto alla zona centrale (116.6 ± 93.1 fasci/m²). Per quanto riguarda la profondità, le praterie situate a maggiori profondità hanno una densità relativa significativamente più bassa rispetto alle stazioni più superficiali; le praterie che colonizzano i substrati misti (in cui si osserva la presenza di roccia, *matte* e catini sabbiosi) presentano valori di densità relativa.

La frammentarietà delle praterie oggetto di studio è messa in evidenza dal seguente grafico in cui è stato messo a confronto in ogni stazione di campionamento il valore di densità assoluta, di densità relativa e della copertura del substrato da parte della pianta



8.12. Confronto tra i valori di densità assoluta, densità relativa dei fasci fogliari e della copertura del substrato da parte di *Posidonia oceanica* nelle stazioni di campionamento

III. RISULTATI

Come si osserva dalla figura, i valori di densità assoluta e di densità relativa risultano essere diversi nella maggior parte delle stazioni; il test di Kruskal-Wallis ha messo in evidenza la presenza di differenze significative tra i valori di densità assoluta e relativa ($p < 0.0001$). Le stazioni in cui le differenze risultano essere meno evidenti sono quelle in cui è stato rilevata la maggior percentuale di copertura del substrato da parte della pianta (POS_05, POS_12 e POS_19).

8.2. Descrittori funzionali: morfometria dei fasci fogliari

Sulla base delle analisi eseguite sui campioni prelevati nell'area di studio, sono stati ottenuti e calcolati i seguenti parametri fenologici:

- numero medio di foglie per ciuffo delle tre categorie ed in totale;
- lunghezza media delle foglie per categoria ed in totale;
- larghezza media delle foglie per categoria ed in totale;
- indice fogliare per fascio e per m^2 ;
- coefficiente "A".

Qui di seguito sono riportati i risultati delle analisi fenologiche eseguite sui rizomi campionati.

Numero di foglie per fascio

Il numero minimo di foglie per fascio è stato rilevato nella stazione POS_11 posta in prossimità di Capo Linaro, in cui sono state contate in media 4.82 ± 2.59 foglie/fascio, mentre il numero massimo è stato rilevato sia nella stazione POS_05 con 6.89 ± 2.42 foglie totali per fascio.

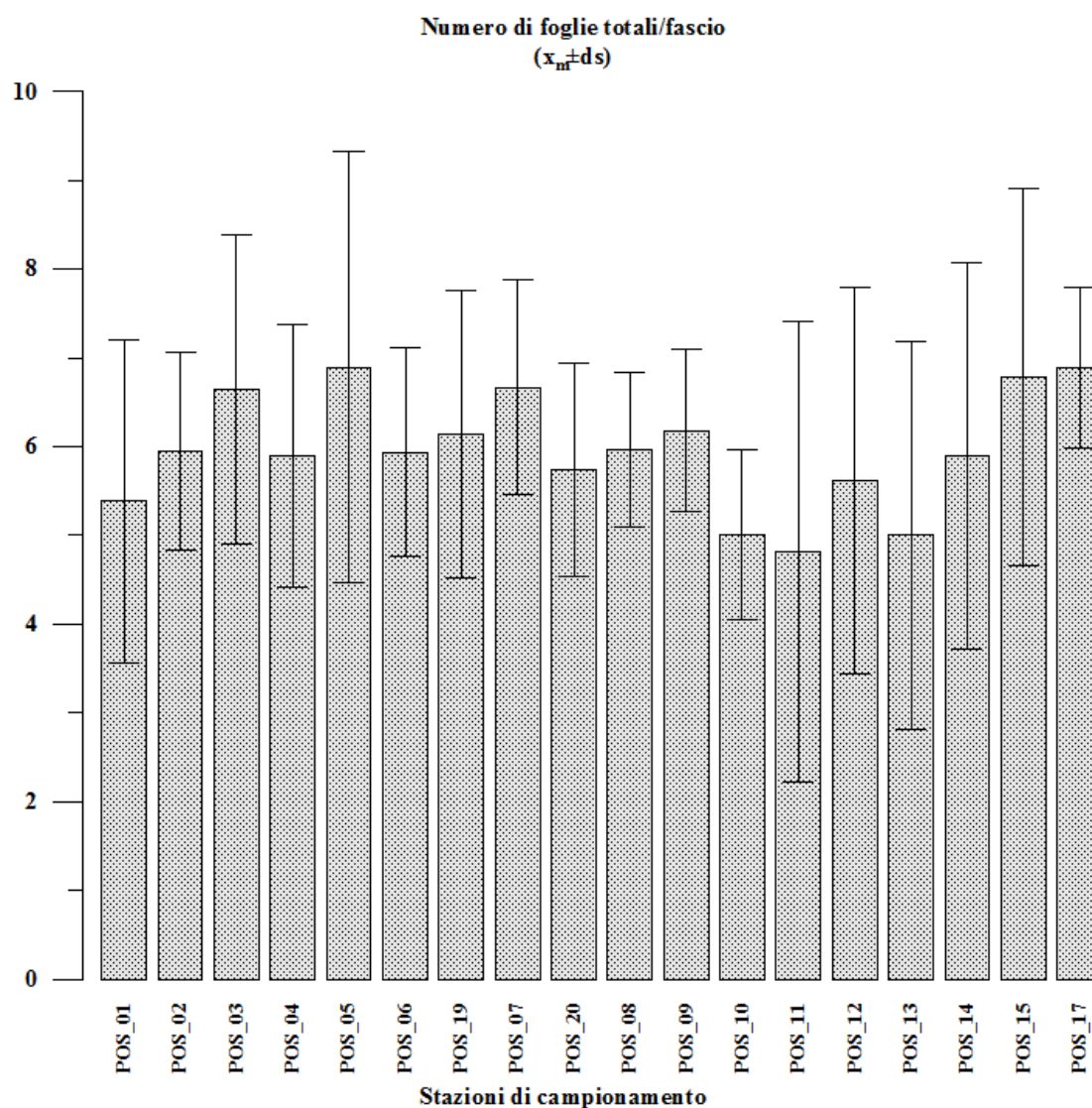


Fig. 8.12. Numero medio di foglie per fascio

L'analisi della varianza non ha messo in evidenza alcuna differenza significativa fra le stazioni di campionamento.

<i>Three-way ANOVA – Numero di foglie/fascio</i>					
Source	Sum Sq	d.f.	Mean Sq	F	Prob>F
Profondità	0.6506	2	0.3253	0.29	0.753
Posizione	0.1809	2	0.09044	0.08	0.9238
Substrato	1.1105	2	0.55525	0.49	0.6175
Error	50.1247	44	1.1392		
Total	53.1734	50			

Tab. 8.5. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e della tipologia del substrato di campionamento
(* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

III. RISULTATI

Il numero medio di foglie per ogni categoria (giovani, intermedie ed adulte) rispecchia il periodo stagionale (Maggio-Giugno) in cui ha avuto luogo il campionamento (Fig. 8.13). Nel periodo Aprile-Giugno, infatti, ha inizio il risveglio vegetativo della pianta con un'accelerazione nella crescita delle foglie intermedie mentre ha ancora luogo la caduta delle foglie adulte e senili (non si osserva un aumento del numero delle foglie adulte rispetto a quello delle intermedie).

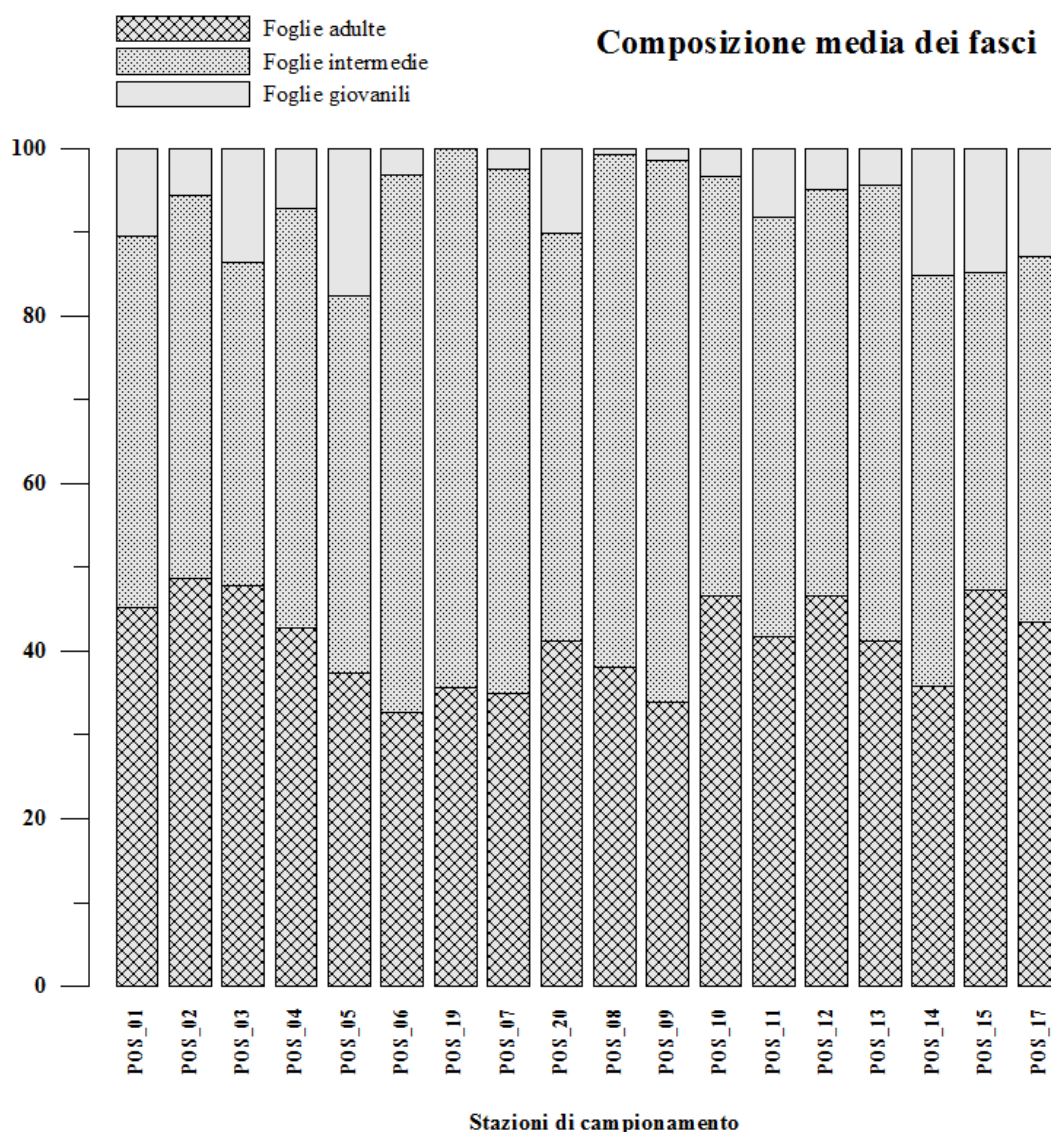
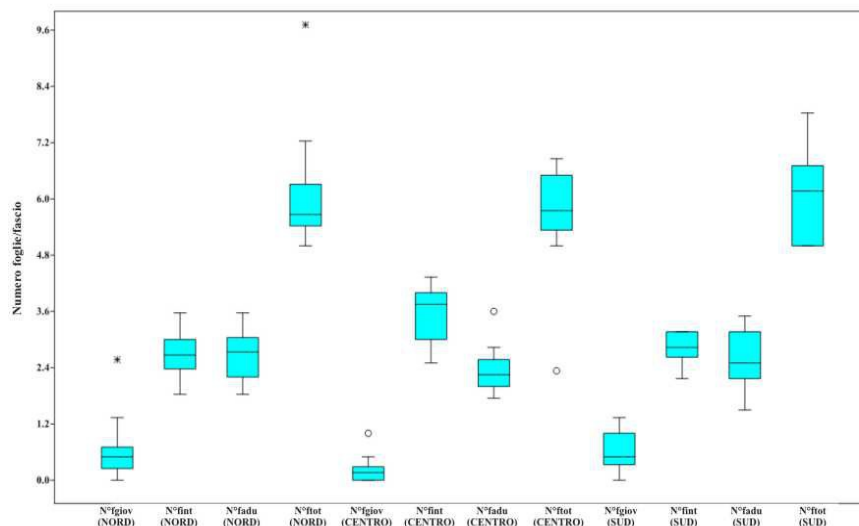


Fig. 8.13. Numero di foglie giovanili, intermedie ed adulte nelle stazioni d campionamento

Nel box plot qui di seguito è riportato il numero medio di foglie totali e per categoria per le tre aree analizzate (Fig. 8.14). Si osserva come nel settore centrale il numero di foglie intermedie sia significativamente più alto rispetto agli altri due settori, non accompagnato da

un maggiore numero di foglie totali.



8.14. Numeri medi di foglie totali e per categoria per fascio fogliare nelle tre zone dell'area di studio, rappresentate con *box plot*.

Il *Levene's test* ha evidenziato la presenza di disomogenità nelle varianze del numero di foglie giovanili ed intermedie; per questo è stato eseguito il test non parametrico di Kruskal-Wallis per verificare la presenza di differenze significative tra l'area centrale e le aree adiacenti. Il test ha messo in evidenza la presenza di differenze sia nel numero di foglie giovanili ($p < 0.001$), sia nel numero di foglie intermedie ($p < 0.001$). Il *Mann-Whitney post-hoc pairwise comparison test* mostra come il settore centrale (SC) presenti un numero di foglie giovanili significativamente più basso ed un numero di foglie intermedie significativamente più alto rispetto agli altri due settori (fig. 8.15).

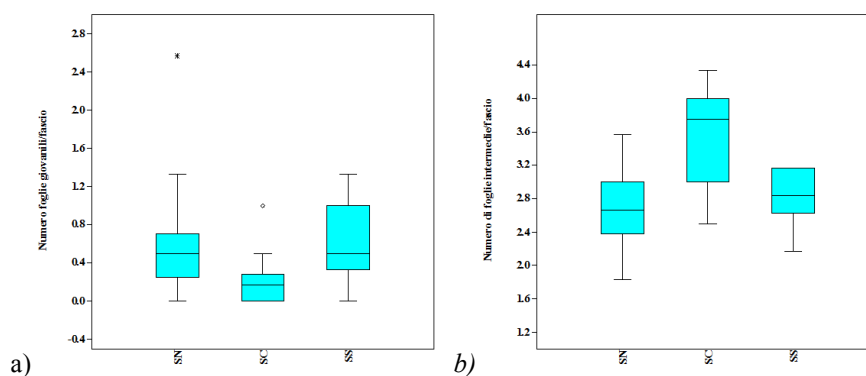


Fig. 8.15. *Box plot* del numero di foglie giovanili (a) ed intermedie (b)

III. RISULTATI

Per quanto riguarda il numero di foglie adulte non sono risultate esserci differenze significative (Kruskal-Wallis, $p=0.0525$).

Lunghezza media delle foglie

La figura 8.16 mostra la lunghezza media delle foglie nelle 18 stazioni di campionamento; la lunghezza media delle foglie è stata calcolata considerando la lunghezza di tutte le foglie intermedie ed adulte di tutti i campioni analizzati.

La lunghezza delle foglie presenta valori medi compresi tra 24.237 ± 14.22 cm (stazione POS_06) e 49.4 ± 17.11 cm (stazione POS_02).

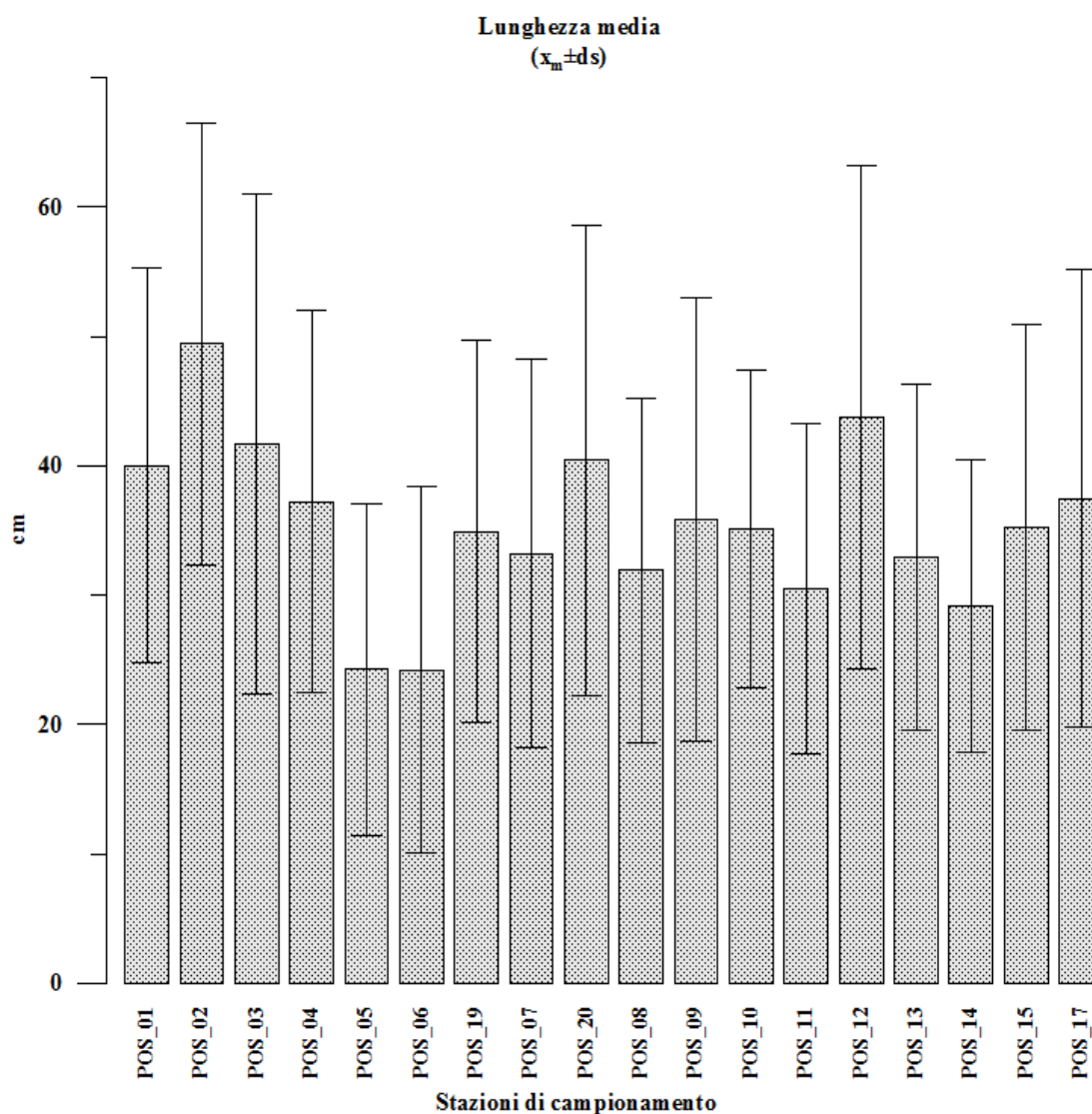


Fig. 8.16. Lunghezza media delle foglie

III. RISULTATI

L'analisi della varianza ha mostrato la presenza di differenze significative nella lunghezza delle foglie dovute principalmente alla profondità della stazione di campionamento.

<i>Three-way ANOVA – Lunghezza delle foglie (cm)</i>					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Profondità	600.9	2	300.449	7.45	**
Posizione	203.17	2	101.585	2.52	0.0922
Substrato	183.89	2	91.945	2.28	0.1144
Error	1775.59	44	40.354		
Total	2662.29	50			

Tab. 8.6. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e tipologia del substrato di campionamento
(* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

Infatti dal box plot in figura 8.17 si osserva che le foglie delle stazioni posizionate tra i 9 e gli 11 m sono risultate essere significativamente più lunghe rispetto a quelle posizionate più in superficie.

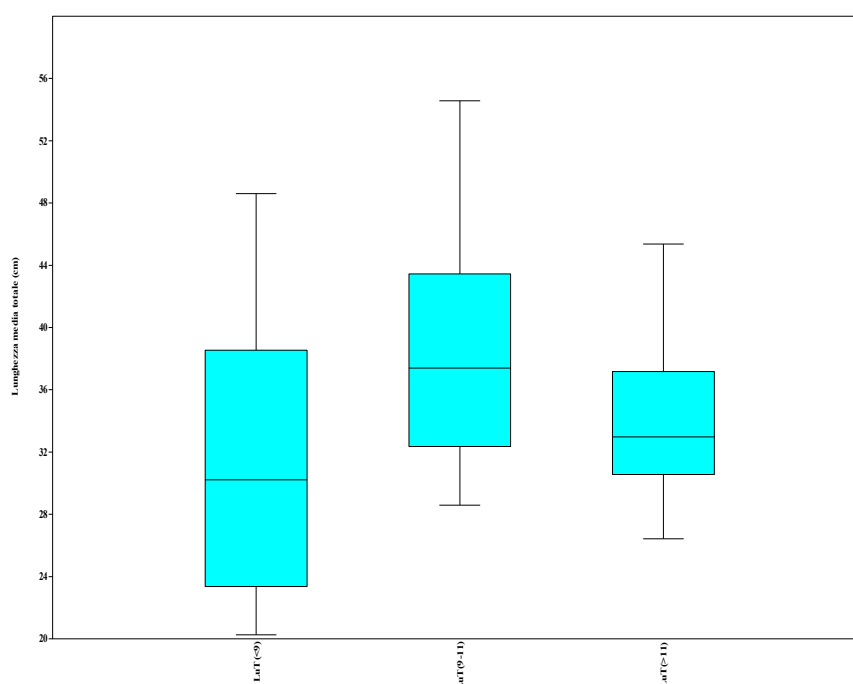


Fig. 8.17. Box plot della lunghezza media delle foglie a profondità diverse

L'immagine qui di seguito riportata mostra che la lunghezza delle foglie intermedie ed adulte rispecchia il periodo stagionale di campionamento (tarda primavera) (fig. 8.18); le foglie intermedie, infatti, risultano essere molto più lunghe delle foglie adulte a causa della

III. RISULTATI

variazione nel tasso di crescita delle foglie con il trascorrere delle stagioni; nel periodo primaverile si osserva generalmente un aumento del tasso di crescita delle foglie tale per cui le foglie nuove tendono a crescere più velocemente del loro predecessore.

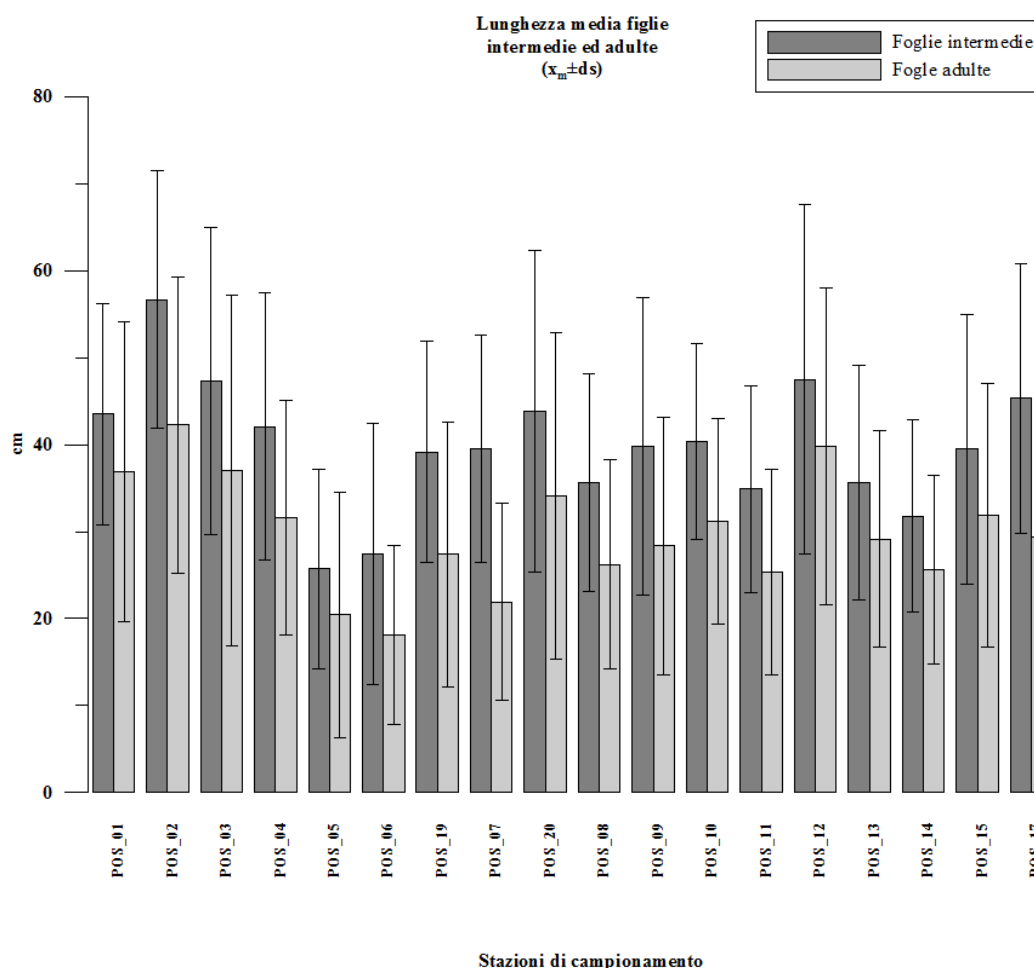


Fig. 8.18. Lunghezza media delle singole categorie fogliari nelle singole stazioni

Osservando la lunghezza delle singole categorie fogliari, si nota che in tutte le zone le foglie intermedie risultano essere molto più lunghe delle adulte; ciò è dovuto alla variazione nel loro tasso di crescita con il trascorrere delle stagioni; nel periodo di campionamento (primavera) si osserva generalmente un aumento del tasso di crescita fogliare tale per cui le foglie nuove tendono a crescere più velocemente del loro predecessore.

Il box plot (fig. 8.19) mostra come la lunghezza media delle foglie sia intermedie che adulte e la lunghezza media totale sia più bassa nel settore centrale rispetto ai settori adiacenti; inoltre si osserva anche una diminuzione nella variabilità del dato, sia per le singole categorie sia per il valore medio totale, dal settore settentrionale al settore meridionale.

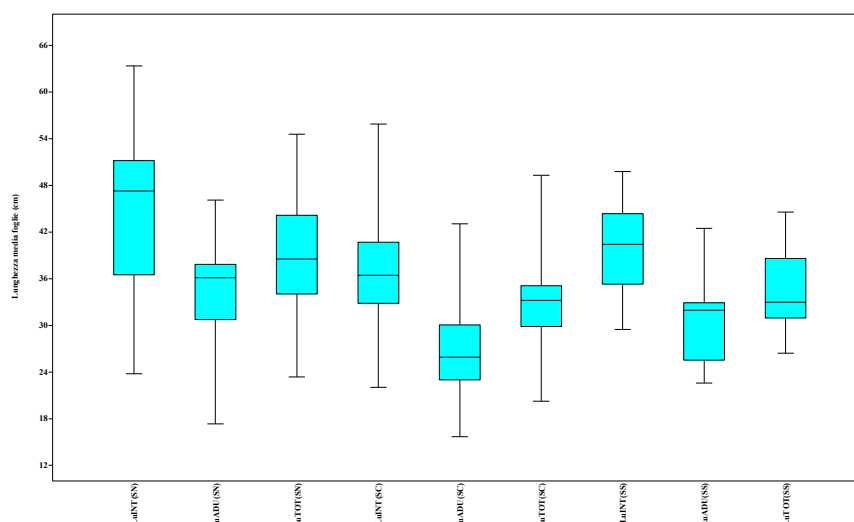


Fig. 8.19. Box plot della lunghezza media totale e lunghezza media delle foglie intermedie ed adulte nei 3 settori dell'area di studio

Larghezza media dei lembi fogliari

La larghezza del lembo fogliare risulta essere piuttosto costante lungo tutta l'area di campionamento; le foglie più strette sono state osservate nella stazione POS_14 (0.80 ± 0.085 cm) mentre la stazione POS_10 è caratterizzata da foglie di larghezza maggiore (0.99 ± 0.088 cm).

