

Associazioni biocenotiche su opere di difesa costiera parallele emerse: uno studio preliminare

Irene Ortolani, Monica Giovacchini, Claudia Becchi

Dipartimento di Biologia Evoluzionistica, Università di Firenze, via Romana, 17 - 50139 Firenze
Tel: +39 055 2288314, Fax: +39 055 222565, E-mail: irene.ortolani@gmail.com

Riassunto

Le opere di difesa costiera offrono un substrato adatto alla colonizzazione da parte di fito- e zoobentos; nello stabilirsi della successione ecologica intervengono certamente le caratteristiche strutturali delle barriere, come orientamento, materiale o età, ma anche il contesto locale risulta essere fortemente determinante. Le associazioni bentoniche risultanti si aggiungono al contesto ecologico dei substrati naturali, e possono rappresentare una minaccia per la biodiversità e la diffusione di specie aliene. Nell'ottica di una gestione integrata delle coste, e dato il carattere spesso locale delle strutture, è necessario caratterizzare le biocenosi delle barriere, per valutarne il loro ruolo in termini di impatto sugli ecosistemi circostanti.

Questo lavoro presenta i risultati preliminari derivanti da un anno di studio su quattro opere costiere toscane, simili per tipologia e struttura, mirato a descriverne lo stato di colonizzazione biocenotica mediante rilievi visivi della copertura algale e zoobentonica.

In ogni località sono state individuate specie caratteristiche, che permettono di discriminare con precisione fra le quattro stazioni analizzate, confermando così la tipicità di ogni singola struttura: l'identificazione di associazioni algali differenti è in accordo con i diversi contesti locali in cui le strutture analizzate sono inserite. Considerando poi la copertura algale in termini di gruppi morfofunzionali, le quattro località presentano comunità simili per struttura e funzionalità: una predominanza di forme filamentose, tipiche di ambienti "nuovi", e di forme arbustive, poca diversità e presenza specie tipiche di ambienti disturbati e ad alta energia.

La grande abbondanza di copertura algale composta da specie indigene e la scarsissima presenza di specie invasive non disegna un quadro allarmante, e risalta invece l'impatto positivo che queste strutture possono avere in termini di ruolo ricreativo, essendo poste in località altamente antropizzate.

Parole chiave: opere di difesa costiera, habitat artificiali, caratterizzazione biocenotica, organismi bentonici, biodiversità, impatto ambientale, gestione costiera.

Parole chiave: barriere artificiali, biodiversità, biocenosi, colonizzazione bentonica.

Abstract

Hard coastal defense structures provide a suitable substrate for colonization by phyto- and zoobenthos; the structural characteristics of barriers, such as orientation, material, or age, are certainly involved in the establishment of ecological succession, but also the local context has a key role in this process. The resulting benthic assemblages can represent a threat to biodiversity and facilitate the spreading of alien species. For an integrated coastal management, it is necessary to characterize the biocenosis on the artificial barriers, in order to assess their impact on surrounding ecosystems.

This paper presents the preliminary results from a study of coastal Tuscan barriers, similar in type and structure; data from a one-year sampling are used to describe benthic communities, using zoobenthic and algal cover visual surveys.

Characteristic species for each locality have been identified, which allow to discriminate accurately between the four stations analyzed, thus confirming the peculiarity of each structure: identification of different algal groups is consistent with the different local contexts in which the four structures are inserted. Considering however algal cover in terms of morphofunctional groups, the benthic assemblages have similar structure and function: a high predominance of filamentous forms, typical of "new" environments, a small number of species and the presence of species typical of disturbed and high energy environments.

The abundance of indigenous algal cover and the very low presence of invasive species does not seem to be alarming, while it might be interesting to focus on the positive impact that these structures, placed in highly populated and touristic places, for their potential recreational role.

Keywords: *hard coastal defense structures, biodiversity, biocenosis, benthos colonization.*

Introduzione

L'ambiente costiero rappresenta una risorsa di straordinario valore, per il ruolo fondamentale nello sviluppo economico, sociale e politico di molti paesi. Il suo degrado comporterebbe notevoli danni economici oltre che ambientali, in termini di perdita di paesaggio e dei suoi ecosistemi (Chapman e Underwood, 2011; Martin et al., 2005). Recenti studi mostrano che le minacce alla biodiversità marina, come modifiche nella composizione, dimensione e abbondanza delle popolazioni bentoniche (Moreira et al., 2006), o addirittura perdita o diminuzione della ricchezza di alcune specie (Chapman, 2003), o ancora diminuzione della capacità riproduttiva (Chapman e Underwood, 2011), possono avere conseguenze importanti per il funzionamento degli ecosistemi, modificando la produttività e il ciclo dei nutrienti e in ultima analisi possono colpire anche risorse e servizi per l'uomo (Loreau et al., 2002).

La tutela dell'ambiente marino e costiero, e quindi l'equilibrio idrogeologico delle aree costiere, è uno degli impegni prioritari assunti dalla Regione Toscana negli ultimi anni, e la proposta del Piano Regionale di Gestione Integrata della Costa è stato approvato dalla Giunta con la delibera n. 1214 del Novembre 2001. Le spiagge della Toscana sono largamente interessate da fenomeni erosivi, e dei 191 chilometri di litorale sabbioso continentale circa 70 sono in arretramento; a questo si aggiunge il dato preoccupante dell'entità di tale arretramento, che in alcuni casi supera i 3 metri l'anno (GNRAC, 2006); le opere di difesa costiera, ampiamente utilizzate sul territorio toscano, sono ormai integranti di molti tratti di costa.

Le scogliere artificiali utilizzate come difese costiere hanno il compito di opporre una resistenza meccanica all'azione erosiva del mare; oltre al loro ruolo "meccanico", però, finiscono col rappresentare un substrato roccioso ottimale per la colonizzazione delle comunità sessili zoo- e fitobentoniche, accompagnato solitamente da un fenomeno tigmotropico (attrazione esercitata da substrati duri ed in genere da corpi solidi sommersi nei confronti dei pesci, Breder e Nigrelli, 1935), che risulta di maggiore intensità se i substrati solidi sono rari, che è il caso dei fondali sabbiosi, detritici o fangosi dove maggiormente vengono impiegate le strutture di difesa costiera. Il benthos che colonizza le barriere diventa a sua volta una piattaforma alimentare sufficiente a soddisfare le esigenze di organismi sempre più grandi, avviando così una catena alimentare il cui ultimo anello è formato dalle specie commestibili per l'uomo (Pondella et al., 2002). Questa evidenza, unita alla crescente necessità di gestione delle zone costiere, ha stimolato l'incorporazione di conoscenze ecologiche in pratiche di ingegneria (Bergen et al., 2001).

Il substrato offerto dalle barriere artificiali può essere considerato simile a quello roccioso naturale, ma differisce da questo in termini di età, materiale, porosità, altezza, lunghezza, posizione, tipologia dei fondali circostanti, e viene inoltre interessato da fattori fisico-chimici e meteo marini diversi. Come primo passo nella valutazione dell'impatto degli interventi di difesa è quindi necessario caratterizzare le biocenosi di questi substrati, per capire se e quanto queste strutture artificiali ricalchino, per ricchezza di specie, distribuzione e abbondanze, i substrati di roccia naturale o se invece se ne discostino in modo sostanziale.

Le LCS (low-crested structures) possono essere colonizzate da alghe e invertebrati marini sessili che si trovano comunemente sugli habitat rocciosi naturali (Duffy-Anderson et al, 2003; Connell e Glasby, 1999; Knott et al., 2004; Bulleri, 2005; Moschella et al., 2005; Burt et al., 2009a, b, 2010): secondo alcuni studi,

in Italia, le specie dominanti sulle barriere sono specie comuni sulle sponde rocciose naturali, quali verdi efimere (*Ulva* spp.), cozze (*Mytilus* spp.), ostriche (*Ostrea edulis* e *Crassostrea gigas*), denti di cane (*Chthamalu* spp., *Balanus perforatus*) e patelle (*Patella* spp.).

