

D. BALATA (*), L. PIAZZI (**), U. NESTI (**), F. CINELLI (**)

CARATTERISTICHE DELLA PRATERIA DI *POSIDONIA OCEANICA* PROSPICIENTE CALAFURIA (LIVORNO) E STRUTTURA DEI POPOLAMENTI EPIFITI AD ESSA ASSOCIATI

Riassunto - Il presente lavoro presenta dati sui differenti aspetti ecologici della prateria di *Posidonia oceanica* di Calafuria. La densità è risultata molto variabile, tra un minimo di 452,8 fasci/m² ed un massimo di 542,4 fasci/m², l'indice fogliare presentava valori compresi tra 6,4 e 9,3. Sono state determinate 67 specie epifite, tra cui 3 Chlorophyta, 8 Ochrophyta, 22 Rhodophyta, 3 Rhizopoda, 7 Cnidaria, 1 Annelida, 21 Briozoa, 1 Tunicata; 34 specie erano presenti sulle foglie, mentre il popolamento dei rizomi era costituito da 45 specie. I popolamenti epifiti sia delle foglie sia dei rizomi hanno evidenziato una differenza tra i due siti studiati e un'alta variabilità a piccola scala, mentre si sono rivelati stabili nei due anni di campionamento.

Parole chiave - Epifiti, fenologia, *Posidonia oceanica*, variabilità spaziale, Mar Ligure.

Abstract - *Characteristics of Posidonia oceanica meadow off Calafuria (Leghorn) and structure of epiphyte assemblages.* The paper showed data about several ecological aspects of the *Posidonia oceanica* meadow of Calafuria. Density ranged between 452.8 shoot/m² and 542.4 shoot/m², leaf area index ranged between 6.4 and 9.3. A total of 67 epiphytes was determined, among them 3 Chlorophyta, 8 Ochrophyta, 22 Rhodophyta, 3 Rhizopoda, 7 Cnidaria, 1 Annelida, 21 Briozoa, 1 Tunicata; 34 taxa were present on leaves and 45 on rhizomes. Epiphyte assemblages of leaves and rhizomes showed significant differences between the two studied sites and a high variability at small spatial scale, while they did not differ between years.

Key words - Epiphytes, phenology, *Posidonia oceanica*, spatial variability, Ligurian Sea.

INTRODUZIONE

Posidonia oceanica (L.) Delile è una fanerogama marina endemica del Mar Mediterraneo dove forma estese praterie dalla superficie fino ad un massimo di circa 40 metri di profondità (Buia *et al.*, 2000). Tali praterie rappresentano uno degli ecosistemi più importanti dell'area costiera mediterranea in termini di produzione primaria e biodiversità (Mazzella *et al.*, 1992; Pergent *et al.*, 1994). Inoltre, *P. oceanica* viene utilizzata come bioindicatore, in relazione alla sua sensibilità ai cambiamenti ambientali (Pergent *et al.*, 1995; Pergent-Martini *et al.*, 1999).

Lungo le coste toscane, sono presenti numerose praterie di *P. oceanica*, di ampiezza variabile in rapporto alle caratteristiche del fondale (Piazzini *et al.*, 2001). Nell'area di Calafuria, *P. oceanica* colonizza il pianoro

roccioso tra i 7/8 metri e i 20/25 metri di profondità. A differenza di altre biocenosi bentoniche, la prateria di Calafuria non è stata oggetto di investigazioni specifiche, anche se è stata parzialmente studiata nell'ambito di ricerche a più ampio raggio (Balestri *et al.*, 2003; Balata *et al.*, 2007, 2008).

Lo scopo del presente studio è quello di presentare dati sui differenti aspetti ecologici della prateria di *P. oceanica* di Calafuria, considerandone le caratteristiche strutturali, la fenologia della pianta e la struttura dei popolamenti epifiti ad essa associati.