Per quanto riguarda la larghezza del lembo fogliare non sono state messe in evidenza differenze significative tra le stazioni ($p=0.4248$).

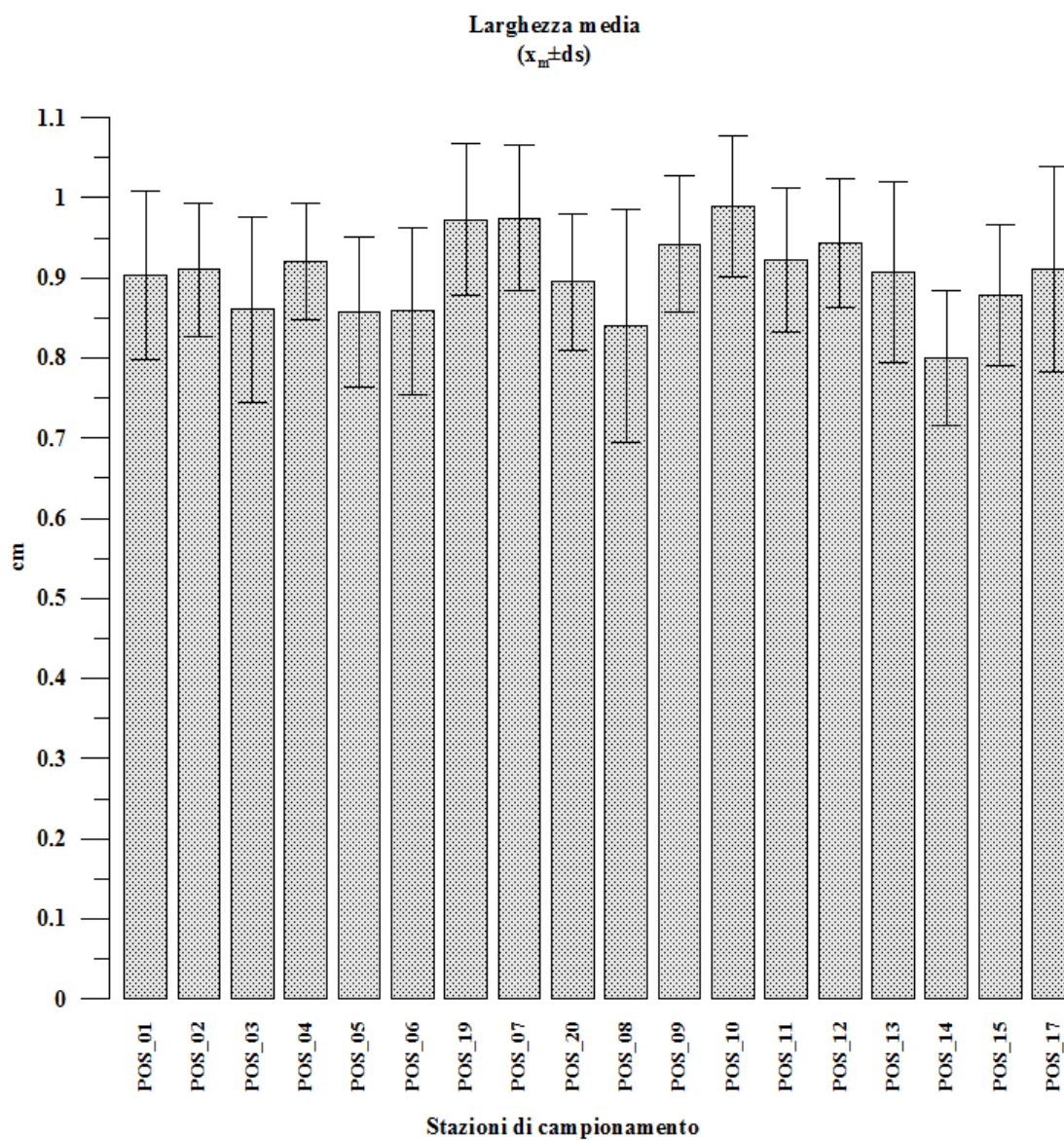


Fig. 8.19. Larghezza media del lembo fogliare

Anche in questo caso il settore centrale presenta valori di dispersione intorno al valore medio più elevati rispetto agli altri due (Fig. 8.20).

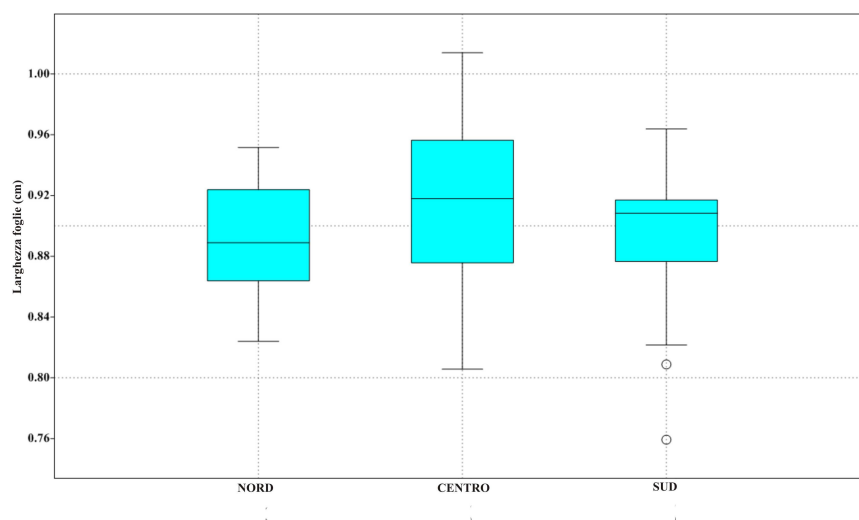


Fig. 8.20 Box plot della larghezza media delle foglie nei tre settori dell'area di studio

Superficie fogliare

La superficie fogliare è la superficie della pianta disponibile a compiere la fotosintesi e si misura moltiplicando la larghezza delle foglie costituenti il fascio per la lunghezza del tessuto verde presente lungo il fascio.

III. RISULTATI

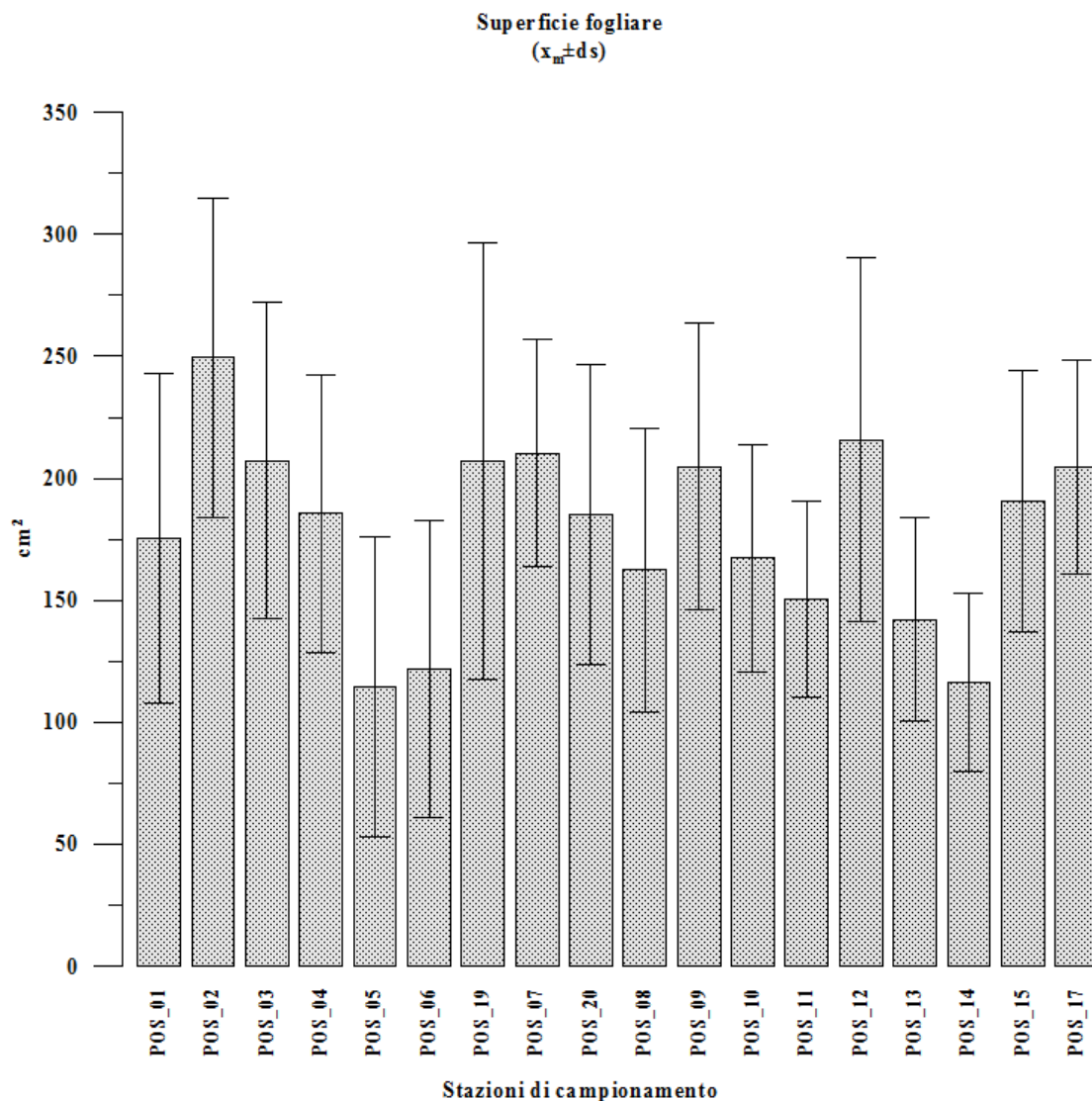


Fig. 8.21. Estensione della superficie fogliare nelle stazioni di campionamento.

La stazione con la superficie maggiore è la POS_02 con $249.45 \pm 65.33 \text{ cm}^2$ di superficie fotosintetizzante, mentre il valore più basso è stato osservato nella POS_05 con $114.66 \pm 61.32 \text{ cm}^2$.

<i>Three-way ANOVA – Superficie fogliare (cm²)</i>					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Profondità	17977.5	2	8988.76	5.47	**
Posizione	4709.4	2	2354.71	1.43	0.2493
Substrato	6209	2	3104.51	1.89	0.163
Error	72248.3	44	1642.01		
Total	94563.4	50			

Tab. 8.7. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e tipologia del substrato di campionamento
(* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

III. RISULTATI

L'ANOVA ha messo in evidenza la presenza di differenze significative tra le stazioni posizionate a medie profondità (tra i 9-11 metri) che presentano valori più bassi rispetto alle stazioni più superficiali e più profonde; tale risultato non si evince in maniera così evidente dal box plot qui di seguito riportato (fig. 8.22).

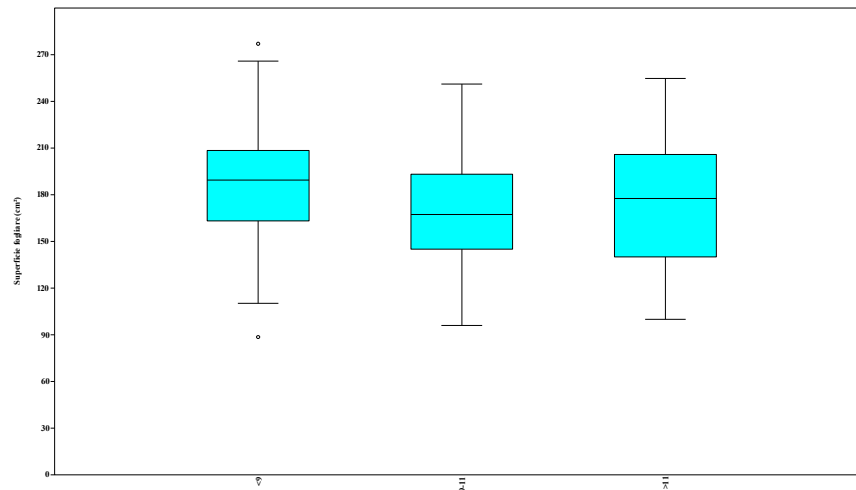


Fig. 8.22. Box plot della superficie fogliare a 3 profondità: <9 m, tra 9-11 m e >11 m

Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index-LAI)

Il LAI rappresenta la quantità di tessuto fotosintetizzante per unità di superficie (rapportato alla densità assoluta dei fasci fogliari); nella figura 8.23 è rappresentato il valore del LAI nelle stazioni di campionamento.

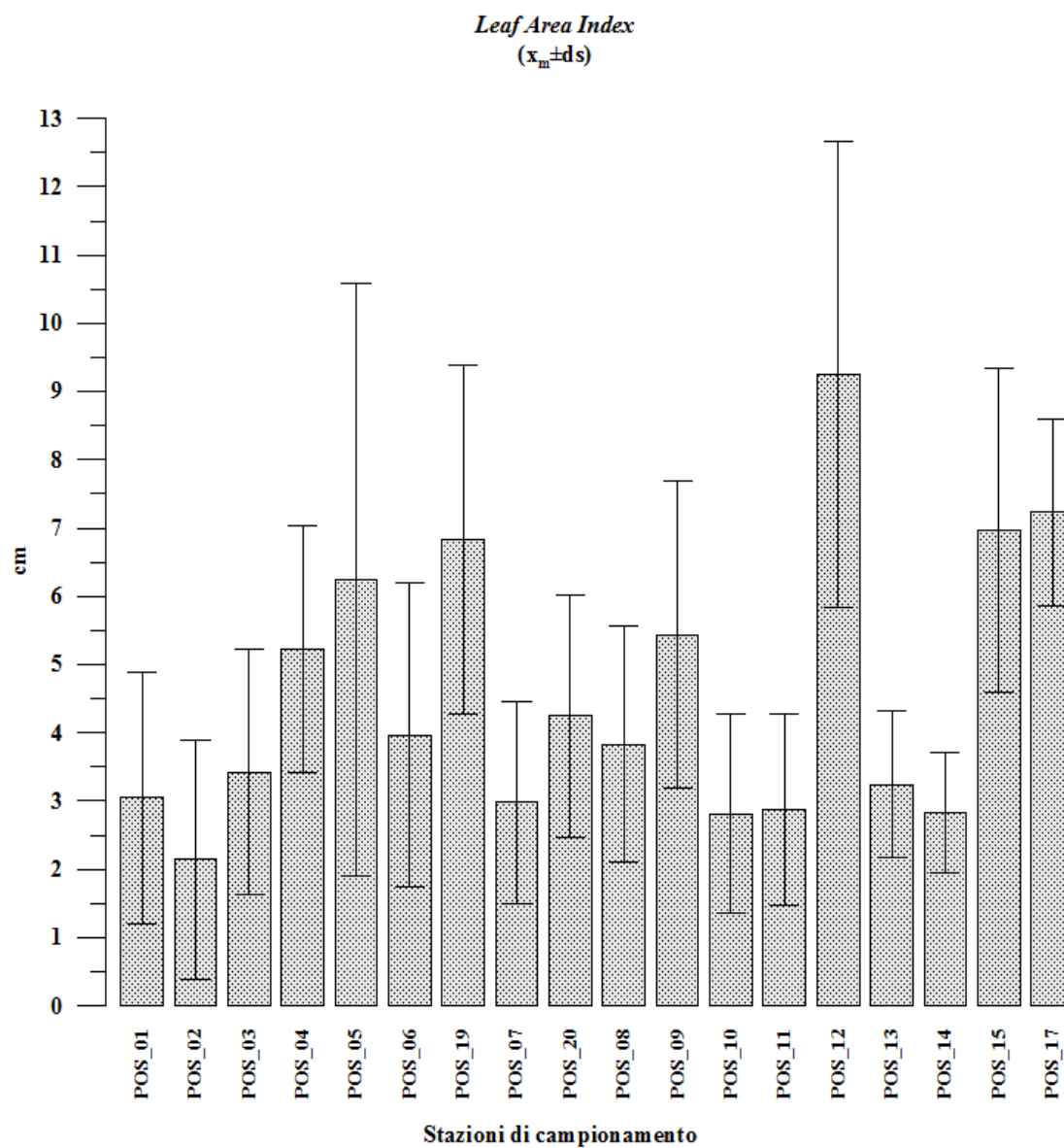


Fig. 8.23. Leaf Area Index nelle stazioni di campionamento

I valori del LAI variano da $2.14 \pm 1.74 \text{ m}^2/\text{m}^2$ nella stazione POS_02 a 9.25 ± 3.42 nella stazione POS_12. In questo caso il settore meridionale dell'area di studio presenta una maggiore dispersione del dato (Fig 8.24)

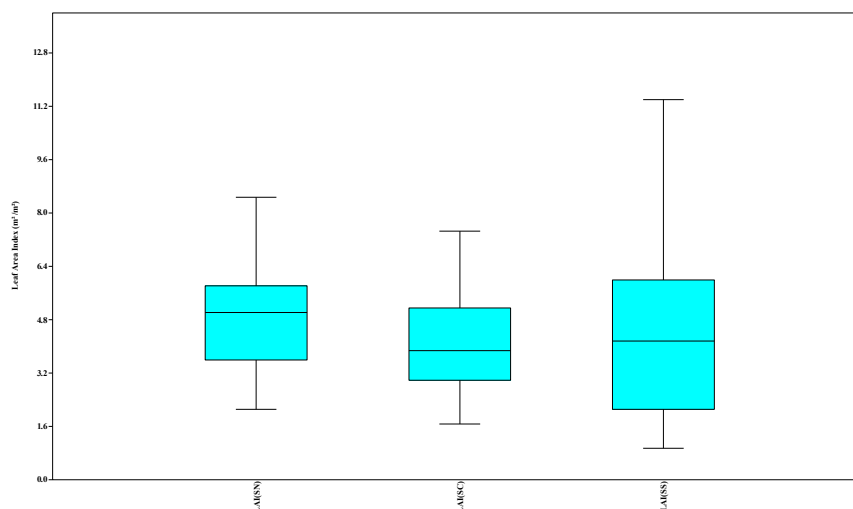


Fig. 8.24. Box plot dell'Indice di Superficie Fogliare nei 3 settori di campionamento

Anche in questo caso, come per la superficie fogliare, l'ANOVA ha messo in evidenza la presenza di differenze significative tra stazioni poste a diverse profondità, ma in questo caso le stazioni più profonde sono quelle con i valori più bassi (Fig. 8.23).

Three-way ANOVA – Leaf Area Index (m²/m²)					
Source	Sum Sq	d.f.	Mean Sq	F	Prob>F
Profondità	48.84	2	24.4202	6.67	**
Posizione	6.688	2	3.3438	0.91	0.4086
Substrato	20.009	2	10.0047	2.73	0.0761
Error	161.069	44	3.6607		
Total	236.181	50			

Tab. 8.8. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e tipologia del substrato di campionamento
(* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

Il box plot qui di seguito (Fig. 8.25), mette in evidenza come il LAI del Settore Centro e Sud presentino i valori di dispersione maggiori evidenziando l'elevata variabilità sia in termini di macroripartizione sia in termini di caratteristiche morfometriche (lunghezza e larghezza medie delle foglie).

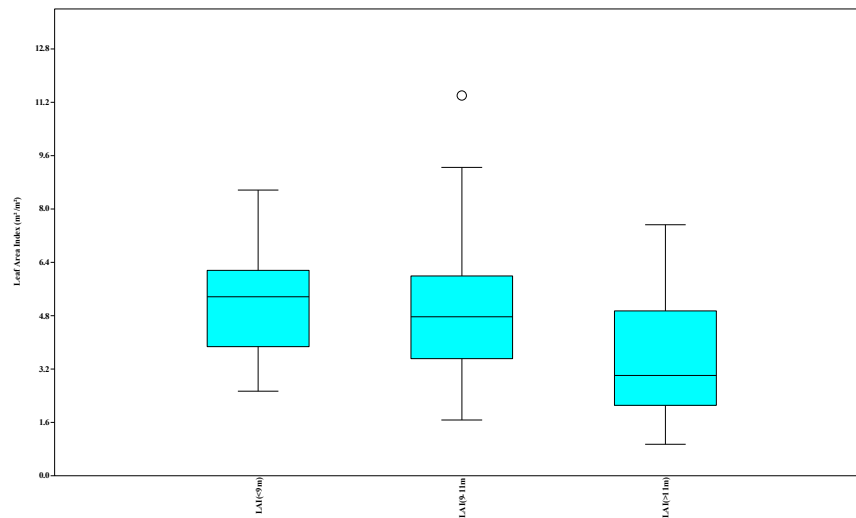


Fig. 8.25.Box plot del LAI nelle stazioni a diverse profondità

Coefficiente A

La percentuale di apici erosi fornisce importanti informazioni circa lo stress cui è sottoposta la pianta; il minor numero di apici erosi è stato rilevato nella stazione POS_02 (13%), mentre la stazione POS_06 ne presenta il 60.87%.

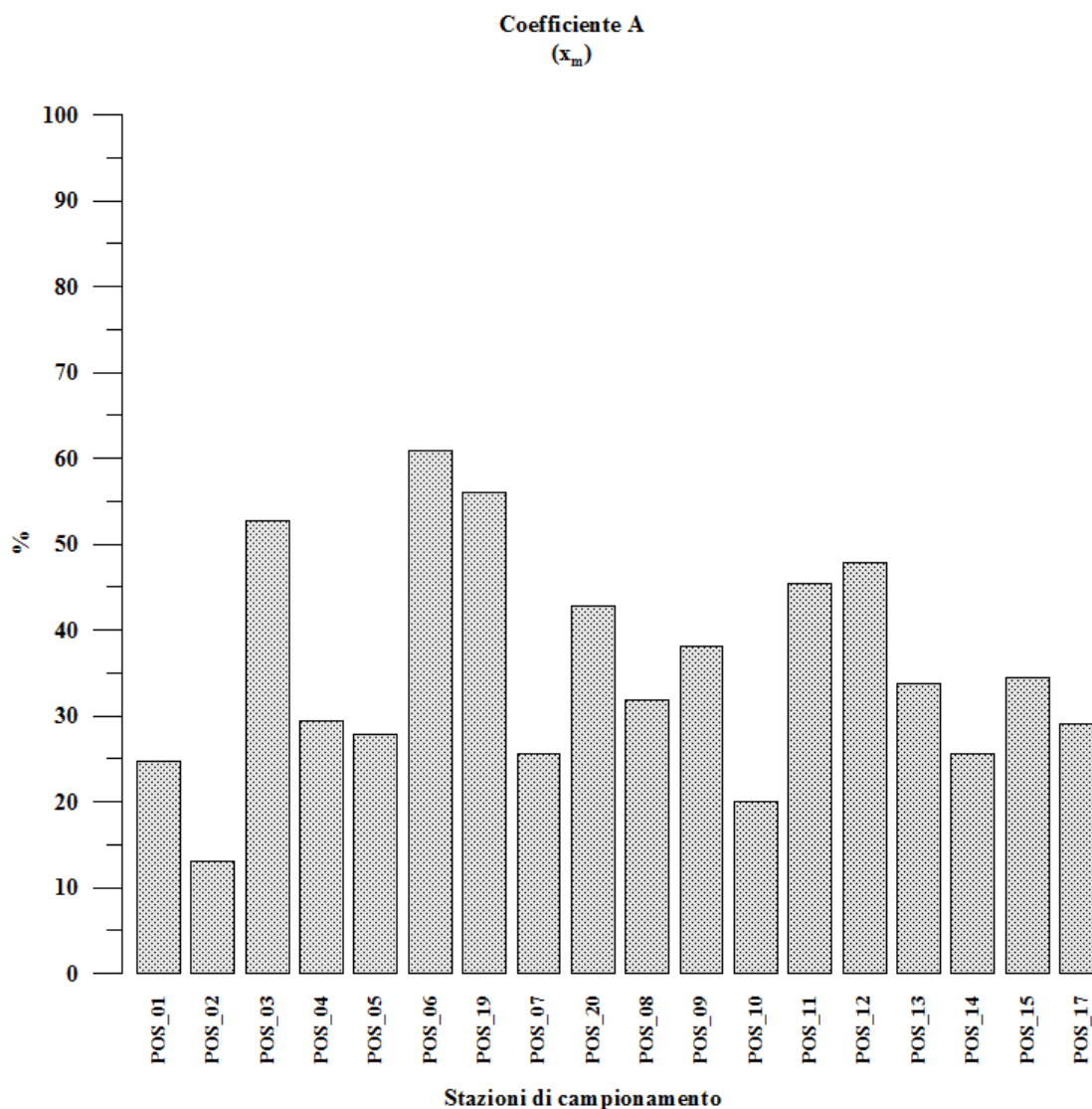


Fig. 8.26. Percentuale di apici erosi rilevati nelle stazioni di campionamento

L'analisi della varianza mostra la presenza di differenze significative tra le stazioni poste a diverse profondità ed in diversi settori dell'area di studio

Three-way ANOVA – Coefficiente A (%)					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Profondità	2229.2	2	1114.62	4.54	*
Posizione	3601.1	2	1800.53	7.33	**
Substrato	1216.7	2	608.33	2.48	0.0956
Error	10802.9	44	245.52		
Total	15835.9	50			

Tab. 8.9. Risultati della *three-way ANOVA* sulla differenza tra le stazioni sulle base dei fattori: profondità, posizione geografica nell'area di studio e tipologia del substrato di campionamento
 (* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

III. RISULTATI

Il settore Sud risulta essere quello in cui si osserva il maggior numero di foglie con apici erosi con un valore medio di $40.63\% \pm 16.27$, mentre il settore Nord è quello in cui la maggior parte delle foglie presentavano l'apice integro ($27.34\% \pm 16.17$); anche in questo caso il settore sud è quello che presenta la maggiore variabilità, presentando in assoluto i valori minimi e massimi di coefficiente A (7.41% e 85.71%).

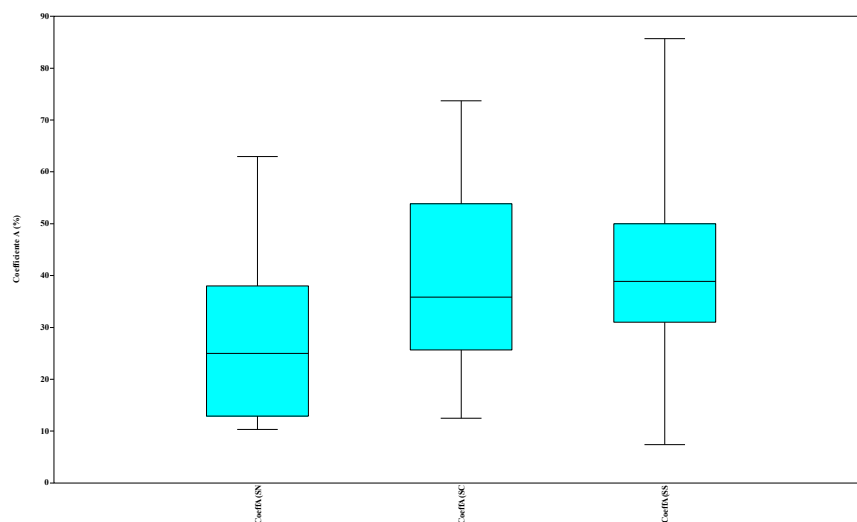


Fig. 8.27. Percentuale di apici erosi nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*

L'analisi della percentuale di apici erosi sulla base della profondità ha messo in luce la presenza di un gradiente decrescente andando dalle stazioni più superficiali a quelle più profonde

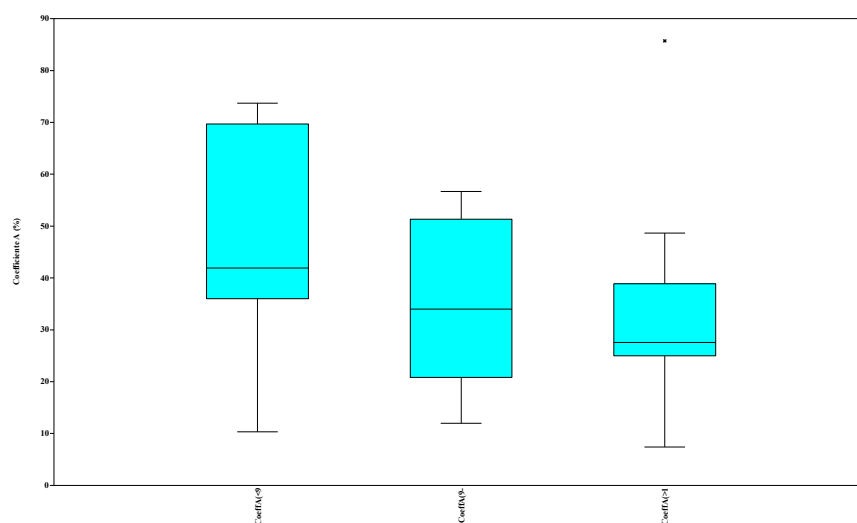


Fig. 8.28 Box plot della percentuale di apici erosi a diverse profondità di campionamento

III. RISULTATI

9. ANALISI TEMPORALE DELLO STATO DI SALUTE DELLE PRATERIE DI *POSIDONIA OCEANICA*

L'analisi temporale dei descrittori strutturali e funzionali dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti nell'area di studio è stata eseguita su 14 punti di campionamento riportati nella figura qui di seguito e contrassegnati da una croce rossa.

