

C. LOMBARDI, S. COCITO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici
Centro Ricerche Santa Teresa, La Spezia

S. BRUNI, A. GESSI, G. MARGHELLA

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Laboratorio Ingegneria Sismica e Prevenzione dei Rischi Naturali
Centro Ricerche Bologna

P. MONTAGNA

Istituto di Scienze Marine
Consiglio Nazionale delle Ricerche, U.O.S. Bologna
Via Gobetti 101, 40129 Bologna

S. SCHIAPARELLI

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita
Università di Genova, C.so Europa 26, I-16132, Genova
Museo Nazionale dell'Antartide
Viale Benedetto XV N° 5, I-16132, Genova

P. KUKLINSKI

Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences
Ul. Powstancow Warszawy 55, Sopot 81-712, Poland

**I BRIOZOI DELLA BAIA DI TERRA NOVA
(MARE DI ROSS, ANTARTIDE)
E LE IMPLICAZIONI NELLE RICERCHE CLIMATICHE**

RT/2016/34/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

C. LOMBARDI, S. COCITO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Laboratorio di Biodiversità e Servizi Ecosistemici
Centro Ricerche Santa Teresa, La Spezia

S. BRUNI, A. GESSI, G. MARGHELLA

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Laboratorio Ingegneria Sismica e Prevenzione dei Rischi Naturali
Centro Ricerche Bologna

P. MONTAGNA

Istituto di Scienze Marine
Consiglio Nazionale delle Ricerche, U.O.S. Bologna
Via Gobetti 101, 40129 Bologna

S. SCHIAPARELLI

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita
Università di Genova, C.so Europa 26, I-16132, Genova
Museo Nazionale dell'Antartide
Viale Benedetto XV N° 5, I-16132, Genova

P. KUKLINSKI

Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences
Ul. Powstancow Warszawy 55, Sopot 81-712, Poland

I BRIOZOI DELLA BAIÀ DI TERRA NOVA (MARE DI ROSS, ANTARTIDE) E LE IMPLICAZIONI NELLE RICERCHE CLIMATICHE

RT/2016/34/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

I BRIOZOI DELLA BAIÀ DI TERRA NOVA (MARE DI ROSS, ANTARTIDE) E LE IMPLICAZIONI NELLE RICERCHE CLIMATICHE

C. Lombardi, S. Cocito, S. Bruni, A. Gessi, G. Marghella, P. Montagna, S. Schiaparelli, P. Kuklinski

Riassunto

Il clima della penisola antartica sta cambiando rapidamente e ci si attende che l'oceano meridionale sia vulnerabile ai cambiamenti di export di carbonati indotti dal riscaldamento di origine antropica e agli effetti dell'acidificazione.

La diversità e ricchezza dell'Antartico e la straordinaria capacità di adattamento delle sue specie lo rendono un ambiente ideale per studi di tipo adattativo. Tra gli organismi antartici calcificanti, i briozoi sono particolarmente interessanti grazie al loro ruolo come bioindicatori e promotori di biodiversità. I briozoi sono abbondanti e ampiamente distribuiti nel Mare di Ross, in cui si registra la più alta produttività di tutto l'oceano meridionale, e hanno un potenziale riconosciuto come organismi target per studi sul cambiamento climatico oltre che organismi chiave per l'accumulo di 'Blue Carbon'.

Negli ultimi 30 anni, il PNRA ha condotto diverse Campagne nel Mare di Ross e studi su diversi gruppi tassonomici nella Baia di Terra Nova, tra cui briozoi, ma sebbene siano state pubblicate le liste relative alle prime campagne oceanografiche condotte dal 1987 al 1995, non sono disponibili dati relativi a campagne successive effettuate nella Baia di Terra Nova (BTN).

Il presente RT aggiorna la lista della fauna a briozoi della Baia di Terra Nova confrontando i dati della letteratura con campioni raccolti da spedizioni successive e facenti parte della collezione del Museo Nazionale dell'Antartide (MNA, Sezione di Genova) e del CNR-ISMAR di Bologna. La lista aggiornata riporta 133 taxa di cui 34 nuove segnalazioni per la BTN rispetto alle prime tre campagne italiane condotte nell'area e segnalazioni di specie fossili dagli affioramenti di Cape Russell. Da questa lista, aggiornata anche a livello di nomenclatura tassonomica, sono emerse tra le specie fortemente calcificate (102) alcune specie-chiave con un ruolo come biocostruttori e bioindicatori, sia incrostanti (56) che eretto-rigide (45), che potrebbero essere utilizzate in futuri studi sperimentali volti ad indagare il potenziale adattativo di alcune specie calcificanti e il loro ruolo come proxy del cambiamento climatico.

Parole chiave: Invertebrati, Cambiamento Climatico, Tassonomia, Ecologia, Recente, Fossile, Antartide

Abstract

The climate of the Antarctic Peninsula is the most rapidly changing in the southern hemisphere; therefore, the Southern Ocean (SO) is expected to be vulnerable to changes in carbon export forced by anthropogenic climate warming and the extensive effects of ocean acidification are predicted to be first observed in high latitude seas.

The biological diversity and richness of Antarctica and the extraordinary adaptations shown by the majority of species give this environment a particular relevance for adaptive studies. Among calcifying bioconstructional taxa, bryozoans are of special interests because of their plasticity and ability to enhance marine biodiversity.

Species-rich and widespread in the Ross Sea, characterized by the highest productivity of the SO, bryozoans have a recognized potential for climate change studies and for 'Blue Carbon' storage. In the past 30 years, Italian National Program for Antarctic Research (PNRA) has developed several studies on benthic organisms, including bryozoans. However, an updated list of the bryozoan fauna, including the most recent campaigns conducted in Terra Nova Bay (TNB) is missing.

This Technical Report provides the updated list of Terra Nova Bay bryozoan fauna by combining data from literature (Italian Antarctic campaigns: 1987-1995) and new data from collections stored at Italian National Antarctic Museum (MNA, Sect. of Genova) and National Research Council (CNR-ISMAR). The updated list includes 134 taxa, with 34 new records for TNB, and few fossil specimens from Cape Russell outcrops. Taxonomic misidentifications have also been clarified and, among the recent taxa, a dominance of strong calcified species (102) has been highlighted with few bioconstructional species among encrusting (56) and erect-rigid (45) species.

The present report contributes in filling the gap of Antarctic bryozoan knowledge, highlights organism potential for adaptive studies and thus validate their importance as proxy of environmental variables (temperature, pH).

Keywords: Marine invertebrate, Climate Change, Taxonomy, Ecology, Recent, Fossil, Antarctica

INDICE

1. INTRODUZIONE	7
2. MATERIALE E METODI	9
2.1 I briozoi	9
2.1.2 I briozoi in Antartide	12
2.2 Il Mare di Ross e la Baia di Terranova	14
2.3 Preparazione e analisi dei campioni recenti e fossili	17
3. RISULTATI	18
3.1 I briozoi della Baia di Terranova	18
3.2 Note tassonomiche su specie recenti	23
3.3 I briozoi come indicatori del cambiamento climatico	26
3.4 I briozoi dell'affioramento di Cape Russell	29
4. DISCUSSIONE	31
5. RINGRAZIAMENTI	33
6. BIBLIOGRAFIA	34

1. INTRODUZIONE

L'Antartide rappresenta uno degli ultimi continenti meno esplorati e conosciuti della Terra. La sua ricchezza e diversità, e tutte le peculiarità ecologiche che ne derivano, tra cui la straordinaria capacità di adattamento della maggior parte delle specie che vi vivono, danno a questo ambiente un grande rilievo per studi di tipo ecologico ed adattativo [1].

Il clima della penisola Antartica sta cambiando rapidamente, con un incremento della temperatura atmosferica di circa 3°C dal 1951. L'oceano meridionale (OM) è estremamente importante per il sequestro potenziale del diossido di carbonio (CO₂) negli oceani rendendolo quindi vulnerabile ai cambiamenti di export di carbonati indotti dal riscaldamento di origine antropica [2, 3]. I livelli di saturazione dei carbonati sono i più bassi nell'OM a causa dell'incremento della solubilità del CaCO₃, per cui gli effetti dell'acidificazione degli oceani (OA) (i.e., sistematica riduzione del pH dell'oceano in seguito all'assorbimento della CO₂ atmosferica attraverso la superficie dell'oceano [4]), si stanno osservando soprattutto ad alte latitudini [5]. Tutte queste peculiarità rendono l'OM la regione potenzialmente più vulnerabile agli effetti del riscaldamento climatico globale (GW) e dell'OA.

Per quel che concerne la vita negli 'Oceani del Futuro' ci si attende una forte selezione di specie più tolleranti e una riorganizzazione degli ecosistemi, con uno *shift* nella composizione di comunità, a seguito della possibile scarsa adattabilità di specie più sensibili e/o sostituzione con altre, più resistenti, capaci di occupare le stesse nicchie ecologiche. Il cambiamento, ad esempio, nei bilanci competitivi tra specie calcificanti con specie non-calcificanti rappresenta un punto chiave attraverso il quale le risposte fisiologiche delle singole specie porteranno indirettamente a profondi cambiamenti a livello degli ecosistemi [6]. A questo proposito, negli ultimi anni, c'è stata una rapida proliferazione di studi che hanno avuto come obiettivo l'indagine delle risposte di organismi antartici calcificanti, quali alghe corallinacee, crostacei, molluschi, echinodermi e briozoi, al cambiamento climatico [7, 8].

Per capire come l'OA avrà effetto sugli organismi marini è necessario comprendere come la variabilità attuale di pH agisca sulla vita degli organismi marini calcificanti. Nell'OM, infatti esiste un ciclo stagionale forte della chimica dei carbonati [9,10] a seguito alla produttività estiva (fitoplancton bloom) e all'eterotrofia invernale [11]. Durante il periodo estivo, infatti, i blooms di fitoplancton, dovuti allo scioglimento dei ghiacci, fanno sì che la pressione parziale di CO₂ in acqua (pCO₂) si abbassi molto al di sotto dell'equilibrio atmosferico. Questo ciclo stagionale nella chimica dei carbonati porta ad un incremento estivo di pH di 0.06 unità, su scala regionale, e fino a 0.6 unità, a livello locale, per esempio nel Mare di Ross [12].

Così come avviene in estate, anche il GW è responsabile dello scioglimento delle calotte polari portando ad un'estensione spaziale e temporale del bloom fitoplanctonici [13]. Questo aumento di disponibilità di fitoplancton ha, tra le altre cose, effetto sullo zoobenthos (i.e., organismi filtratori che vivono ancorati al substrato) estremamente abbondante e diversificato nelle piattaforme continentali polari. Molti degli organismi filtratori zoobentonici sono responsabili della formazione di scheletri a base di carbonato di calcio (CaCO_3), la cui grandezza può variare da pochi mm a centinaia di cm. Questi stessi scheletri si formano grazie all'acquisizione e intrappolamento di C dal fitoplancton ('Blue Carbon') che, dopo la morte degli organismi, può rimanere intrappolato nei frammenti dello scheletro, depositato sul fondale marino, anche per centinaia o migliaia di anni ('carbon sink') [14]. Analogamente all'espansione delle foreste subartiche, anche questi organismi calcificanti zoobentonici esercitano un feed-back negativo sull'incremento della CO_2 atmosferica [14, 15].

Tra gli organismi zoobentonici che formano scheletri a base di CaCO_3 (biomineralizzatori) i briozoi sono di particolare interesse in studi adattativi grazie alla loro capacità di rispondere al cambiamento ambientale attraverso modifiche morfologiche e/o fisiologiche (plasticità) [16] e di costruire strutture sommerse attraverso l'aggregazione dei loro scheletri (biocostruzioni), che promuovono la biodiversità [17]. Inoltre, i briozoi, in qualità di filtratori, sono anche tra gli organismi in grado di accumulare 'Blue Carbon'. Un'analisi condotta su briozoi raccolti nell'Ovest dell'Antartico, incluso il Mare di Ross, ha evidenziato un raddoppio nell'accumulo di 'Blue Carbon' ($>2 \times 10^5$ tonnellate per anno dal 1985) da parte di questi organismi negli ultimi 20 anni [15].

All'interno della penisola Antartica, il Mare di Ross rappresenta una delle aree meglio conosciute grazie alle numerose spedizioni che si sono succedute: a partire dalla creazione del primo campo-base invernale durante la spedizione di Carsten E. Borchevink a Cape Adare, Southern Cross Expedition (1898-1900), alla spedizione norvegese guidata da Roald Amundsen (1911) e a quella inglese sotto la guida di Robert Falcon Scott (1912), con il raggiungimento del Polo Sud [1]. Dal 1985 l'Italia ha condotto 31 spedizioni in Antartide per studiare l'ambiente fisico, la flora e la fauna e per comprendere i processi che ne governano il funzionamento [18].

Nel Mare di Ross, i briozoi sono ampiamente diffusi e sono stati studiati da ricercatori americani (area di McMurdo) che hanno valutato la distribuzione spaziale e verticale di popolamenti littorali. Studi specifici sul gruppo, condotti da ricercatori italiani, si riferiscono alla Baia di Terra Nova, che è stata oggetto dei programmi di ricerca del Piano Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA) negli ultimi 30 anni [19, 20].

Il presente RT ha come scopo la conoscenza della fauna a briozoi della Baia di Terra Nova,

nell'ottica di valutare il loro potenziale in studi di tipo climatico. Per raggiungere questo scopo, si è proceduto a: i) fornire una lista aggiornata e revisione tassonomica dei briozoi della Baia di Terra Nova, unificando i dati relativi alle prime tre campagne oceanografiche condotte dal PNRA tra il 1987 e il 1995 con dati inediti derivati dall'analisi di campioni raccolti in spedizioni più recenti (campioni MNA di Genova e campioni CNR-ISMAR di Bologna); ii) fornire una descrizione dei briozoi come indicatori del cambiamento climatico; iii) segnalare alcune specie di briozoi (circa 1800 anni) provenienti dall'affioramento di Cape Russell (campioni CNR di Bologna).

