

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E  
NATURALI

Corso di laurea magistrale in BIOLOGIA MARINA

**Reclutamento di invertebrati bentonici in una grotta  
sottomarina del Mar Mediterraneo**

Relatore:

Prof. Marco Abbiati

Presentata da:

Nicolò Dondi

Correlatori:

Dott. Massimo Ponti

Prof. Carlo Cerrano

Dott.ssa Federica Costantini

(III sessione)

Anno accademico 2011/2012



*“...Il mare è senza strade, il mare è senza spiegazioni.  
Se lo guardi non te ne accorgi: di quanto rumore faccia.  
Ma nel buio...Tutto quell’infinito diventa solo fragore,  
muro di suono, urlo assillante e cieco.  
Non lo spegni, il Mare, quando brucia nella notte...”*

*- A. Baricco -*



# Abstract

Submarine caves present a wide range in geomorphological structures, topographies, depths, orientations, light penetrations and hydrodynamic conditions affecting the benthic assemblages. The composition of the assemblages strongly depends not only on the reproductive strategies of species living inside the cave, but also on the external larvae supply. In the present study, recruitment of benthic assemblages inside a Mediterranean submarine cave was investigated. The aim of the study was to analyse the recruitment patterns of sessile benthic invertebrates on the vertical walls and on the ceiling of the Colombara submarine cave, located in the marine protected area of Portofino (Genoa). Eight 20x20 cm recruitment panels in Forex® PVC were placed on the ceiling of the cave, while other six panels were placed on the vertical walls. All the panels were recovered a twenty months later. On each panels species abundances were estimated in terms of percent cover using a grid of 400 cells, 1 cm<sup>2</sup> each. Variability in the structures of the assemblages, abundance of species and diversity indices between the walls and the ceiling were analysed by permutational analysis of variance (PERMANOVA) using the software PRIMER 6. The results showed clear differentiation between the assemblages recruiting on the ceiling and on the walls. Most of the analysed species were more abundant on the ceiling of the cave. Species distribution within submarine caves seems to be affected not only by the sharp environmental gradients (e.g. light, hydrodynamic and trophic conditions) but also by a wide range of biological and ecological interactions occurring during the settlement and recruitment processes. The observed spatial distributions of the species assemblages may largely depend on larval behaviour: larvae of most species could actively select the ceiling rather than the walls of the cave to settle.



# Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione .....</b>	<b>9</b>
1.1	Grotte sottomarine.....	9
1.2	Biologia ed ecologia delle grotte sottomarine.....	10
1.2.1	Flora e fauna delle grotte sottomarine italiane.....	10
1.2.2	Popolamenti delle grotte sottomarine .....	15
1.2.3	Fattori ambientali delle grotte sottomarine .....	16
1.2.4	Fattori biotici delle grotte sottomarine.....	16
1.3	Scopo del lavoro.....	18
<b>2</b>	<b>Materiali e metodi.....</b>	<b>19</b>
2.1	Area di studio .....	19
2.2	Disegno di campionamento.....	20
2.3	Campionamento .....	23
2.4	Analisi di laboratorio.....	23
2.5	Analisi dei dati .....	24
2.5.1	Analisi sulla struttura dei popolamenti .....	24
2.5.2	Analisi sull'abbondanza del singolo taxon .....	25
2.5.3	Analisi sulla diversità specifica .....	25
<b>3</b>	<b>Risultati.....</b>	<b>27</b>
3.1	Risultati sulla struttura dei popolamenti .....	27
3.2	Risultati sull'abbondanza dei singoli taxa.....	29
3.3	Risultati sulla diversità specifica.....	45
<b>4</b>	<b>Discussione e conclusione .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>Appendice .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>77</b>



# 1 Introduzione

## 1.1 Grotte sottomarine

Con il termine grotta marina si intende una cavità naturale, di dimensioni tali da permetterne l'esplorazione diretta da parte dell'uomo, che si apra attualmente, o si sia aperta in passato, a livello del mare o al di sotto di esso (Antonioli e Forti, 2003).

La definizione di grotta sottomarina non implica alcuna caratterizzazione particolare e soprattutto non vuol dire che sia stata l'azione del mare o solo essa a formare la grotta. Sott'acqua si possono infatti trovare cavità di diversa origine che hanno subito vicissitudini complesse (Alvisi *et al.*, 1994).

Una classificazione generale utilizzata per schematizzare i diversi processi genetici è quella che permette di dividere le grotte in due gruppi distinti:

- cavità primarie: si sono formate insieme alla roccia che le ospita;
- cavità secondarie: si sono formate successivamente alla roccia madre per fenomeni di degradazione (Colantoni, 1976).

L'esplorazione delle grotte sottomarine è molto più recente di quella delle grotte terrestri ed avviene quasi sempre con intenti scientifici. Le difficoltà di ritrovamento ed accesso, la mancanza di esperti adatti alle difficoltà da superare nell'esplorazione, hanno rallentato lo studio di queste grotte. Comprendere i meccanismi della loro formazione e della vita che si sviluppa in un ambiente così difficile e ostico per l'uomo ha sempre affascinato i ricercatori, soprattutto nel Mediterraneo, ed in particolare in Italia.

Le grotte sottomarine sono conosciute per la loro ricca diversità biologica e in diversi casi sono parti integranti di aree *hotspot* (Hiscock e Breckels, 2007).

Le grotte sottomarine sono habitat molto particolari e presentano situazioni molto diverse da quelle riscontrabili nell'ambiente esterno. La variabilità nella struttura geomorfologica, la topografia, la profondità, l'orientamento e l'idrodinamismo rappresentano una vasta gamma di situazioni che evidenziano l'importanza della loro salvaguardia.

Tale habitat è del tutto peculiare e il popolamento biologico a esso associato presenta caratteristiche del tutto uniche.

La conoscenza dei popolamenti vegetali ed animali presenti nelle grotte sommerse è stata resa possibile dallo sviluppo dell'immersione autonoma, che ne ha permesso l'osservazione e lo studio. Drach (1948) fu uno dei primi a sottolineare l'interesse di tale studio. Sulle sue orme Pérès e Picard (1949) sintetizzarono le prime conoscenze biologiche sulle grotte marine in quattro punti:

- scomparsa delle alghe;
- dominanza dei poriferi;
- selezione della fauna;
- risalita di specie profonde.

Si può notare che con ben pochi ritocchi, questa sintesi preliminare rimane valida a distanza di cinquant'anni (Bianchi, 1994; Bianchi *et al.*, 1996; Bianchi e Morri, 1999).

Una prima conoscenza della flora e della fauna delle grotte sottomarine è stata resa possibile grazie ai risultati ottenuti dalla *Österreichischen Tyrrhenia Expedition* del 1952 riguardanti le grotte della penisola sorrentina nella quale furono indagati quasi tutti i principali gruppi di organismi marini. In seguito, grazie a tali risultati uniti ad altre ricerche e alla letteratura disponibile, è stata possibile la stesura della monumentale opera di Riedl (1966), *Biologie der Meereshöhlen*, in cui sono fissati i capisaldi di riferimento sul popolamento biologico delle grotte sottomarine del Mediterraneo. L'interesse suscitato da tali studi ha permesso lo sviluppo di una maggiore conoscenza sulla flora e la fauna delle grotte sottomarine sino ai giorni nostri.

## **1.2 Biologia ed ecologia delle grotte sottomarine**

### **1.2.1 Flora e fauna delle grotte sottomarine italiane**

I popolamenti delle grotte sottomarine sono condizionati innanzitutto dall'estinzione della luce che, compromettendo la presenza di vegetali fotoautotrofi, limita questi ambienti principalmente alla sola produzione secondaria.

Le ipotesi sulla colonizzazione delle grotte sottomarine sono essenzialmente due:

- penetrazione di specie generaliste, largamente diffuse lungo i litorali rocciosi, che a seguito di processi di selezione ecologica possono subito andare incontro a speciazione;
- penetrazione di specie preadattate, in quanto viventi in microambienti cavitari (specie criptobiotiche) o in profondità (specie batifile), cioè in situazioni simili a quelle di grotta (Bianchi e Morri, 1999).

A causa della natura stessa del mezzo acquoso, le grotte sottomarine non sono completamente isolate dall'ambiente esterno e inoltre la maggior parte delle grotte marine di nostra conoscenza sono ambienti di formazione geologica recente, quindi il popolamento presente è probabilmente caratterizzato dalla penetrazione di specie preadattate e non da eventi di speciazione.

Tale processo viene definito come un fenomeno di “troglobiosi secondaria”, indicando con il primo termine che tali specie sono estremamente caratteristiche di quell'ambiente, mentre con il secondo termine che la loro origine evolutiva non è avvenuta in grotta ma è da ricercare nell'ambiente esterno (Bianchi e Morri, 1999).

Non è da sottovalutare il ruolo delle “specie relitte”, cioè di forme arcaiche sostituite nel mondo esterno da specie evolutivamente più “moderne” che hanno avuto maggior successo evolutivo, ma che grazie al ruolo di rifugio che offre l'ecosistema grotta sono riuscite a sopravvivere per lungo tempo in tali ambienti (Harmelin *et al.*, 1985).

La presenza di organismi vegetali in grotta è limitata dalla penetrazione della luce nei pressi dell'ingresso (Pignatti *et al.*, 1967; Feoli e Bressan, 1972; Cinelli *et al.*, 1977; Mazzella *et al.*, 1979; Salghetti-Drioli *et al.*, 1985; Giaccone e Drago, 1989; Alvisi *et al.*, 1994). Le alghe fotofile, quindi amanti della luce, sono totalmente escluse anche dalle aree prossime all'ingresso. Sono presenti diverse specie sciafile, cioè in grado di vivere in condizione di scarsa luce. Tra queste ritroviamo soprattutto alghe rosse appartenenti alle famiglie delle peyssonneliacee e corallinacee, caratterizzate dall'essere più o meno calcificate e spesso con morfologia incrostante, e alcune alghe verdi come *Halimeda tuna* e *Palmophyllum crassum* (Alvisi *et al.*, 1994) (Fig. 1).

Non si ritrova invece nessuna specie di fanerogama, anche se *Posidonia oceanica* può essere molto abbondante davanti all'ingresso di numerose cavità (Bianchi e Morri, 1994).



Figura 1: A: *Palmophyllum crassum*; B: *Halimeda tuna*; C: *Peyssonnelia squamaria*.

Per quanto riguarda la fauna quasi tutti i *phyla* marini sono rappresentati in grotta. I taxa più abbondanti appartengono a protozoi, poriferi, cnidari, molluschi, anellidi, artropodi, briozoi, brachiopodi, echinodermi, tunicati e vertebrati (Figura 2). I protozoi sono rappresentati, oltre che da specie microscopiche, da una specie coloniale che raggiunge dimensioni tali da renderla ben visibile ad occhio nudo (il foraminifero *Miniacina miniacea*; Bianchi, 2003).

I poriferi sono probabilmente tra i gruppi più numerosi in grotta ed hanno un'elevata diversità specifica: la maggior parte delle specie massive (e.g. *Agelas oroides*, *Chondrosia reniformis*, *Oscarella lobularis*) si trova solo in prossimità dell'ingresso, altre prediligono l'entrata di grotte ampie situate ad una certa profondità (e.g. *Aplysina cavernicola*), altre possono trovarsi all'ingresso di piccole grotte a bassa profondità (e.g. alcune specie del genere *Clathrina*). Le spugne incrostanti prediligono zone interne delle grotte (e.g. *Aaptos aaptos*, *Erylus euastrum*, *Diplastrella bistellata*, *Spirastrella cunctatrix*) mentre le forme a portamento eretto sono più rare anche se in alcune grotte, soprattutto nei pressi dell'ingresso, si possono osservare alcune specie del genere *Axinella*. Una presenza pressochè costante nelle parti oscure di molte grotte sottomarine è *Petrobiona massiliana*, che costituisce un esempio celebre di "specie relitta" (Sarà, 1974; 1978), cioè di una forma arcaica sopravvissuta nelle ere geologiche grazie al ruolo di "rifugi" delle grotte sottomarine (Harmelin *et al.*, 1985).

Gli cnidari nelle grotte sottomarine italiane sono rappresentati da numerose specie appartenenti soprattutto agli idrozoi e antozoi. Tra gli antozoi possiamo ritrovare *Parazoanthus axinellae* e *Corallium rubrum* i quali si possono osservare presso l'ingresso delle grotte in particolare il primo sulle pareti e, il secondo sulla volta. Tuttavia gli antozoi più importanti nelle grotte sottomarine sono i madreporari o sclerattinie, con specie sia solitarie (e.g. *Caryophyllia inornata* e *Leptosammia pruvoti*), sia coloniali (e.g. *Hoplangia durotrix*, *Madracis pharensis* e *Polycyathus muelleriae*); *Astroides calycularis* può essere comune nelle grotte sottomarine del Mar Tirreno meridionale, ma solo presso l'entrata (Morri, 1982; Pessani, 1982; Bianchi *et al.*, 1988; Morri *et al.*, 1994; Pessani, 1994; Benedetti-Cecchi *et al.*, 1998).

I molluschi comprendono molte specie che sono state rinvenute nelle grotte sottomarine italiane, soprattutto gasteropodi (Segre, 1956; Starmulhner, 1968; Cantone *et al.*, 1979; Cattaneo, 1981, 1982; Idato *et al.*, 1983; Cattaneo-Vietti e Russo, 1987; Di Geronimo *et al.*, 1993; Palazzi e Villari, 2000). A parte alcuni epistobranchi, abbastanza vistosi, essi sono per lo più criptici e di piccole dimensioni. I microgasteropodi rappresentano la

malacofauna caratteristica di grotta. I bivalvi sono solitamente scarsi anche se il dattero di mare *Lithophaga lithophaga* è spesso abbondante nelle grotte di origine carsica che si aprono in rocce calcaree in quanto è noto per il suo ruolo di organismo perforatore. Mentre tra i cefalopodi ritroviamo occasionalmente *Octopus vulgaris* (Bianchi *et al.*, 1995).

Gli anellidi sono rappresentati nelle grotte sottomarine italiane da molti policheti erranti, nessuno dei quali però veramente caratteristico (Cantone *et al.*, 1979; Belloni e Bianchi, 1982), mentre tra i sedentari, in particolare tra i serpuloidei, si trovano sia specie caratteristiche di grotta (e.g. *Serpula cavernicola*, *Spiraserpula massiliensis*, *Filogranula annulata*) sia specie che se pur diffuse anche in altri ambienti, trovano nelle grotte un *habitat* di elezione, raggiungendovi densità elevate (Belloni e Bianchi, 1982; Fassari e Mollica, 1991; Di Geronimo *et al.*, 1993; Taddei Ruggiero *et al.*, 1996). Tra gli organismi più abbondanti delle grotte sottomarine ci sono proprio i serpuloidei che spesso sono gli unici tra la fauna sessile in grado di colonizzare anche i punti più interni delle cavità.

Gli artropodi nelle grotte sommerse italiane sono prevalentemente picnogonidi e crostacei. Questi ultimi sono molto ben rappresentati in grotta soprattutto da specie vagili ma anche sessili come i cirripedi: la forma cosiddetta “ipobionte” di *Chthamalus stellatus* è tipica delle grotte (Bianchi *et al.*, 1988). I crostacei di grotta più vistosi appartengono comunque ai decapodi ed alcune specie possono essere considerate tipiche di questo ambiente: si possono ricordare il gambero *Stenopus spinosus*, i gamberetti *Lysmata nilita* e *Plesionika narval*, la magnosella *Scyllarus arctus* ed i granchi *Dromia personata* e *Herbstia condyliata* (Bianchi, 2003).

I briozoi nelle grotte sottomarine italiane sono molto spesso tra gli organismi dominanti per abbondanza e per numero di specie (Balduzzi *et al.*, 1985, 1989; Di Geronimo *et al.*, 1993; Taddei Ruggiero *et al.*, 1996). Compaiono soprattutto con specie calcificate e con forme crostose o mammellonate come *Annectocyma indistincta*, *Celleporina globulosa*, *Crassimarginatella crassimarginata*, *Fenestulina malusii* e diverse altre; forme erette si possono ritrovare nei pressi dell’ingresso, come ad esempio il falso corallo *Myriapora truncata*; abbondanti possono risultare anche forme cespugliose come *Hornera frondiculata* (Bianchi, 2003).

I brachiopodi nelle grotte sottomarine italiane sono rappresentati da un ridotto numero di specie, tutte di piccole dimensioni ma talvolta molto abbondanti: *Argyrotheca cistellula* e *Megathiris detruncata* sono quelle che si spingono anche nelle parti più

interne (Antonioli *et al.*, 1992; Taddei Ruggiero, 1994, 1996; Taddei Ruggiero *et al.*, 1996; Palazzi e Villari, 2000).

Gli echinodermi sono raramente abbondanti nelle grotte e nessuna specie ne è in qualche modo tipica (Tortonese, 1978). I ricci di mare *Arbacia lixula* e *Paracentrotus lividus*, tipici delle scogliere ricoperte da ricchi popolamenti algali, si possono frequentemente ritrovare all'interno delle grotte poste a bassa profondità, dove si spingono a brucare il materiale vegetale rimasto intrappolato in fondo alle cavità dopo le mareggiate (Cinelli *et al.*, 1977).

Fra i tunicati, anche gli ascidiacei sono raramente abbondanti, ma possono comparire in grotte vaste e ben ricambiate con specie solitarie (e.g. *Microcosmus sabatieri*), sociali (e.g. *Clavelina lepadiformis*) e soprattutto coloniali, come *Didemnum maculosum* o *Polysyncraton lacazei*, che formano piccole chiazze rispettivamente bianche o arancioni (Bianchi, 2003). Nelle grotte italiane sono raramente abbondanti, e solitamente si rivengono non troppo lontano dall'ingresso (Bianchi e Morri, 1994).

I vertebrati sono rappresentati essenzialmente dai pesci. Si tratta di specie che solitamente si ritrovano nell'ambiente roccioso all'esterno delle cavità: tra le più caratteristiche possiamo citare il pesce cardinale *Apogon imberbis*, la corvina *Sciaena umbra*, la musdea *Phycis phycis*. Due specie strettamente infeudate alle grotte marine sono il ghiozzo leopardo *Thorogobius ephippiatus* e la brotula nera *Oligopus ater* (Bianchi, 2003). Inoltre possiamo ritrovare forme giovanili di alcune specie di litorale come la castagnola *Chromis chromis*; infatti è da ricordare che per tali specie le grotte sottomarine possono fungere da aree di rifugio dai predatori (Balduzzi *et al.*, 1980). Anfibi e rettili sono completamente assenti, mentre uccelli e mammiferi possono essere frequentatori occasionali.

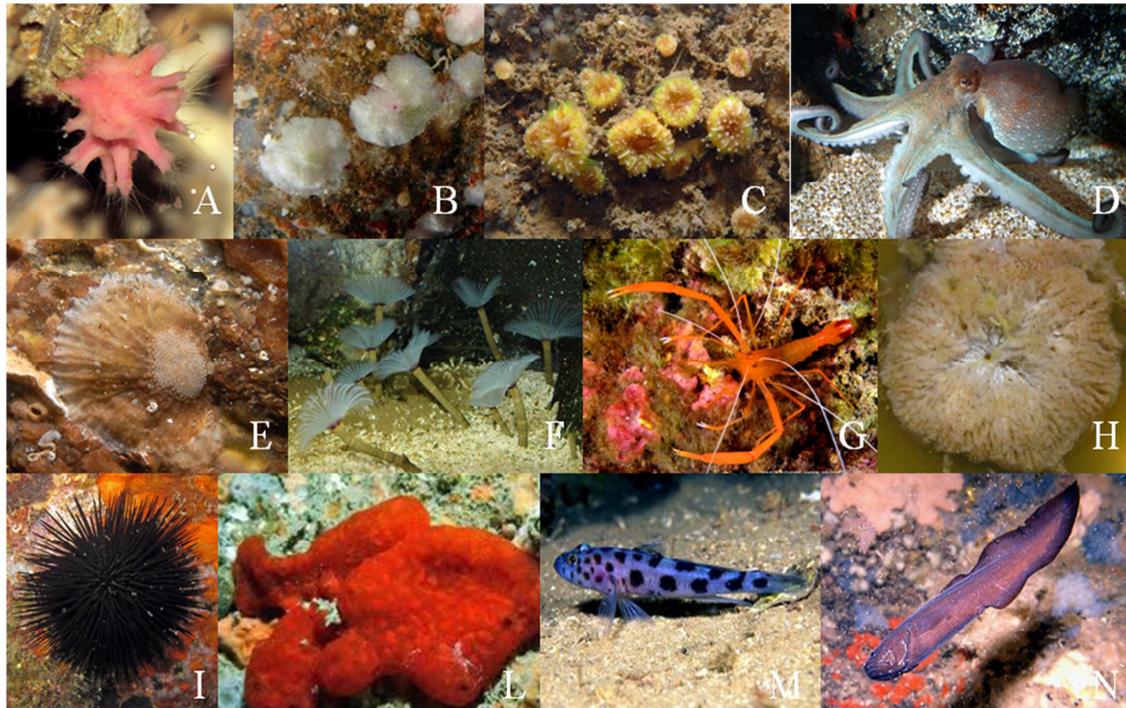


Figura 2: esempi di fauna presente in grotta: A: foraminifero *Miniacina miniacea*; B: porifero *Petrobiona massiliana*; C: madrepora *Caryophyllia inornata*; D: cefalopode *Octopus vulgaris*; E: bivalve *Pododesmus patelliformis*; F: polichete *Serpula cavernicola*; G: crostaceo *Stenopus spinosum*; H: briozoo; I: echinoderma *Arbacia lixula*; L: tunicato *Polysyncraton lacazei*; M: ghiozzo leopardo *Thorogobius ephippiatus*; N: brotula nera *Oligopus ater*.

