



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale

BIOLOGIA MARINA

**BIODIVERSITÀ DEI POPOLAMENTI ANIMALI E MACROALGALI  
ASSOCIATI CON L'ALGA ROSSA CALCAREA *CORALLINA*  
*BERTEROI* SULLA RIVIERA DEL CONERO**

**BIODIVERSITY OF THE ANIMAL AND MACROALGAL  
ASSEMBLAGES ASSOCIATED WITH THE CALCAREOUS RED  
ALGA *CORALLINA BERTEROI* ON THE CONERO RIVIERA**

Tesi di Laurea Magistrale  
di:

**Emanuele Sgalla**

Relatore  
Chiar.mo Prof.

**Fabio Rindi**

Correlatore:

Prof.ssa **Cristina Gioia di Camillo**

Sessione **Straordinaria Febbraio 2024**

Anno Accademico **2023/2024**

# INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1 Le alghe rosse coralline: diversità, struttura ed importanza come organismi biocostruttori e nel ciclo del carbonio in ambienti costieri marini .....	3
1.2 Le coralline articolate .....	5
1.3 I popolamenti macroalgali della Riviera del Conero e la distribuzione delle coralline articolate in questa area .....	8
1.4 Scopo della tesi.....	10
2. MATERIALI E METODI.....	11
2.1 Area di studio .....	11
2.2 Disegno e metodo di campionamento.....	12
2.3 Analisi di laboratorio .....	13
Morfologia e fenologia di <i>Corallina berteroi</i> .....	13
Analisi delle comunità associate .....	13
2.4 Analisi dei dati.....	14
3. RISULTATI.....	15
4. DISCUSSIONE.....	25
5. CONCLUSIONI .....	28
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI.....	30

# 1. INTRODUZIONE

## ***1.1 Le alghe rosse coralline: diversità, struttura ed importanza come organismi biocostruttori e nel ciclo del carbonio in ambienti costieri marini***

Le alghe rosse coralline appartengono alla sottoclasse Corallinophycidae (phylum Rhodophyta, classe Florideophyceae), suddivisa negli ordini Corallinales, Corallinapetrales, Hapalidiales e Sporolithales, e sono caratterizzate da una parete cellulare calcificata, che conferisce loro una consistenza calcarea e resistenza contro fenomeni di stress e disturbo, a volte, anche estremi, in habitat soggetti a forte idrodinamismo (quali la zona intertidale delle coste rocciose marine). La calcificazione avviene tramite la deposizione di cristalli di calcite ad alto contenuto di magnesio (Mg) nella parete cellulare. Da un punto di vista morfologico, si distinguono tre tipi principali di coralline: 1) coralline incrostanti; 2) coralline articolate; 3) rodoliti. Nel primo caso, il tallo è formato da una crosta strettamente aderente al substrato, mentre nel secondo caso, la parte basale aderente al substrato è formata da una crosta o da stoloni ramificati e da essa si formano fronde erette simili a piccoli alberi, composte da una sequenza di sezioni calcificate (intergenicula) e non calcificate più corte (genicula). Nel caso dei rodoliti, il tallo consiste di un nodulo calcareo di forma sferica o irregolarmente ramificata. Tali aggregati possono formarsi avvolgendo un piccolo ciottolo o un frammento di conchiglia, nel qual caso, l'alga costituisce non meno del 50% del nodulo, oppure il nodulo può essere costituito solamente dall'alga. Tali noduli non sono attaccati al substrato, dove rotolano spinti dalle correnti, finché non diventano troppo pesanti o si disgregano in frammenti più piccoli che possono essere incorporati in biocostruzioni algali. Vista la loro ampia distribuzione a livello globale, la calcificazione rende importante il contributo delle coralline nel budget del carbonio inorganico globale in ecosistemi a bassa profondità (Foster, 2001; Mackenzie et al., 2004;

Martin and Gattuso, 2009). Alcune specie partecipano alla formazione degli “algal turfs”, feltri algali che costituiscono dei popolamenti con la struttura di tappeti sottili, che tendono a svilupparsi su substrati naturali e artificiali in ambienti sottoposti a diversi tipi di disturbo, sia naturale che antropogenico (Torras et al., 2016). Alcune specie di alghe incrostanti sono tra i primi colonizzatori di rocce nude in habitat marini eufotici (Dethier, 1994; Kaehler and Williams, 1997; Littler, 1972). Specie di alghe coralline, sia incrostanti che articolate, si ritrovano anche tra le specie presenti nel sottostrato di popolamenti macroalgali con struttura a canopy, formati da macroalghe erette di grandi dimensioni; queste comunità sono tipiche di reef rocciosi in mari temperati (Airoldi, 2000; Coleman, 2003; Maggi et al., 2011). La calcificazione rende alcune specie di coralline importanti organismi biocostruttori, capaci di formare substrati calcarei biogenici con una complessa struttura tridimensionale. Questo fenomeno è particolarmente importante nel Mar Mediterraneo, dove sono presenti alcune importanti biocostruzioni endemiche formate da coralline, quali i “trottoirs” di *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie e le concrezioni coralligene. Tra gli habitat intertidali bentonici, i reef biogenici sono di particolare interesse, visto che queste strutture carbonatiche tridimensionali promuovono la biodiversità marina, creando spazi e nicchie ecologiche (Hiscock, 2014). Organismi calcarei come alghe coralline, coralli, policheti, molluschi, briozoi e spugne, fungendo da ingegneri ecosistemici, possono variare, direttamente o indirettamente, la disponibilità di risorse per altre specie, modificando mantenendo e creando habitat (Jones et al., 1994). Essi influenzano direttamente gli habitat, procurando rifugi, aree di foraggiamento e di “nursery” e substrati per la crescita oppure, indirettamente, mitigando gli stress fisici e modificando le interazioni tra specie (Menge, 1995). L'inquinamento antropico e variazioni delle condizioni idrodinamiche e sedimentologiche possono portare a un cambiamento ecologico: da una dominanza di organismi calcarei ad una di alghe carnose (Kroeker et al.,

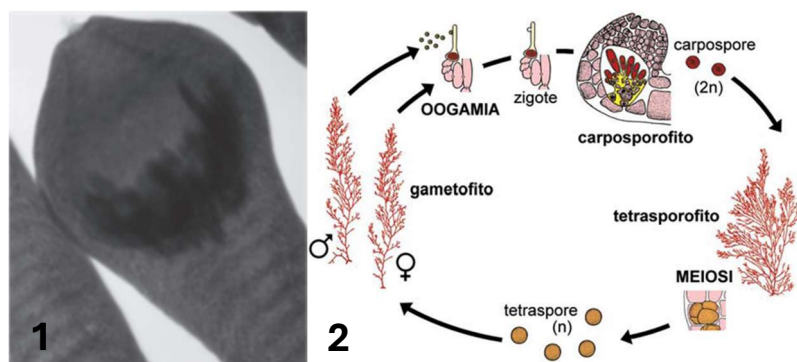
2012) filamentose o laminari come le alghe verdi della famiglia Ulvaceae. Il tipo di calcite delle coralline è più suscettibile alla dissoluzione rispetto alla calcite a basso contenuto di Mg, calcite pura e aragonite (Basso, 2012; Ries, 2011), esponendo, potenzialmente, queste alghe a maggiori rischi dovuti all'acidificazione oceanica. Sarebbe utile studiare ulteriormente e monitorare certe specie di alghe coralline, non solo per le loro caratteristiche di ingegneri ecosistemici, ma anche per la resistenza all'inquinamento antropico, produzione di sostanze antimicrobiche, competizione con alghe brune dell'ordine Fucales, che formano comunità con maggiore biodiversità, dominanza su substrati artificiali esposti, associazione con specie dall'alto valore nutritivo, aliene (alghe come *Asparagopsis* spp. e animali come *Pseudonereis anomala*) e/o erbivori produttori di "barren" (come i ricci *Paracentrotus lividus* e *Arbacia lixula*).

### **1.2 Le coralline articolate**

La struttura tipica delle coralline articolate permette a queste alghe di essere robuste ma al contempo flessibili, e di resistere quindi anche a forti sollecitazioni meccaniche. Come le coralline incrostanti, possono colonizzare substrati viventi e non viventi, a volte, anche i loro stessi epifiti (come è accaduto in alcuni campioni analizzati in questo studio). Queste alghe possono aumentare temporaneamente la complessità strutturale dei propri ecosistemi, rappresentando habitat o zone di rifugio vantaggiose per certe specie. In ogni caso, le loro strutture calcaree non sono paragonabili alle biocostruzioni da coralline incrostanti, vista la maggiore rigidità e persistenza dei talli di queste ultime. Il ciclo vitale delle coralline articolate si svolge secondo il caratteristico ciclo trigenetico delle Florideophyceae (isomorfo o eteromorfo, a seconda della specie) (Figura 1), in cui una generazione aploide (gametofito) si riproduce sessualmente e due generazioni diploidi (carposporofito e tetrasporofito) si riproducono asessualmente tramite spore (Graham et al., 2018). Le strutture riproduttive maschili e femminili (gametangi) si trovano su talli diversi e si sviluppano in concettacoli

