

S. COCITO

ENEA Centro Ricerche Ambiente Marino, C.P. 224 - 19100 La Spezia, Italia.
e-mail: silvia.cocito@enea.it

LE BIOCoSTRUZIONI A BRIOZOI

BRYOZOAN BIOCONSTRUCTIONS

Abstract - Many bryozoans build bioconstructions through the aggregation and accumulation of their carbonate skeletons. Bryozoans perform important constructional roles, both as primary frame-builder and more frequently as binder, bafflers and dwellers. These bioconstructions enhance habitat heterogeneity, promote species diversity and entrap sediments. Bryozoans have great potential to provide insight into the next global challenges: seawater warming and acidification.

Key-words: bryozoans, bioconstruction, habitat heterogeneity, biodiversity, climate indicators.

Introduzione - Analogamente a molti altri organismi marini, sia vegetali sia animali, i briozoi sono in grado di edificare strutture ('biocostruzioni') attraverso la costruzione, l'accumulo e l'aggregazione dei loro scheletri carbonatici. Queste strutture sono in grado di perdurare anche dopo la morte dell'organismo che le ha generate e possono aumentare di dimensione grazie al contributo di generazioni successive. Viceversa, processi essenzialmente fisici possono provocarne la frammentazione. Le biocostruzioni sono quindi il risultato di un processo dinamico che implica processi di crescita, processi fisici di distruzione, nonché interazioni biotiche tra le specie che intervengono a determinarne la struttura.

Il fenomeno della biocostruzione ha rivestito negli ultimi anni una notevole importanza. Per quanto riguarda gli studi geologici e paleontologici ha rappresentato uno strumento indispensabile per ottenere interpretazioni paleoambientali basate sulle strutture scheletriche di organismi fossili. Recentemente, un certo numero di studi ha analizzato le implicazioni relativamente ad aspetti biologici, ambientali, funzionali, climatici e protezionistici. Va tuttavia sottolineato che la maggior parte degli studi sulla biocostruzione ha interessato gli ecosistemi marini tropicali, e principalmente i reefs a coralli, in quanto in questi stessi ambienti i reefs a briozoi sono piuttosto rari e per lo più fossili (Cuffey, 2006). Questi ultimi hanno costituito, in alcuni casi, dei veri e propri 'barrier reef complex' estesi su aree geograficamente importanti (Walker e Ferrigno, 1973).

In questo lavoro intendo passare brevemente in rassegna le relazioni tra la biocostruzione e gli aspetti biologici, ambientali, funzionali e climatici attraverso una serie di esempi forniti dai briozoi attuali e concentrando l'attenzione prevalentemente sull'area mediterranea.

Come costruiscono i briozoi - I briozoi sono colonie costituite da unità modulari chiamate zoidi, di piccole dimensioni (non superano il mm³). Colonie sessualmente mature tipicamente sono costituite da decine fino a migliaia di zoidi (raramente eccedono il milione di zoidi). Gli zoidi constano di parti molli (polipidi) protette da scheletri (zoeci) e collegati a formare la colonia (zoario). Le colonie sono spesso piccole e delicate ma in alcune specie longeve possono talora svilupparsi formando costruzioni carbonatiche di notevoli dimensioni. I briozoi carbonatici sono in grado di costruire un ampio range dimensionale e morfologico di strutture rigide (Taylor, 1999), dai cosiddetti 'micro-reefs' (Scholz e Hilmer, 1995) fino ad estese biocostruzioni, risultato della coalescenza di numerose colonie, che possono raggiungere le decine di metri fino al kilometro (Battershill *et al.*, 1998; Zabin *et al.*, 2008). Un caso eccezionale riportato per la Nuova Zelanda descrive biocostruzioni

a briozoi viventi che si estendono per circa 270 km² e che sono oggetto di protezione parziale (Battershill *et al.*, 1998). Dimensione ed estensione delle biocostruzioni a briozoi mostrano il massimo in aree temperate, dove la stagionalità e la variabilità dei parametri ambientali possono essere i presupposti per il successo dei briozoi.

La maggior parte dei briozoi marini possiede scheletro più o meno calcificato (fino all'85% dell'esoscheletro nelle colonie adulte), mentre l'ordine degli Ctenostomatida forma colonie molli o patine gelatinose. Tra i briozoi calcificati circa i due terzi possiedono scheletro calcitico, mentre dei rimanenti circa metà sviluppa scheletro aragonitico e metà bimineralico (Smith *et al.*, 2006). Tutte le specie bimineraliche appartengono ai Cheilostomatida, l'ordine dominante dei briozoi marini attuali. Secondo Sandberg (1983), nei cheilostomi bimineralici lo zoecio di ciascuno zoide è calcitico, mentre la parte aragonitica viene aggiunta successivamente durante l'ontogenesi.

La costruzione della colonia di tipo modulare consente differenti modalità di crescita e forme che hanno strette relazioni con l'ambiente in cui si sviluppano. Due aspetti della modalità di crescita, costruzione e orientamento rispetto al substrato, sembrano particolarmente interessanti nel contesto del processo di biocostruzione (Fig. 1). La costruzione è legata all'adattabilità in condizioni di elevata energia generata da correnti o ondazione e/o a rapidi tassi di sedimentazione. Molti briozoi sono composti da scheletri rigidi costituiti da zoidi contigui (es. *Myriapora truncata*). Altre colonie sono invece articolate, senza però possedere punti predeterminati di articolazione (es. *Caberea*). Altre ancora sono costituite da segmenti rigidi connessi da giunti flessibili chitinosi (es. *Cellaria*). Alcuni briozoi risultano flessibili come risultato di una debole o incompleta calcificazione, e possiedono un ampio range di forme (es. *Membranipora*). Infine, un certo numero di briozoi non sono calcificati (es. *Beania*) e spesso ospitano altri briozoi epibionti calcificati (Hageman *et al.*, 1998). Va ancora ricordato che, sebbene alcuni briozoi sviluppino colonie perforanti, non è mai stato descritto un ruolo distruttivo da parte della fauna a briozoi.