Tuttavia il numero totale di specie e la densità di popolazione registrati sulle strutture artificiali sono stati generalmente inferiori rispetto alle sponde rocciose naturali adiacenti (Chapman, 2003; Moschella et al., 2005), mentre in alcuni casi l'abbondanza di pesci e organismi bentonici è stata registrata come superiore sulle barriere rispetto a quella delle scogliere naturali vicine, al contrario della biodiversità che è risultata minore (Pondella et al., 2002; Burt et al., 2009 a, b): la diversità complessiva del tratto di costa dove sono costruiti frangiflutti tende tuttavia ad aumentare e di conseguenza tende a crescere la diversità delle specie (Martin et al., 2005).

Uno dei principali fattori di disturbo per la vita gli organismi bentonici sembra essere la sedimentazione di argilla, limo, sabbia e detriti che circondano le LCS, portando a cambiamenti sia nella composizione e abbondanza di specie (Davis et al., 2002; Barros et al., 2001; Martin et al., 2005) che nella loro distribuzione e diversità, a un aumento della mortalità e a un ridotto insediamento.

Un secondo fattore limitante per la colonizzazione è la scarsa presenza di anfratti e piccole fratture, determinanti per la sopravvivenza di alcune specie, sulle barriere artificiali. Crepe e anfratti forniscono riparo dal moto ondoso e dalla predazione (Fretter e Manly, 1977; Underwood e Chapman, 1998), ma anche una minore esposizione all'essiccazione e insolazione (Raffaelli e Hughes, 1978; Mak e Williams, 1999; Chapman, 2003). La presenza di fessure e anfratti dipende a sua volta dal tipo di materiale utilizzato: le barriere artificiali in massi naturali come l'arenaria ospitano una maggiore abbondanza di bentos situato a livello di marea, come microalghe, molluschi e crostacei, rispetto a quelle in cemento, che presentano una minor rugosità superficiale (Moreira, 2006).

Altro fattore importante è l'età delle strutture: antozoi e poriferi presentano un basso tasso di crescita su substrati nudi, perciò sono meno abbondanti su siti artificiali di età recente, rispetto a substrati naturali (PerkolFinkel e Benayahu, 2005; Burt et al., 2009a). E' stato suggerito che siano necessari almeno dieci anni per lo sviluppo di comunità paragonabili a quelle di barriere naturali (Aseltine-Neilson et al., 1999; Abelson e Shlesinger, 2002; PerkolFinkel e Benayahu, 2005).

Altri importanti fattori da considerare nello studio della colonizzazione dei frangiflutti artificiali sono orientamento e posizione, determinanti a loro volta per l'ombreggiatura, l'idrodinamismo e la distanza dal fondo marino: la diversità è più alta su barriere poste a profondità maggiori e in generale sulla parte inferiore e più profonda delle barriere, dove essiccazione e sollecitazioni termiche sono ridotte a causa di brevi periodi di emersione (Moschella et al., 2005).

In molti casi la creazione di superfici rigide nelle regioni in cui non esistevano in precedenza (Bacchiocchi e Airoldi, 2003) facilita la diffusione di specie alloctone (Lambert e Lambert, 2003; Bulleri e Airoldi, 2005): insieme alla distruzione degli habitat, questa è ritenuta una delle più grandi minacce della biodiversità nativa (Gray, 1997; Sala et al., 2000). Esperimenti mostrano che le specie esotiche tendono a invadere gli habitat disturbati più facilmente di quelli indisturbati (Ceccherelli et al., 2000; Valentine e Johnson, 2003; Scheibling e Gagnon, 2006): sulle scogliere naturali sono state trovate più specie autoctone rispetto alle strutture artificiali. Inoltre il maggior numero di specie non indigene è stato ritrovato su frangiflutti di calcestruzzo. (Glasby et al., 2007).

E' inoltre da considerare l'impatto della necessaria gestione tecnica delle barriere: ci sono buone evidenze che frequenti manutenzioni per rafforzare o ristabilizzare le strutture o l'introduzione di funzionalità aggiuntive, abbiano un significativo impatto negativo soprattutto nei confronti delle specie più vulnerabili e in generale sulle comunità (Bacchiocchi e Airoldi, 2003): alcune specie presenti possono scomparire ma, allo stesso tempo, le nuove condizioni possono permettere a nuove specie di colonizzare il nuovo tipo di habitat (Martin et al., 2005). Per ogni nuova struttura introdotta nell'ambiente marino, ci vorrà del tempo per l'instaurarsi di nuove comunità biologiche. Così, le opere di difesa costiera devono essere stabili e costruite in modo tale che la manutenzione futura sia minima (Moschella et al., 2005).

In questo contesto regionale, nell'ambito dello studio della biodiversità costiera Toscana inserisce il progetto "Studio delle Barriere Artificiali nell'ambito della tutela della Biodiversità costiera Toscana – BiBAT" (Becchi et al., 2010), finanziato dalla Regione Toscana. Il progetto propone di descrivere gli effetti ecologici delle barriere artificiali utilizzate nell'ambiente costiero toscano, con l'obiettivo di definirne il valore biolo-

gico (anche in termini di impatto) attraverso il monitoraggio ed il campionamento di flora e fauna presenti sulle barriere, al fine di implementare il Piano di Gestione della Costa.

Il presente lavoro tratta alcuni risultati preliminari di questo progetto, riguardante la caratterizzazione delle biocenosi che popolano le strutture artificiali poste lungo le coste toscane. Lo scopo è stato quello di descrivere lo stato di colonizzazione biocenotica di barriere artificiali parallele di quattro località toscane, simili per tipologia e struttura: per la conformazione stessa della costa toscana che alterna tratti sabbiosi a rocciosi, si trovano spesso nelle vicinanze dei substrati rocciosi naturali, e quindi potenzialmente colonizzabili dalle specie presenti su questi. D'altra parte, i contesti fisici in cui sono inserite, cioè i fondali sabbiosi e dolcemente degradanti, sono caratterizzati da minore profondità, diverso idrodinamismo e differente tasso di sedimentazione rispetto ai fondali rocciosi naturali, e questi fattori ambientali potrebbero rappresentare un ostacolo all'instaurarsi di comunità biocenotiche simili a quelle presenti sulle vicine coste rocciose.

Le informazioni ricavate costituiscono un utile contributo preliminare per calibrare gli interventi di gestione e per garantire una migliore integrazione tra pianificazione degli usi e tutela dell'ambiente e della biodiversità.

Siti di campionamento

Come stazioni di rilievo sono state scelte le barriere artificiali situate nelle località Gombo (PI), Mazzanta (LI), Pratoranieri (GR) e Castiglione della Pescaia (GR), tutte scogliere parallele emerse e discoste dalla linea di riva poche decine di metri, quindi simili per struttura, orientamento e posizione.

Gombo

Situata all'interno della tenuta di San Rossore, la spiaggia di sabbia del Gombo è affacciata sul mar Ligure (provincia di Pisa, 43°43'N, 10°24'E).

Questa zona è sottoposta a tutela perchè costituisce un'area di elevato pregio naturalistico e presenta tassi di arretramento della linea di riva di oltre 5 metri all'anno (Pranzini, 2004): perciò la Regione ha ritenuto necessario l'uso, nel tratto meridionale, di strutture di difesa ortogonali alla costa e, in quello centrale, di opere parallele (scogliere) messe in loco a fine anni '60 e poi frequentemente rimaneggiate e mantenute; queste ultime sono state scelte come stazione di rilievo.

Mazzanta

La spiaggia della Mazzanta si affaccia sul mar Ligure e si trova nella provincia di Livorno (LI, 43°19'N, 10°27'E).

Le spiaggia, composta in alcuni tratti da sabbia e in altri da ghiaia, è caratterizzata da un fondale poco profondo. In seguito alla registrazione di un arretramento della linea di riva molto intenso negli ultimi decenni, nel 1997 la Regione ha posto numerose barriere parallele e pennelli per impedire l'erosione che hanno favorito la formazione di tomboli. I rilievi sono stati effettuati sui tratti di barriera paralleli alla linea di riva.