### 1.2.2 Popolamenti delle grotte sottomarine

Negli organismi presenti nelle grotte sottomarine è possibile riscontrare alcune modificazioni con valore adattativo che rendono unici i popolamenti di tali ambienti: taglia, morfologia (e.g. forme massive si trasformano in forme incrostanti), colorazione (e.g. depigmentazione), comportamento (e.g. migrazioni) (Bianchi e Morri, 1999).

Caratteristica peculiare dei popolamenti che si ritrovano nelle grotte sottomarine è una marcata zonazione, infatti le specie che compongono tale ecosistema si distribuiscono prediligendo settori ben distinti. Riedl (1966) aveva definito, in base alla fisionomia del popolamento, sei zone faunistiche differenti: I) zona del fitale ombroso, dominata da alghe sciafile; II) zona dell'ingresso della grotta; III) zona del contingente anteriore; IV) zona del contingente centrale; V) zona del contingente posteriore; VI) quarto vuoto o zona vuota. Questa zonazione è tipica di grotte a fondo cieco indipendentemente dalla profondità a cui esse si trovano.

Solitamente, però, si riconoscono nelle grotte sottomarine due biocenosi-tipo, entrambe a composizione puramente animale: I) biocenosi delle grotte semioscure (GSO), dominata da poriferi e antozoi, caratterizzata da ricoprimento biologico elevato e si ritrova solitamente all'ingresso delle cavità, o sottotetti e strapiombi, che però non rappresentano topograficamente delle vere e proprie grotte; II) biocenosi delle grotte e dei cunicoli ad oscurità totale (GO), dominata da serpulidi, madreporari, poriferi e crostacei vagili, quantitativamente molto povera e caratterizza le porzioni interne delle grotte a fondo cieco (Bianchi e Morri, 1999).

### **1.2.3 Fattori ambientali delle grotte sottomarine**

I fattori ambientali che incidono sul popolamento delle grotte sottomarine sono principalmente la luce e l'idrodinamismo.

La luce, infatti, già dai primi metri dall'ingresso mostra un'evidente diminuzione e la sua estinzione repentina gioca un ruolo fondamentale nel condizionare il popolamento biologico ed è quindi responsabile della scomparsa della componente algale con conseguente sviluppo di comunità animali.

L'idrodinamismo subisce una progressiva diminuzione a partire dall'ingresso ed è discriminante anche per l'apporto trofico, la temperatura dell'acqua, la salinità e il tasso di sedimentazione (Bianchi *et al.*, 1996). La progressiva riduzione dell'idrodinamismo comporta un minor trasporto di materiale in sospensione (plancton e particolato) e una conseguente riduzione degli organismi sessili filtratori. Le condizioni interne dipendono anche dalle caratteristiche strutturali (morfologia o conformazione) e dalla profondità alla quale si sviluppano le grotte sottomarine, infatti la penetrazione della luce e il regime idrodinamico sono influenzati dal numero e dalle dimensioni degli ingressi che permettono la comunicazione della grotta con l'esterno (Harmelin, 1969; Harmelin *et al.*, 1985). Nelle grotte a tunnel, anche nella più completa oscurità, è possibile riscontrare un ricoprimento biologico elevato per tutta la lunghezza della grotta grazie al continuo flusso di acqua.

### **1.2.4 Fattori biotici delle grotte sottomarine**

Tra i fattori biotici sono da considerare i processi di insediamento e reclutamento larvale e le interazioni competitive. Le interazioni biotiche nell'organizzazione spaziale degli organismi possono riguardare sia le maggiori o minori attitudini competitive delle

specie (Harmelin, 1985b), sia il meccanismo di tipo inibente da parte delle specie insediatesi per prime (Benedetti-Cecchi *et al.*, 1998).

Le interazioni tra fattori biotici e fattori abiotici influenzano le modalità di distribuzione spaziale e temporale e l'abbondanza degli organismi.

La mancanza di luce fa sì che non ci siano organismi vegetali in grado di compiere la fotosintesi, quindi non c'è produzione primaria autoctona e il popolamento dipende dal cibo proveniente dall'esterno. Per tale motivo il popolamento eterotrofo delle grotte sottomarine è dominato da organismi sessili filtratori, ed in misura minore da carnivori e detritivori. Il trofismo delle grotte dipende, pertanto, quasi esclusivamente sul materiale organico proveniente dal mare aperto sotto forma di detrito in sospensione (sostanza organica particellata) o in misura minore di prede vive (Macquart-Moulin e Passelaigue, 1982; Fichez, 1991). Ambienti confinati avranno quindi un apporto alimentare sensibilmente minore: questo concetto è noto come l'ipotesi della "deplezione trofica" (Bianchi e Morri, 1999). Nonostante tale ipotesi sia la più accreditata nel definire le reti trofiche dell'ambiente di grotta, la presenza di emissioni sulfuree termali nelle zone più interne delle grotte può dare origine a reti trofiche indipendenti dalle fonti energetiche che provengono dall'esterno. Inoltre la presenza di specie che compiono migrazioni nictemerali può aumentare l'apporto alimentare all'interno della grotta in quanto tali specie si alimentano all'esterno durante la notte ma depongono poi i prodotti di rifiuto all'interno durante il giorno; anche la loro morte, all'interno della grotta, può contribuire a creare fonti di energia utilizzabili dagli organismi presenti.

Nelle grotte gli organismi sono adattati ad una organizzazione trofica anomala, poiché, oltre a mancare il primo livello trofico dei produttori primari, sono soggetti ad un apporto alimentare irregolare (Bibiloni *et al.*, 1984). Ciò determina una scarsa specificità per l'alimentazione, un'elevata resistenza al digiuno (come risposta adattativa alla scarsità di cibo) e una forte competitività per lo spazio, caratteristiche importanti del popolamento delle cavità (Culver, 1985).

### 1.3 Scopo del lavoro

La composizione in specie di una comunità marina dipende fortemente dall'arrivo dei propaguli dall'esterno, e non solo dalla riproduzione di adulti presenti nel popolamento. Le popolazioni marine sono infatti considerate aperte, legate tra loro da meccanismi di dispersione, caratterizzate da una popolazione principale che mantiene il suo numero relativamente stabile, e da popolazioni fluttuanti situate in aree satellite che in situazioni sfavorevoli possono estinguersi, mentre la popolazione principale fornirà propaguli o individui adulti che ripopoleranno gli habitat. Questa consapevolezza è stata formalizzata nella teoria della *supply side ecology*, o ecologia del rifornimento laterale (Lewin, 1986). Tale teoria definisce l'introduzione di nuovi individui di una popolazione attraverso la riproduzione (reclutamento) come uno dei principali fattori che determinano la struttura dei popolamenti naturali (Connel, 1985; Lewin, 1986; Gaines e Bertness, 1992; Caley *et al.*, 1996; Santangelo, 2002).

Il ciclo vitale è rappresentato dalla fase di *supply* o dispersione larvale, cioè l'arrivo delle larve al substrato, dalla fase di *settlement* o insediamento, che comprende l'ancoraggio della larva ad un substrato idoneo e alla sua successiva metamorfosi, e per ultima la fase di *recruitment* o reclutamento, la quale prevede l'ingresso dell'individuo nella popolazione.

Per determinare la struttura e la dinamica delle popolazioni marine è di fondamentale importanza comprendere i processi che agiscono sul reclutamento per la conservazione della diversità degli organismi sessili marini, in cui la fase larvale rappresenta l'unico stadio mobile. Lo scopo di questo lavoro è analizzare il processo di reclutamento del popolamento bentonico lungo le pareti e sulla volta di una grotta sottomarina per valutarne la ricchezza specifica, l'abbondanza e la distribuzione spaziale.

## 2 Materiali e metodi

### 2.1 Area di studio

Il sito scelto per l'esperimento è la grotta della Colombara (LAT 44° 18' 35" N, LON 9° 10' 37" E) situata ad est del golfo di San Fruttuoso (Genova), nell'area marina protetta di Portofino (Fig. 3).

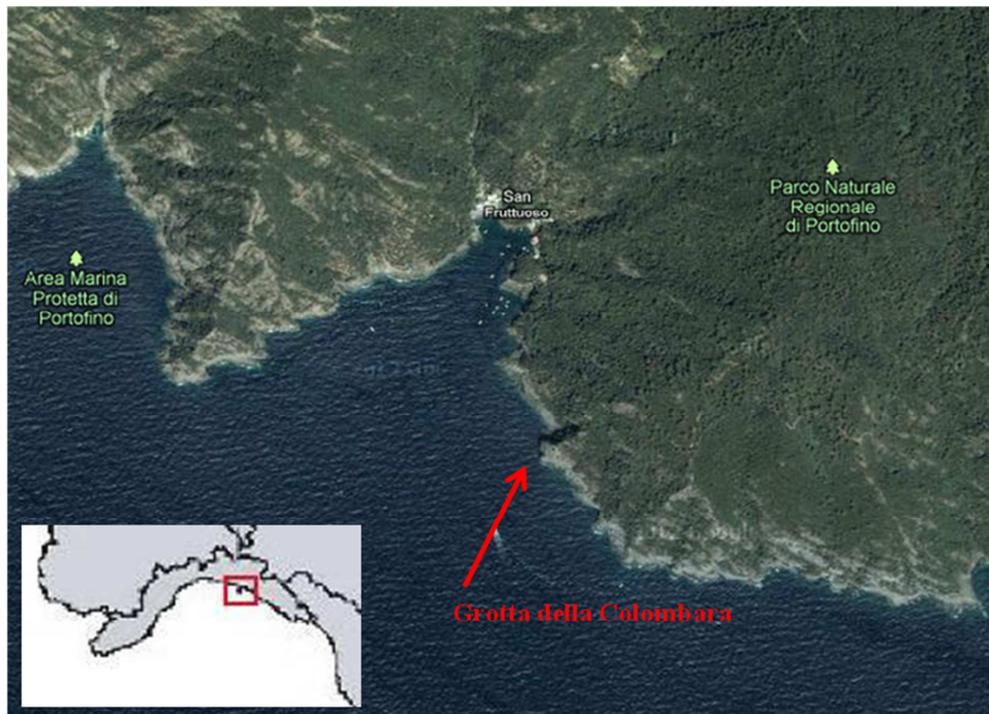


Figura 3: mappa dell'area di studio: in rosso viene indicata la posizione approssimativa della grotta.

Secondo i dati dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ICRAM, 2000; oggi ISPRA) le temperature medie del mare in Liguria variano da un minimo  $< 14^{\circ}\text{C}$  (valori registrati da gennaio ad aprile) ed iniziano ad aumentare in maggio raggiungendo valori massimi  $> 25^{\circ}\text{C}$  in estate. La salinità mostra di solito un gradiente crescente dalla costa verso il mare aperto. Vi è anche una forte variabilità nel corso dell'anno a causa dell'alternanza di periodi asciutti e piovosi e talvolta porta a picchi di salinità, anche durante l'inverno. Per quanto riguarda l'ossigeno, è possibile registrare i valori massimi intorno a 8 mg/L nel mese di maggio in concomitanza con la più alta attività fotosintetica delle alghe. Il minimo (6 mg/L) viene registrato in settembre quando i valori di temperatura e salinità sono elevati. Il trend annuale non

supera mai il 100% della saturazione di ossigeno e ciò conferma la natura di ambiente oligotrofico che dà prevalenza ai processi di mineralizzazione rispetto a quelli fotosintetici. La torbidità è influenzata sia dalla presenza di vari corsi d'acqua sia da alti valori di clorofilla (Chl), riscontrabili da aprile a novembre legati all'attività fotosintetica algale, con un minimo di visibilità di 6-10 metri misurata dai 500 ai 3000 metri dalla linea di costa.

La grotta è situata in una parete rocciosa e la sua apertura si trova ad una profondità di circa 35 metri. Tale area è caratterizzata da un forte idrodinamismo e da un basso livello di sedimentazione (Morri *et al.*, 1986) e l'ingresso, con una larghezza di circa 5 metri e un'altezza di circa 2,3 metri, è orientato verso sud e non è quindi esposto direttamente alle correnti che principalmente vanno da nord-est a sud-ovest con velocità media di  $25 \text{ cm s}^{-1}$  (Fig. 4). La grotta prosegue verso l'interno per circa 10 metri e la sua forma tende a restringersi verso il fondo.

Le pareti e la volta della grotta ospitano popolamenti di invertebrati sessili la cui composizione e la distribuzione spaziale dall'ingresso verso l'interno è tipica delle cavità sublitorali del Mediterraneo nordoccidentale.



Figura 4: disegno della grotta sottomarina della Colombara (<http://www.gerorinaldo.it>).

## 2.2 Disegno di campionamento

Nel giugno 2010 quattordici pannelli quadrati in Forex, PVC semiespanso a cellule chiuse (Tab.1), di dimensioni di  $400 \text{ cm}^2$  sono stati fissati con una vite centrale in acciaio all'interno della grotta Colombara: sei pannelli sono stati posti sulle pareti verticali (due sulla parete sinistra e quattro sulla parete destra) e otto sono stati collocati

sulla volta secondo lo schema mostrato in figura 5 con lo scopo di voler confrontare la distribuzione e quindi il ricoprimento percentuale dei popolamenti di invertebrati sessili bentonici sulle pareti e sulla volta della grotta.

Molti studi hanno utilizzato diversi tipi di materiali artificiali per lo studio di modelli di comunità bentonica come la plastica (Scinto *et al.*, 2009), acrilico (Bowden *et al.*, 2006), plexiglas (Turner e Todd, 1993), ceramica (Maida *et al.*, 1995), nylon, sacchetti di plastica e corde (Rule e Smith, 2005), cloruro di polivinile (PVC) (Pech *et al.*, 2002; Lapointe e Bourget, 1999) ottenendo risultati che hanno soddisfatto le loro aspettative.

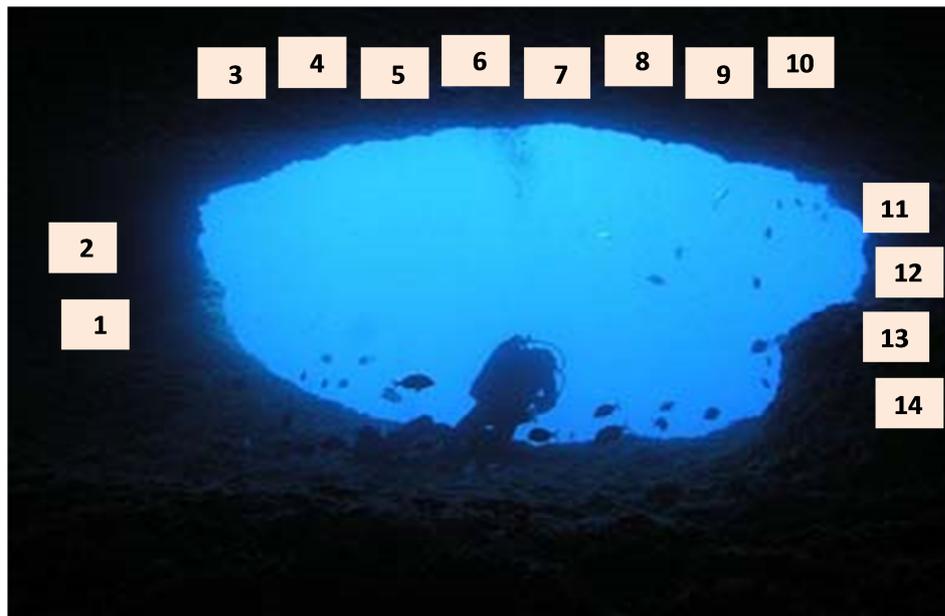


Figura 5: schema esemplificativo del disegno sperimentale.

Tabella 1: caratteristiche del materiale Forex (<http://www.albertiniplastics.com>).

<b>PROPRIETA'</b>			
<b>Caratteristiche del forex 700</b>			
Densità	DIN 53479	Kg/m <sup>3</sup>	700
Resistenza a trazione	DIN 53455	MPa	16
Allungamento a rottura	DIN 53455	%	34
Modulo di elasticità: a trazione	DIN 53457	MPa	860
Modulo di elasticità: a flessione	DIN 53457	MPa	1300
Resistenza alla flessione	DIN 53452	MPa	28
Resistenza all'urto	DIN 53453	kJ /m <sup>2</sup>	15
Durezza a impronta con sfera	DIN 53456	N/mm <sup>2</sup>	24
Temperatura di rammollimento (metodo VICAT A)	DIN 53460	°C	80
Cambiamento dimensionale: 120 minuti a 70°C	DIN 16927	%	± 0
Cambiamento dimensionale: 75 minuti a 140° C in lunghezza	DIN 16927	%	-4
Cambiamento dimensionale: 75 minuti a 140° C in larghezza	DIN 16927	%	-0,8
Coefficiente di dilatazione lineare	DIN 52328	1/K	56*10 <sup>-6</sup>
Coefficiente di conducibilità termica	DIN 52612	W/mK	0,081
Assorbimento d'acqua: W3-100°C - 30 minuti	DIN 53492	%	< 1
Fattore di resistenza alla diffusione	DIN 53429		19000
Comportamento al fuoco: Italia	CSE RF2 / 75, 3 / 77		classe 1
Comportamento al fuoco: Belgio	NBN S 21-203		AI
Comportamento al fuoco: Francia			M1
Comportamento al fuoco: Germania	DIN4102 PA-III 2.1378		B1
Comportamento al fuoco: Gran Bretagna	BS 476 Part 7		classe 1
Comportamento al fuoco: Svizzera	VKF		V.3
Comportamento al fuoco: USA	UL 94		94V-0
			94-5V
	FAR 25.853(a)		approvato
	MVSS 302		approvato
Indice d'ossigeno	ASTM D2863	%	43
Resistenza al tracking	DIN 53480		classe KA 3a
Comportamento al fuoco: Gran Bretagna	BS 476 Part 7		classe 1
Comportamento al fuoco: Svizzera	VKF		V.3
Comportamento al fuoco: USA	UL 94		94V-0
			94-5V
	FAR 25.853(a)		approvato
	MVSS 302		approvato
Indice d'ossigeno	ASTM D2863	%	43
Resistenza al tracking	DIN 53480		classe KA 3a
Rigidità dielettrica	DIN 53481	kV/cm	112
Resistività superficiale	DIN 53482	ohm	10 <sup>14</sup>
Resistività in volume	DIN 53482	ohm cm	2,4*10 <sup>15</sup>
Costante dielettrica	DIN 53483		1,9
Fattore di dissipazione	DIN 53483		0,013
<b>Caratteristiche del forex 500</b>			
Densità	DIN 53479	Kg /m <sup>3</sup>	500
Resistenza a trazione	DIN 53455	MPa	10
Allungamento a rottura	DIN 53455	%	30
Modulo di elasticità: a trazione	DIN 53457	MPa	500
Modulo di elasticità: a flessione	DIN 53457	MPa	750
Resistenza alla flessione	DIN 53452	MPa	20
Resistenza all'urto	DIN 53453	kJ/m <sup>2</sup>	22
Durezza a impronta con sfera	DIN 53456	N/mm <sup>2</sup>	25
Temperatura di rammollimento (metodo VICAT A)	DIN 53460	°C	78
Cambiamento dimensionale 75 minuti a 14VC in lunghezza	DIN 16927	%	-6
Cambiamento dimensionale in larghezza DIN 16927	DIN 16927	%	1
Coefficiente di dilatazione lineare	DIN 52328	1/K	66*10 <sup>-6</sup>
Coefficiente di conducibilità termica	DIN 52612	W/mK	0,059
Assorbimento d'acqua W3-10VC - 30 minuti	DIN 53495	%	< 1
Comportamento al fuoco: Italia	CSE RF2 / 75, 3 / 77		classe 1

### 2.3 Campionamento

Dopo circa un anno e otto mesi, il 22 febbraio 2012, i pannelli sono stati rimossi, posti in sacchetti di plastica contenenti etanolo all'80% e portati in laboratorio ad Ancona nell'Università delle Marche. Il professor Carlo Cerrano si è occupato sia dell'istallazione e della rimozione dei pannelli, sia delle fotografie scattate in grotta (Fig. 6).

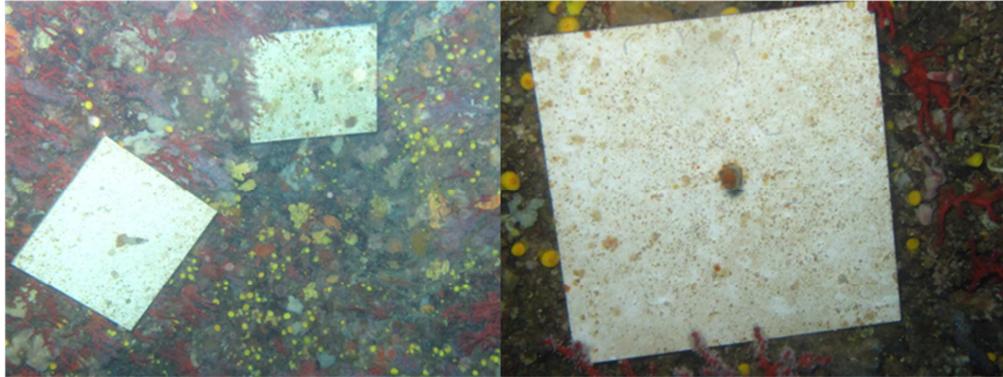


Figura 6: fotografie di alcuni pannelli scattate in grotta.