(strutture a forma di vaso, solitamente localizzate agli apici di rami laterali) (Figura 2). Dopo la fecondazione, lo zigote si sviluppa, in situ, sul gametofito femminile e forma il carposporofito. In certi gruppi di alghe rosse, esso produce delle estroflessioni per raggiungere apposite cellule del gametofito, dette ausiliarie, per generare altri carposporofiti (fenomeno importante per aumentare il numero di carpospore, visto che nelle alghe rosse i gameti maschili non sono flagellati e si ritiene che il tasso di fecondazione sia basso). Il carposporofito produce carpospore diploidi, la cui germinazione genera il tetrasporofito. Il tetrasporofito sviluppa i tetrasporangi, i quali producono tramite meiosi quattro aplanospore aploidi. Le tetraspore, una volta rilasciate, germinano rigenerando gametofiti sia maschili che femminili. Nel Mediterraneo, specie di coralline articolate possono sostituire le alghe brune fucoidi del complesso *Cystoseira s.l.* (che sono organismi molto sensibili) in situazioni caratterizzate da disturbi di origine antropica. In questi casi le specie di coralline articolate (di solito riportate come *Ellisolandia elongata* (Ellis & Solander) K.R. Hind & G.W. Saunders) diventano dominanti e formano feltri che occupano ampi tratti di substrato. Nonostante la loro ampia diffusione, si conosce molto poco sulla composizione e sul funzionamento dei popolamenti di coralline articolate (più in generale, come sottolineato da Rindi et al. 2019, la maggior parte degli studi su alghe coralline fa riferimento a specie in zone tropicali e nel Mediterraneo, per la maggior parte, riguarda il bacino occidentale). Gli aspetti principali su cui si sono focalizzati gli studi sulle coralline articolate in Mediterraneo sono la risposta di queste alghe ai cambiamenti climatici, in particolare in relazione alla acidificazione oceanica (Asnaghi et al., 2013; Cox et al., 2015, 2017a,b; Marchini et al., 2019; Martin et al., 2013a,b; Martin and Gattuso, 2009; Kroeker et al., 2012; Porzio et al., 2011) e allo stress termico (Anthony et al., 2008; Cornwall et al., 2017; Fine et al. 2017; Guy-Haim et al. 2016; Koch et al., 2013; Marchini et al., 2019; Martin and Hall-Spencer, 2017; Nannini et al. 2015) le loro risposte fisiologiche (Martin et al., 2006,

2013; Martin and Gattuso, 2009), la loro mineralogia e calcificazione (Agegian, 1985; Cox et al., 2015, 2017a,b; Diaz-Pulido et al., 2014; Egilsdottir et al., 2013; Kamenos et al., 2008, 2016; Martin et al. 2008; Nash et al., 2015, 2016; Palmiéri et al., 2015; Ragazzola et al., 2019) e gli effetti sugli stadi vitali iniziali (Agegian, 1985; Cox et al., 2017; Cumani et al., 2010; Kamenos et al., 2016; Kroeker et al., 2012; Kuffner et al., 2008; Porzio et al., 2011, 2013). Gli studi sulle popolazioni animali associate alle coralline articolate mediterranee, per la maggior parte, si sono focalizzati specificamente sui taxa con il maggior numero di specie o individui, di solito, crostacei (superordine Peracarida), molluschi e policheti (Buršic et al., 2023; Guerra-García et al., 2009, 2011; Izquierdo et al., 2011; Lehmann et al., 2021; López, 2019, 2022; Privitera et al., 2011; Ruiz Villaespesa et al., 2023; Saenz-Arias et al., 2022; Tena et al., 2000; Zakhama-Sraieb et al., 2011) oppure le hanno esaminate genericamente in relazione all'inquinamento antropico e ai cambiamenti climatici (Arévalo et al., 2007; Mangialajo et al., 2008; Marchini et al., 2019; Melero et al., 2017; Pinedo et al., 2015; Ragazzola et al., 2021). Le specie di coralline articolate che sono state esaminate in questi studi sono *E. elongata* e *Corallina officinalis* Linnaeus. La conoscenza è tuttavia ancora molto incompleta su diversi aspetti delle coralline mediterranee in generale, nonostante alghe di questo gruppo rappresentino i principali biocostruttori in habitat rocciosi.



**Fig. 1-2:** 1) Concettacoli di *C. berteroi*, (Pardo et al. 2015), 2) Ciclo riproduttivo delle Florideophyceae isomorfo (Pasqua et al. <https://www.piccin.it/it/botanica/2417-botanica-generale-e-diversita-vegetale-9788829929795.html>)

### **1.3 I popolamenti macroalgali della Riviera del Conero e la distribuzione delle coralline articolate in questa area**

Le più comuni alghe calcaree nel Nord-Adriatico sono coralline articolate, che si ritrovano anche in ambienti di transizione e più protetti (es. pozze di scogliera, barriere frangiflutto e pontoni nei porti). In questa area, le principali comunità di alghe rosse calcaree sono le fasce di *Corallina*. La zona della Riviera del Conero (Ancona, Italia), presenta una comunità macroalgale composta da non meno di 178 specie (32 Chlorophyta, 34 Ochrophyta, 112 Rhodophyta) (Rindi et al., 2020). La composizione specifica delle comunità macroalgali in questa zona è cambiata a causa del deterioramento ambientale dovuto all'urbanizzazione dell'area di Ancona, dei cambiamenti climatici e della comparsa di specie aliene. La principale specie di corallina articolata nella zona è *Corallina berteroi* Montagne ex Kützing, una specie appartenente alla famiglia Corallinaceae, ordine Corallinales (Figura 3). È composta da una crosta aderente al substrato (perenne) e diverse fronde articolate ed erette. Questa specie è distribuita sulle coste rocciose di molte regioni temperate del mondo (Guiry and Guiry 2024). In Mediterraneo, è stata riportata per la prima volta da Walker et al., (2009) come *Corallina caespitosa* R.H. Walker, J. Brodie & L.M. Irvine. Successivamente *C. caespitosa* è stata considerata un sinonimo di *Corallina ferreyrae* E.Y Dawson, Acleto & Foldvik (Bustamante et al., 2019) e, in seguito, allo studio di Calderon et al. (2021), di *C. berteroi*, che rappresenta il nome attualmente accettato per questa specie (Guiry and Guiry, 2024). Le fronde di *C. berteroi* sono alte 3-4 cm e sono caratterizzate da una ramificazione regolarmente pennata, con rami laterali separati da spazi cospicui (Pardo et al., 2015). Gli intergenicula (segmenti calcificati) sono a forma di ventaglio o trapezoidali; quelli terminali sono principalmente triforcati, occasionalmente con 4-5 ramificazioni. In osservazione al microscopio, si nota che gli intergenicula sono composti da fino a 15 strati cellule midollari. I concettacoli, sono, per la maggior parte, pedicellati, ovoidali o piriformi e, occasionalmente, il loro ostiolo è formato su



una protrusione a forma di becco (Pardo et al., 2015). *C. berteroi* è morfologicamente simile ad altre due specie di coralline articolate ampiamente diffuse in Mediterraneo, *E. elongata* e *C. officinalis*, da cui si distingue per alcuni dettagli della ramificazione, della forma e dimensioni degli intergenicula e dei concettacoli, nonché in base a differenze in sequenze di DNA (Pardo et al., 2015). Essendo la specie stata scoperta in Mediterraneo piuttosto recentemente, non ci sono ancora studi riguardanti questa specie nel Mediterraneo. È tuttavia probabile che la distribuzione di *C. berteroi* in Mediterraneo sia più ampia di quanto attualmente riconosciuto e che alcune segnalazioni di *E. elongata* disponibili in letteratura siano in realtà da riferire a *C. berteroi*. In generale, la flora macroalgale della Riviera del Conero è stata poco studiata e molti degli studi pubblicati sono piuttosto datati, risalendo principalmente ai periodi 1941-1946 e 1964-1976 (Rindi et al., 2020, e riferimenti citati in questo lavoro). In questi studi, le segnalazioni di coralline articolate sono state riferite a *E. elongata* (riportata con il vecchio nome di *Corallina elongata*). Osservazioni fatte negli ultimi anni hanno indicato invece che *C. berteroi* è l'unica specie di corallina articolata attualmente esistente sulla Riviera del Conero, dove è ampiamente distribuita nella zona mesolitorale e in molte pozze di scogliera. Nella letteratura disponibile, tuttavia, non vengono fornite informazioni dettagliate riguardo la morfologia e fenologia di questa specie e i popolamenti algali e animali ad essa associati. Il lavoro svolto in questa tesi ha avuto lo scopo di coprire parzialmente tale lacuna di conoscenze.



**Fig.3** *C. berteroi* (fronde e croste basali) nell'area di studio

#### **1.4 Scopo della tesi**

Questo lavoro ha avuto l'obiettivo di produrre nuovi dati sulla morfologia vegetativa e riproduttiva di *C. berteroi*, e descrivere la composizione e la loro variabilità spazio-temporale della comunità macroalgale e della macrofauna associate a popolazioni di questa specie.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Area di studio

Lo studio è stato condotto nel periodo tra marzo e giugno 2023 in due siti della spiaggia del Passetto ad Ancona indicati rispettivamente come sito A (43.619970 N, 13.530672 E) e sito B (43.620735 N, 13.529317 E) (Figura 4). Il primo è una piccola pozza di scogliera poco profonda, isolata durante i periodi di bassa marea, se il moto ondoso è quasi assente. Il secondo è localizzato sul lato interno di una scogliera che separa dal mare aperto una pozza ampia e riparata, con una comunicazione limitata con il mare aperto. la popolazione di *C. berteroi* che qui si trova rimane protetta dalle onde, eccetto durante i periodi di violente mareggiate, in cui le onde superano la scogliera. Il livello della costa in cui i campionamenti sono stati effettuati corrisponde alla zona mesolitorale inferiore.



**Fig. 4** Mappa dell'area di campionamento, la spiaggia del Passetto di Ancona, e i 2 siti di studio (A e B)

## 2.2 Disegno e metodo di campionamento

Complessivamente sono stati prelevati ed analizzati 9 campioni, raccolti in 5 date di campionamento (Tabella 1). In ogni data è stato raccolto un campione da ognuno dei due siti (eccetto del 27 aprile 2023 e del 9 maggio 2023, in cui è stato campionato il solo sito A).