Pratoranieri

Frazione posta sul litorale a nord di Follonica, è bagnata dal mar Tirreno (GR, 42°55'N, 10°45'E). La gravità del fenomeno erosivo che caratterizza quest'area dagli anni cinquanta è da ricercarsi nei minori apporti sedimentari da parte dei corsi d'acqua, in particolare dal fiume Cornia. È probabile che gli interventi che avevano innescato il processo erosivo (bonifiche per colmata, costruzione di moli guardiani agli sbocchi a mare dei canali e opere di difesa all'esterno del settore), abbiano gradualmente smorzato il loro effetto ed oggi si stia procedendo verso una dinamica meno accentuata dei processi costieri. Probabilmente i litorali di Follonica non soffrono oggi nella loro globalità di un vero deficit sedimentario e sicuramente locali processi erosivi alternati a cospicui processi di accumulo e "tombolizzazione" a tergo delle opere di difesa parallele e distaccate sono indici nella loro complessità di un disequilibrio nei processi fisici di dinamica costiera, quindi di una mal ripartizione dei sedimenti in gioco nel trasporto netto sotto costa (Regione Toscana, 2001). I rilievi sono stati effettuati sulle barriere poste in località Pratoranieri, messe in loco in un lungo arco di tempo compreso fra il 1979 e il 1997.

Castiglione della Pescaia

Situata in provincia di Grosseto, la lunga spiaggia sabbiosa dell'omonimo paese si affaccia sul mar Tirreno

(GR, 42°45'N, 10°52'E). L'erosione della spiaggia, avvenuta nei decenni passati (soprattutto nel periodo 1983-1999), è imputabile alla presenza del porto canale di Castiglione della Pescaia che intercetta gran parte del trasporto litoraneo diretto verso nord-ovest.

Dal Documento Preliminare alla Progettazione della Regione Toscana risulta prioritario l'obiettivo di ristabilire l'equilibrio del tratto di litorale in erosione con l'utilizzo di barriere parallele alla costa e la riforma della spiaggia perduta negli ultimi anni. Tenendo conto della peculiare vocazione turistica di questo territorio e di tratti di costa sottoposta a tutela da normative speciali (SIR), che rappresentano una importante risorsa anche economica, gli interventi sono stati realizzati in modo da garantire il mantenimento della qualità del paesaggio e degli arenili. I rilievi sono stati eseguiti sulle barriere parallele a sud del porto, messe in loco negli anni '70.

Protocollo di campionamento

Il campionamento è avvenuto nel periodo primaverile-estivo del 2011. In ognuna delle quattro località sono stati scelti randomicamente due siti (A e B), per ognuno dei quali sono state effettuate più repliche di campionamento sia nel lato offshore che nel lato inshore, ad eccezione della località Mazzanta, in cui il rilievo inshore non è stato possibile vista la scarsissima profondità del fondale. Dopo un'analisi statistica della varianza condotta su dati provenienti da un primo rilievo esplorativo, il numero minimo di repliche per sito è stato fissato a tre sia per il lato esterno che per quello interno. Al Gombo ne è stato realizzato un numero maggiore: 3 interne e 4 esterne nel sito A, 4 interne e 5 esterne nel sito B. Alla Mazzanta il rilievo interno non è stato effettuato a causa della scarsa profondità del fondale, mentre nel lato esterno sono state fatte 4 repliche per sito.

Il campionamento consisteva nel rilievo visivo in loco (Bianchi et al., 2003), effettuato durante immersione, della copertura algale nelle diverse stazioni. Oltre a questo, veniva annotato il numero di fauna vagile e sessile che rientrava nel quadrato sperimentale. Bisogna specificare però che questa metodologia di campionamento, adatta allo studio della copertura algale e di conseguenza alla caratterizzazione dei substrati intertidali e subtidali, non è ottimale per un censimento esaustivo dello zoobentos: permette infatti il conteggio della macrofauna sessile ma non di quella vagile, per la quale andrebbe effettuato un campionamento più invasivo mediante sorbonatura (Bianchi et al., 2003). Pertanto i dati concernenti la fauna vagile devono essere considerati più da un punto di vista qualitativo (presenza segnalata di alcune specie) che quantitativo. Per ogni replica veniva posizionato randomicamente un quadrato di rilievo di 25x25 cm, diviso in 25 quadrati di 5x5 cm, ad una profondità di 1-2 metri e su superfici orizzontali. L'abbondanza veniva stimata visivamente in termini di percentuale di copertura per le specie vegetali (macroalghe) e di numero di individui presenti per fauna mobile e sessile non coloniale.

Per tutte le specie algali individuate è stata registrata la copertura in ogni quadrato di 5x5 cm, indicando valori da 1 (presenza) a 4 (copertura dell'intero quadrato). Dal momento che le alghe possono avere diverso portamento e pertanto disporsi su piani e strati diversi, la somma totale delle abbondanze relative in ogni quadrato può essere superiore a 100. Allo stesso modo, pur non essendo alghe, sono stati conteggiati i generi *Mytilus* e *Sabellaria*, in quanto tipicamente la loro presenza si traduce in copertura del substrato, e la fauna sessile coloniale come poriferi e briozoi.

Delle specie di non immediata identificazione è stata registrata l'abbondanza; sono state quindi prelevate per essere identificate in laboratorio con ausilio di binocolare e microscopio ottico. Alcune alghe e invertebrati sono stati identificati fino a livello di specie; tutti gli altri sono stati suddivisi in taxa superiori. Il fitobentos identificato tassonomicamente è stato anche classificato in categorie morfofunzionali, utili alla descrizione degli habitat marini (Volpi e Benvenuti, 2009).

Analisi dei dati

La struttura delle comunità bentoniche è stata valutata mediante un approccio multivariato: MDS (non-Metric Multidimensional Scaling) e PCO (Principal Coordinates analysis) per l'analisi esplorativa dei dati, e i test statistici PERMANOVA (PERMutational ANalysis Of VAriance) con disegno sperimentale a tre fattori, Canonical Analysis of Principal Coordinates (CAP) e DistLM (Distance Linear Model). Tutte le analisi sono state condotte utilizzando il software PRIMER e PERMANOVA+ (Clarke e Warwick, 2001; Anderson et al., 2008).

Risultati

Le specie algali identificate sono state 23 in totale, ma non di ognuna di esse è stata rilevata la presenza in tutte le stazioni di rilievo (Tab.1). Queste specie non sono in realtà le uniche presenti: sono infatti state rilevate numerose alghe di cui nell'identificazione non è stato possibile raggiungere il livello di genere o specie, ma che comunque contribuiscono a caratterizzare gli ambienti; in tabella ne viene indicato il gruppo morfofunzionale di appartenenza.

Tabella 1 - Lista delle specie presenti nelle diverse località. Di ogni specie o genere identificato è indicata l'appartenza a alghe rosse, verdi o brune e al rispettivo gruppo morfofunzionale. I valori fuori parentesi indicano la percentuale di copertura media di ogni specie nelle singole località; i valori in parentesi indicano invece la percentuale di distribuzione della specie stessa. La somma delle coperture relative può non raggiungere 100; il valore mancante è da attribuire alla presenza di patch sabbiosi o creste di scoglio nude. Per la corrispondenza dei gruppi morfofunzionali si veda la legenda della Tabella 2.