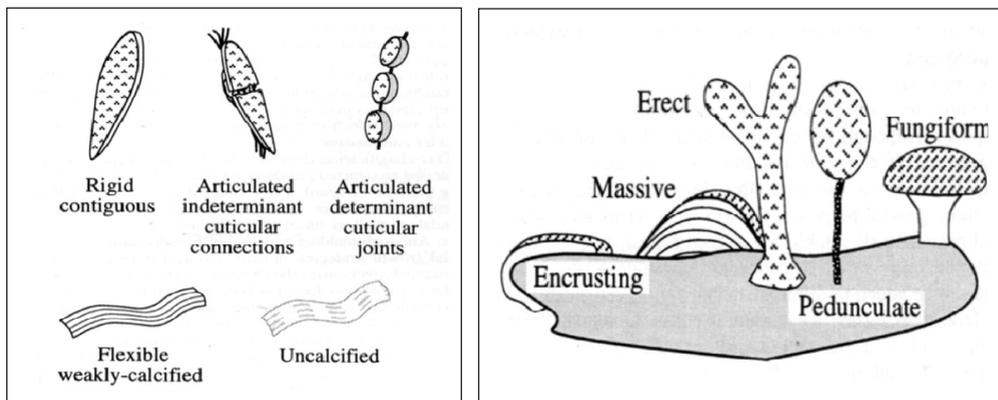


Fig. 1 - Modalità di costruzione (a sinistra) e di orientamento della colonia rispetto al substrato (a destra) (da Hageman *et al.*, 1998).

Construction (left) and orientation relative to substrate (right) of the bryozoan colony (from Hageman et al., 1998).

L'orientamento rispetto al substrato è determinato in gran parte dall'esposizione della superficie filtrante per ottimizzare la cattura del cibo (Fig. 1). Le forme incrostanti generano una copertura di spessore variabile sopra al substrato e risultano generalmente più o meno appiattite. Queste forme incrostanti possono

essere mono o pluristratificate. Su superfici piatte e levigate, come i talli algali o le foglie di *Posidonia*, generalmente si sviluppano colonie unilaminari molto piccole (*Microporella* spp., *Fenestrulina malusii*, *Electra posidoniae*) o piccoli ciuffi flessibili (*Scrupocellaria* spp., *Cristia* spp., *Bugula* spp.), mentre su substrati più consistenti, altre specie incrostanti si accrescono in più strati ordinatamente sovrapposti. Ripiegando e sovrapponendo più strati e talora inglobando altri organismi, si possono formare spesse incrostazioni che si adattano alle irregolarità del substrato. Tra queste ricordiamo alcune specie tendenzialmente perennanti, caratterizzate da crescita continua e rapida come *Pentapora ottomülleriana*, *Schizoporella* spp., *Schizomavella* spp., *Schizobrachiella sanguinea*, *Parasmittina* spp., *Rhynchozoon* spp., *Calpensia nobilis* e *Reptadeonella violacea*. La distinzione tra forma incrostante ed eretta è in qualche modo arbitraria nel caso di colonie spesse, multilaminare e massive. Nelle prime fasi dello sviluppo le forme massive incrostanto il substrato, successivamente producono ispessimenti consistenti rispetto al substrato che le ospita. Specie a sviluppo celoporiforme formano colonie massive risultanti dalla sovrapposizione disordinata di zooidi gemmati frontalmente. Alcuni briozoi si elevano dal substrato con forme erette, minimizzando la competizione per il substrato e favorendo un accesso al cibo più elevato nella colonna d'acqua. Queste colonie possono essere densamente ramificate, più o meno rigide in relazione al grado di calcificazione, fermamente attaccate al substrato attraverso una base incrostante più o meno sviluppata. Le forme erette rigide arborescenti possono sviluppare rami a sezione circolare o più o meno appiattita di taglia elevata fra cui il falso corallo *Myriapora truncata*, accompagnato da *Smittina cervicornis*, *Adeonella* spp., *Pentapora* spp., *Hornera frondiculata*, *Schizotheca serratumargo* oppure di taglia modesta, spesso epibionti su altri organismi (es. *Idmidronea* spp., *Entalophoroecia* spp.). Il genere *Reteporella* ha numerose specie che formano delicate colonie simili a trine avvolte a formare le cosiddette rose di mare. Alcune colonie di briozoi eretti possono elevarsi dal substrato attraverso lo sviluppo di una sorta di peduncolo che non contiene zooidi atti alla nutrizione della colonia. Per completare l'elenco delle forme cito anche colonie appartenenti a briozoi fossili che sviluppano forme 'fungiformi' dove gli zooidi adibiti alla nutrizione sono concentrati nella parte più lontana dal substrato.

Per quanto riguarda l'occupazione del substrato diverse strategie sono state descritte per i briozoi, dalla competizione diretta con altri organismi sessili fino alla produzione di prodotti chimici biologicamente attivi. Quando un briozoo incontra un altro organismo, può crescere parzialmente sopra l'altro senza necessariamente distruggerlo, oppure può ricoprirlo totalmente inducendone la morte, oppure entrambi gli organismi crescono ricoprendosi parzialmente lungo il margine di contatto (Ferdegghini *et al.*, 2001). È tipico il caso di specie di cheilostomi multiseriali e di ciclostomi con colonie munite di lamina basale unica i cui bordi si accrescono molto rapidamente sollevandosi in modo da elevarsi al di sopra dei competitori e ricoprirli rapidamente. In alcuni casi, soprattutto in incontri fra colonie appartenenti a specie diverse di briozoi, la crescita può bloccarsi ad una certa distanza probabilmente in seguito all'emissione di sostanze chimiche di riconoscimento o, molto più raramente e limitatamente a poche interazioni intraspecifiche, colonie originatesi da uno stesso clone possono coalescere continuando ad accrescersi in una direzione di crescita comune. Forme incrostanti pluristratificate possono utilizzare la gemmazione frontale per mantenere lo spazio precedentemente conquistato. Un'ulteriore strategia è quella delle specie erette che si sottraggono alla competizione per il substrato sollevandosi rapidamente e sviluppando colonie arborescenti ramificate che, come già detto, consentono anche l'accesso a livelli trofici più elevati.

Un altro aspetto del processo di costruzione riguarda la dinamica della crescita: mentre in aree polari, subpolari o temperato-fredde molte specie di briozoi cessano

la crescita durante il periodo più freddo dell'anno (Barnes, 1995; Patzold *et al.*, 1987), nel Mediterraneo la crescita continua durante l'inverno anche se con un tasso ridotto (Cocito e Ferdeghini, 1998).