2. MATERIALI E METODI

2.1 I briozoi

I briozoi rappresentano un phylum di invertebrati coloniali il cui nome deriva dalla combinazione di due parole di origine greca '*bryon*' (muschio) e '*zoon*' (animale), motivo per cui sono comunemente conosciuti come 'moss animals'. Estremamente ubiquitari, questi organismi vivono in tutti gli ambienti acquatici, dai laghi, agli estuari, dalle spiagge alle profondità abissali, dai tropici ai poli. Esistono circa 5900 specie recenti viventi [21], di cui si contano 320 specie Antartiche, anche se il loro numero è in costante aumento.

Ciascuna colonia di briozoi comprende da pochi a diverse migliaia di unità clonali chiamate moduli o 'zooidi' (Fig.1), le cui lunghezze può variare da 0.1 fino a poco più di 1 mm. I briozoi sono sessili, cioè vivono ancorati al substrato e, in quanto filtratori, non devono muoversi per trovare cibo, con poche eccezioni (1 sola specie in Antartico). Le colonie hanno diverse forme di crescita che le portano ad assomigliare a fronde o cespugli di alghe, rametti, coralli piatti o anche a reef-fogliacei [22]. La crescita di briozoi antartici è lenta rispetto a quella di specie cresciute a minori latitudini, ma la loro abbondanza e longevità li rende degli ottimi 'indicatori' [14]. Alcune specie, infatti, sono in grado di formare 'anelli' o 'bande di crescita' (growth check-lines) che indicano le fasi di transizione tra una crescita e una cessazione [23]. Queste linee permettono di quantificare l'età e la crescita, che possono essere relazionate alla variazione delle condizioni ambientali (es. abbondanza di cibo, variazioni t°C, pCO₂) [15].

Sebbene geneticamente identici, gli zooidi all'interno della colonia sono altamente differenziati a livello morfologico all'interno della colonia in relazione allo stato di sviluppo (ontogenesi), allo stadio di sviluppo della colonia quando si sono formati (astogenesi) e come risultato di un differenziamento funzionale (polimorfismo). Per cui, alcuni moduli sono specializzati, ad esempio, per l'alimentazione della colonia (autozooidi) (Fig. 1A), alcuni per il mantenimento strutturale (kenozooid) (Fig.1B), per la riproduzione (gonozooidi) (Fig. 1C), altri per la difesa (avicularia)

(Fig. 1D) [24].

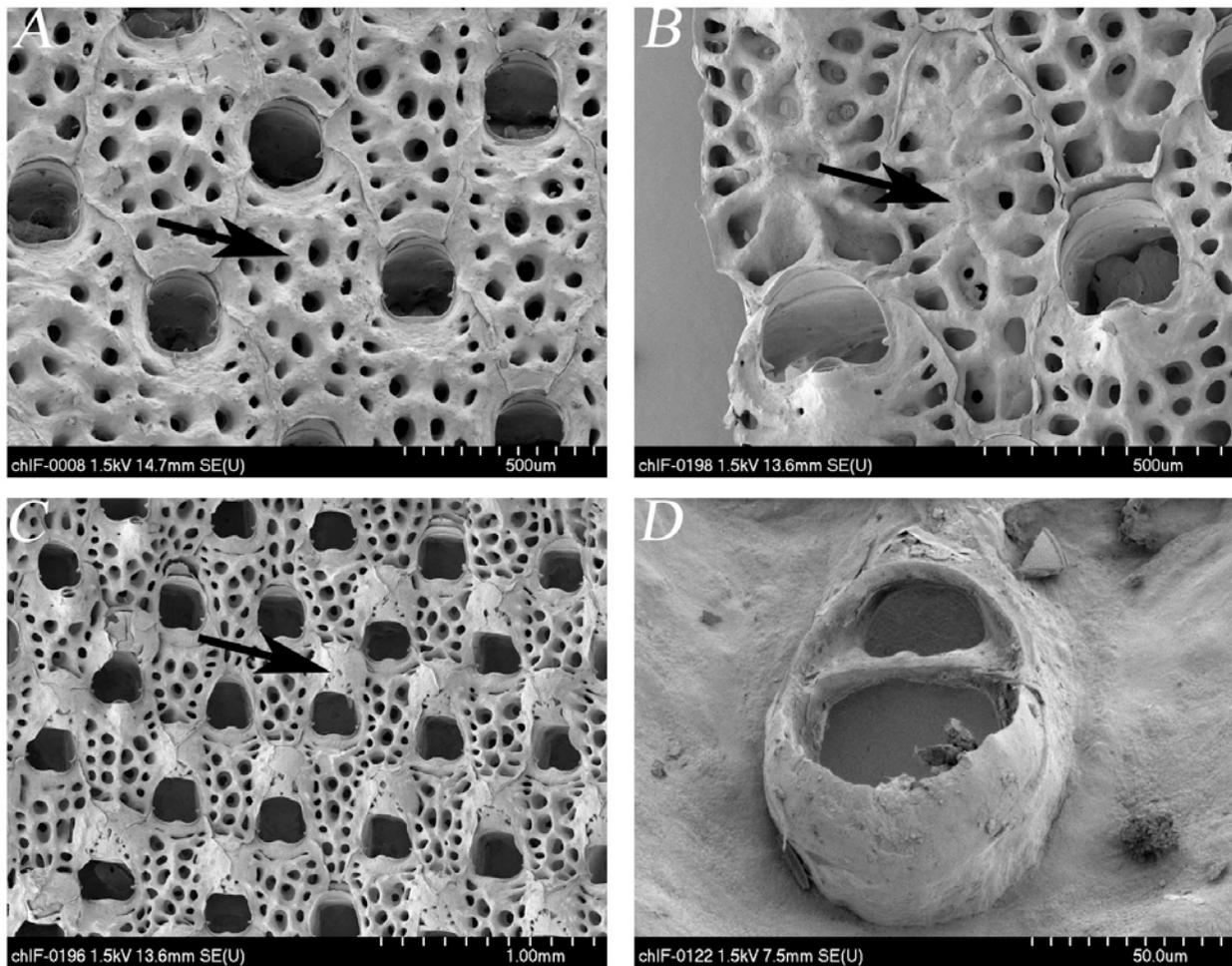


Figura 1. Esempi di polimorfismo all'interno di una colonia del briozoo *Pentapora fascialis*. A. Zooidi addetti all'alimentazione (autozooidi), scala: 500 µm; B. Zooide con funzione di sostegno (kenozooid), scala: 500 µm; C. Zooidi con funzione riproduttiva (gonozooidi) dotati di camera di incubazione dell'embrione (ovicella) (freccia), scala: 1mm; D. Dettaglio di struttura dello zooide con funzione di difesa (avicularium), scala: 50 µm.

Ciascuno zoide è composto da un polipide e un cistide (Fig. 2A). Il primo comprende uno stomaco ad U e muscoli associati e una campana con un anello di tentacoli (lofoforo) che, durante le fasi di alimentazione, viene estroflessa attraverso un'apertura esterna dello scheletro (orificio primario). Durante le fasi di alimentazione, le ciglia del tentacolo si muovono per creare una corrente d'acqua che facilita il trasporto del fitoplancton attraverso la bocca, posizionata alla confluenza dei tentacoli. Lo stomaco a U forma un anello sospeso nella cavità del corpo ripiena di liquido (celoma o pseudoceloma) che unisce la bocca e l'ano, e si apre all'esterno attraverso la corona di tentacoli (Fig 2B). Il cistide comprende essenzialmente la parte esterna dell'organismo (lo scheletro), ed include la cuticola, lo scheletro mineralizzato e il peritoneo [25].

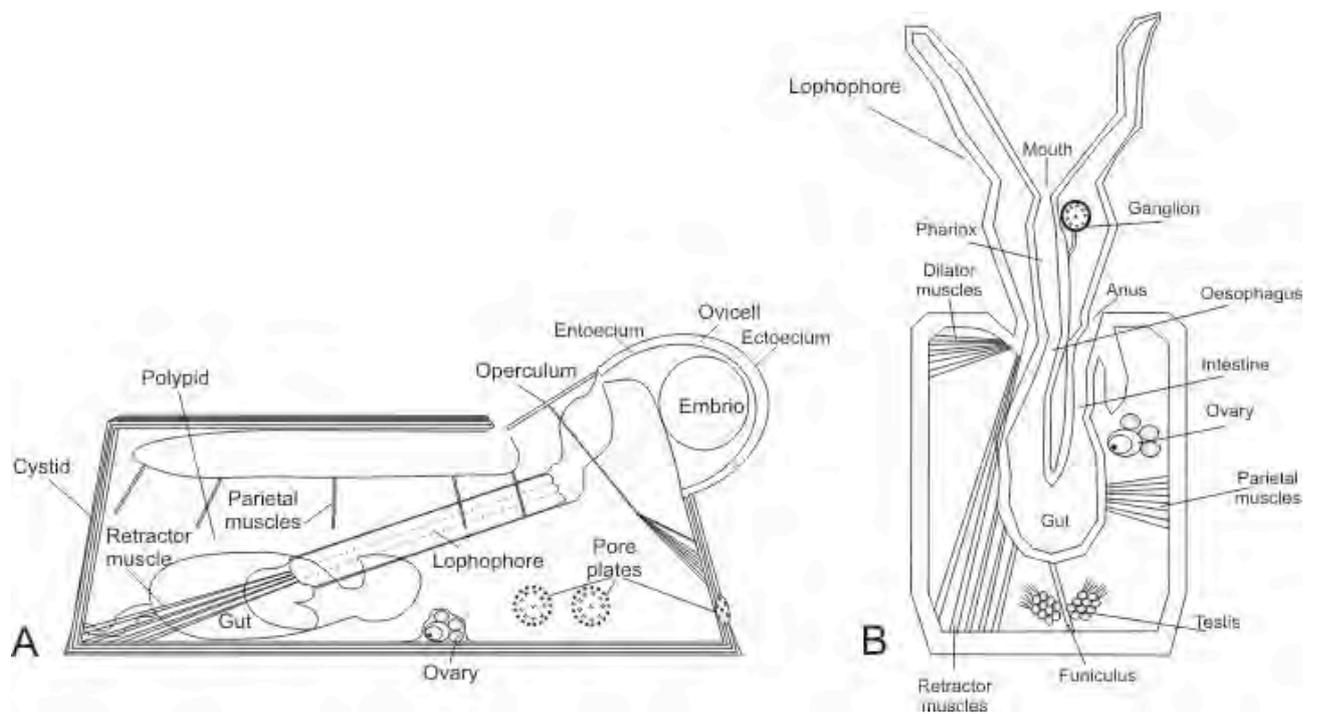


Figura 2. Rappresentazione schematica della struttura di uno zooide. A. Zooide con lofoforo (corona di ciglia) ritratto. B. Zooide durante la fase di alimentazione (lofoforo estroflesso). Da Lombardi et al. [24].

La maggior parte dei briozoi ha uno scheletro calcareo il che fa di loro tra i più comuni macrofossili marini rinvenuti nel post-Cambriano [26]. La classe filogenetica che ha dato origine al Phylum è quella dei Phylactolaemata che include organismi esclusivamente marini privi di uno scheletro biomineralizzato [27], sconosciuti ad oggi nell'OM. Le due classi – Stenolaemata e Gymnolaemata- formano un gruppo di specie 'sorelle' principalmente marine dotate di scheletro calcareo. La classe degli Stenolaemata ha origini a partire dall'Ordoviciano Inferiore (circa 470-486 Ma) e comprende quattro ordini estinti e uno esistente (Cyclostomata), tutti ben calcificati. La classe dei Gymnolaemata, particolarmente speciosa e abbondante nell'OM [28], comprende l'ordine parafiletico degli Ctenostomata, che è interamente composta da organismi privi di scheletro calcareo e identificati come 'borings' durante l'Ordoviciano Inferiore [29], e i Cheilostomata, oggi il gruppo di briozoi dominanti, costituito da organismi con scheletro carbonatico comparsi nel Jurassico Superiore (circa 166-145 Ma) [30].

Nell'OM gli affioramenti a briozoi sono piuttosto rari, sia a livello spaziale che temporale, con la maggior parte dei depositi limitati a rocce eoceniche (33- 0.1 Ma) di Seymour Island (Penisola Nord Antartica) e a 400 km da McMurdo. Sono stati rinvenuti di recente affioramenti a briozoi in strati Oligo-Pliocenici (34-2.6 Ma) in alcune parti della penisola antartica e delle South Shetland Islands.

2.1.2. I briozoi in Antartide

I primi invertebrati marini descritti per la Penisola Antartica furono molluschi e crostacei raccolti sulle spiagge delle Isole Shetland a Sud da James Eights durante l'US Antarctic Exploring Expedition del 1833. Nel 1841 James Clark Ross fu il primo ad effettuare un dragaggio in Antartide nel corso delle due spedizioni *Erebus* e *Terrors* e gli organismi vennero illustrati da Joseph Dalton Hooker nel corso delle spedizioni. Sebbene queste spedizioni fossero le prime effettuate in Antartide ad aver riportato anche campioni di briozoi, la collezione originaria, conservata al Museo di Storia Naturale di Londra, andò successivamente distrutta. I briozoi antartici non vennero più raccolti fino a quando Mischealsen's non visitò la South Georgia tra il 1892 e il 1893 [28].