MATERIALI E METODI

Lo studio è stato effettuato nella prateria di *Posidonia oceanica* prospiciente la costa di Calafuria (Livorno) nel mese di agosto degli anni 2006 e 2007, quando la comunità epifita delle foglie raggiunge il massimo grado di maturazione. Sono stati scelti due siti distanti tra loro circa 2 km situati rispettivamente nella porzione più settentrionale e in quella più meridionale dell'area di studio. In ogni sito sono state studiate 2 aree distanti centinaia di metri e in ogni area sono stati campionati 5 quadrati di 0,25 m². In ogni quadrato, è stato contato il numero di fasci fogliari e sono stati prelevati 5 fasci per l'analisi di laboratorio. Per ogni fascio è stato misurato il numero di foglie, la lunghezza e la larghezza di ogni foglia, il numero di foglie con apice rotto. Inoltre, mediante analisi allo stereomicroscopio, sono state determinate le specie epifite presenti sui rizomi e sulla parte apicale (10 cm) delle due foglie più esterne di ogni fascio ed è stata calcolata l'abbondanza di ciascuna specie come ricoprimento percentuale (Balata *et al.*, 2007). La densità è stata calcolata come numero di fasci fogliari x m⁻², il coefficiente A è stato calcolato come percentuale delle foglie con apice rotto rispetto al totale delle foglie per fascio (Balata *et al.*, 2007). Sono state calcolate le seguenti variabili: numero di foglie per fascio, superficie fogliare per fascio, lunghezza media delle foglie per fascio, numero di specie e ricoprimento totale degli epifiti delle foglie e dei rizomi. L'indice fogliare è stato calcolato come superficie fogliare al m⁻².

I dati relativi all'abbondanza degli epifiti delle foglie e dei rizomi sono stati analizzati mediante PERMANOVA a 4 vie (Anderson, 2001), con il fattore Data (2 livelli) random, il fattore Sito (nord vs. sud) fisso, il fattore

(*) School of Biological and Environmental Sciences, University College Dublin, Dublin, Ireland.

(**) Dipartimento di Biologia, Università di Pisa, via Volta 6, 56126 Pisa, Italy. E-mail: lpiazzini@biologia.unipi.it

Area(Sito) (2 livelli) random e gerarchizzato nel Sito, il fattore Quadrato (5 livelli) random e gerarchizzato nell'interazione Data x Area(Sito). L'indice di similarità di Bray-Curtis è stato calcolato sui valori non trasformati. Un nMDS è stato utilizzato per la rappresentazione grafica dei risultati (Clarke & Warwick, 1994).

RISULTATI

La densità è risultata molto variabile, tra un minimo di 452,8 fasci/m² ed un massimo di 542,4 fasci/m². Il limite inferiore a causa della morfologia del litorale

è quasi sempre netto; la prateria, infatti, si interrompe bruscamente intorno ai 20-25 metri di profondità, quando la scogliera inizia a scendere in modo verticale. Il valore medio di foglie per fascio variava tra 7 e 8,8, la lunghezza media delle foglie tra 21,1 cm e 38,4 cm, la superficie fogliare per fascio tra 118,2 cm² e 207,0 cm². L'indice fogliare presentava valori compresi tra 6,4 e 9,3.

Sono state determinate 67 taxa epifiti, tra cui 3 Chlorophyta, 8 Ochrophyta, 22 Rhodophyta, 3 Rhizopoda, 7 Cnidaria, 1 Annelida, 21 Briozoa, 1 Tunicata (Tab. 1); 34 taxa erano presenti sulle foglie, mentre il popolamento dei rizomi era costituito da 45 taxa.

Tab. 1 - Lista delle specie epifite identificate sulle foglie e sui rizomi di *Posidonia oceanica* a Calafuria.