Aspetti biologici e ambientali - I briozoi costituiscono un gruppo importante della fauna bentonica del Mediterraneo (Harmelin, 1992). Con circa 480 specie, i briozoi sono in grado di colonizzare roccia e substrati di varia natura, concrezioni organogene e organismi viventi e sono presenti dall'intertidale fino agli ambienti abissali (Rosso, 1996; Rosso, 2003; Chimenz Gusso *et al.*, 2006). I briozoi sono tra i principali costituenti le concrezioni biogeniche con biocostruzioni rilevanti nell'infra-litorale e nel circo-litorale, dove in particolare costituiscono la facies a grandi briozoi del Detritico Costiero. La presenza delle grandi costruzioni organogene genera strutture fisiche che modificano l'habitat, aumentano la complessità dell'ambiente, fornendo spazio in cui vivere per altri organismi. Si determina in tal modo un aumento nel numero e nell'abbondanza delle specie associate alla biocostruzione: questo aspetto è stato sintetizzato con l'espressione inglese 'biological habitat provision' (Thompson *et al.*, 1996). Non solo la biocostruzione aumenta la diversità e l'abbondanza del biota ad essa associato, ma viceversa la composizione dei gruppi che partecipano alla sua edificazione è variabile ed influenza in modo determinante i processi di costruzione, consolidamento, aggregazione (Cocito, 2004).

La diversità del biota associato è stata analizzata in alcune aree del Mediterraneo per le biocostruzioni formate principalmente da una sola specie di briozoo. Se si confrontano due specie erette con grado diverso di ramificazione (Fig. 2), si nota come il numero di specie associate aumenti da 22 specie per *Myriapora truncata* a 28 specie in *Smittina cervicornis*. Analogamente, passando da una colonia laminare

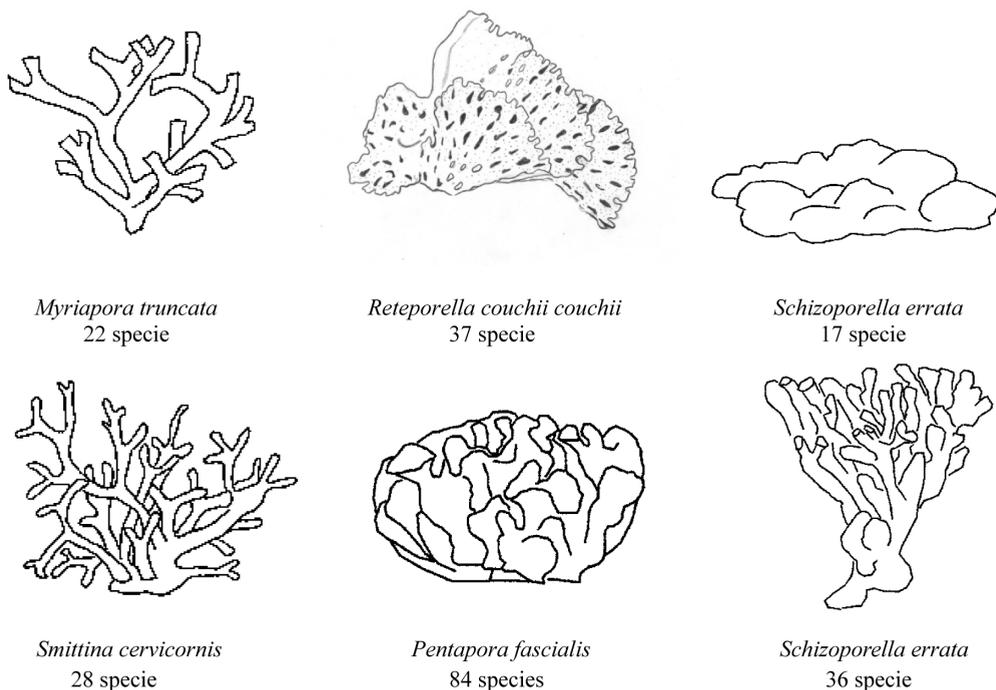


Fig. 2 - Relazione tra morfologia della colonia e numero di specie associate.
Relationship between colony morphology and number of associated species.

poco convoluta (*Reteporella couchii couchii*) a colonie con un grado maggiore di convoluzione e anastomosi tra le lamine (*Pentapora fascialis*), si ha un aumento di specie associate da 37 a 84. Per una stessa specie, *Schizoporella errata*, che sviluppa morfologie incrostanti in ambienti esposti a forte idrodinamismo, mentre in ambienti ridossati sviluppa morfologie digitate e variamente ramificate, si osserva un analogo incremento di specie associate (17 specie nel primo caso, 36 specie nel secondo) (Cocito *et al.*, 2000). Sempre per le colonie ramificate e di grande taglia di *Schizoporella errata* è stata descritta la zonazione della fauna associata: policheti, bivalvi ed antozoi occupano prevalentemente la porzione basale incrostante della colonia, ascidie, ofiure e crostacei si insinuano all'interno o tra le espansioni digitate che compongono la parte eretta della colonia, sulla quale trovano substrato d'attacco altri briozoi e idroidi (Maluquer, 1985).

È generalmente riconosciuto che il numero di specie all'interno di un habitat aumenta all'aumentare di taglia dell'habitat. L'aumento di taglia della biocostruzione induce modificazioni sia nella composizione del biota associato che partecipa alla sua formazione, sia nella forma e nel tasso di crescita della struttura biocostruita. Poiché la biocostruzione risultante è sempre spazialmente più complessa del substrato primario su cui si è sviluppata, la quantità di substrato disponibile è comunque maggiore quando una biocostruzione si sviluppa. Infatti, anche se un organismo biocostruttore può inizialmente ridurre la diversità locale occupando buona parte del substrato primario (es. roccia), esso gioca un ruolo certamente diverso all'interno di una comunità quando si considera l'utilizzo della struttura biocostruita come spazio da occupare. L'apporto di nuova struttura ad una biocostruzione implica anche un incremento nella varietà di fonti di cibo e nelle possibilità di rifugio dalla competizione, predazione e disturbo. Jones *et al.* (1997) hanno definito 'physical ecosystem engineers' gli organismi che direttamente o indirettamente controllano la disponibilità di risorse verso altri organismi causando cambiamenti nello stato fisico della componente biotica ed abiotica.

L'importanza di utilizzare diverse scale spaziali per misurare la diversità promossa attraverso la creazione di habitat è stata discussa in dettaglio per i briozoi (Scholz e Hillmer, 1995). Gli autori hanno descritto i diversi 'nano-habitats' misurabili in termini di millimetri disponibili per la colonizzazione da parte di batteri, diatomee, funghi, e i diversi 'micro-habitats' misurabili in termini di centimetri e decimetri per alghe filamentose, idroidi, altri briozoi ed invertebrati.