**Tabella 1:** Date di campionamento con relativi giorni e siti

Campioni	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Data	22/03/ 2023	22/03/ 2023	20/04/ 2023	20/04/ 2023	27/04/ 2023	09/05/ 2023	09/05/ 2023	08/06/ 2023	08/06/ 2023
Sito	A	B	A	B	A	A	A	A	B

Ogni campione è stato raccolto posizionando a random un quadrato di 400 cm<sup>2</sup> (20 x 20 cm) (Figura 5 e 6). Dato che l'obiettivo chiave della tesi era quello di studiare le comunità associate all'alga, per convenzione è stato scelto di posizionare i quadrati in punti, in cui il ricoprimento percentuale di *C. berteroi* raggiungeva valori  $\geq 50\%$ . La superficie in ogni quadrato è stata grattata con martello e scalpello e il materiale rimosso è stato raccolto in buste zip e trasferito il più rapidamente possibile al laboratorio di Botanica Marina dell'Università Politecnica delle Marche, per poi essere esaminato in laboratorio. Quando non è stato possibile esaminare il materiale nello stesso giorno, i campioni sono stati conservati in una camera fredda termostata a 4°C ed esaminati nei giorni successivi.



**Fig. 5-6:** Quadrati posizionati durante il campionamento, 5) sito A, 6) sito B

### **2.3 Analisi di laboratorio**

#### *Morfologia e fenologia di Corallina berteroi*

Per ogni campione, è stata misurata la lunghezza di 10 fronde intatte scelte a random ed è stata osservata la presenza/assenza di concettacoli (strutture riproduttive) per ogni fronda. Allo scopo di fornire una stima della biomassa della specie, è stato inoltre misurato il peso secco della specie in ogni campione, scaldando i relativi talli su una piastra su carta bibula per 4 ore.

#### *Analisi delle comunità associate*

In laboratorio, la macrofauna associata è stata separata con pipette o pinzette da rocce e alghe e conservata con etanolo al 70%. Le macroalghe sono state smistate con pinzette alla stessa maniera; dato che in questo caso una identificazione accurata ha richiesto tempi più lunghi il materiale è stato fissato e conservato dentro provette falcon da 50 ml con una soluzione di acqua marina e formalina 4%. Macroflora e fauna associate sono state identificate allo stereomicroscopio o al microscopio ottico, la prima, a livello di genere o specie (quando

possibile) la seconda, a livello di taxa di rango tassonomico più elevato (solitamente classe, es. Amphipoda, Polychaeta, ecc.). Gli animali sono stati quantificati contando per ogni taxon il numero di individui. Le macroalghe sono state quantificate in termini di ricoprimento in cm<sup>2</sup>.

#### ***2.4 Analisi dei dati***

Per rappresentare graficamente le similarità tra i campioni analizzati, è stata svolta una analisi non metric Multi-Dimensional Scaling (NMDS) basata su similarità Bray-Curtis sui dati del numero di specie algali e sulle abbondanze totali dei taxa animali. È stata inoltre condotta un'analisi SIMPER (Similarity Percentages) basata su similarità Bray-Curtis per valutare il contributo delle specie di macroalghe e dei taxa di macrofauna alla similarità tra i due siti. Le analisi statistiche sono state svolte utilizzando il software R studio.

### 3. RISULTATI

I dati sulle macroalghe e la macrofauna sono riportati nelle tabelle 2 e 3. Lo studio ha permesso di identificare almeno 25 specie di macroalghe nei campioni raccolti, di cui 17 alghe rosse, 4 alghe brune e 4 alghe verdi. Due specie sono state ritrovate in tutti i campioni: *Chondracanthus acicularis* e *Chaetomorpha* sp. Viceversa, 10 specie sono state ritrovate in un solo campione (anche se è possibile che alcune, ad esempio *Gelidium spathulatum*, fossero presenti anche in altri campioni in cui non è stato possibile identificarle a livello di specie e l'identificazione si è limitata al genere, in questo caso *Gelidium* sp.). Generalmente, le maggiori abbondanze totali si sono riscontrate all'inizio del campionamento (periodo di massima crescita delle fronde di *Corallina*), poi sono diminuite, fino a raggiungere il minimo nell'ultimo campione (periodo di minimo sviluppo delle fronde). Negli ultimi campioni raccolti il ricoprimento di *C. berteroi* era minore rispetto agli altri campioni e sono aumentati i ricoprimenti delle alghe brune e verdi rispetto a quelle delle alghe rosse (solitamente maggiori). La macrofauna comprende 18 taxa, di cui i peracaridi (crostacei), policheti e molluschi (gasteropodi e bivalvi) erano i più abbondanti. I policheti e i bivalvi erano sempre presenti. Alcuni peracaridi e i gasteropodi erano occasionalmente assenti, mentre taxa come i decapodi (crostacei), oloturoidei e opistobranchi erano presenti in un solo campione, e picnogonidi e ostracodi (Crustacea) erano presenti in non più di 2 campioni. Le abbondanze totali in termini di numeri di individui erano maggiori all'inizio del campionamento e sono diminuite progressivamente in entrambi i siti fino a maggio, raggiungendo il valore minimo nel campione 7. Nelle date in cui sono stati raccolti campioni, il sito B aveva sempre le massime abbondanze totali e i massimi numeri di taxa, tranne che nel campione 9, che invece era composto quasi

esclusivamente dai taxa sempre presenti. In questo campione le abbondanze di due gruppi (policheti e attiniari) erano maggiori rispetto a quelle degli altri campioni in cui erano presenti.



**Tabella 2:** Lista dei taxa di macroalghe associate a *Corallina berteroi* e loro ricoprimenti in cm<sup>2</sup> nei campioni analizzati. Le sigle della prima riga indicano il campione e il sito in cui è stato raccolto. Il simbolo + indica un ricoprimento percentuale inferiore a 1 cm<sup>2</sup>. Nomenclatura algale basata su AlgaeBase (Guiry and Guiry, 2023). Il simbolo ? su *Rhodymenia ardissoni* (Kuntze) Feldmann indica che non si è certi della sua identificazione, poiché il tallo era troppo piccolo per poter verificare tutti i caratteri tassonomici.

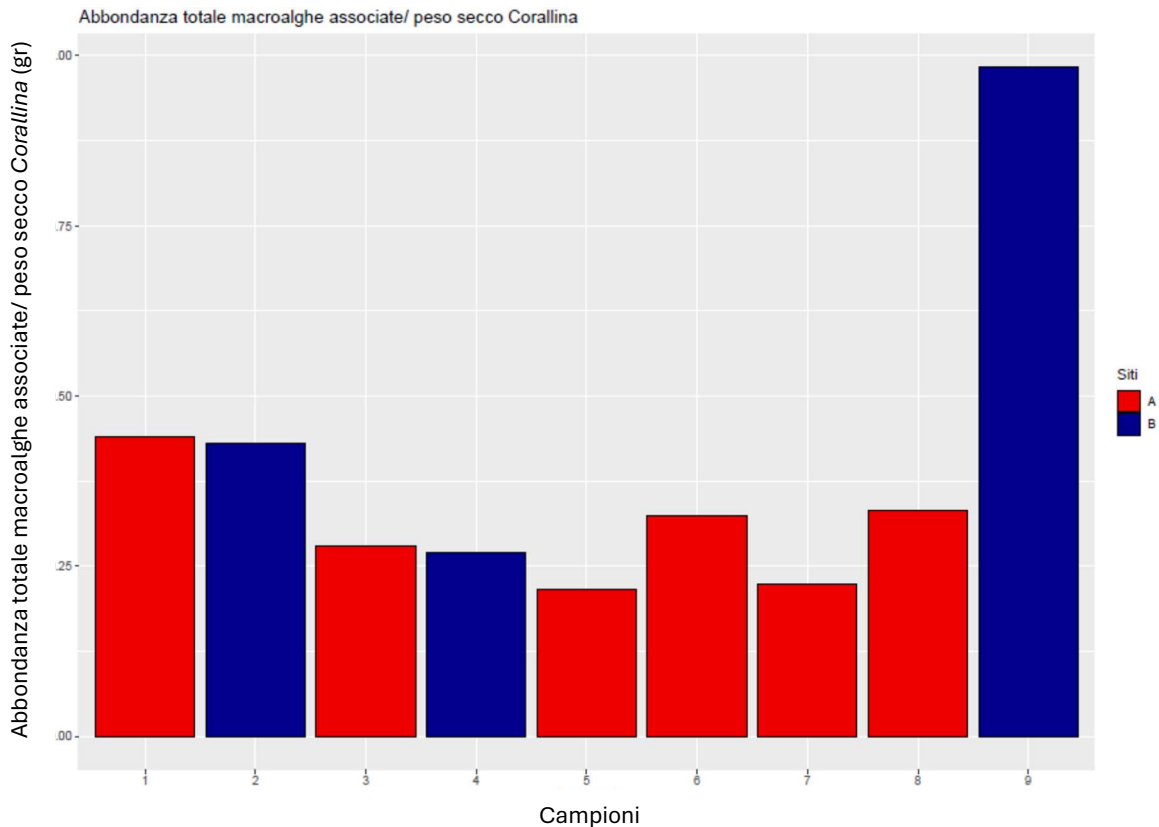
Specie	1(A)	2(B)	3(A)	4(B)	5(A)	6(A)	7(A)	8(A)	9(B)
<b>Ricoprimento totale</b>	409cm <sup>2</sup>	356cm <sup>2</sup>	416cm <sup>2</sup>	394cm <sup>2</sup>	397cm <sup>2</sup>	401cm <sup>2</sup>	399cm <sup>2</sup>	333cm <sup>2</sup>	323cm <sup>2</sup>
<b>Rhodophyta</b>	400cm <sup>2</sup>	355cm <sup>2</sup>	412cm <sup>2</sup>	392cm <sup>2</sup>	394cm <sup>2</sup>	396cm <sup>2</sup>	396cm <sup>2</sup>	329cm <sup>2</sup>	308cm <sup>2</sup>
<i>Alsidium corallinum</i> C.Agardh						+		1cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>
<i>Ceramium ciliatum</i> (J.Ellis) Ducluzeau	5cm <sup>2</sup>		5cm <sup>2</sup>						2cm <sup>2</sup>
<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightfoot) Roth					3cm <sup>2</sup>	4cm <sup>2</sup>	4cm <sup>2</sup>		
<i>Ceramium virgatum</i> Roth	+				+	3cm <sup>2</sup>			+
<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq	4cm <sup>2</sup>	5cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	6cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	3cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>
<i>Chondria dasyphylla</i> (Woodward) C. Agardh	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	+	2cm <sup>2</sup>	+				
<i>Corallina berteroi</i> Montagne ex Kützing	380cm <sup>2</sup>	340cm <sup>2</sup>	400cm <sup>2</sup>	380cm <sup>2</sup>	380cm <sup>2</sup>	380cm <sup>2</sup>	380cm <sup>2</sup>	320cm <sup>2</sup>	300cm <sup>2</sup>
<i>Gastroclonium clavatum</i> (Roth) Ardissoni	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>			1cm <sup>2</sup>			1cm <sup>2</sup>	
<i>Gelidiella</i> sp.									+
<i>Gelidium</i> cf. <i>crinale</i> (Hare ex Turner) Gaillon	4cm <sup>2</sup>								
<i>Gelidium spathulatum</i> Kützing								1cm <sup>2</sup>	
<i>Gelidium</i> sp.		4cm <sup>2</sup>	4cm <sup>2</sup>	3cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	5cm <sup>2</sup>	3cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	
<i>Gracilaria bursa-pastoris</i> (S.G.Gmelin) P.C.Silva					4cm <sup>2</sup>		5cm <sup>2</sup>		2cm <sup>2</sup>
<i>Gracilaria</i> sp.		3cm <sup>2</sup>							
<i>Osmundea truncata</i>		1cm <sup>2</sup>							