Gli studi tassonomici condotti sulle specie antartiche si basano su studi precedenti che hanno riguardato le regioni Subantartiche adiacenti, in modo particolare l'Atlantico sud-ovest e il Sud America dello Stretto di Magellano, dove sono state realizzate diverse spedizioni di successo. Tra queste sia annoverano le spedizioni a bordo del 'Uraine' e del 'Physicienne' condotte da Quoy e Gaimard del 1824 e la spedizione a bordo dell' 'Astrolabe' condotta da D'Orbigny tra il 1841 e il 1847, che hanno permesso di raccogliere briozoi dallo Stretto di Magellano. Charles Darwin, durante la seconda spedizione sul 'Beagle' (1831-1836), raccolse diversi campioni di briozoi, tutt'ora conservati presso il Museo di Storia Naturale di Londra, analizzati e identificati da Busk nel 1852, 1854 e 1875. Nel 1988 Jullien scrisse il primo lavoro monografico sui briozoi subantartici del Sud America dello Stretto di Magellano raccolti durante una spedizione francese a Cape Horn (1882-1883), anche se il lavoro tassonomico di riferimento sui briozoi dello Stretto di Magellano è di Busk, realizzato nel 1884, grazie ai campioni raccolti durante la spedizione del 'Challenger'. Kirkpatrick, nel 1902, fu il primo autore a segnalare briozoi di Cape Adare, situato al confine ovest del Mare di Ross e, sebbene il materiale raccolto da Krikpatrick non è più disponibile, fu in grado di segnalare sette specie di briozoi raccolte tramite dragaggi effettuati fuori dal Capo e una specie (*Alcyonidium flabelliforme*) raccolta tra i detriti spiaggiati.

L'inizio ufficiale della ricerca dei briozoi in Antartide è da attribuirsi a Waters con la pubblicazione, nel 1904, della sua lista di briozoi trovati durante la spedizione antartica belga (1897-1899) a bordo del 'Belgica', e raccolti a Bellingshusen Sea, a ovest, in Antartide. A Waters si deve inoltre la revisione dei lavori di D'Orbigny e Jullien oltre che l'introduzione di due nuovi generi quali *Systemopora* e *Cellarinella*. Calvet, contemporaneamente a Waters (1904), pubblica sui briozoi raccolti da Michaelsen nel 1892-1893 durante la crociera di ricerca scientifica, includendo sia specie subantartiche che antartiche. A lui si deve la descrizione di 61 taxa provenienti dallo Stretto di Magellano, Terra del Fuoco, Patagonia, Isole Falkland e Sud Georgia [28].

Nel 1914 Kluge pubblica i dati relative ai briozoi raccolti durante la spedizione tedesca South

Polar (1901-1903), riportando 84 taxa, di cui 50 nuove specie e una descrizione molto minuziosa e dettagliata dei *Flustridae*, una nuova *Bugula* e diverse specie di *Camptoplites*.

A seguito della spedizione Australasian (1911-1914), che permise la raccolta dei primi briozoi dal territorio antartico australiano e da Adelie Island, L.R. Thoronley nel 1924 studiò e pubblicò i dati sulla collezione, che furono però successivamente rivisti e corretti da Livingstone nel 1928, attraverso la ridescrizione di 78 specie, di cui 4 nuove [28].

Le collezioni della 'British Antarctic Expedition' (NAE) del 1901-1904 e della 'Terra Nova' Expedition del 1910-19014 rimasero non considerate per anni, finché Burrow e, successivamente, Palk ci si dedicarono e Palk identificò i briozoi di Terra Nova, ma il suo lavoro rimase incompleto e fu dato al Museo di Storia Naturale di Londra, dove rimase per anni.

Dai primi del secolo si passò poi direttamente al 1943, quando Hastings si mise a lavorare sulla collezione raccolta durante la spedizione del 'Discovery' condotta tra il 1925 e il 1951, il tutto l'oceano meridionale. Hastings analizzò inoltre le collezioni del NAE e di Terra Nova e, sebbene il suo fu un grosso lavoro, di estrema precisione tassonomica (produsse anche diverse chiavi di identificazione), rimase comunque incompleto.

L'autore più moderno che pubblicò sui briozoi antartici è Rogick che, dal 1953 al 1956, produsse 13 lavori sui briozoi raccolti durante la US Navy's (1947-1948) Antarctic Expedition, e descrisse nuove specie per Marguerite Bay, Peter I Id., Wilkes Land e per il Mare di Ross. Autrice di monografie di alcune specie di *Cellarinella* e di Cellaridae, i suoi lavori e disegni sono considerati di estrema importanza per l'identificazione di specie antartiche [28].

A partire dalla fine degli anni '60, c'è stata un'esplosione delle attività di ricerca in Antartide, che è tutt'ora in corso, e il numero di specialisti che lavorano su briozoi antartici è andato conseguentemente in espansione, con la pubblicazione di numerosi lavori. La diversità tassonomica dei briozoi antartici è dunque aumentata di molto e la sua peculiarità affinata data l'alta presenza di specie e generi endemici. Ciononostante ancora diverse aree antartiche restano inesplorate e diversi campioni, raccolti durante numerose spedizioni, ancora non adeguatamente studiati, per cui il numero di specie di briozoi, così come quello di altri gruppi, è senz'altro destinato a crescere.

Il Programma di Ricerca Italiana in Antartide (PNRA) ha inizio circa 30 anni fa sulle coste della Baia di Terra Nova e, da allora (1985- fondazione base italiana 'Mario Zucchelli') ad oggi, si sono susseguite diverse spedizioni condotte da Enti di Ricerca e Università Italiane. Per quel che concerne la ricerca sui Briozoi, le pubblicazioni di Di Geronimo e, successivamente, di Rosso e Rosso e San Filippo, tutte inerenti i briozoi della Baia di Terra Nova, riportano i dati relativi alle prime tre campagne antartiche realizzate a bordo di navi oceanografiche, tra il 1987 e il 1995 [18]. La prima spedizione antartica (20 dicembre 1987 - 29 febbraio 1988) è stata condotta a bordo della

R/V Polar Queen tra Cape Washington e la lingua di ghiaccio Drygalsky, nella zona ad ovest del Mare di Ross (70°30' S e 75°30'S; 164°00'E e 172°00'E); la seconda spedizione (25 novembre 1989 -20 febbraio 1990) è avvenuta a bordo del R/V Cariboo, che ha esplorato l'ampia area geografica nel settore Pacifico dell'OM, da 50.0 E alle Balleny Islands e da queste alla base italiana nella Baia di Terra Nova (75°S nel Mare di Ross); la terza spedizione (2 novembre 1994 - 3 gennaio 1995), realizzata durante la primavera australe, è avvenuta a bordo del R/V Italica, in collaborazione con il team americano del R/V Palmer, e ha riguardato, da sud a nord, un ampio settore del Mare di Ross [18].

2.2 Il Mare di Ross e la Baia di Terra Nova

Il Mare di Ross è rappresentativo della piattaforma Antartica in quanto centro di alta produttività dell'OM (Fig. 3). Caratterizzato da una profondità compresa tra i 200 e i 1200 m, ha la più grande variazione stagionale di produttività primaria superficiale e di concentrazione di materia biogenica nella colonna d'acqua, risultato di intensi bloom di fitoplancton stagionali [31]. Quest'area, infatti, sviluppa la più ampia *polynya* di tutto l'Antartide, in cui la produttività aumenta molto prima che nelle regioni circostanti coperte dai ghiacci, funzionando, tra l'altro, da serbatoio per l'accumulo di CO₂ atmosferica [32]. La produttività primaria media annuale che si registra nel Mare di Ross è ben quattro volte quella di tutto l'OM e avviene per lo più entro i primi 100 m della colonna d'acqua [33]. Durante i picchi di produttività primaria estiva, una percentuale compresa tra il 30 e il 50% di carbonio organico particolato (POC) viene 'esportato' mentre il restante viene 'rimineralizzato' [33, 34, 35]. Le concentrazioni di POC raggiungono il loro massimo stagionale a metà gennaio e declinano progressivamente fino a raggiungere i minimi ad aprile. Questo decremento coincide con i flussi di esportazione di carbonio riportati da numerosi autori per l'area.

Nel margine ovest del Mare di Ross si colloca la Baia di Terra Nova, di circa 6000 km², posizionata nella Regione conosciuta come Victoria Land (Fig. 3). Una delle caratteristiche principali della regione è l'orografia: il monte Melbourne domina il lato nord, mentre ad est è presente il Transantarctic Range che costituisce il confine della calotta polare artica ed è attraversato da ghiacciai che finiscono in mare (David, Priestley, Reeves e Campbell). I fattori orografici hanno un impatto importante nel determinare il clima della regione dato che guidano i flussi atmosferici, originando sistemi dinamici quali barriere e venti catabatici. La Baia di Terra Nova è infatti caratterizzata da forti venti catabatici responsabili delle diminuzioni delle temperature e dell'aumento delle salinità durante la *polynya*, in modo particolare durante la formazione del ghiaccio e il 'rigetto' di acqua salmastra. La ventilazione di fondo svolge un ruolo chiave, inoltre,

nel controllo delle dinamiche ed equilibrio della circolazione termoalina, che è responsabile della modulazione del clima [36].

Analogamente a quanto accade nel Mare di Ross, anche la Baia di Terra Nova è caratterizzata da fenomeni importanti di bloom di fitoplancton in estate, a seguito dello scioglimento dei ghiacci, con importanti effetti sulle comunità planctoniche e bentoniche [37]. L'azione dei venti nella Baia di Terra Nova, molto maggiore rispetto a quelli del Mare di Ross, porta ad un ritardo nella stratificazione. I fattori fisici hanno quindi una notevole importanza nello sviluppo del sistema fitoplanctonico che, nel caso della Baia di Terra Nova, si manifesta con una distribuzione 'a macchie', che shifta da una comunità autotrofa nelle aree vicine al ghiaccio verso una comunità eterotrofa negli strati di acqua più superficiali, liberi dal ghiaccio [38].

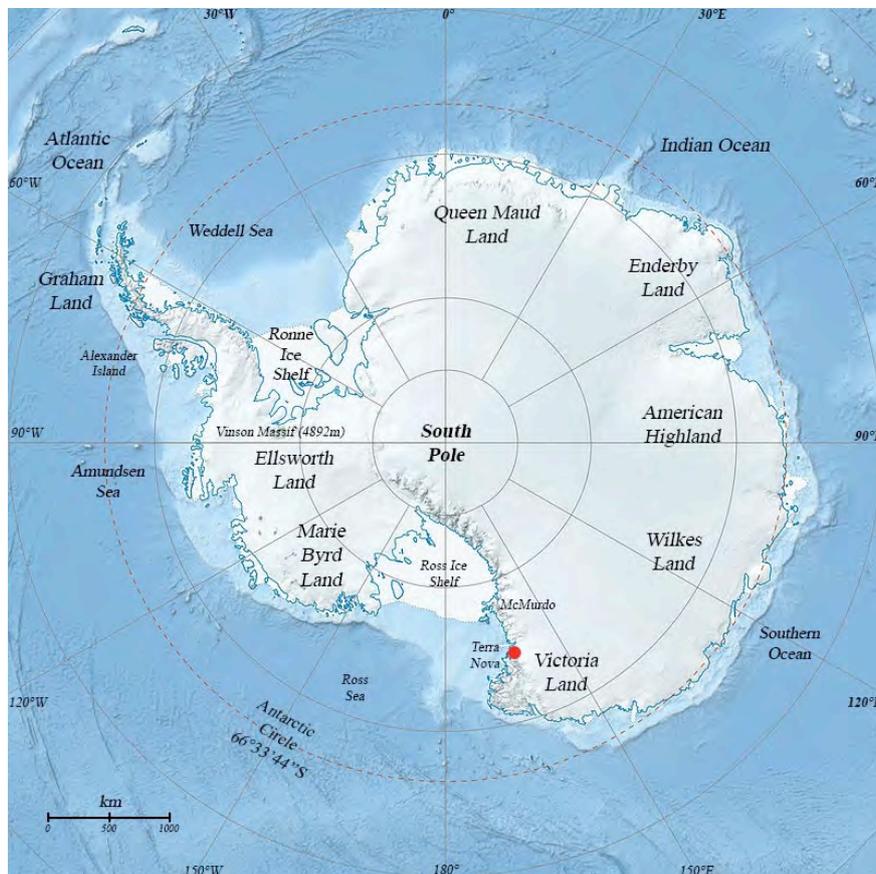


Figura 3. Mappa della penisola Antartica. La Baia di Terra Nova è indicata in rosso. Immagine da nsidc.org modificata.

Un'altra delle caratteristiche della Baia di Terra Nova è la presenza di popolamenti di *Adamussium colbecki*, uno dei molluschi antartici più conosciuti e studiati. Di grossa taglia e con ampia distribuzione circumpolare, *A. colbecki* è una delle specie dominanti in alcune aree costiere protette della Baia di Terra Nova, ma si può anche trovare con piccole popolazioni più al largo [39, 40].

La Baia di Terra Nova è situata in una posizione strategica nello studio della prima fase della de-glaciazione nel Mare di Ross. Durante l'ultima massima glaciazione (LGM), la lastra di ghiaccio dell'ovest Antartico (WAIS) è avanzata all'interno del Mare di Ross e, insieme al ghiaccio dell'est Antartico, ha permesso la creazione di un'unica piattaforma ghiacciata che si è estesa molto a nord verso l'isola di Columann, con un'inondazione delle aree costiere circa 400 m oltre il livello del mare [41]. Quando il ghiaccio ha raggiunto ed eroso il fondale marino, arrivando a terra e depositando quanto era sul fondale, gli organismi marini presenti sono stati spinti ed incorporati nel sedimento e nel ghiaccio, finendo dunque a terra. A seguito della de-glaciazione e del ritiro verso sud della piattaforma di ghiaccio del Mare di Ross, avvenuta durante l'Olocene, i depositi di organismi sono affiorati a terra. Tra gli organismi ritrovati, si annoverano diversi frammenti di conchiglie di molluschi bivalvi, tra cui *A. colbecki*, ma anche cirripedi, coralli, spugne, echinodermi, policheti serpulidi, foraminiferi e briozoi, risalenti a circa 25.000 anni fa [41].