Aspetti ecologici di un certo rilievo sono riscontrabili analizzando il ruolo delle brioliti, colonie massive libere, formate da *Schizoporella errata* sui fondi mobili estuariali del nord America (Zabin *et al.*, 2008). Oltre alla loro importanza come biocostruzioni di oltre 1 m, risultanti dall'accrescimento e coalescenza di colonie sferiche di diametro variabile tra 2 e 20 cm, queste brioliti, creando substrato duro su fondi mobili, facilitano l'insediamento di specie non native. È risultato che le tra le specie che utilizzano le brioliti, 32% sono specie di substrato duro, 25% sono specie di fondi mobili, 36% sono specie che vivono indifferentemente su substrati duri e mobili, 7% sono specie libere. Ma il dato che più sorprende è che in complesso il 75% delle specie associate risultano essere specie non native. Inoltre, numero di individui e numero di specie associate sono correlati al volume della briolite.

L'epibiosi è un fenomeno molto comune per i briozoi, nel senso che sono noti sia casi in cui il briozoo può fungere da basibionte, può cioè ospitare sulla sua superficie altri organismi, inclusi altri briozoi, sia casi di briozoi epibionti, che colonizzano cioè altri organismi (Zabala *et al.*, 1993). In questo caso, i briozoi possono incrostare o accrescersi in colonie ramificate, oppure formare strutture a 'manicotto' attraverso un'espansione concentrica e la sovrapposizione di strati attorno alle strutture o ramificazioni dell'organismo ospitante (Cigliano *et al.*,

2006). All'interno degli strati sovrapposti formati dal briozoo possono essere inclusi altri organismi, aumentando la taglia e soprattutto il peso del concrezionamento nel caso che l'organismo incluso possieda uno scheletro carbonatico. Ad esempio, gli assi denudati delle gorgonie di *Paramuricea clavata* danneggiate dalle mortalità che hanno colpito negli ultimi decenni molte specie di invertebrati del coralligeno hanno subito un deleterio processo di colonizzazione soprattutto da parte di briozoi a scheletro carbonatico (Cupido *et al.*, 2007). Varie specie incrostanti tra cui *Rynchozoon* sp., *Schizobrachiella sanguinea*, *Schizomavella auriculata hirsuta*, *S. cornuta*, *Turbicellepora incrassata* ed erette, quali *Margaretta cereoides*, *Pentapora fascialis*, *Reteporella grimaldii*, *Smittina cervicornis*, *Cellaria salicornioides*, colonizzano gli assi denudati di *P. clavata*. Le colonie incrostanti di briozoi rivestono prevalentemente le porzioni apicali, mentre le forme erette iniziano la colonizzazione delle porzioni basali e successivamente ricoprono indifferentemente tutto l'asse. Il peso degli epibionti può provocare la rottura delle ramificazioni delle gorgonie danneggiate, in particolare delle porzioni apicali, riducendone notevolmente la taglia.

Ruolo funzionale nella biocostruzione - I briozoi possono essere i costruttori primari, cioè edificare da soli o congiuntamente ad altri organismi l'impalcatura della struttura. Il ruolo di biocostruttore primario è espletato solo da poche specie capaci di formare strutture erette relativamente grandi che, oltre a contribuire fattivamente alla biocostruzione con i loro consistenti scheletri carbonatici, si elevano rispetto al fondale circostante e riducono solitamente la corrente a livello locale. Tra questi ricordiamo le specie che hanno uno scheletro eretto rigido fermamente attaccate al substrato attraverso una base incrostante più o meno sviluppata (es. *Pentapora* spp., *Reteporella* spp., *Myriapora truncata*), e le specie che sviluppano uno scheletro incrostante plurilaminare (es. *Schizoporella* spp., *Schizomavella* spp., *Schizobrachiella sanguinea*, *Calpensia nobilis*, *Rynchozoon* spp.). Queste ultime, attraverso il ripiegamento e la sovrapposizione di più strati, formano incrostazioni spesse, rigide e tenaci su substrati di varia natura. Per *Calpensia nobilis*, per esempio, è stato osservato come la specie cambi le modalità di costruzione, passando da incrostazioni più o meno spesse a costruzioni erette ramificate in relazione al grado di idrodinamismo e alla presenza di altri organismi eretti che vengono ricoperti. Questo briozoo avvolge i rizomi di *Posidonia* formando spessi e consistenti 'manicotti' alti fino a 13 cm e spessi qualche centimetro nelle praterie in corrente. La coalescenza successiva di 'manicotti' limitrofi può dar origine a consistenti biocostruzioni (Cigliano *et al.*, 2007). Per il genere *Schizoporella* sono state descritte biocostruzioni, sia fossili sia attuali, estese anche diversi metri e spesse qualche decimetro sia in zone calme a debole profondità arricchite in materia organica (es. aree portuali: *S. errata*) sia in aree con un certo idrodinamismo. Inoltre è stata descritta la modalità di formazione dell'impalcatura delle biocostruzioni: il processo attraverso il quale il briozoo incrostante utilizza come supporto temporaneo organismi molli come alghe o idroidi è stato paragonato alla bio-immurazione (Cocito *et al.*, 2000), ma a differenza di quest'ultimo processo, la struttura finale della biocostruzione non è più esattamente riconducibile alla morfologia dell'organismo avvolto ed incrostato dal briozoo e sul quale esso ha costruito la propria impalcatura.

In alternativa, i briozoi possono svolgere ruoli secondari (costruttori secondari), cioè incrostare ed avvolgere parzialmente, o legare altri organismi rigidi o a corpo molle, oppure rivestire le pareti di cavità, rinforzandone la struttura, oppure grazie alla morfologia eretta e/o flessibile ridurre l'idrodinamismo locale e favorire l'intrappolamento e la deposizione del sedimento all'interno della struttura biocostruita. Numerose specie criptiche di piccola taglia, sia incrostanti che erette, sfruttano proprio le microcavità e anfrattuosità create dall'accrescimento degli

scheletri vivendo al loro interno e fungendo da abitanti. Nel complesso questo ruolo funzionale dei briozoi è esplicitato sia nell'infralitorale che nel coralligeno superficiale e delle pareti a strapiombo in enclave nell'infralitorale, sia in quello più profondo dei banchi su substrati suborizzontali, in cui la struttura primaria è formata dalle alghe calcaree.