(Kützing) K. W. Nam & Maggs									
<i>Palisada perforata</i> (Bory) K.W.Nam			1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>		2cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	
<i>Polysiphonia opaca</i> (C. Agardh) Moris & De Notaris								+	
<i>Polysiphonia</i> sp.							+		
<i>Pterocliadiella capillacea</i> (S. G. Gmelin) Santelices & Hommersand	5cm <sup>2</sup>				2cm <sup>2</sup>				+
<i>Rhodophyllis divaricata</i> (Stackhouse) Papenfuss							+		
<i>Rhodymenia ardissoni</i> (Kuntze) Feldmann?					+				
Phaeophyceae	5cm <sup>2</sup>	+	1cm <sup>2</sup>		1cm <sup>2</sup>	3cm <sup>2</sup>	+		10cm <sup>2</sup>
<i>Cystoseira compressa</i> Esper) Gerloff & Nizamuddin	+				+	2cm <sup>2</sup>	+		1cm <sup>2</sup>
<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J. V. Lamoroux	5cm <sup>2</sup>	+	1cm <sup>2</sup>		1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	+		2cm <sup>2</sup>
<i>Dictyota dichotoma</i> var. <i>intricata</i> (C.Agardh) Greville									3cm <sup>2</sup>
<i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy									4cm <sup>2</sup>
Chlorophyta	4cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	3cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	3cm <sup>2</sup>	4cm <sup>2</sup>	5cm <sup>2</sup>
<i>Bryopsis</i> sp.							1cm <sup>2</sup>		
<i>Chaetomorpha</i> sp.	+	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	+	+	1cm <sup>2</sup>
<i>Cladophora</i> sp.	+		+	1cm <sup>2</sup>	1cm <sup>2</sup>	+	+	+	2cm <sup>2</sup>
<i>Ulva</i> cf. <i>compressa</i> Linnaeus							+		
<i>Ulva</i> sp.	4cm <sup>2</sup>		2cm <sup>2</sup>		+	1cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>	4cm <sup>2</sup>	2cm <sup>2</sup>

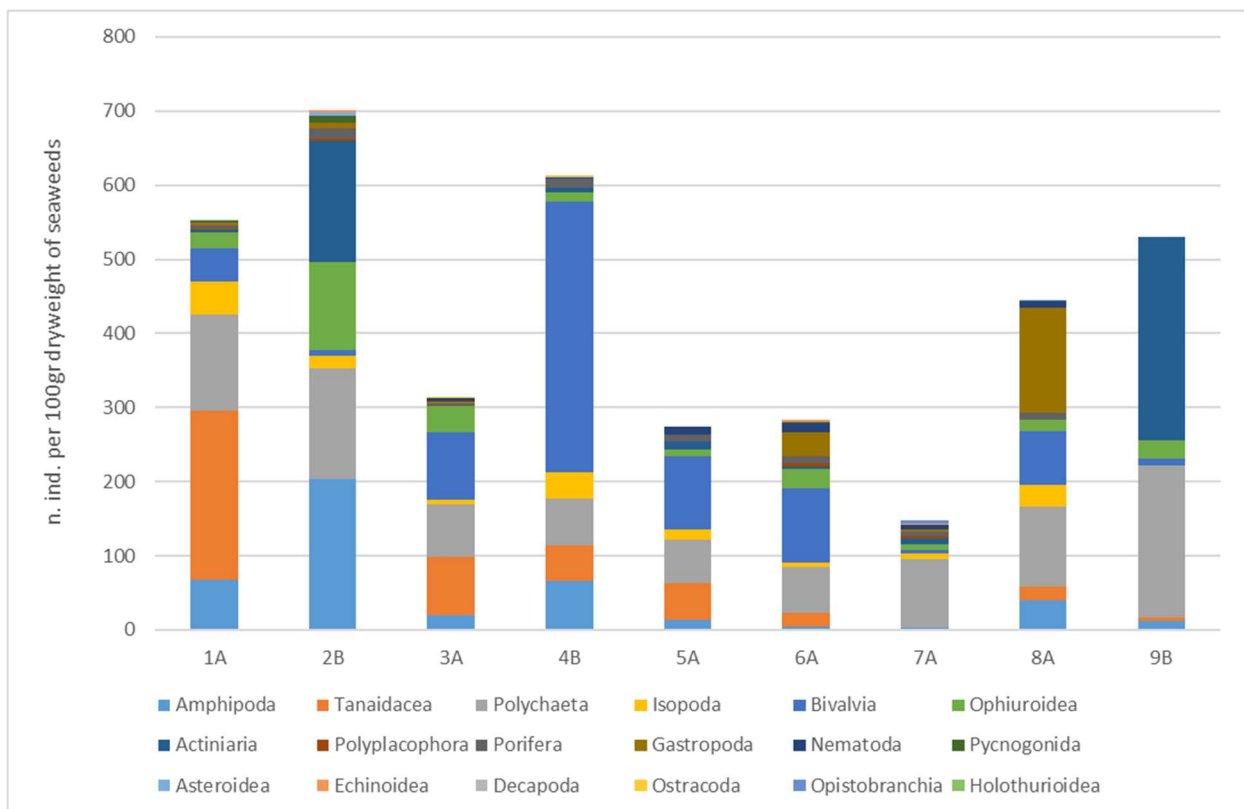
**Tabella 3:** Lista dei taxa animali identificati e loro numeri di individui nei campioni analizzati. Le sigle della prima riga indicano il campione e il sito in cui è stato raccolto

Taxa	1(A)	2(B)	3(A)	4(B)	5(A)	6(A)	7(A)	8(A)	9(B)
<b>Totale</b>	360	256	178	318	216	210	126	235	124
<b>Actiniaria</b>	2	60		3	8	2	7		64
<b>Amphipoda</b>	44	74	11	34	11	3	2	21	3
<b>Asteroidea</b>		2				1		1	
<b>Bivalvia</b>	30	3	52	189	78	74	5	38	2
<b>Decapoda</b>				1					
<b>Echinoidea</b>		1				2	2		
<b>Gastropoda</b>	3	3	1		1	24	2	75	
<b>Holothurioidea</b>	1								
<b>Isopoda</b>	29	6	3	18	11	5	6	15	
<b>Nematoda</b>	1		3	1	8	9	5	5	
<b>Ophiuroidea</b>	14	43	20	7	7	20	6	8	6
<b>Opisthobranchia</b>							4		
<b>Ostracoda</b>			1	1					
<b>Polychaeta</b>	84	55	40	33	46	45	79	57	48
<b>Polyplacophora</b>	1	1				3	2		
<b>Porifera</b>	3	5	2	6	7	7	6	5	
<b>Pycnogonida</b>		3				1			
<b>Tanaidacea</b>	148		45	25	39	14		10	1

Per valutare le relative abbondanze, la copertura delle specie macroalgali e il numero di individui per ogni taxon (macrofauna) sono stati rapportati al peso secco di *C. berteroi* del relativo campione, come riportato, rispettivamente, nelle figure 7 e 8.