I ritrovamenti marini fossili meglio preservati sono soprattutto presenti lungo la costa ovest tra Inexpressible Land, a Cape Russell, Adelle Cove, Tethys Bay e vicino al ghiacciaio di Campbell. Cape Russell (Fig. 4), da dove provengono i campioni di briozoi fossili descritti nel presente Rapporto, è caratterizzato da affioramenti di sedimenti marini e spiagge lungo la costa ovest che si affaccia su Evans Cove. I massi e pietre delle spiagge (2m s.l.m..) e sono posizionati su un basamento roccioso. I sedimenti marini affioranti di granulometria medio-grossolana contengono residui di conchiglia di *A. colbecki*, a volte coperti da sedimenti più siltosi che contengono frammenti del bivalve *Laternula elliptica*. In generale, in questo sito, i resti di organismi sono presenti in modo sparso sulla superficie. Organismi più resistenti quali, cirripedi, coralli e briozoi sono ben conservati, mentre organismi più fragili, tra cui i bivalvi, sono presenti in frammenti.

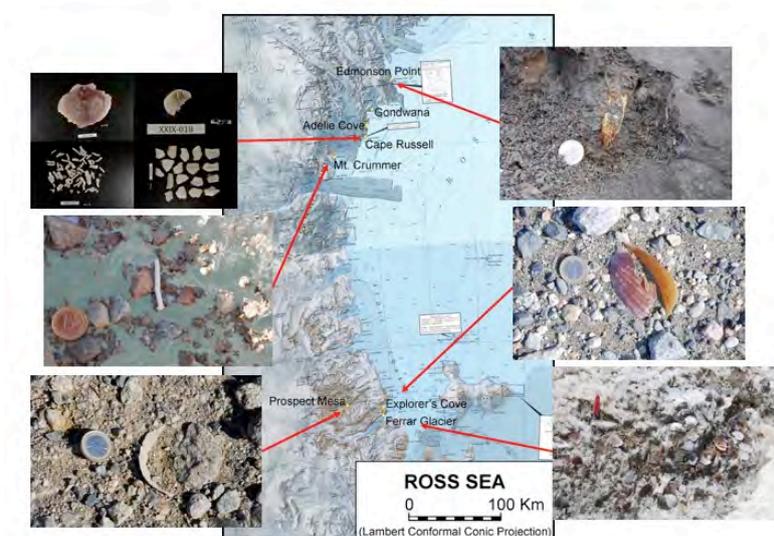
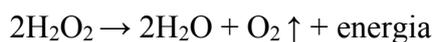


Figura 4. Punti di affioramenti fossili contenenti resti di organismi marini. Immagini: P. Montagna.

2.3 Preparazione e analisi dei campioni Recenti e Fossili

I campioni di briozoi Recenti appartenenti alla collezione dal Museo Nazionale dell'Antartide (MNA) di Genova e del CNR-ISMAR di Bologna insieme ai briozoi fossili, raccolti a Cape Russell (Fig. 4) nell'affioramento a coralli e briozoi, sono stati inizialmente sottoposti ad osservazione utilizzando uno stereo microscopio (AZ100; Nikon). Le specie sono state sottoposte a determinazione tassonomica attraverso l'utilizzo di chiavi dicotomiche specifiche [28, 42] e con l'ausilio della letteratura. Per alcune specie selezionate o di difficile identificazione attraverso la microscopia ottica, si è proceduto all'analisi morfologica tramite microscopia elettronica a scansione (SEM).

Prima di procedere con l'analisi al SEM, i campioni sono stati sottoposti a pulizia per rimuovere la componente organica attraverso l'utilizzo di due agenti ossidanti: ipoclorito di sodio (NaCl) e perossido di idrogeno (H₂O₂). La procedura (Toscano com. pers.) ha previsto da prima l'immersione in una soluzione di perossido di idrogeno al 40% in acqua (130 volumi):



La reazione ha l'effetto di rimuovere la materia organica dal campione, indebolisce i sedimenti parzialmente litificati presenti nei campioni fossili e ne favorisce la disgregazione attraverso la pressione meccanica dovuta alla generazione di bolle di O₂. I campioni sono stati lasciati in soluzione mediamente per circa 30', quindi trasferiti in una soluzione di ipoclorito di sodio. Questo trasferimento ha avuto lo scopo di produrre una vigorosa reazione, combinando la reazione spontanea di riduzione di due agenti ossidanti per generare del gas aggiuntivo:



Anche questa reazione ha la funzione di rimuovere la materia organica dai campioni Recenti e favorire la rimozione del sedimento litificato dai campioni fossili. Al termine della reazione (diminuzione di bolle sulla superficie del becker), approssimativamente dopo circa 30', se nel campione risultavano ancora presenti residui organici e/o litici, si è proceduto alla ripetizione di passaggi, fino ad un massimo di 5 passaggi per i campioni recenti e di 3 passaggi per quelli fossili, nel caso di campioni più sporchi.

Una volta puliti e asciugati i campioni sono stati montati su i porta campioni e sottoposti ad analisi al SEM (Inspect S, Quanta-FEI) con un intervallo di ingrandimento compreso tra 30x e 1.4kx (Low-Vacuum, Back scattered electron beam (BSC), Spot: 5, Voltage: 30V).

3. RISULTATI

3.1 I briozoi della baia di Terra Nova

Dal confronto tra la letteratura e l'elenco dei campioni del MNA è emerso un numero totale di 133 record (specie e/o generi) di briozoi per la Baia di Terranova (Tab. 1). Di cui, 34 nuove segnalazioni emerse dall'analisi dei campioni dell'MNA, 54 segnalazioni per le sole tre prime campagne italiane in Antartide [19, 20, 43, 44, 45, 46] e 45 tra generi/specie in comune, rinvenute durante tutte le campagne. L'ordine più rappresentato, come numero di record (116) è quello dei Cheilostomi, seguito dai Ciclostomi (16) e quindi Ctenostom1 (1) (Tab. 1). La maggior parte dei generi/specie sono caratterizzati da uno scheletro ben calcificato (102), 1 solo genere non calcificato (*Alcyonidium*, Ctenostomo) mentre 30 specie sono debolmente calcificate. Per quanto concerne gli *habitus* di crescita, 56 generi/specie sono incrostanti, 45 eretto-rigidi, 25 eretto-flessibili, 5 generi eretti e 2 generi che hanno specie erette e incrostanti. Oltre il 50% dei records rinvenuti sono endemismi antartici, alcuni specifici del Mare di Ross, altri invece estesi a più aree della penisola antartica.

I campioni sono stati raccolti da ambienti superficiali (circa 4 m) fino ad ambienti profondi (oltre 1000 m) con l'impiego di metodiche diverse: raccolta e/o grattaggio del substrato tramite immersione con autorespiratore ad aria per campioni più superficiali (fino a circa 30 m di profondità), l'utilizzo di benne e draghe, per campioni più profondi. I substrati di crescita sono diversi, da substrati inorganici duri, quali massi e pareti rocciose, o mobili (fondi fangosi), e substrati organici, cioè costituiti da altri organismi (es. briozoi, bivalvi, tra cui *A. colbecki*, e spugne).

Tabella 1. Elenco specie (in ordine alfabetico) dei briozoi della Baia di Terranova segnalate dalle precedenti campagne antartiche italiane [19, 20, 43, 44, 45, 46] dell'analisi della collezione dell'MNA. Specie con * = nuove segnalazioni per la Baia di Terra Nova. Specie evidenziate in grigio = specie segnalate solo in letteratura. Specie non evidenziate = segnalate in letteratura e presenti nella collezione dell'MNA. Categorie: Profondità (m); Tipologia di substrato (mobile, duro, *A. colbecki*, altri organismi, ignoto); Forme di crescita (I= incrostante, EF= eretto flessibile, ER=eretto rigido); Grado di calcificazione: NC= non calcificata, DC=debolmente calcificata; C=calcificata. Ordini di appartenenza: in rosso Ct= Ctenostomi; Cy= Ciclostomi, Cheilostomi se non indicato. N.d. = dato al momento non disponibile.

	Specie	Profondità (m)	Tipologia di substrato	Forma di crescita	Calcificazione
1	<i>Adelscopora jeqolqa</i> Moyano, 1989	40-200	mobile	I	C
2	<i>Aimulosia antarctica</i> (Powell, 1967)	4-100	mobile, duro, <i>A. colbecki</i>	I	C
3	<i>Alcyonidium</i> sp.* Ct	n.d.	n.d.	EF	NC
4	<i>Amastigia antarctica</i> (Kluge, 1914)	200	mobile	EF	DC
5	<i>Amastigia solida</i> (Kluge, 1914)	200	mobile	EF	DC
6	<i>Amphiblestrum inermis</i> (Kluge, 1914)	200-700	mobile	I	DC
7	<i>Amphiblestrum rossi</i> Hayward and Thorpe, 1989	200-700	mobile	I	DC
8	<i>Amphiblestrum</i> sp. *	n.d.	organismo	I	DC
9	<i>Antarticaetos bubeccata</i> Rogick, 1955	200-700	mobile	ER	C
10	<i>Antarctothoa antarctica</i> Moyano and Gordon, 1980	1-40	duro	I	C
11	<i>Apsendesia ? sarsi</i> (Borg, 1944) Cy	50-150	duro	I	C
12	<i>Arachnopusia decipiens</i> Hayward and Thorpe, 1988	200-700	mobile	I	C
13	<i>Arachnopusia latiavicularis</i> Moyano, 1970*	n.d.	organismi	I	C
14	<i>Arachnopusia pelvicula</i> Hayward and Winston, 2011 *	n.d.	organismi	I	C
15	<i>Arachnopusia</i> sp. *		organismi	I	C
16	<i>Austroflustra vulgaris</i> (Kluge, 1914)	200-700	mobile	EF	DC
17	<i>Beania c.f. challengerii</i> Hastings, 1943 *	n.d.	n.d.		DC
18	<i>Beania erecta livingstonei</i> Hastings, 1943	6-35	duro	EF	DC
19	<i>Bostrychopora dentata</i> Hayward and Thorpe, 1988 *	n.d.	n.d.	ER	C
20	<i>Buffonellodes c.f. umbonata</i> De Blawe and Gordon 2014 *	n.d.	organismi	I	C
21	<i>Caberea darwinii</i> (Busk, 1884)	200	mobile	EF	DC
22	<i>Calloporidae</i> Norman 1903	200	mobile	I	C
23	<i>Camptoplites bicornis</i> (Busk, 1884)	30; 200-700	mobile, duro	EF	DC
24	<i>Camptoplites latus</i> (Kluge, 1914) *	n.d.	n.d.	EF	DC
25	<i>Camptoplites rectilinearis</i> Hastings, 1943	40-200	duro	EF	DC
26	<i>Camptoplites tricornis</i> (Waters, 1904)	200	mobile	EF	DC
27	<i>Camptoplites</i> sp. *	n.d.	n.d.	EF	DC
28	<i>Carbasea curva</i> (Kluge, 1914)	200	mobile	EF	DC
29	<i>Cellaria aurorae</i> Livingstone, 1928	200	mobile	ER	C

30	<i>Cellaria diversa</i> (Livingstone, 1928)	n.d.	n.d.	ER	C
31	<i>Cellaria moniliorata</i> Rogick, 1956	200	mobile	ER	C
32	<i>Cellaria sp. *</i>	n.d.	n.d.	ER	C
33	<i>Cellarinella edita</i> Haywards and Ryland, 1991 *	n.d.	n.d.	ER	C
34	<i>Cellarinella fovelata</i> (Waters, 1904)	200	mobile	ER	C
35	<i>Cellarinella latilaminata</i> Moyano, 1974	200	mobile	ER	C
36	<i>Cellarinella latony</i> Rogick, 1956	200	mobile	ER	C
37	<i>Cellarinella margueritae</i> Rogick, 1956	200	mobile	ER	C
38	<i>Cellarinella njegovanae</i> Rogick, 1956	n.d.	n.d.	ER	C
39	<i>Cellarinella nutti</i> Rogick, 1956	200	mobile	ER	C
40	<i>Cellarinella rogickae</i> Moyano, 1974 *	n.d.	n.d.	ER	C
41	<i>Cellarinoides crassus</i> Moyano, 1970	200	mobile	ER	C
42	<i>Chaperiopsis cervicornis</i> (Busk, 1854)	60-150	duro	I	C
43	<i>Chaperiopsis quadrispinosa</i> (Kluge, 1914)	60-150	duro	I	C
44	<i>Cornucopina polymorpha</i> (Kluge, 1914)	30-150	ignoto	EF	DC
45	<i>Crisia sp.</i> Lamouroux, 1812 Cy	4-40	duro	ER	C
46	<i>Dakariella concinna</i> Hayward, 1983 *	n.d.	organismi	ER	C
47	<i>Dakariella dawbroni</i> (Rogick, 1962)	60-150	duro	I	C
48	<i>Dendroperistoma projecta</i> Moyano, 1985 *	n.d.	n.d.	I	C
49	<i>Disporella c.f. humilis</i> Gordon and Taylor, 2011*	n.d.	organismi	I	C
50	<i>Disporella tubicen</i> Borg, 1944	4-200	duro, mobile	I	C
51	<i>Disporella sp.</i> DeFrance, 1823	40-100	duro, <i>A. colbecki</i>	I	C
52	<i>Ellisina antarctica</i> Hastings, 1945	n.d.	Mobile, duro, organismi	I	DC
53	<i>Entaolphora</i> Lamouroux, 1821 Cy	40-200	mobile	ER	C
54	<i>Escharella sp.</i> Gray, 1848 *	n.d.	organismi	I	C
55	<i>Echarella watersi</i> Hayward and Thorpe, 1989 *	n.d.	organismi	I	C
56	<i>Escharoides praestita</i> Waters, 1904	200	mobile	I	C
57	<i>Exallozoon simplicissima</i> (Kluge, 1914)	40-150	duro, <i>A. colbecki</i> , organismi	I	DC