### 2.4 Analisi di laboratorio

Le analisi dei pannelli sono state condotte all'Università di Bologna nei laboratori di Ravenna. Il mio lavoro è stato quello di quantificare le specie che hanno colonizzato il substrato artificiale dei pannelli e il metodo utilizzato si basa sull'analisi della frequenza: ogni pannello è stato osservato attentamente con l'uso di uno stereoscopio usando un reticolato da me creato, composto da 400 sottoquadrati di 1 cm<sup>2</sup>, costruito con filo di nylon da pesca applicato ad una struttura di alluminio che ricopre esattamente il pannello in PVC di 400 cm<sup>2</sup> (Fig. 7). In questo modo siamo riusciti ad ottenere frequenze molto accurate che possono essere applicate per scoprire il ricoprimento percentuale degli organismi sessili. Una volta trovati, questi sono stati fotografati al microscopio (vedi Cap. 5) e conservati per le successive analisi di identificazione in tubi Eppendorf di 2 ml con alcol etilico al 70%. I dati di frequenza sono stati inseriti in Microsoft Excel per poi elaborare le successive analisi statistiche.

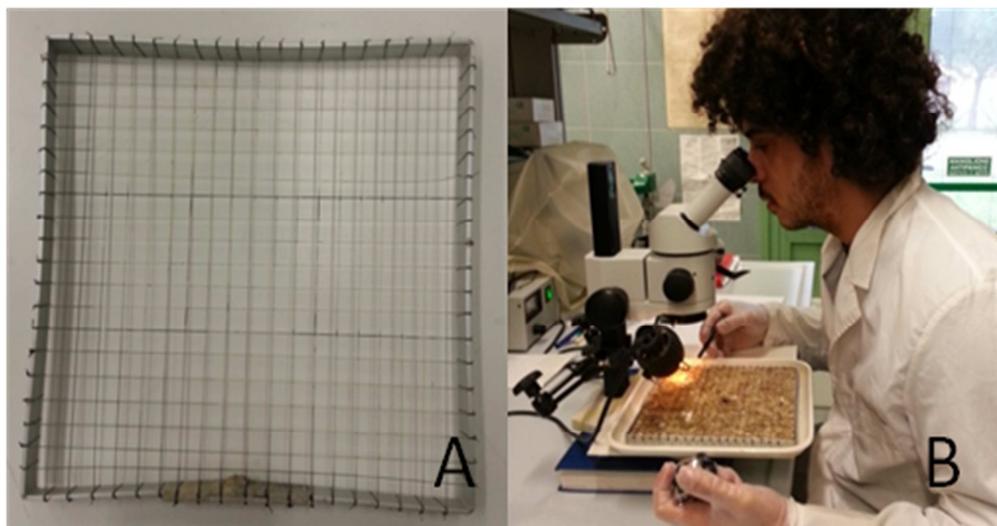


Figura 7: A: reticolato di 400 celle da 1 cm<sup>2</sup>; B: analisi di frequenza allo stereoscopio con reticolato sopra il pannello.

## 2.5 Analisi dei dati

Le frequenze ottenute dai 400 sottoquadrati sono state trasformate in dati di ricoprimento percentuale dividendo prima per 400 e moltiplicando poi per 100 per ottenere valori in percentuale. Le possibili differenze tra le strutture dei popolamenti, l'abbondanza delle specie e gli indici di diversità tra parete e volta della grotta sono state testate con l'analisi della varianza basata su permutazioni (PERMANOVA) con il software PRIMER 6.

### 2.5.1 Analisi sulla struttura dei popolamenti

Le differenze nella struttura dei popolamenti sono state analizzate utilizzando l'analisi delle coordinate principali (PCO, *metric multidimensional scaling*) basata sulla matrice di similarità di Bray-Curtis su dati trasformati con radice quadrata (Anderson, 2003; Anderson e Willis, 2003).

Le differenze sui popolamenti di parete e di volta (Location: fattore fisso con 2 livelli: parete/volta) sono state analizzate tramite analisi di permutazione non-parametrica multivariata della varianza (PERMANOVA) (Anderson, 2001, 2005). Quando abbiamo trovato meno di 999 permutazioni è stato utilizzato la procedura di Monte Carlo. Abbiamo considerato il valore di  $P < 0,05$  significativo,  $< 0,01$  più che significativo,  $< 0,001$  molto significativo.

### 2.5.2 Analisi sull'abbondanza del singolo taxon

I taxa che contribuiscono maggiormente alla differenziazione delle popolazioni sono stati identificati sovrapponendo i vettori di correlazione corrispondenti alla trama PCO. Il loro valore medio di abbondanza e il suo errore standard sono stati rappresentati nei grafici a istogramma utilizzando Microsoft Excel.

Le differenze di abbondanza tra parete e volta sono state valutate da PERMANOVA (Anderson, 2001, 2005) sulla base di distanze euclidee di dati non trasformati. Anche in questa analisi è stato utilizzato il test di Monte Carlo quando ritenuto necessario. Abbiamo considerato il valore di  $P < 0,05$  significativo,  $< 0,01$  più che significativo,  $< 0,001$  molto significativo.

### 2.5.3 Analisi sulla diversità specifica

Gli indici di diversità possono essere classificati convenzionalmente come misure di ricchezza specifica o misure di eterogeneità. In particolare, le misure di eterogeneità racchiudono informazioni su entrambe le componenti della diversità, ricchezza di specie ed equidistribuzione. Per quantificare la diversità specifica sono stati utilizzati gli indici di ricchezza specifica ( $S$ ), di diversità di Shannon ( $H'$ ) e di equidistribuzione di Pielou ( $J'$ ).

L'indice di ricchezza specifica è stato misurato attraverso il numero di specie che compongono un determinato habitat.

L'indice di Shannon viene calcolato utilizzando la funzione

$$H' = - \sum p_i \times \log p_i$$

dove  $p_i$  rappresenta l'abbondanza dell' $i$ -esima specie all'interno del plot, logaritmo a base 2.

L'indice di Pielou è calcolato secondo la formula:

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

dove  $H_{\max}$  è il valore massimo di diversità calcolata utilizzando l'indice di Shannon, nel caso in cui tutte le specie abbiano uguali abbondanze (equidistribuzione o *evenness*), mentre  $H'$  rappresenta il valore osservato dell'indice di Shannon. È dimostrato che il valore teorico  $H_{\max}$  corrisponde esattamente al logaritmo del numero di specie osservato

nel plot ( $H_{\max} = \log_2 S$ ). L'indice può assumere valori compresi tra 1 (tutte le specie sono ugualmente abbondanti) e 0 (una sola specie presente).

Le differenze nei valori medi degli indici tra volta e parete sono state valutate con l'analisi della varianza PERMANOVA (Anderson, 2001, 2005) sulla matrice di distanza euclidea di dati non trasformati come abbiamo fatto con le analisi sul singolo taxon. Quando abbiamo trovato meno di 999 permutazioni è stato utilizzato il test di Monte Carlo. Abbiamo considerato il valore di  $P < 0,05$  significativo,  $< 0,01$  più che significativo,  $< 0,001$  molto significativo.

# 3 Risultati

In questo esperimento abbiamo voluto valutare, attraverso l'uso di pannelli artificiali, il processo di reclutamento di organismi sessili bentonici in una grotta sottomarina del Mar Mediterraneo e capire quali sono i principali meccanismi che agiscono sulla loro diversità, distribuzione e abbondanza.

Nei 14 pannelli artificiali sono stati rinvenuti 45 taxa: 2 taxa di alghe, Phaeophyta e Chlorophyta, 2 taxa di Foraminifera, 2 Cnidaria, 14 Anellida, 3 Mollusca, 2 Arthropoda, 19 Bryozoa e 1 taxon di Chordata (Fig. 8).

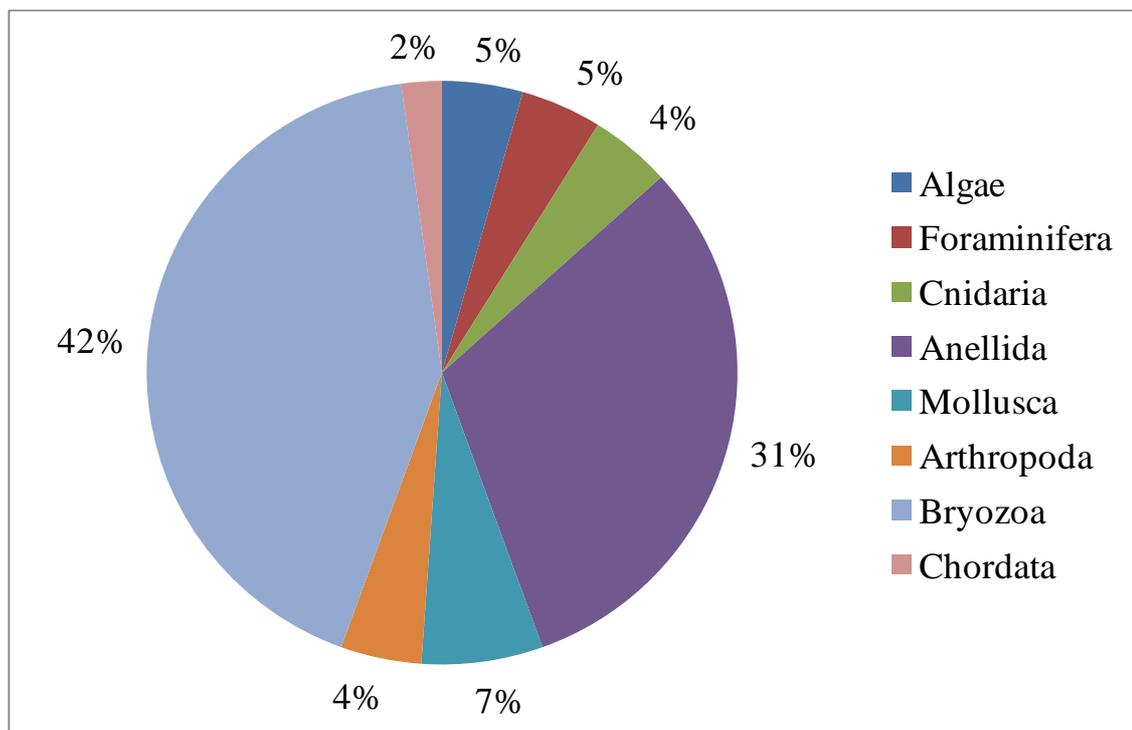


Figura 8: percentuale dei taxa appartenenti ai principali gruppi tassonomici.

## 3.1 Risultati sulla struttura dei popolamenti

La struttura dei popolamenti sessili bentonici, come si può notare dalla PCO (Fig. 9), mostra una chiara differenziazione tra la parete e la volta della grotta.

I primi due assi della PCO spiegano il 38,1% e il 23,5%, rispettivamente, della variabilità dei popolamenti.

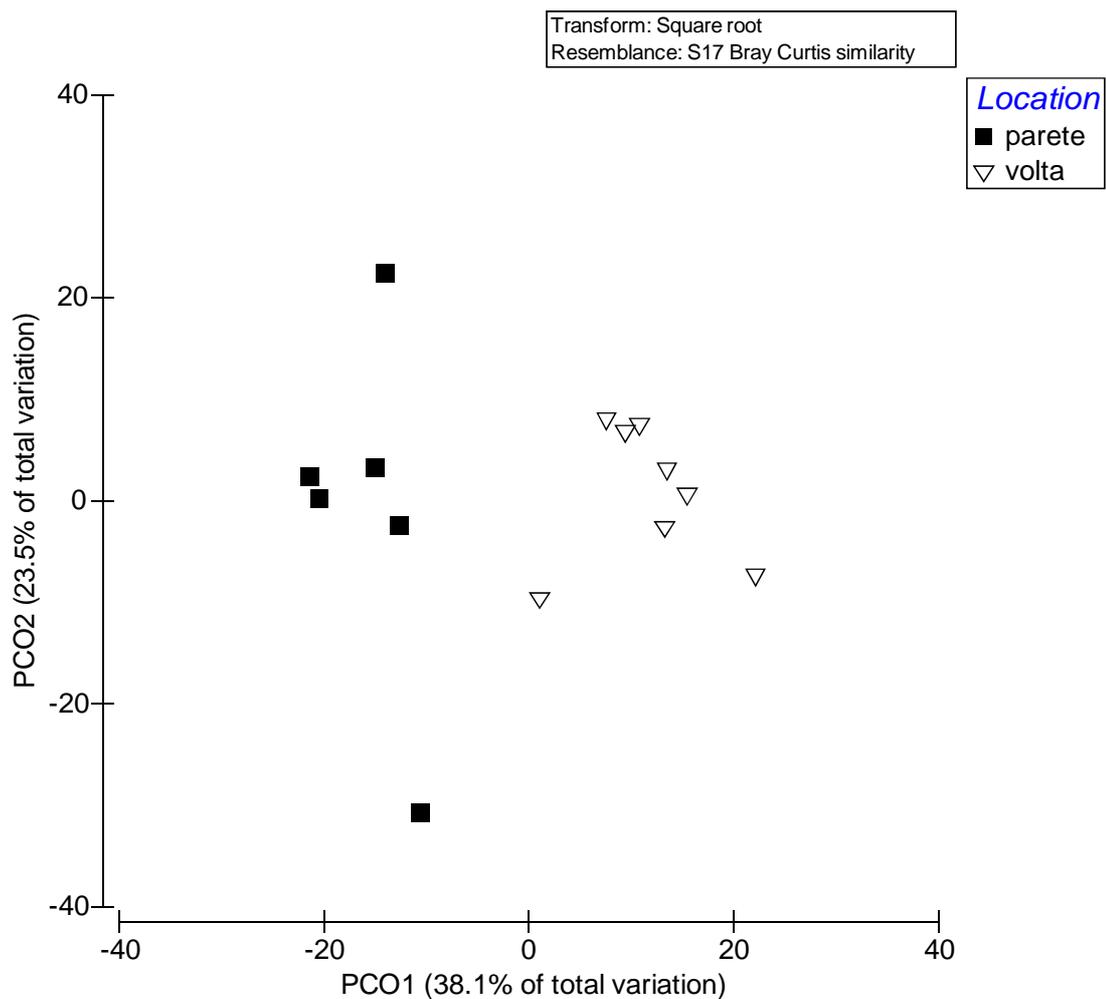


Figura 9: il grafico della PCO mostra le similarità tra i 6 pannelli di reclutamento di parete e gli 8 pannelli di reclutamento di volta.

Il test PERMANOVA ha evidenziato una differenza molto significatività tra i popolamenti di volta e parete (Tab. 2).

Tabella 2: risultati PERMANOVA.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
Lo	1	2603,8	2603,8	6,1742	<b>0,0004</b>	2874
Res	12	5060,8	421,73			
Total	13	7664,6				

I vettori sovrapposti alla PCO rappresentano graficamente le relazioni tra l'abbondanza dei singoli taxa e i pattern di similarità dei popolamenti bentonici, con lo scopo di evidenziare quali sono i taxa che danno il maggior contributo nel definire la struttura dei popolamenti (Fig. 10).

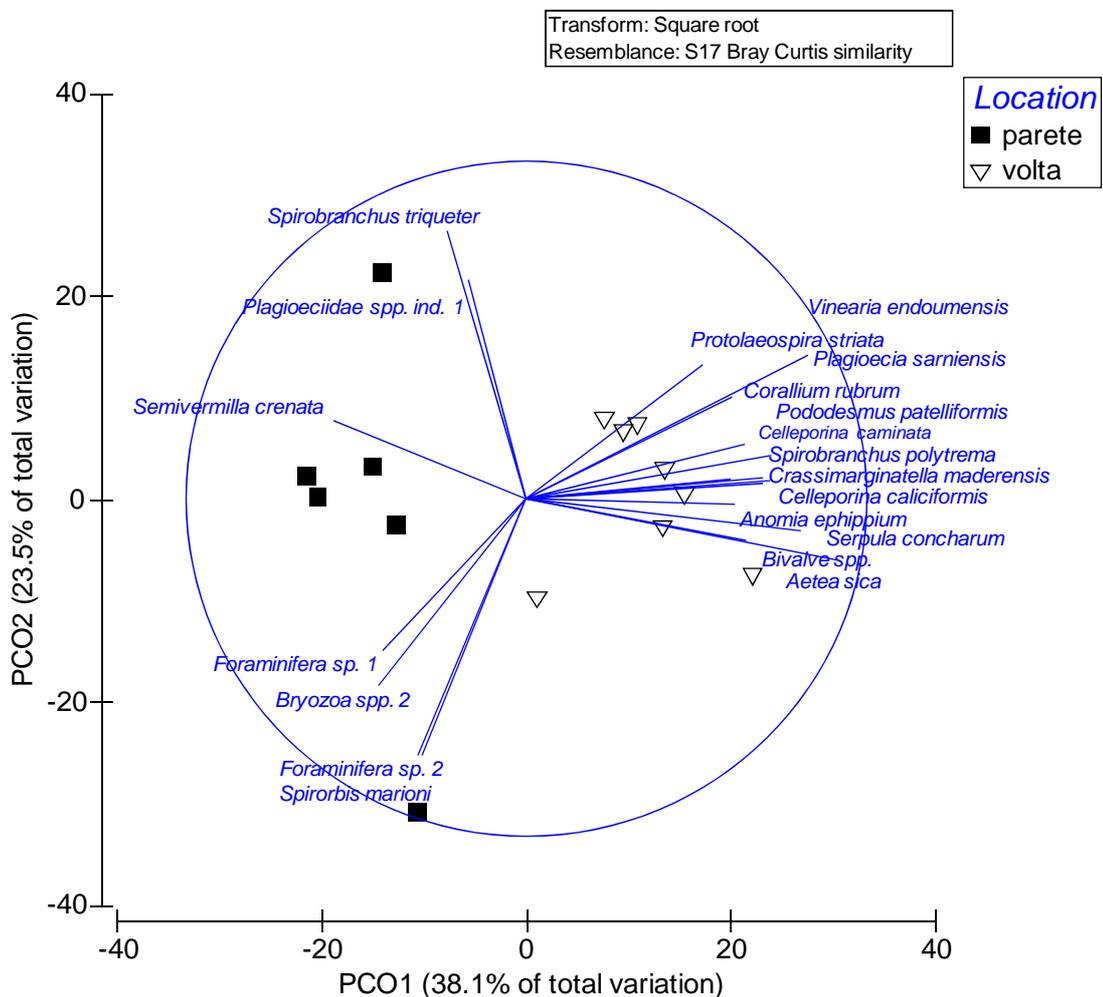


Figura 10: vettori di correlazione dei taxa che più contribuiscono a differenziare i popolamenti di parete e di volta sovrapposti al grafico della PCO.

### 3.2 Risultati sull'abbondanza dei singoli taxa

Le possibili differenze tra la volta e le pareti della grotta sono state analizzate separatamente su ogni taxon rinvenuto. I taxa sono stati selezionati sulla base della loro abbondanza, sulla frequenza e sulle correlazioni osservate nei pattern di similarità tra i popolamenti. In generale, briozoi e serpulidi rappresentano le specie più abbondanti. Per quanto riguarda i briozoi, tra i più frequenti e abbondanti ritroviamo il briozoo *Aetea sica*.

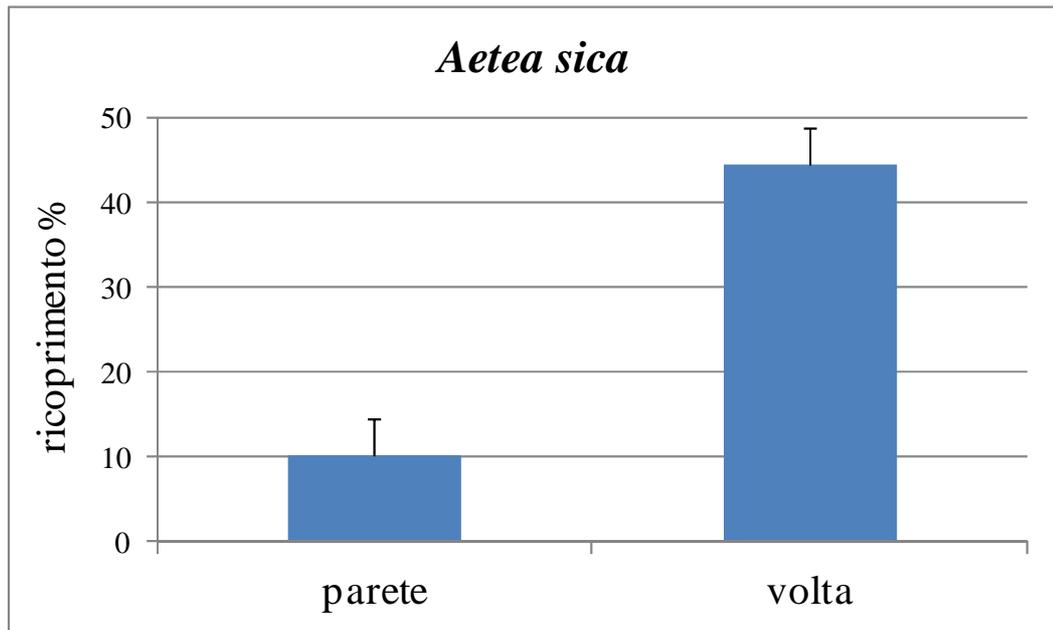


Figura 11: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Aetea sica* ( $\pm$  es).

Come si vede dal grafico (Fig. 11), il ricoprimento % è visibilmente più marcato sulla volta della grotta rispetto alla parete. Ciò viene confermato ulteriormente dall'analisi statistica che mostra una significatività per il fattore location (Tab. 3).