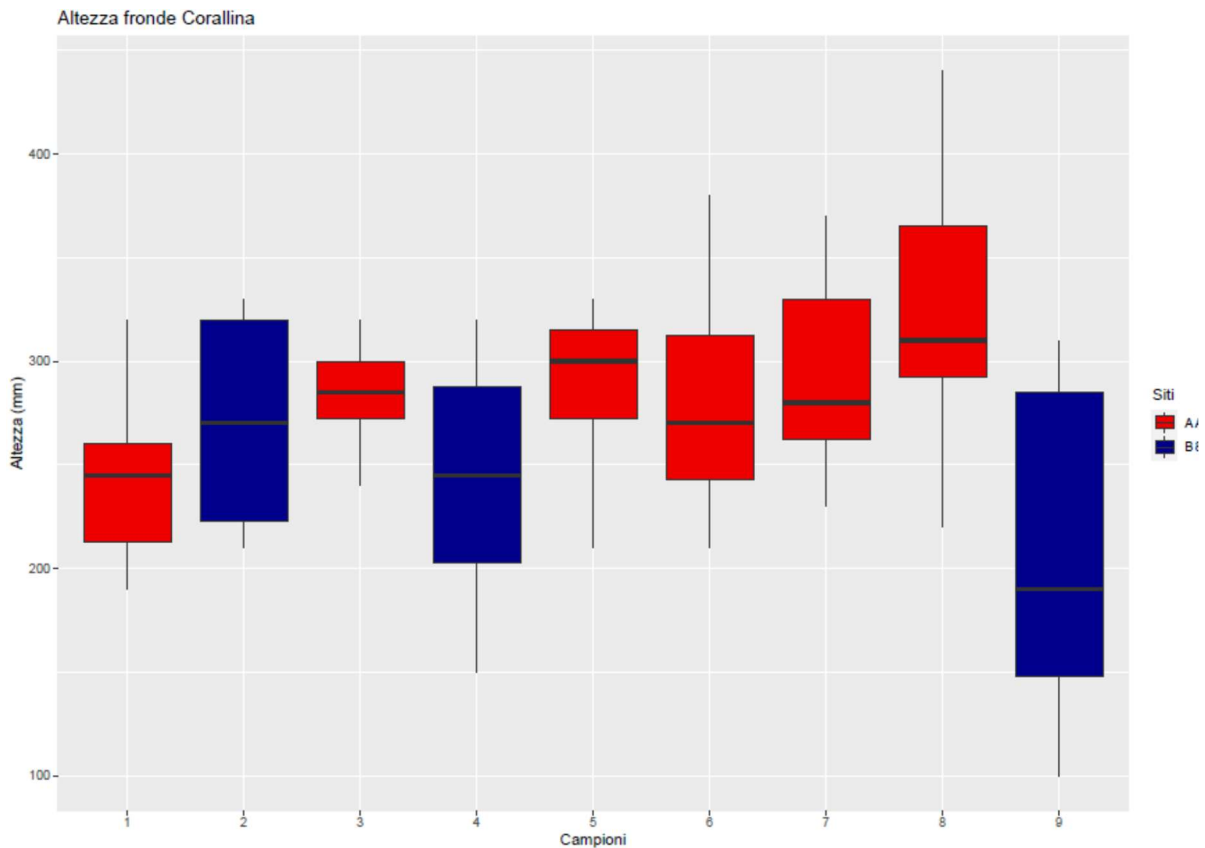


**Fig. 7** Ricoprimento macroalgale in rapporto al peso secco di *C. berteroi* riportato per i 9 campioni analizzati



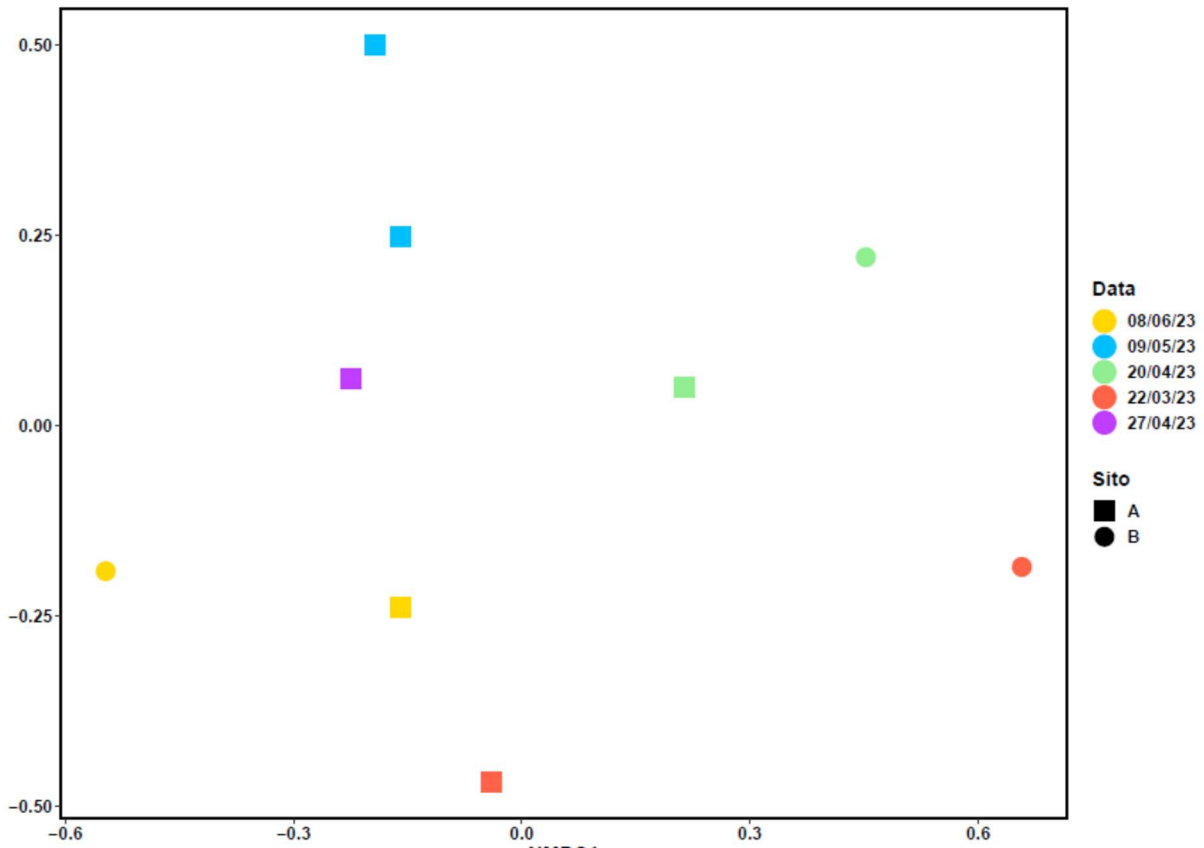
**Fig. 8** Numero di individui dei taxa di macrofauna in rapporto al peso secco di *C. berteroi* per ognuno dei campioni raccolti

La figura 9 mostra le differenze in altezza delle fronde di *C. berteroi* in ogni campione. L'altezza delle fronde di *C. berteroi* è risultata simile tra quasi tutti i campioni, con due campioni (4 e 9, raccolti entrambi nel sito B) in cui è risultata mediamente minore.

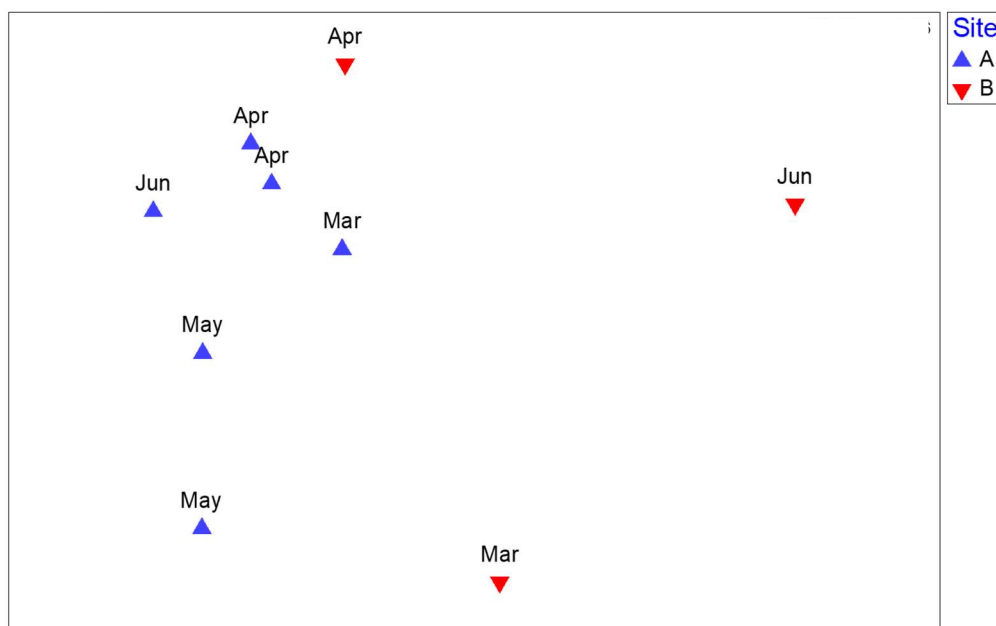


**Fig. 9** Altezza delle fronde di *C. berteroi* associata ai relativi campioni e siti

I risultati delle analisi NMDS sono illustrati nelle figure 10 e 11 e mostrano le similarità tra i campioni raccolti rispettivamente per la comunità macroalgale e per la macrofauna. Nei plot, le distanze tra i campioni riflettono le relazioni di similarità (più vicini due campioni sono, più simili sono, e viceversa). In generale, i campioni del sito A sono risultati più simili tra loro, soprattutto per la macrofauna. Il campione 4 (del sito) B, in entrambi i casi, è più simile ai campioni del sito A rispetto a quelli del suo sito e lo stesso si può dire per il campione 9 nel caso delle macroalghe (ma a differenza del 4, è più dissimile dai campioni del sito A).



**Fig. 10:** Analisi NMSD sui dati di presenza delle macroalghe



**Fig. 11:** Analisi NMSD sui dati di abbondanza della macrofauna

Nelle tabelle 4 e 5 sono riportati i risultati delle analisi SIMPER, rispettivamente per macroalghe e macrofauna. Nel caso delle macroalghe, molte specie hanno contribuito alla dissimilarità tra campioni e non c'è stata una singola specie che abbia contribuito sostanzialmente più delle altre (Tabella 4). La specie che ha contribuito maggiormente è *Ulva* sp., vista la sua presenza e abbondanza variabili tra i campioni. Per la macrofauna, il contributo maggiore è dovuto agli attinari seguito dai molluschi (gasteropodi, poi i bivalvi) (Tabella 5). I primi erano quasi sempre presenti e solo nel sito B raggiungevano abbondanze elevate.