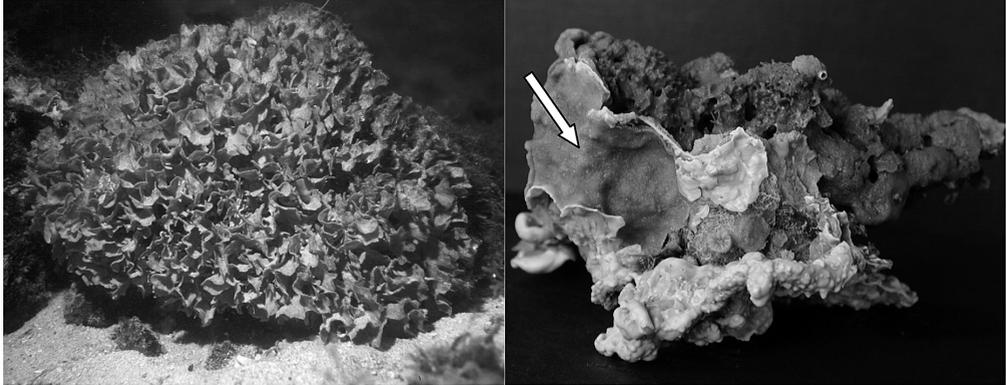


Fig. 3 - Costruttore primario con scheletro eretto rigido (a sinistra) e costruttore secondario (indicato con freccia nella fotografia a destra) con scheletro incrostante che unisce altri organismi.

Primary constructor with erect rigid skeleton (left) and secondary constructor (arrowed on the right) with encrusting skeleton binding other organisms.

Aspetti climatici - Gli scheletri carbonatici dei briozoi, come quelli di altri invertebrati marini, nel corso della loro esistenza registrano a livello geochimico alcune caratteristiche delle condizioni dell'acqua, come ad esempio le variazioni di temperatura. Fin dagli studi di Forester (1973) si è evidenziato come i briozoi siano in grado di formare uno scheletro carbonatico in equilibrio geochimico con la massa d'acqua circostante. La variabilità stagionale della temperatura, i tassi di calcificazione e i tassi di crescita sono stati successivamente relazionati con le variazioni degli isotopi di ossigeno misurati lungo le ramificazioni scheletriche di briozoi carbonatici (Patzold *et al.*, 1987; Smith *et al.*, 2001). Un briozoo eretto a vita lunga (*Adeonellopsis* sp.) può quindi essere utilizzato per individuare segnali di variazioni climatiche in un arco temporale di 10-20 anni e dare indicazioni sull'effetto di eventi climatici della portata del Niño, accaduto nel 1983, sui tassi di crescita della specie (Smith e Key, 2004).

Anche le dimensioni degli zoidi, le singole unità funzionali che compongono la colonia dei briozoi, registrano, attraverso una variazione delle loro dimensioni, la variabilità termica dell'ambiente in cui la colonia si sviluppa. È infatti stata riscontrata una relazione significativa e negativa tra la lunghezza degli zoidi e il range medio annuale di temperatura (O'Dea e Okamura, 2000; Lombardi *et al.*, 2006; Amui-Vedel *et al.*, 2007). Risultati analoghi sono stati trovati in bivalvi, foraminiferi, mammiferi, ma i briozoi sono risultati essere particolarmente idonei per analizzare questo tipo di relazioni in quanto, essendo organismi sessili, forniscono una stima della stagionalità rilevante per una singola località, spesso tollerano ampi range termali, sono costituiti da molti zoidi e quindi forniscono un ampio numero di repliche di misura, inoltre, una volta formato, la dimensione dello zoide rimane fissa. È stato anche riscontrato che zoidi di lunghezza maggiore si localizzano nella porzione di lamina, detta 'banda invernale', che si sviluppa nel periodo di temperature relativamente più fredde,

differentemente dagli zoidi più corti prodotti in corrispondenza dei mesi più caldi e che vanno a costituire la 'banda estiva' (Lombardi *et al.*, 2006) (Fig. 4). L'altezza delle bande risulta utile, oltre per valutare il tasso di crescita annuale di una specie determinato dalla somma delle altezze delle due bande, anche per verificare l'esistenza di una relazione tra la loro altezza e la temperatura media annuale. Lombardi *et al.* (2006) hanno stimato che il genere *Pentapora* cresce mediamente di più in aree con temperature medie annuali relativamente più calde e con una variabilità stagionale più accentuata. I briozoi vanno quindi considerati come validi indicatori di cambiamento ambientale, ed in particolare della variabilità termica, e possono essere utilizzati anche per retrocalcolare paleotemperature.

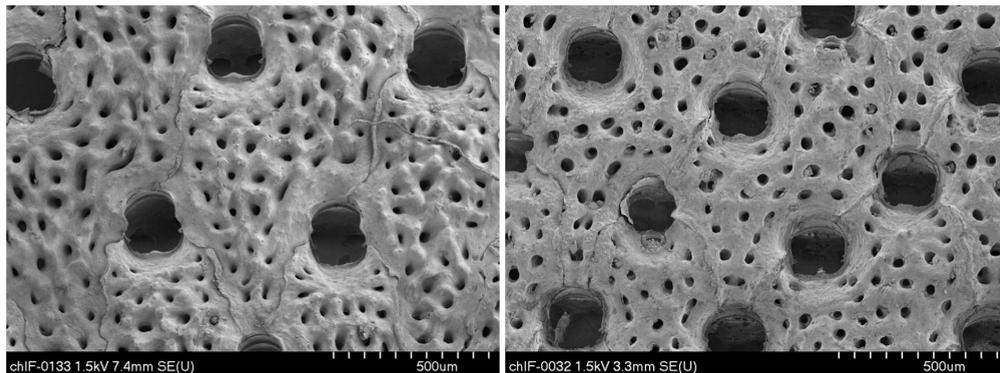


Fig. 4 - Zoidi di *Pentapora fascialis* formati nella porzione invernale (a sinistra) ed estiva (a destra) della lamina che compone la colonia (ingrandimento 80 \times).

Pentapora fascialis zooids in the winter (left) and the summer (right) portion of colony laminae (magnification 80 \times).