Tabella 3: risultati PERMANOVA del briozoo *Aetea sica*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	4046,4	4046,4	30,169	0,0012	685	<b>0,0001</b>
<b>Res</b>	12	1609,5	134,13				
<b>Total</b>	13	5656					

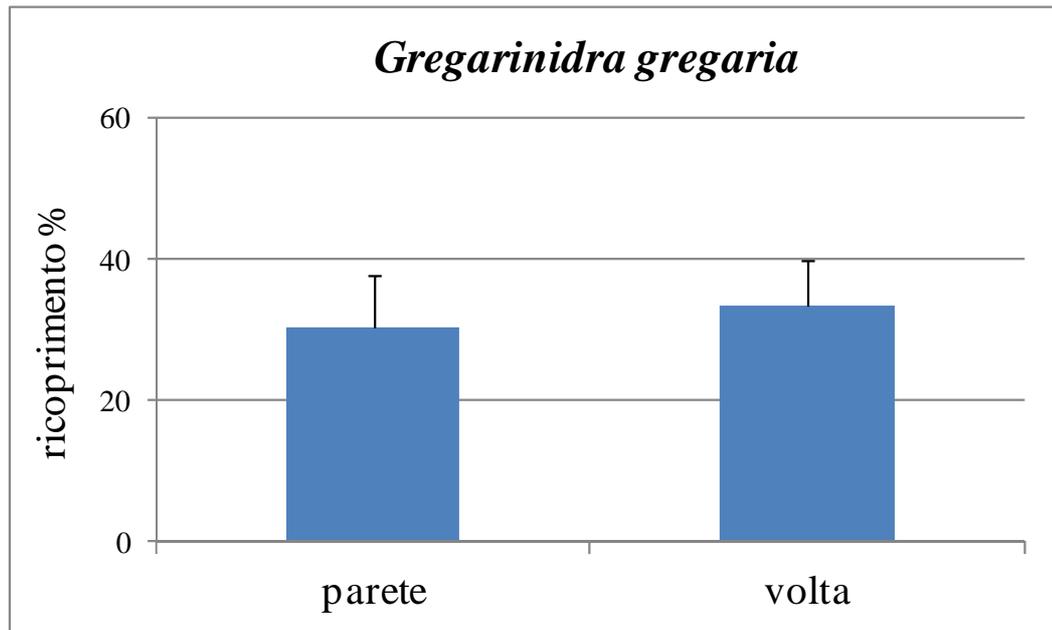


Figura 12: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Gregarinidra gregaria* ( $\pm$  es).

Il briozoo *Gregarinidra gregaria* risulta essere, anch'esso, molto abbondante (Fig. 12) ma non mostra differenze significative tra volta e parete (Tab. 4).

Tabella 4: risultati PERMANOVA del briozoo *Gregarinidra gregaria*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	34,381	34,381	0,10963	0,7389	548	0,7452
<b>Res</b>	12	3763,2	313,6				
<b>Total</b>	13	3797,6					

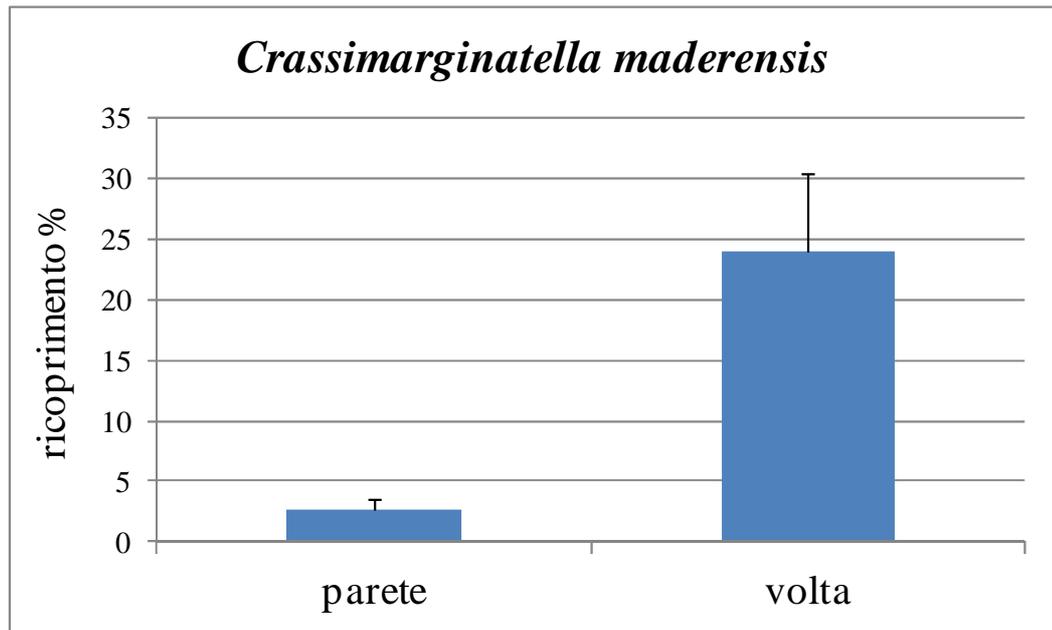


Figura 13: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Crassimarginatella maderensis* ( $\pm$  es).

Il briozoo *Crassimarginatella maderensis* presenta una maggiore abbondanza sulla volta della grotta (Fig. 13). Il test statistico PERMANOVA conferma questa maggior percentuale di ricoprimento (Tab. 5).

Tabella 5: risultati PERMANOVA del briozoo *Crassimarginatella maderensis*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	1558,9	1558,9	7,7468	0,025	391	<b>0,015</b>
<b>Res</b>	12	2414,7	201,23				
<b>Total</b>	13	3973,6					

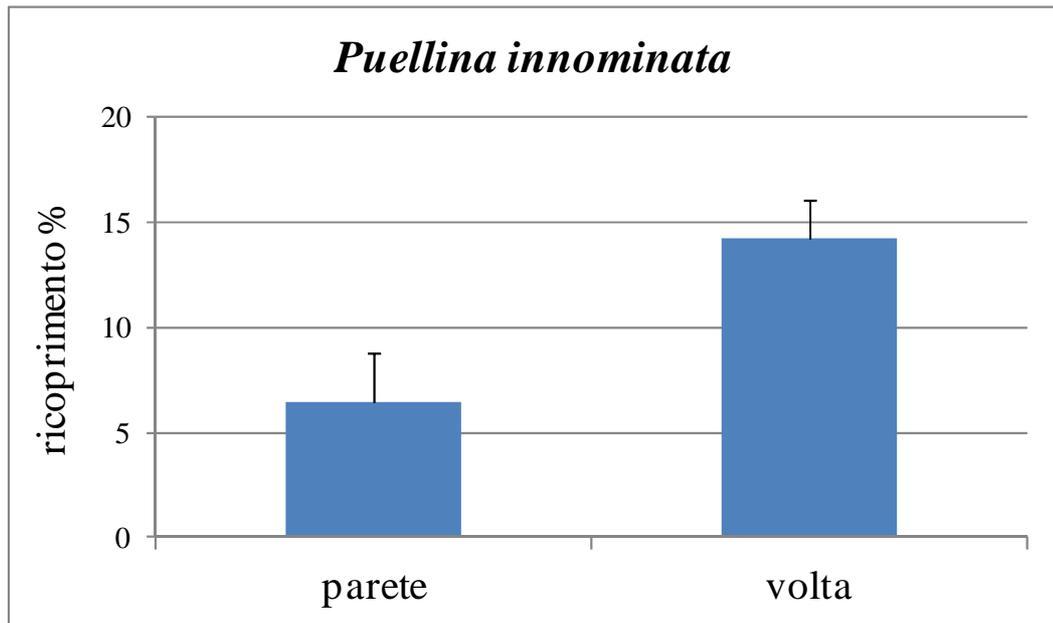


Figura 14: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Puellina innominata* ( $\pm$  es).

Anche in questo caso, il pattern di ricoprimento del briozoo *Puellina innominata* è orientato maggiormente verso la volta della grotta (Fig. 14). L'analisi della varianza dimostra tale comportamento, come si può notare in tabella 6.

Tabella 6: risultati PERMANOVA del briozoo *Puellina innominata*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	208,15	208,15	7,3077	0,0213	246	<b>0,0206</b>
<b>Res</b>	12	341,8	28,484				
<b>Total</b>	13	549,95					

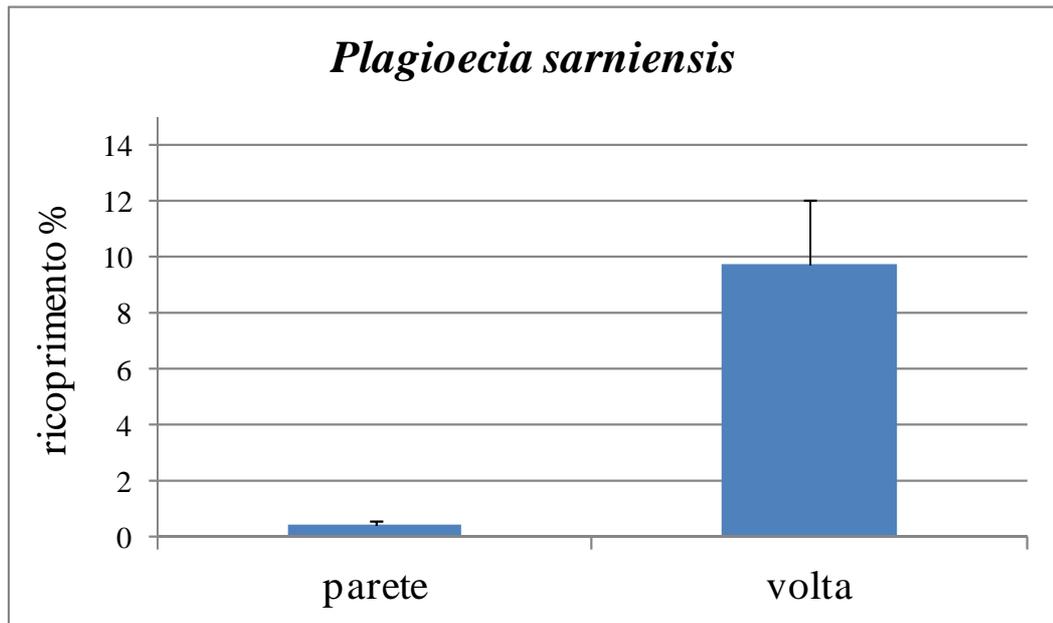


Figura 15: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Plagioecia sarniensis* ( $\pm$  es).

La volta della grotta, rispetto alla parete, presenta maggior abbondanza del briozoo *Plagioecia sarniensis* (Fig. 15). L'analisi statistica conferma una significatività per quanto riguarda il livello del fattore considerato (Tab.7).

Tabella 7: risultati PERMANOVA del briozoo *Plagioecia sarniensis*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	296,01	296,01	11,702	0,0054	254	<b>0,0045</b>
<b>Res</b>	12	303,55	25,296				
<b>Total</b>	13	599,56					

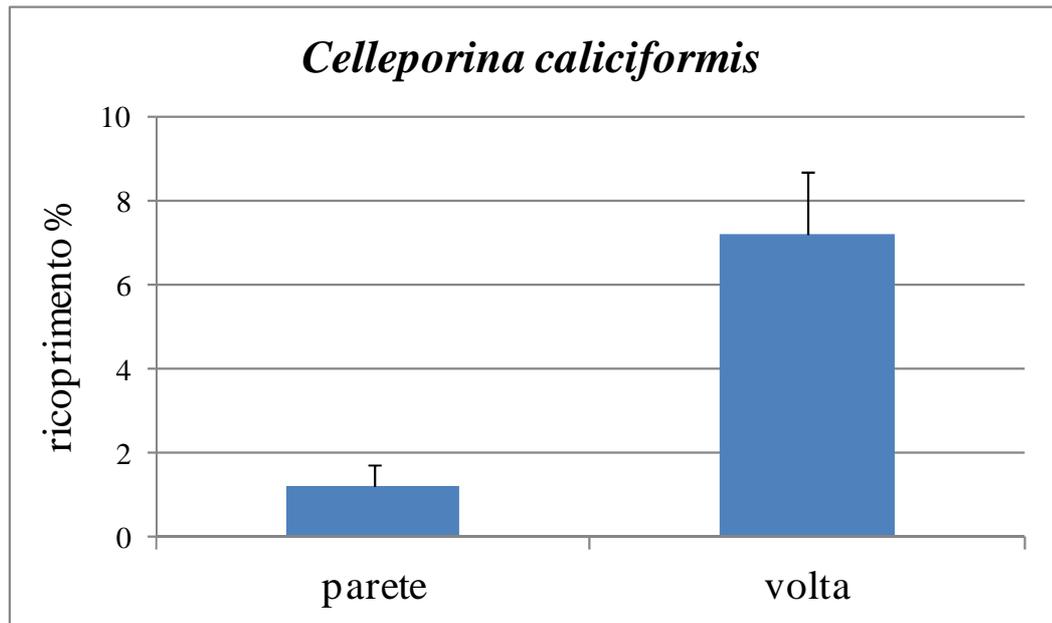


Figura 16: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Celleporina caliciformis* ( $\pm$  es).

Il briozoo *Celleporina caliciformis* è presente maggiormente nella zona della volta rispetto alla zona di parete (Fig. 16). Il test statistico della varianza conferma questo pattern di ricoprimento orientato verso la volta (Tab. 8).

Tabella 8: risultati PERMANOVA del briozoo *Celleporina caliciformis*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	123,86	123,86	11,261	0,0066	176	<b>0,0054</b>
<b>Res</b>	12	131,98	10,998				
<b>Total</b>	13	255,84					

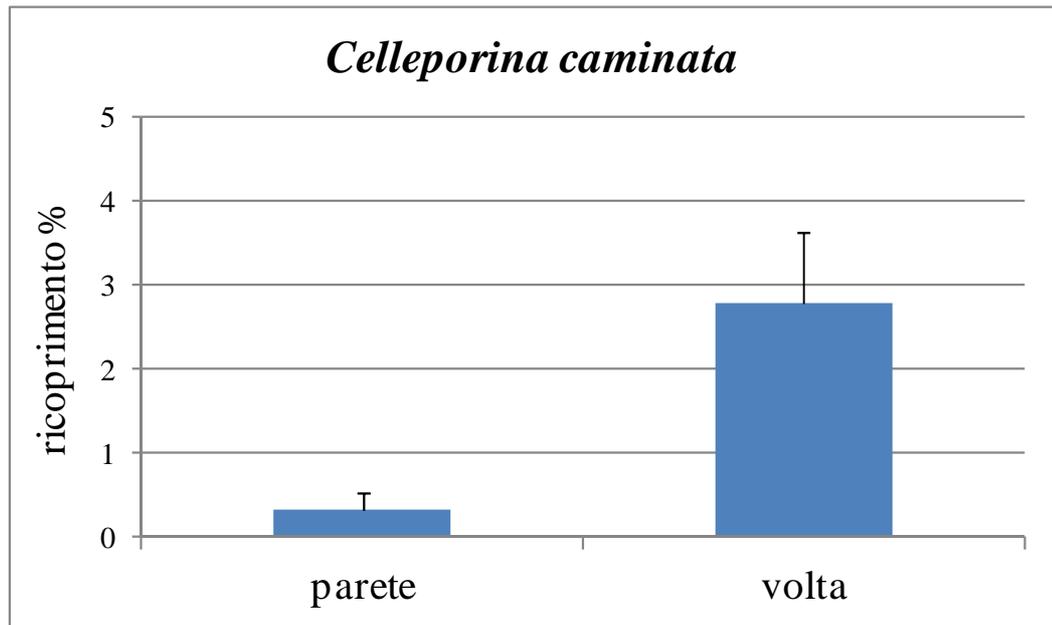


Figura 17: percentuale media di ricoprimento del briozoo *Celleporina caminata* ( $\pm$  es).

Per quanto riguarda il briozoo *Celleporina caminata*, anch'esso presenta una netta distribuzione orientata maggiormente verso la volta della grotta (Fig. 17).

Il test PERMANOVA conferma una significatività verso il livello del fattore considerato (Tab. 9).

Tabella 9: risultati PERMANOVA del Briozoo *Celleporina caminata*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	20,545	20,545	6,0296	0,0137	77	<b>0,0302</b>
<b>Res</b>	12	40,888	3,4073				
<b>Total</b>	13	61,433					

I policheti serpulidi rappresentano un gruppo di organismi molto abbondante in tutti i pannelli analizzati. Come per i briozoi, questa classe presenta delle frequenze molto spesso elevate.

*Vinearia endoumensis* è molto abbondante e frequente e sembra però prediligere l'habitat di volta piuttosto che quello di parete (Fig. 18).

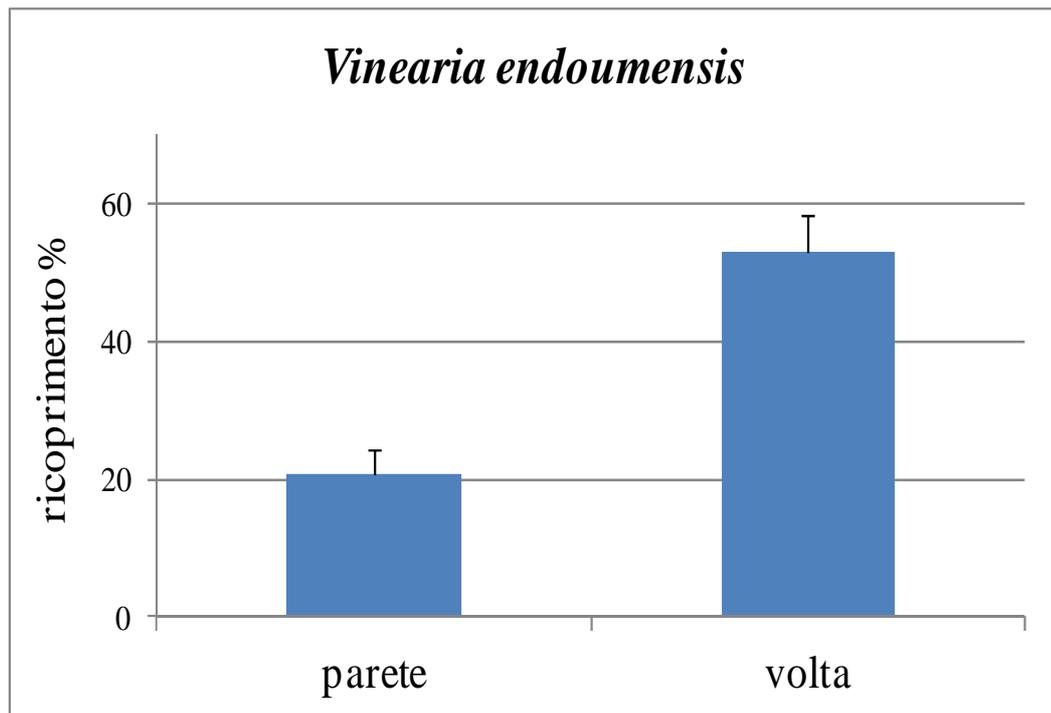


Figura 18: percentuale media di ricoprimento del serpulide *Vinearia endoumensis* ( $\pm$  es).

I risultati dell'analisi statistica dimostrano questa attitudine con valori di significatività molto alti (Tab.10).

Tabella 10: risultati PERMANOVA del serpulide *Vinearia endoumensis*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	3545,2	3545,2	19,659	0,0021	389	<b>0,001</b>
<b>Res</b>	12	2164	180,34				
<b>Total</b>	13	5709,3					

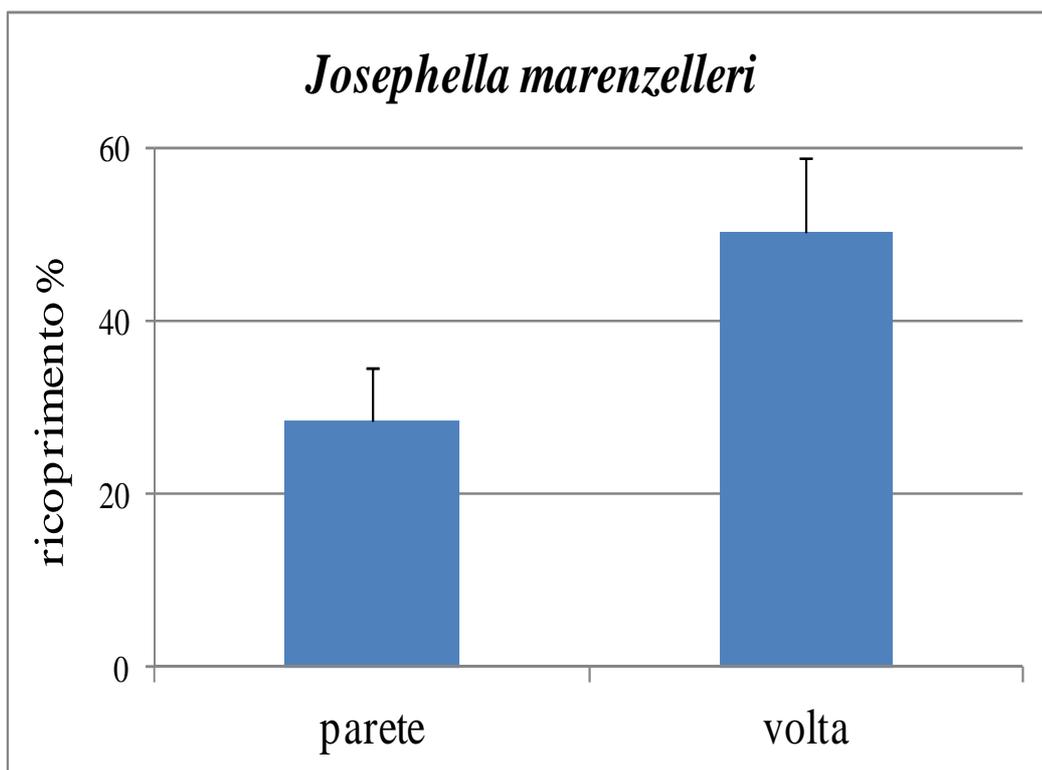


Figura 19: percentuale media di ricoprimento del serpulide *Josephella marenzelleri* ( $\pm$  es).