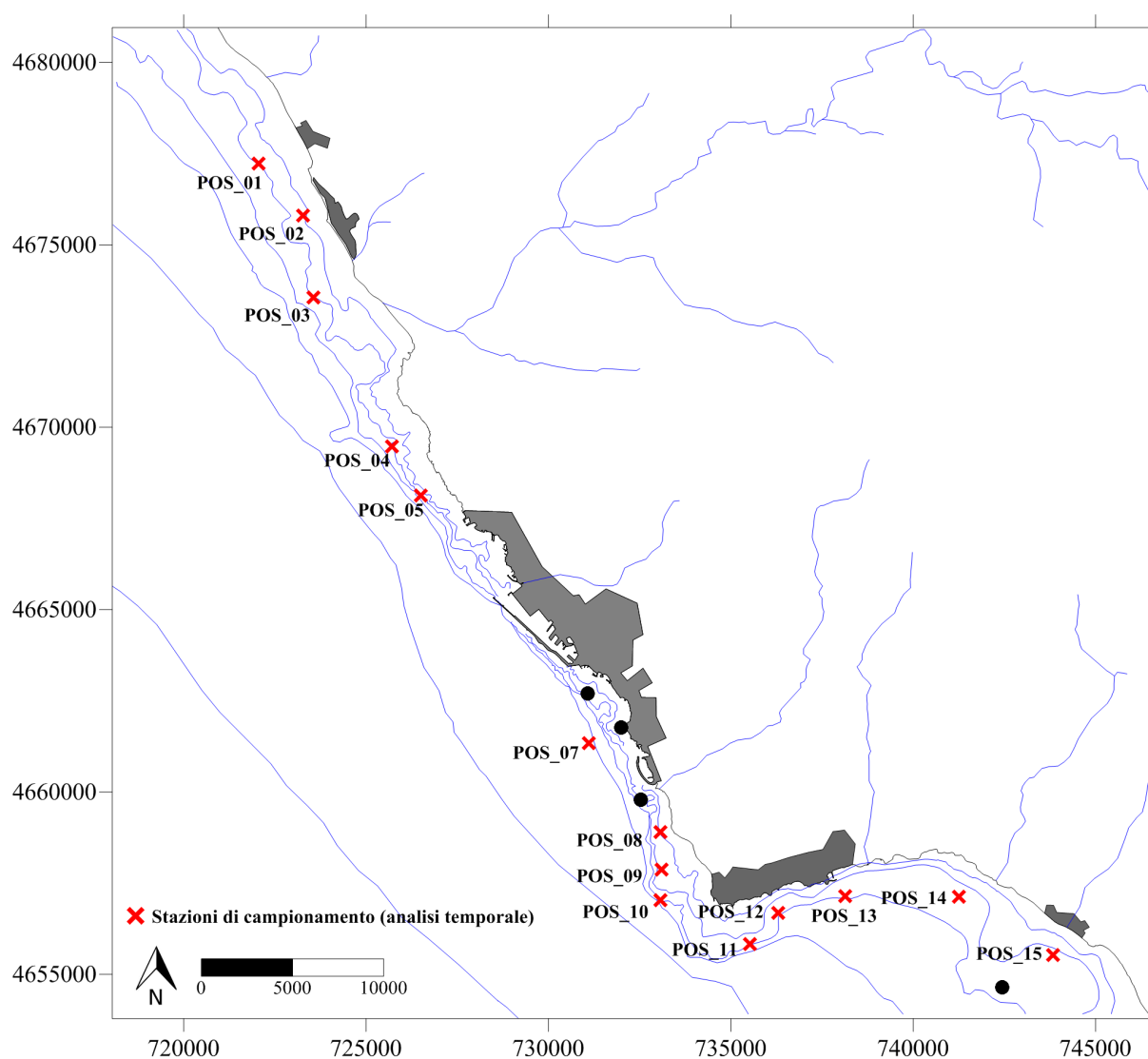


Fig. 9.1. Stazioni di campionamento su cui è stata eseguita l'analisi temporale dei dati

Lungo il litorale di Civitavecchia, tra il 2002 ed il 2005, sono state eseguite 5 campagne di monitoraggio dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica*; tali campagne sono state eseguite nei seguenti periodi:

- Luglio 2002;

- Luglio 2003;
- Aprile 2004;
- Settembre 2004,
- Novembre 2005.

9.1 Descrittori strutturali

È stata eseguita un'analisi sull'evoluzione dei parametri strutturali delle praterie oggetto di studio dal 2002 al 2013.

Per quanto riguarda la densità assoluta dei fasci l'analisi univariata mostra che il valore medio rilevato nelle singole campagne di campionamento sia rimasto abbastanza costante non mostrando differenze significative tra i valori medi rilevati (ANOVA, $p=0.5192$)

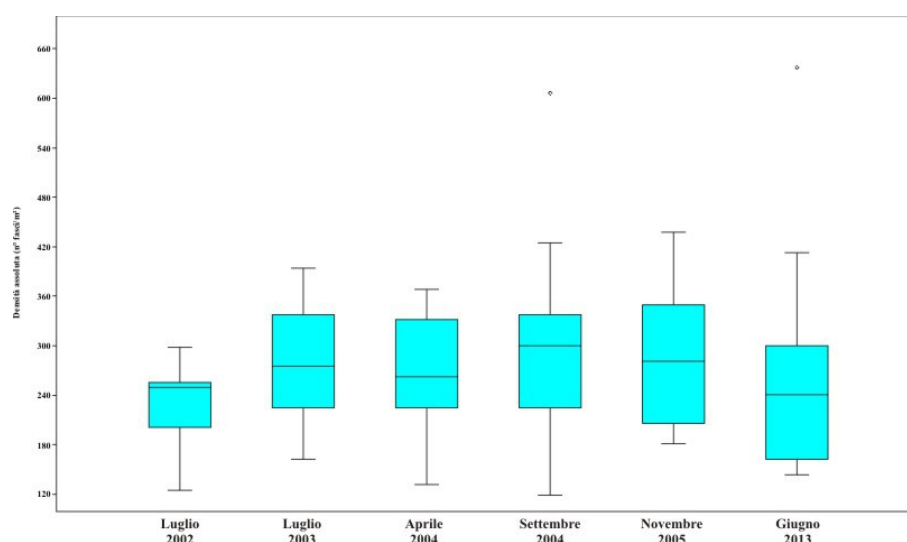


Fig. 9.2. Box plot dei valori medi di densità assoluta rilevati nelle 6 campagne di campionamento

È stata analizzata l'evoluzione del valore di densità assoluta rilevato nelle stazioni di campionamento durante le sei campagne di monitoraggio

Osservando l'andamento delle linee di tendenza di ogni stazione di campionamento del settore nord (stazioni POS_01, POS_02, POS_03, POS_04 e POS_05), si nota che dalla stazione POS_01 alla stazione POS_05 si ha un tendenziale aumento nei valori di densità assoluta dal 2002 al 2013 (fig. 9.2).

Tale trend non risulta evidente nel settore centrale, in cui le stazioni POS_07 e POS_08 mostrano una leggera diminuzione del valore di densità di fasci fogliari dal 2002 al 2013,

III. RISULTATI

mentre le stazioni POS_09 e POS_10 hanno mostrato, rispetto al primo campionamento del 2002, un leggero incremento di tale valore. Le stazioni presenti tra Capo Linaro e Santa Severa, invece, hanno un andamento variabile: le stazioni POS_12 e POS_15 mostrano una linea di tendenza con andamento positivo, mentre, al contrario, le stazioni POS_11, POS_13 e POS_14 hanno un andamento negativo.

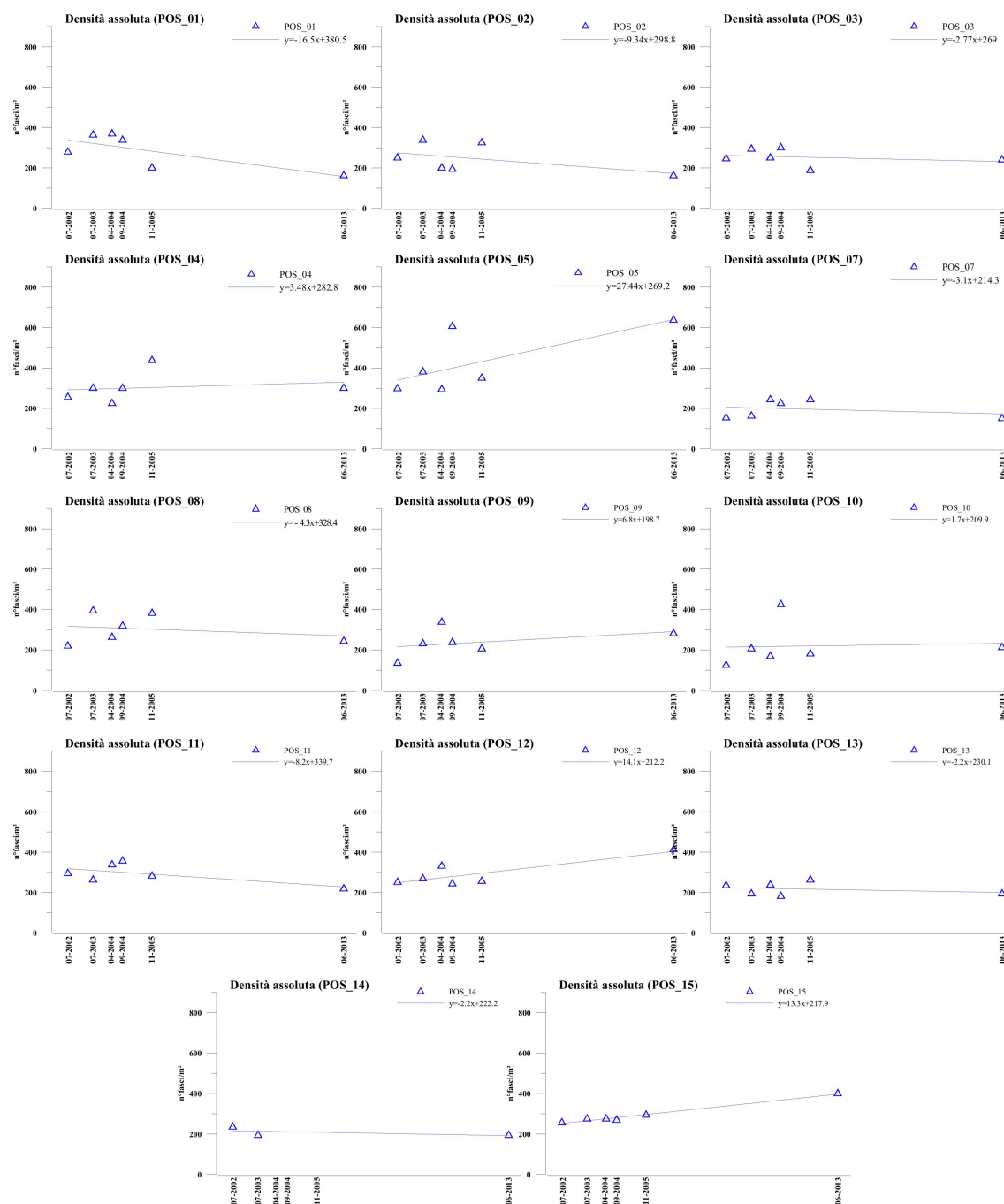


Fig. 9.3 Valori medi di densità assoluta delle singole stazioni rilevati nelle 6 campagne di campionamento

III. RISULTATI

Allo stesso modo è stata valutata l'evoluzione della densità relativa, che integra nel dato anche i valori di copertura del substrato da parte della pianta.

L'analisi univariata mostra l'assenza di differenze significative nei valori medi di densità relativa rilevati nelle singole campagne di campionamento (ANOVA, $p=0.2329$).

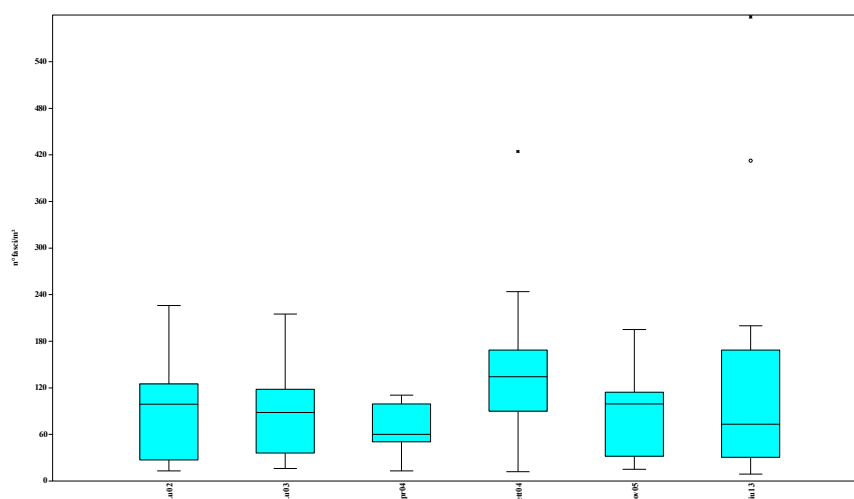
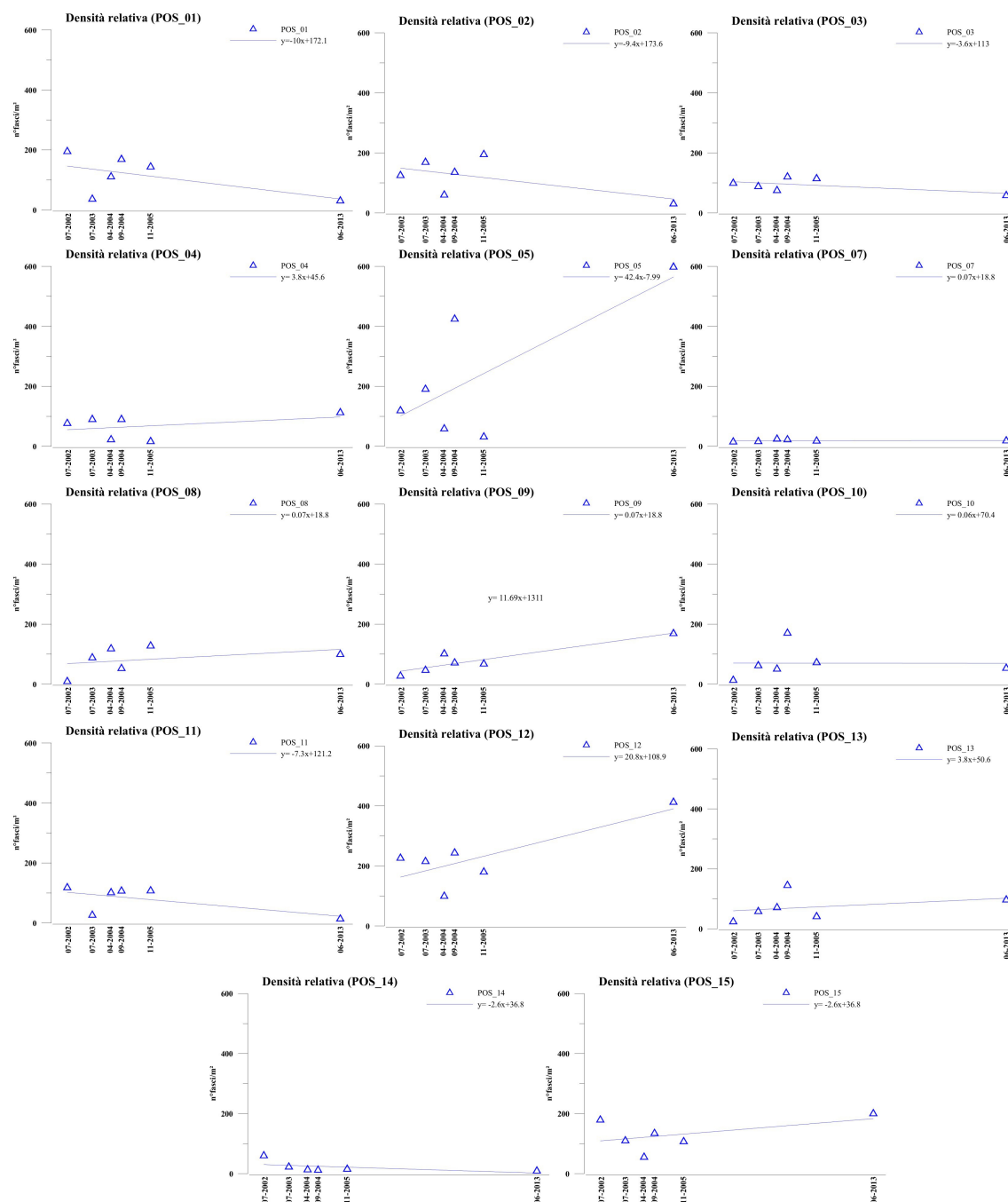


Fig. 9.4. Box plot dei valori medi di densità relativa rilevati nelle 6 campagne di campionamento

I grafici qui di seguito mostrano che l'andamento dei valori di densità relativa è paragonabile a quello ottenuto per la densità assoluta, naturalmente con valori più bassi dovuti ad una bassa copertura del substrato da parte della *Posidonia oceanica* rilevata in tutte le stazioni di campionamento. Nel settore centrale si osserva un trend positivo dei valori di densità relativa dalla stazione POS_07 alla stazione POS_09, mentre la stazione POS_10 mostra un andamento negativo.

III. RISULTATI



9.5.Valori medi di densità relativa delle singole stazioni rilevati nelle 6 campagne di campionamento

La differenza fra le stazioni nelle diverse campagne di misura è stata anche testata attraverso l'analisi della varianza a tre vie (*Three-way ANOVA*) per valutare la variabilità temporale, spaziale e batimetrica del dato.

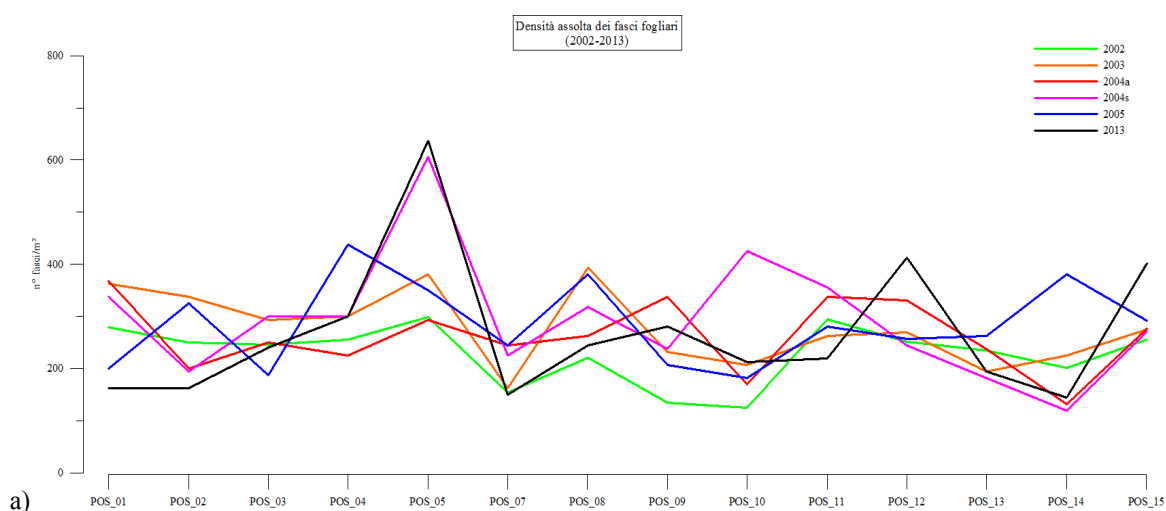
III. RISULTATI

	Source of variation	Sum Sq	d.f.	Mean Sq	F	p
Densità assoluta	Profondità	14952.6	1	14952.6	1.69	0.1982
	Posizione	27939	2	13969.5	1.58	0.2141
	Campagna_camp	35937.1	5	7187.4	0.81	0.5443
	Errore	511892	58	8825.7		
	Totale	700635.5	83			
Densità relativa	Profondità	6849.3	1	6849.3	0.83	0.3673
	Posizione	33209.8	2	16604.9	2	0.1443
	Campagna	45865	5	9173	1.11	0.3673
	Errore	481087.7	58	8294.6		
	Totale	642088.4	83			

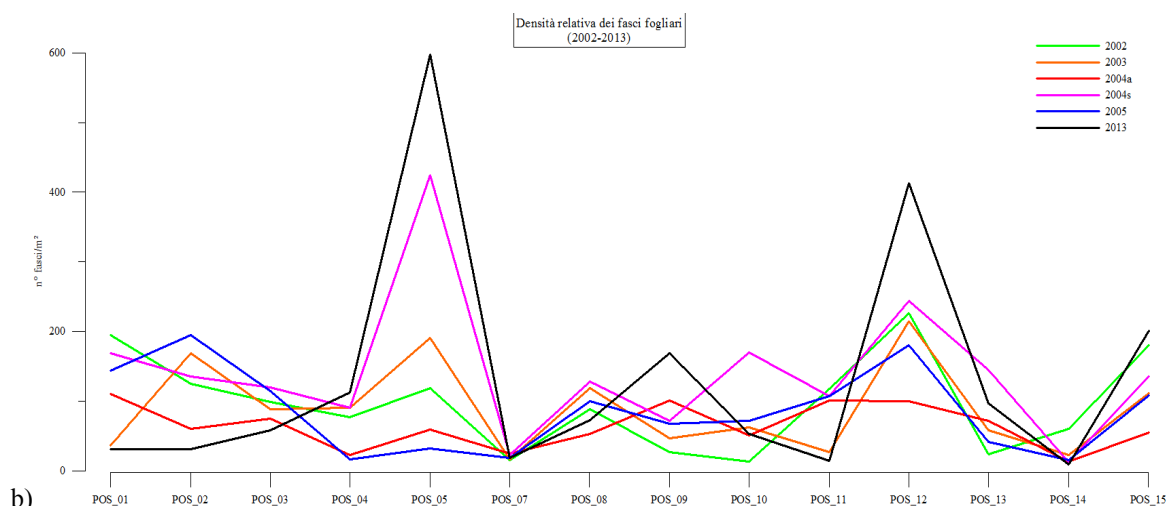
Tab. 9.1. Risultato della *three-way ANOVA* sui valori di densità assoluta e densità relativa
 (* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

L'analisi non ha messo in evidenza la presenza di differenze significative sia nei valori di densità assoluta sia in quelli di densità relativa.

I grafici qui di seguito riportati mostrano la variazione dei parametri di densità assoluta e di densità relativa dei fasci fogliari dalla stazione POS_01, posta al limite nord dell'area di studio, alla stazione POS_15 posta nella parte più a sud, nelle diverse campagne di campionamento. Dal 2002 al 2013 non si osservano variazioni omogenee nelle stazioni di campionamento.



III. RISULTATI



b)
Fig. 9.6. Variazione spaziale e temporale dei parametri di densità assoluta (a) e di densità reativa (b) dei fasci

Inoltre non si rileva la presenza di variazioni significative nel tempo in nessuna delle stazioni.

9.2 Descrittori funzionali

Come per la densità assoluta e relativa, le variazioni spaziali e temporali sono state valutate anche per i dati biometrici dei fasci fogliari campionati.

Nel grafico in figura 9.7 è riportato il numero medio di foglie per fascio; non si nota una evidente variazione del dato tra le stazioni di campionamento, ma risulta evidente che dal 2002 al 2013 si è avuta una diminuzione del valore di tale parametro

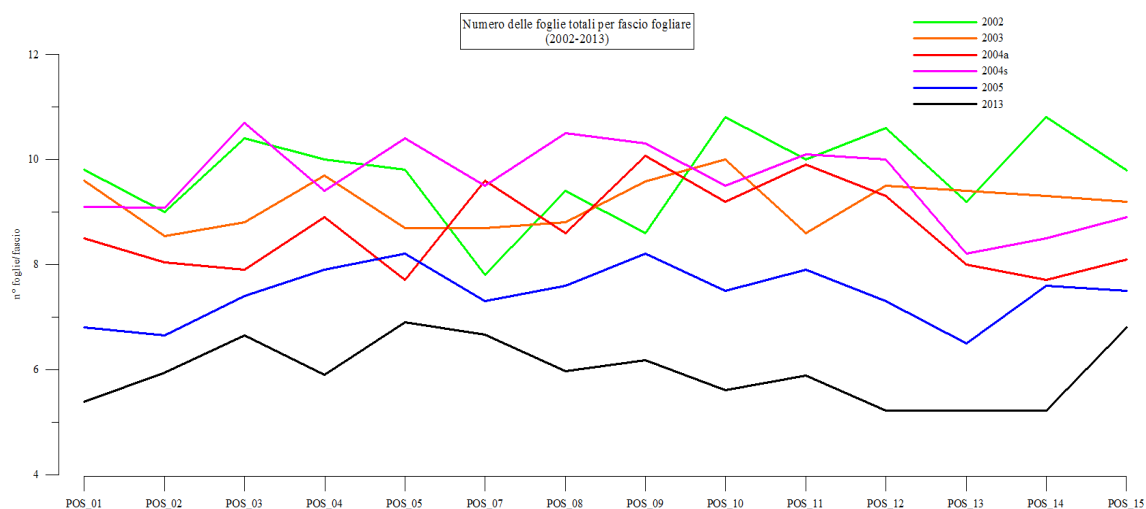


Fig. 9.7. Variazione spaziale e temporale del numero di foglie per fascio

III. RISULTATI

Il box plot in figura 9.8 conferma quanto mostrato nell'immagine precedente; infatti è evidente come i valori del numero di foglie diminuiscano già a partire dal 2005. Tale dato è ulteriormente confermato dall'analisi della varianza (ANOVA, $p < 0.001$).

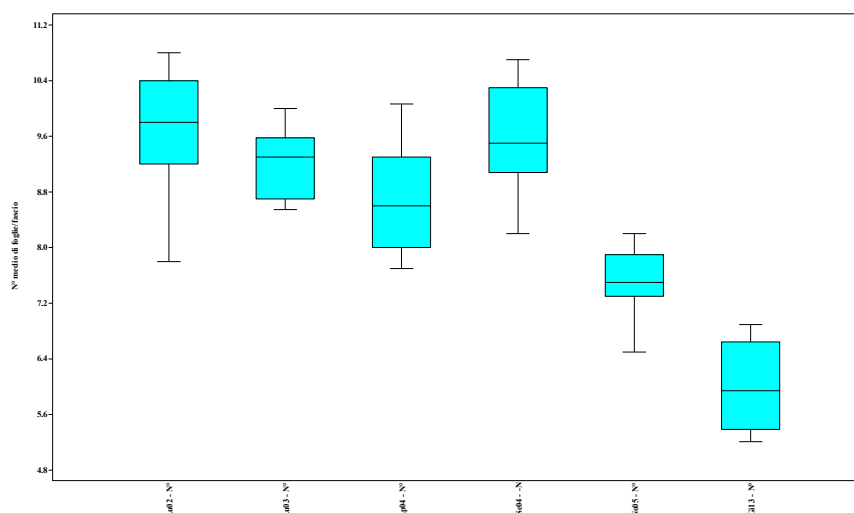


Fig. 9.8. Box plot del numero medio di foglie per fascio rilevati nelle 6 campagne di campionamento

Il test di Mann-Whitney (*post hoc pairwise comparison test*) in particolare ha messo in evidenza la presenza di differenze significative tra i campioni analizzati tra il 2002 ed il 2004 ed i campioni analizzati nel 2005 e nel 2013 (Tab.9.2)

	Lu02 N° Ftot	Lu03 N° Ftot	Ap04 N° Ftot	Se04 N° Ftot	No05 N° Ftot	Gi13 N° Ftot
Lu02 N° Ftot		0.3141	**	0.9962	***	***
Lu03 N° Ftot			0.4159	0.6194	***	***
Ap04 N° Ftot				*	***	***
Se04 N° Ftot					***	***
No05 N° Ftot						***
Gi13 N° Ftot						

Tab. 9.2. Confronto a coppie del numero medio di foglie per fascio rilevato nelle campagne
 (* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

Nella figura qui di seguito si vede la diminuzione nel numero totale di foglie per fascio in tutte le stazioni di campionamento.