Divisione	Gruppo morfo-funzionale	Genere / Specie	GOMBO	MAZZANTA	PRATO RANIERI (FOLLONICA)	CASTIGLIONE DELLA PESCAIA
Chlorophyta	FA	<i>Acetabularia acetabulum</i>		0,02 (0,18)	0,06 (0,82)	
Chlorophyta	FA	<i>Caulerpa prolifera</i>		0,01 (0,71)	<0,01 (0,29)	
Chlorophyta	FAL	<i>Caulerpa racemosa</i>	0,01 (0,08)	0,12 (0,51)	0,08 (0,41)	
Chlorophyta	FFF	<i>Chetomorpha</i> sp.		0,02 (0,54)	0,01 (0,44)	<0,01 (0,02)
Chlorophyta	FA	<i>Cladophora</i> sp.			<0,01 (0,25)	<0,01 (0,75)
Chlorophyta	FA	<i>Codium vermilara</i>		0,02 (1)		
Rhodophyta	CATE	<i>Corallina elongata</i>	0,03 (0,45)		0,03 (0,26)	0,05 (0,29)
Phaeophyta	FA	<i>Dictyota dichotoma</i>	0,18 (0,77)	<0,01 (0,01)	0,07 (0,17)	0,02 (0,05)
Phaeophyta	FA	<i>Dictyota linearis</i>	<0,01 (1)			
Chlorophyta	FA	<i>Flabellia petiolata</i>		0,01 (0,1)	0,01 (0,9)	
Rhodophyta	FA	<i>Gastroclonium clavatum</i>	0,04 (0,66)		0,02(0,17)	0,02 (0,17)
Rhodophyta	FCCA	<i>Haliptilon virgatum</i>			0,01 (0,84)	<0,01 (0,16)
Rhodophyta	FA	<i>Halopithys incurva</i>	<0,01 (0,4)	0,01 (0,35)	<0,01 (0,05)	<0,01 (0,2)
Phaeophyta	FA	<i>Halopteris scoparia</i>			0,05 (0,99)	<0,01 (0,01)
Rhodophyta	FA	<i>Hypnea</i> sp.	0,04 (1)			
Rhodophyta	FCCA	<i>Jania</i> sp.	<0,01 (0,01)	0,01 (0,07)	<0,01 (0,06)	0,08 (0,86)
Rhodophyta	FA	<i>Laurencia</i> sp.			0,01(1)	
Phaeophyta	FA	<i>Padina pavonica</i>		0,39 (0,95)	0,01(0,02)	0,01 (0,03)
Rhodophyta	FC	<i>Peyssonnelia</i> sp.			<0,01 (1)	
Chlorophyta	FA	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>		<0,01 (1)		
Rhodophyta	FA	<i>Radicilingua reptans</i>			0,03 (1)	
Phaeophyta	FA	<i>Taonia atomaria</i>	<0,01 (0,04)		0,08 (0,96)	
Chlorophyta	FA	<i>Ulva</i> sp.	0,07 (0,53)		0,11 (0,42)	0,02 (0,05)
Vari	CATE		0,01 (1)			
Rhodophyta	CC		0,03 (0,8)	<0,01 (0,05)	<0,01 (0,1)	<0,01 (0,05)
Vari	FC		<0,01 (0,35)		<0,01 (0,55)	<0,01 (0,1)
Vari	FFF	Feltro	0,2 (0,2)	0,3 (0,1)	0,4 (0,3)	0,78 (0,4)

Sono state identificate rispettivamente 12 specie a Castiglione della Pescaia, 19 a Pratoranieri, 11 alla Mazzanta e 11 al Gombo. Oltre a queste, in tutti i siti è stata registrata una grande quantità di feltro, gruppo FFF, la cui abbondanza varia da un 21% di copertura al Gombo fino a oltre il 70% a Castiglione, contrapposta ad una scarsissima presenza di corallinacee crostose (CC) e forme crostose (FC). All'interno di questi gruppi non si è proceduto all'identificazione delle specie, in quanto il valore biologico di questo gruppo non varia a seconda della sua composizione algale, e pertanto non è biologicamente rilevante.

Tutte le specie individuate sono da ritenersi autoctone, ad eccezione di *Caulerpa racemosa*, alga verde arbustiva invasiva che risulta presente sui substrati artificiali ad eccezione di Castiglione della Pescaia, ed inoltre

particolarmente importante nell'abbondanza specifica della Mazzanta (13% del totale). Essendo invasiva, è inserita nel gruppo Forme aliene (FAL) come indicato in Tabella 1; nell'analisi che segue è stata però considerata come Forma arbustiva in base alle sue caratteristiche morfofunzionali.

Le specie sono state successivamente raggruppate nei rispettivi gruppi morfofunzionali (Tab. 2). I gruppi rilevati su questi substrati sono 7 (sui 12 presenti sulle coste rocciose naturali toscane, BioMarT 2009), e fra questi i più rappresentati sono i gruppi Forme arbustive (FA) e Feltro – forme filamentose (FFF), che rispettivamente rappresentano il 39,4% e il 40,2% della copertura totale rilevata, oltre ad essere i gruppi più rilevanti in ognuna delle località considerata.

Tabella 2 - Gruppi morfofunzionali rappresentati nelle quattro località di rilievo. In grassetto è riportata la percentuale di copertura media. Quando presente, il numero fra parentesi indica il numero di specie che compongono il gruppo; se non indicato, non si è proceduto all'identificazione specifica all'interno del gruppo (CC, FFF). Nell'ultima colonna è riportata l'abbondanza relativa (%) di ogni gruppo rispetto alla copertura totale rilevata. CATE: corallinacee articolate erette; CC: corallinacee crostose; FA: forme arbustive; FCCA: forme corallinacee articolate; FFF: feltro forme filamentose; FPS: forme plagiotrope sciafile. ZOO: *Mytilus* e *Sabellariasp.*

GRUPPI MORFO FUNZIONALI	GOMBO	MAZZANTA (PISA)	PRATO RANIERI (FOLLONICA)	CASTIGLIONE DELLA PESCAIA	Copertura totale dei GMF (%)
CATE	0,04 (1)		0,03 (1)	0,05 B	3,6
CC	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	1,4
FA	0,36 (8)	0,59 (9)	0,51 (14)	0,08 (7)	39,4
FC	<0,01 (1)		<0,01 (1)	<0,01 (1)	0,4
FCCA	<0,01 (1)	0,01 (1)	0,02 (2)	0,08 (2)	2,1
FFF	0,22	0,35	0,42	0,79	40,2
ZOO	0,35 (1)	0,06 (2)			12,9

Per quanto riguarda lo zoobentos, sulle barriere del Gombo sono stati rilevati diversi gruppi di interesse, nonostante il metodo di campionamento non mirato al conteggio della fauna. In Tabella 3 sono riportati esclusivamente i taxa sessili, dal momento che presenza e abbondanza della fauna vagile rilevata non sono realmente indicative della comunità bentonica. Fra i taxa segnalati in tabella sono di particolare importanza i primi due, *Mytilus* sp. e *Sabellaria* sp.: entrambi, quando presenti, tendono a coprire interi patch, colonizzando in modo massivo il substrato; la presenza di entrambi è stata rilevata al Gombo, dove rappresentano oltre il 35% della copertura totale. Il genere *Sabellaria* è stato rilevato anche in località Mazzanta, con una copertura di circa il 6%.

Tabella 3 - Zoobentos sessile rilevato nelle quattro stazioni di campionamento. I generi *Mytilus* e *Sabellaria* sono stati conteggiati in termini di copertura (%), mentre per gli altri taxa è stato conteggiato il numero di individui, di cui in tabella è riportato il valore medio fra le repliche.

TAXON	Specie o nome comune	GOMBO (PISA)	MAZZANTA (LIVORNO)	PRATO RANIERI (FOLLONICA)	CASTIGLIONE DELLA PESCAIA (GR)
Bivalvia	<i>Mytilus</i> sp.	33,4 (%)			
Polychaeta	<i>Sabellaria</i> sp.	5,1 (%)	6,1 (%)		
Balanomorpha	Balani	0,63			
Bivalvia	<i>Gastrochaena dubia</i>	1,63			
Bryozoa	(Briozoi incrostanti)	3,13		0,45	
Gastropoda	<i>Patella</i> sp.				0,08
Gastropoda	Vermetidi	0,56			
Hydrozoa	Idrozoi	0,06			
Polychaeta	Serpulidi	0,63			0,08
Porifera	Spugna incrostante	0,31			
Porifera	<i>Cliona</i> sp.	0,13			

La Analisi delle Coordinate Principali (PCO), un'analisi esplorativa che permette di correlare la distanza fra i punti con le variabili utilizzate, è in grado di separare le quattro località (Fig.1A); le specie vegetali più correlate con tale separazione risultano essere *Gastroclonium clavatum*, *Hypnea* sp., *Ulva* sp., *Dictyota dichotoma*, *Corallina elongata*, che nel loro insieme contraddistinguono per abbondanza buona parte delle repliche del Gombo e pesano nella distanza fra Pratoranieri (dove sono più abbondanti), Castiglione e Mazzanta (dove sono assenti). E' invece il feltro, il "tappeto" algale compatto, a separare il Gombo, dove è molto poco abbondante, dalle altre località che ne sono invece caratterizzate. A distinguere il Gombo dalle altre località contribuisce altrettanto fortemente, anche se in senso opposto, la specie *Mytilus* sp.: risulta estremamente abbondante al Gombo, in alcune repliche in particolare, mentre scarsa o assente nelle altre località. Infine *Padina pavonica*, *Jania* sp., *Chaetomorpha* sp. e *Caulerpa racemosa* sono fortemente correlate con la separazione della Mazzanta, in cui risultano estremamente più abbondanti.