Un altro tema di interesse legato al cambiamento climatico è il ruolo degli organismi a scheletro carbonatico nel ciclo del carbonio in ambiente marino. La conoscenza del contributo dei briozoi alla massa carbonatica e alla produzione carbonatica nel budget degli ambienti marini costieri è ancora scarsa e limitata geograficamente. Una valutazione in tal senso è stata fatta da Cebrian *et al.* (2000) che hanno stimato per le aree infralitorali e circalitorali della costa meridionale della Spagna un contributo di 130-530 g CaCO₃ m² come massa carbonatica e di 50-200 g CaCO₃ m² a⁻¹ come produzione carbonatica. Alcune specie di briozoi, come *Pentapora fascialis*, *Turbicellepora incrassata*, *Adeonella calveti*, *Celleporina caminata*, in termini di massa carbonatica prodotta mostrano valori rilevanti (30-300 g m⁻² in peso secco di carbonato di calcio ed in condizioni eccezionali fino a 1.240 g·m⁻² in peso secco di carbonato di calcio per *Pentapora fascialis*) (Cocito e Ferdeghini, 2001). Analogamente, è di estrema rilevanza la produzione carbonatica annuale stimata per *Pentapora fascialis* (>1000 g CaCO₃ m⁻² a⁻¹), paragonabile a quella di alcuni coralli. Vanno inoltre segnalate le formazioni che si sviluppano in prossimità di emissioni carsiche di acqua dolce che si trovano lungo le coste croate dell'Adriatico settentrionale (Cocito *et al.*, 2004). Questi ambienti sono peculiari in quanto offrono condizioni di mixing di acque dolci e salate, arricchimento di nutrienti e carbonati (Novosel *et al.*, 2004), condizioni di idrodinamismo elevato, ma non è ancora chiaro quale di questi fattori determina lo sviluppo di formazioni estese, con colonie che raggiungono 1 m di diametro.

Da tempo è noto che l'aumento della concentrazione di CO₂ atmosferica produce un corrispondente aumento di CO₂ nell'acqua di mare. Questo aumento altera il ciclo

del carbonio e aumenta la proporzione di ioni idrogeno, causando una riduzione del pH e della concentrazione di CO_3 . Solo recentemente si è però valutato che anche un lieve abbassamento di pH (dall'attuale 8.1 al 7.6 previsto per il 2100, secondo Raven *et al.*, 2005) può provocare effetti rilevanti sui processi di calcificazione, e di conseguenza sullo sviluppo e distribuzione di organismi carbonatici quali alghe corallinacee, foraminiferi, coralli ed echinodermi (Martin *et al.*, 2008; Moy *et al.*, 2009; Silverman *et al.*, 2009; Wood *et al.*, 2008). La ridotta disponibilità di ioni carbonato può, infatti, portare sia ad un assottigliamento dello scheletro che ad una alterazione della composizione scheletrica, con conseguenze estreme quali una riduzione della resilienza da parte degli organismi che calcificano e un aumento della vulnerabilità di fronte ad altre pressioni indotte dall'uomo (Orr *et al.*, 2005). Esperimenti di laboratorio hanno evidenziato che molti organismi possono perdere la capacità di precipitare carbonato in condizioni di elevata CO_2 , anche se sembra che alcuni possano sopravvivere o non subire alterazioni nei tassi di calcificazione (Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2009a) o addirittura reagire rispondendo in modo opposto aumentando la calcificazione (Wood *et al.*, 2008).

Diversamente da molti altri invertebrati, i briozoi precipitano calcite, aragonite o entrambi i polimorfi del CaCO_3 all'interno del loro scheletro. La calcite è diageneticamente stabile, mentre l'aragonite è metastabile (Smith *et al.*, 2006), cosicché esperimenti di laboratorio di dissoluzione in soluzioni acide hanno mostrato che le specie calcitiche di briozoi sono più resistenti rispetto a quelle aragonitiche (Smith, 2009). Ad oggi un unico esperimento designato per analizzare gli effetti di condizioni naturalmente 'acide' riporta la risposta del briozoo calcitico *Myriapora truncata* relativamente ai tassi di calcificazione e dissoluzione (Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2009b). L'esperimento di trapianto ha sottoposto il briozoo a condizioni normali (pH medio 8.1), elevate (pH medio 7.66) ed estremamente elevate di emissione di CO_2 di origine vulcanica (pH medio 7.43) in un'area marina sommersa in prossimità dell'isola di Ischia (Mar Tirreno).

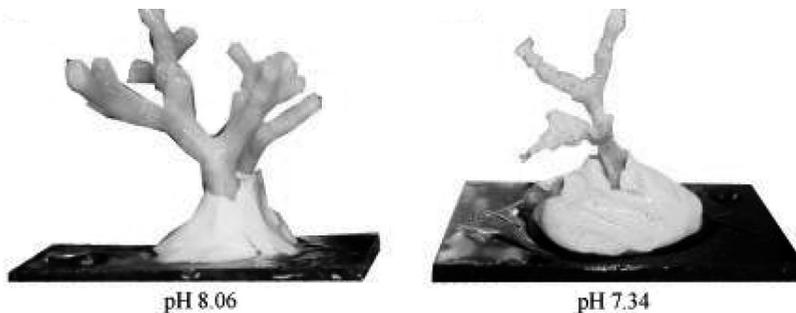


Fig. 5 - *Myriapora truncata* sottoposta ad esperimenti di trapianto in condizioni di pH normale (pH medio 8.06) e di pH acido (pH medio 7.34) in aree vulcaniche con emissioni di CO_2 (da Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2009b).

Myriapora truncata after transplanting experiments at normal (average pH 8.06) and acid (average pH 7.34) conditions at CO_2 volcanic vents (from Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2009b).

Gli effetti della dissoluzione dello scheletro calcitico di *M. truncata* sono ben visibili nell'immagine di Fig. 5, dove si mettono a confronto una colonia mantenuta per 45 giorni in condizioni di pH normale (pH medio 8.06) con una colonia mantenuta per lo stesso periodo a pH acido (pH medio 7.34). La riduzione del pH

influenza gli scheletri diversamente a seconda della loro composizione, ma è evidente come anche uno scheletro calcitico possa subire una notevole dissoluzione per brevi periodi. La dissoluzione può manifestarsi con la rimozione preferenziale di specie aragonitiche o di elementi scheletrici aragonitici come le avicularia, zoidi modificati adatti alla difesa (Taylor *et al.*, 2008), in specie bimineraliche. Quindi alcune specie di briozoi particolarmente vulnerabili possono essere utilizzate come 'early warning' per alcune comunità sublitorali (Smith, 2009).