TAXA	Foglie	Rizomi
Chlorophyta		
<i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützing	-	+
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin	-	+
<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> (Zanardini) Børgesen	-	+
Ochrophyta		
<i>Asperococcus bullosus</i> J.V. Lamouroux	+	-
<i>Cladosiphon cylindricus</i> (Sauvageau) Kylin	+	-
<i>Cladosiphon irregularis</i> (Sauvageau) Kylin	+	-
<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J.V. Lamouroux	+	+
<i>Dictyota linearis</i> (C. Agardh) Greville	+	+
<i>Giraudia sphacelarioides</i> Derbés et Solier	+	-
<i>Halopteris filicina</i> (Grateloup) Kützing	-	+
<i>Sphacelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh	+	+
Rhodophyta		
<i>Acrothamnion preissii</i> (Sonder) Wollaston	+	+
<i>Anthithamnion cruciatum</i> (C. Agardh) Nägeli	-	+
<i>Botryocladia boergesenii</i> J. Feldmann	-	+
<i>Ceramium codii</i> (Richards) G. Feldmann	+	+
<i>Ceramium diaphanum</i> (Lighthfoot) Roth	+	-
<i>Dipterosiphonia rigens</i> (Schousboe) Falkenberg	-	+
<i>Feldmannophycus rayssiae</i> (Feldmann et Feldmann-Mazoyer) Augier et Boudouresque	-	+
<i>Heterosiphonia crispella</i> (C. Agardh) Wynne	+	-
<i>Hydrolithon farinosum</i> (Lamouroux) Penrose et Chamberlain	+	+
<i>Hypoglossum hypoglossoides</i> (Stackhouse) Collins et Harvey	-	+
<i>Jania adhaerens</i> J.V. Lamouroux	-	-
<i>Laurencia chondroides</i> Børgesen	+	+
<i>Lithophyllum cystoseirae</i> (Hauck) Heydrich	-	+
<i>Monosporus pedicellatus</i> (Smith) Solier	+	+
<i>Nitophyllum micropunctatum</i> Funk	-	+
<i>Peyssonnelia bornetii</i> Boudouresque et Denizot	-	+
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) Dixon	-	+
<i>Pneophyllum coronatum</i> (Rosanoff) Penrose	-	+

<i>Pneophyllum fragile</i> Kützing	+	-
<i>Polysiphonia</i> spp.	+	+
<i>Rhodymenia ardissoni</i> J. Feldmann	-	+
<i>Womersleyella setacea</i> (Hollenberg) R.E. Norris	+	+
Rhizopoda		
<i>Lobatula lobatula</i> Walker et Jacob	+	-
<i>Planorbulina mediterraneensis</i> Walker et Jacob	+	-
<i>Rosalina brady</i> Cushman	+	-
Cnidaria		
<i>Laomedea angulata</i> Hinks	-	+
<i>Dynamena cavolini</i> Neppi	+	-
<i>Laomedea angulata</i> Hinks	-	+
<i>Obelia geniculata</i> Linnaeus	+	-
<i>Plumularia obliqua</i> Thompson	+	-
<i>Podocoryna carnea</i> M. Sars	+	-
<i>Sertularia perpusilla</i> Stechow	+	-
Anellida		
<i>Janua pagenstecheri</i> Quatrefageau	+	-
Bryozoa		
<i>Aetea truncata</i> Landsborough	+	+
<i>Amathia</i> sp.	-	+
<i>Beania hirtissima</i> Heller	-	+
<i>Beania magellanica</i> Bush	-	+
<i>Crisia</i> sp.	-	+
<i>Caberea boryi</i> Audouin	-	+
<i>Callapora lineata</i> Linnaeus	-	+
<i>Cellepora pumicosa</i> Hincks	-	+
<i>Chorizopora brogniarti</i> Audouin	+	-
<i>Collarina balzaci</i> Audouin et Savigny	+	+
<i>Diastopora patina</i> Lamarck	-	+
<i>Electra posidoniae</i> Gautier	+	-
<i>Escharoides coccinea</i> Abildgaard	-	+
<i>Fenestrulina malusii</i> Audouin	+	+
<i>Idmonea serpens</i> Bidekap	-	+
<i>Lichenopora radiata</i> Audouin et Savigny	+	+
<i>Margaretta cereoides</i> Ellis et Solander	-	+
<i>Microporella ciliata</i> Pallas	-	+
<i>Schizobrachiella sanguinea</i> Norman	-	+
<i>Scrupocellaria reptans</i> Linnaeus	-	+
<i>Tubulipora flabellaris</i> Fabricius	+	-
Tunicata		
<i>Botryllus schlosseri</i> Pallas	+	-

Le specie più comuni sulle foglie sono risultate le Ochrophyta *Dictyota* spp. e *Cladosiphon* spp., le Rhodophyta *Hydrolithon farinosum* e *Monosporus pedicellatus*, lo Cnidaria *Podocoryna carnea*, i Bryozoa *Electra posidoniae* e *Fenestrulina malusii*. Sui rizomi, le specie dominanti erano le Rhodophyta *Acrothamnion preissii*, *Womersleyella setacea*, *Peyssonnelia bornetii* e l'Ochrophyta *Dictyota* spp.