58	<i>Exochella avicularis</i> Hayward, 1991	60-150	duro, organismi	I	C
59	<i>Exochella hymanae</i> (Rogick, 1956)	40-150	duro, <i>A. colbecki</i> , organismi	I	C
60	<i>Exochella sp.</i> Jullien, 1888 *	n.d.	organismi	I	C
61	<i>Fasciculipora ramosa</i> d'Orbigny, 1842 Cy	60-150	duro	ER	C
62	<i>Fenestulina antarctica</i> Hayward and Thorpe, 19890	60-150	duro	I	C
63	<i>Fenestulina exigua</i> (Waters, 1904)	60-700	duro, mobile	I	C
64	<i>Fenestulina parvipora</i> (Waters, 1904) *	n.d.	organismi	I	C
65	<i>Fenestulina proxima</i> (Waters, 1904)	4-40	duro	I	C
66	<i>Fenestulina sp.</i> Jullien, 1888	60-150	duro	I	C
67	<i>Figularia discors</i> Hayward and Taylor, 1984	60-150	duro	I	C
68	<i>Harpecia spinosissima</i> Calvet, 1904	4-35	duro	I	DC
69	<i>Hastingsia sp.</i> Borg, 1944 Cy	60-150	duro	ER	C
70	<i>Himantozoum antarcticum</i> (Calvet, 1909)	200	mobile	EF	DC
71	<i>Hippomonavella pellucida</i> Hayward and Ryland, 1991	60-150	duro	ER	C
72	<i>Hippothoa flagellum</i> Manzoni, 1870 *	n.d.	organismo, duro	I	C
73	<i>Hippothoa sp.</i> Lamouroux, 1821	30-200	duro, mobile	I	C
	<i>Hornera c.f. lasarevi</i> Androsova, 1968 Cy	40-200	duro, mobile	ER	C
74	<i>Hornera c.f. smitti</i> Borg, 1944 * Cy	n.d.	n.d.	ER	C
75	<i>Idmidronea obtecta</i> Borg, 1944 Cy	60-150	duro	ER	C
76	<i>Idmidronea sp.</i> Canu and Bassler 1920 Cy	20	duro	ER	C
77	<i>Isosecuriflustra angusta</i> Kluge, 1914	200-1100	mobile	EF	DC
78	<i>Isosecuriflustra tenuis</i> Kluge, 1914	200-700	mobile	EF	DC
79	<i>Isoschizoporella secunda</i> Hayward and Taylor, 1984 *	n.d.	n.d.	ER	C
80	<i>Isoschizoporella similis</i> Hayward and Thorpe, 1988	200-700	mobile	ER	C
81	<i>Isoschizoporella sp.</i> Rogick, 1960 *	n.d.	n.d.	I	C
82	<i>Kymella polaris</i> (Waters, 1904)	200	mobile	EF	DC
83	<i>Klugeflustra drygalskii</i> (Kluge, 1914)	200-700	mobile	EF	DC
84	<i>Klugeflustra vanhoffeni</i> (Kluge, 1914)	200-1100	mobile	EF	DC
85	<i>Larvaporora mawsoni</i> (Livingstone, 1928)	60-200	duro, mobile	ER	C

86	<i>Melicerita latilaminata</i> Rogick, 1956	200	mobile	ER	C
87	<i>Melicerita obliqua</i> (Thornley, 1924)	200	mobile	ER	C
88	<i>Micropora bravissima</i> Waters, 1904	10-40	duro	I	C
89	<i>Micropora</i> sp. Gray, 1848 *		duro	I	C
90	<i>Microporella stenoporta</i> Hayward and Taylor, 1994	4-700	duro, mobile, <i>A. colbecki</i>	I	C
91	<i>Nematoflustra flagellata</i> (Waters, 1904)	200	duro, mobile	EF	DC
92	<i>Neofungella claviformis</i> (Waters, 1904) Cy	60-200	duro, mobile	ER	C
93	<i>Notoplites drygalskii</i> (Kluge, 1914)	20-700	duro, mobile, sconosciuto	EF	DC
94	<i>Notoplites tenuis</i> (Kluge, 1914)	4-150	duro, sconosciuto	EF	DC
95	<i>Notoplites vanhoffeni</i> (Kluge, 1914)	200	mobile	EF	DC
96	<i>Notoplites</i> sp. Harmer, 1923	4-40	duro	EF	DC
97	<i>Oncousoecia</i> sp. Canu, 1918 * Cy			I	C
98	<i>Orthoporidra brachyrhyncha</i> Moyano, 1985	40-200	mobile	ER	C
99	<i>Orthoporidra compacta</i> (Waters, 1904) *	n.d.	n.d.	ER	C
100	<i>Orthoporidra stenorhyncha</i> Moyano, 1985	40-700	duro, mobile	ER	C
101	<i>Orthoporidra</i> sp. Canu and Bassler, 1927 *	n.d.	n.d.	ER	C
102	<i>Osthimosia c.f. bicornis</i> (Busk, 1881)	200	mobile, organismo	I	C
103	<i>Osthimosia milleporides</i> (Calvet, 1909)	4-200	duro, mobile, organismo	I	C
104	<i>Paracellaria wandeli</i> (Calvet, 1909)	200	mobile	ER	C
105	<i>Pemmatoporella marginata</i> (Calvet, 1909)	40-200	duro	I	C
106	<i>Plesiothoa calculosa</i> Hayward, 1993 *	n.d.	organismi	I	C
107	<i>Polirhabdotos inclusum</i> (Waters, 1904)	200	mobile	ER	C
108	<i>Reteporella frigida</i> (Waters, 1904)	40-200	duro, mobile	ER	C
109	<i>Reteporella gelida</i> (Waters, 1904)	200-700	mobile	ER	C
110	<i>Reteporella hippocrepis</i> (Waters, 1904)	60-150	duro, <i>A. colbecki</i>	ER	C
111	<i>Reteporella c.f. longichila</i> Hayward, 1993 *	n.d.	n.d.	ER	C

112	<i>Reteporella sp.</i> Busk, 1884	4-40	duro	ER	C
113	<i>Rhamphosmittina bassleri</i> (Rogick, 1956)	40-200	duro	I	C
114	<i>Smittina abditavicularis</i> Rogick, 1956	60-150	duro	ER	C
115	<i>Smittina alticollarita</i> Rogick, 1956	40-200	duro, mobile	I/ER	C
116	<i>Smittina antarctica</i> (Waters, 1904)	60-150	duro	ER	C
117	<i>Smittina directa</i> (Waters, 1904)	60-200	duro, mobile	ER	C
118	<i>Smittina pileata</i> (Waters, 1904) *			I	C
119	<i>Smittina rogickae</i> Hayward and Taylor, 1984)	60-150	duro	I	C
120	<i>Smittina sp.</i> Norman, 1903 *	n.d.	n.d.	I/ER	C
121	<i>Smittoidea albula</i> Hayward and Taylor, 1984	60-200	duro, mobile	I	C
122	<i>Smittoidea ornatipectoralis</i> Rogick, 1956	60-150	duro	I	C
123	<i>Stomatopora sp.</i> Bronn, 1825 Cy	60-150	duro	I	C
124	<i>Supercytis tubigera</i> Busk, 1886 Cy	4- 700	duro, mobile <i>A. colbecki</i>	I	C
125	<i>Swanomia membranacea</i> (Thornley, 1924)	40-200	mobile	ER	C
126	<i>Systemopora contracta</i> (Waters, 1904) *	n.d.	n.d.	ER	C
127	<i>Thrypticocirrus contortuplicata</i>	200	mobile	ER	C
128	<i>Thrypticocirrus phylactelloides</i>	60-150	duro	ER	C
129	<i>Thrypticocirrus rogickae</i>	200	mobile	ER	C
130	<i>Toretocheilum absidatum</i> Rogick, 1956	60-150	duro	I	C
131	<i>Toretocheilum turbinatum</i> Hayward, 1995 *	n.d.	n.d.	I	C
132	<i>Trilaminipora trinervis</i> (Waters, 1904)	200-700	mobile	I	C
133	<i>Tublipora sp.</i> Lamarck, 1816 Cy	4-40	duro, organismo	I/ER	C

3.2 Note tassonomiche su specie recenti

Dal confronto dei campioni di briozoi riportati in letteratura per la Baia di Terranova e l'analisi dei campioni dell'MNA e del CNR, prelevati durante campagne successive, sono emerse alcune discrepanze a livello di classificazione (nomi di specie e generi), dovute a recenti aggiornamenti di carattere tassonomico, posteriori alle pubblicazioni della letteratura relativa alle prime tre campagne italiane. Per cui, all'interno della tabella 1 sono state inserite le specie con nomi aggiornati, i cui casi specifici si riportano di seguito.

Clithriellum inlusum (Rogick, 1956) originariamente indicato da Rosso [43] è di recente

classificato come *Polirhabotos inclusum* [28] riprendendo la classificazione di Hayward e Thorpe [47]; *Cellaria vitrimuralis* (Rogick, 1956) [43] ha cambiato nome in *Cellaria diversa*, mentre *Celleporella antarctica* Moyano and Gordon 1980 [43] è *Antarctothoa antartica* [21]. Il ciclostomo *Defrancia sarsi* (Borg, 1944), segnalata per la Baia di Terranova nel 2001 [20], è classificata come *Apsendesia sarsi* [21]; *Exallozoon simplicissimum* (Kluge) [28] è *Exallozoon simplicissima* [21] (Fig. 5). Per quanto riguarda la famiglia Flustridae, *Flustra dryglaskii* Kluge, 1914 [43] è *Klugeflustra drygalskii* [21, 28, 46], *Flustra angusta* Kluge, 1914 indicata da Rosso [43, 45, 46] è *Isolsecuriflustra angusta* [21,28], mentre *Flustra tenuis* Kluge, 1914 [46] è *Isolsecuriflustra tenuis* [21, 28]. *Hippellozoon gelidum* Moyano, 1966 [45] è *Reteporella gelida* (*Retepora gelida*, Waters, 1904) (Fig. 6) [21, 28].

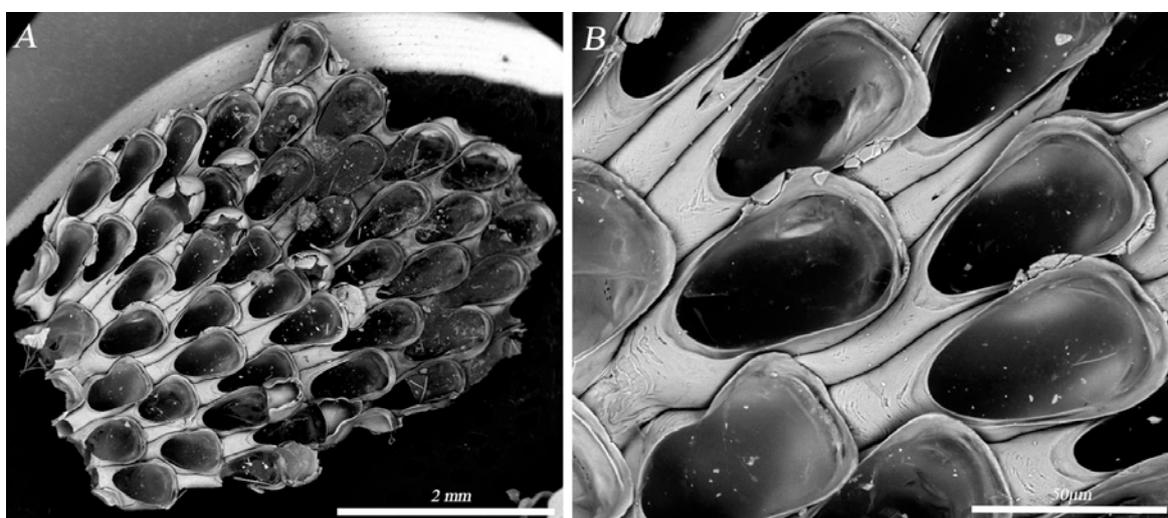


Figura 5. *Exallozoon simplicissima*. A) Frammento di colonia cresciuto su Porifero (Ingrandimento: 30x). B) Dettaglio di zooidi (Ingrandimento: 120x).

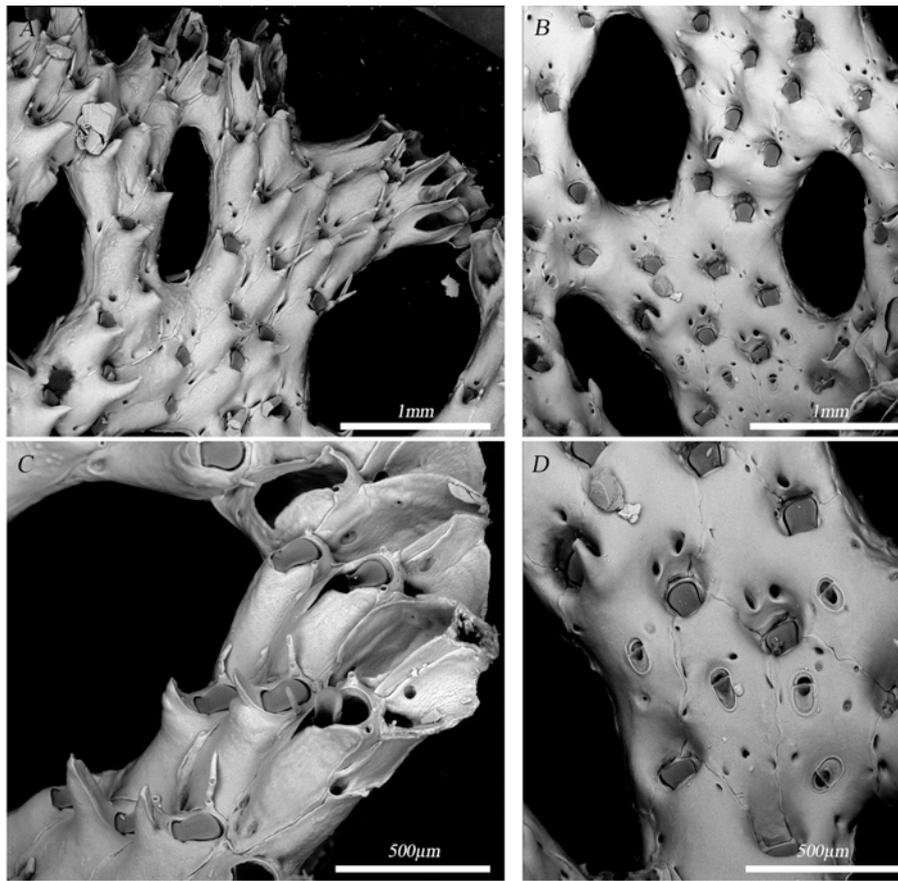


Figura 6 *Reteporella c.f. hippocrepis*. A) Parte distale della colonia (Ingrandimento: 60x); B) Parte centrale della colonia (Ingrandimento: 60x); C) Dettaglio della parte distale della colonia: zooidi con spine e in fase di formazione (Ingrandimento: 120x); D) Dettaglio porzione centrale della colonia: zooidi con avicularia posizionate sul muro frontale (Ingrandimento: 120x).