**Tabella 4:** Risultati dell'analisi SIMPER sui dati di abbondanza delle macroalghe.

Species	Av.Abund(A)	Av.Abund(B)	Av.Diss	Diss/SD	Contrib.%	Cum.%
<i>Ulva</i> sp.	1.00	0.33	0.03	1.34	7,90	78.8
<i>Cystoseira compressa</i>	0.66	0.33	0.02	1.06	6,14	14.03
<i>Ceramium virgatum</i>	0.66	0.33	0.02	1.06	6,10	20.14
<i>Palisada perforata</i>	0.66	0.33	0.02	1.04	5,80	25.91
<i>Ceramium ciliatum</i>	0.50	0.33	0.02	0.93	5,50	31.42
<i>Gastroclonium clavatum</i>	0.50	0.33	0.02	0.94	5,30	36.72
<i>Chondria dasyphylla</i>	0.50	0.66	0.02	0.95	5,21	41.93
<i>Ceramium diaphanum</i>	0.50	0.00	0.02	0.94	5,10	47.05
<i>Dictyota dichotoma</i>	0.83	0.66	0.02	0.76	4,60	51.63
<i>Alsidium corallinum</i>	0.33	0.33	0.02	0.84	4,50	56.08
<i>Gracilaria bursa-pastoris</i>	0.33	0.33	0.01	0.85	4,34	60.43
<i>Gelidium</i> sp.	0.83	0.66	0.01	0.74	3,80	64.21
<i>Cladophora</i> sp.	1.00	0.66	0.01	0.68	3,72	67.93
<i>Gracilaria</i> sp.	0.00	0.33	0.01	0.68	3,72	71.66
<i>Osmundea truncata</i>	0.00	0.33	0.01	0.68	3,72	75.38
<i>D. dichotoma</i> var. <i>intricata</i>	0.16	0.33	0.01	0.76	3,60	78.96

<i>Pterocladia capillacea</i>	0.16	0.33	0.01	0.76	3,60	82.54
<i>Gelidiella sp.</i>	0.00	0.33	0.01	0.68	2,90	85.38
<i>Padina pavonica</i>	0.00	0.33	0.01	0.68	2,90	88.23
<i>Gelidium cf. crinale</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	2,00	90.18
<i>Bryopsis sp.</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	1,70	91.85
<i>Rhodophyllis divaricata</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	1,70	93.53
<i>Ulva cf. compressa</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	1,70	95.20
<i>Gelidium spathulatum</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	1,60	96.80
<i>Poysiphonia opaca</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	1,60	98.40
<i>Rhodimenia ardissoni?</i>	0.16	0.00	0.01	0.42	1,60	100.00
<i>Chaetomorpha sp.</i>	1.00	1.00	0.00	NaN	0,00	100.00
<i>Chondracanthus acicularis</i>	1.00	1.00	0.00	NaN	0,00	100.00

**Tabella 5:** Risultati dell'analisi SIMPER sui dati di abbondanza della macrofauna.

Taxa	Av.Abund (A)	Av.Abund (B)	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Actiniaria	1.01	3.07	4.74	1.12	16.41	16.41
Gastropoda	1.79	0.56	3.61	0.97	12.50	28.91
Bivalvia	2.75	2.59	2.63	4.29	9.09	38.00
Isopoda	1.93	1.48	2.57	1.10	8.91	46.91
Tanaiacea	2.28	1.36	2.49	0.74	8.61	55.51
Nematoda	1.60	0.39	2.21	1.32	7.65	63.16
Amphipoda	2.01	2.84	1.77	9.21	6.14	69.30
Porifera	1.62	1.26	1.70	0.87	5.88	75.18



## 4. DISCUSSIONE

Sulla base di osservazioni fatte precedentemente e dei dati fenologici raccolti in questa tesi, il periodo di massimo sviluppo delle fronde di *C. berteroi* nell' area di studio è tra febbraio e marzo. Le fronde iniziano a deteriorarsi a giugno e riprendono la crescita ad ottobre. È interessante notare che nei due siti campionati erano presenti porzioni di tallo morte e sbiancate anche nelle prime date di campionamento. Questo è stato probabilmente dovuto a temperature invernali meno rigide rispetto agli anni precedenti e a un regime di basse maree prolungate nella zona del Passetto, che ha lasciato l'alga esposta all'aria per tempi più lunghi. I valori di abbondanza minimi per alghe e animali sono stati rilevati per il campione 7, raccolto nel sito A il 9 maggio 2023. Questo fatto può essere dovuto alla sua posizione in un punto leggermente più distante dalla linea di battigia quando il moto ondoso è ridotto. Molte delle specie di macroalghe raccolte sono state riportate in studi svolti nel Mediterraneo riguardanti o correlati alle coralline articolate (AbouGabal et al., 2022; Ballesteros, 1988; Iveša et al., 2009; Orlando-Bonaca et al., 2017; Tena et al., 2000; Yesilova et al., 2017) o alle alghe che sostituiscono le specie del complesso *Cystoseira s.l.* (Arévalo et al., 2007; Mangialajo et al., 2008; Pinedo et al., 2015; Soltan et al., 2001), con l'eccezione di *Alsidium corallinum*, *Gelidium spathulatum*, *Gracilaria* sp. (*G. bursa-pastoris* compresa) e *Rhodophyllis divaricata*, mentre in studi recenti delle alghe della Riviera del Conero, come quello già citato di Rindi et al. (2020) sono tutte riportate. Alghe che sono state frequentemente riportate in associazione con coralline articolate in Mediterraneo sono *Chondracanthus acicularis*, *Ceramium* sp., *Dictyota dichotoma*, *Ulva* sp., *Cladophora* sp., e *Chaetomorpha* sp., le quali erano sempre o quasi sempre presenti anche in questo studio. Secondo Zouaoui and Ghalem, 2017, specie come *Ulva lactuca* Linnaeus (forse presente in questo studio), *D. dichotoma* e *E. elongata* producono

metaboliti secondari con azione antibatterica e antifungina tra i più efficaci nel Mediterraneo, fattore che può migliorare la resistenza di queste facies. Negli ultimi campioni sono diminuiti i taxa animali; per le alghe diminuiva il ricoprimento, principalmente per quelle rosse, mentre per le alghe brune e verdi aumentava, in particolare, nell'ultimo campione. La spiegazione è probabilmente legata alla diversa stagionalità di specie diverse. L'avvicinamento della stagione estiva ha facilitato la crescita di certe alghe, soprattutto le alghe verdi, mentre *C. berteroi* iniziava a perdere fronde e aumentava il substrato disponibile per specie non epifite. Questo fattore probabilmente ha influenzato anche l'abbondanza della macrofauna. Va però rilevato che nel campione 2, raccolto in marzo, nonostante il peso secco di *C. berteroi* fosse tra i più bassi, i valori del numero di taxa e delle abbondanze totali erano tra i più alti. I taxa animali più abbondanti e maggiormente presenti sono riportati negli studi citati nell'introduzione (Buršić et al., 2023; Guerra-García et al., 2009, 2011; Izquierdo et al., 2011; Lehmann et al., 2021; López, 2019, 2022; Privitera et al., 2011; Ruiz Villaespesa et al., 2023; Saenz-Arias et al., 2022; Tena et al., 2000; Zakhama-Sraieb et al., 2011) come i taxa più abbondanti o con il maggior numero di individui associati alle coralline articolate, oppure come i principali taxa associati su cui si focalizzavano gli studi. Gli asteroidei, occasionalmente ritrovati in questo studio, non sono stati riportati in altri studi su comunità associate a coralline articolate in Mediterraneo, mentre altri taxa a bassa abbondanza come poliplacofori (Mollusca), decapodi, oloturoidei, nematodi e picnogonidi venivano riportati in, al massimo, due studi. Nonostante gli ofiuroidei fossero sempre presenti, soltanto Marchini et al. (2019) li hanno riportati. È probabile che la presenza di soli individui con dimensioni minori di 1 cm per taxa come asteroidei e gasteropodi indichi che tutti gli esemplari di quei taxa erano in fase giovanile. Indipendentemente dalle dimensioni, è probabile che molti altri animali fossero in fase giovanile come i decapodi e gli oloturoidei, e in casi come quello dei bivalvi, degli echinoidei e degli ofiuroidei, i presunti

giovanili rappresentavano la maggioranza del proprio taxon. È probabile che la maggior parte dei bivalvi esaminati fossero esemplari di *Mytilus galloprovincialis* Lamarck (anche essi prevalentemente giovanili), la cui specie era il bivalve maggiormente riportato negli studi citati. La superficie di molti presunti giovanili era coperta da croste basali delle alghe coralline presenti nella zona. È interessante notare che, in tutti gli studi, dove erano presenti i peracaridi, il relativo ordine con la maggiore densità totale era quello degli anfipodi, mentre in questo studio, l'ordine dei tanaidacei aveva il maggior numero di individui in quattro campioni e, a differenza del primo, non era presente in tutti i campioni. Una situazione simile è stata riportata da Ruiz Villaespesa et al., 2023, in cui in certi campioni, la densità delle specie di cumacei (ordine Cumacea) campionate era sorprendentemente alta e nella zona di quell'area di studio, solo Izquierdo et al., 2011 avevano riportato la presenza di cumacei (solo una specie), i quali avevano un'abbondanza molto bassa. I policheti (sempre presenti) erano probabilmente il taxon rappresentato da più specie. Alcune di esse avevano costruito gallerie calcaree, fornendo ad alghe coralline e ad altri animali come anemoni e spugne (Porifera) ulteriore substrato disponibile per la colonizzazione. In certi casi, la giusta combinazione tra le strutture calcaree permetteva la formazione di incavi rocciosi che rappresentavano dei microhabitat adatti per molti animali a vita libera. Le fronde del campione 4, a causa delle condizioni meteo sfavorevoli di quel giorno, sono state raccolte in una parte del sito A che effettivamente è una piccola pozza superficiale ed è pienamente sommersa dall'acqua solo durante le alte maree (durante l'estate era prosciugata). Quindi questo microhabitat probabilmente offre condizioni meno favorevoli per lo sviluppo di *C. berteroi* e la crescita delle sue fronde. Nel campione 9 erano presenti le fronde più corte, probabilmente perché in questo caso *C. berteroi* era giunta alla fine del suo ciclo di sviluppo stagionale e il sito B rimane meno protetto, ma occorre ricordare che queste e altre differenze possono essere dovute anche alla scelta randomizzata delle fronde.