La stessa analisi, condotta per indagare eventuali differenze fra lato interno ed esterno delle varie località mostra invece come i due lati non siano nettamente separati dall'analisi (Fig. 1B); tutte le repliche interne presentano sicuramente grande abbondanza di feltro e assenza di *Mytilus* sp., anche se questo carattere non risulta distintivo essendo proprio anche di molte repliche esterne.

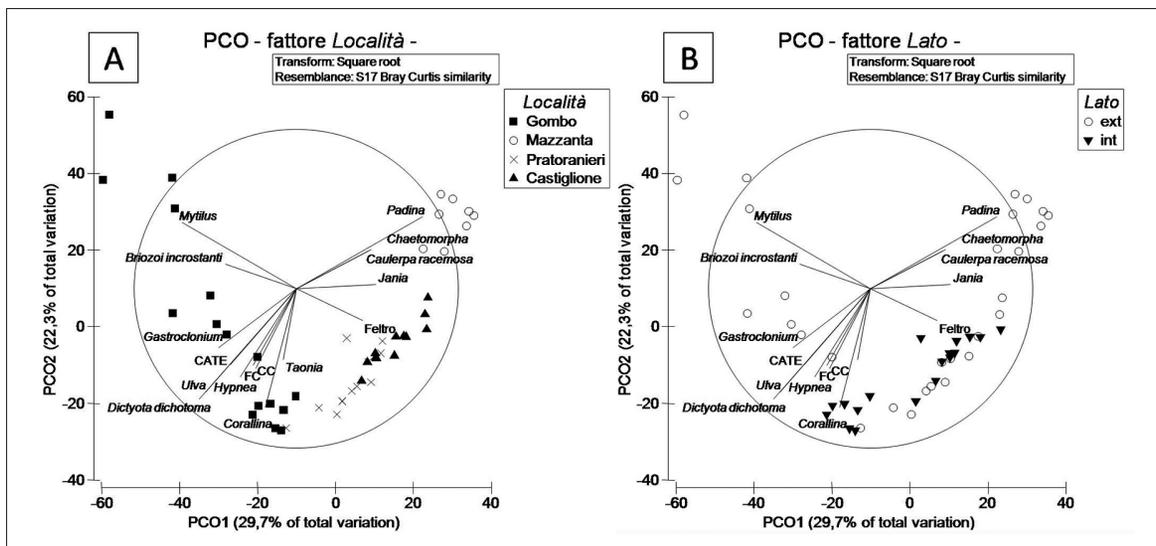


Figura 1 - (A) Output grafico della PCO; le repliche delle diverse località sono plottate secondo le prime due componenti principali (PCO1, PCO2). Il valore riportato sugli assi indica la loro incidenza percentuale sulla varianza totale dei dati. I vettori riportati in figura mostrano le variabili correlate (Spearman) con gli assi per un valore $>0,5$; la lunghezza del vettore è proporzionale al loro valore di correlazione (r circonferenza = 1), la loro proiezione sugli assi indica, oltre al valore, il verso di correlazione. (B) Output grafico della PCO in cui sono mostrate le repliche interne (bianche) ed esterne (nere) senza distinzione fra località. Il valore riportato sugli assi, come in Fig.1A, indica la loro correlazione con la distribuzione dei punti.

La Permanova, analisi multidimensionale della varianza, a tre fattori e permutazionale è stato condotto con il MonteCarlo test. Sono stati considerati tre fattori: Località, ortogonale e fisso, a quattro livelli (Gombo, Mazzanta, Pratoranieri, Castiglione); Lato, ortogonale e fisso, a due livelli (esterno, interno); Sito, e nidificato in Latoe Localitàe random, a due livelli (A, B). Il test individua differenze significative per i fattori Localitàe Lato, ed anche nell'interazione fra questi (Tab. 4). In accordo col disegno sperimentale non risultano invece differenze significative nel fattore Sito.

Il PairWise condotto sul fattore Località mostra che tutte le località sono diverse fra loro, mentre quello condotto sull'interazione dei fattori Località e Lato mostra che in tutte le località testate, Castiglione, Pratoranieri e Gombo, il lato interno è significativamente diverso da quello esterno (Tab. 5).

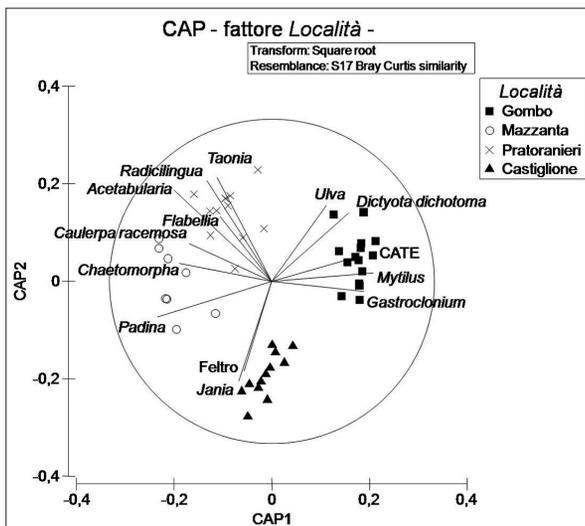
Tabella 4 - Risultati della Permanova. Sono riportati i valori di Pseudo-F e la significatività del MonteCarlo test (P(MC)). Il test segnala celle vuote nell'interazione "lo x la" dovute all'assenza di repliche nel lato interno in località Mazzanta.

PERMANOVA -tabella dei risultati-					
Fattore	df	SS	MS	Pseudo-F	P(MC)
Lo	3	47186	15729	18,999	0,0001
La	1	5676,1	5676,1	7,0208	0,0003
loxla	2	9838,9	4919,5	6,0772	0,0001
si(loxla)	7	5714,8	816,4	1,247	0,1746
Res	34	22259	654,69		
Total	47	94780			

Tabella 5 - Risultati dei Post Hoc Test per dati accoppiati condotti sul fattore Località e sull'interazione dei fattori Località e Lato; sono riportati i valori di t e la significatività del MonteCarlo test (P(MC)).

Post- Hoc TEST, dati accoppiati			
Fattore "Località"	Gruppi	t	P(MC)
	Castiglione, Pratoranieri	4,3661	0,0001
	Castiglione, Mazzanta	4,6082	0,0002
	Castiglione, Gombo	4,2473	0,0001
	Pratoranieri, Mazzanta	5,0667	0,0002
	Pratoranieri, Gombo	3,4946	0,0003
	Mazzanta, Gombo	4,4445	0,0002
fattori "Local. x Lato"	Località	Gruppi	P(MC)
	Castiglione	ext, int	0,33
	Pratoranieri	ext, int	0,0217
	Gombo	ext, int	0,0164

Infine, è stata condotta l'Analisi Canonica delle Coordinate Principali (CAP) sul fattore Località; come



mostra la figura 2, le quattro località risultano nettamente separate, come confermato dagli altissimi valori di correlazione delle prime CAP. Questa analisi mostra a quali variabili sono attribuibili le differenze fra le località: *Ulva* sp., *Dictyota dichotoma*, *Mytilus* sp., *Gastroclonium clavatum* il gruppo CATE risultano distintivi della località Gombo. Feltro e *Jania* sp. caratterizzano invece Castiglione, mentre *Taonia pseudociliata*, *Radicilingua reptans*, *Acetabularia acetabulum* e *Flabellia petiolata* sono invece distintive di Pratoranieri. Infine, *Chaetomorpha* sp., *Padina pavonica* e *Caulerpa racemosa* sono le specie che caratterizzano la Mazzanta.