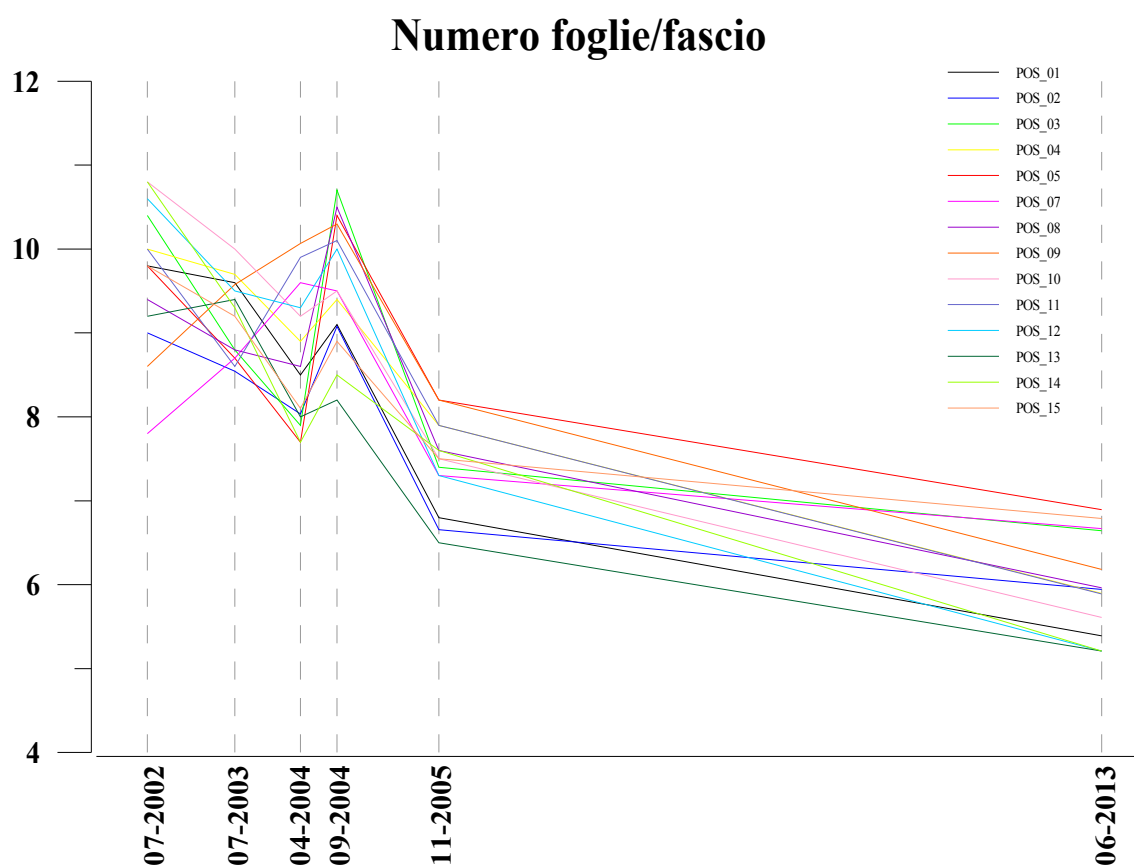


Fig. 9.9. Numero di foglie per fascio in tutte le stazioni ed in tutti gli anni di campionamento

I grafici qui di seguito riportano in sequenza il numero medio di foglie rilevato in ogni stazione nei diversi anni; si osserva come, in accordo alla figura 9.9, tutte le stazioni presentino un marcato trend negativo dal 2002 al 2013.

III. RISULTATI

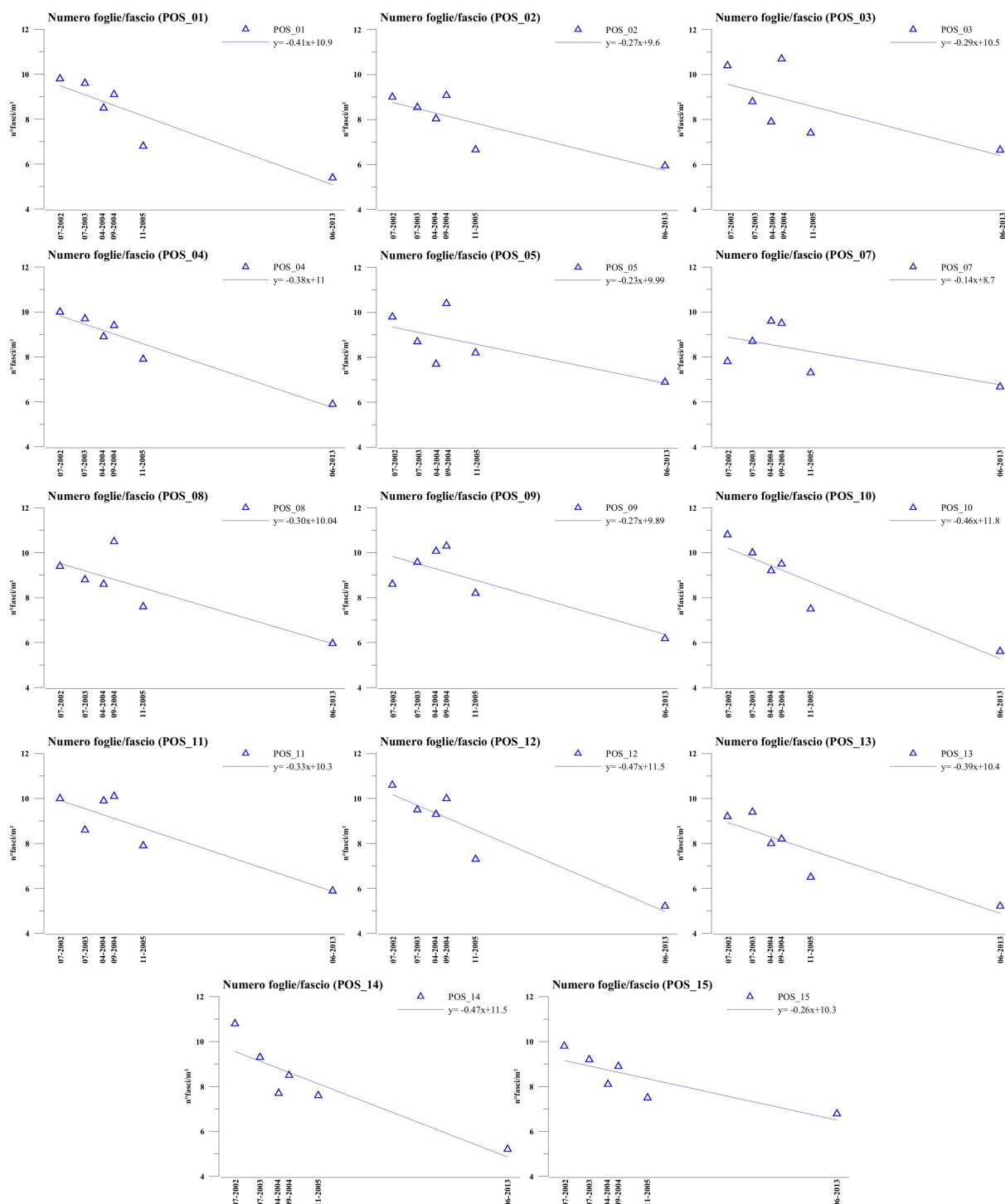
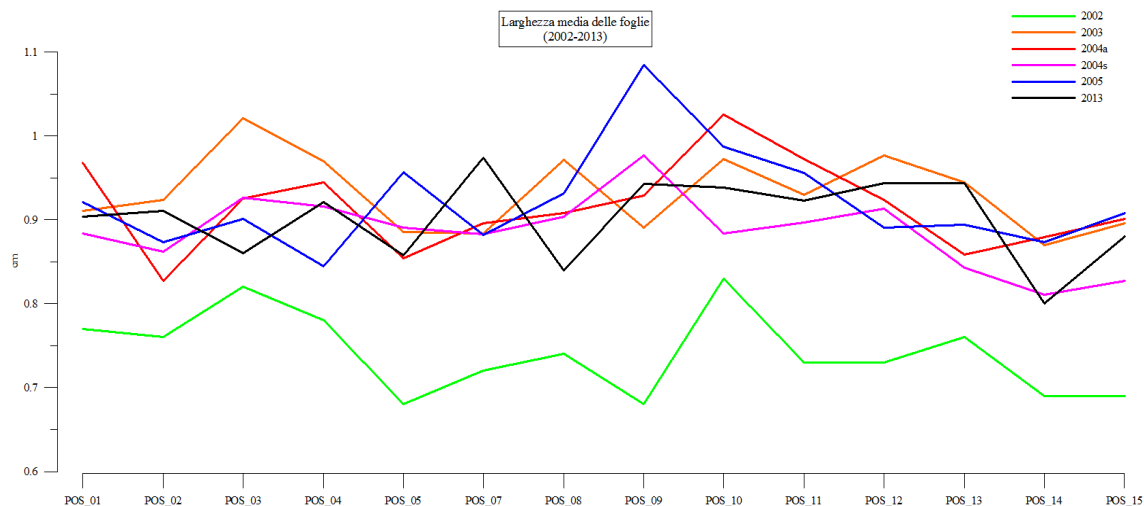


Fig. 9.10. Numero di foglie per fascio nelle singole stazioni di campionamento

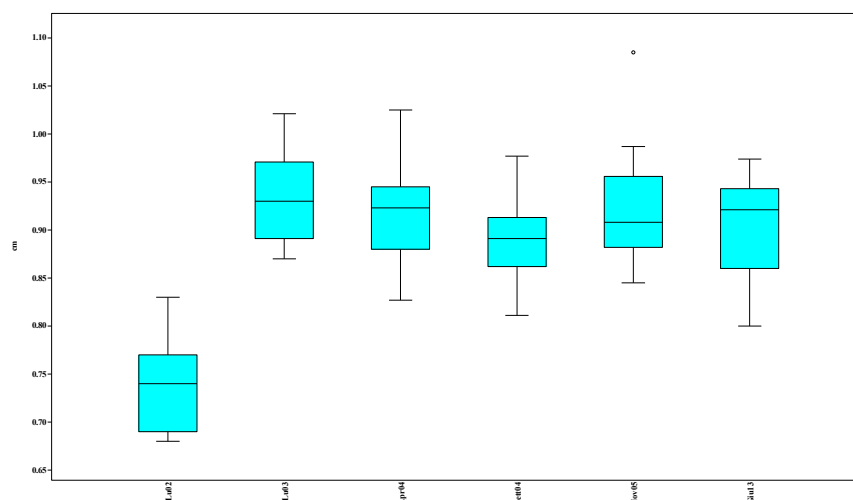
L'immagine 9.11 mostra il valore di larghezza media delle foglie rilevata nei campioni delle stazioni di campionamento e nelle varie campagne oceanografiche, il quale non presenta variazioni di particolare entità tra le stazioni di campionamento; nel Luglio 2002 sono stati rilevati valori molto più bassi di larghezza media delle foglie in tutte le stazioni di

III. RISULTATI

campionamento, mentre i valori degli altri anni di campionamento sembrano essere piuttosto stabili.



L'analisi della varianza non ha messo in evidenza la presenza di differenze significative nella larghezza media dei lembi fogliari nelle campagne di campionamento dal 2003 in poi (ANOVA=0.1011), come si evince anche dai *box plots* qui di seguito riportati.



L'immagine qui di seguito mostra le linee di andamento dei valori di larghezza media dei lembi fogliari rilevata in ogni stazione di campionamento; si osserva come in tutte le stazioni, tranne nella stazione POS_03 e POS_08, il valore di larghezza media sia leggermente

aumentato.

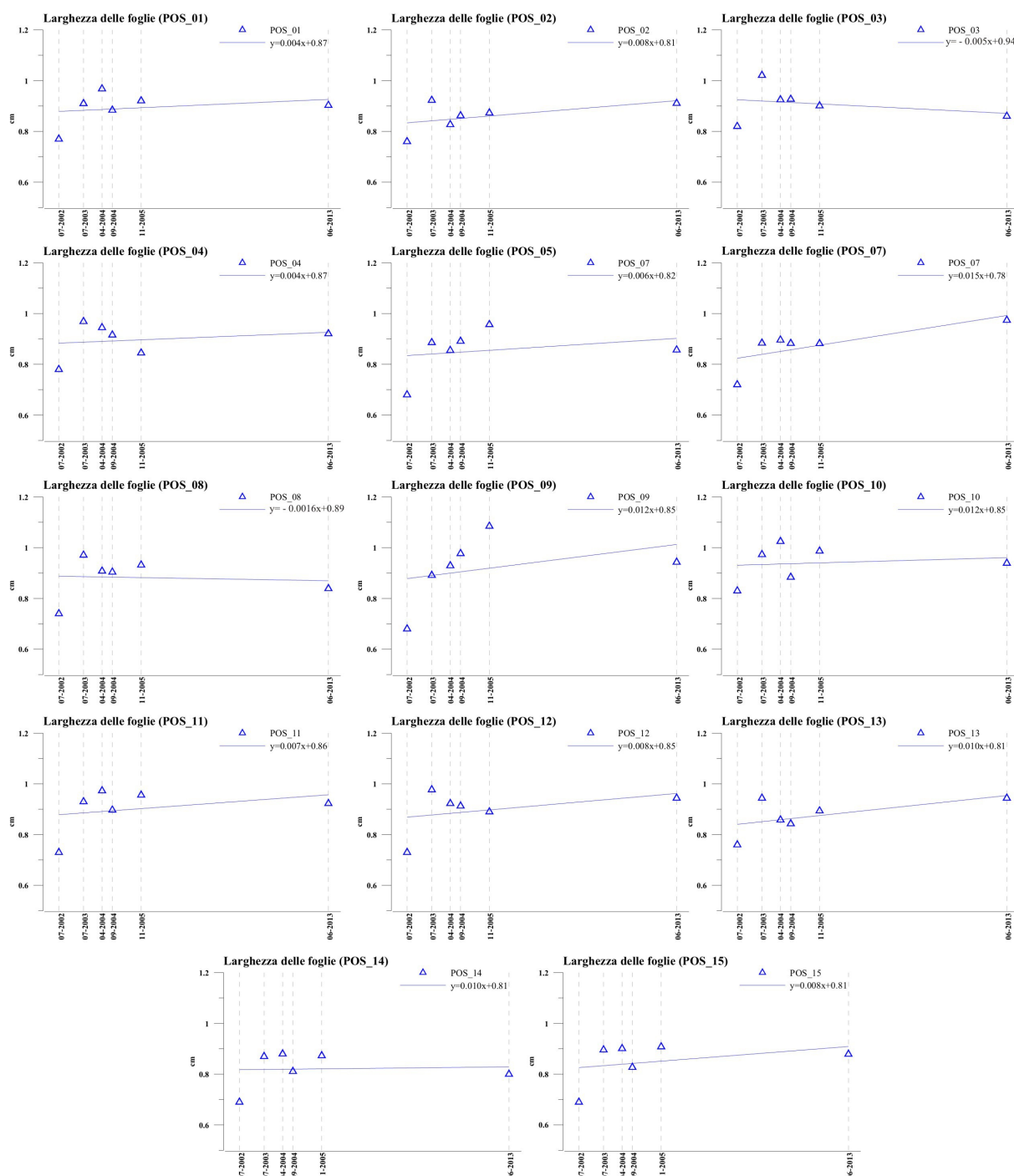


Fig. 9.12. Larghezza media dei fasci fogliari nelle singole stazioni di campionamento

Per quanto riguarda la lunghezza media dei fasci fogliari, il confronto eseguito fra i campioni prelevati nelle diverse campagne di campionamento ha messo in evidenza la presenza di differenze, così come si evince anche dal grafico riportato nell'immagine 9.13.

III. RISULTATI

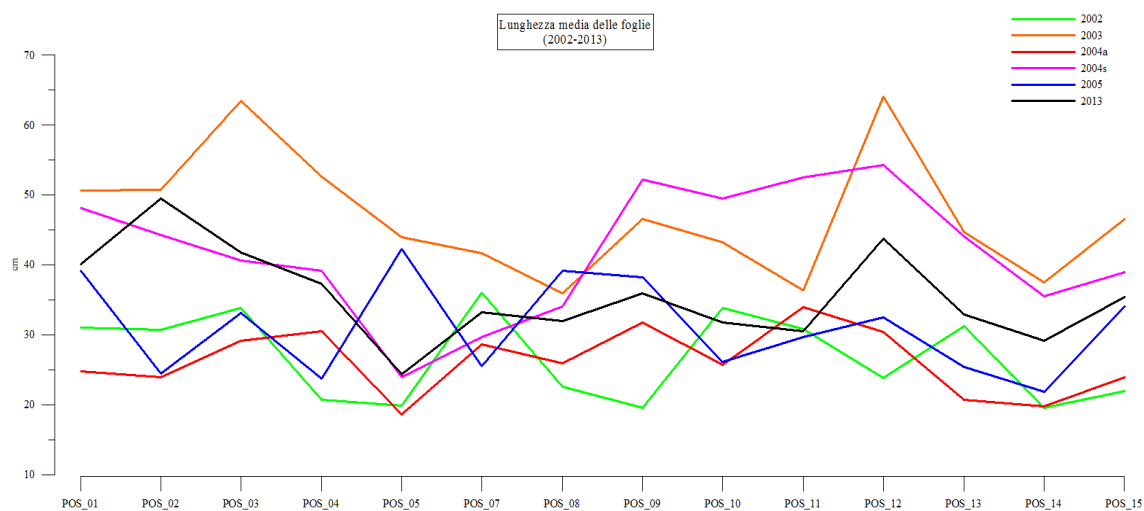


Fig. 9.13. Variazione spaziale e temporale della lunghezza totale media dei fasci fogliari.

È stata eseguita l'analisi della varianza anche sulle lunghezze medie totali dei fasci di *Posidonia oceanica*; l'ANOVA mostra la presenza di differenze significative ($p < 0.001$) tra i valori delle campagne di monitoraggio ed il *Tukey' pairwise comparison test* mostra quali sono le differenze fra le singole campagne.

	Lu02 Lu	Lu03 Lu	Ap04 Lu	Se04 Lu	No05 Lu	Gi13 Lu
Lu02 Lu		***	1	***	0.6181	*
Lu03 Lu			***	0.4306	***	***
Ap04 Lu				***	0.4867	*
Se04 Lu					***	0.1837
No05 Lu						0.573
Gi13 Lu						

Tab. 9.3. Risultato del confronto a coppie del test di Tukey's fra le varie campagne di campionamento
(* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

Tale risultato è messo in evidenza dal box plot riportato in figura 9.14.

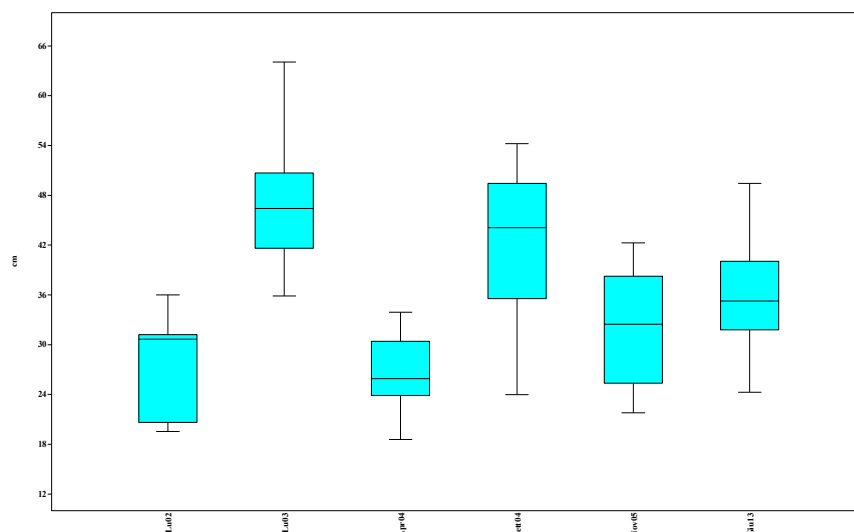


Fig. 9.14. Box plot di confronto fra le campagne di campionamento per il valore di lunghezza media delle foglie

Anche l'indice di superficie fogliare non mostra variazioni (ANOVA, $p=0.9754$) nell'arco di tempo considerato.

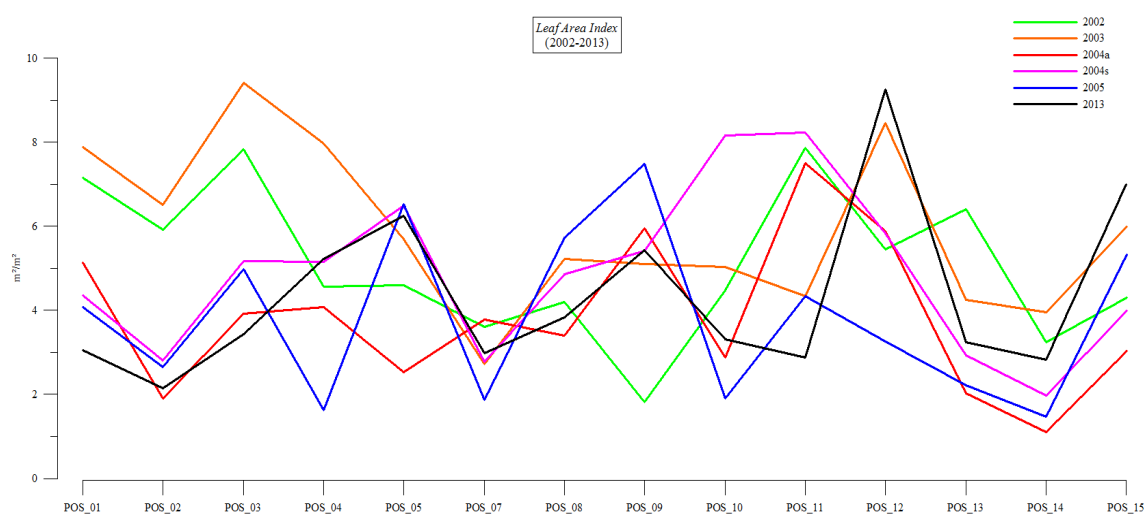


Fig. 9.15. Variazione spaziale e temporale del LAI

I valori mostrano una elevata variabilità in tutti gli anni di campionamento, ma questo è attribuibile alla complessità strutturale delle praterie esaminate.

III. RISULTATI

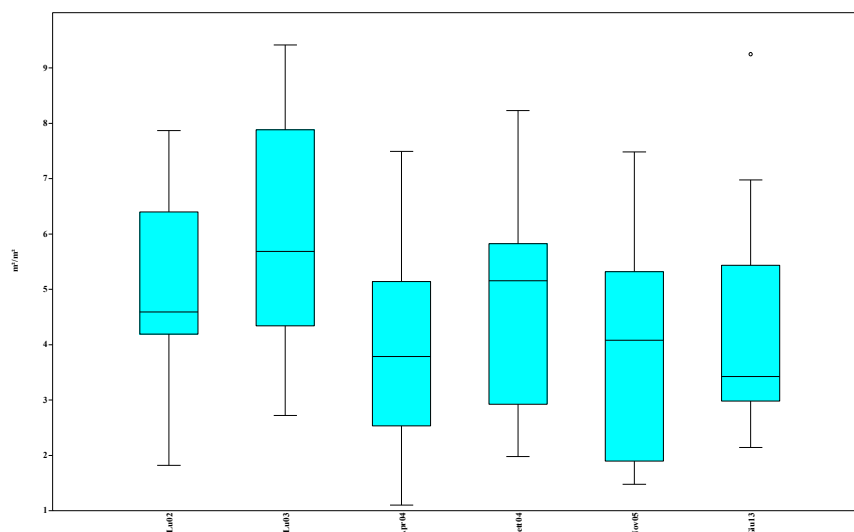


Fig. 9.16. Box plot di confronto fra le campagne di campionamento per il LAI

La percentuale di apici erosi invece presenta differenze così come mostrato nella tabella Tab. 9.4 in cui sono riportati i valori del *Tukey's pairwise comparison test*.

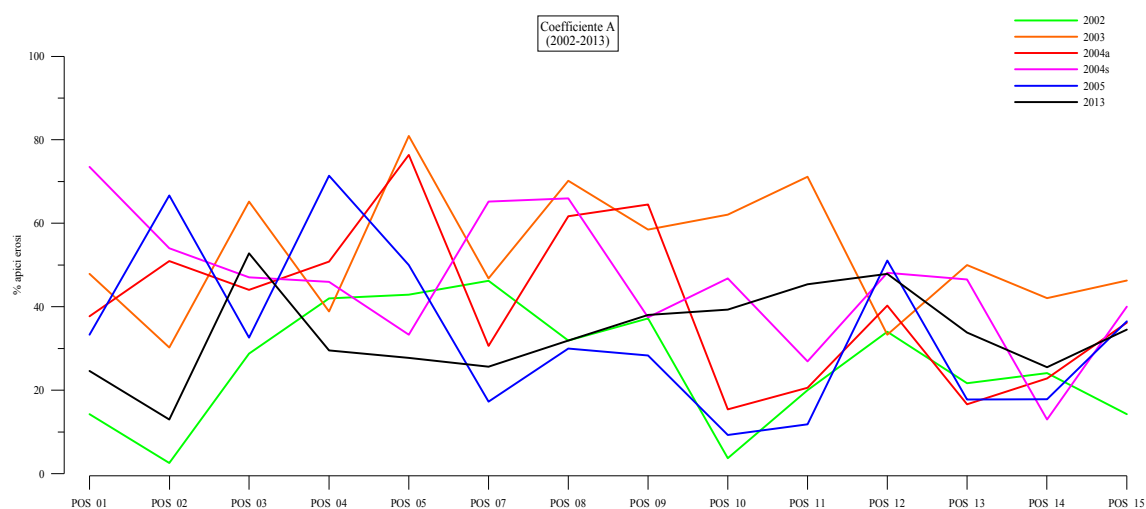


Fig. 9.17. Variazione della percentuale di apici erosi per fascio

	Lu02 CoA	Lu03 CoA	Ap04 CoA	Se04 CoA	No05 CoA	Gi13 CoA
Lu02 CoA		***	0.16	*	0.7807	0.8073
Lu03 CoA			0.3138	0.8457	*	*
Ap04 CoA				0.9476	0.8716	0.8496
Se04 CoA					0.3454	0.3183
No05 CoA						1
Gi13 CoA						

Tab. 9.4. Risultato del confronto a coppie del test di Tukey's fra le varie campagne di campionamento (* = $0.05 > p > 0.01$; ** = $0.01 \geq p \geq 0.001$; *** = $p < 0.001$)

III. RISULTATI

La percentuale di apici erosi dipende dalla stagione e dalle condizioni meteomarine che si sono presentate negli anni interessati dalle attività di campionamento.