*Josephella marenzelleri* è risultato essere l'organismo più frequente del nostro studio. Tuttavia, anche se dalla fig. 19 sembra ci siano delle preferenze nel selezionare l'area più adatta al proprio reclutamento, l'analisi statistica non ha evidenziato nessuna significatività per il fattore località (Tab. 11).

Tabella 11: risultati PERMANOVA del serpulide *Josephella marenzelleri*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	1620,4	1620,4	3,637	0,0831	757	0,0844
<b>Res</b>	12	5346,4	445,53				
<b>Total</b>	13	6966,7					

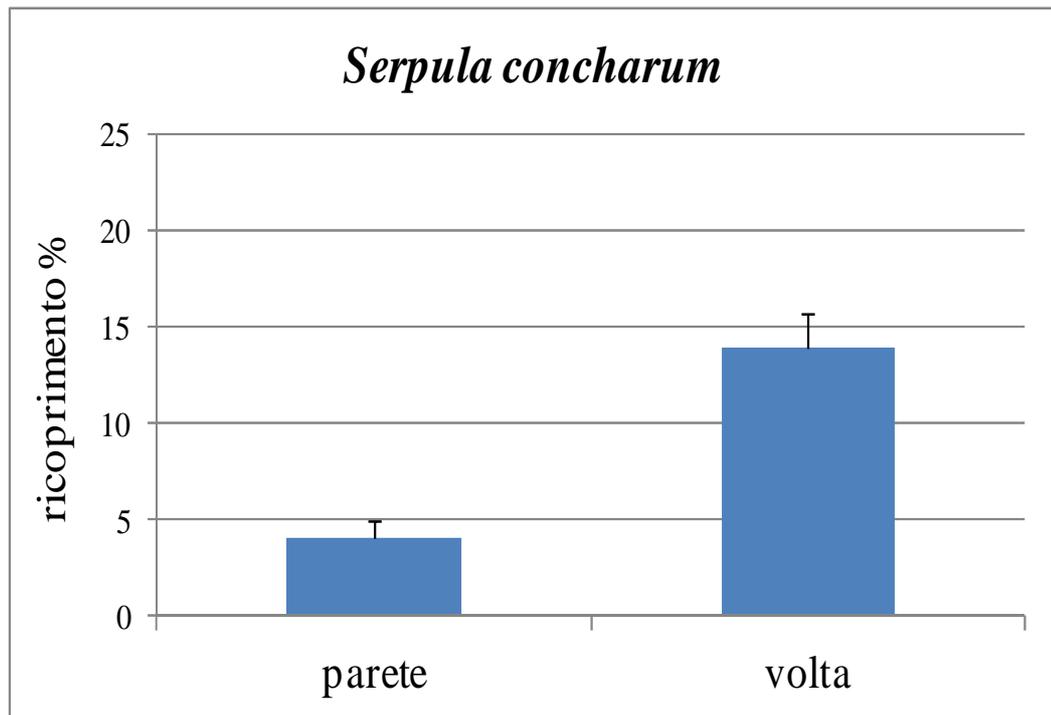


Figura 20: percentuale media di ricoprimento del serpulide *Serpula concharum* ( $\pm$  es).

Come si può notare dal grafico (Fig. 20), *Serpula concharum* ha mostrato una maggiore affinità per quanto riguarda la zona di volta della grotta. Tale trend viene evidenziato anche nell'analisi statistica che dimostra tale comportamento (Tab. 12).

Tabella 12: risultati PERMANOVA del serpulide *Serpula concharum*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	335,75	335,75	18,847	0,0017	248	<b>0,0013</b>
<b>Res</b>	12	213,77	17,814				
<b>Total</b>	13	549,52					

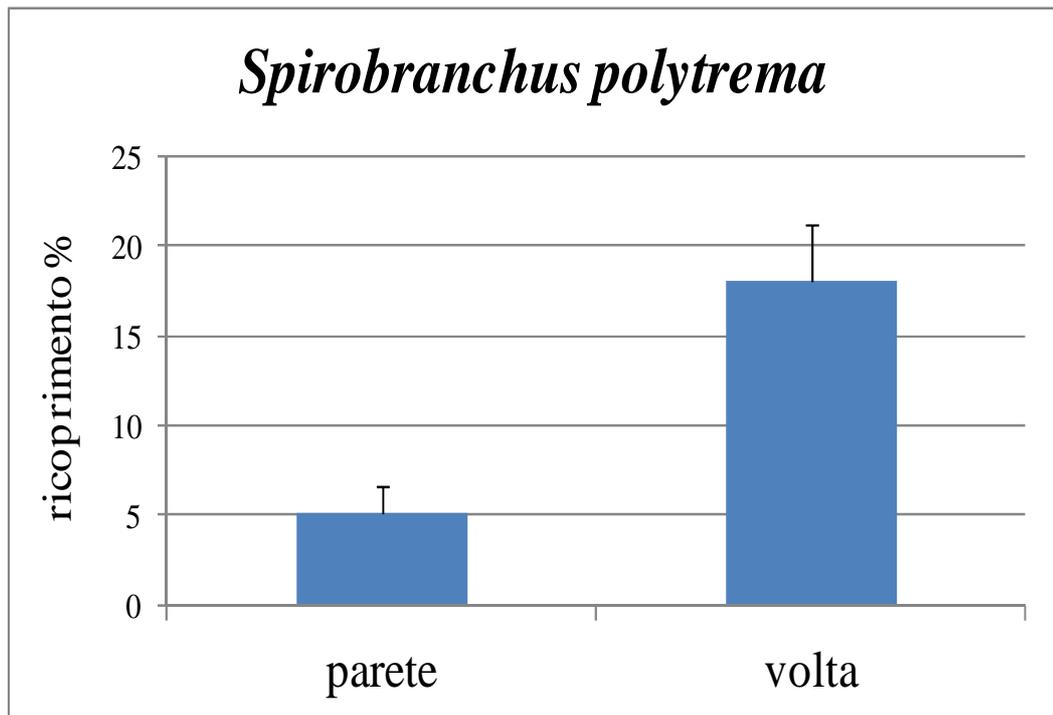


Figura 21: percentuale media di ricoprimento del serpulide *Spirobranchus polytrema* ( $\pm$  es).

Il serpulide *Spirobranchus polytrema* presenta un ricoprimento percentuale maggiore sulla volta rispetto alla parete della grotta (Fig. 21). L'analisi statistica della varianza dimostra questa abbondanza con valori significativi (Tab. 13).

Tabella 13: risultati PERMANOVA del serpulide *Spirobranchus polytrema*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	574,8	574,8	11,195	0,0101	347	<b>0,0059</b>
<b>Res</b>	12	616,14	51,345				
<b>Total</b>	13	1190,9					

Lo cnidario *Corallium rubrum*, come si può notare dal grafico in figura 22, presenta un ricoprimento % visibilmente più marcato sulla volta della grotta rispetto alla parete.

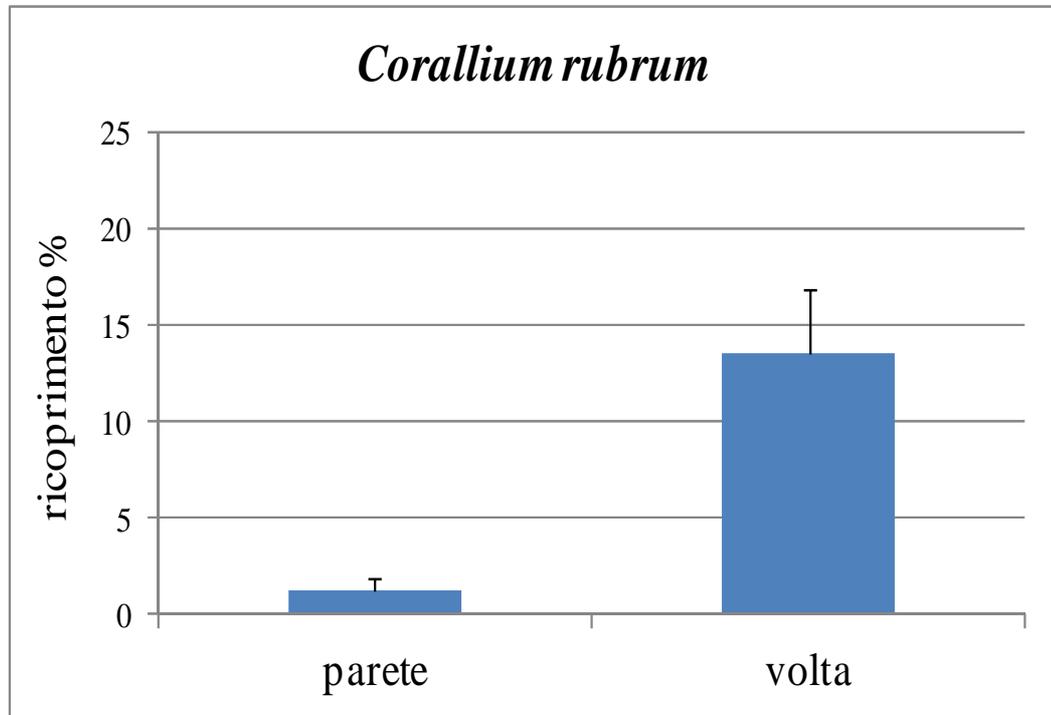


Figura 22: percentuale media di ricoprimento dello cnidario *Corallium rubrum* ( $\pm$  es).

Ciò viene confermato ulteriormente dall'analisi statistica che mostra una significatività per il fattore location (Tab. 14).

Tabella 14: risultati PERMANOVA dello cnidario *Corallium rubrum*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	513,63	513,63	9,5709	0,0066	342	<b>0,0086</b>
<b>Res</b>	12	643,98	53,665				
<b>Total</b>	13	1157,6					

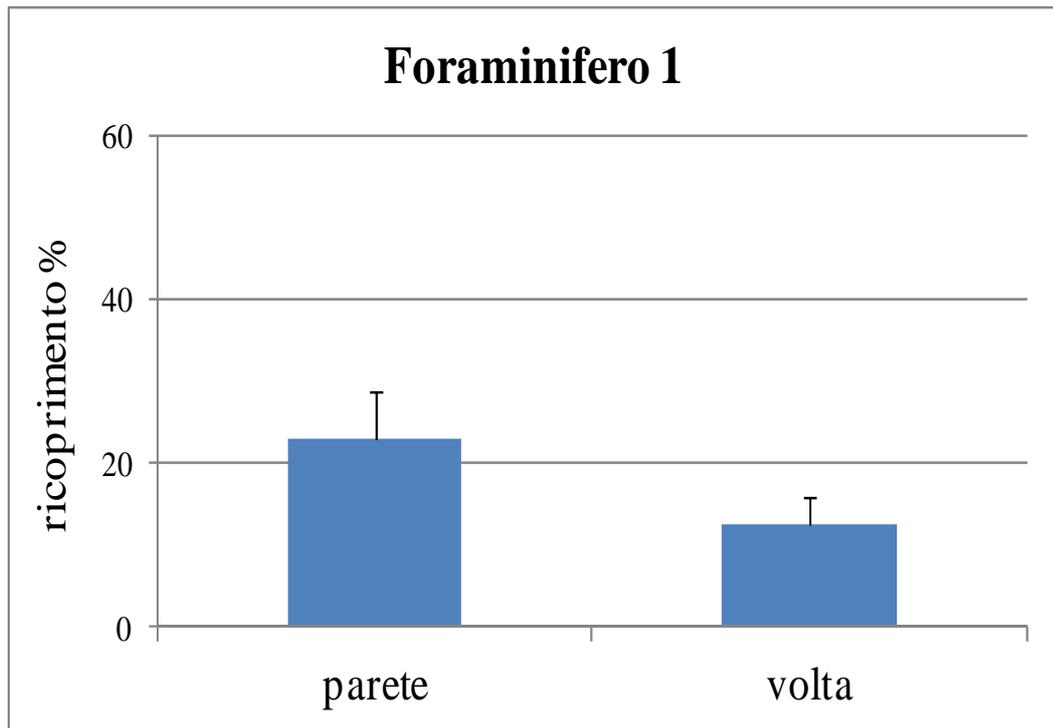


Figura 23: percentuale media di ricoprimento del Foraminifero 1 ( $\pm$  es).

Il Foraminifero 1, a differenza degli altri organismi che si sono insediati sui pannelli, presenta un comportamento opposto preferendo la parete alla volta della grotta (Fig. 23). Nonostante tale attitudine, l'analisi statistica della varianza PERMANOVA evidenzia come non ci siano in realtà delle significatività nella distribuzione di tale organismo (Tab. 15).

Tabella 15: risultati PERMANOVA del Foraminifero 1.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	373,51	373,51	2,9521	0,1136	436	0,1131
<b>Res</b>	12	1518,3	126,53				
<b>Total</b>	13	1891,8					

Tra i molluschi risulta essere molto frequente *Anomia ehippium* che presenta una distribuzione orientata principalmente verso la volta della grotta (Fig. 24).

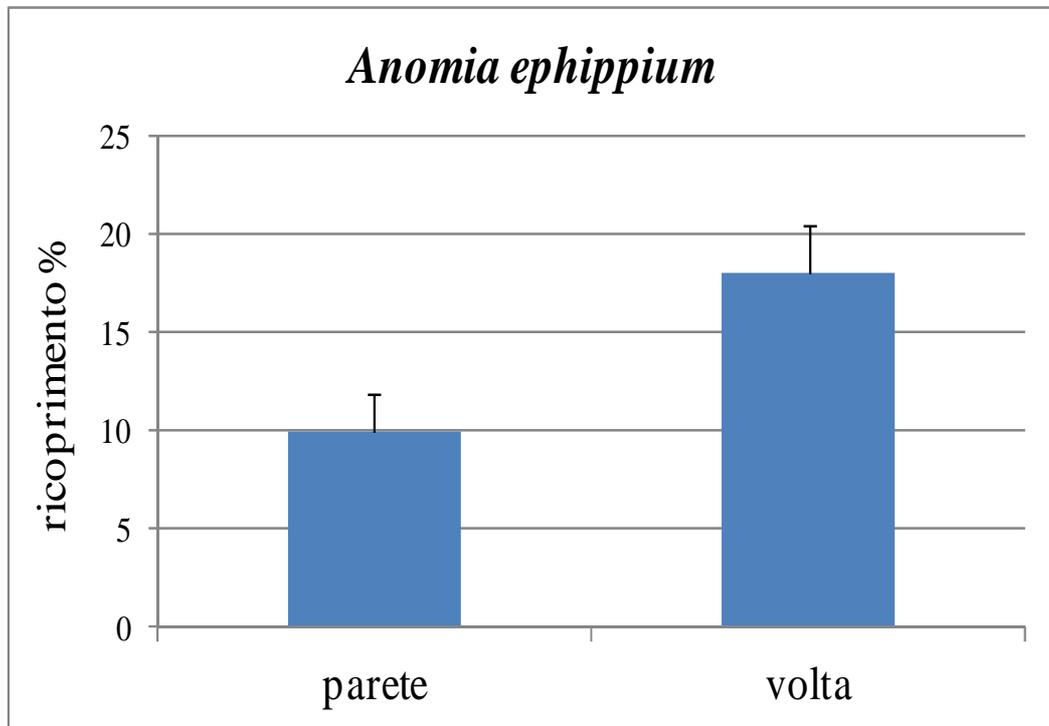


Figura 24: ricoprimento medio percentuale del mollusco *Anomia ehippium* ( $\pm$  es).

L'analisi statistica della varianza dimostra come questa zonazione sia effettivamente significativa (Tab. 16).

Tabella 16: risultati PERMANOVA del mollusco *Anomia ehippium*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	219,43	219,43	5,9422	0,0356	279	<b>0,0293</b>
<b>Res</b>	12	443,13	36,927				
<b>Total</b>	13	662,55					

Anche il mollusco bivalve *Pododesmus patelliformis* risulta avere delle preferenze evidenti nella sua distribuzione insediandosi maggiormente sulla volta della grotta rispetto alla parete (Fig. 25).

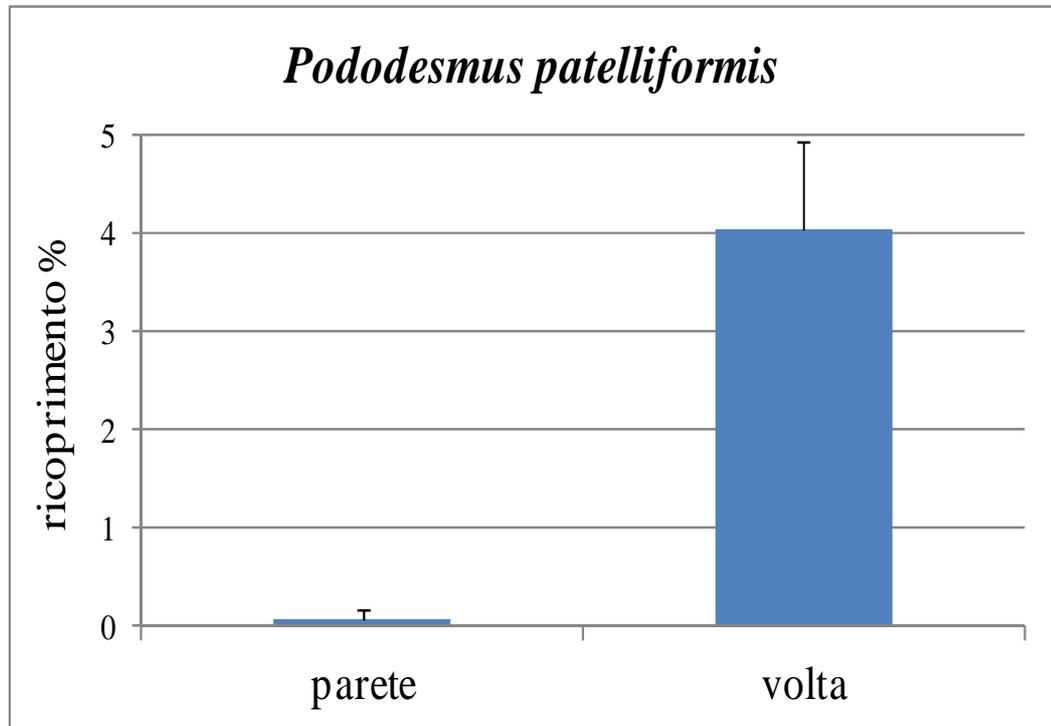


Figura 25: ricoprimento medio percentuale del mollusco *Pododesmus patelliformis* ( $\pm$  es).

Il test PERMANOVA conferma una significatività verso il livello del fattore considerato (Tab. 17).

Tabella 17: risultati PERMANOVA del mollusco *Pododesmus patelliformis*.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Lo</b>	1	53,438	53,438	13,787	0,0028	108	<b>0,003</b>
<b>Res</b>	12	46,513	3,8761				
<b>Total</b>	13	99,951					

### 3.3 Risultati sulla diversità specifica

Il grafico effettuato sulla ricchezza specifica (S) mostra come il numero di specie risulta essere maggiore sulla volta della grotta rispetto alle pareti (Fig. 26).

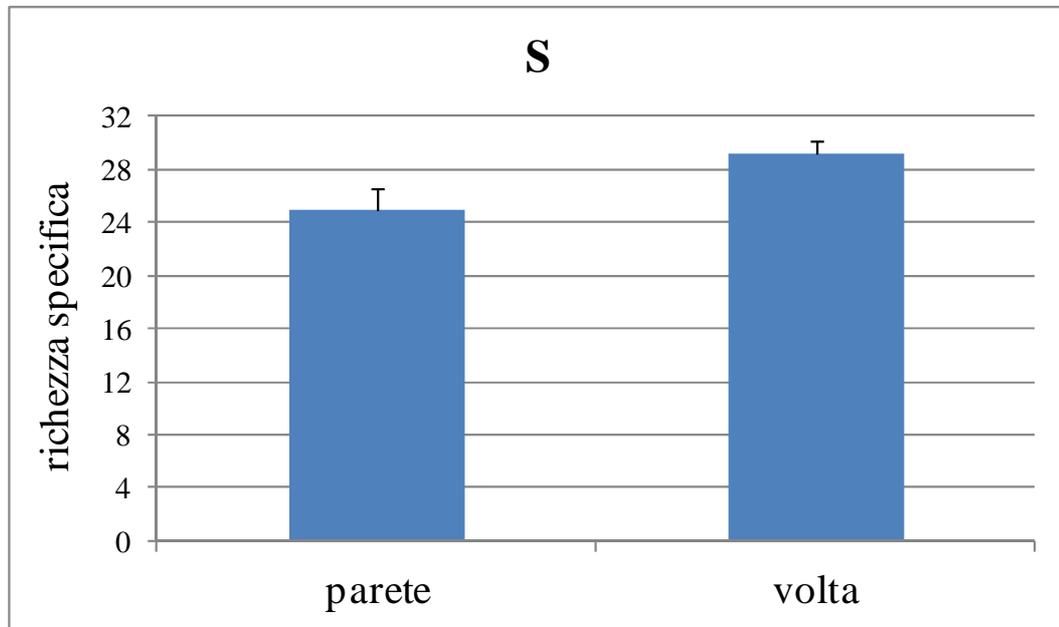


Figura 26: ricchezza specifica S ( $\pm$  es).