Figura 2 - Output grafico della CAP; sono plottate le quattro diverse località e i vettori corrispondenti alle variabili con correlazione di Spearman > 0,5. Valori di correlazione degli assi: CAP1= 0,947; CAP2= 0,873.

Il Leave-one-out Allocation Test assegna correttamente il 100% dei casi alle rispettive località (Tab. 6).

Tabella 6 - Risultati del test di validazione incrociato (Leave-one-out Allocation Test). Nell'ultima colonna sono riportati i valori % di correttezza dell'attribuzione dei singoli casi. La correttezza totale è di 48/48 (100%) mentre l' "Errore di attribuzione" è dello 0%.

Gruppo	Castiglione	Pratoranieri	Mazzanta	Gombo	Totale	% correttezza
Castiglione	12	0	0	0	12	100
Pratoranieri	0	12	0	0	12	100
Mazzanta	0	0	8	0	8	100
Gombo	0	0	0	16	16	100

Discussione e conclusioni

Questo studio preliminare, basato su un solo anno di campionamento, mette in luce come le comunità bentoniche, in particolare quelle fitobentoniche, differiscano significativamente fra le quattro stazioni analizzate. Le barriere artificiali su cui sono stati condotti i campionamenti sono paragonabili sia per la tipologia di intervento sia per i fattori ambientali cui sono sottoposte: sono infatti parallele alla linea di costa, parzialmente emerse, e realizzate in roccia naturale; inoltre, sono circondate da fondi molli e poste a profondità comparabili. Offrono pertanto un substrato potenzialmente simile alla colonizzazione da parte delle specie bentoniche. Ciononostante, i rilievi condotti mostrano come ognuna delle quattro località sia colonizzata da associazioni bentoniche caratteristiche. Questo è in accordo con le aspettative, dal momento che ogni intervento ha necessariamente portato con sé una specificità legata al contesto locale in cui veniva inserito: granulometria della sabbia, quantità del sedimento sospeso, idrodinamismo, correnti, torbidità delle acque, temperature massime e minime stagionali influiscono infatti sulla successione ecologica che si avrà su un dato substrato, e sulla conseguente associazione bentonica che ne risulta. Le quattro stazioni, pur accomunate da barriere strutturalmente simili, presentano certamente differenze in termini di fattori ambientali, oltre che di substrato (composizione delle rocce utilizzate per l'intervento, loro porosità, ecc...).

La località del Gombo, all'interno del Parco di San Rossore (Pisa) è risultata la più ricca come numero di specie se si considerano le specie sia fito- che zoobentoniche; prendendo in esame solamente il fitobentos è invece Pratoranieri (Follonica, Grosseto) a presentare un numero più elevato di specie algali. D'altra parte, alcuni gruppi morfofunzionali (CC e FFF, per approfondimenti si veda BioMarT, Volpi e Benvenuti, 2009), come spiegato nelle metodologie di rilievo, sono stati rilevati senza identificarne la composizione specifica; il numero di specie individuato non può quindi essere utilizzato per un confronto reale della biodiversità, pur restando un'indicazione utile sulla composizione algale dei diversi siti.

E' invece interessante soffermarsi sulle diverse specie che caratterizzano le quattro località.

Il Gombo presenta, come detto, un maggior numero di specie zoobentoniche; fra queste è di particolare importanza la presenza di *Mytilus* sp., che concorre per oltre il 30% nella copertura del substrato, e come si evince dai grafici e dalle analisi pesa significativamente nella distinzione di questa località. I tappeti di cozze risultano in effetti caratteristici del lato offshoredelle barriere del Gombo; sono invece pressochè assenti nel lato interno, probabilmente per il minor movimento delle acque e la presenza maggiore di sedimento, poco sopportato da questi bivalvi.

Insieme al genere *Mytilus*, nella caratterizzazione del Gombo è determinante un altro animale, *Sabellaria* sp., un anellide polichete che utilizza granelli di sabbia per costruire i tubi in cui vive, arrivando a creare veri e propri reefslà dove è abbondante: al Gombo rappresenta circa il 6% della copertura, ed è più abbondante sul lato esterno. Oltre allo zoobentos, di particolare rilievo in questa località sono le alghe del genere *Hypnea*, non rilevate nelle altre località, e il gruppo morfofunzionale delle Corallinacee crostose (CC). Ancora, le specie *Ulva* sp., *Dyctiota dichotoma*, *Gastroclonium clavatum* e *Corallina elongata*, pur non rappresentando percentuali di copertura particolarmente notevoli, sono state registrate in questo sito ma non negli altri, ad eccezione di alcuni record a Pratoranieri. Infine è da segnalare, essendo specie notoriamente invasiva nel Mar Mediterraneo, la presenza di *Caulerpa racemosa*, se pure rappresente solo l'1% di copertura del substrato.

Le barriere della Mazzanta presentano una copertura di feltro (FFF) che supera il 30%; sono inoltre caratterizzate da alcune specie poco presenti o assenti nelle altre località: *Codium vermilara*, *Chaetomorpha* sp. e, particolarmente importante nella caratterizzazione di questo sito, *Padina pavonica*. Quest'alga bruna dalla caratteristica forma a ventaglio è tipica di acque poco profonde, sopporta bene temperature anche molto alte e l'illuminazione forte ma non l'emersione. Alla Mazzanta rappresenta quasi il 40% della copertura totale, e

negli altri siti è stata rilevata in quantità minime; insieme a *Caulerpa racemosa* e *Chaetomorpha* sp. ha infatti correlazione >0,5 nella CAP, che assegna correttamente il 100% delle repliche alle rispettive località. Per quanto riguarda *C. racemosa*, oltre il 60% della quantità totale rilevata nelle quattro stazioni è concentrata in questo sito, dove rappresenta circa il 13% di copertura totale. Quest'alga invasiva, sopporta bene i fondi sabbiosi e melmosi, e trova evidentemente un substrato favorevole alla colonizzazione alla Mazzanta, in cui la copertura a feltro è spesso associata a grandi quantità di sedimento.

Le barriere analizzate a Castiglione sono invece nettamente caratterizzate da una predominante copertura di feltro, che raggiunge quasi l'80%. Il feltro è un'associazione algale che sopporta bene la frequente e prolungata emersione ed in generale si ritrova in ambienti ad alta energia, oltre che negli ambienti di recente formazione: le Forme filamentose sono infatti fra le prime, assieme a *P. pavonica* ad attecchire sui substrati nuovi. Inoltre, è considerata tipica di ambienti disturbati, anche se non necessariamente impattati o inquinati: il disturbo può essere un elevato idrodinamismo, un elevato tasso di sedimentazione o appunto una frequente esposizione a luce diretta e emersione. Le barriere a sud del porto di Castiglione considerate in questo studio si trovano a profondità in certa misura minori rispetto alle altre analizzate, e molto a ridosso della linea di riva; le condizioni ambientali cui sono sottoposte le associazioni algali sono probabilmente più impattati rispetto alle altre stazioni.

Come emerge dalla CAP, insieme al feltro sono le alghe del genere *Jania* a caratterizzare le barriere di Castiglione. rappresentano circa l'8% di copertura e sono state individuate principalmente in questa località.