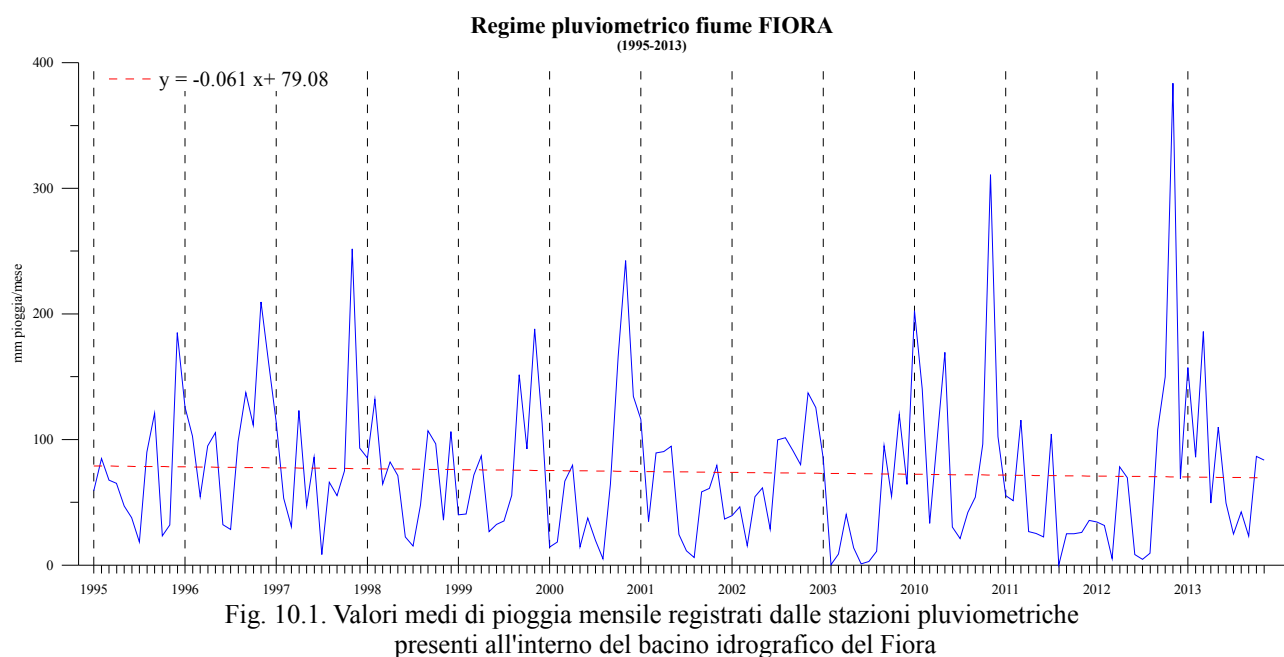
III. RISULTATI

10. ANALISI DELLA VARIAZIONE TEMPORALE DEI PARAMETRI AMBIENTALI

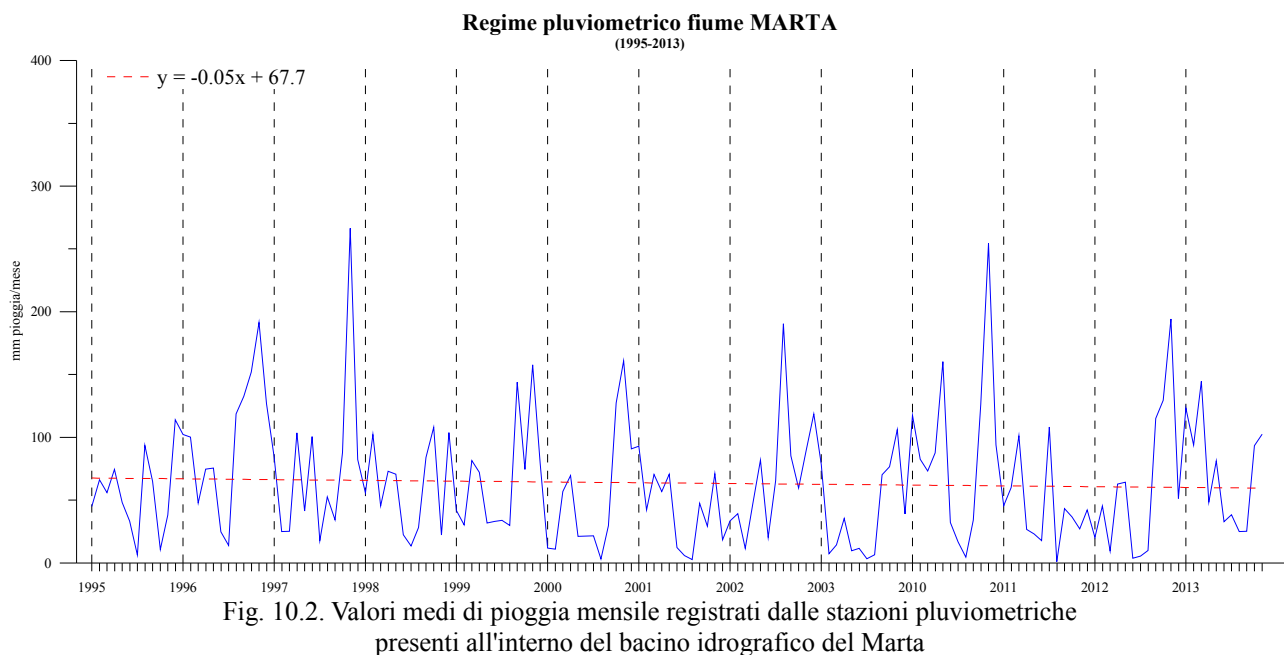
10.1 Variazione temporale dei regimi pluviometrici e delle portate liquide del fiume Tevere

Sono stati analizzati i dati pluviometrici dei principali bacini idrografici al fine di valutare cambiamenti nella portata liquida dei corsi d'acqua.

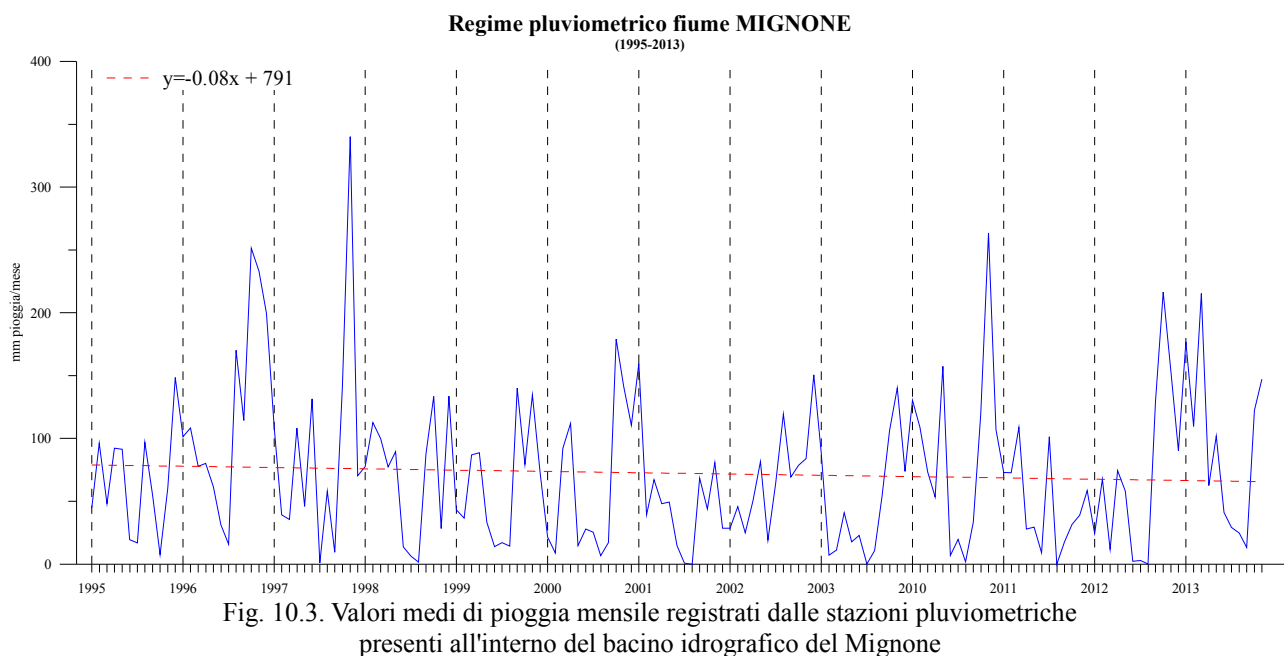
L'analisi dei dati pluviometrici relativi al bacino imbrifero del Fiume Fiora, registrati dal 1995 al 2013, non hanno messo in evidenza la presenza un trend temporale significativo dal punto di vista statistico (Spearman, $p=0.9397$); è da evidenziare però che il valore della pendenza della retta di regressione presenta un valore negativo, mostrando una leggera diminuzione del regime delle piogge in questo bacino.

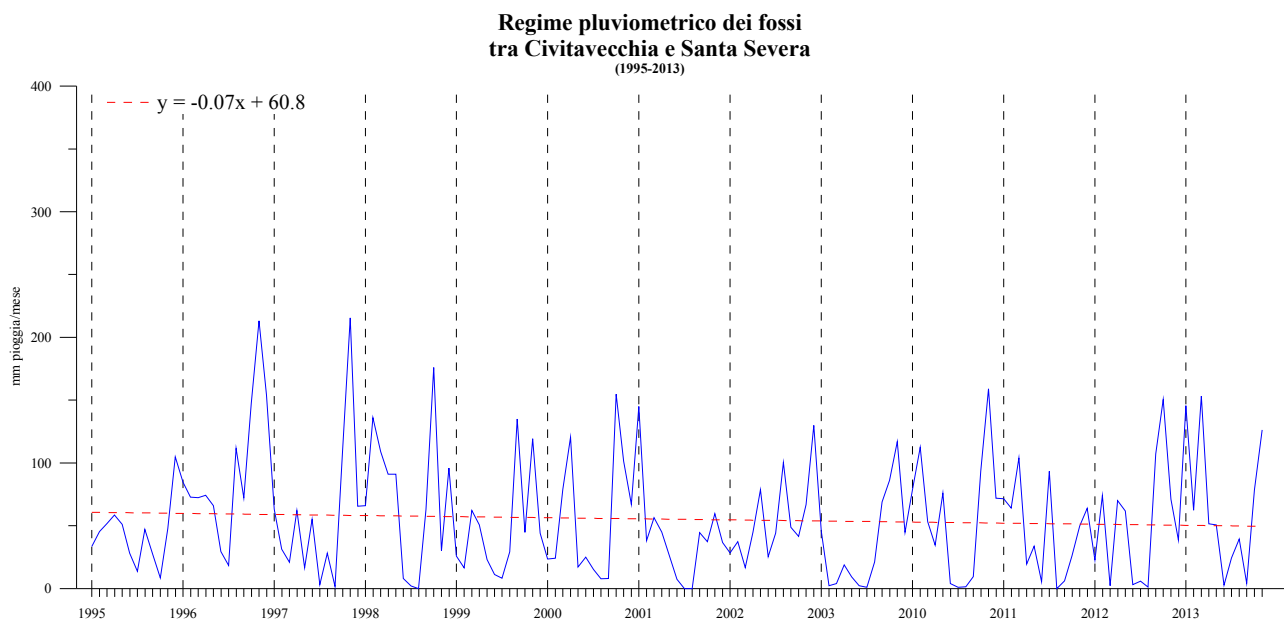


Dai dati acquisiti dalle stazioni pluviometriche del bacino del fiume Marta, si evince che il regime pluviometrico è più basso rispetto a quello del fiume Fiora; anche in questo caso il trend non ha importanza statistica (Spearman, $p=0.4983$), sebbene sia presente un piccolo andamento negativo dei dati dal 1995 al 2013.

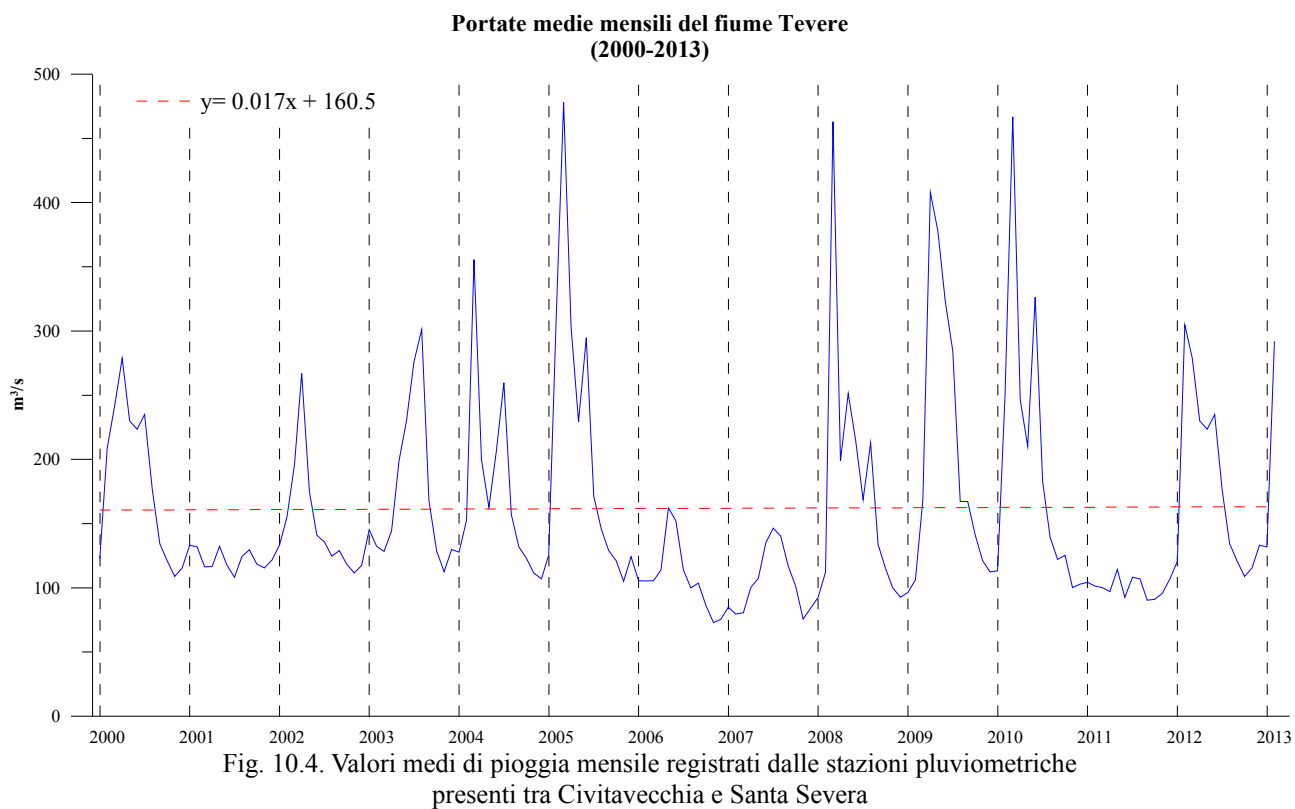


Lo stesso risultato si ottiene dall'analisi dei dati pluviometrici del fiume Mignone (Spearman, $p=4983$) e nel caso dei dati relativi alle stazioni pluviometriche posta nella zona compresa tra Civitavecchia e Santa Severa (Spearman, $p=0.4142$).





I dati delle portate del Tevere disponibili dal 2000 al 2013 sono coerenti con i dati pluviometrici relativi agli altri bacini idrografici, mostrando anche in questo caso un trend stabile nell'arco temporale considerato.



III. RISULTATI

10.2 Variazione temporale del coefficiente di attenuazione della luce a 490 nm (Kd 490)

L'analisi delle immagini satellitari ha permesso di ottenere un valore medio di Kd490 per ognuna delle 18 stazioni di campionamento. Nell'immagine qui di seguito sono riportate in sequenza gli scatter plot del valore di tale parametro nelle singole stazioni, disposte lungo un gradiente nord-sud sull'asse delle ascisse (a sinistra si trova la stazione POS_01 a destra la stazione POS_17).

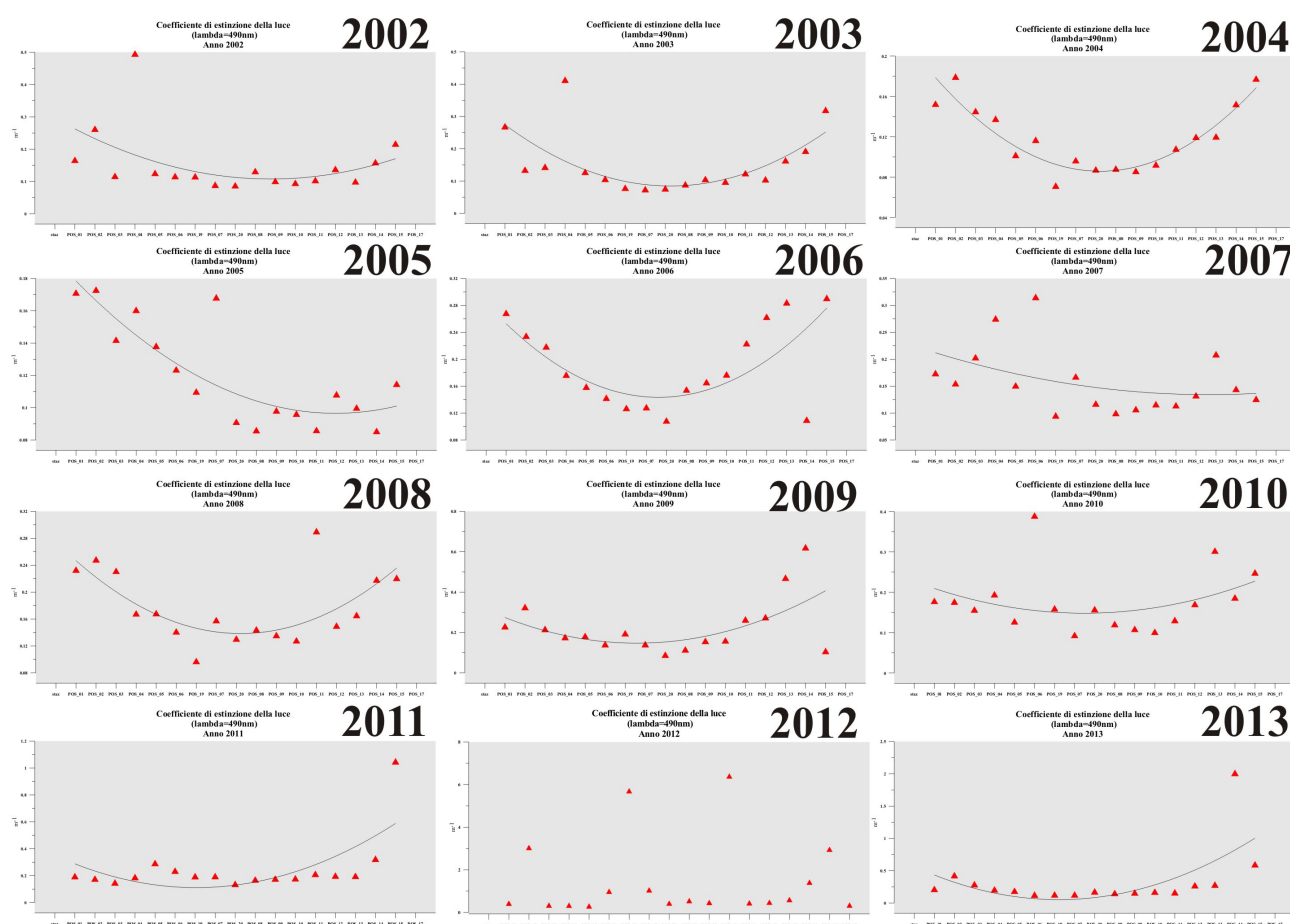


Fig.. 10.5. Valori medio di Kd490 nelle stazioni di campionamento dal 2002 ad oggi

Come si evince dalle curve di andamento dei valori in ogni anno, il settore centrale dell'area di studio è generalmente caratterizzato da valori di coefficienti di attenuazione della luce minori rispetto ai settori adiacenti a nord ed a sud, mostrando come il settore centrale dell'area di studio sia caratterizzato da una maggiore penetrazione della luce e di conseguenza da una maggiore trasparenza dell'acqua.

III. RISULTATI

11. RISULTATI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE

Al fine di valutare quanto incidono sullo stato di salute delle praterie le attività di dragaggio dei fondali marini, sono state eseguite delle simulazioni numeriche in diverse condizioni meteomarine volte a valutare la dispersione del materiale in sospensione nelle acque marine costiere, proveniente sia da un'attività antropica di dragaggio sia dalle foci fluviali.

Al fine di valutare la dispersione ed il destino del sedimento risospeso durante le attività di dragaggio, sono state utilizzate le informazioni relative ad un'intervento eseguito nella zona portuale di Civitavecchia nel periodo compreso tra Giugno 2006 e Ottobre 2007 per la costruzione del molo carbone della Centrale Elettrica ENEL Torvaldaliga Nord, durante la quale vennero movimentati circa 1950000 m³ di materiale costituito dal 60% di arenaria e dal 40% di argilla limosa.; ciò portò ad una concentrazione di solido sospeso nell'acqua di circa 55 g/m³ in fase di opera.

Per simulare la dispersione del materiale in sospensione proveniente dalle foci fluviale, nel modello sono stati inserite come dato di *input* le portate medie dei principali corsi d'acqua presenti nell'area di studio:

- il fiume Marta ed il fiume Mignone per il tratto di costa compreso tra il Porto di Civitavecchia e Marina di Tarquinia;
- il Fosso Scarpato e Fosso del Marangone presenti tra Capo Linaro e Civitavecchia;
- il Fosso Castelsecco e Rio Fiume per l'area a sud.

La simulazione delle condizioni idrodinamiche è stata eseguita inserendo in *input* i dati di onda e di vento reali, del periodo in cui è stato eseguito l'intervento; i primi sono stati acquisiti dal sito <http://forecast.uoa.gr/wamindx.php> del Atmospheric Modeling and Weather Forecasting Group – AM&WFG dell'Università di Atene, mentre i dati di vento sono stati presi dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare(CNMCA).

Sono stati simulati i seguenti scenari:

- scenario estivo (23-28 Luglio 2006) con sorgente di dispersione in prossimità della Centrale Elettrica ENEL TVN;
- scenario estivo (23-28 Luglio 2006) con diverse sorgenti di dispersione in prossimità della Centrale Elettrica ENEL TVN e delle foci fluviali;

III. RISULTATI

- scenario estivo (23-28 Luglio 2006) con diverse sorgenti di dispersione in prossimità delle foci fluviali;
- scenario invernale (23-26 Gennaio 2007) con sorgente di dispersione in prossimità della Centrale Elettrica ENEL TVN;
- scenario invernale (23-26 Gennaio 2007) con diverse sorgenti di dispersione in prossimità della Centrale Elettrica ENEL TVN e delle foci fluviali;
- scenario invernale (23-26 Gennaio 2007) con diverse sorgenti di dispersione in prossimità delle foci fluviali.

Qui di seguito vengono presentati i risultati delle simulazioni relative sia al campo idrodinamico sia alla dispersione del sedimento sospeso nei diversi scenari.

Il campo idrodinamico nella condizione estiva mostra velocità di corrente molto basse (<0.005 m/s) principalmente dirette da nord ovest verso sud est; alla fine del periodo della simulazione si osserva un intensificarsi delle correnti sempre in direzione sud-est, con velocità che raggiungono circa i 0.05 m/s. L'immagine mette in evidenza la presenza di correnti di ritorno dovute al moto ondoso su quasi tutto il tratto di costa.

III. RISULTATI

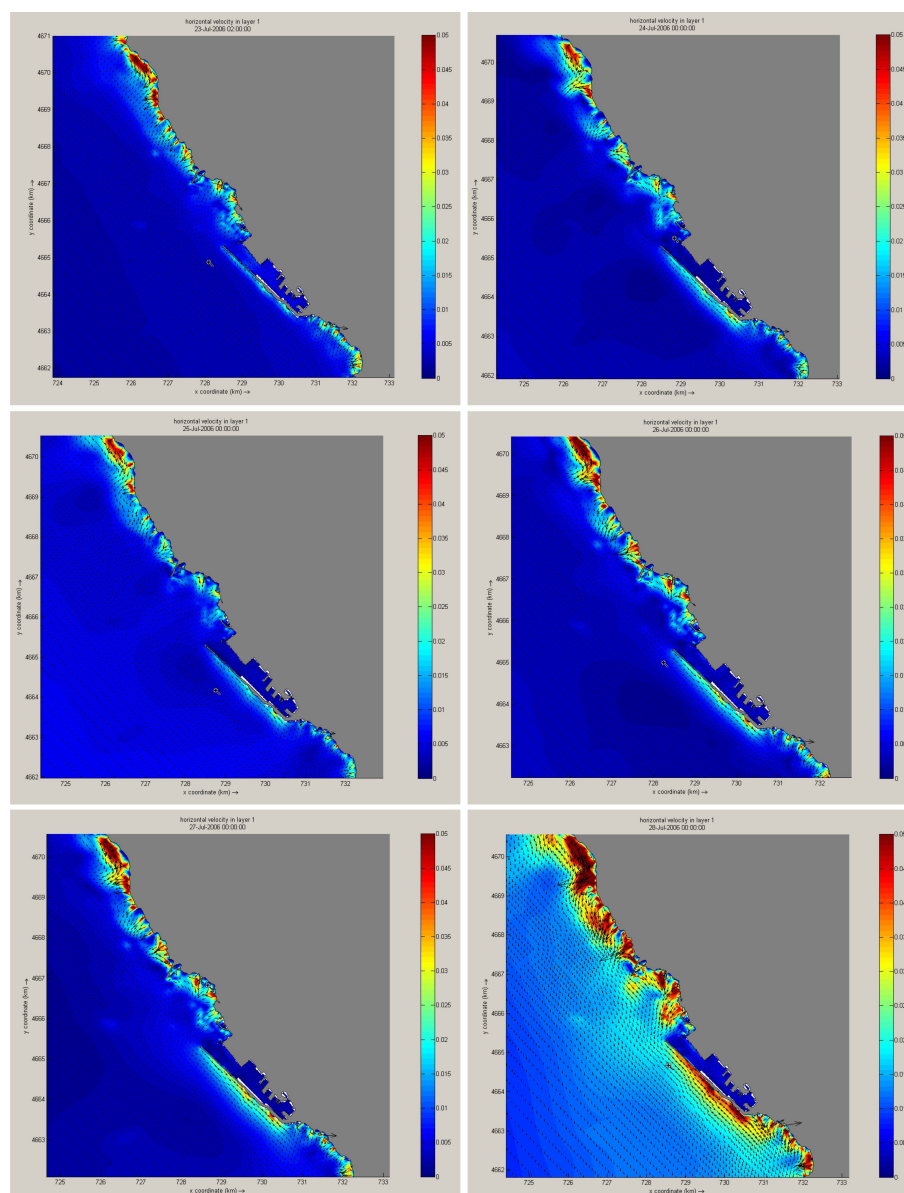


Fig. 11.1. Simulazione del campo idrodinamico in uno scenario estivo

Dal campo idrodinamico appena descritto, si evince che in presenza di un'attività di dragaggio il materiale movimentato rimane confinato nell'area limitrofa al punto di sversamento in elevate concentrazioni (fino ad 1 g/m^3), propagandosi in parte all'interno dell'area portuale ed in parte spostandosi lungo l'antemurale del porto, raggiungendone il limite meridionale con basse concentrazioni ($0.1-0.2 \text{ g/m}^3$).