L'analisi statistica PERMANOVA evidenzia la significatività di tale differenza (Tab. 18).

Tabella 18: risultati PERMANOVA per la ricchezza specifica.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
Lo	1	58,339	58,339	4,8999	0,0518	41	<b>0,0446</b>
Res	12	142,88	11,906				
Total	13	201,21					

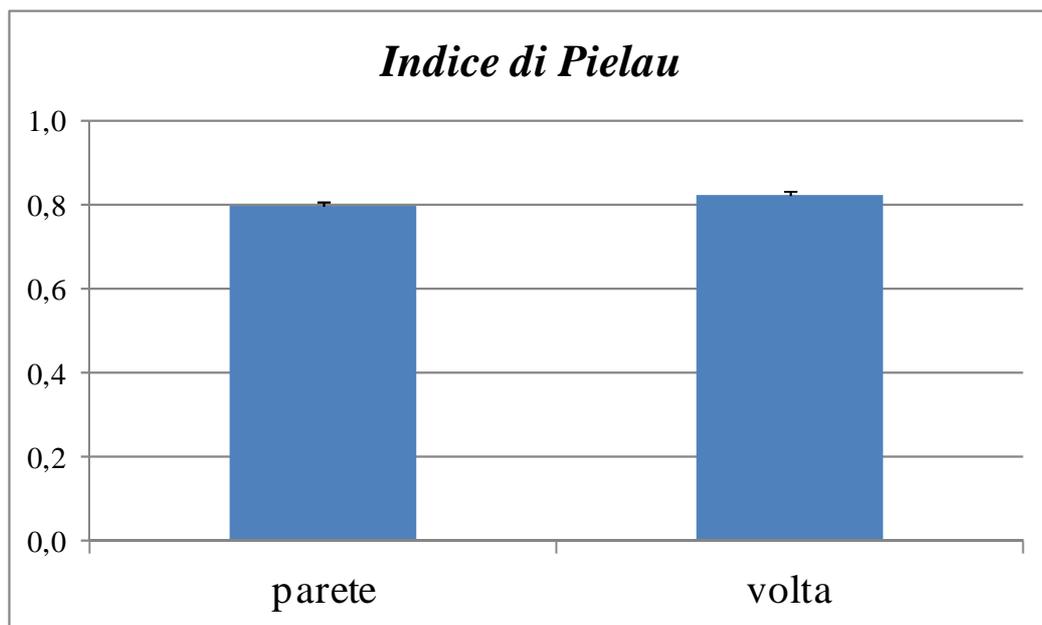


Figura 27: indice di equidistribuzione di Pielau ( $\pm$  es).

L'indice di Pielau non mostra differenze di equidistribuzione tra i popolamenti di volta e parete (Fig. 27) L'analisi statistica conferma tale risultato (Tab. 19).

Tabella 19: risultati PERMANOVA dell'indice di equidistribuzione di Pielau.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
<b>Lo</b>	1	2,62E-03	2,62E-03	3,4933	<b>0,0878</b>	2876
<b>Res</b>	12	8,99E-03	7,49E-04			
<b>Total</b>	13	1,16E-02				

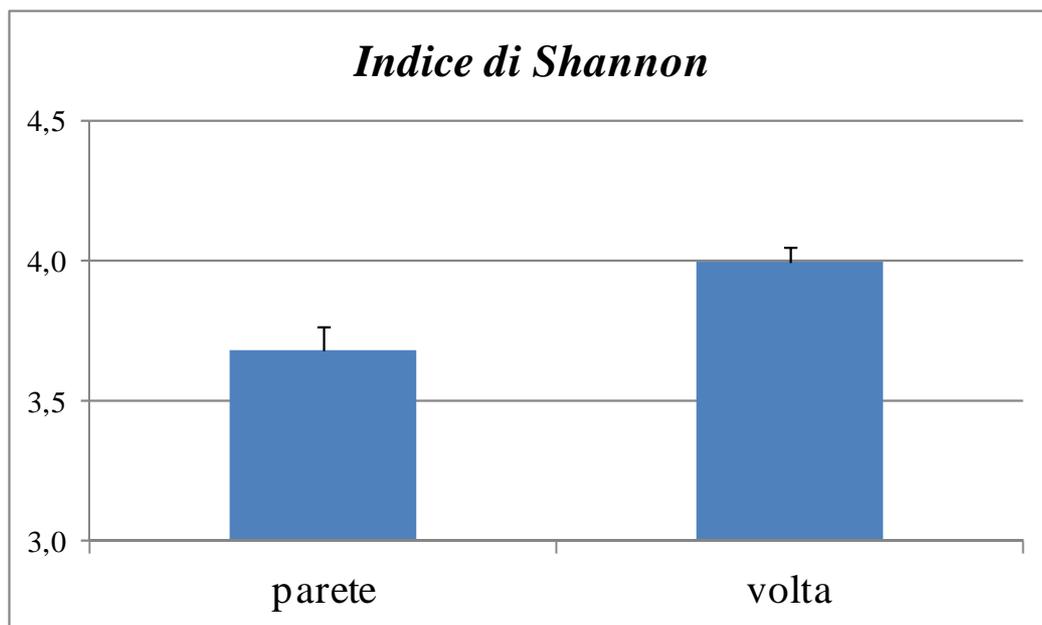


Figura 28: indice di diversità di Shannon ( $\pm$  es).

L'indice di diversità di Shannon mostra valori più elevati sulla volta della grotta rispetto alle pareti (Fig. 28). L'analisi della varianza evidenzia un'alta significatività delle differenze osservate per l'indice preso in esame (Tab. 20).

Tabella 20: risultati PERMANOVA dell'indice di Shannon.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
<b>Lo</b>	1	0,34284	0,34284	10,723	<b>0,0072</b>	2879
<b>Res</b>	12	0,38367	3,20E-02			
<b>Total</b>	13	0,72651				

Tabella 21: tabella riassuntiva risultati PERMANOVA: quando abbiamo trovato meno di 999 permutazioni è stato utilizzato la procedura di Monte Carlo. Abbiamo considerato il valore di  $P < 0,05$  significativo (\*),  $< 0,01$  più che significativo (\*\*),  $< 0,001$  molto significativo (\*\*\*);  $>$  (parete);  $<$  (volta).

	1 df			perm	P(MC)	NS	12 df		Parete vs. Volta
	MS	F	P				resMS		
<i>Foraminifera sp. 1 ind.</i>	373,51	2,952	0,1136	436	0,1131	NS	126,53	>	
<i>Corallium rubrum</i>	513,63	9,571	0,0066	342	<b>0,0086</b>	**	53,67	<	
<i>Spirobranchus triqueter</i>	27,73	0,316	0,5811	185	0,5891	NS	87,66	>	
<i>Spirobranchus polytrema</i>	574,80	11,195	0,0101	347	<b>0,0059</b>	**	51,35	<	
<i>Semivermilla crenata</i>	21,07	2,538	0,1462	63	0,1287	NS	8,30	>	
<i>Serpula concharum</i>	335,75	18,847	0,0017	248	<b>0,0013</b>	**	17,81	<	
<i>Vinaria endoumensis</i>	3545,20	19,659	0,0021	389	<b>0,0010</b>	**	180,34	<	
<i>Protolaeospira striata</i>	207,59	4,226	0,0363	264	0,0621	NS	49,12	<	
<i>Spirorbis marioni</i>	1,93	1,008	0,3404	51	0,3288	NS	1,91	>	
<i>Anomia ephippium</i>	219,43	5,942	0,0356	279	<b>0,0293</b>	*	36,93	<	
<i>Pododesmus patelliformis</i>	53,44	13,787	0,0028	108	<b>0,0030</b>	**	3,88	<	
<i>Bivalvia sp. ind.</i>	0,63	3,562	0,1303	17	0,0876	NS	0,18	<	
<i>Gregarinidra gregaria</i>	34,38	0,110	0,7465	548	0,7504	NS	313,60	<	
<i>Crassimarginatella maderensis</i>	1558,90	7,747	0,0250	391	<b>0,0150</b>	*	201,23	<	
<i>Schizomavella discoidea</i>	3,01	0,033	0,8625	338	0,8569	NS	90,41	<	
Plagioeciidae spp. 1 ind.	22,33	0,234	0,6336	145	0,6411	NS	95,57	>	
<i>Puellina innominata</i>	208,15	7,308	0,0213	246	<b>0,0206</b>	*	28,48	<	
<i>Plagioecia sarniensis</i>	296,01	11,702	0,0054	254	<b>0,0045</b>	**	25,30	<	
<i>Aetea sica</i>	4046,40	30,169	0,0012	685	<b>0,0001</b>	***	134,13	<	
Plagioeciidae sp. 2 ind	9,17	0,456	0,5159	175	0,5176	NS	20,11	<	
<i>Celleporina caliciformis</i>	123,86	11,261	0,0066	176	<b>0,0054</b>	**	11,00	<	
<i>Celleporina caminata</i>	20,55	6,030	0,0137	77	<b>0,0302</b>	*	3,41	<	
Bryozoa sp.2	0,02	3,429	0,1622	3	0,0876	NS	0,01	>	
S	58,34	4,900	0,0518	41	<b>0,0446</b>	*	11,91	<	
J'	0,00	3,493	0,0883	2893		NS	0,00	<	
H'	0,34	10,723	<b>0,0084</b>	2879		**	0,03	<	

Tabella 22: elenco degli organismi campionati.

<b>Phylum</b>	<b>Classe</b>	<b>Ordine</b>	<b>Famiglia</b>	<b>Genere</b>	<b>Specie</b>
Phaeophyta	Phaeophyta ind.	Phaeophyta ind.	Phaeophyta ind.	Phaeophyta ind.	<b>Phaeophyta ind.</b>
Chlorophyta	Chlorophyta ind.	Chlorophyta ind.	Chlorophyta ind.	Chlorophyta ind.	<b>Chlorophyta ind.</b>
Sarcomastigophora	Foraminiferida	Foraminiferida ind.	Foraminiferida ind.	Foraminiferida ind.	<b>Foraminifera sp. 1 ind.</b>
Sarcomastigophora	Foraminiferida	Foraminiferida ind.	Foraminiferida ind.	Foraminiferida ind.	<b>Foraminifera sp. 2 ind.</b>
Cnidaria	Anthozoa	Alcyonacea	Corallidae	Corallium	<i>Corallium rubrum</i>
Cnidaria	Zoantharia	Madreporaria	Caryophyllidae	Caryophyllidae ind.	<b>Caryophyllidae ind.</b>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Spirobranchus	<i>Spirobranchus triqueter</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Spirobranchus	<i>Spirobranchus polytrema</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Semivermilla	<i>Semivermilla crenata</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Serpula	<i>Serpula echinacea</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Serpula	<i>Serpula concharum</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Josephella	<i>Josephella marenzelleri</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Serpula	<i>Serpula vermicularis</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Serpulidae ind.	<b>Serpuloidae sp. ind.</b>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Placostegus	<i>Placostegus crystallinus</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Vinaria	<i>Vinaria endoumensis</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Protolaeospira	<i>Protolaeospira striata</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Janua	<i>Janua pagenstecheri</i>
Anellida	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	Spirorbis	<i>Spirorbis marioni</i>
Anellida	Polychaeta	Polychaeta ind.	Polychaeta ind.	Polychaeta ind.	<b>Polychaeta ind.</b>
Mollusca	Bivalvia	Pectinoida	Anomiidae	Anomia	<i>Anomia ephippium</i>
Mollusca	Bivalvia	Pectinoida	Anomiidae	Pododesmus	<i>Pododesmus patelliformis</i>
Mollusca	Bivalvia	Bivalvia ind.	Bivalvia ind.	Bivalvia ind.	<b>Bivalvia sp. ind.</b>
Arthropoda	Maxillopoda	Sessilia	Balanidae	Balanus	<i>Balanus amphitrite</i>
Arthropoda	Maxillopoda	Sessilia	Balanidae	Balanidae ind.	<b>Balanidae sp. ind.</b>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Flustridae	Gregarinidra	<i>Gregarinidra gregaria</i>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Calloporidae	Crassimarginatella	<i>C. maderensis</i>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Bitectiporidae	Schizomavella	<i>Schizomavella discoidea</i>
Bryozoa	Stenolaemata	Cyclostomatida	Plagioeciidae ind.	Plagioeciidae ind.	<b>Plagioeciidae spp. 1 ind.</b>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Cribrilinidae	Puellina	<i>Puellina innominata</i>
Bryozoa	Stenolaemata	Cyclostomatida	Plagioeciidae	Plagioecia	<i>Plagioecia sarniensis</i>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Aeteidae	Aetea	<i>Aetea sica</i>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Bugulidae	Bugula ind.	<b>Bugula sp. ind.</b>
Bryozoa	Stenolaemata	Cyclostomatida	Plagioeciidae ind.	Plagioeciidae ind.	<b>Plagioeciidae sp. 2 ind.</b>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Celleporidae	Celleporina	<i>Celleporina caliciformis</i>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Celleporidae	Celleporina	<i>Celleporina caminata</i>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp. 1</b>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp.2</b>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp.3</b>
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Onychocellidae	Onychocella	<i>Onychocella marioni</i>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp. 4</b>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp.5</b>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp. 6</b>
Bryozoa	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	Bryozoa ind.	<b>Bryozoa sp. 7</b>
Chordata	Asciacea	Phlebobranchia	Asciidae	Ascidia	<b>Ascidia sp.ind.</b>



## 4 Discussione e conclusione

In questo studio sperimentale è stato utilizzato un approccio tale da permettere di quantificare e distinguere il reclutamento dei popolamenti di organismi sessili bentonici tra la volta e le pareti in un habitat di grotta. Le ipotesi testate sui modelli spaziali dei popolamenti sono state guidate dalla considerazione che, accanto ai gradienti ambientali dettati da fattori fisici e chimici, altre fonti di variabilità devono essere adeguatamente quantificate per descrivere modelli di distribuzione di organismi bentonici nelle grotte sottomarine. Solitamente, infatti, viene data meno importanza alla *patchiness* su micro scala, ritenendo che nelle grotte marine i fattori fisici siano di importanza primaria nel definire la distribuzione degli organismi, mentre le interazioni biotiche assumono un ruolo maggiore in ambienti più favorevoli dove i tassi di reclutamento sono più alti (Balduzzi *et al.*, 1989). Tuttavia la *patchiness* su micro scala è frequente anche in grotte sottomarine. Benedetti-Cecchi *et al.* (1997) hanno mostrato notevoli differenze nella colonizzazione delle specie su una scala di pochi metri; infatti variazioni nell'approvvigionamento di larve e cibo (Airoldi e Cinelli, 1996) e eventi post-insediamento sono stati indicati come i processi che generano questi modelli.

L'identificazione tassonomica delle specie richiede competenze specialistiche e molto tempo. Nonostante ciò, un livello ottimale di identificazione è stato raggiunto per la maggior parte dei briozoi e per i policheti serpuloidi, che rappresentano nel loro insieme la maggior parte degli organismi reclutati sui pannelli. Idrozoi e poriferi, solitamente caratteristici di tale habitat, non sono stati considerati per problemi di conservazione dei pannelli che ha reso difficile se non impossibile la loro identificazione. Questo limita purtroppo, almeno in parte, l'interpretazione dei risultati.

Il primo risultato che emerge è che, osservando il reclutamento sui pannelli, vi sia una netta separazione nella distribuzione degli organismi fra la volta e le pareti della grotta: questa differenza è fortemente evidenziata dalla PCO e anche dall'analisi effettuata sui popolamenti e sull'abbondanza del singolo taxon. Tale discrepanza è anche visibile dall'indice della ricchezza specifica che indica un valore maggiore per la volta della grotta. Anche l'indice di diversità di Shannon mostra un andamento orientato verso la volta con alti valori di significatività e ciò è dovuto al maggior valore di ricchezza

specifica evidenziato sulla volta rispetto all'equidistribuzione data dall'indice di Pielou che non evidenzia significatività per il fattore località.

Gli organismi vegetali, come confermato da letteratura, sono praticamente assenti e questo è riconducibile essenzialmente alla brusca diminuzione della luminosità che si osserva all'interno della grotta e che fa di questo fattore ambientale un protagonista nel discriminare la loro abbondanza.

Passando all'analisi sulle singole specie i risultati mostrano come molte di queste tendano ad essere reclutate con valori significativamente maggiori sulla volta della grotta rispetto alle pareti.

La distribuzione degli organismi, oltre che dai più ovvi e consolidati gradienti ambientali, come l'idrodinamismo e la luminosità, è fortemente influenzata dai processi ecologici. I fattori abiotici e biotici interagiscono insieme nel definire la struttura dei popolamenti e risultano essere l'uno dipendente dall'altro. Infatti, le ipotesi che possiamo fare potrebbero riguardare l'ecologia stessa delle specie che presenta cicli di distribuzione larvale con caratteristiche che tendono a prediligere l'habitat di volta piuttosto che quello di parete. Come sappiamo, il ciclo vitale è rappresentato dalla fase di *supply* o dispersione larvale, cioè l'arrivo delle larve al substrato, dalla fase di *settlement* o insediamento, che comprende l'ancoraggio della larva ad un substrato idoneo e alla sua successiva metamorfosi, e per ultima la fase del *recruitment* o reclutamento, la quale prevede l'ingresso dell'individuo nella popolazione.

Circa 90000 specie marine bentoniche (circa l'80% delle specie marine) producono larve planctoniche (Thorson, 1964) che trascorrono una quantità di tempo variabile (da minuti a mesi) nella colonna d'acqua prima delle fasi di *settlement* e di *recruitment* su una vasta gamma di substrati (Harrold *et al.*, 1991; Richmond e Seed, 1991). A causa della variabilità nella mortalità di questi organismi durante questa fase, il numero di individui che sopravvive per il reclutamento fluttua marcatamente nello spazio e nel tempo (Underwood e Fairweather, 1989; Todd, 1998). L'insediamento larvale è anche mediato da biofilm naturali, da complesse associazioni di batteri, da diatomee bentoniche, da protozoi, da funghi e da materiale organico che modifica la superficie chimica (Characklis e Cooksy, 1983; Richmond e Seed, 1991; Faimali *et al.*, 2004), influenzando fortemente il reclutamento larvale di invertebrati (Todd e Keough, 1984; Harder *et al.*, 2002).

Durante le fasi di dispersione e insediamento molte larve possono compiere piccoli spostamenti per selezionare il substrato più idoneo, altre si lasciano trasportare in modo

passivo. È possibile che le larve scivolino lungo le pareti senza riuscire ad aderire ed attaccarsi al substrato, mentre raggiunte la volta siano facilitate nell'insediamento. Questa ipotesi potrebbe essere una delle tante che potrebbero spiegare la distribuzione degli organismi osservata.

In uno studio di Virgilio *et al.* (2006), riguardante le variazioni spazio-temporali nei popolamenti del coralligeno del Mar Mediterraneo in funzione dell'inclinazione del substrato, viene evidenziato come il reclutamento di *Corallium rubrum* avvenga maggiormente nei substrati orientati verso il basso rispetto a quelli verticali. L'ipotesi avanzata dagli autori riguarda il comportamento delle larve che, nuotando per cercare un substrato idoneo, tendono ad avere un andamento geonegativo e fotonegativo. Questa ipotesi è in accordo con precedenti studi di laboratorio (Weinberg, 1979) e con quelli genetici (Abbiati *et al.*, 1993). Nel nostro studio, il reclutamento di *Corallium rubrum* più abbondante osservato sulla volta della grotta, potrebbe essere spiegato attraverso tale ipotesi.

Per quanto riguarda i policheti serpulidi e i briozoi, molti studi condotti in grotte sottomarine evidenziano come questi organismi seguano un gradiente lungo un asse longitudinale verso le parti più confinate della grotta con forti differenze tra l'esterno e l'interno. La maggior parte degli studi sottolineano come la diminuzione della luce, del regime idrodinamico e della disponibilità di cibo siano fattori determinanti nella diminuzione delle abbondanze e densità e nei cambiamenti nella composizione di questi organismi (Gili *et al.*, 1986). Ad esempio, soprattutto nei settori di grotta più confinati, gli organismi occupano una parte limitata dello spazio disponibile presentando inoltre un basso tasso di reclutamento (Ott e Svoboda, 1977; Harmelin, 1985a; Harmelin *et al.*, 1985; Harmelin, 1997, 2000).

I pannelli di reclutamento sono stati lasciati in grotta per un periodo di circa 20 mesi, durante questo periodo, a seconda della biologia delle diverse specie, si sono susseguiti diversi eventi riproduttivi. Molte specie si riproducono per tutto l'anno, ma in generale la riproduzione è stagionale, essendo particolarmente influenzata dalla temperatura delle acque; in alcune specie il periodo riproduttivo è diverso a seconda delle località: *Spirobranchus triqueter*, ad esempio, si riproduce tutto l'anno nelle nostre acque, ma solo durante i mesi caldi in Nord Atlantico (Bianchi, 1981).

I serpulidi *Spirobranchus polytrrema*, *Serpula concharum* e *Vinearina endoumensis* presentano una distribuzione con valori di abbondanza più elevati verso la volta della grotta.

Tra i briozoi trovati sui nostri pannelli *Crassimarginatella maderensis*, *Schizomavella discoidea*, Plagioeciidae spp. 1 ind., *Puellina innominata*, *Plagioecia sarniensis*, *Aetea sica*, Plaegiocidiidae spp. 2 ind., *Celleporina calciformis*, *Celleporina caminata* risultano essere più abbondanti sulla volta della grotta.