L'analisi multivariata (PERMANOVA) applicata agli epifiti fogliari ha evidenziato come significativo il fattore Sito e l'interazione Data x Area (Tab. 2). PERMANOVA ha mostrato per il popolamento dei rizomi una significatività per i fattori Sito e Quadrato e per l'interazione Data x Area. L'nMDS ha mostrato sia per il popolamento epifita delle foglie una forte separazione tra i campioni dei due siti (triangoli rivolti verso l'alto e verso il basso vs. quadrati e cerchi) che si conserva anche nel campionamento del secondo anno (bianchi vs. grigi) (Fig. 1a). Simile pattern si può notare anche per il popolamento dei rizomi anche se meno marcato. Nel popolamento dei rizomi si può notare inoltre che, mentre i campioni provenienti dalle aree più meridionali sono simili tra loro, quelli delle aree più a nord sono più eterogenei sia da un punto di vista spaziale sia temporale (Fig. 1b).

DISCUSSIONE

I valori di densità riscontrati sono da considerare normali per la profondità di studio (Pergent *et al.*, 1995). Anche i valori relativi alle variabili fenologiche sono risultati simili a quelli riportati per altre prateria situate lungo la costa toscana (Piazzi *et al.*, 2000; Balestri *et al.*, 2003; Nesti *et al.*, 2009).

L'alta variabilità di tali valori è da ritenere tipica di praterie di *Posidonia oceanica* installate, come nel caso di Calafuria, su fondo roccioso. Un substrato roccioso, infatti, incrementa la variabilità strutturale della prateria, principalmente per quanto riguarda i valori di copertura e di densità.

Le specie epifite riscontrate sulle foglie e sui rizomi sono da considerare comuni in tale ambiente ed i popo-

lamenti di Calafuria presentano nell'insieme caratteristiche simili ad altri popolamenti epifiti della stessa area geografica (Piazzi *et al.*, 2002; Balata *et al.*, 2007, 2008; Nesti *et al.*, 2009). Per quanto riguarda il popolamento dei rizomi, è da mettere in evidenza la dominanza di specie algali introdotte quali *Womersleyella setacea* e, soprattutto, *Acrothamnion preissii*. Queste due Rhodophyta filamentose sono considerate invasive ed entrambe hanno nei rizomi di *P. oceanica* un habitat di elezione, andando a costituire densi feltri che possono influenzare profondamente la struttura e la biodiversità del popolamento (Piazzi & Cinelli, 2000, 2001).

I popolamenti epifiti sia delle foglie che dei rizomi hanno evidenziato una differenza tra i due siti studiati. Questo risultato indica che, nonostante le limitate dimensioni dell'area di studio, la prateria presenta situazioni diverse tra le porzioni settentrionale e meridionale. Tali differenze dei popolamenti epifiti, trovano conferma nell'alta variabilità dei valori fenologici e strutturali della prateria. Le differenze tra le due porzioni della prateria potrebbero essere legate a differenze di alcuni fattori ambientali, quali l'idrodinamismo o il tasso di sedimentazione. Anche le caratteristiche dell'acqua potrebbero variare in relazione alla distanza relativa delle due porzioni di costa da sorgenti di disturbo, quali la presenza dell'area urbana a nord e di impianti industriali a sud. Naturalmente, sono necessari studi mirati sulle caratteristiche ambientali per verificare il modello proposto. Il presente lavoro può solo mettere in evidenza che l'area di Calafuria si mostra meno omogenea di quanto le piccole dimensioni potrebbero suggerire. Un'alta variabilità a piccola scala del popolamento epifita è invece un pattern già rilevato in altri studi, sia lungo le coste toscane che in altre aree del Mediterraneo (Piazzi *et al.*, 2004, 2007; Pardi *et al.*, 2006; Balata *et al.*, 2007, 2008), che può essere quindi considerato come una caratteristica di questi popolamenti.

Un interessante aspetto emerso dai risultati del presente studio, è la stabilità dei popolamenti epifiti sia delle foglie sia dei rizomi tra i due anni di campionamento. Il popolamento epifita di *P. oceanica*, e in particolar modo quello presente sulle foglie, è costituito principalmente da specie effimere a sviluppo stagionale, che tutti gli

Tab. 2 - Risultati di PERMANOVA riferiti all'abbondanza degli epifiti della prateria di Calafuria. In grassetto è espressa la significatività (P(perm) < 0,05).