## 5. CONCLUSIONI

Questo studio ha fornito nuovi dati riguardanti la morfologia vegetativa di *C. berteroi* e la composizione dei popolamenti vegetali e animali (macroscopici) associati ad essa. Tali dati forniscono nuove e importanti informazioni sulla fenologia ed ecologia di questa specie, utili anche per determinare il suo status ecologico, che è ancora poco conosciuta e potenzialmente vulnerabile all'acidificazione oceanica come le altre alghe coralline (il che è da considerare fattore di rischio anche per i popolamenti associati). Questi risultati mostrano una generale corrispondenza tra il periodo di crescita di *C. berteroi* osservato nella zona e tra i taxa macroscopici associati ad altre coralline articolate nel Mediterraneo. È evidente che ci siano differenze tra i due siti di campionamento, prevalentemente dovute alle loro diverse topografie. Come già menzionato, le specie di macroalghe campionate erano già state ritrovate nell'area del Passetto, ma l'insolita abbondanza dei tanaidacei riscontrata potrebbe rappresentare un cambiamento in corso della composizione tassonomica della macrofauna associata. I risultati suggeriscono che l'elevato ricoprimento di *C. berteroi* contribuisce ad aumentare l'abbondanza della macrofauna associata e a limitare la crescita di certe macroalghe associate. Serviranno tuttavia ulteriori dati per poterlo stabilire con certezza e per determinare la situazione ecologica di questa specie e delle sue popolazioni anche in altre zone del Mediterraneo o del mondo. Secondo Lehmann et al. (2021), *C. officinalis* consente di effettuare più facilmente analisi quantitative di animali associati al genere *Corallina* come i picnogonidi. L'area del Passetto potrebbe, quindi, rivelarsi un sito adeguato per svolgere analisi simili anche nell'Adriatico occidentale, visto che *C. berteroi* è morfologicamente molto simile a *C. officinalis*. In studi futuri, si raccomanda di scegliere con cautela i siti in cui cresce *C. berteroi* per svolgere ulteriori campionamenti distruttivi, visto che, anche se la crescita della specie

riprendeva velocemente nel periodo dell'anno con condizioni adatte, la ricolonizzazione degli spazi liberi adiacenti era molto più lenta. Si consiglia inoltre di esaminare questa specie raccogliendo campioni in siti diversi e a profondità diverse.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI

- Agegian, C. R. (1985). The biogeochemical ecology of *Porolithon gardineri* (Foslie) (Ph.D. thesis). University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Airoidi, L. (2000). Effects of disturbance, life histories, and overgrowth on coexistence of algal crusts and turfs. *Ecology* 81, 798–814.
- Anthony, K. R. N., Kline, D. I., Diaz-Pulido, G., Dove, S., Hoegh-Guldberg, O. (2008). Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 105, 17442–17446.
- Arévalo R., Pinedo S., Ballesteros E. (2007). Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. *Marine Pollution Bulletin* 55, 104-113.
- Asnaghi, V., Chiantore, M., Mangialajo, L., Gazeau, F., Francour, P., Alliouane, S., et al. (2013). Cascading effects of ocean acidification in a rocky subtidal community. *PLoS ONE* 8:e61978.
- Asnaghi V., Thrush S. F., Hewitt J. E., Mangialajo L., Cattaneo-Vietti R., Chiantore M. (2015). Colonisation processes and the role of coralline algae in rocky shore community dynamics. *Journal of Sea Research* 95, 132-138.
- Badreddine A., Abboud-Abi Saab M., Gianni F., Ballesteros E., Mangialajo L. (2018). First assessment of the ecological status in the Levant Basin: Application of the CARLIT index along the Lebanese coastline. *Ecological Indicators* 85, 37-47.
- Ballesteros E. (1988). Composición y estructura de la comunidad infralitoral de *Corallina elongata* Ellis & Solander, 1786, de la Costa Brava (Mediterraneo occidental). *Investigacion Pesquera* 52, 135-151.
- Basso D. (2012). Carbonate production by calcareous red algae and global change. *Geodiversitas* 34, 13–33.

- Buršić M. et al. (2023). Changes in Composition of Mollusks within *Corallina officinalis* Turfs in South Istria, Adriatic Sea, as a Response to Anthropogenic Impact. *Diversity*, 1-15.
- Bustamante D.E., Calderon M.S., Hughey J.R. (2019). Conspecificity of the Peruvian *Corallina ferreyrae* with *C. caespitosa* (Corallinaceae, Rhodophyta) inferred from genomic analysis of the type specimen. *Mitochondrial DNA Part B Resources* 4, 1285-1286.
- Calderon M. S., Bustamante D. E., Gabrielson P. W., Martone P. T., Hind K. R., Schipper S. R., Mansilla A. (2021). Type specimen sequencing, multilocus analyses, and species delimitation methods recognize the cosmopolitan *Corallina berteroi* and establish the northern Japanese *C. yendoi* sp. nov. (Corallinaceae, Rhodophyta). *Journal of Phycology* 57, 1659-1672.
- Coleman, M.A. (2003). Effects of ephemeral algae on coralline recruits in intertidal and subtidal habitats. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 282, 67–84.
- Cornwall, C. E., Comeau, S., and McCulloch, M. T. (2017). Coralline algae elevate pH at the site of calcification under ocean acidification. *Global Change Biology* 23, 4245–4256.
- Cox, T. E., Díaz-Castañeda, V., Martin, S., Alliouane, S., Mahacek, P., Le Fur, A., et al. (2017a). Effects of in situ CO<sub>2</sub> enrichment on epibiont settlement on artificial substrata within a *Posidonia oceanica* meadow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 497, 197–211.
- Cox, T. E., Nash, M., Gazeau, F., Déniel, M., Legrand, E., Alliouane, S., et al. (2017b). Effects of in situ CO<sub>2</sub> enrichment on *Posidonia oceanica* epiphytic community composition and mineralogy. *Marine Biology* 164: 103.
- Cox, T. E., Schenone, S., Delille, J., Díaz-Castañeda, V., Alliouane, S., Gattuso, J. P., et al. (2015). Effects of ocean acidification on *Posidonia oceanica* epiphytic community and shoot productivity. *Journal of Ecology* 103, 1594–1609.
- Cumani, F., Bradassi, F., Di Pascoli, A., Bressan, G. (2010). Marine acidification effects on reproduction and growth rates of Corallinaceae spores (Rhodophyta), *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée* 39, 735.
- Dethier, M.N. (1994). The ecology of intertidal algal crusts: variation within a functional group. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 177, 37–71

- Diaz-Pulido, G., Nash, M. C., Anthony, K. R. N., Bender, D., Opdyke, B. N., Reyes-Nivia, C., (2014). Greenhouse conditions induce mineralogical changes and dolomite accumulation in coralline algae on tropical reefs. *Nature Communications* 5: 3310.
- Egilsdottir, H., Noisette, F., Laure, M. L. N., Olafsson, J., Martin, S. (2013). Effects of pCO<sub>2</sub> on physiology and skeletal mineralogy in a tidal pool coralline alga, *Corallina elongata*. *Marine Biology* 160, 2103–2112.
- Fine, M., Tsadok, R., Meron, D., Cohen, S., Milazzo, M. (2017). Environmental sensitivity of *Neogoniolithon brassica-florida* associated with vermetid reefs in the Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science* 74, 1074–1082.
- Foster, M.S. (2001). Rhodoliths: between rocks and soft places. *Journal of Phycology* 37, 659-667.
- Graham, L. E., Graham, J. M., Wilcox, L. W., and Cook, M. E. (2018). *Algae*. 3rd Edn. Madison, WI: LJLM Press, LLC.
- Guerra-García J. M., Cabezas P., Baeza-Rojano E., Espinosa F., García-Gómez J. C. (2009). Is the north side of the Strait of Gibraltar more diverse than south side? A case study using the intertidal peracarids (Crustacea: Malacostraca) associated to the seaweed *Corallina elongata*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 387-397.
- Guerra-García J. M., Cabezas M. P., Baeza-Rojano E., García-Gómez J. C. (2011). Spatial patterns and seasonal fluctuations of intertidal macroalgal assemblages from Tarifa Island, southern Spain: relationship with associated Crustacea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91,107-116.
- Guiry M.D., Guiry, G.M. (2024). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 19 January 2024.
- Guy-Haim, T., Silverman, J., Raddatz, S., Wahl, M., Israel, A., Rilov, G. (2016). The carbon turnover response to thermal stress of a dominant coralline alga on the fast warming Levant coast. *Limnology and Oceanography* 61, 1120–1133.
- Guy-Haim T, Silverman J, Wahl M., Aguirre J., Noisette F., Rilov G. (2020). Epiphytes provide micro-scale refuge from ocean acidification. *Marine Environmental Research* 161:105093.



- Hiscock, K. (2014). *Marine Biodiversity and Conservation- A Practical Approach*. Routledge, Earthscan, pp. 1–288.
- Jones, C.G., Lawton, & J.H., Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373–386
- Kaehler, S., Williams, G.A. (1997). Do factors influencing recruitment ultimately determine the distribution and abundance of encrusting algae on seasonal tropical shores? *Marine Ecology Progress Series* 156, 87–96
- Kambouroglou V., Nicolaidou A. (2006). Westward advancement of *Pseudonereis anomala* (Polychaeta: Nereididae) in the Mediterranean Basin (Piraeus, Saronikos Bay, Aegean Sea). *Mediterranean Marine Science* 7/1, 41-46.
- Kamenos, N. A., Cusack, M., Moore, P. G. (2008). Coralline algae are global palaeothermometers with bi-weekly resolution. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 72, 771–779.
- Kamenos, N. A., Perna, G., Gambi, M. C., Micheli, F., Kroeker, K. J. (2016). Coralline algae in a naturally acidified ecosystem persist by maintaining control of skeletal mineralogy and size. *Proceedings of the Royal Society B*. 283:20161159.
- Kroeker, K., Micheli, F., Gambi, M. (2012). Ocean acidification causes ecosystem shifts via altered competitive interactions. *Nature Climate Change* 3, 156–159
- Koch, M., Bowes, G., Ross, C., Zhang, X. H. (2013). Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. *Global Change Biology* 19, 103–132.
- Kuffner, I. B., Andersson, A. J., Jokiel, P. L., Rodgers, K. S., Mackenzie, F. T. (2008). Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nature Geosciences* 1, 114–117.
- Izquierdo D. and Guerra-García J. M. (2011). Distribution patterns of the peracarid crustaceans associated with the alga *Corallina elongata* along the intertidal rocky shores of the Iberian Peninsula. *Helgoland Marine Research* 65, 233-243.
- Lehmann T., Spelda J., Melzer R., Buršić M. (2021). Pycnogonida (Arthropoda) from Northern Adriatic *Corallina officinalis* Linnaeus, 1758 belts. *Mediterranean Marine Science* 22/1, 102-107.