Tuttavia, gli altri serpulidi e briozoi trovati nei nostri pannelli non evidenziano questo pattern di distribuzione presentando un andamento omogeneo tra la volta e le pareti della grotta.

Non sono ancora ben noti i cicli vitali e i comportamenti larvali di molte di queste specie, tuttavia il loro reclutamento potrebbe dipendere fortemente dall'interazione dei fattori biotici e abiotici che avvengono in questo ambiente anche su una scala di pochi metri.

Il movimento della larva può essere orientato attivamente o passivamente da stimoli luminosi, da gradienti dettati dalla gravità, da gradienti di salinità o di temperatura e dalle caratteristiche morfologiche ed ecologiche delle singole specie.

Le maggiori abbondanze osservate sulla volta della grotta sono supportate da risultati ottenuti da vari studi sperimentali che evidenziano come il reclutamento di invertebrati bentonici avvenga maggiormente in superfici in cui l'inclinazione del substrato è orientata verso il basso rispetto a zone di pareti verticali (e.g. Glasby, 1999; Irving e Connell, 2002). Tale meccanismo non è stato ancora ben chiarito e potrebbe riguardare l'interazione di fattori abiotici e biotici. Questa distribuzione potrebbe essere spiegata, anche per questi organismi, da un comportamento larvale di tipo geonegativo e fotonegativo che potrebbe favorire il loro reclutamento e insediamento sulla volta della grotta rispetto alle pareti (Maldonado e Young, 1996; Maughan, 2001).

I molluschi bivalvi che sono stati ritrovati nel nostro studio appartengono alle specie *Anomia ephippium* e *Pododesmus patelliformis*. Dai risultati, entrambe le specie sembrano prediligere l'habitat di volta. I bivalvi sono organismi filtratori e l'apporto alimentare è determinante nello strutturare il popolamento. Questa considerazione ci porta ad ipotizzare che tali organismi potrebbero trovare sulla volta delle condizioni caratterizzate da una minore sedimentazione e quindi più favorevoli per il reclutamento. Inoltre, come per le altre specie, il comportamento larvale deve essere preso in considerazione come una delle numerose ipotesi che possiamo seguire per indagare la distribuzione degli invertebrati sessili bentonici.

In conclusione, i risultati ottenuti mostrano come la maggior parte degli organismi tendano ad insediarsi maggiormente sulla volta e le ipotesi fatte a riguardo potrebbero

giustificare tale distribuzione. Sarebbe necessario sviluppare ulteriori studi che considerino altre scale spazio-temporali per riuscire ad indagare come il reclutamento delle singole specie avvenga in maniera diversa in porzioni di grotta differenti e come si evolvono i popolamenti nel tempo, ad esempio, tramite campionamenti fotografici ripetuti. Inoltre, potrebbe essere anche molto utile tenere monitorati i fattori abiotici nel tempo, come la temperatura, la velocità di corrente, la luminosità, la salinità, il pH e la sedimentazione per capire come questi variano durante le fasi di permanenza dei pannelli in grotta, in modo da riuscire a capire quali sono le forze che maggiormente contribuiscono nel differenziare la distribuzione delle popolazioni e dei popolamenti in tale habitat.

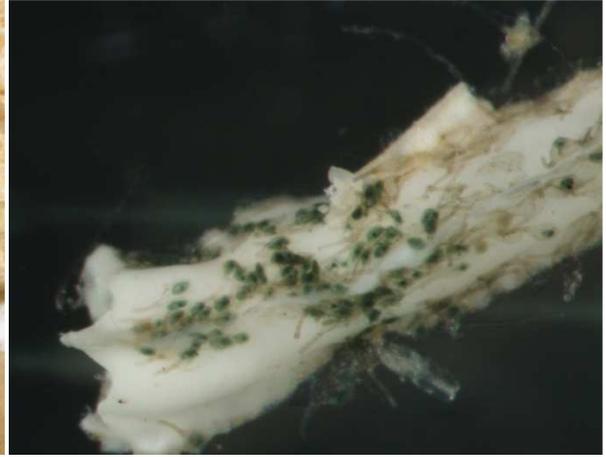
I risultati ottenuti sono utili per identificare e impostare priorità nella conservazione delle grotte sottomarine, che sono tra i pochi habitat marini protetti dalla comunità europea. Infatti le grotte sottomarine sono considerate come habitat di interesse comunitario per la Direttiva Habitat dell'Unione Europea (92/43 CEE) e l'originalità e l'unicità di tali ambienti rendono questi habitat particolarmente meritevoli di protezione e gestione.



# 5 Appendice



Phaeophyta ind.



Chlorophyta ind.



Foraminiferida spp. 1 ind.



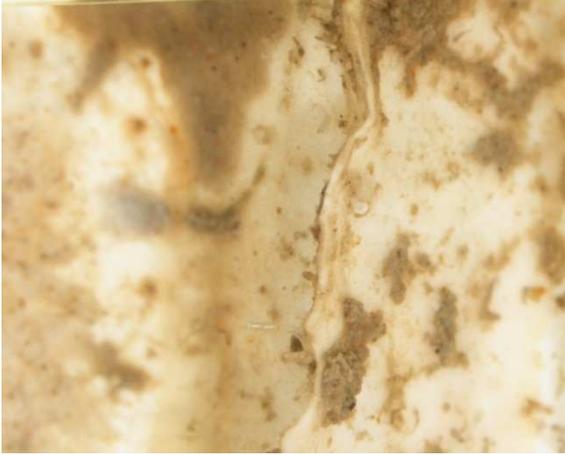
Foraminiferida spp. 2 ind.



*Corallium rubrum*



Caryophyllidae ind.



*Spirobranchus triqueter*



opercolo di *Spirobranchus triqueter*



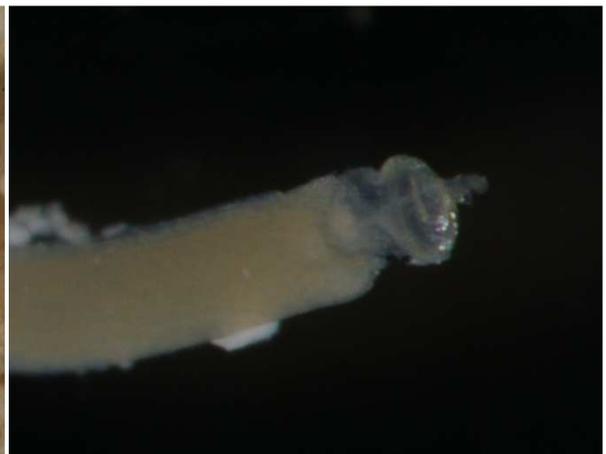
*Spirobranchus polytremata*



opercolo di *Spirobranchus polytremata*



*Semivermilla crenata*



opercolo di *Semivermilla crenata*



*Josephella marenzelleri*



opercolo di *Josephella marenzelleri*



*Serpula concharum*



opercolo di *Serpula concharum*



*Serpula echinacea*



Serpuloidae sp. ind.



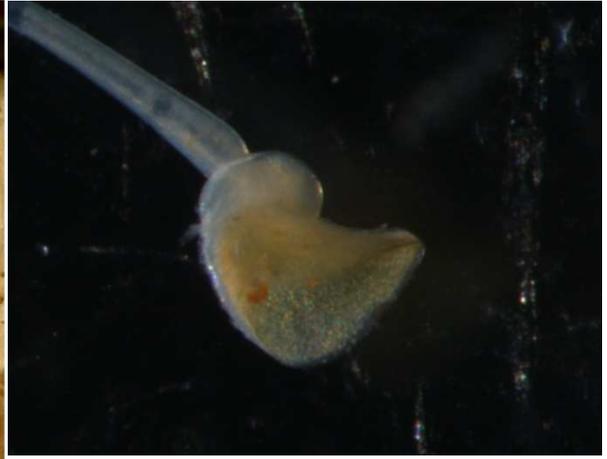
*Serpula vermicularis*



opercolo di *Serpula vermicularis*



*Placostegus crystallinus*



opercolo di *Placostegus crystallinus*



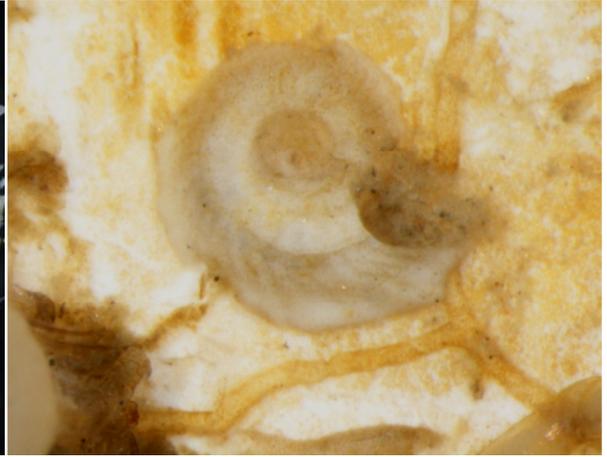
*Vinearia endoumensis*



*Protolaeospira striata*



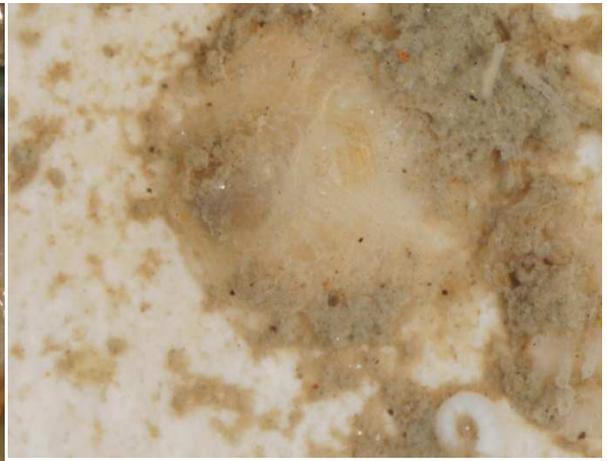
*Janua pagenstecheri*



*Spirorbis marioni*



*Ascidia* spp. ind



*Anomia ephippium*



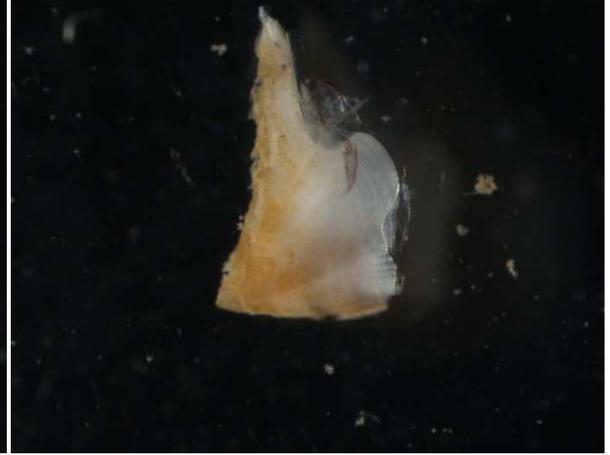
*Pododesmus patelliformis*



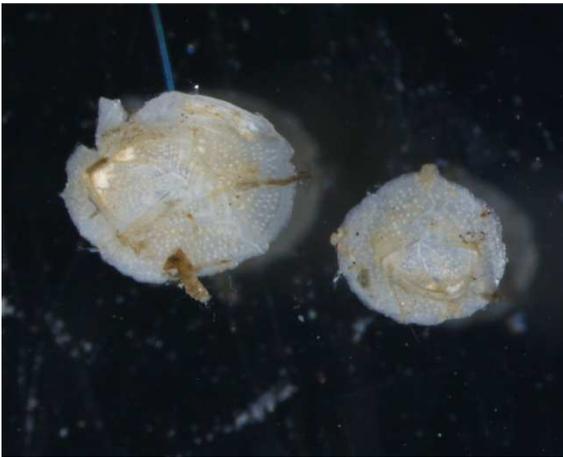
*Bivalvia* spp. ind.



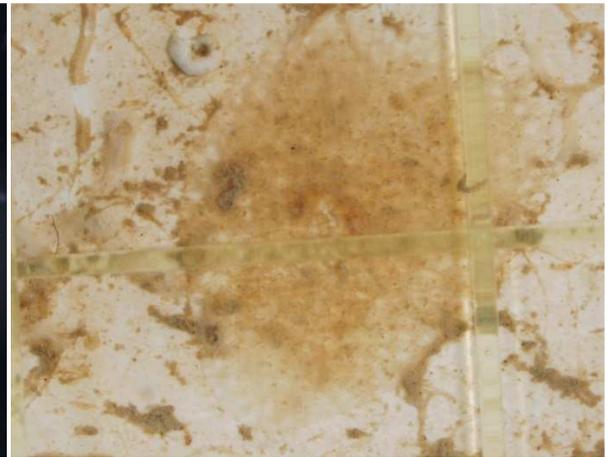
*Balanus amphitrite*



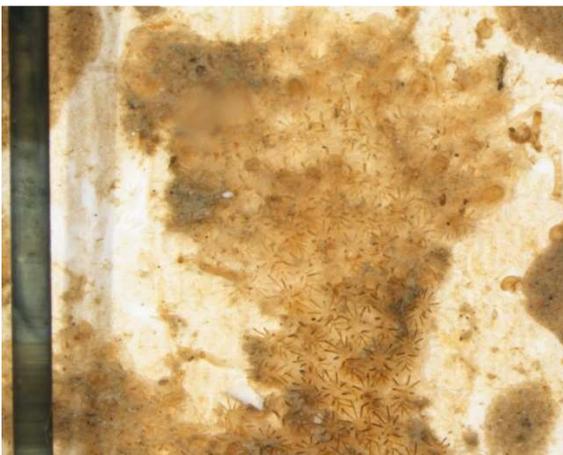
scuta di *Balanus amphitrite*



Balanidae spp.ind.



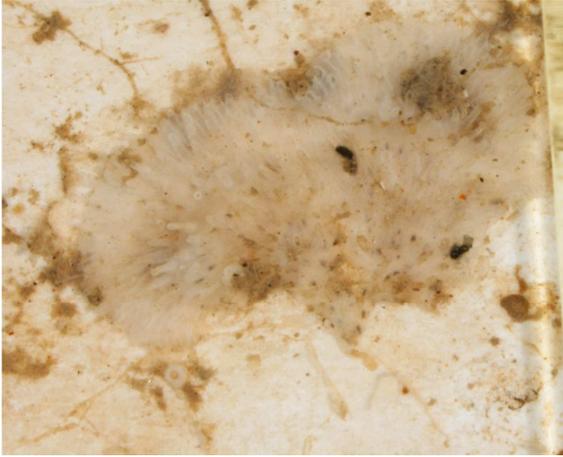
*Gregarinidra gregaria*



*Crassimarginatella maderensis*



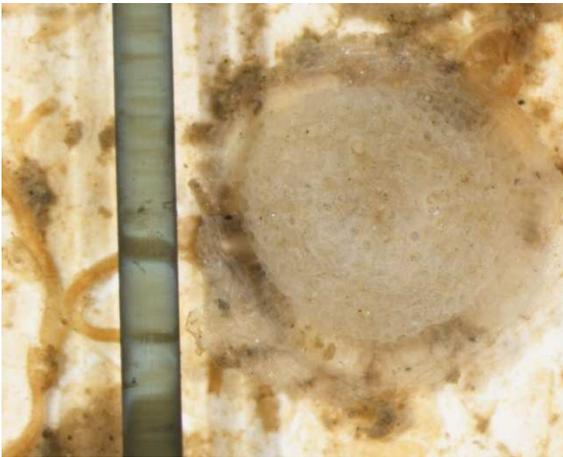
*Schizomavella discoidea*



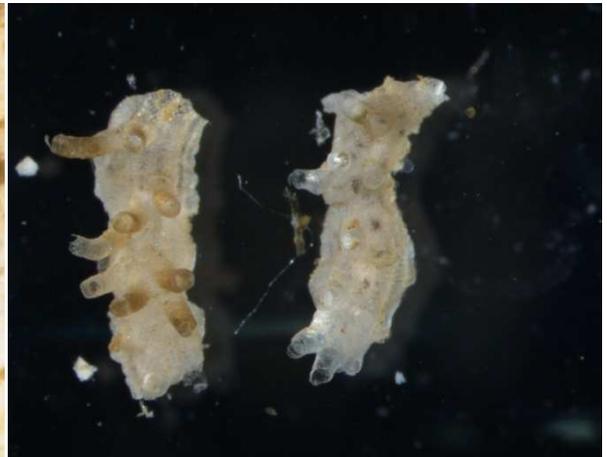
Plagioeciidae spp. 1 ind



*Puellina innominata*



*Plagioecia sarniensis*



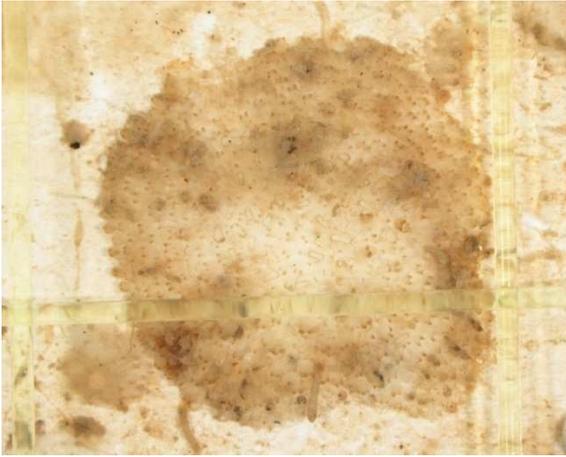
*Aetea sica*



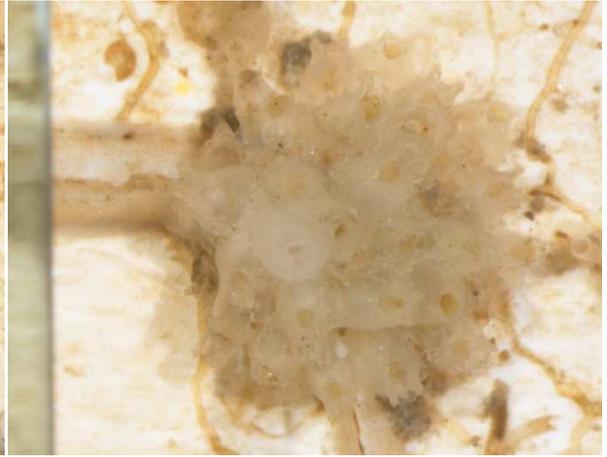
Bugula sp. ind.



Plagioeciidae sp. 2 ind.