Source	df	Foglie			Rizomi		
		MS	Pseudo-F	P(perm)	MS	Pseudo-F	P(perm)
Data = D	1	8163	0,81753	0,544	2273,9	0,3496	0,952
Sito = S	1	173760	15,996	0,001	88208	9,1907	0,001
Area (Sito) = A(S)	2	3575,3	0,35807	0,932	7751,3	1,1917	0,382
DxS	1	7911,5	0,79234	0,556	2554	0,39267	0,922
DxA(S)	2	9985	6,557	0,001	6504,2	1,9967	0,03
Quadrato(DA(S))	16	1522,8	1,278	0,1	3257,6	1,5998	0,002
Residuo	96	1191,6			2036,3		
Totale	119						

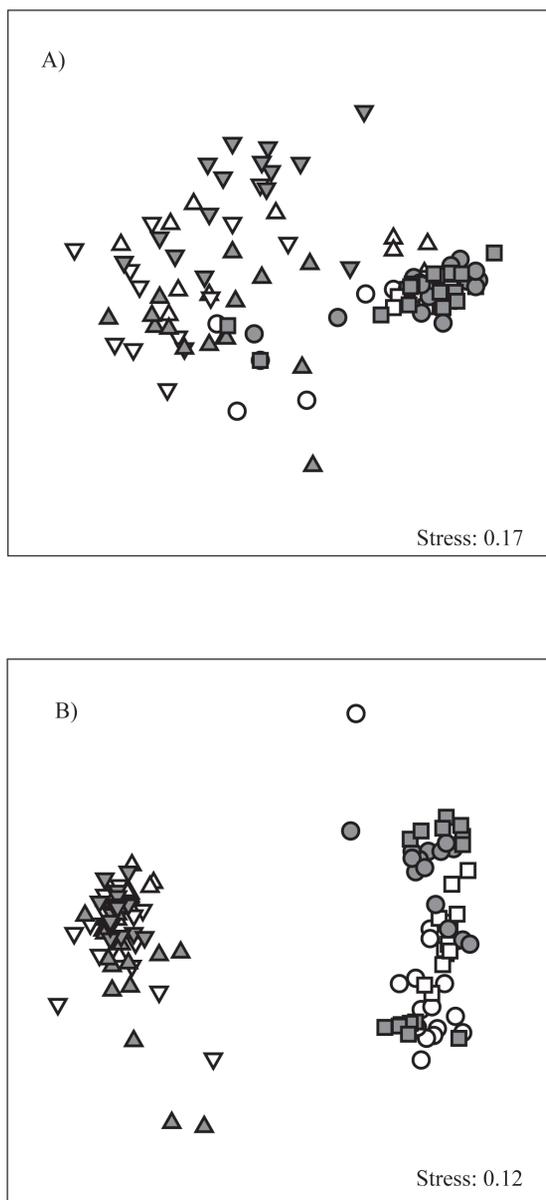


Fig. 1 - nMDS basato sull'indice di similarità di Bray-Curtis applicato agli epifiti delle foglie (a) e dei rizomi (b) della prateria di Calafuria. I simboli sono riferiti alle aree di studio, i colori ai due anni di campionamento.

anni si rinnova seguendo il ciclo di caduta e accrescimento delle foglie (Mazzella *et al.*, 1989). Nonostante questo, sembra mantenersi costante tra un anno e l'altro, probabilmente in relazione ai fattori biotici e abiotici che agiscono comunque in modo costante sul reclutamento e l'accrescimento degli organismi. Questa caratteristica, se confermata da ulteriori studi, rafforza il valore dei popolamenti epifiti come indicatori biologici. Infatti un popolamento che, in condizioni normali, si mantiene costante nel tempo, può indicare, attraverso

modificazioni nella struttura, cambiamenti delle condizioni ambientali.