Conclusioni - Due aspetti meritano ulteriori riflessioni in chiusura di questa breve e necessariamente parziale relazione. Attualmente le biocostruzioni a briozoi non sono oggetto di protezione nel Mediterraneo. Alcune specie erette arboreescenti di taglia elevata sono particolarmente vulnerabili in quanto fragili e in quanto mostrano un lento recupero successivamente a un danno (Sala *et al.*, 1996; Luna *et al.*, 2009). Un'unica specie mediterranea (*Hornera lichenoides*) risulta attualmente tutelata in quanto inserita nell'allegato II della Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento stipulata a Barcellona nel 1995. Recentemente, per alcune altre specie (*Adeonella* spp., *Smittina cervicornis*, *Pentapora* spp., *Myriapora truncata*, *Reteporella* spp., *Schizoteca serratimargo*), con scheletro carbonatico, di dimensioni rilevanti, in alcuni casi strutturanti la comunità e particolarmente vulnerabili al turismo subacqueo, è stato proposto l'inserimento nell'allegato IV della Direttiva 'Habitat' (92/43/CEE)(Chimenz Gusso *et al.*, 2006).

Anche se considerati un phylum minore, i briozoi risultano essere potenzialmente utili nel progredire nella comprensione degli effetti del cambiamento climatico, sia in termini di variabilità termica, sia di acidificazione delle masse d'acqua conseguente all'aumento dell'anidride carbonica. I briozoi sono diffusi e ben rappresentati nel sublitorale Mediterraneo, le loro strutture scheletriche mostrano un ampio range di composizione mineralogica e morfologie, e sono componenti importanti nelle comunità marine costiere e nei sedimenti carbonatici (Henrich, 1995). Questo phylum minore potrebbe giocare quindi un ruolo rilevante negli scenari futuri di cambiamento.

Ringraziamenti: Desidero ringraziare la Società Italiana di Biologia Marina per avermi invitata a tenere la relazione introduttiva sul tema delle biocostruzioni a briozoi. Parte delle ricerche sulla biostruttura rientrano nell'ambito del progetto finanziato VECTOR al quale partecipo in collaborazione con M.C. Gambi (Ischia). Ringrazio A. Rosso (Catania) per il suo contributo su questo argomento, C. Lombardi (La Spezia), R. Rodolfo-Metalpa (Monaco), M.C. Gambi (Ischia), il Laboratorio di Ecologia del Benthos di Ischia (Stazione Zoologica di Napoli), S. Sgorbini (La Spezia), P.D. Taylor (Londra) per la collaborazione negli studi sull'effetto dell'acidificazione sui briozoi.

Bibliografia

- AMUI-VEDEL A.M., HAYWARD P.J., PORTER J.S. (2007) – Zooid size and growth rate of the bryozoan *Cryptosula pallasiana* Moll in relation to temperature, in culture and in its natural environment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **353**: 1-12.
- BATTERSHILL C.D., GORDON D., ABRAHAM E. (1998) - Benthos: a datalogger of marine environmental health. In: C. Wallace, S. Buchanan (eds), *Marine ecosystem management: obligations and opportunities*: 79-87.
- BARNES D.K.A. (1995) – Seasonal and annual growth in erect species of Antarctic bryozoans. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **188**: 181-198.
- CHIMENZ GUSSO C., ROSSO A., BALDUZZI A. (2006) – Checklist delle specie della fauna italiana. Bryozoa. <http://www.sibm.unige.it/CHECKLIST/principalechecklist.htm>.
- CIGLIANO M., COCITO C., GAMBI M.C. (2007) - Epibiosis of *Calpensia nobilis* (Esper) (Bryozoa: Cheilostomida) on *Posidonia oceanica* (L.) Delile rhizomes: effects on borer colonization and morpho-chronological features of the plant. *Aq. Bot.*, **86**: 30-36.
- COCITO S., FERDEGHINI F. (1998) – Marcatura con colorante ed etichettatura: due metodi per misurare la crescita in briozoi calcificati. *Proc. 12th AIOL*, **2**: 351-358.

- COCITO S., FERDEGHINI F., MORRI C., BIANCHI N. (2000) – Patterns of bioconstruction in the cheilostome bryozoan *Schizoporella errata*: the influence of hydrodynamics and associated biota. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **192**: 153-161.
- COCITO S., FERDEGHINI F. (2001) – Carbonate standing stock and carbonate production of the bryozoan *Pentapora fascialis* in the north-western Mediterranean. *Facies*, **45**: 25-30.
- COCITO S. (2004) - Bioconstruction and biodiversity: their mutual influence. *Sci. Mar.*, **68** (1): 137-144.
- COCITO S., NOVOSEL M., NOVOSEL A. (2004) – Carbonate bioformations around under water freshwater springs in the north-eastern Adriatic Sea. *Facies*, **50**: 13-17.
- CUFFEY R.J. (2006) - Bryozoan-built reef mounds – The overview from integrating recent studies with previous investigations. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberger*, **257**: 35-47.
- CUPIDO R., COCITO S., SGORBINI S. (2007) - Epibiosis in *Paramuricea clavata* after mortality events in the Ligurian Sea. *Biol. Mar. Mediterr.*, **14** (2): 178-179.
- FERDEGHINI F., COCITO S., AZZARO L., SGORBINI S., CINELLI F. (2001) - Bryozoan bioconstructions in the coralligenous formations of S.M. Leuca (Apulia, Italy) *Biol. Mar. Mediterr.*, **8** (1): 238-245.
- FORESTER R.M., SANDEBERG P.A., ANDERSON T.F. (1973) – Isotopic variability of cheilostome bryozoans skeletons. In: Larwood G.P. (ed), *Living and fossil Bryozoa: Recent advances in research*. Academic Press: 79-94.
- HARMELIN J.G. (1992) – Facteurs historiques et environnementaux de la biodiversité de la Méditerranée: l'exemple des bryozoaires. *Rev. Paléobiol.*, **11** (2): 503-511.
- HENRICH R., FREIWALD A., BETZIER C., BADER B., SCHAFER P., SAMTLEBEN C., BRACHERT T.C., WEHERMANN A., ZANKL H., KUHLMANN D.H.H. (1995) – Controls on modern carbonate sedimentation on warm-temperate to arctic coasts, shelves and seamounts in the northern hemisphere: implications for fossil counterparts. *Facies*, **32**: 71-23.
- JONES C.G., LAWTON J.H., SHACHAK M. (1997) – Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, **78** (7): 1946-1957.
- LOMBARDI C., COCITO S., OCCHIPINTI-AMBROGI A., HISCOCK K. (2006) - The influence of seawater temperature on zooid size and growth rate in *Pentapora fascialis* (Bryozoa: Cheilostomata). *Mar. Biol.*, **149** (5): 1103-1009.
- LUNA B., VALLE C., SANCHEZ-LIZASO J.L. (2009) - Assessing the effect of divers on bryozoan species. UNEP-RAC/SPA. In: Pergent-Martini C., Bricchet M. (eds), *Proceeding of the 1st Mediterranean symposium on the conservation of the coralligenous and others calcareous bioconcretions*. RAC/SPA publ., Tunis: 269 pp.
- MALUQUER P. (1985) – Algunas consideraciones sobre la fauna asociada a las colonias de *Schizoporella errata* (Waters, 1878) del Puerto de Mahon (Menorca, Baleares). *P. Dept. Zool. Barcelona*, **11**: 23-28.
- MARTIN S., RODOLFO-METALPA R., RANSOME E., ROWLEY S., BUIA M.C., GATTUSO J.P., HALL-SPENCER J. (2008) - Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Biology Letters*, **4**, 689–692.
- MOY A.D., HOWARD W.R., BRAY S.G., TRULL T.W. (2009) - Reduced calcification in Modern Southern Ocean planktonic foraminifera. *Nature Geoscience*, DOI:10.1038/NGEO460
- NOVOSEL M., OLUJIC G., COCITO S., POŽAR DOMAC A. (2004) - Submarine freshwater springs: a unique habitat for the bryozoan *Pentapora fascialis*. In: Moyano U., Cancino G., Wyse Jackson P. (eds), *Bryozoan Studies*. Taylor & Francis Group, London: 215-221.
- O'DEA A., OKAMURA B. (2000) – Intracolony variation in zooid size in cheilostome bryozoans as a new technique for investigating paleoseasonality. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **162**: 319-332.
- ORR J.C., FABRY V.J., AUMONT O., BOPP L. (2005) - Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impacts on calcifying organisms. *Nature*, **437**: 681–686.
- PATZOLD J., RIESTEDT H., WEFER G. (1987) – Rate of growth and longevity of *Pentapora foliacea* (Bryozoa) recorded in their oxygen isotope profiles. *Mar. Biol.*, **96**: 535-538.
- ROSSO A. (1996) – Valutazione della biodiversità in Mediterraneo: l'esempio dei popolamenti a briozoi della Biocenosi del Detritico Costiero. *Biol. Mar. Mediterr.*, **3** (1): 58-65.
- ROSSO A. (2003) – Bryozoan diversity in the Mediterranean Sea. *Biogeographia*, **24**: 227-240.
- RODOLFO-METALPA R., MARTIN S., FERRIER-PAGÈS C., GATTUSO J.-P. (2009a) - Response of the temperate coral *Cladocora caespitosa* to mid- and long-term exposure to pCO₂ and temperature levels projected to 2100. *Proc. Royal Society B* (in stampa).