Infine, a Pratoranieri è stato registrato il più alto numero di specie algali identificato; ad eccezione del gruppo feltro e del genere *Ulva*, di cui comunque non è stata indagata la composizione specifica, nessuna delle specie individuate rappresenta una percentuale di copertura superiore al 10%; l'assenza di specie nettamente dominanti è tipica di ambienti in equilibrio e colonizzati da comunità stabili. Fra queste, sei non sono state ritrovate sugli altri substrati artificiali: *Taonia pseudociliata*, *Halopteris scoparia*, *Haliptylon virgatum*, *Radicilingua reptans*, *Peyssonelia* sp. e *Laurencia* sp.; in aggiunta, pur coprendo percentuali minime di substrato, su queste barriere è stata registrata la presenza di corallinacee crostose, presenti solo al Gombo. E' presente anche *Caulerpa racemosa*, se pure in percentuale di copertura inferiore all'1%.

La differente età di queste strutture influisce probabilmente nel determinare le differenze nel tipo di associazioni presenti: ne è esempio la varietà di flora e fauna riscontrata al Gombo, che è in accordo con l'età dell'intervento (in loco dagli anni '60). I successivi interventi di manutenzione possono aver introdotto nuovi massi o rimaneggiato quelli precedentemente posizionati, ma i nuovi substrati potevano facilmente essere colonizzati dalla vicina flora già insediata.

I fattori ambientali concorrono, assieme all'età, alla caratterizzazione dei siti: le barriere di Castiglione, posizionate negli anni '70, sono più vecchie di circa dieci anni rispetto a quelle di Pratoranieri, eppure presentano una minore ricchezza di specie: in questa "povertà" incidono probabilmente la vicinanza alla riva, la minore profondità complessiva e la maggior esposizione del substrato analizzato (circa 1 metro di profondità) all'azione del sedimento sospeso.

La barriere della Mazzanta, coeve di quelle a Pratoranieri, ne risultano statisticamente ben distinte, così come dalle altre località. I rilievi effettuati sui fondali circostanti hanno in effetti evidenziato una sostanziale differenza rispetto agli altri siti: le barriere sono circondate, fino al piede, da una prateria di *Cymodocea nodosa*, da matte morta di *Posidonia oceanica* e da spot di *Caulerpa prolifera*, la caulerpacea indigena dei nostri mari. Inoltre, i fondali circostanti sono ricoperti da uno spesso strato di detrito di origine organica, risultando parzialmente fangosi e rendendo l'acqua torbida anche con bassa turbolenza.

A prescindere dalle differenze riscontrate a livello di composizione specifica, le barriere artificiali appaiono abbondantemente colonizzate, e presentano forti somiglianze nel tipo di associazione instaurata. Tutte sono accomunate dalla presenza di specie euriechie, cioè largamente tolleranti e particolarmente adatte ad ambienti variabili; ne sono esempio il feltro, così come *Ulva* sp. e *Dictyota dichotoma*. Sono invece quasi assenti alghe più specializzate che sono tipiche dei nostri substrati rocciosi naturali (come ad esempio i generi *Halopteris* e *Halopytis*), e il numero di specie non è elevato. D'altra parte, se pure con una minore diversità rispetto ai siti naturali non sembrano essere particolarmente abitate da specie invasive: è stata ritrovata solo *C. racemosa*, che è però ormai considerata ubiquitaria nelle coste toscane, in particolare nella zona circostante Livorno (BioMarT, Volpi e Benvenuti 2009). Oltre il 60% di *C. racemosa* rilevata in questo studio è stata individuata sulle barriere della Mazzanta, nella zona meridionale della provincia Livorno; pertanto, la presenza di *C. ra-*

cecosa su queste barriere non è da attribuire alla presenza in sé di substrato artificiale, ma più probabilmente alla vicinanza di questo alla zona di maggior infestazione dell'alga invasiva. Il rilevamento di quantità minori ma sempre importanti (oltre il 30% del totale rilevato) di quest'alga invasiva nella località Pratoranieri, ancora più a sud di Livorno, sembra confermare quest'ipotesi.

Considerando le associazioni algali in termini di gruppi morfofunzionali (Tab. 2) la composizione delle quattro stazioni risulta piuttosto comparabile: non solo dalla netta predominanza dei gruppi Feltro forme filamentose (FFF) e Forme arbustive (FA), ma anche dalle abbondanze relative degli altri gruppi presenti. Questi substrati artificiali, pur mostrando differenze locali, appaiono quindi accomunati da tipologie associative simili, da una ricchezza di specie non elevate e da una predominanza di specie generaliste. D'altra parte, questo scenario è in accordo con il contesto in cui sono inserite le strutture artificiali: i bassi fondali sabbiosi circostanti fanno sì che le comunità bentoniche siano sottoposte all'azione erosiva di importanti quantità di sedimento, a periodiche emersioni di alcune parti del substrato e a forti escursioni termiche. Gli stessi fattori determinano anche le significative differenze riscontrate nella composizione algale fra lato interno ed esterno delle strutture: gli specchi d'acqua interni hanno profondità molto ridotte a causa delle grandi quantità di sedimento che vi si depositano; l'acqua può raggiungere temperature elevate, l'idrodinamismo è molto ridotto rispetto al lato esterno ed il sedimento stesso copre buona parte del substrato artificiale.

Infine, è certamente da prendere in considerazione l'impatto che queste strutture possono avere sugli ambienti naturali circostanti. Importante è ad esempio il potenziale ruolo delle barriere artificiali come stepping stones: i substrati rocciosi possono infatti costituire vere e proprie "stazioni di passaggio" per le specie di substrato duro, siano esse indigene o invasive, permettendo loro di attraversare lunghi litorali sabbiosi che altrimenti rappresenterebbero barriere geografiche sufficienti al loro contenimento (Airoldi e Beck, 2007). In quest'ottica, le barriere artificiali potrebbero contribuire a una migrazione più rapida, o più capillare, di specie di habitat rocciosi, invasive o meno, lungo le coste del Mediterraneo. Le conseguenze negative sono evidenti per quanto riguarda le specie invasive, ma non è da sottovalutare il rischio cui questo fenomeno sottopone le stesse comunità indigene, in termini di perdita di ricchezza e biodiversità.

In ultima analisi vanno anche sottolineati i potenziali impatti positivi di queste strutture. Il fatto di essere comunque abbondantemente colonizzate e con una ricchezza di specie in parte correlata con l'età dell'intervento è uno di questi: le strutture infatti costituiscono una grande risorsa per molta fauna marina, che vi si concentra; in particolare, è nota l'attrazione che esercitano sui pesci, dovuto sia al naturale effetto tigmotropico sia per l'abbondante risorsa di cibo che costituiscono. Questo potrebbe tradursi in un importante ruolo di questi substrati in termini di produzione di specie indigene, ma soprattutto è da considerare l'impatto positivo che questi aspetti possono avere sulla fruibilità della zona: le strutture sono solitamente poste a difesa di luoghi turistici e di spiagge frequentate, e la grande abbondanza di forme vegetali e animali attorno alle barriere di certo contribuisce al ruolo ricreativo di queste zone.

Bibliografia

- Abelson A. e Shlesinger Y. (2002) - *Comparison of the development of coral and fish communities on rock-aggregated artificial reefs in Eilat, Red Sea*. Journal of Marine Science, 59: 122-126.
- Airoldi L. e Beck M.W. (2007) - *Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe*. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 45: 345-405.
- Anderson M.J., Gorley R.N. e Clarke K.R. (2008) - *PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E Ed., Plymouth, UK.
- Aseltine-Neilson D., Bernstein B., Palmer-Zwahlen M., Riege L. e Smith R. (1999) - *Comparisons of turf communities from Pendleton Artificial Reef Torrey Pines*. Artificial Reef, and a natural reef using multivariate techniques. Bulletin of Marine Science, 65: 37-57.
- Bacchiocchi F. e Airoldi L. (2003) - *Distribution and dynamics of epibiota on hard structures for coastal protection*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 56: 1157-1166.
- Barros F., Underwood A.J. e Lindgarth M. (2001) - *The influence of rocky reefs on the structure of benthic macrofauna in nearby soft-sediments*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 52: 191-199.
- Becchi C., Cannicci S. e Ortolani I. (2010) - *Progetto di ricerca "Studio per la gestione delle Barriere Artificiali nell'ambito della tutela della Biodiversità costiera Toscana - Bi.B.A.T.* In: Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura. F. Benincasa Ed. Atti del III Convegno IBIMET: 405-412.