In conclusione, la prateria di Calafuria, si presenta ben strutturata e i popolamenti epifiti, nonostante la dominanza dei specie invasive, mostrano una ricchezza specifica comparabile a quella di altre praterie toscane.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson M.J., 2001. A new method for a non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral. Ecol.* 26: 32-46.
- Balata D., Nesti U., Piazzì L., Cinelli F., 2007. Patterns of spatial variability of seagrass epiphytes in the north-west Mediterranean Sea. *Mar. Biol.* 151: 2025-2035.
- Balata D., Bertocci I., Piazzì L., Nesti U., 2008. Comparison between epiphyte assemblages of leaves and rhizomes of the seagrass *Posidonia oceanica* subjected to different levels of anthropogenic eutrophication. *Est. Coast. Shelf Sc.* 79: 533-540.
- Balestri E., Cinelli F., Lardicci C., 2003. Spatial variation in *Posidonia oceanica* structural, morphological and dynamic features in a northwestern Mediterranean coastal area: a multi-scale analysis. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 250: 51-60.
- Buia M.C., Gambi M.C., Zupo V., 2000. Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview. *Biol. Mar. Medit.* 7: 167-190.
- Clarke K.R., Warwick R.M., 1994. *Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, UK, 144 p.
- Mazzella L., Scipione M.B., Buia M.C., 1989. Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadow. *PSZNI Mar. Ecol.* 10: 107-131.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V., 1992. Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of Mediterranean Sea: a review. In John DM, Hawkins SJ & Price JH (eds.), *Plant-animal interactions in the marine benthos*. Systematic association special volume, Clarendon press, Oxford: 165-187.
- Nesti U., Piazzì L., Balata D., 2009. Differences in the structure of epiphytic assemblages of *Posidonia oceanica* in relation to depth. *Mar. Ecol.* 30: 276-287.
- Pardi G., Piazzì L., Balata D., Papi I., Cinelli F., Benedetti-cccchi L., 2006. Spatial variability in epiphytes of *Posidonia oceanica* (L.) Delile around the mainland and the islands of Sicily. *Mar. Ecol.* 27: 397-403.
- Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M.A., Boudouresque G., 1994. Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 106, 139-146.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état de connaissances. *Mésogée* 54: 3-29.
- Pergent-Martini C., Pergent G., Fernandez C., Ferrat L., 1999. Value and use of *Posidonia oceanica* as a biological indicator. In: Ozhan E. (ed.), MEDCOAST 99 - EMCS 99 Joint conference, land-ocean interactions: managing coastal ecosystems Antalya, Turkey, pp. 245-262.
- Piazzì L., Cinelli F., 2000. Effets de l'invasissement des Rhodophyceae introduites *Acrothamnion preissii* et *Womersleyella setacea* sur les communautés algales des herbiers à *Posidonia oceanica* de la Méditerranée occidentale. *Cryptogamie, Algol.* 21: 291-300.
- Piazzì L., Cinelli F., 2001. The distribution and dominance of two introduced turf-forming macroalgae in the coast of Tuscany (Italy, northwestern Mediterranean) in relation to different habitats and sedimentation. *Bot. Mar.* 44: 509-520.
- Piazzì L., Acunto S., Cinelli F., 2000. Mapping of *Posidonia oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean) with integration of direct and indirect methods. *Oceanol. Acta.* 23: 339-346.
- Piazzì L., Acunto S., Papi I., Pardi G., Cinelli F., 2001. Mappatura delle praterie a fanerogame marine della Toscana. *Biol. Mar. Medit.* 7: 594-596.

- Piazzì L., Balata D., Cinelli F., 2002. Epiphytic macroalgal assemblages of *Posidonia oceanica* rhizomes in the western Mediterranean. *Eur. J. Phycol.* 37: 69-76.
- Piazzì L., Balata D., Cinelli F., Benedetti-Cecchi L., 2004. Patterns of spatial variability in epiphytes of *Posidonia oceanica* - Differences between a disturbed and two reference locations. *Aq. Bot.* 79: 345-356.
- Piazzì L., de Biasi A.M., Balata D., Pardi G., Boddi S., Acunto S., Pertusati M., Papi I., Cinelli F., Sartoni G., 2007. Species composition and patterns of spatial variability of morphological forms of macroalgal epiphytic assemblages of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Vie et Milieu.* 57: 171-179.

(ms. pres. il 23 settembre 2009; ult. bozze il 25 giugno 2010)