- RODOLFO-METALPA R., LOMBARDI C., COCITO S., HALL-SPENCER J., GAMBI M.C. (2009b) - Effects of ocean acidification on the bryozoan *Myriapora truncata* at natural CO₂ vents, and possible role of temperature. *Mar. Ecol.* (sottomesso).
- SALA E., GARRABOU J., ZABALA M. (1996) - Effects of diver frequentation on Mediterranean populations of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Mar. Biol.*, **126** (3): 451-459.
- SANDENBERG P.A. (1983) - Ultrastructure and skeletal development in cheilostomate Bryozoa. In: Robison R.A. (ed), *Treatise on Invertebrate Palaeontology, Part G. Bryozoa*. Geological Society of America and University of Kansas, Boulder and Lawrence, KS: 238-286.
- SCHOLZ J., HILLMER G. (1995) - Reef-bryozoans and bryozoans-microreefs: control factor evidence from the Philippines and other regions. *Facies*, **32**:109-144.
- SILVERMAN J., LAZAR B., CAO L., CALDEIRA K., EREZ J. (2009) - Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO₂ doubles. *Geophysical Research Letters*, **36**, L05606, doi:10.1029/2008GL036282.
- SMITH A.M., STEWART B., KEY M., JAMET C.M. (2001) - Growth and carbonate production by *Adeonellopsis* (Bryozoa: Cheilostomata) in Doubtful Sound, New Zealand. *Palaeogeol., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **175**: 201-210.
- SMITH A.M., KEY M. (2004) - Controls, variations, and a record of climate change in detailed stable isotope record in a single bryozoan skeleton. *Quatern. Res.*, **61**: 123-133.
- SMITH A.M., KEY M., GORDON D.P. (2006) - Skeletal mineralogy of bryozoans: taxonomic and temporal patterns. *Earth. Sci. Rev.*, **78**: 287-306.
- SMITH A.M. (2009) - Bryozoans as southern sentinels of ocean acidification: a major role for a minor phylum. *Mar. Freshw. Res.*, **60**: 475-482.
- TAYLOR P.D. (1999) - Bryozoans. In: E. Savazzi (ed), *Functional morphology of the invertebrate skeleton*. John Wiley and Sons, New York: 623-645.
- TAYLOR P.D., ALLISON P.A. (1998) - Bryozoan carbonates through time and space. *Geology*, **26** (5): 459-462.
- TAYLOR P.D., KUDRAYAVTSEV A.B., SCHPF J.W. (2008) - Calcite and aragonite distributions in the skeletons of bimineralic bryozoans as revealed by Raman spectroscopy. *Invert. Biol.*, **127**: 87-97.
- THOMPSON R.C., WILSON B.J., TOBIN M.L., HILL A.S., HAWKINS S.J. (1996) - Biologically generated habitat provision and diversity of rocky shore organisms at a hierarchy of spatial scale. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **202**: 73-84.
- WALKER K.R., FERRIGNO K.F. (1973) - Major Middle Ordovician reef tract in east Tennessee. *Am. J. Sci.*, **273**: 294-325.
- WOOD, H.L., SPICER J.I., WIDDICOMBE S. (2008) - Ocean acidification may increase calcification rates, but at a cost. *Proceeding Royal Society B*, **275**: 1767-1773.
- ZABALA M., MALUQUER P., HARMELIN J.G. (1993) - Epibiotic bryozoans on deep-water scleractinian corals from the Catalonia slope (western ME, Spain, France). *Scientia Marina*, **57** (1): 65-78.
- ZABIN C.J., OBERNOLTE R., MACKIE J.A., GENTRY J., HARRIS L., GELLER J. (2009) - A non-native bryozoan creates novel substrate on the mud flats in San Francisco Bay, CA. *Biol. Invasions* (sottomesso).