Tra i ciclostomi, *Idmidronea magna* Androsova, 1968 [43] è *Idmidronea obtecta* [48], mentre *Lichenopora tubicen* e *Lichenopora sp.* Borg, 1944 [20] sono inserite come *Disporella tubicen* e *Disporella sp.* [49] (Fig. 7). Tra i cheilostomi, ancora, *Mawsonia membranacea* Livingstone, 1928 [43] è indicata come *Swanomonia membranacea*; *Porella antarctica* Powell, 1967 [44] è classificata come *Aimulosia antarctica* e il genere *Sertella* Jullien come *Reteporella* [28]. Tra le Smittinidae, *Smittina gelida* [43] è classificata come *S. directa* [28], mentre *S. oblongata* [43], indicata da Hayward [28] come co-specifica di *S. antarctica*, viene dunque come tale riportata, in accordo con le recenti classificazioni [21, 50]. Infine, il ciclostomo *Tubulipora tubigera* Busk, 1866 [44, 20] è classificata come *Supercytis tubigera* [21].

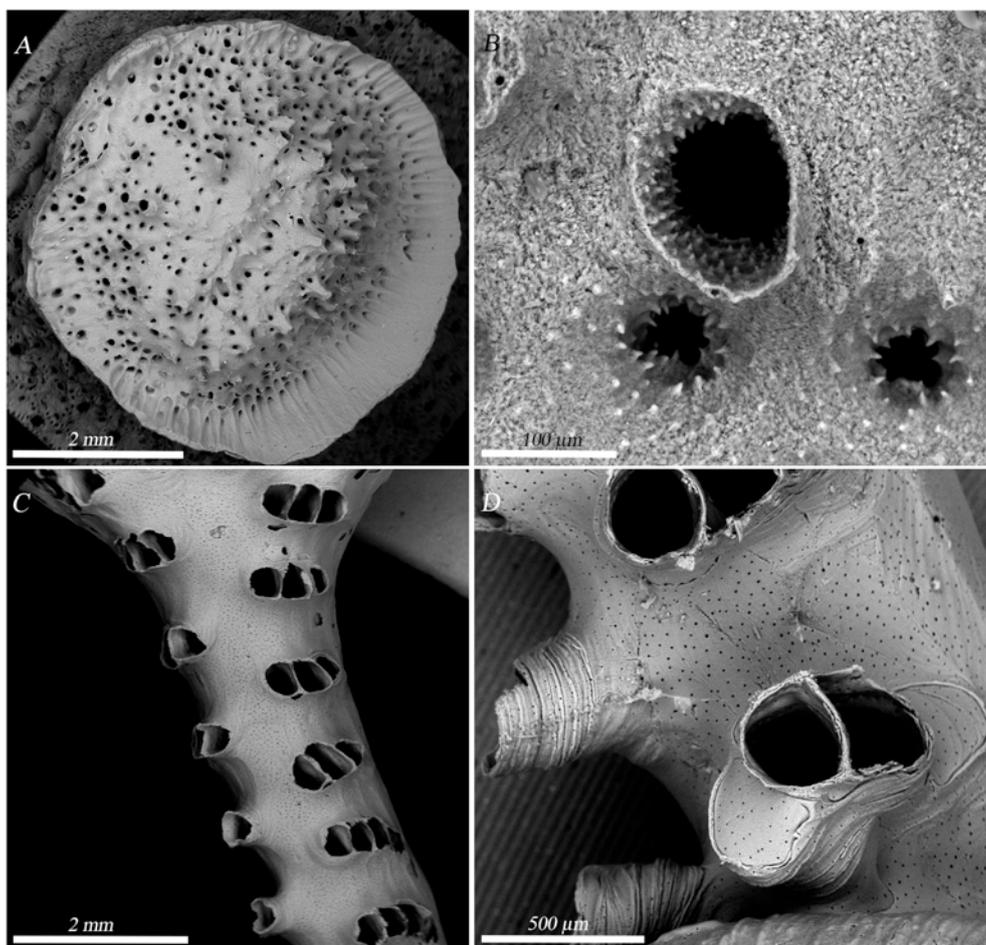


Figura 7. Ciclostomi antartici. A) Colonia di *Disporella c.f. humilis* su conchiglia (Ingrandimento: 30x); B) Dettaglio orificio primario e pseudopori *D. c.f. hispida* (Ingrandimento: 490x); C) Porzione di colonia di *Idmidronea obtecta* (Ingrandimento: 30x); D) Dettaglio di zooidi e gonozooide di *I. obtecta* (120x).

3.3 I briozoi come indicatori del cambiamento climatico

Di tutte le specie presenti in tabella 1, circa una ventina, tutte erette, rigide e/o flessibili, sono caratterizzate dalla presenza di ‘bande o cicatrici di crescita’ (growth check-lines) che si formano durante fasi di alternanza di crescita e cessazione (Fig. 8) [23]. Queste cicatrici danno indicazione sia dell’età che della quantità di cibo disponibile e possono essere confrontate con variazioni di parametri ambientali quali ad esempio lo scioglimento dei ghiacci e la produttività primaria. Le specie appartenenti ai generi *Cellarinella*, *Cellarinoides*, *Klugeflustra*, *Larvapor*, *Melicerita*, *Swanomia*, *Systemopora*, *Thrypticocirrus* hanno tutte questa caratteristica e sono dunque degli ottimi potenziali indicatori.

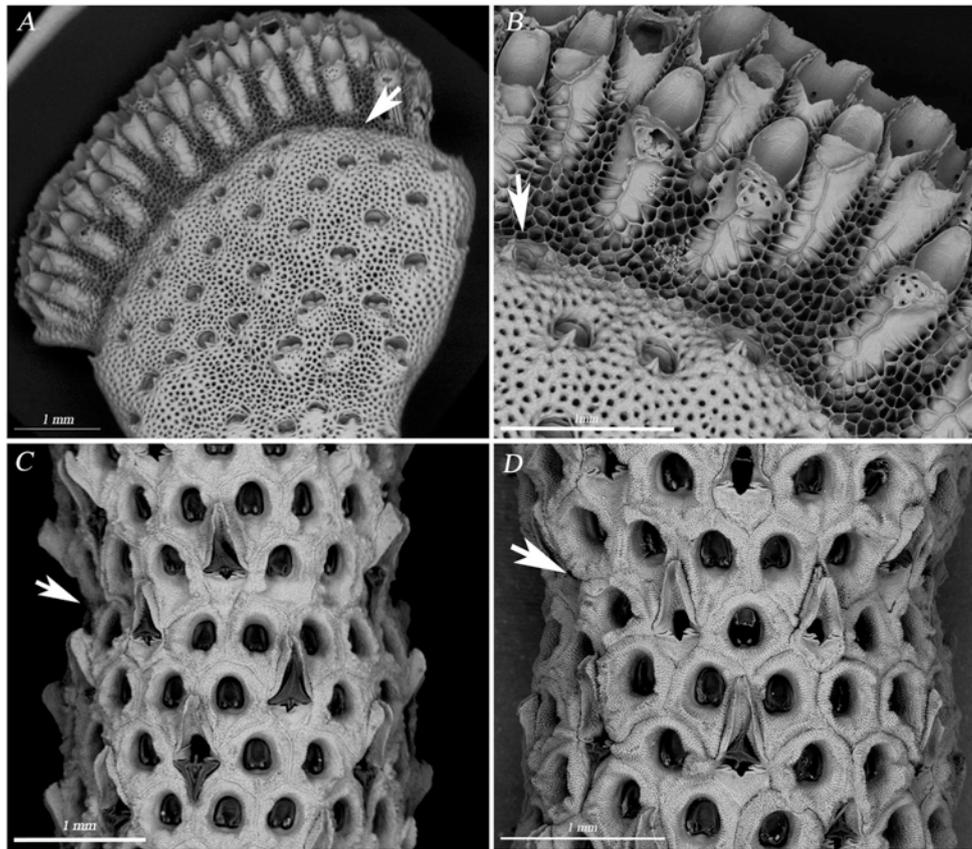


Figura 8. Bande di crescita (growth check-lines) A) Estremità in crescita del ramo di una colonia *Cellarinella nutti* in seguito ad uno stop di crescita (cicatrice o banda) (freccia) (Ingrandimento: 30x); B) Dettaglio di zooidi di *C. nutti* in corrispondenza della nuova porzione di colonia dopo lo stop (freccia) (Ingrandimento: 70x); C) Porzione centrale di una colonia di *Swanomia membranacea* con restringimento in corrispondenza della cicatrice di crescita (freccia). (Ingrandimento: 30x); D) Dettaglio di porzione centrale di *S. membranacea* e cicatrice di crescita (freccia) (Ingrandimento: 60x).

I briozoi della baia di Terranova hanno mostrato un'ampia distribuzione batimetrica (da 4 m fino a oltre 1000 m), ma la maggior parte (122 generi/specie) si trovano sopra i 200 m di profondità, e quindi esposti ai cambiamenti che si verificano negli strati d'acqua più superficiali. In particolare, nel presente studio, sono stati identificati per la Baia di Terranova ben 12 generi/specie che si trovano a partire da circa 4 m di profondità.

Tra i generi che si trovano in ambienti superficiali si trova ad esempio *Micropora* (Fig. 9), che forma colonie incrostanti, piatte e a volte piuttosto estese, capaci di crescere su diversi tipi di substrato, da roccia a organismi (es. conchiglie). Gli zooidi sono di forma da ovale a esagonale, a forma di diamante, con suture profonde che li separano l'uno dall'altro. Genere che comprende specie tipiche di ambienti superficiali, *Micropora* ha una distribuzione geografica piuttosto estesa. Due specie appartenenti a questo genere sono endemiche per l'Antartide [28], una delle quali, *M. brevissima*, è stata segnalata nella Baia di Terranova (Fig. 9).

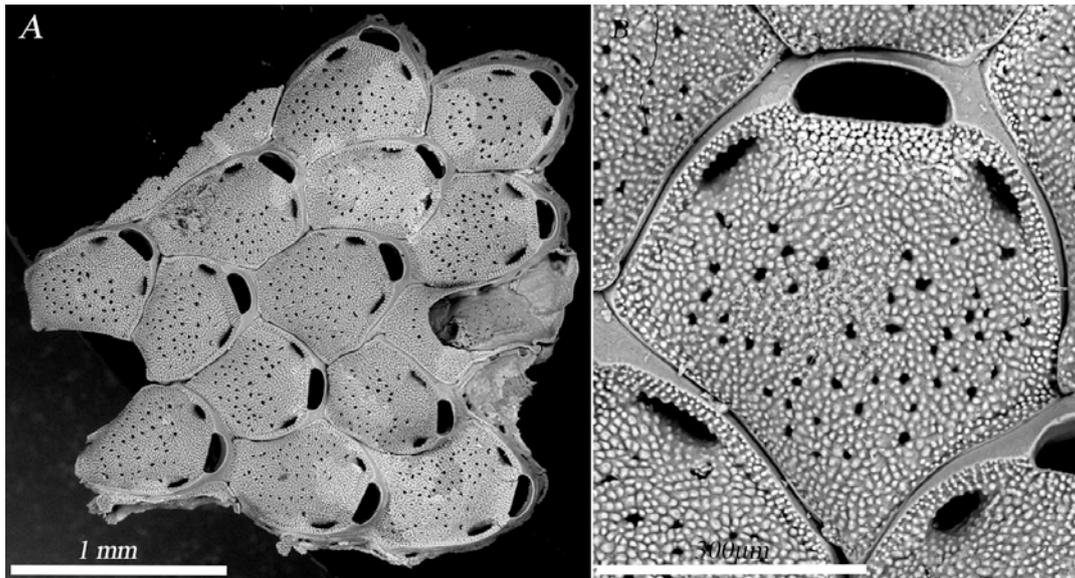


Figura 9. *Micropora c.f. brevissima*. A) Immagine della colonia (Ingrandimento: 60x). B) Dettaglio di uno zooide (Ingrandimento: 250x).

I briozoi antartici sono caratterizzati da scheletri monomineralici composti interamente da calcite (CaCO_3) [8] e, per quanto riguarda specie più superficiali, è stato identificato un contenuto di magnesio generalmente compreso tra IMC (intermedio MgCO_3) (4-10 mol% MgCO_3) e il LMC (basso MgCO_3) (<4 mol% MgCO_3) [51, 52].

I Poli, Artico e Antartico, sono tra gli ambienti che stanno sperimentando, più rapidamente rispetto ad altre regioni del pianeta, il cambiamento climatico globale, inclusi il riscaldamento e l'acidificazione degli oceani [5]. In queste condizioni ambientali, le specie che vivono negli strati più superficiali sono soggetti a variazioni di parametri ambientali e dunque più vulnerabili. Per quel che concerne dunque i briozoi che vivono in acque più superficiali, si è visto essere caratterizzati da scheletri calcitici con IMC [51, 52]. Tra i generi e le specie a portamento eretto, *Cellarinella* ha un contenuto di MgCO_3 intermedio e, a seconda delle specie, la sua distribuzione può essere superficiale o profonda (oltre i 200 m). Su alcune specie sono state anche individuate delle variazioni di concentrazioni di Mg a seconda della porzione di colonia [53], verosimilmente in relazione allo sviluppo dello zooide (giovanile o adulto), il che le rende degli ottimi organismi modello per studi di tipo climatico.