- Littler, M.M. (1972). The crustose corallinaceae. *Oceanography and Marine Biology* 10, 103–120
- López E. (2019). Annelid assemblages on artificial and natural hard substrata differ decades after building: A case study on a one-century old seawall. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 227, 1-8.
- López E. (2022). Peracarid Assemblages in a Human-Disturbed Location from South-Western Mediterranean Sea: Role of Surface Orientation and Phytal Structure of the Habitat. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 38, 1175-1186.
- Mackenzie, F.T., Lerman, A., Andersson, A.J. (2004). Past and present of sediment and carbon biogeochemical cycling models. *Biogeosciences* 1, 11-32.
- Maggi, E., Bertocci, I., Vaselli, S., Benedetti-Cecchi, L. (2011). Connell and Slatyer's models of succession in the biodiversity era. *Ecology* 92, 1399–1406.
- Mangialajo L., Chiantore M., Cattaneo-Vietti R. (2008). Loss of fucoid algae along a gradient of urbanisation, and structure of benthic assemblages. *Marine Ecology Progress Series* 358, 63-74.
- Marchini, A., Ragazzola, F., Vasapollo, C., Castelli, A., Cerrati, G., Gazzola, F., et al. (2019). Intertidal Mediterranean coralline algae habitat is expecting a shift toward a reduced growth and a simplified associated fauna under climate change. *Frontiers in Marine Science* 6:106, 1-15.
- Martin, S., Castets, M. D., Clavier, J. (2006). Primary production, respiration and calcification of the temperate free-living coralline alga *Lithothamnion corallioides*. *Aquatic Botany* 85, 121–128.
- Martin, S., Charnoz, A., Gattuso, J. P. (2013b). Photosynthesis, respiration and calcification in the Mediterranean crustose coralline alga *Lithophyllum cabiochae* (Corallinales, Rhodophyta). *European Journal of Phycology* 48, 163–172.
- Martin, S., Cohu, S., Vignot, C., Zimmerman, G., Gattuso, J. P. (2013a). One year experiment on the physiological response of the Mediterranean crustose coralline alga, *Lithophyllum cabiochae*, to elevated pCO<sub>2</sub> and temperature. *Ecology and Evolution* 3, 676–693.
- Martin, S., Gattuso, J.P. (2009). Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature. *Global Change Biology* 15, 2089-2100.

- Martin, S., Hall-Spencer, J. M. (2017). "Effects of ocean warming and acidification on rhodolith/maërl beds" in Rhodolith/maërl beds: a global perspective, eds R. Riosmena-Rodríguez, W. Nelson, and J. Aguirre (Basel: Springer International Publishing), 55–85.
- Martin, S., Rodolfo-Metalpa, R., Ransome, E., Rowley, S., Buia, M. C., Gattuso, J. P., et al. (2008). Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Biology Letters* 4, 689–692.
- Melero I., López-Velasco S., López E. (2017). On the role of turf species as refuge in disturbed environments: A case study with polychaetes (Annelida: Polychaeta) in SW Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science* 18/2, 229-240.
- Menge, B.A. (1995). Indirect effects in marine rocky intertidal interaction webs: patterns and importance. *Ecological Monographs* 65, 21–74.
- Nannini M., De Marchi L., Lombardi C., Ragazzola F. (2015). Effects of thermal stress on the growth of an intertidal population of *Ellisolandia elongata* (Rhodophyta) from N-W Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research* 112, 11-19.
- Nash, M. C., Martin, S., Gattuso, J. P. (2016). Mineralogical response of the Mediterranean crustose coralline alga *Lithophyllum cabiochae* to near-future ocean acidification and warming. *Biogeosciences* 13, 5937–5945.
- Nash, M. C., Uthicke, S., Negri, A. P., Cantin, N. E. (2015). Ocean acidification does not affect magnesium composition or dolomite formation in living crustose coralline algae, *Porolithon onkodes* in an experimental system. *Biogeosciences* 12, 5247–5260.
- Palmiéri, J., Orr, J. C., Dutay, J.-C., Béranger, K., Schneider, A., Beuvier, J. (2015). Simulated anthropogenic CO<sub>2</sub> storage and acidification of the Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 12, 781–802.
- Pardo C., Viviana Peña V., Barreiro R., Bárbara I. (2015). A molecular and morphological study of *Corallina* sensu lato (Corallinales, Rhodophyta) in the Atlantic Iberian Peninsula. *Cryptogamie, Algologie* 36, 31-54.
- Pasqua et al. <https://www.piccin.it/it/botanica/2417-botanica-generale-e-diversita-vegetale-9788829929795.html>

- Pinedo S., Arévalo R., Ballesteros E. (2015). Seasonal dynamics of upper sublittoral assemblages on Mediterranean rocky shores along a eutrophication gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 161, 93-101.
- Porzio, L., Buia, M. C., Hall-Spencer, J. M. (2011). Effects of ocean acidification on macroalgal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 400, 278–287.
- Porzio, L., Garrard, S. L., Buia, M. C. (2013). The effect of ocean acidification on early algal colonization stages at natural CO<sub>2</sub> vents. *Marine Biology* 160, 2247–2259.
- Privitera D., Noli M., Falugi C., Chiantore M. (2011). Benthic assemblages and temperature effects on *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* larvae and settlement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 407, 6-11
- Ragazzola, F., Caragnano, A., Basso, D., Schmidt, D. N., and Fietzke, J. (2019). Establishing temperate crustose early Holocene coralline algae as archives for palaeoenvironmental reconstructions of the shallow water habitats of the Mediterranean Sea. *Palaeontology*, 63, 1–16.
- Ragazzola F., Marchini A., Adani M., Bordone A., Castelli A., Cerrati G., Kolzenburg R., Langeneck J., di Marzo C., Nannini M., Raiteri G., Romanelli E., Santos M., Vasapollo C., Pipitone C., Lombardi C. (2021). An intertidal life: Combined effects of acidification and winter heatwaves on a coralline alga (*Ellisolandia elongata*) and its associated invertebrate community. *Marine Environmental Research* 169, 1-12.
- Ries, J.B. (2011). Skeletal mineralogy in a high-CO<sub>2</sub> world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 403, 54–64.
- Rindi F., C. Braga J., Martin S., Peña V., Le Gall L., Caragnano A., Aguirre J. (2019). Coralline Algae in a Changing Mediterranean Sea: How Can We Predict Their Future, if We Do Not Know Their Present? *Frontiers in Marine Science* 6:723, 1-29.
- Rindi F., Gavio B., Díaz-Tapia P., Di Camillo C. G., Romagnoli T. (2020). Long-term changes in the benthic macroalgal flora of a coastal area affected by urban impacts (Conero Riviera, Mediterranean Sea). *Biodiversity and Conservation*, 29, 2275-2295.
- Ruiz Villaespesa E., Urra J., Salas C., Gofas S. (2023). Faunal turnover between meso- and infralittoral algal turf assemblages: A case study in a highly biodiverse Marine Protected

Area of the northern Alboran Sea (W Mediterranean). *Regional Studies in Marine Science* 60, 1-8.

Saenz-Arias P., Navarro-Barranco C., Manuel Guerra-García J. (2022). Influence of environmental factors and sessile biota on vagile epibionts: The case of amphipods in marinas across a regional scale. *Mediterranean Marine Science* 23, 1-13

Tena J., Capaccioni-Azzati R., Torres-Gavila F. J., García-Carrascosa A. M. (2000). Polychaetes associated with different facies of the photophilic algal community in the Chafarinas Archipelago (SW Mediterranean). *Bulletin of Marine Science* 67, 55-72

Torras, X., Pinedo, S., García, M., Weitzmann, B., Ballesteros, E. (2016). Environmental quality of Catalan coastal waters based on macroalgae: the interannual variability of CARLIT index and its ability to detect changes in anthropogenic pressures over time. In: Munné, A., Ginebreda, A., Prat, N. (Eds.), *Experiences for Ground, Coastal and Transitional Water Quality Monitoring: the EU Water Framework Directive Implementation in the Catalan River Basin District (Part II)*, vol. 43. *The Handbook of Environmental Chemistry*, pp. 183–200.

Walker R. H., Brodie J., Russell S., Irvine L. M., Orfanidis S. (2009). Biodiversity of coralline algae in the northeastern Atlantic including *Corallina caespitosa* sp. nov. (Corallinoideae, Rhodophyta). *Journal of Phycology* 45, 287-297.

Yesilova K., Balkis N., Taskin E. (2017). Seasonal investigation of the protein, carbohydrate and lipid contents of dominant macroalgae on the western coast of the Black Sea. *Fresenius Environmental Bulletin* Volume 26, 46-55.

Zakhama-Sraieb R., Sghaier Y. R., Guesmi S., Charfi-Cheikhrouha F. (2011). Peracarid crustaceans associated with the red alga *Corallina elongata* in Rafraf, Tunisia (Mediterranean Sea). *Crustaceana* 84, 69-80.

Zouaoui B., Ghalem B. R. (2017). The Phenolic Contents and Antimicrobial Activities of Some Marine Algae from the Mediterranean Sea (Algeria). *Russian Journal of Marine Biology* 43, 491-495.