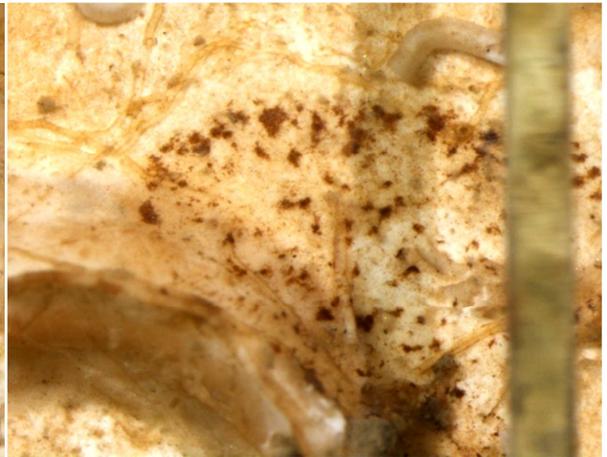
*Celleporina caliciformis*



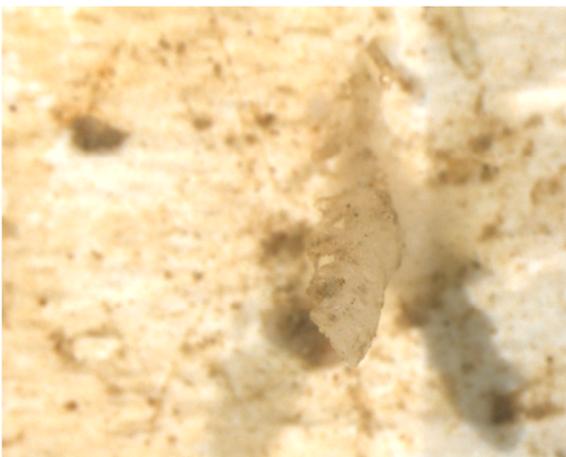
*Celleporina caminata*



*Onychocella marioni*



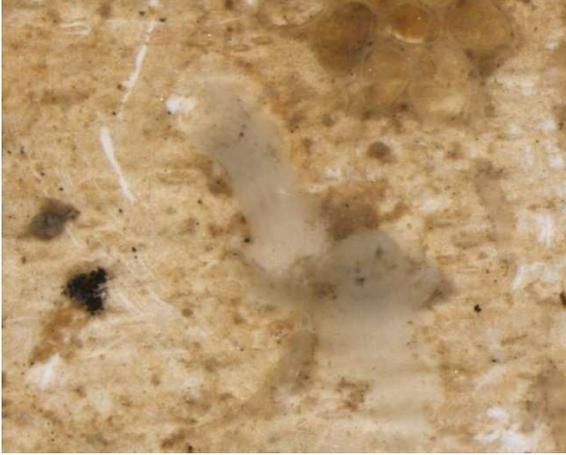
Bryozoa spp. 1



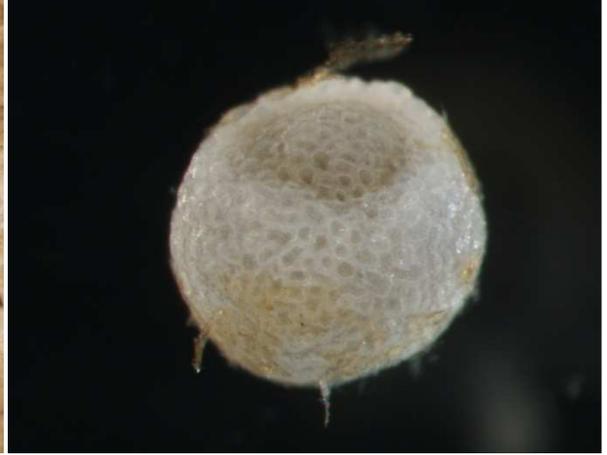
Bryozoa spp. 2



Bryozoa spp. 3



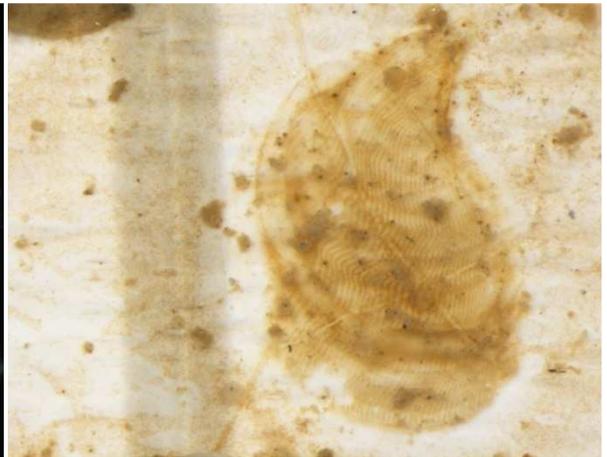
Bryozoa spp. 4



Bryozoa spp. 5



Bryozoa spp. 6



Bryozoa spp. 7



## 6 Bibliografia

- Abbiati M., Santangelo G., Novelli S. (1993). Genetic variation within and between two Tyrrhenian populations of the Mediterranean alcyonarian *Corallium rubrum*. Marine Ecology Progress Series 95: 245-250.
- Airoldi L., Cinelli F. (1996). Variability of fluxes of particulate material in a submarine cave with chemolithoautotrophic inputs of organic carbon. Marine Ecology Progress Series 139(1-3): 205-217.
- Alvisi M., Colantoni P., Forti P. (1994). Grotte marine d'Italia. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia.
- Anderson M.J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecology 26(1): 32-46.
- Anderson M.J. (2003). PCO: a FORTRAN computer program for principal coordinate analysis. Department of Statistics, University of Auckland, Auckland.
- Anderson M.J. (2005). PERMANOVA. Permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland, Auckland.
- Anderson M.J., Willis T.J. (2003). Canonical analysis of principal coordinates: a new ecologically meaningful approach for constrained ordination. Ecology 84: 511-525.
- Antonioli F., Ferranti L., Taddei Ruggiero E. (1992). Caratteri ecologico-geomorfologici e zonazione dei popolamenti a brachiopodi nella grotta della Scaletta (Capo Palinuro, Italia) Seminario di Geologia Subacquea. Dipartimento di Scienze della Terra di Napoli, 30 giugno 1992.
- Antonioli F., Forti P. (2003). Geologia, geomorfologia e paleontologia In: Cicogna F., Bianchi C.N., Ferrari G., Forti P. (Eds.). Grotte marine. Cinquant'anni di ricerca in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio: 43-51.
- Balduzzi A., Bianchi C.N., Boero F., Cattaneo-Vietti R., Pansini M., Sarà M. (1989). The suspensionfeeder communities of a Mediterranean Sea cave In: Ros J.-D. (Ed.). Topics in Marine Biology. Scientia Marina, 53: 387-395.

- Balduzzi A., Boero F., Cattaneo R., Pansini M., Pessani D., Pronzato R., Sarà M. (1980). Ricerche sull'insediamento dello zoobenthos in alcune grotte marine della Penisola Sorrentina. *Memorie di Biologia Marina e di Oceanografia*.
- Balduzzi A., Pansini M., Pronzato R. (1985). Estimation par relèvements photographiques de la distribution de spongiaires et bryozoaires dans une grotte sous-marine du Golfe de Naples. *Rapport et Procès-Verbaux des Réunion. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, Monaco*.
- Belloni S., Bianchi C.N. (1982). Policheti d'alcune grotte marine della Penisola Sorrentina (Golfo di Napoli). *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*.
- Benedetti-Cecchi L., Airoidi L., Abbiati M., Cinelli F. (1998). Spatial variability in the distribution of sponges and cnidarians in a sublittoral marine cave with sulphur-water springs. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 78(1): 43-58.
- Benedetti-Cecchi L., Airoidi L., Abbiati M., Cinelli F. (1997). Exploring the causes of spatial variation in an assemblage of benthic invertebrates from a submarine cave with sulphur springs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 208(1-2): 153-168.
- Bianchi C.N. (1981). Policheti serpuloidi: guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque lagunari e costiere italiane. *Consiglio Nazionale delle Ricerche*.
- Bianchi C.N. (1994). *Biologia delle grotte sottomarine* In: Fiorentini A. (Ed.). *Mare ed ecologia*. Provincia di Genova, U.R.P.I. (Unione Regionale Province Liguri) e *Mare Vivo*: 35-44.
- Bianchi C.N. (2003). Flora e fauna: lineamenti generali e prospettive. In: Cicogna F., Bianchi C.N., Ferrari G., Forti P. (Eds.). *Grotte marine. Cinquant'anni di ricerca in Italia*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio: 137-146.
- Bianchi C.N., Cattaneo-vietti R., Cinelli F., Morri C., Pansini M. (1996). Lo studio biologico delle grotte sottomarine del Mediterraneo: conoscenze attuali e prospettive. *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*.

- Bianchi C.N., Cevasco M.P., Diviacco C., Morri C. (1988). Primi risultati di una ricerca ecologica sulla Grotta sottomarina di Bergeggi (Savona). *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*.
- Bianchi C.N., Cinelli F., Morri C. (1995). The biology of submarine caves with sulphur springs (the "Grotta Azzurra" of Capo Palinuro, southern Italy). *Cave Diver*.
- Bianchi C.N., Morri C. (1994). Studio bionomico comparativo di alcune grotte marine sommerse: definizione di una scala di confinamento. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, Bologna.
- Bianchi C.N., Morri C. (1999). Biologia ed ecologia delle grotte sottomarine. In Barbieri F. (Ed.). *Speleologia marina*. Gribaudo: 113-160.
- Bibiloni M.A., Gili J.M., Ros J.D. (1984). Les coves submarines de les illes Medes. In Ros J.D., Olivella I., Gili J.M. (Eds.). *Els sistemes naturals de les illes Medes*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona: 707-737.
- Bowden D.A., Clarke A., Peck L.S., Barnes D.K.A. (2006). Antarctic sessile marine benthos: colonisation and growth on artificial substrata over three years. *Marine Ecology Progress Series* 316: 1-16.
- Caley M.J., Carr M.H., Hixon M.A., Hughes T.P., Jones G.P., Menge B.A. (1996). Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 477-500.
- Cantone G., Fassari G., Brigandi S. (1979). Ricerche sui policheti e molluschi di una grotta semisommersa del litorale catanese. *Animalia*, Catania.
- Cattaneo-Vietti R., Russo G.F. (1987). Molluscs from Submarine caves of the Sorrentine Peninsula (Southern Tyrrhenian Sea). *Stygologia*.
- Cattaneo R. (1981). Molluscs fauna of some marine caves of the Sorrentina Peninsula (Naples). *Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, Monaco.
- Cattaneo R. (1982). Opisthobranch molluscs of the Sorrentine Peninsula caves. *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*.
- Characklis W.G., Cooksy K.E. (1983). Biofilms and microbial fouling. In A.I. L. (Ed.). *Applied Microbiology*. Press New York 93-138.
- Cinelli F., Fresi E., Mazzella L., Pronzato M., Pansini M., Svoboda A. (1977). Distribution of benthic phyto- and zoocoenoses along a light gradient in a superficial marine cave. In Keegan, O'Céidigh (Eds.). *Biology of benthic organisms*. Pergamon Press, Oxford: 173-183.

- Colantoni P. (1976). Aspetti geomorfologici e genesi delle grotte sottomarine. Publ. staz. zool. Napoli.
- Connel J.H. (1985). The consequences of variation in initial settlement vs. post-settlement mortality in rocky intertidal communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 93: 11-45.
- Culver D.C. (1985). Trophic relationships in aquatic cave environments. *Stygologia*.
- Di Geronimo I., La Perna R., Rosso A., Sanfilippo R. (1993). Popolamento e tanatocenosi bentonica della Grotta dell'Accademia (Ustica, Mar Tirreno meridionale). *Il Naturalista Siciliano*.
- Drach P. (1948). Premieres recherches en scaphandre autonome sur le peuplement des facies rocheau de la zone littorale profonde. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*.
- Faimali M., Garaventa F., Terlizzi A., Chiantore M., Cattaneo-Vietti R. (2004). The interplay of substrate nature and biofilm formation in regulating *Balanus amphitrite* Darwin, 1854 larval settlement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 306: 37-50.
- Fassari G., Mollica E. (1991). Una nuova specie di Serpulidae in grotta. *Animalia, Catania*.
- Feoli E., Bressan G. (1972). Affinità floristica dei tipi di vegetazione bentonica della Cala di Mitigliano (Massa Lubrense, Napoli) *Giornale Botanico Italiano*.
- Fichez R. (1991). Suspended particulate organic-matter In a mediterranean submarine cave. *Marine Biology* 108(1): 167-174.
- Gaines S.D., Bertness M.D. (1992). Dispersal of juveniles and variable recruitment in sessile marine species. *Nature* 360(6404): 579-580.
- Giaccone G., Drago D. (1989). Bionomia della grotta dell'Accademia. *Quaderni dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche subacquee, Ustica*.
- Gili J.M., Riera T., Zabala M. (1986). Physical and biological gradients in a submarine cave on the western mediterranean coast (northeast Spain). *Marine Biology* 90(2): 291-297.
- Glasby T.M. (1999). Effects of shading on subtidal epibiotic assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 234(2): 275-290.
- Harder T., Lam C., Qian P.Y. (2002). Induction of larval settlement on the polychaete *Hydroides elegans* by marine biofilms: an investigation of monospecific diatom films as settlement cues. *Marine Ecology Progress Series* 229: 105-112.

- Harmelin J.G. (1969). Bryozoaires des grottes sous-marines obscures de la région marseillaise. Faunistique et écologie. Tethys.
- Harmelin J.G. (1985a). Bryozoan dominated assemblages in Mediterranean cryptic environments. In. Nielsen C., Larwood G.P. (Eds.). Bryozoans: Ordovician to Present. Olsen & Olsen, Fredensborg: 135-143.
- Harmelin J.G. (1985b). Organisation spatiale des communautés sessiles des grottes sous-marines de Méditerranée. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, Monaco.
- Harmelin J.G. (1997). Diversity of bryozoans in a Mediterranean sublittoral cave with bathyal like conditions: role of dispersal processes and local factors. Marine Ecology Progress Series 153: 139-152.
- Harmelin J.G. (2000). Ecology of cave and cavity dwelling bryozoans. In. Herrera Cubilla Z., Jackson J.B.C. (Eds.). Proceeding of the 11th International Bryozoology Association Conference. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa (Panama): 38-53.
- Harmelin J.G., Vacelet J., Vasseur P. (1985). Les grottes sous-marines obscures: un milieu extreme et un remarquable biotope refuge. Tethys.
- Harrold C., Lisin S., Light K.H., Tudor S. (1991). Isolating settlement from recruitment of sea urchin Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 147: 81-94.
- Hiscock K., Breckels M. (2007). Marine biodiversity hotspots in the UK: a report identifying and protecting areas for marine biodiversity. WWF.
- Idato E., Cinelli F., Fresi E., Mazzella L., Scipione M.B. (1983). Distribuzione dei popolamenti bentonici di substrato duro lungo un gradiente di luce in una grotta marina superficiale dell'Isola d'Ischia: Molluschi. Archivio di Oceanografia e Limnologia, Venezia.
- Irving A.D., Connell S.D. (2002). Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitats: algal versus invertebrate dominated assemblages. Marine Ecology Progress Series 245: 83-91.
- Lapointe L., Bourget E. (1999). Influence of substratum heterogeneity scales and complexity on a temperate epibenthic marine community. Marine Ecology Progress Series 189: 159-170.
- Lewin R. (1986). Supply-Side Ecology. Science 234(4772): 25-27.

- Macquart-Moulin C., Passelaigue F. (1982). Mouvements nyctéméraux de *Hemimysis speluncola* Ledoier, espèce cavernicole et de *Leptomysis lingvura* G. O. Sars, espèce non cavernicole (Crustacea, Mysidacea). Téthys.
- Maida M., Sammarco P.W., Coll J.C. (1995). Effects of soft corals on scleractinian coral recruitment .1. Directional allelopathy and inhibition of settlement. Marine Ecology Progress Series 121(1-3): 191-202.
- Maldonado M., Young C.M. (1996). Effects of physical factors on larval behaviour, settlement and recruitment of four tropical demosponges Marine Ecology Progress Series 138: 169-180.
- Maughan B.C. (2001). The effects of sedimentation and light on recruitment and development of a temperate, subtidal, epifaunal community. Exp Mar Biol Ecol 256: 59-71.
- Mazzella L., Cinelli F., Fresi E., Pansini M., Ponticelli M.P., Pronzato R. (1979). Distribution of benthic phyto- and zoocenoses along a light gradient in a superficial marine cave: diatoms. Rapports et Procés-Verbaux des Réunions. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, Monaco.
- Morri C. (1982). Cnidari Antozoi delle isole Gallinaria e Bergeggi (Mar Ligure). Istituto di Zoologia dell'Università di Genova.
- Morri C., Bianchi C.N., Damiani V., Peirano A., Romeo G., Tunesi L. (1986). L'ambiente marino tra punta della Chiappa e Sestri Levante (Mar Ligure): profilo ecotipologico e proposta di carta bionomica. Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova.
- Morri C., Bianchi C.N., Degl'Innocenti F., Diviaco G., Forti S., Maccarone M., Niccolai I., Sgorbini S., Tucci S. (1994). Gradienti fisico-chimici e ricoprimento biologico nella Grotta Marina di Bergeggi (Mar Ligure). Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Bologna.
- Ott J.A., Svoboda A. (1977). Sea caves as model systems for energy flow studies in primary hard bottom communities. Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli.
- Palazzi S., Villari A. (2000). Molluschi e Brachiopodi delle grotte sommerse del Taorminese. La Conchiglia, Roma.

- Pech D., Ardisson P.L., Bourget E. (2002). Settlement of a tropical marine epibenthic assemblage on artificial panels: Influence of substratum heterogeneity and complexity scales. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 55(5): 743-750.
- Pérès J.M., Picard J. (1949). Notes sommaires sur le peuplement des grottes sous-marines de la région de Marseille. *Comptes Rendus Sommaire Séances de la Société Biogéographique*.
- Pessani D. (1982). Distribuzione ed ecologia dei Madreporari in alcune grotte della penisola sorrentina. *Naturalista Siciliano*.
- Pessani D. (1994). I Madreporari (Cnidari, Antozoi) nelle grotte della penisola sorrentina, Napoli. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, Bologna.
- Pignatti S., De Cristini P., Rizzi L. (1967). Le associazioni algali della Grotta delle Viole nell'isola di S. Domino (Isole Tremiti) *Giornale Botanico Italiano*.
- Richmond M.D., Seed R. (1991). A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling. *Biofouling* 3: 151-168.
- Riedl R. (1966). *Biologie der Meereshohlen*. Paul Parey, Hamburg and Berlin.
- Rule M.J., Smith S.D.A. (2005). Spatial variation in the recruitment of benthic assemblages to artificial substrata. *Marine Ecology Progress Series* 290: 67-78.
- Salghetti-Drioli U., Fradà Orestano C., Cinelli F., Colantoni P. (1985). Les peuplement végétaux de quelques grottes de la mer Tyrrhénienne centrale et méridionale: note préliminaire. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, Monaco.
- Santangelo G. (2002). Natural population and community structure dynamics: the "supply-side ecology", theory and field data. In: Cerrai P., Freguglia P., Pellegrini C. (Eds.). *The application of mathematics to the science of nature*. Kluwer, N.Y.: 179-187.
- Sarà M. (1974). Il popolamento delle grotte marine e sua protezione. *Atti IV Simposio Nazionale sulla Conservazione della Natura*, Bari.
- Sarà M. (1978). Il popolamento delle grotte marine: interesse di una salvaguardia. *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*.
- Scinto A., Bertolino M., Calcinai B., Heute-Stauffer C., Previati M., Romagnoli T., Cerrano C. (2009). Role of *Paramuricea clavata* forest in modifying the coralligenous assemblages. *Symposium on the Coralligenous and other calcareous bio-concretions of the Mediterranean Sea*, Tabarka.

- Segre A.G. (1956). Molluschi marini del Lago Lamormora nella grotta di Nettuno (Alghero, Sardegna). Atti della Società Toscana di Scienze Naturale, Pisa.
- Starmulhner F. (1968). Investigations about the mollusc fauna in submarine caves. Proceedings of Symposium on Mollusca, Cochin (India).
- Taddei Ruggiero E. (1994). Brachiopods from bio- and thanatocoenoses of the Isca submarine cave (Sorrento Peninsula). Bollettino della Società Paleontologica Italiana.
- Taddei Ruggiero E. (1996). Notes on living brachiopod ecology in a submarien cave off the Campania coast, Italy. In: Copper P., Jisuo J. (Eds.). Brachiopods, Proceedings of the third International Brachiopod Congress, Sudbury (Ontario) 2-5 settembre 1995. Rotterdam: Balkema: 227-231.
- Taddei Ruggiero E., Annunziata G., Rosso A., Sanfilippo R. (1996). Il bentos nella grotta sottomarina dell'Isca (Penisola Sorrentina): evidenze faunistiche della sua evoluzione recente. Società Italiana di Ecologia, Atti.
- Thorson G. (1964). Light as an ecological factor in the dispersal and settlement of larvae of marine bottom invertebrates. *Ophelia*.
- Todd C.D. (1998). Larval supply and recruitment of benthic invertebrates: do larvae always disperse as much as we believe? *Hydrobiologia* 375/376: 1-21.
- Todd C.D., Keough M.J. (1984). Larval settlement in hard substratum epifaunal assemblages: a manipulative field study of the effects of substratum filming and the presence of incumbents. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 181: 159-187.
- Tortonese E. (1978). On two seastars living in the Mediterranean submarine caves. Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli.
- Turner S.J., Todd C.D. (1993). The early development of epifaunal assemblages on artificial substrata at 2 intertidal sites on an exposed rocky shore in St Andrews bay, NE Scotland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 166(2): 251-272.
- Underwood A.J., Fairweather P.G. (1989). Supply-side ecology and benthic marine assemblages. *Trends in Ecology & Evolution* 4: 16-20.
- Virgilio M., Airoidi L., Abbiati M. (2006). Spatial and temporal variations of assemblages in a Mediterranean coralligenous reef and relationships with surface orientation. *Coral Reefs* 25: 265-272.

Weinberg S. (1979). The light-dependent behaviour of planula larvae of *Eunicella singularis* and *Corallium rubrum* and its implication for octocorallian ecology. *Bijdragen tot de Dierkunde* 49: 16-30.



# 7 Ringraziamenti

Questa tesi è frutto dell'impegno e del sostegno di tante persone che mi hanno accompagnato in questo lungo percorso e mi hanno permesso di diventare un.... Biologo Marino! E' quindi necessario ringraziare chi in un modo o nell'altro mi ha aiutato ad intraprendere questa strada, che rappresenta un grosso traguardo nella mia vita...

Un ringraziamento importante va al Prof. Marco Abbiati, che durante le sue lezioni mi ha trasmesso un interesse per il mondo dell'ecologia marina e per la possibilità che mi ha offerto di approfondire tale argomento tramite un elaborato finale.

Un grazie speciale va a Massimo Ponti, che mi ha seguito e supportato durante questo percorso, chiarendo i miei dubbi, incoraggiandomi fino alla fine e che mi ha fatto innamorare del mondo della subacquea attraverso un "occhio" più scientifico! Lo stesso vale per la Dott.ssa Federica Costantini, che ad ogni mia richiesta di aiuto ha saputo rispondermi in assoluta rapidità. Un grazie va dato anche al Prof. Carlo Cerrano, che attraverso i suoi campionamenti mi ha permesso di raccogliere e analizzare i dati del mio lavoro, e a Gioia Di Camillo che è stata fondamentale per il riconoscimento dei tanto difficili briozoi.

Un grazie va agli amici incontrati in questo lungo percorso, ai colleghi di facoltà ,e ai vecchi amici, che durante questo periodo a Ravenna sono stati un po' messi da parte per "l'amore della scienza"!

Un grazie infinito va alla mia Francesca, che mi ha aiutato tantissimo attraverso il suo appoggio tecnico e soprattutto morale, sopportandomi nei numerosi momenti di isteria che mi appartengono, e che mi ha portato alla consapevolezza che il destino siamo noi!

Il GRAZIE più grande va alla mia famiglia, che ha sempre creduto in me e che mi ha permesso di diventare la persona che sono oggi; a mia madre e a mio padre che mi hanno fatto inseguire il mio sogno fine alla fine, che mi hanno fatto capire che nella vita bisogna mettere la passione in tutto, che hanno capito che l'acqua è stata parte di me già da quando da piccolissimo mi sono tuffato dalla barca senza braccioli; a Caterina che è sempre stata un grande esempio da seguire e che si è dimostrata essere non solo una sorella ma anche una grande amica; ai miei giovani zii e ai miei nonni infiniti.

Per ultimo voglio ringraziare il mare perchè è ,e sempre sarà, il mio compagno di vita...