Attualmente, almeno il 25% delle specie di briozoi presenti in OM sono responsabili della formazione di biocostruzioni, cioè architetture sommerse di piccole medie dimensioni, che possono ricoprire diverse aree del fondale. La varietà strutturale degli *habitus* crescita di questi biocostruttori è estremamente diversa e comprende forme erette rigide (es. *Cellaria*, *Cellarinella*, *Fasciculipora*, *Hornera*) (Tab.1), forme foliacee (es. *Arachnopusia*, *Isoschizoporella*), fenestrate/articolate (es. *Reteporella*) (Fig. 6) fungiformi (es. *Neofungella*) (Fig. 10) e flustriformi (es. *Isosecuriflustra*,

Austroflustra, *Nematoflustra*) (Tab.1) [54].

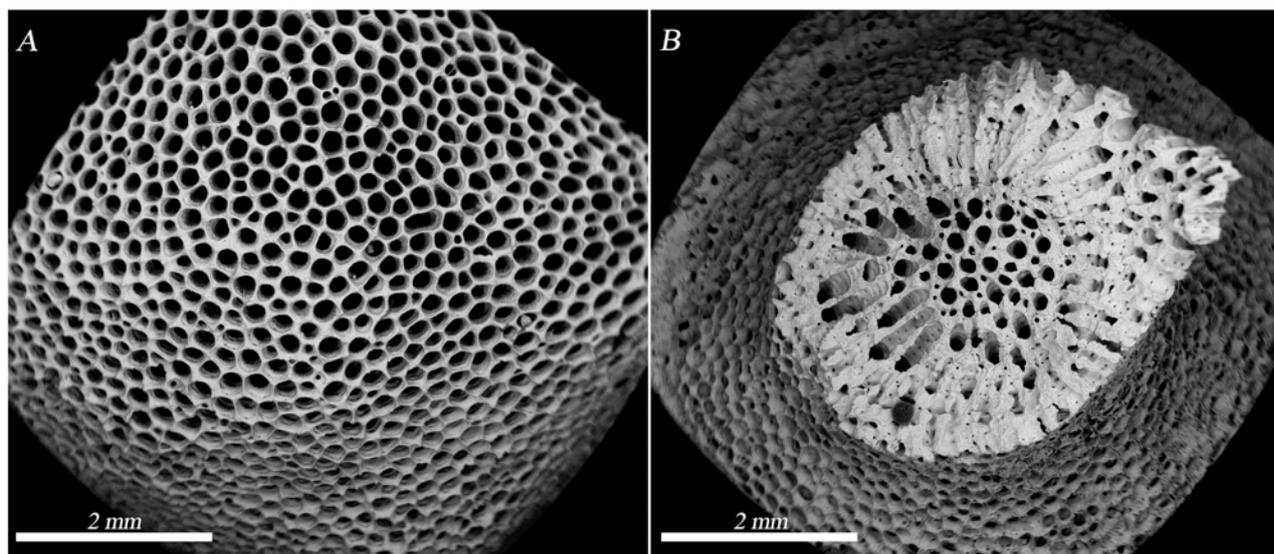


Figura 10. Colonia di *Neofungella claviformis*. A) Parte distale B) Parte prossimale (Ingrandimenti: 30x).

Queste biocostruzioni svolgono un ruolo molto importante nel mantenimento e promozione della biodiversità [17], creando nicchie e spazi che possono essere occupati di diversi organismi del benthos, vagile e sessile, che caratterizzano i fondali di questi ambienti estremi. Oltre alle specie erette, anche le specie incrostanti (Es. *Smittina*, *Osthimosia*) creano dei nano-habitats e sono in grado di ‘legare’ e/o espandere biocostruzioni erette. Forma (lobata, cilindrica, spirale, conica) e rigidità sono elementi importanti per incrementare potenzialmente il numero di specie che utilizzano i briozoi come habitat.

3.4 I briozoi dell’affioramento di Cape Russell

Per quanto concerne i campioni provenienti dall’affioramento di Cape Russell (CR XXIX-T3) (Fig. 4) [41], a cui è stata attribuita una datazione di 1800 anni (datazione U/Th effettuata su corallo proveniente dal medesimo affioramento) (Montagna com. pers.), sono stati rinvenuti alcuni frammenti di colonie di briozoi, presumibilmente cresciuti ad una profondità compresa tra 20 e 40 m.

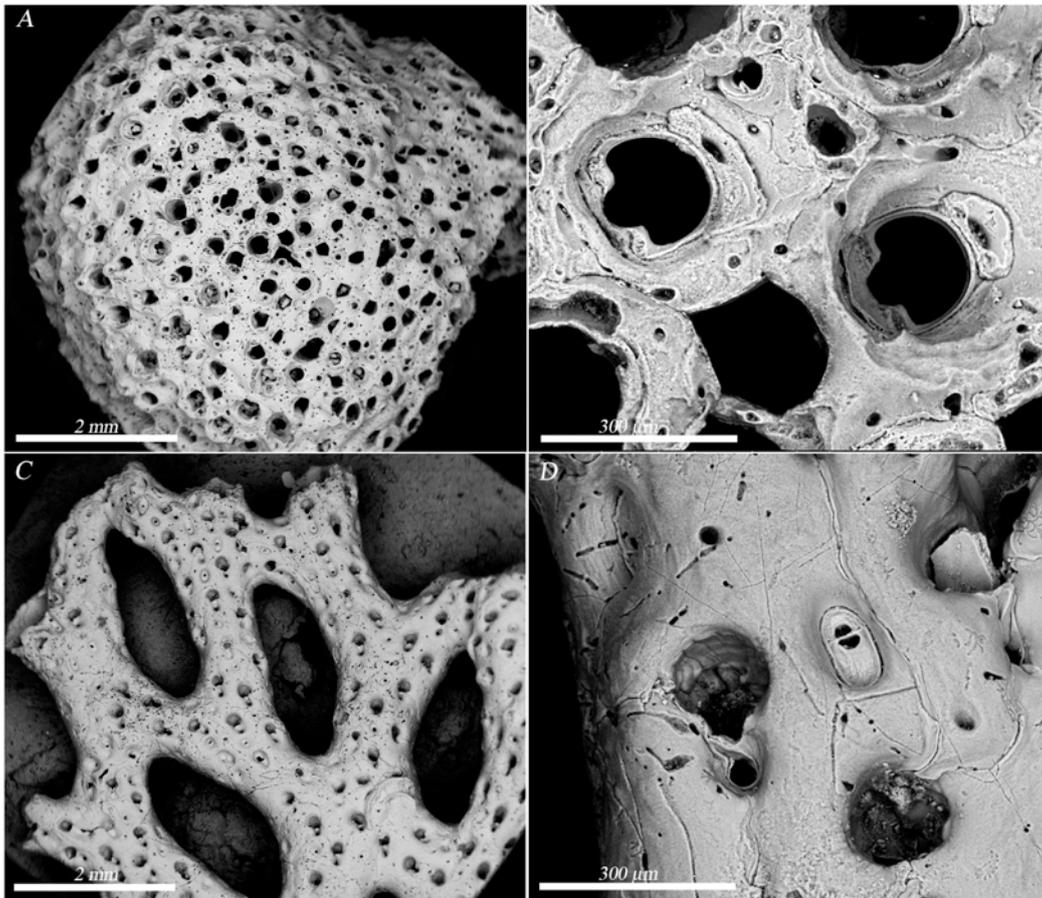


Figura 11. Briozoi fossili. A) Colonia di *Osthimosia malingae* (Ingrandimento: 30x); B) Dettaglio orificio primario *O. malingae* (Ingrandimento: 250x); C) Colonia di *Reteporella* sp. (Ingrandimento: 30x); D) Dettaglio orificio primario e avicularium di *Reteporella* sp. (Ingrandimento: 250x).

Delle colonie analizzate, cinque appartengono al genere *Osthimosia*, ma è stato possibile determinare con una certa precisione solo una specie (*Osthimosia malingae*) in quanto l'unica in cui si sono preservati i caratteri morfologici distintivi (forma orificio primario, avicularium) (Fig. 11). Dallo stesso affioramento provengono poi un campione di *Neofungella claviformis* (CR T3 XXIX-037) e un solo campione di *Reteporella* (CR T3 XXIX-037), che però non è stato possibile determinare a livello di specie data l'assenza/danneggiamento di caratteri morfologici distintivi (Fig. 11).

4. DISCUSSIONE

La Baia di Terranova, collocata nel margine ovest del Mare di Ross - centro di produttività dell'OM e serbatoio per l'accumulo di CO₂ atmosferica [32] - è caratterizzata da fattori orografici e climatici peculiari [36], ed è caratterizzata da importanti fenomeni di bloom fitoplanctonico, con effetti sulle comunità planctoniche e bentoniche, di cui la fauna a briozoi è parte integrante [37, 19, 20, 43, 44].

Rispetto alle prime tre campagne italiane (1987-1995) [18], le recenti spedizioni PNRA condotte nell'area della Baia di Terranova hanno permesso di approfondire gli studi sulla fauna a briozoi e di compilare, attraverso questo RT, una lista aggiornata che include 133 tra generi e specie, di cui 34 nuove segnalazioni. Dati i recenti aggiornamenti di classificazione tassonomica [21], è stato necessario rivedere alcuni generi descritti dalla letteratura (*Clitheriellum*, *Defrancia*, *Flustra*, *Lichenopora*, *Porella*, *Sertella*) e rinominarli, e questo ha portato a delle sovrapposizioni di records tra le due liste tassonomiche, quella derivata dalle prime tre campagne italiane e quelle recenti MNA-CNR. L'ordine di più difficile determinazione è stato quello dei Ciclostomi. Si è cercato di arrivare alla determinazione delle specie e, se confrontato con quanto indicato nei lavori precedenti [19, 20, 43, 44, 45, 46], il numero di Ciclostomi (16) riportato nel presente RT è abbastanza cospicuo. Tuttavia, diversi campioni richiederebbero uno studio più approfondito dato che spesso l'ausilio dei testi tassonomici di riferimento [42] o della sola letteratura [48, 49] non sono risultati sufficienti.

Per quanto concerne la distribuzione delle specie di briozoi della Baia di Terranova, la maggior parte dei generi/specie trovati, sia Cheilostomi che Ciclostomi, hanno una distribuzione superficiale, sopra i 200 m di profondità. Dall'analisi della lista si evince che il metodo di campionamento risulta assolutamente determinante per avere un campione rappresentativo della fauna briozoi. La raccolta o grattaggio, con fine esplorativo, hanno portato alla collezione di tipologie di substrati (rocce, conchiglie, *A. colbecki*, o altri organismi) su cui, casualmente, sono state trovate colonie di briozoi. La componente di briozoi incrostanti, che normalmente colonizza ciottoli, altri organismi (vivi o morti) è altissima in Antartide [3, 28, 50] e, se fosse stata condotta una raccolta mirata, il numero di records di briozoi della Baia di Terranova sarebbe senz'altro maggiore. Stessa cosa vale per il campionamento di specie erette, fortemente e debolmente calcificate e non calcificate, condotto tramite immersione, se realizzato in modo mirato, avrebbe probabilmente portato alla raccolta di un numero maggiore di specie, oltre le specie più comuni che sono inserite nel presente RT (es. *Camptoplites*, *Cellarinella*, *Fasciculipora*, *Klugeflustra*, *Larvapura*). Dragaggi e bennate, che consentono di realizzare campionamenti ed indagini esplorative, dovrebbero però fare seguito alla realizzazione di campionamenti che utilizzino metodi idonei per ottenere una rappresentatività

significativa della fauna a briozoi al fine di poter ampliare la lista specie che senz'altro caratterizza la ricca baia di Terranova.

Analogamente a quanto si verifica nel Mare di Ross, centro di alta produttività di tutto l'OM, la Baia di Terranova è caratterizzata da un forte ciclo stagionale nella chimica dei carbonati, a seguito alla produttività estiva (fitoplancton bloom) e all'eterotrofia invernale [11], che porta ad un incremento di pH estivo fino a 0.6 unità nel Mare di Ross [12], con conseguenze ovviamente sulle comunità di organismi calcificanti, tra cui i briozoi. Questo ambiente peculiare dal punto di vista chimico-fisico, potrebbe spiegare la diffusione di specie interamente calcitiche [51, 52] e dunque la scarsa variabilità mineralogica che invece caratterizza normalmente il Phylum ad altre latitudini [55]. Da un confronto con studi mineralogici condotti su altre specie Antartiche, anche i generi e le specie rinvenute nella Baia di Terranova potrebbero rispecchiare i trend generali mostrando un contenuto di $MgCO_3$ compreso tra IMC-LMC, generalmente $> 4mol\%$ [51, 52, 53]. La presenza di un altro numero di atomi di Mg all'interno dello scheletro rende la specie più vulnerabile a riscaldamento e acidificazione (maggiore solubilità dello scheletro). Ulteriori e mirati studi sono comunque necessari per valutare la componente mineralogica e la struttura geochemica delle specie nella Baia di Terranova e per determinare il loro potenziale come proxy in studi climatici.

L'alta produttività estiva e l'eterotrofia invernale sono inoltre i principali responsabili della crescita lenta ma anche della longevità di briozoi antartici [14]. Nella Baia di Terranova sono state trovate alcune specie (*Cellarinella nutti*, *Swanomia membranacea*) che, oltre alla crescita lenta, sono anche in grado di formare 'bande di crescita' (growth check-lines) che indicano le fasi di transizione tra una crescita e una cessazione [23]. Queste specie rappresentano degli ottimi potenziali bioindicatori e specie chiave per studi sperimentali, poiché le bande di crescita, che permettono di quantificare l'età e la crescita, possono essere relazionate alla variazione delle condizioni ambientali (es. abbondanza di cibo, variazioni $t^{\circ}C$, pCO_2) [15]. Oltre a queste indicazioni morfologiche, sarebbe poi interessante, attraverso l'utilizzo di proxy geochemici, ricostruire le condizioni ambientali dall'analisi degli elementi di porzioni specifiche dello scheletro, a seconda della specie oggetto di studio.