III. RISULTATI

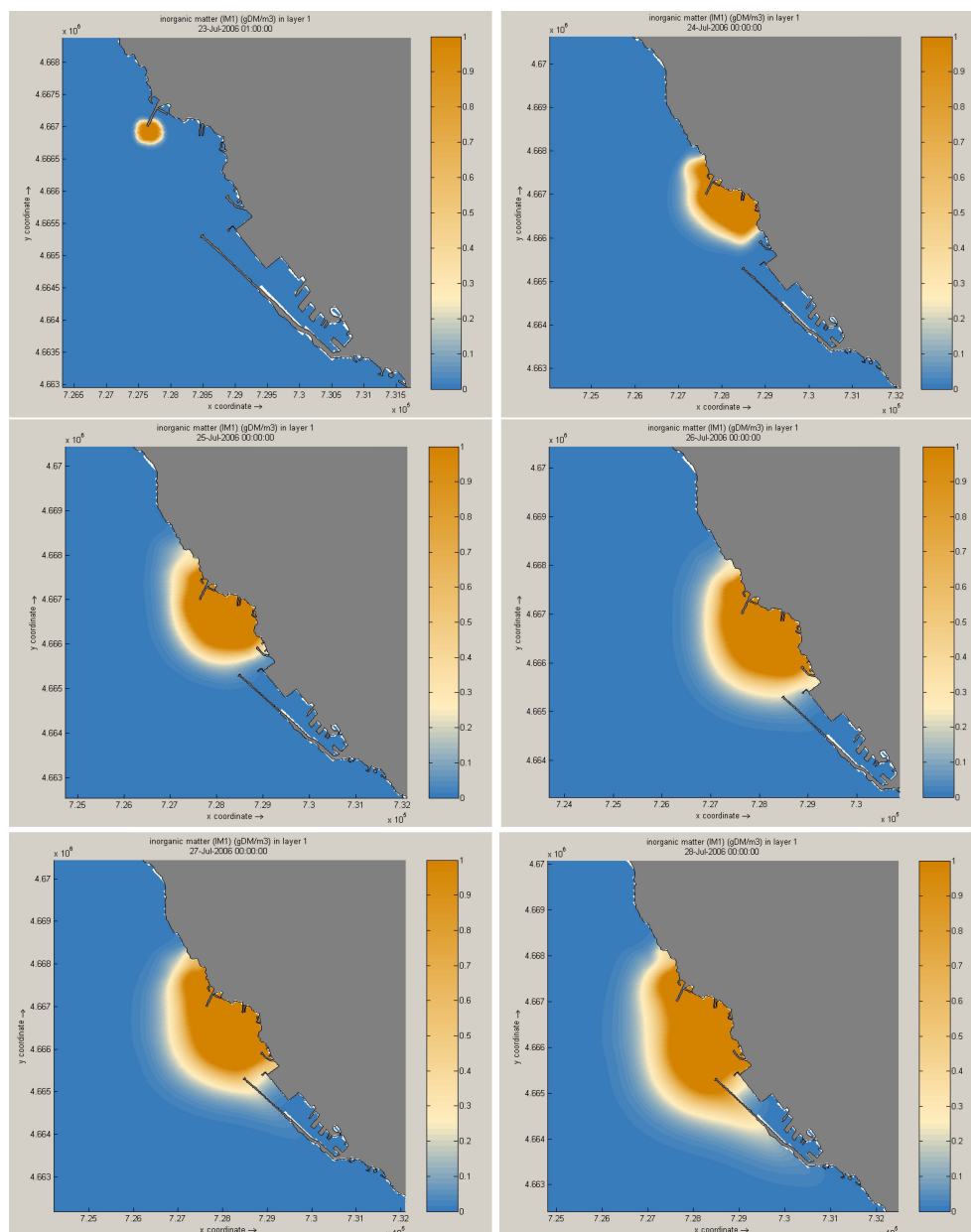


Fig. 11.2. Simulazione della dispersione del materiale sospeso durante le attività di dragaggio eseguite all'interno dell'area portuale di Civitavecchia

Inserendo nello scenario estivo anche gli *input* fluviali, si nota che l'area influenzata dal materiale trasportato dai corsi d'acqua si propaga lentamente intorno alla foce; dopo due giorni dall'inizio della simulazione questo materiale segue le correnti che si spostano verso sud est.

III. RISULTATI

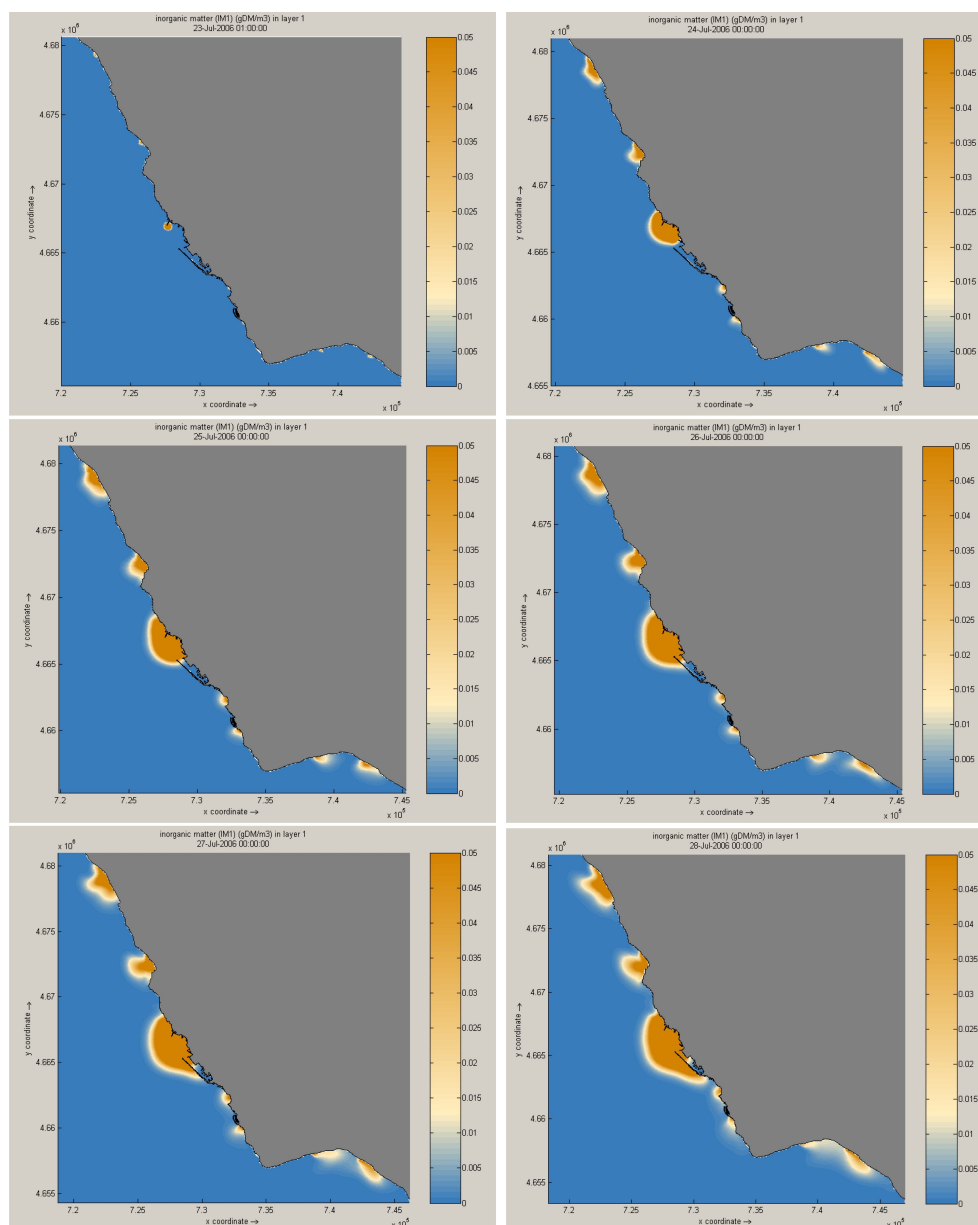


Fig. 11.3. Simulazione della dispersione del materiale sospeso durante le attività di dragaggio e del materiale fine trasportato dai corsi d'acqua

Nella simulazione dello scenario invernale si ha un campo idrodinamico più intenso rispetto allo scenario estivo; in particolare le correnti si intensificano nel periodo compreso tra il 24 ed il 25 Gennaio durante il quale le velocità superano gli 0.5 m/s con direzione nord-nord ovest; la velocità sembra in particolare essere più intensa nella zona a nord del porto e in corrispondenza di punta del Pecoraro. Con l'aumento del regime ondoso si intensificano le correnti di ritorno verso il largo con velocità che possono raggiungere anche i 0.45 m/s; le immagini hanno anche messo in evidenza la presenza di correnti perpendicolari all'antemurale, dovute probabilmente alla riflessione delle onde sulla struttura.

III. RISULTATI

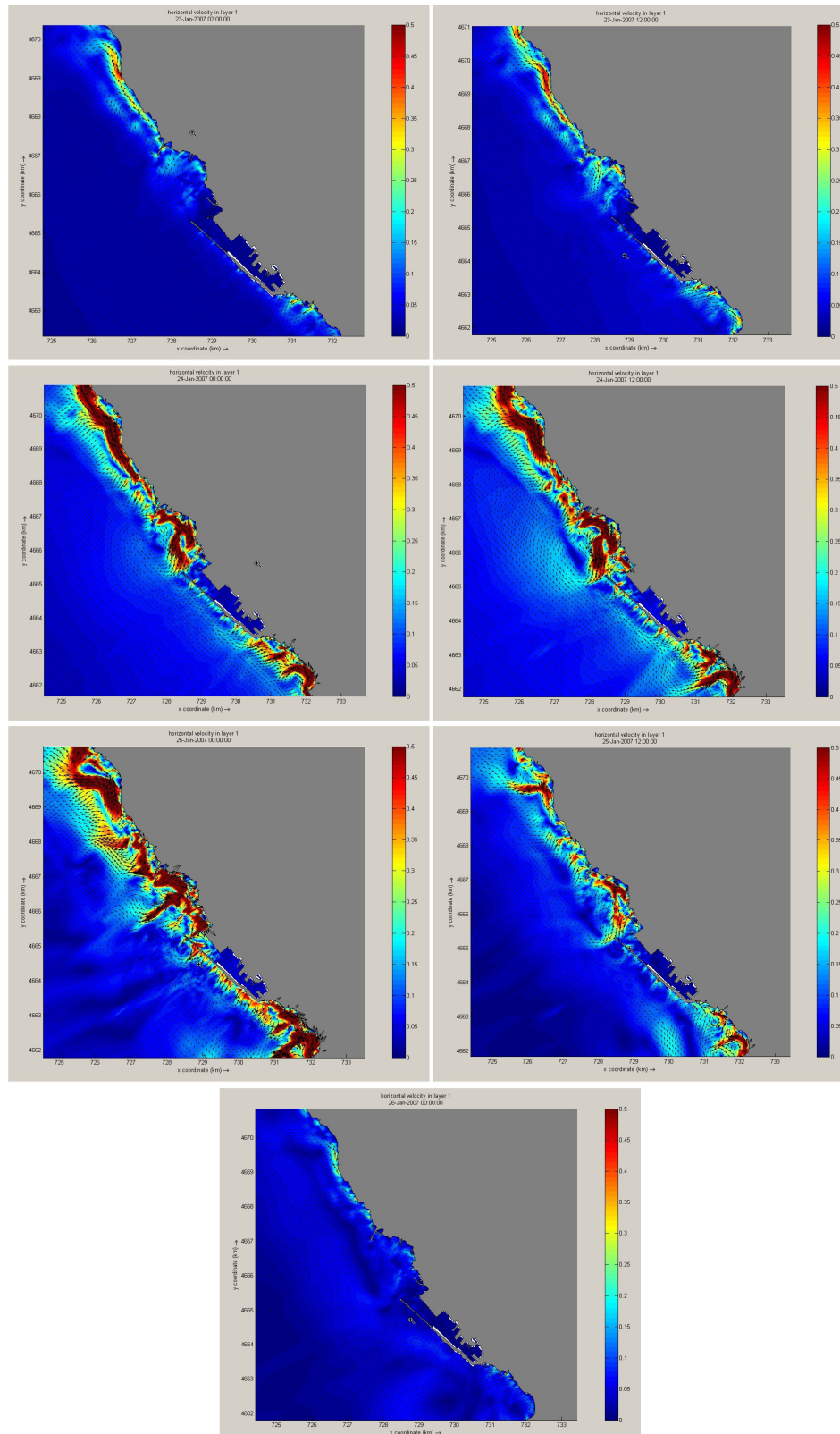


Fig. 11.4. Simulazione del campo idrodinamico in uno scenario estivo

Nelle condizioni invernali il materiale che viene movimentato durante il dragaggio viene

III. RISULTATI

subito disperso dalle correnti intorno all'area delle attività, diffondendosi principalmente (concentrazioni $<3 \text{ g/m}^3$) in direzione est-sud e finendo in basse concentrazioni verso nord ($1\text{-}1.5 \text{ g/m}^3$). Con l'aumentare della velocità della corrente il sedimento viene trasportato in concentrazioni molto basse verso nord, fino a raggiungere l'altezza della foce del Fiume Marta.

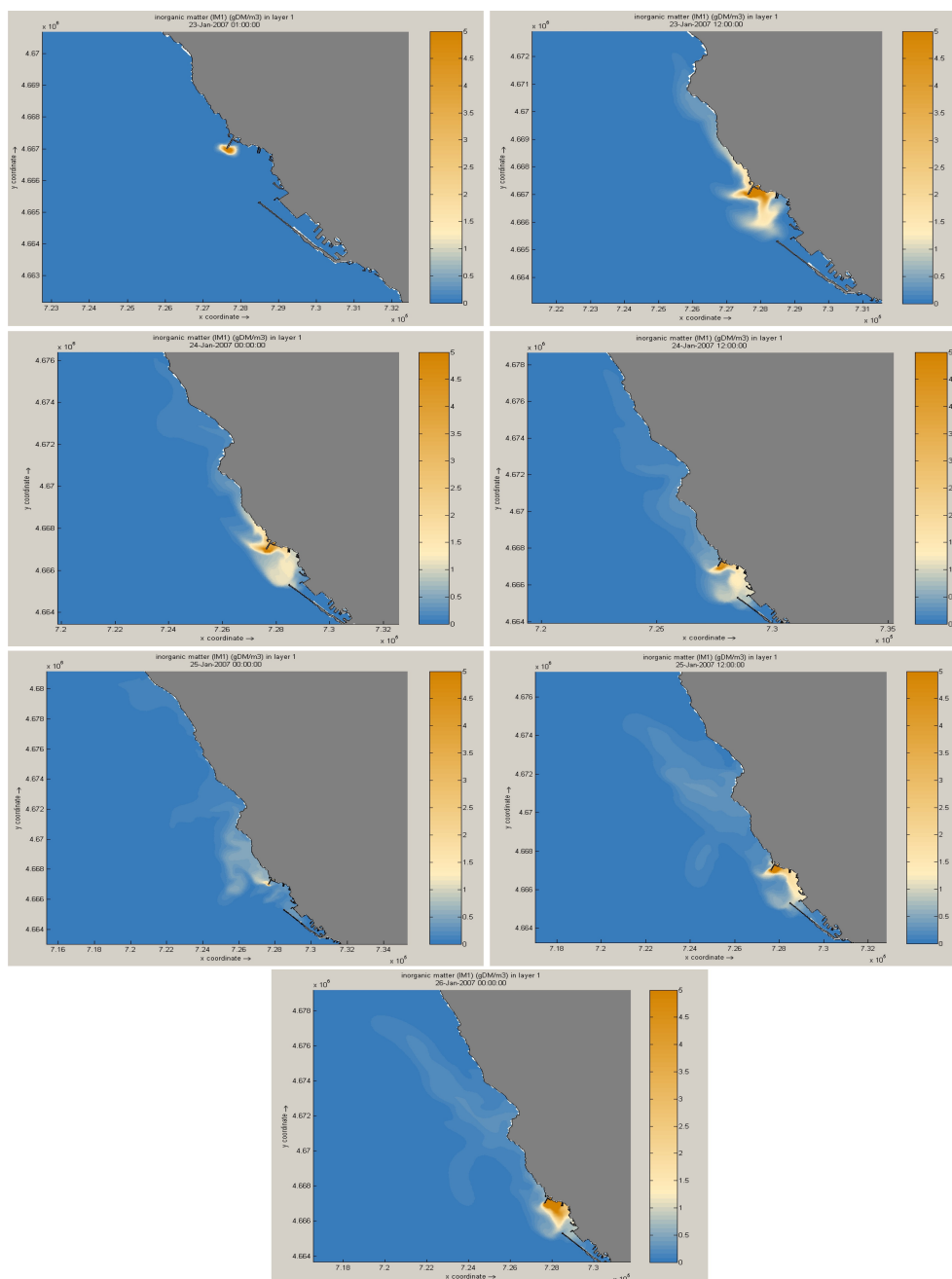


Fig.11.5. Simulazione della dispersione del materiale sospeso durante le attività di dragaggio

III. RISULTATI

Il materiale immesso in mare dalle foci fluviali e preso in carico dalle correnti ha lo stesso comportamento del materiale sospeso durante le attività di dragaggio, con una rapida diffusione diretta principalmente in direzione nord- nord est. Nel caso della presenza degli input fluviali si osserva come il trasporto del materiale movimentato e risospeso durante il dragaggio verso nord venga mascherato dalla presenza delle plume dei fiumi Marta e Mignone.

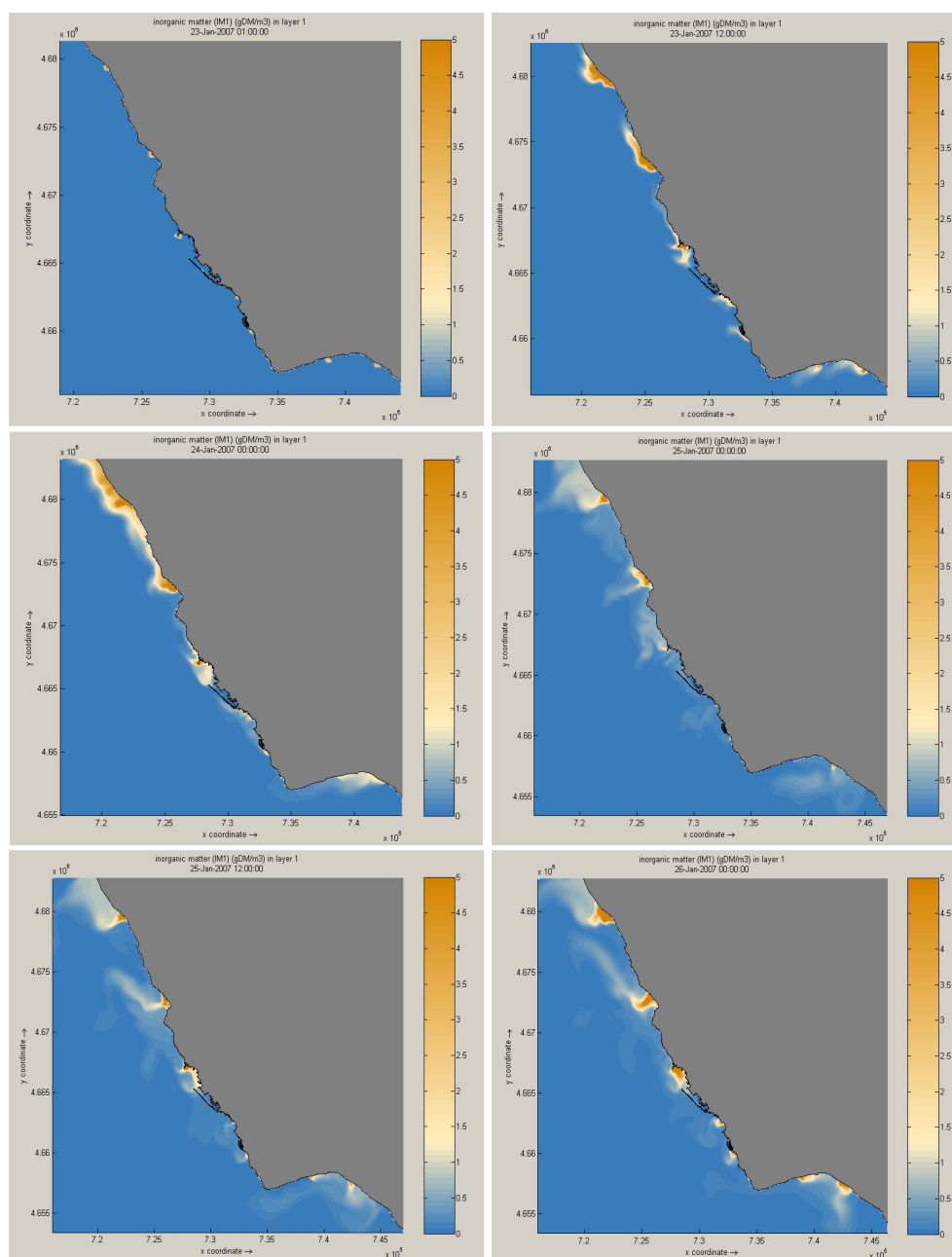


Fig. 11.6. Simulazione della dispersione del materiale sospeso durante le attività di dragaggio e del materiale fine trasportato dai corsi d'acqua

III. RISULTATI

Dai risultati dei modelli sono stati estrapolati i dati di concentrazione (g/m^3) di materiale in sospensione presente in ogni punto di campionamento durante le simulazioni. Nei seguenti grafici ne è riportata la concentrazione del materiale simulata dai modelli nelle diverse condizioni meteo-marine, estive (Fig. 11.7) ed invernali (Fig. 11.8).

In entrambe le condizioni si osserva che nella maggior parte delle stazioni il materiale in sospensione a causa delle attività di dragaggio è presente in concentrazioni minori rispetto il materiale immesso dalle foci fluviali.

Nelle simulazioni del campo idrodinamico nel periodo estivo si osserva come le correnti dal porto siano dirette in direzione sud-est; nonostante ciò dai grafici riportati nella figura 11.7 si osserva come nelle stazioni poste immediatamente a nord del porto (POS_05 e POS_04) sia presente in sospensione principalmente materiale proveniente dalle attività di dragaggio, mentre le stazioni poste in prossimità della foce del Mignone e del Marta, presentano materiale di origine fluviale (POS_03, POS_02 e POS_01). Nelle stazioni comprese tra Civitavecchia e Capo Linaro (POS_07, POS_08, POS_09 e POS_10) si osserva l'influenza dei numerosi fossi a carattere torrentizio presenti lungo il litorale, con concentrazione di materiale in sospensione di origine fluviale decrescenti man mano che ci si avvicina al promontorio. Le stazioni poste in prossimità di Capo Linaro (POS_11 e POS_12), proprio per la dinamica che caratterizza i promontori, presentano concentrazioni del materiale in sospensione molto basse, principalmente di provenienza dalle attività di dragaggio. Le stazioni POS_13, POS_14 e POS_15 si trovano in corrispondenza delle foci fluviali del Fosso di Castelsecco e del Rio Fiume così come mostrano i grafici in cui si osserva come il materiale proveniente dal dragaggio sia quasi totalmente assente mentre sono presenti in elevate concentrazioni i materiali di origine fluviale.

Nelle condizioni meteo-marine invernali il campo idrodinamico molto più intenso porta ad una maggior dispersione del materiale dragato, in particolare in direzione nord nord-ovest (Fig. 11.8). Le stazioni POS_05 e POS_04 presentano concentrazioni molto elevate di materiale dragato in sospensione; tale materiale risulta presente in elevate concentrazioni anche nelle stazioni poste in prossimità delle foci fluviali (POS_03, POS_02 e POS_01), sebbene con un graduale cambio di tendenza a favore del materiale apportato dai fiumi Marta e Mignone.

In tutte le stazioni poste a sud di Civitavecchia (dalla stazione POS_07 alla stazione POS_15) si ha un'elevata concentrazione di sospensione dovuta alle piene fluviali invernali

mentre la corrente diretta principalmente verso nord nord ovest fa sì che nel settore centrale e meridionale non arrivi il materiale proveniente dalle attività di dragaggio.

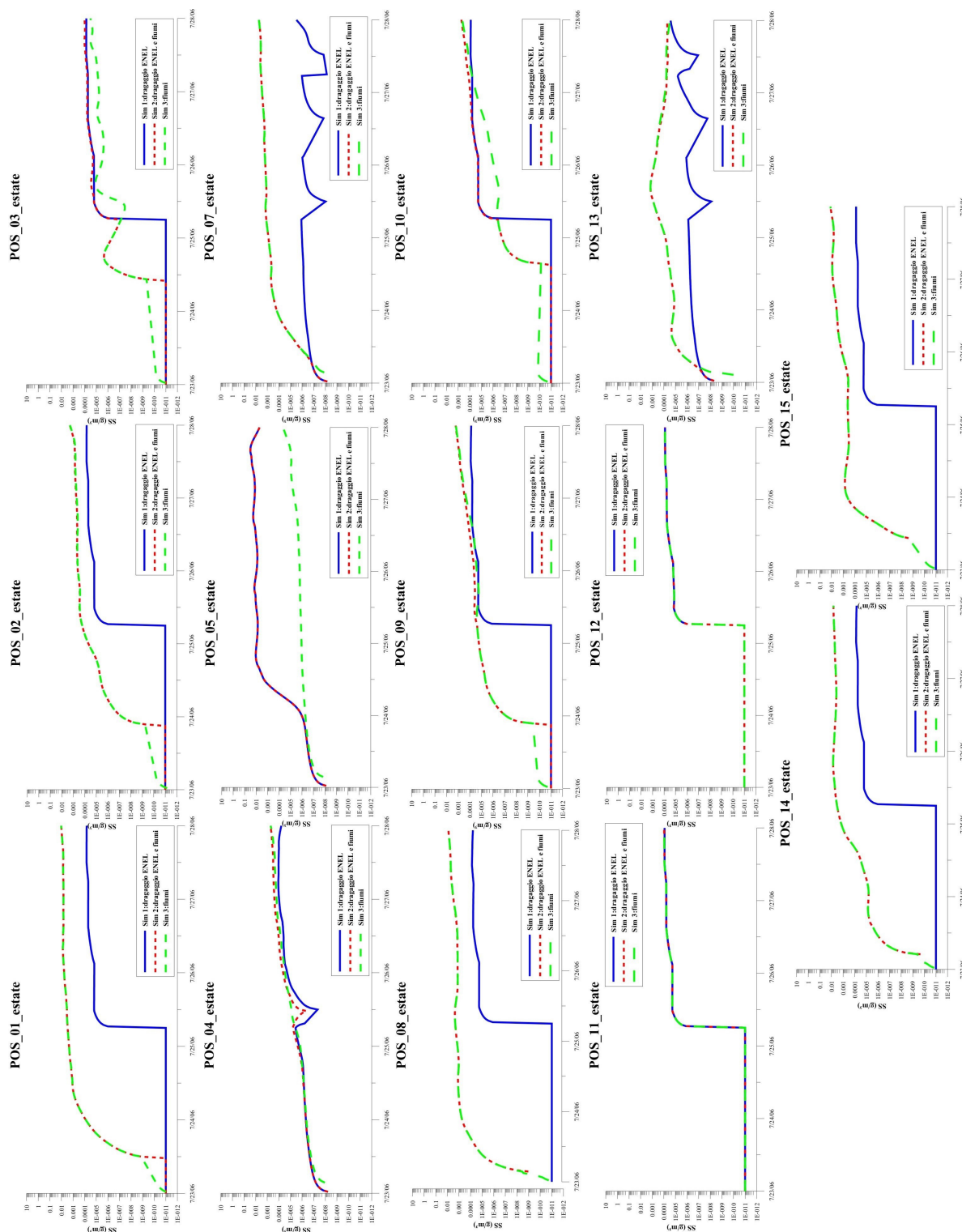


Fig. 11.7. Concentrazione del materiale in sospensione nelle stazioni di campionamento nelle 3 simulazioni in condizione meteo-marine estive: dispersione materiale dragato (linea continua blu), dispersione del materiale di origine fluviale (linea tratteggiata verde) e materiale totale presente in sospensione (linea tratteggiata rossa)

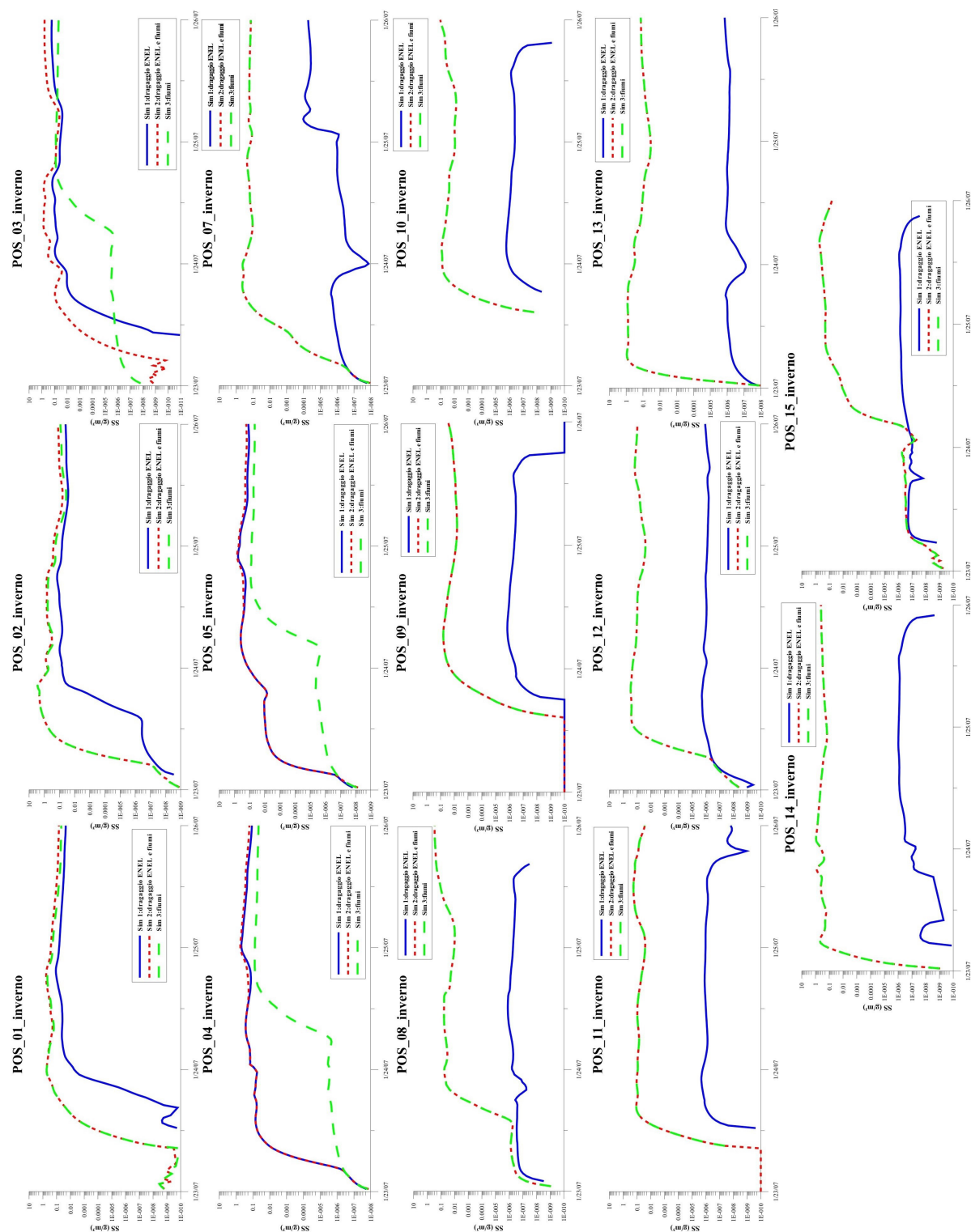


Fig. 11.8. Concentrazione del materiale in sospensione nelle stazioni di campionamento nelle 3 simulazioni in condizione meteo-marine estive: dispersione materiale dragato (linea continua blu), dispersione del materiale di origine fluviale (linea tratteggiata verde) e materiale totale presente in sospensione (linea tratteggiata rossa)

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

PARTE IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

12. DISCUSSIONI

Il presente studio ha avuto come obiettivo la valutazione della variazione spaziale e temporale dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti lungo la costa settentrionale del Lazio, in particolare tra Marina di Tarquinia e Santa Severa; tale area è caratterizzata da una elevata eterogeneità geomorfologica e dalla presenza di numerose e diverse attività antropiche che incidono sugli ecosistemi costieri. A tal scopo nel Giugno 2013 sono stati eseguiti dei campionamenti *in situ* in 18 stazioni distribuite lungo tutta la costa; per evidenziare la presenza di variazioni nello stato di salute delle praterie è stato eseguito anche un confronto con i dati acquisiti in 5 campagne di monitoraggio eseguite tra Luglio 2002 e Novembre 2005.