- Bergen S.D., Bolton S.M. e Fridley J.L. (2001) - *Design principles for ecological engineering*. Engineering, 18: 201-210.
- Bianchi C.N., Pronzato R., Cattaneo-Vietti R., Benedetti Cecchi L., Morri C., Pansini M., Chemello R., Milazzo M., Fraschetti S., Terlizzi A., Peirano A., Salvati E., Benzoni F., Calcinai B., Cerrano C. e Bavestrello G. (2003) - Capitolo 6 - *I fondi duri*. In: Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. M.C. Gambi, M. Dappiano Eds., Livorno. Biologia Marina Mediterranea, 10 (suppl.): 199-231.
- Breder C.M. Jr e Nigrelli R.F. (1935) - *The influence of temperature and other factors on the winter aggregation of the sunfish, Lepomis auritus, with critical remarks on the social behavior of fishes*. Ecology, 16: 33-47.
- Bulleri F. (2005) - *The introduction of artificial structures on marine soft- and hardbottoms: ecological implications of epibiota*. Environmental Conservation, 32: 101-102.
- Bulleri F. e Airoldi L. (2005) - *Artificial marine structures facilitate the spread of a nonindigenous green alga, fragile ssp. tomentosoides in the north Adriatic Sea*. Journal of Applied Ecology, 42: 1063-1072.
- Burt J., Bartholomew A., Bauman A., Saif A. e Sale P.F. (2009a) - *Coral recruitment and early benthic community development on several materials used in the construction of artificial reefs and breakwaters*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 373: 72-78.
- Burt J., Bartholomew A., Usseglio P., Bauman A. e Sale P.F. (2009b) - *Are artificial reefs surrogates of natural habitats for corals and fish in Dubai United Arab Emirates?* Coral Reefs, 28: 663-675.
- Burt J., Feary D., Bauman A., Usseglio P. e Sale P.F. (2010) - *The influence of wave exposure on coral community development on man-made breakwater reefs, with a comparison to a natural reef*. Bulletin of Marine Science, 86: 839-859.
- Ceccherelli G., Piazzini L. e Cinelli F. (2000) - *Response of the non-indigenous racemosa (Forsskal) J-Agardh to the native seagrass oceanica (L.) Delile: effect of density of shoots and orientation of edges of meadows*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 243: 227-240.
- Chapman M.G. (2003) - *Paucity of mobile species on constructed seawalls: effects of urbanization on biodiversity*. Marine Ecology Progress Series, 264: 21-29.
- Chapman M.G. e Underwood A.J. (2011) - *Evaluation of ecological engineering of "armoured" shorelines to improve their value as habitat*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 400: 302-313.
- Clarke K.R. e Warwick R.M. (2001) - *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd edition. PRIMER-E Ed., Plymouth, UK.
- Connell S.D. e Glasby T.M. (1999) - *Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia*. Marine Environmental Research, 47: 373-387.
- Davis J.L.D., Levin L.A. e Walther S.M. (2002) - *Artificial armored shorelines: sites for open-coast species in a southern California bay*. Marine Biology, 140: 1249-1262.
- Duffy-Anderson J.T., Manderson J.P. e Able K.W. (2003) - *A characterization of juvenile fish assemblages around man-made structures in the New York New Jersey Harbor Estuary, USA*. Bulletin of Marine Science, 72 (3): 877-889.
- Fretter V. e Manly R. (1977) - *The settlement and early benthic life of Littorina neritoides (L.) at Wembury, S. Devon*. Journal of Molluscan Studies, 43 (3): 255-262.
- Glasby T.M., Connel S.D., Holloway M.G. e Hewitt C.L. (2007) - *Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions?* Marine Biology, 151: 887-895.
- GNRAC (2006) - *Le spiagge della Toscana*. Studi costieri, 10: 15-20.
- Gray J.S. (1997) - *Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs*. Biodiversity and Conservation, 6:153-175.
- Knott N.A., Underwood A.J., Chapman M.G., Glasby T.M. (2004) - *Epibiota on vertical and on horizontal surfaces on natural reefs and on artificial structures*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 84: 117-130.
- Lambert C.C., Lambert G. (2003) - *Persistence and differential distribution of nonindigenous ascidians in harbors of the Southern California Bight*. Marine Ecology Progress Series, 259: 145-161.
- Loreau M., Naem S. e Inchausti P. (2002) - *Biodiversity and Ecosystem Functioning - Synthesis and Perspectives*. Oxford University Press, Oxford.
- Mak Y.M. e Williams G.A. (1999) - *Littorinids control high intertidal biofilm abundance on tropical, Hong*

- Kong rocky shores*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 233 (1): 81-94.
- Martin D., Bertasi F., Colangelo M.A., de Vries M., Frost M., Hawkins S.J., Macpherson E., Moschella P.S., Satta M.P., Thompson R.C. e Ceccherelli V.U. (2005) - *Ecological impact of coastal defence structures on sediment and mobile fauna: evaluating and forecasting consequences of unavoidable modifications of native habitats*. Coastal Engineering, 52: 1027-1051.
- Moreira J. (2006) - *Patterns of occurrence of grazing molluscs on sandstone and concrete seawalls in Sydney Harbour (Australia)*. Molluscan Research, 26: 51-60.
- Moreira J., Chapman M.G. e Underwood A.J. (2006) - *Seawalls do not sustain viable populations of limpets*. Marine Ecology Progress Series, 322: 179-188.
- Moschella P.S., Abbiati M., Åberg P., Airolidi L., Anderson J.T., Bacchiocchi F., Bulleri F., Dinesen G.E., Frost M., Gacia E., Granhag L., Jonsson P.R., Satta M.P., Sundelöf A., Thompson R.C. e Hawkins S.J. (2005) - *Low-crested coastal defence structures as artificial habitats for marine life: using ecological criteria in design*. Coastal Engineering, 52: 1053-1071.
- Perkol-Finkel S. e Benayahu Y. (2005) - *Recruitment of benthic organisms onto a planned artificial reef: shifts in community structure one decade post-deployment*. Marine Environmental Research, 59: 79-99.
- Pondella D., Stephens J. e Craig M. (2002) - *Fish production of a temperate artificial reef based on the density of embiotocids*. Journal of Marine Science, 59: S88-S93.
- Pranzini E. (2004) - *La forma delle coste*. Zanichelli Ed., Bologna.
- Raffaelli D.G. e Hughes R.N. (1978) - *The effects of crevice size and availability on populations of Littorina rudis and Littorina neritoides*. Journal of Animal Ecology, 47 (1): 71-83.
- Regione Toscana (2001) - *Studio della dinamica morfologica e sedimentaria del Golfo di Follonica*. A cura di E. Pranzini per il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze. Relazione inedita, Comune di Follonica.
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., BloomWeld J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff .N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. e Wall D.H. (2000) - *Global biodiversity scenarios for the year 2100*. Science, 287:1770-1774.
- Scheibling R.E. e Gagnon P. (2006) - *Competitive interactions between the invasive green alga Codium fragile ssp tomentosoides and native canopy-forming seaweeds in Nova Scotia (Canada)*. Marine Ecology Progress Series, 325: 1-14.
- Underwood A.J. e Chapman M.G. (1998) - *Variation in algal assemblages on wave-exposed rocky shores in New South Wales*. Marine and Freshwater Research, 49 (3): 241-254.
- Valentine J.P. e Johnson C.R. (2003) - *Establishment of the introduced kelp Undaria pinnatifida in Tasmania depends on disturbance to native algal assemblages*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 295: 63-90.
- Volpi C. e Benvenuti D. (2009) - *BioMarT – Atlante della Biodiversità. Individuazione di biocenosi vulnerabili e hotspot di biodiversità in ambiente costiero di substrato duro e censimento di specie rare nel mare della Toscana*. Regione Toscana Ed., Firenze.

Ricevuto il 7/05/2012, accettato il 30/05/2012.