La Baia di Terranova, dunque, rappresenta un interessante *hot-spot* per la fauna a briozoi antartici, di particolare interesse in studi adattativi grazie alla loro capacità di rispondere al cambiamento ambientale attraverso modifiche morfologiche e/o fisiologiche (plasticità) [16] e di costruire architetture sommerse (biocostruzioni), macro (*Cellarinella*, *Cellaria*) e nano-habitats (*Osthimosia*), con un'enorme varietà di forme, estremamente importanti nella promozione della biodiversità [17].

Data la ricchezza di produttività primaria che caratterizza il Mare di Ross, e dunque la Baia di

Terranova, e l'abbondanza di specie calcificanti di briozoi, si evince come questi, in qualità di filtratori, siano anche in grado di accumulare 'Blue Carbon'. La presenza di colonie di briozoi negli affioramenti di Cape Russell, probabilmente risalenti al periodo pre-industriale (1800 anni fa), oltre che presenti nei depositi olocenici [41], conferma la capacità di questi organismi di intrappolare carbonio all'interno del loro scheletro per migliaia di anni. Sarebbe interessante studiare la potenzialità di questi organismi come accumulatori 'Blue Carbon', attraverso studi sperimentali in situ, in acquario e attuando monitoraggi non distruttivi a lungo termine dei siti ad alta densità di briozoi nella Baia di Terranova.

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Centro per gli Studi Polari dell'Istituto di Oceanologia della Polish Academy of Science di Sopot (Polonia) (IOPAS) per il supporto economico alla ricerca (Visiting Professor position to Chiara Lombardi).

Si ringraziano il Dr Paul D Taylor, Dr Andrey Ostrovsky, Dr Hans De Blawe, e Peter Batson per l'aiuto fornito nella determinazione tassonomica di alcune specie.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] **Fontaneto D., Schiapparelli S.** (2015) Biology of the Ross Sea and surrounding areas in Antarctica. Springer, pp 761.
- [2] **Sarmiento J., Huges T.C., Stouffler R.J., Manabe S.** (1998) Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming. *Lett Nature*, 393, 245-249.
- [3] **Barnes D.K.A., Kuklinski P., Jackson J.A., Keel G.W., Morley S.A., Winston J.E.** (2011) Scott's collection help revealing accelerating marine life growth in Antarctica. *Curr Biol*, 21, 147-148.
- [4] **Doney S.C., Fabry V.J., Feeley R.A., Kleypas J.A.** (2009) Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Mar Scie*, 1, 169-192.
- [5] **Orr C. et 27 authors** (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437, 681-686.
- [6] **Kroeker K.J., Micheli F., Gambi M.C.** (2013) Ocean acidification causes ecosystem shifts via altered competitive interactions. *Nat Clim Chan* 3, 156-159.
- [7] **McClintock J.B., Angus R.A., Mcdonald M.R., Amsler C.D., Catledge S.A., Vhora Y.K.** (2009) Rapid dissolution of shells of weakly calcified Antarctic benthic macroorganisms indicates high vulnerability to ocean acidification. *Ant Scie*, 21, 449-456.
- [8] **Loxton J., Kuklinski P., Barnes D.K.A., Najorka J., Spencer Jones M., Porter J.S.** (2014) Variability of Mg-calcite in Antarctic bryozoan skeletons across spatial scales. *Mar Ecol Progr Ser*, 507, 169-180.
- [9] **Kapsenberg L., Kelley A-L., Shaw E.C., Marts T.R., Hofmann G. E.** (2015) Near-shore Antarctic pH variability has implications for the design of ocean acidification experiments. *Scie Rep*, 5:9638, doi: 10.1038/srep09638
- [10] **Roden N. P., Shadwick E. H., Tilbrook B., Trull T. W.** (2013) Annual cycle of carbonate chemistry and decadal change in coastal Prydz Bay, East Antarctica. *Mar Chem*, 155, 135–147.
- [11] **Takahashi T. et al.** (2002) Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Res II*, 49, 1601–1622.
- [12] **McNeil B. I., Tagliabue A., Sweeney C.** (2010) A multi-decadal delay in the onset of corrosive 'acidified' waters in the Ross Sea of Antarctica due to strong air-sea CO₂ disequilibrium. *Geophys Res Lett*, 37, L19607, doi:10.1029/2010gl044597.
- [13] **Moline M.A., Claustre H., Frazer T., Scholfield O., Vernet M.** (2004) Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. *Glob Chan Biol*, 10, 1973-1980.

- [14] **Barnes D.K., Ireland L., Hogg O.T., Morely S., Enderlein P., Sands C.J.** (2016) Why is the Southern Orkney Island shelf (the world's first high seas marine protected area) a carbon immobilization hotspot? *Glob Chan Biol*, 22, 1110-1120.
- [15] **Barnes D.K.** (2015) Antarctic sea ice losses drive gains in benthic carbon drawdown. *Curr Biol*, 25, 777-776.
- [16] **Lombardi C., Cocito S., Gambi M.C., Taylor P.D.** (2015) Morphological plasticity in a calcifying modular organism: evidence from an *in situ* transplant experiment in a natural CO₂ vent system. *R Soc open Scie* 2,140413, dx.doi.org/10.1098/rsos.140413.
- [17] **Cocito S.** (2004) Bioconstruction and biodiversity: their mutual influence. *Scie Mar*, 68, 137-144.
- [18] **Faranda F.M., Guglielmo L., Ianora A.** (2000) *Ross Sea Ecology*. Springer, pp. 604.
- [19] **Di Geronimo I., Rosso A.** (1990) First Italian Oceanographic expedition in the Ross Sea, Antarctica. Benthos: a preliminary report. In: National Scientific Commission for Antarctica (Ed). *Oceanographic Campaign 1987-88, Data Rep Part I*, 407-421.
- [20] **Rosso A., San Filippo R.** (2000) Shallow-water bryozoans and serpuloids from the Ross Sea (Terra Nova Bay, Antarctica). In: Faranda F.M., Guglielmo L., Ianora A. (Eds). *Ross Sea Ecology*. Springer, chapter 37, 515-525.
- [21] **Bock P.E., Gordon D. P.** (2013) Phylum Bryozoa Ehrenberg, 1831. *Zootaxa*, 3703, 067-074.
- [22] **Hageman S.J., Bock P.E., Bone Y., McGowran B.** (1998) Bryozoan growth habits: classification and analyses. *J Palaont*, 418-436.
- [23] **Winston J.E.** (1983) Patterns of growth, reproduction and mortality in bryozoans from the Ross Sea, Antarctica. *Bull Mar Scie*, 33, 688-702.
- [24] **McKinney F.K., Jackson J.B.C.** (1989) *Bryozoan Evolution*. The University of Chicago Press, pp. 243.
- [25] **Hayward P.J., Ryland J.S.** (1998) Synopses of the British fauna (new series): cheilostomatous Bryozoa Part II: Hippothoidea-Celleporoidea. In: Barnes R.S.K., Crothers J.H. (Eds) *Synopses of the British fauna*. The Linnean Society of London, Field Studies Council, Shrewsbury, UK, 416 pp.
- [26] **Taylor P.D.** (2005) Bryozoans. In: Selley R.C., Cocks L.R.M., Plimer I.R (Eds) *Encyclopedia of Geology*, Vol 2, Elsevier, Amsterdam, 310-320.
- [27] **Waeschenbach A., Taylor P.D., Littlewood D.T.J** (2012) A molecular phylogeny of bryozoans. *Mol Phyl Evol* 62, 718-735.
- [28] **Hayward P.J.** (1995) *Antarctic Chilostomatus Bryozoa*. Oxford University Press Inc, New York, pp. 355.

- [29] **Taylor P.D., Ernst A.** (2008) Bryozoans in transition: the depauperate and patchy Jurassic biota. *Palaogeogr Palaeoclim Palaeoecol*, 263, 9-23.
- [30] **Taylor P.D.** (1994). An early cheilostome bryozoan from the Upper Jurassic of Yemen. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. Abhandlungen* 191, 331–344.
- [31] **Gardner W. D., Richardson M. J., Smith W. O.** (2000) Seasonal patterns of water column particulate organic carbon and fluxes in the Ross Sea, Antarctica. *Deep Sea Res*, 47, 3423–3449.
- [32] **Yager P.L., Wallace D.W.R., Johnson K.M., Smith Jr W.O., Minnett P.J., Deming J.W.** (1995) The northeast water polynya as an atmospheric CO₂ sink: a seasonal rectification hypothesis. *J Geoph Res*, 100, 4389-4398.
- [33] **Cochran J.K., Buesseler K.O., Bacon M.P., Wang H.W., Hirschberg D.J., Ball L., Crossini G., Fler A.** (2000) Short-lived thorium isotopes (²³⁴Th, ²²⁸Th) as indicators of POC export and particule cycling in the Ross Sea, Southern Ocean. *Deep Sea Res*, 47, 3451-3490.
- [34] **Nelson D.M., DeMaster D.jr, Dunbar R.B., Smith W.O.** (1996) Cycling of organic carbon and biogenic silica in the Southern Ocean: large-scale estimates of water-column sedimentary fluxes in the Ross Sea. *J Geophys Res*, 101, 18519-18532.
- [35] **Frigani M., Langone L., Labbrozzi L., Ravaioli M.** (2000) Biogeochemical processes in the Ross Sea (Antarctica). In: Faranda F.M., Guglielmo L., Ianora A. (Eds) *Ross Sea Ecology*. Springer, chapter 4, 39-50.
- [36] **Trevisiol A., Bergamasco A., Montagna P., Sprovieri M., Taviani M.** (2013) Antarctic seawater temperature evaluation based on stable isotope measurements on *Adamussium colbecki* shells: kinetic effects vs. isotopic equilibrium. *J Mar Scie*, 126, 43-55.
- [37] **Guglielmo L., Carrada G.C., Catalano G., Dell'Anno A., Fabiano M., Lazzara L., Mangoni O., Pusceddu A., Saggiomo V.** (2000) Structural and functional properties of sympagic communities in the annual sea ice at Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Pol Biol*, 23, 137-146.
- [38] **Fonda Umani S., Monti M., Bergamansco A., Cambrini M., De Vittor C., Burba N., Del Negro P.** (2005) Plankton community structure and dynamics versus physical structure from Terra Nova Bay to Ross Ice Shelf (Antarctica). *J Mar Syst*, 55, 31-46.
- [39] **Schiapparelli S., Linse K.** (2006) A reassessment of the distribution of the common Antarctic scallop *Adamussum colbecki* (Smith, 1902). *Deep Sea Res*, 53, 912-920.
- [40] **Chiantore M., Cattaneo-Vietti R., Povero P., Albertelli P.** (2000) The Population Structure and Ecology of the Antarctic Scallop *Adamussium colbecki* in Terra Nova Bay. In: Faranda F.M., Guglielmo L., Ianora A. (Eds) *Ross Sea Ecology*. Springer, chapter 41, 563-573.
- [41] **Baroni C., Hall B.L.** (2004) A new Holocene relative sea-level curve for Terra Nova Bay, Victoria Land, Antarctica. *J Quat Scie*, 19, 377-396.

- [42] **Borg F.** (1944) The Stenolaematous Bryozoa. In: Nordenskjold O. and Bock S. (Eds.) Further zoological results of the swedish Antarctic expedition 1901-1903. Norstedt P.A. & soner, Stockholm, pp.276, Pl. XVI.
- [43] **Rosso A.** (1990) Bryozoan community of IB3 Station (Ross Sea, Antarctica). Nat Sc. Com. Ant. Ocean. Camp. 1987-88. Data Rep. I, 423-438.
- [44] **Rosso A.** (1991) Infralittoral Bryozoa associated to macrolagae from the first Italian Antarctic expedition (Terra Nova Bay, Ross Sea). Bol. Soc. Biol. Concepcion Chile, 62, 179-186.
- [45] **Rosso A.** (1992) Bryozoa from Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). In: Gallardo V.A., Ferretti O., Moyano H.I (Eds.) Oceanografia in Antartide. Centro Eula, U. de Concepcion, Chile, 359-369.
- [46] **Rosso A.** (1994) Bryozoa of the first Italian Antarctic ocenographic expedition (Terra Nova Bay, Ross Sea). I. Flustridae Smitt, 1867. J Nat Hist, 28, 695-713.
- [47] **Hayward P.J., Thorpe J.P.** (1987) The systematic position of *Smittina inclusa* Wtares, and endemic Antarctic bryozoan. J Nat Hist, 21, 1469-1476.
- [48] **Ostrovsky A.N., Taylor P.D.** (1996) Systematics of some Antarctic Idmidronea and Exmidonea (Bryozoa: Cyclostomata). J Nat Hist, 30, 1549-1575.
- [49] **Gordon D.P., Taylor P.D.** (2001) New Zealand recent Densiporidae and Lichenoporidae (Bryozoa: Cyclostomata). Sp Div, 6, 243-290.
- [50] **Kuklinski P.** (2016) Atlas of Antarctic Bryozoa. <http://www.iopan.gda.pl/ekologia/Antarctica/index.php>
- [51] **Kuklinski P., Taylor P.D.** (2009) Minerology of Arctic bryozoan skeletons in a global context. Facies, 55, 489-500.
- [52] **Krzeminska M., Kuklinski P., Najorka J., Iglukowska A.** (2016) Skeletal Mineralogy Patterns of Antarctic Bryozoa. J Geol, 124, 411-422.
- [53] **Loxton J., Kuklinski P., Mair J.M., Spencer Jones M., Porter J.S.** (2013) Patterns of magnesium calcite distribution in the skeleton of some polar bryozoan species. In: Ernst A., Schafer P., Scholz J. (Eds) Bryozoan Studies 2010, Springer, 12, 169-185.
- [54] **Hageman S., Bock P.E., Bone Y., McGowran B.** (1998) Bryozoan growth habits: classification and analysis. J Paleo 72, 418-436.
- [55] **Smith A.M., Key M.M., Gordon D.P.** (2006) Skeletal mineralogy of bryozoans: taxonomic and temporal patterns. Earth Sci Rev 78:287–306.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
novembre 2016