Le principali cause di regressione e deterioramento delle praterie di *Posidonia oceanica* sono l'aumento della torbidità delle acque costiere e le variazioni nei bilanci sedimentari costieri, che possono aver luogo sia per cause naturali (ad esempio la variazione dei regimi pluviometrici) sia per cause antropiche dirette (attività di dragaggio) o indirette (regimazione e captazione dei corsi d'acqua, cambiamenti nell'uso del suolo, ecc) (Boudouresque, et al., 2012). Queste variabili sono, infatti, strettamente legate sia all'uso del suolo sia alle variazioni dei regimi fluviali (portate liquide, portate solide, competenza) dei corsi d'acqua. Si è cercato, così di comprendere quali fossero le principali forzanti nel determinare la distribuzione strutturale e lo stato fisiologico delle praterie presenti nell'area di studio e se queste fossero o meno di natura antropica.

Lo studio della variabilità temporale delle praterie di *Posidonia oceanica*, ha reso necessario l'analisi anche di tutte le variabili ambientali che possono incidere sulla dinamica delle popolazioni. Sono stati quindi analizzati dati relativi:

- ai cambiamenti nell'uso e nella copertura del suolo;
- all'attenuazione della luce lungo la colonna d'acqua (Kd490) acquisiti da piattaforme di misura satellitari;
- ai regimi pluviometrici e alle portate liquide dei principali bacini idrografici che influenzano la dinamica litoranea dell'area di studio (fiume Fiora, fiume Marta, fiume Mignone, fiume Tevere ed alcuni fossi minori);

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

- alle condizioni meteomarine.

Queste ultime sono state anche utilizzate come dati di *input* per i modelli numerici per la simulazione della propagazione del moto ondoso e della dispersione del materiale fine in sospensione volti a valutare gli effetti delle attività di dragaggio sulle praterie di *Posidonia oceanica*.

12.1. Analisi spaziale dei descrittori strutturali e funzionali

I risultati ottenuti dall'analisi spaziale dei parametri strutturali hanno messo in evidenza la presenza di un paesaggio sottomarino estremamente frammentato ed accidentato. Tale morfologia tende a semplificarsi con l'aumentare della profondità in quanto diminuisce il grado di copertura con tendenza alla scomparsa della prateria che diviene semi-prateria. Secondo la classificazione proposta nel 1995 (Pergent et al., 1995), le praterie studiate sono classificate per la maggior parte come praterie disturbate con densità dei fasci fogliari da anormale a bassa, con alcune situazioni in cui si sono osservate praterie con densità normale.

In accordo con gli studi pregressi (Paticchio, 2013), nell'area settentrionale dell'area di studio, si è osservato un trend negativo nei valori di densità assoluta dei fasci fogliari andando dalla stazione POS_05 (località La Frasca) alla stazione POS_01 (Marina di Tarquinia). Tale trend è probabilmente attribuibile alla presenza di importanti corsi fluviali quali il fiume Marta ed il fiume Mignone; le stazioni poste, invece, più a sud sui fondali prospicienti la località La Frasca, nonostante la loro vicinanza ad una zona fortemente industrializzata (Centrali di produzione di energie elettrica ed il porto di Civitavecchia) mostrano i valori di densità dei fasci fogliari più alti di tutto il settore nord.

Lo studio dei parametri strutturali e funzionali nel settore centrale ha mostrato come la variabilità che caratterizza le praterie di *Posidonia oceanica*, presenti tra Marina di Tarquinia e Santa Severa, sia principalmente dovuta alla elevata eterogeneità di substrati che la pianta colonizza. I fondali compresi tra Civitavecchia e Santa Marinella sono di natura principalmente rocciosa, pertanto le praterie appaiono molto articolate e discontinue con una elevata variabilità del dato sia di densità relativa che di densità assoluta. È da notare la presenza di un gradiente crescente nei valori di densità assoluta dalla stazione POS_20, posta in prossimità della foce del fosso Marangone, alla stazione POS_09; tale gradiente è attribuibile all'influenza della foce fluviale, i cui apporti, come si osserva nelle immagini delle

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

simulazioni, si disperdono verso sud.

Le stazioni poste in corrispondenza del promontorio di Capo Linaro (POS_10 e POS_11) mostrano valori di densità, sia assoluta sia relativa, più bassi rispetto alle stazioni adiacenti, a causa di situazioni idrodinamiche poco favorevoli alla propagazione della *Posidonia*.

Le principali differenze osservate tra i dati di macroripartizione rilevati nelle stazioni sono imputabili principalmente alla tipologia di substrato su cui le praterie sono insediate ed alla profondità di campionamento, mentre non è sembrata essere rilevante la distanza da un'importante fonte di disturbo quale il Porto di Civitavecchia.

Anche l'analisi spaziale dei parametri fenologici ha messo in luce una elevata eterogeneità, in particolare nella zona compresa tra Civitavecchia e Capo Linaro, in cui è maggiore la complessità geomorfologica; così come messo in luce anche in studi recenti (Di Maida et al., 2013), la morfologia degli individui di una popolazione è strettamente legata alle condizioni idrodinamiche e sedimentologiche dell'area in cui quella popolazione si sviluppa.

Il numero di foglie per fascio di ciascuna delle tre categorie rispecchia il pattern del periodo stagionale in cui è stato eseguito il campionamento; infatti nel periodo di Aprile-Giugno, ha inizio il risveglio vegetativo dell'apice meristematico con un aumento nel tasso di crescita delle foglie intermedie, presenti in tutte le stazioni in numero maggiore rispetto alle altre categorie fogliari. Lo stesso vale anche per la lunghezza media delle foglie intermedie che in tutte le stazioni sono risultate essere di maggiori dimensioni rispetto alle foglie adulte.

La larghezza dei lembi fogliari non mostra variazioni particolari nella distribuzione sull'area di studio, sebbene si osservi una maggior dispersione del dato nell'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Capo Linaro, in cui la maggior parte delle praterie si sviluppa su roccia.

I parametri sintetici derivati dalle misure biometriche dei fasci prelevati *in situ* non mostrano particolari differenze nei tre settori dell'area di studio; per quanto riguarda la superficie fogliare e il LAI le uniche differenze riscontrate sono data dalle diverse profondità di campionamento. Il Coefficiente A, invece, che rappresenta la percentuale degli apici erosi presenti nei fasci prelevati, oltre a mostrare una diminuzione dalle stazioni poste più in superficie alle stazioni poste più in profondità, mostra anche dei valori più bassi nel settore più a sud, dovuti probabilmente a condizioni idrodinamiche particolarmente più intense in questa zona.

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

12.2. Analisi temporale dei descrittori strutturali e funzionali

L'analisi temporale dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* e delle variabili ambientali (regimi pluviometrici, coefficienti di estinzione della luce nell'acqua) non ha messo in luce la presenza di cambiamenti significativi nei valori di densità nel periodo compreso tra Luglio 2002 a Giugno 2013 (corrispondenti a 6 campagne di campionamento). L'esecuzione di tali campagne di misura in periodi stagionali differenti, ha messo, invece, in evidenza una elevata variabilità dei parametri fenologici attribuibile principalmente alle variazioni stagionali; per tale motivo la dinamica delle praterie di *Posidonia oceanica* negli anni può essere valutata tendendo in considerazione i valori di densità assoluta.

I valori di densità assoluta dei fasci fogliari, rilevati durante le campagne di monitoraggio nelle stazioni del settore Nord dell'area di studio, hanno messo in evidenza la presenza di un trend negativo andando dalle stazioni poste a nord del Porto di Civitavecchia alle stazioni poste in prossimità di Marina di Tarquinia. Le stazioni POS_05 e POS_04, infatti, mostrano un aumento negli anni del valore di densità assoluta, mentre le stazioni POS_03, POS_02 e POS_01 mostrano una diminuzione di tale parametro. Questo risultato è in accordo con i valori degli Indici di Conservazione calcolati nella stessa da Patricchio (2013).

Il settore centrale è quello in cui si è osservata la maggior variabilità spaziale dei parametri strutturali e funzionali, ma che risulta essere più stabile nel corso del tempo; mentre in generale le praterie presenti a sud hanno mostrato, nel corso del tempo, un peggioramento dello stato di salute della pianta. In particolare la stazione POS_14 è risultata essere la stazione con i valori più bassi sia dei parametri strutturali (stazione con la maggior percentuale di matte morta, >70%) sia dei parametri fenologici.

Le stazioni poste in corrispondenza del promontorio di Capo Linaro mostrano valori di densità, sia assoluta sia relativa, più bassi rispetto alle stazioni adiacenti; questo potrebbe essere dovuto alla presenza di condizioni idrodinamiche (ad esempio correnti di fondo) che limitano ed influenzano la colonizzazione del substrato da parte della pianta.

12.3. Analisi temporale delle variabili ambientali

Per capire processi che regolano la distribuzione e la dinamica delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti tra Marina di Tarquinia e Santa Severa, sono stati analizzati i dati relativi

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

alle variazioni nell'uso del suolo, ai regimi pluviometrici dei principali corsi d'acqua presenti nell'area di studio ed al coefficiente di attenuazione della luce lungo la colonna d'acqua.

L'analisi dei dati relativi ai cambiamenti dell'uso e della copertura del suolo ottenuti dal programma CORINE, non ha messo in evidenza la presenza di importanti variazioni dal 2000 al 2006, se non un incremento del 6% di superficie artificiale a discapito di quella naturale nel bacino idrografico del Mignone; allo stesso modo non sono risultate variazioni nei regimi pluviometrici dei bacini idrografici presenti nell'area di studio.

L'analisi dei valori del coefficiente di estinzione della luce a 490 nm (K_{d490} , da informazioni sulla trasparenza della colonna d'acqua), mostra la presenza un gradiente spaziale da nord a sud.

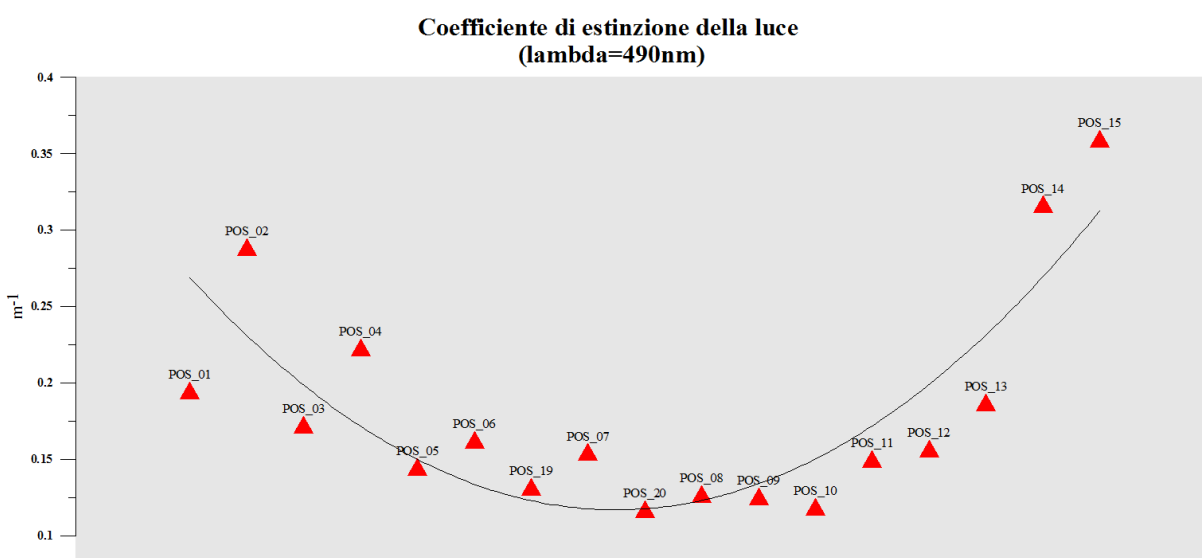


Fig. 12.1. Valori del K_{d490} medi nelle 18 stazioni di campionamento

L'area compresa tra il Porto di Civitavecchia e Santa Marinella presenta valori più bassi del coefficiente di estinzione, rispetto alle aree a nord di Punta Sant'Agostino e a sud di Santa Marinella; queste, infatti, presentano numerosi corsi d'acqua con regime tendenzialmente alluvionale e dalla presenza di una percentuale maggiore di substrato sabbioso nell'area costiera (vedi anche Paticchio, 2013).

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

12.4. Simulazione della dispersione del sedimento in sospensione attraverso i modelli numerici

Al fine di analizzare e discriminare gli effetti delle fonti di disturbo sia naturale (apporti solidi fluviali ed idrodinamismo) sia antropico (attività di dragaggio), sono state eseguite simulazioni della dispersione del materiale in sospensione proveniente dalle attività di dragaggio eseguite nel corso degli anni nell'area portuale di Civitavecchia, in diverse condizioni meteo-marine. È stato simulato uno scenario tipico estivo con onde provenienti principalmente dal III quadrante (245° a 285° Nord -Libeccio), ed uno scenario tipico invernale con onda proveniente dal II e dal III quadrante; in entrambe le condizioni sono state eseguite due diverse simulazioni mettendo solo le attività di dragaggio come fonte di disturbo o inserendo anche gli apporti solidi provenienti dalle foci fluviali.

Questo ha permesso di osservare che la concentrazione in acqua del materiale dragato è inferiore al materiale di origine fluviale in tutte le stazioni di campionamento, tranne nelle due più adiacenti (POS_04 e POS_05); tale concentrazione tende ad aumentare nei mesi invernali nelle stazioni a nord del Porto di Civitavecchia (POS_01, POS_02 e POS_03), pur non raggiungendo le concentrazioni del materiale proveniente dai fiumi. Inoltre dalle simulazioni si evince come il materiale sospeso durante le azioni di dragaggio non raggiunga mai, o solo in concentrazioni molto basse, il settore centrale e meridionale dell'area di studio. Anche le stazioni poste in quest'ultimo mostrano dei trend temporali del valore di densità assoluta piuttosto variabili; le stazioni POS_12 e POS_15 mostrano un aumento di tale parametro, le altre invece mostrano un netto decremento. La diminuzione del numero dei fasci fogliari nella stazione POS_11 potrebbe essere dovuta alla variazione di condizioni idrodinamiche. Le stazioni POS_13 e POS_14 invece si trovano in corrispondenza delle foci del Fosso di Castelsecco ed del Rio Fiume. Dalle simulazioni si nota come le *plumes* di questi due corsi d'acqua, nelle condizioni tipiche invernali, si spostano verso ovest raggiungendo Capo Linaro; inoltre si può anche osservare che la presenza del Porticciolo Turistico di Santa Marinella faccia effetto ombra sulla stazione POS_12 che non rientra nell'area di dispersione e presenta, così, un gradiente positivo di densità assoluta dei fasci nell'arco di tempo considerato. Lo stesso non avviene nelle stazioni POS_13 e POS_14, che vengono investite dalle *plumes* fluviali.

Di conseguenza i dragaggi eseguiti nell'area portuale non risultano influenzare, in maniera

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

evidente, lo stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti nell'area di studio. Tale risultato è avvalorato dalle misure di densità assoluta dei fasci fogliari eseguite dal 2002 al 2013; ciò è anche confermato da una serie di campionamenti eseguiti nel Febbraio 2012, non riportati in questo lavoro, presso Punta Mattonara, nell'area compresa tra il Porto e il complesso energetico di Torre Valdaliga. Durante tali campionamenti è risultata la presenza di praterie di *Posidonia oceanica* frammentate ma con elevati valori di densità assoluta dei fasci fogliari; tali valori, confrontati con la scala di riferimento proposta nel 1995 da Pergent, hanno messo in evidenza la presenza di praterie in equilibrio con densità normale.

Inoltre il trend nei valori di densità assoluta rilevato nelle stazioni poste a nord del Porto di Civitavecchia è in accordo con quanto riportato dal lavoro di Scanu (2012) in cui sono stati calcolati i ratei di accumulo di sedimento (Fig. 12.2). Il lavoro ha mostrato come gli ultimi 10 anni siano stati caratterizzati dall'aumento nel rateo sedimentario sia nella zona del Marta sia nella zona del Mignone. L'aumento del rateo di deposizione del sedimento può essere la causa trend negativo osservato nei valori di densità assoluta man mano che ci si avvicina alle foci dei due fiumi.

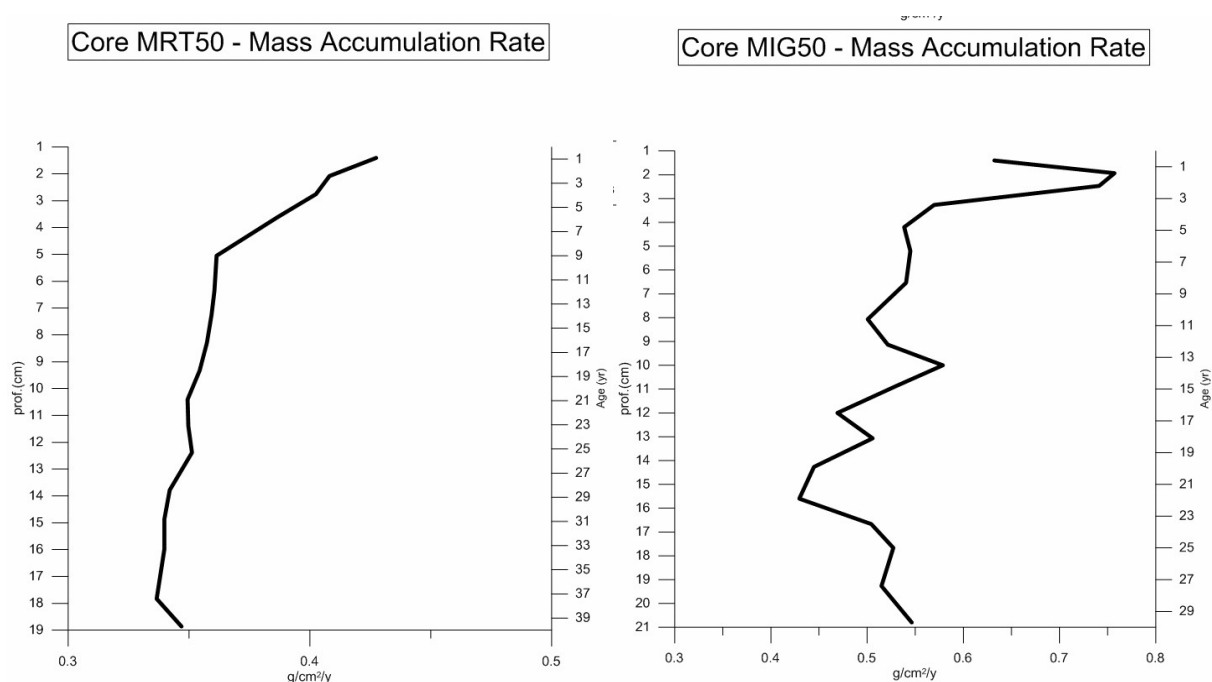


Fig. 12.2. Profili di accumulo sedimentario della frazione (Scanu, 2012)

Tali variazioni non possono essere attribuite ai cambiamenti di uso e copertura del suolo dei bacini idrografici dei due fiumi, che, come detto in precedenza, sono stati di piccola entità (6%) negli ultimi 10 anni; questo fa supporre che nel periodo di tempo analizzato in questo

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

contesto non ci siano state variazioni apprezzabili nella quantità degli apporti solidi fluviali.

Ciò potrebbe essere quindi attribuito, così come riportato in Scanu (2012), ad interventi di ripascimento eseguiti lungo il litorale di Marina di Tarquinia tra il 2000 ed il 2006, così come riportato

IV. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

13. CONCLUSIONI

L'analisi spaziale e temporale dei parametri strutturali e funzionali dello stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* mostra che i fattori che maggiormente determinano ne determinano la distribuzione e la dinamica sono le caratteristiche edafiche dell'area di studio e la presenza dei corsi d'acqua.

L'analisi dello stato di salute della pianta e dei parametri ambientali che possono influenzarne la dinamica di popolazione, nel periodo compreso tra il 2002 ed il 2013, non ha messo in evidenza la presenza di variazioni significative. Inoltre, in un contesto ambientale così eterogeneo dal punto di vista ambientale, le attività di dragaggio che sono state così frequentemente eseguite nell'area portuale (8 interventi in 15 anni), non sembrano aver influenzato in maniera significativa lo stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti lungo il litorale di Civitavecchia.

La *Posidonia oceanica* è una specie molto sensibile alle variazioni ambientali, sebbene l'ecosistema che contribuisce a formare, abbia una elevata resistenza alle fonti di disturbo; benchè lo studio non abbia messo in evidenza la presenza di criticità nello stato di salute delle praterie esaminate, è ben evidente un elevato grado di frammentarietà dell'ecosistema che tende ad aumentare la vulnerabilità della pianta. La complessità geomorfologica ed ambientale di un'area particolarmente antropizzata, rende difficile la distinzione di un disturbo antropico da un “rumore di fondo” naturale.

Per questo, propedeutico alla valutazione dello stato di salute di un ecosistema di tale importanza, quali le praterie di *Posidonia*, deve esserci uno studio approfondito dei fenomeni fisici, chimici e biologici che caratterizzano l'ambienti marini costieri, con una elevata scala di dettaglio.

Data l'importanza ormai ampiamente riconosciuta delle praterie di *Posidonia oceanica* come indicatore dello stato di salute dell'ambiente marino costiero (Bouderesque et. Al, 2001), e data la rilevanza ed il peso che hanno sulle economie locali, risulta necessaria una coordinazione sinergica degli enti locali e nazionali per la loro gestione e conservazione in vista di una ormai costante crescita delle attività antropiche incidenti sulla costa.

BIBLIOGRAFIA

ANSELMINI B., BRONDI A., FERRETTI O., RABOTTINO L. (1976) - Studio mineralogico e sedimentologico della costa compresa fra Ansedonia e la foce del Fiume Mignone. Soc. It. Min. Petr. Rendiconti, 32: 311-348.

ARDIZZONE G.D., PELUSI P., 1984. Yield and damage evaluation of bottom trawling on Posidonier meadows, Bourdoursque C.F., Jeudy de Grissac A., Oliver J., (Eds.), International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, 1, 63-72.

ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A. (1996). Le praterie di *Posidonia oceanica* delle coste laziali. In "Il mare del Lazio. Indagini e studi sul Mar Tirreno prospiciente le coste della regione Lazio". Convenzione Regione Lazio. Università degli studi di Roma "La Sapienza" pp: 194-217.

ASTRALDI M., BIANCHI C.N., GASPARINI G.P., MORRI C., 1995. Climatic fluctuations, current variability and marine species distribution: a case study in the Ligurian Sea (north-west Mediterranean). *Oceanology Acta* , 18 (2), 139-149.

AUGIER H., BOUDOURESQUE C. F., 1970. Vegetation marine de l'île de Port-Cros. La baie de Port-Man et le problème de la régression de l'herbier de Posidonie. Bull. Mus. Hist. nat. Marseille, 30, 145-164

AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1979. Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du "sous-marin" Griffon de la Marine Nationale. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros*, 5: 141-153.

AUGIER H., MAUDINAS B., 1979. Influence of pollution on the photosynthetic pigments of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* collected from different polluted areas of the region of Marseille (Mediterranean sea, France). *Oecologia Plantarum*, 14 (2), 169-176.

AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1984. L'herbier de *Posidonia oceanica* et la pollution par le mercure sur le littoral des Bouches-du-Rhône et du Var (France), Bourdoursque C.F., Jeudy de Grissac A., Oliver J., (Eds.), International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, 1,

399-406.

AUSTIN, R.W., AND PETZOLD, T., 1981: The determination of the diffuse attenuation coefficient of sea water using the Coastal Zone Color Scanner. *Oceanography from Space*, J.F.R. Gower, Ed., Plenum Press, 239–256.

BALESTRI E., CINELLI F., PIAZZI L., 1998. Survival and growth of transplanted and natural seedlings of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in a damaged coastal area. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 228: 209-225.

BALLESTEROS E., CEBRIAN E., GARCIA-RUBIES A., ALCOVERRO T., ROMERO J., FONT X., 2005. Pseudovivipary, a new form of asexual reproduction in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina* 48, 175-177.

BALLESTEROS E., 1987. Estructura i dinàmica del poblament algal de les fulles de *Posidonia oceanica* (L.) Delile als herbeis de Tossa de Mar (Girona). *Bull. Inst. catal. Hist. nat.*, 54(6): 13-30.

BAY D., 1978. Etude *in situ* de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi-Corse. *Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso, Univ. Liège, Belg.*, 18: 6 p non num. + 1-251.

BEHERENS, E., SCHWARZKOPF, F. U., LEBBECKE, J., BONING, C. W. 2012. Model simulations on the long-term dispersal of ¹³⁷Cs released into the Pacific Ocean off Fukushima. *Environmental Research Letters*, 7:034004 (10p)

BEN ALAYA H., 1972. Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô*, 2(3): 331-416.

BORELLI G.B., BURRAGATO F. e TORTORA P., (1986), "Caratteristiche morfologiche, stratigrafiche e sedimentologiche della piattaforma continentale interna tra M. Argentario e Torre S. Agostino". *Mem. Soc. Geol. It.*, v.35, p. 791-795.

BIBLIOGRAFIA

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Parc nation. Port-Cros*, Fr., **4**, 1-79.

BOUDOURESQUE, C.F., JEUDY DE GRISSAC, A., 1983. *Posidonia oceanica* in the Mediterranean: interactions between the plant and the sediment. *Journal de Recherche Oceanographique* 8, 99-122.

BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J., 1984. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. Boudouresque C. F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (eds), GIS Posidonie publ., Fr., 1, 1-454.

BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J., 1984. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. Boudouresque C. F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (eds), GIS Posidonie publ., Fr., 1, 1-454.

BOUDOURESQUE C. F., JEUDY DE GRISSAC A., MEISNEZ A. 1984. Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). International Workshop *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A. et Olivier J. edit. GIS Posidonie publ., Fr., 1: 185-191.

BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., 1986. Biomasse dans l'herbier à *Posidonia oceanica*. *Trav. sci. Parc nat. rég. Rés. nat. Corse*, 2: 14-15.

BOUDOURESQUE, C.F., BIANCONI, C.H. AND MEINESZ, A. 1990a. Live *Posidonia oceanica* in a coralligenous algal bank at Sulana Bay, Corsica. *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee* 32(1): 11.

BOUDOURESQUE C.F., BIANCONI C.H., MEINESZ A., 1990c. Live *Posidonia oceanica* in a coralligenous algal bank at Sulana, Corsica. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 32(1): 11.

BOUDOURESQUE C.F., GRAVEZ V., MEINESZ A., MOLENAAR H., PERGENT G., VITIELLO P., 1994a. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : protection légale et gestion.

BIBLIOGRAFIA

In: Pour qui la méditerranée au 21ème Siècle - Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée. Actes du colloque scientifique Okeanos, Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr.: 209-220.

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEDOYER M., VITIELLO P., 1994b. Les herbiers à Phanérogames marines. *In: Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. eds. Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. Muséum National d'Histoire naturelle publ., Paris, Fr.: 98-118.*

BOUDOURESQUE C.F., CHARBONEL E., MEINESZ G., PERGENT C., PERGENT-MARTINI G., CADIOU M.C., BERTRANDY P., FORETM., RAGAZZI M., RICO-RAIMONDINO V. 2000. A monitoring network based on the seagrass *Posidonia oceanica* in the Northwestern Mediterranean sea. *Biologia Marina Mediterranea*, 7, 328-331.

BOUDOURESQUE C.F., VERLAQUE M., 2001. Ecology of *Paracentrotus lividus*. Edible sea urchins: biology and ecology, Lawrence J. édité., Elsevier publ., Amsterdam: 177-216

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. 202 pp.

BOUDOURESQUE C. F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2012. Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. RAMOGE and RAC/SPA publisher, Tunis: 1-202.

BUIA M.C., GAMBI M.C., ZUPO V., 2000. Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview. *Biologia Marina Mediterranea* 7 (2), 167-190.

BUIA M.C., GAMBI M.C., DAPPIANO M. 2003 - I sistemi a fanerogame marine. *Biologia Marina Mediterranea*, 10: 145-198.

BUIA M.C., FLAGELLA S., GRAVINA T., PEREZZANI A., BARBERA. B., LORENTI M., 2006.

BIBLIOGRAFIA

Risposte a lungo termine a variaioni ambientali in *Posidonia oceanica*. *Biologia Marina Mediterranea* 13 (1): 39-45

CANCEMI G., DE FALCO G., PERGENT G., 2000. Impact of a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Biologia Marina Mediterranea* 7 (2), 341-344.

CANCEMI, G., DE FALCO, G., PERGENT, G., 2003. Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56, 961–968

CAYE G., 1980. Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille 2, Fr.: 1-121.

CAYE G. 1982. Etude sur la croissance de la Posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, formation des feuilles et croissance des tiges au cours d'une année. *Tethys*, 10(3): 229-235.

CAYE G., ROSSIGNOL M. 1983 - Etude des variations saisonnières de la croissance des feuilles de *Posidonia oceanica*. *Mar. Biol., Germ.*, 75 (1) : 79-88

CAYE G., MEISNEZ A., 1984. Observations sur la floraison et la fructification de *Posidonia oceanica* dans la baie de Villefranche et en Corse du Sud. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. Boudouresque C. F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (eds), GIS Posidonie publ., Fr., 1, 193-201.

CEBRIAN J., DUARTE C.M., 2001. Detrital stocks and dynamics of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Spanish Mediterranean. *Aquat. Bot.* 70: 295-309.

CECCHERELLI G., CAMPO D., 2002. Valutazione sperimentale dell'effetto dell'ancoraggio su *Posidonia oceanica* L. (Delile). *Biologia Marina Mediterranea*, 9 (1), 672-673.

CECCHERELLI G., CAMPO D., MILAZZO M., 2007. Short-term response of the slow growing seagrass *Posidonia oceanica* to simulated anchor impact. *Marine Environmental Research* 63, 341–349.

BIBLIOGRAFIA

CHAMBERS, J.M., CLEVELAND, W.S., KLEINER, B. AND TUKEY, P.A. 1983. Graphical Methods for Data Analysis. Belmont: Wadsworth

CHESSA L.A., FRESI E., SOGGIU L., 1983. Preliminary data on consumers food web in a *Posidonia oceanica* (L.) Delile bed. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 159-160.

CHIOCCI E LA MONICA, 1996 - Il Mare del Lazio, oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti ed apporti continentali; cap. 2.1 – Analisi sismostratigrafica della piattaforma continentale

CINELLI F., PARDI G., PAPI I., 1995. Biologia della pianta. La *Posidonia oceanica*, supp. Rivista Marittima Italiana, 17-20.

CLEVELAND, W.S. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 74, 829–836.

CLEVELAND, W.S. (1981). LOWESS: A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted regression. *Amer. Statistician*, 35, 54

CLOERN J.E., POWELL T.M., HUZZEY L.M. (1989) - Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay. II. Temporal changes in salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity over tidal time scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 28: 599-613. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714\(89\)90049-8](http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714(89)90049-8).

COLE B.E., CLOERN, J.E. (1987) - An empirical model for estimating phytoplankton productivity in estuaries. *Marine Ecology- Progress Series*, 36: 299-305. doi: <http://dx.doi.org/10.3354/meps036299>.

CROUZET A. 1981. Mise en evidence de variations cycliques dans les ecailles des rhizomes de *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). *Trav. Sci. Parc. Nation. Port-Cros, Fr.*, 7: 129-135.

CROUZET A., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., PERGENT G., 1983. Evidence of the

BIBLIOGRAFIA

annual character of cyclic changes of *Posidonia oceanica* scale thickness (erect rhizomes). Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit. 28(3): 113-114.

DAUBY P., BALE AJ., BLOOMER N., CANON C., LING RD., NORRO A., ROBERTSON JE., SIMON A., THEÂATE JM., WATSON AJ., FRANKIGNOULLE M. 1995 - Particle fluxes over a Mediterranean seagrass bed: a one year case study. Marine Ecology Progress Series, 126: 233-246.

DEN HARTOG, C., 1970, The Seagrasses of the World, Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Natuurk Reeks 2 59, 275 pp.

DE VILLELE X., VERLAQUE M., 1995. Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. Botanica Marina, 38, 79-87.

DIETRICH, J.C., TRAHAN, C.J., HOWARD, M.T., FLEMING, J.G., WEAVER, R.J., TANAKA, S., YU, L., LUETTICH, R.A., DAWSON, C.N., WESTERINK, J.J., WELLS, G., LU, A., VEGA, K., KUBACH, A., DERSBACK, K.M., KOLAR, R.L., KAISER, C., TWILLEY, R.R. 2012. Surface trajectories of oil transport along the Northern Coastline of the Gulf of Mexico. Continental Shelf Research 41: 17-47.

DI MAIDA, G., TOMASSELLO, A., SCIANDRA, M., PIRROTTA, M., MILAZZO, M., CALVO, S., 2013. Effect of substrata on rhizome growth, leaf biometry and shoot density of *Posidonia oceanica*. Marine Environmental Research, 87-88:96-102.

DOLCE, T., 2010. Analisi della produzione primaria in *Posidonia oceanica*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi della Tuscia, pp: 103.

DOMINGUES CP, NOLASCO R, DUBERT J, QUEIROGA H (2012) Model-Derived Dispersal Pathways from Multiple Source Populations Explain Variability of Invertebrate Larval Supply. PLoS ONE 7(4): e35794. doi:10.1371/journal.pone.0035794

DUARTE, CM. & CHISCANO, C.L., 1999. Seagrass biomass and production: a reassessment.

Aquatic Botany, 65, 159-74

DUARTE C. M., 2002. The future of seagrass meadow. *Environmental Conservation*, 29 (2), 192-196.

ELKALAY K., FRANGOULIS C., SKLIRIS N., GOFFART A., GOBERT S., LEPOINT G., HECQ J.H., 2003. A model of seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecol. Model.* 167: 1-18.

ERFTEMEIJER, P.L.A., LEWIS, R. R. R. 2006. Environmental impact of dredging on seagrasses: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1553-1572.

ERFTEMEIJER, P.L.A., VAN BEEK, J.K.L., OCHIENG, C.A., JAGER, Z., LOS, H.J. Eelgrass seed dispersal via floating generative shoots in the Dutch Wadden Sea: a model approach. *Marine Ecology Progress Series*, 358:115-124-

FRANCOUR P., PAUL O., 1987. Densité, biomasse et relation taille-poids chez l'oursin *Psammechinus microtuberculatus* de l'herbier à *Posidonia oceanica* de Port-Cros (France, Méditerranée). In: Boudouresque C.F. edit. *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie publ., Fr.: 169-181

FRANCOUR P., 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments "matte", litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Thèse Doct. Océanol., Univ. Paris VI, Fr.: 1-373.

FRESI E., SAGGIOMO V., 1981. Phosphorus uptake and transfer in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Rapp. Comm. Int. Expl. Mer Médit.*, **27**, 187-188.

FUSCO N. (1959). Il fondo del mare dal promontorio dell'Argentario a Fiumicino con annessa carta da pesca n°1. Ministero della Marina Mercantile, Direzione generale della pesca marittima. In: Paticchio, N., 2013. Meccanismi di regressione e frammentazione dell'habitat nelle praterie di *Posidonia oceanica*. Tesi di Dottorato XXV° ciclo. Università La Sapienza: 1-259

BIBLIOGRAFIA

GATTUSO J. P., GENTILI B., DUARTE C. M., KLEYPAS J. A., MIDDELBURG J. J. & ANTOINE D. 2006. Light availability in the coastal ocean: impact on the distribution of benthic photosynthetic organisms and their contribution to primary production. *Biogeosciences* 3: 489–513.

GIRAUD, G., 1977 a. Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse doctorat 3eme cycle, Univ. Aix-Marseille II, France:150 pp.

GIRAUD G., 1977 b. Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile en Méditerranée. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 24(4): 126-130.

GIRAUD G., 1979. Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille* 39, 33-39.

GORDON, H. R. 1989. Can the Lambert-Beer law be applied to the difflkse attenuation coefficient of ocean water? *Limnol. Oceanogr.* 34: 1389-1 409.

GREEN E.P., SHORT F.T., 2003. *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press: 310pp

HARMELIN J.G., 1964. Etude de l'endofaune des "mattes" d'herbiers de *Posidonia oceanica* Delile. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume* 35(51): 43-106.

HARMELIN-VIVIEN M., 1982. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc national de Port-Cros: I. Composition et variations spatiotemporelles. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros*, Fr., 8: 69-92.

HARMELIN-VIVIEN M.L., 1983. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies des côtes provençales françaises. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 161-163.

HARMELIN-VIVIEN M.L., 1984. Ichtyofaune des herbiers de Posidonies du Parc naturel régional de Corse. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 291-301.

BIBLIOGRAFIA

HARMELIN-VIVIEN M.L., FRANCOUR P., 1992. Trawling or visual censuses ? Methodological bias in the assessment of fish populations in seagrass beds. *Mar. Ecol., PSZN* 13(1): 41-51

HARPER J.L., 1997. Population biology of plants. Academic Press, London, 892 pp

HEMMINGA M.A., DUARTE C., 2001. Seagrass ecology. Cambridge University (eds). United Kingdom, 298 pp.

ICRAM 2002 Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale: area montalto di castro (mt) fase b - caratterizzazione area vasta".

ICRAM, 2005a: Studio in corso d'opera e monitoraggio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento dei depositi sabbiosi sommersi ai fini di rinascimento , Cava A2 – Montalto di castro. Face C3 – monitoraggio. Rapporto Tecnico per Regione Lazio

ISSEL R., 1918. La vita nelle paraterie di *Posidonia*. *Biologia marina, capitolo XIV, XV*: 405-457.

JEUDY DE GRISSAC A., 1984. Effets des herbiers à *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. eds. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 437-443.

JIMENEZ S., BAYLE J.T., RAMOS ESPLA A.A., SANCHEZ LIZASO J.L., 1997. Ictiofauna de dos praderas de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 con distinto grado de conservación. *Publ. espec. Inst. esp. Oceanogr.*, 23: 255-264.

KENDALL, M. G., Rank Correlation Methods, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975.

KININMONTH, S., VAN OPPEN, M.J.H., POSSINGHAM, H.P. 2010a. Determining the community structure of the coral *Seriapora hystrix* from hydrodynamics and genetic networks.

Ecological Modelling, 221: pp.2870-2880.

KININMONTH, S.J., DE'ATH, G., POSSINGHAM, H.P. 2010b. Graph theoretic topology of the Great but small Barrier Reef world. *Theoretical Ecology*, 3: 75-88.

KIRK, J. T. O. 2011. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Third Edition. Cambridge University Press 1-665pp.

KRUSKAL, W. H., WALLIS, W. A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Amer. Statist. Assoc.* 47, 583–621.

KUO, J., DEN HARTOG, C., 2000. Seagrasses: A profile of an ecological group. *Biol. Mar. Médit.*, 7(2) : 3-17.

LA MONICA G. B., RAFFI R. 1996. Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna. In: *Il Mare del Lazio*. Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità: 62-105

LERICHE A., PASQUALINI V., BOUDOURESQUE C. F., BERNARD G., BONHOMME P., CLABAUT P., DENIS J., 2006. Spatial, temporal and structural variations of a *Posidonia oceanica* seagrass meadow facing human activities. *Aquatic Botany* 84, 287–293.

LIBES M., 1984. Production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée *in situ* par la méthode du carbone 14. Thèse Doctorat Spécialité Ecologie, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 1-199.

LIBES M. 1985. Contribution à l'étude de la production primaire des herbiers à *Posidonia oceanica* par la méthode du carbone 14 appliquée *in situ*. *J. Rech. Oceanogr.*, 10(1): 24-28.

LIBES M., BOUDOURESQUE C.F. 1983. Mise en évidence *in situ* du transport à longue distance de photosynthétas chez *Posidonia oceanica* (Phanerogames marines) et ses épiphytes: note préliminaire. *Trav. Sci. Parc. Nation. Port-Cros*, 9: 75-87.

LIU, J.P., D.G. MARTINSON, X. YUAN, AND D. RIND, 2002: Evaluating Antarctic sea ice

BIBLIOGRAFIA

variability and its teleconnections in global climate models. *Int. J. Climatol.*, 22, 885-900

LORENTI M., FRESI E., 1983. Grazing of *Idotea baltica basteri* on *Posidonia oceanica*: preliminary observations. *Rapp. P.V. Réun. Commiss.internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 147-148.

MANN, H. B., Non-parametric test against trend, *Econometrica*, 13, 245-259, 1945.

MATEO M. A., ROMERO J., PEREZ M., LITTLER MM., LITTLER D. S., 1997. Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44 (1), 103-110.

MATEO-MINGUEZ M.A., 1995. El compartimento detrítico en ecosistemas de Fanerógamas marinas mediterráneas. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, Esp.: 1-190

MAZZELLA L., GAMBI M.C., RUSSO G.F., BUIA M.C., 1984. Deep flowering and fruiting of *Posidonia oceanica* beds around the Island of Ischia (Gulf of Naples). *In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 203-209.

MAZZELLA L., OTT J.A., 1984. Seasonal changes in some features of *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves and epiphytes at different depths. *In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 119-127

MAZZELLA L., SCIPIONE M. C., FRESI E., BUIA M. C., RUSSO G. F., DE MARIO R., LORENTI M., RANDO A., 1986. Le praterie sommerse del Mediterraneo. La Buona Stampa S.p.a, Ercolano, It, 59.

MAZZELLA L., BUIA M.C., 1991. Temporal evolution and complexity of Mediterranean seagrass ecosystems. *S.It.E. Proceedings*, 17, 293-295.

MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., RUSSO G., SCIPIONE M.B., ZUPO V., 1992. Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea: a review. *In: Jangoux M., Mazzella L. et al. edits. Plant-animal interactions in*

BIBLIOGRAFIA

marine benthos. Systematic Association special volume 46, Clarendon Press publ.: 165-187.

MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F., MOLENAAR H., 1993. Polymorphism and development of *Posidonia oceanica* transplanted from different parts of the Mediterranean into the national Park of Port-Cros. *Bot. mar.* 36: 209-216.

MILLI S. (1993) - I limiti d'influenza dei corsi d'acqua che sfociano lungo il litorale tirrenico compreso tra Ansedonia (Toscana meridionale) e Monte di Procida (Campania settentrionale) e tra Salerno e Agropoli (Golfo di Salerno). Rapporto tecnico inedito.

MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral Méditerranéen français. *Annales de L'Institut Océanographique*, 27(3), 157-234.

MONTEFALCONE, M., CHIANTORE, M., LANZONE, A., MORRI, C., BIANCHI, C.N., ALBERTELLI, G., 2008. BACI design reveals the decline of the seagrass *Posidonia oceanica* induced by anchoring. *Marine Pollution Bulletin* 56, 1637–1645

MONTEFALCONE M., PARRAVICINI V., VACCHI M., ALBERTELLI G., MORRI C., NIKE BIANCHI C., 2010. Human influence on seagrass habitat fragmentation in NW Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86, 292–298

MOREL, A., AND L. PRIEUR, 1977: Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.*, 22(4), 709-722.

NÉDÉLEC H., VERLAQUE M., 1984. Alimentation de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) dans un herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Corse (Méditerranée – France). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 349-364.

OTT J.A., 1980. Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Mar. Ecol., PZSN* 1(1): 47-64.

OTT J., MAURER L., 1977. Strategies of energy transfer from marine Macrophytes to

BIBLIOGRAFIA

consumer levels: the *Posidonia oceanica* example. In: Keegan B.F., O'Céidigh P., Boaden P.J.S. eds. *Biology of benthic organisms*. UK: 493-502.

PANAYOTIDIS P., GIRAUD G., 1981. Sur un cycle de renouvellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile dans le golfe de Marseille. *Vie Milieu* 31(2): 129-136.

PANAYOTIDIS P., MAKRIS P., CATSIKI V. A., 1990. Cycle de bioaccumulation du Cu, Cd, et Cr dans les écailles de *Posidonia oceanica*. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 32(1), 13

PATICCHIO, N. 2013. Meccanismi di regressione e frammentazione dell'habitat nelle praterie di *Posidonia oceanica*. Dipartimento di Biologia Ambientale, Università di Roma "La Sapienza". Tesi di Dottorato XXV° ciclo: 259pp

PERES, J.M. AND PICARD, J. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Mediterranee. Recueil des Travaux de la Station Marine. d'Endoume 31: 1-137.

PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., CROUZET A. 1982. Mise en évidence de variations cycliques dans les écailles de *Posidonia oceanica*. *Lab. Ecol. Benthos, Fac. Sci. Luminy, Marseille et Parc Nation. Port-Cros (Var.), Fr.*, pp. 1-193.

PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., CROUZET A., 1983. Variations cycliques dans les écailles des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica*. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros* 9: 107-148.

PERGENT G., 1985. Floraison des herbiers à *Posidonie oceanica* dans la region d'Izmir (Turquie). *Posidonia Newsletter*, 1 (1), 14-21.

PERGENT G. 1987. Recherches lepidochronologiques chez *Posidonia oceanica* sur les cotes françaises de la Méditerranée. *Aquatic Botany, Netherl.*, 1(2): 133-139.

PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F., CROUZET A., MEINESZ A., 1989. Cyclic changes along *Posidonia oceanica* rhizomes (lepidochronology): present state and perspectives. *Mar. Ecol. PSZN* 10(3): 221-230.

BIBLIOGRAFIA

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

PERGENT G., 1990b. Evaluation of *Posidonia oceanica* primary production using lepidochronological analysis : preliminary results. *Rapp. P.V. Réun. Comm. internation. Explor. sci. Médit.* 32(1) B17: 6.

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1990. Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Bot. mar.* 33: 299-310.

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1991. Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. *Aquat. Bot.* 42: 49-66.

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., 1992. Evaluation of past primary production of *Posidonia oceanica* using lepidochronological data. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 33: 47.

PERGENT G., ZAOUALI J., 1992. Analyse phénologique et lépidochronologique de *Posidonia oceanica* dans une lagune hyperhaline du Sud tunisien. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 33: 48

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..

PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., 1995. Dynamique et évolution de l'herbier à *Posidonia oceanica* in Méditerranée. *Giorn. Bot. It.*, 12:303-317.

PERGENT G., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT-MARTINI C., 1997. Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquat. Bot.* 59: 307-321.

BIBLIOGRAFIA

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F. 1995 - Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualite du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, **54**: 3-27.

PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G., 1994. Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean basin. *Mar. Biol.* 120: 9-15

PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G., 1996. Spatio-temporal dynamics of *Posidonia oceanica* beds near a sewage outfall (Mediterranean- France). In: Kuo J., Phillips, R.C., Walker, D.I., Kirkman, H. (eds), *Seagrass Biology. Proceedings of ana International Workshop*, Rottnest Island, Western Australia, 25-29 January 1996:299-306.

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1999. Mercury levels and fluxes in *Posidonia oceanica* meadows. *Environ. Poll.* 106: 33-37.

PHILLIPS, R.C. AND MENEZ, E.G., 1988 *Seagrasses*. Smithsonian Contributions to the Marine Sciences: 34-89.

PIAZZI L., CINELLI F., 1995. Restoration of the littoral sea bottom by means of transplantation of cuttings and sprouts. In: Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C., Mucedola A. edits. *Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*. *Revista marittima publ.*, Italy: 69-71.

PIAZZI L., BALATA D., CECCHERELLI G., CINELLI F., 2001. Compartive study of the growth of the two occurring introduced green algae *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* along the Tuscan coast (Italy, Western Mediterranean). *Cryptogamie algologie*, 22, 459-466

PIOVETTI L., SERVE L., COMBAUT G., GADEL F., 1984. Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 137-144.

PIRC H., 1983. Belowground biomass of *Posidonia oceanica* (L.) Delile and its importance to

BIBLIOGRAFIA

the growth dynamics. In: *International Symposium aquatic macrophytes*, Nijmegen: 177-181.

PREISENDORFER, R.W. 1976. Hydrologic optics. Vol.I (Introduction). NOAA, 218 pp.

PROULX, S.R., PROMISLOW, D.E.L., PHILLIPS, P.C., 2005. Network thinking in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 20 (6), 345–353.

RICO-RAIMONDINO V., 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat Ecologie, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 1-248.

ROMERO-MARTINENGO J., 1985. Estudio ecológico de las Fanerógamas marinas de la costa catalana: producción primaria de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en las islas Medes. Tesis Doct., Univ. Barcelona, Spain: 1-261.

RUDORFF, C.A. G., LORENZZETTI, J. A., GHERARDI, D. F. M., LINS-OLIVEIRA, J. E. 2009. Application of remote sensing to the study of the pelagic spiny lobster larval transport in the Tropical Atlantic. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(1), 7-16. Retrieved February 24, 2014,

SCANU, S., 2012. Geocronologia (^{210}Pb) dei sedimenti recenti della piattaforma costiera del Lazio settentrionale: stima del rateo di accumulo sedimentario e distribuzione spaziale e temporale delle concentrazioni di alcuni metalli in traccia (As, Hg, Pb, Al e Zn). Dipartimento Scienze ecologiche e Biologiche-Università della Tuscia, Tesi di dottorato XXIII° Ciclo: 89 pp.

SEMROUD R., VERLAQUE M., CROUZET A., BOUDOURESQUE C.F., 1992. On a broad-leaved form of the seagrass *Posidonia oceanica* (Posidoniaceae) from Algiers. *Aquat. Bot.* 43: 181-198

SHORT F.T., COLES R., PERGENT-MARTINI C., 2001. Global seagrass distribution. In "Seagrass Method books", Short F.T & R. Coles edit., Elsevier publ.

SHORT, F., CARRUTHERS, T., DENNISON, W., AND WAYCOTT, M., 2007. Global seagrass distribution and diversity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350: 3-20.

BIBLIOGRAFIA

SNEYERS R., PALMIERI S. E SIANI A.M. (1993), Characterising trends in climatological time series. An application to Brera observatory (Milan) rainfall series, Proceedings of international conference on applications of time series analysis to astronomy and meteorology, Università di Padova, 6-10 settembre 1993, p. 321-328

SPEARMAN, C. (1904). General intelligence, objectively determined and measured. *American Journal of Psychology* 15, 201-293

TARQUINI S., ISOLA I., FAVALLI M., MAZZARINI F., BISSON M., PARESCHI M. T., BOSCHI E. (2007). TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy, *Annals of Geophysics* 50, 407 - 425.

TARQUINI S., VINCI S., FAVALLI M., DOUMAZ F., FORNACIAI A., NANNIPIERI L., (2012). Release of a 10-m-resolution DEM for the Italian territory: Comparison with global-coverage DEMs and anaglyph-mode exploration via the web, *Computers & Geosciences* 38, 168-170. doi: doi:10.1016/j.cageo.2011.04.018

THÉLIN I., BOUDOURESQUE C.F., 1985. Le benthos littoral d'El DaBaa (Méditerranée, Egypte). II. L'herbier à *Posidonia oceanica*. *Rapp. P.V. Réun. Comm. Int. Explor. Sci. Méditerr.* 29 (5): 247-248.

THÉLIN I., BEDHOMME A.L., 1983. Biomasse des épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* dans un herbier superficiel. *Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 28(3): 125-126.

THOMAS, C.J., LAMBRECHTS, J., WOLANSKI, E, TRAAG, V.A., BLONDEL, V.,D., DELEERSNIJDER, E., HANERT, E. 2014. Numerical modelling and graph theory tools to study ecological connectivity in the Great Barrier Reef. *Ecological Modelling*, 272:160-174

TREML, E., HALPIN, P., URBAN, D., PRATSON, L., 2008. Modelling population connectivity by ocean currents, a graph-theoretic approach for marine conservation. *Landscape Ecology* 23, 19–36.

BIBLIOGRAFIA

VADON C., 1981. Les Brachyours des herbiers de Posidonies dans la Région de Villefranche-sur-Mer: biologie, écologie et variations quantitatives des populations. Thèse Doctorat, Univ. Pierre Marie Curie, Fr.: 1-227 + i-xii + 4 pl. h.t.

VELIMIROV B., WALENTA-SIMON M., 1992. Seasonal changes in specific growth rates, production and biomass of a bacterial community in the water column above a Mediterranean seagrass system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80(2-3): 237-248.

VERLAQUE M., 1981. Preliminary data on some *Posidonia* feeders. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit.* 27(2): 201-202.

VERLAQUE M., 1987. Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamarck) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. In: Boudouresque C.F. edit. *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie publ., Fr.: 5-36.

VERLAQUE M., 1990. Relations entre *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) (Téléostéen, Sparidae), les autres poissons brouteurs et le phytobenthos algal méditerranéen. *Oceanol. Acta* 13(3): 373-388.

WITTMANN K.J., OTT J.A., 1982. Effects of cropping on growth in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Mar. Ecol. PSZN* 3(2): 151-159.

WITTMANN K.J., 1984. Temporal and morphological variation of growth in a Natural Stand of *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli, Mar. Ecology*, 3(2): 151-159.