



CONVENZIONE OPERATIVA TRA IL COMUNE DI BERGEGGI, IN QUALITÀ DI ENTE GESTORE DELL'AREA MARINA PROTETTA "ISOLA DI BERGEGGI" E IL DISTAV PER LA REALIZZAZIONE DELLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO E RICERCA ALL'INTERNO DELL'AREA MARINA PROTETTA ISOLA DI BERGEGGI E DELLA ZSC "FONDALI NOLI-BERGEGGI"

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DELL'HABITAT 'SCOGLIERE ROCCIOSE INFRALITORALI' (1170) NELL'AREA MARINA PROTETTA "ISOLA DI BERGEGGI"

RELAZIONE FINALE

A cura di

Ilaria Mancini, Annalisa Azzola, Alice Oprandi, Monica Montefalcone

Responsabile scientifico delle attività
Prof.ssa Monica Montefalcone

Dicembre 2023

INDICE

1. PREMESSE	3
2. MATERIALI E METODI	4
2.1. Area di studio	4
2.2. Diario di campo	6
2.3. Attività di campo	11
2.4. Analisi dei dati	14
3. RISULTATI	16
3.1 Stato ecologico delle scogliere infralitorali	16
3.2 Cambiamento nel tempo	20
4. CONCLUSIONI	25
Bibliografia	27

1. PREMESSE

La presente relazione riporta i risultati delle attività previste dalla convenzione di ricerca tra il Comune di Bergeggi, in qualità di Ente Gestore dell'area Marina Protetta "Isola di Bergeggi" e il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DiSTAV), dell'Università degli Studi di Genova, per la realizzazione di attività di ricerca e monitoraggio sulle biocenosi infralitorali di scogliera dell'AMP Isola di Bergeggi.

Nell'ambito della Direttiva Habitat 92/43/CEE, le scogliere sono definite come substrati duri e compatti, di origine sia biogenica sia geogenica, che possono svilupparsi su fondi duri o sedimentari e che emergono dal fondale marino fino alla zona sublitorale e litorale. Questi substrati possono ospitare un'ampia varietà di popolamenti bentonici costituiti da specie vegetali e animali, rappresentando quindi una grande riserva di biodiversità, grazie alla loro eterogeneità spaziale dovuta anche agli organismi sessili a struttura modulare (e.g., alghe, poriferi, cnidari, briozoi, tunicati) tipici di questi ambienti. Per tale motivo, le scogliere rocciose rappresentano ambienti di fondamentale valore naturalistico e scientifico; le comunità che li caratterizzano consentono lo studio di numerosi processi ecologici, quali ad esempio la competizione, le cascate trofiche e la strutturazione degli habitat. Le scogliere rocciose rivestono, inoltre, un notevole valore economico dovuto alla pesca e alla loro attrazione nei confronti del turismo, in particolare di quello nautico e subacqueo. Le aree marine protette sono, pertanto, spesso istituite e delimitate in corrispondenza di coste rocciose (Bianchi et al., 2004).

Gli ecosistemi marini costieri, tra cui gli habitat di scogliera rocciosa, sono sottoposti a forti pressioni antropiche. Il loro stato di salute è minacciato da diversi disturbi e stress, tra i quali le pressioni antropiche locali (e.g., inquinamento, sovrappesca, opere costiere, diffusione di specie aliene), l'acidificazione degli oceani, e i cambiamenti climatici globali come l'aumento della temperatura dell'acqua (Montefalcone et al., 2017). I diversi impatti a cui sono soggette le coste rocciose possono, quindi, agire sia su scala locale, a causa dell'uso intensivo del litorale, sia su scala globale (Crowe et al., 2000).

Obiettivo della presente relazione è quello di valutare lo stato ecologico delle scogliere rocciose infralitorali all'interno dell'Area Marina Protetta "Isola di Bergeggi", attraverso l'analisi della struttura di comunità e l'applicazione degli Indici di Diversità (i.e., Indice di Shannon, Indice di Dominanza di Simpson). Lo stato di salute delle scogliere infralitorali di Bergeggi era già stato definito durante un precedente monitoraggio realizzato, sempre dal DiSTAV, nell'AMP isola di Bergeggi nel 2007 nella stessa stagione (Bianchi et al., 2007). È

stato quindi possibile valutare il cambiamento nel tempo delle comunità di scogliera analizzando la variazione delle abbondanze delle diverse specie presenti in ogni sito investigato.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area di studio

L'Area Marina Protetta (AMP) Isola di Bergeggi (Fig. 1) è stata istituita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con D.M. del 7 maggio 2007, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 206 del 5 settembre 2007. La sua superficie, compresa interamente nel Comune di Bergeggi, ricopre 2,1503 Km² (215 ha).



Figura 1. Area di studio con indicata la zonazione dell'AMP Isola di Bergeggi.

L'AMP si propone di salvaguardare l'ambiente marino dell'area coinvolta attraverso iniziative di tutela e valorizzazione del patrimonio naturale e ambientale. Al contempo, mira a promuovere l'educazione ambientale e la divulgazione, implementare programmi di studio, monitoraggio e ricerca scientifica, nonché favorire lo sviluppo sostenibile dell'area, con particolare attenzione alla valorizzazione delle attività tradizionali, delle culture locali e del turismo eco-compatibile.

L'area marina protetta è suddivisa in tre zone sottoposte a diverso regime di tutela ambientale (Fig. 2), tenendo conto delle caratteristiche ambientali e della situazione socio-economica del territorio interessato:

- ZONA A di riserva integrale (3,4 ha), dove tutte le attività che possono arrecare danno o disturbo all'ambiente marino sono interdette; comprende esclusivamente il tratto di mare prospiciente la costa sud dell'Isola di Bergegggi (area rivolta verso il mare aperto);
- ZONA B di riserva generale (41,73 ha), dove le attività di fruizione del mare che non costituiscono di regola un pericolo per la salvaguardia dell'ambiente marino sono puntualmente regolamentate; comprende il tratto di mare circostante l'Isola di Bergegggi il tratto di mare prospiciente la costa di Punta Predani;
- ZONA C di riserva parziale (169,9 ha), dove le attività di fruizione del mare di modesto impatto ambientale sono generalmente consentite e regolamentate dall'organismo di gestione; comprende il residuo tratto di mare all'interno del perimetro dell'area marina protetta.

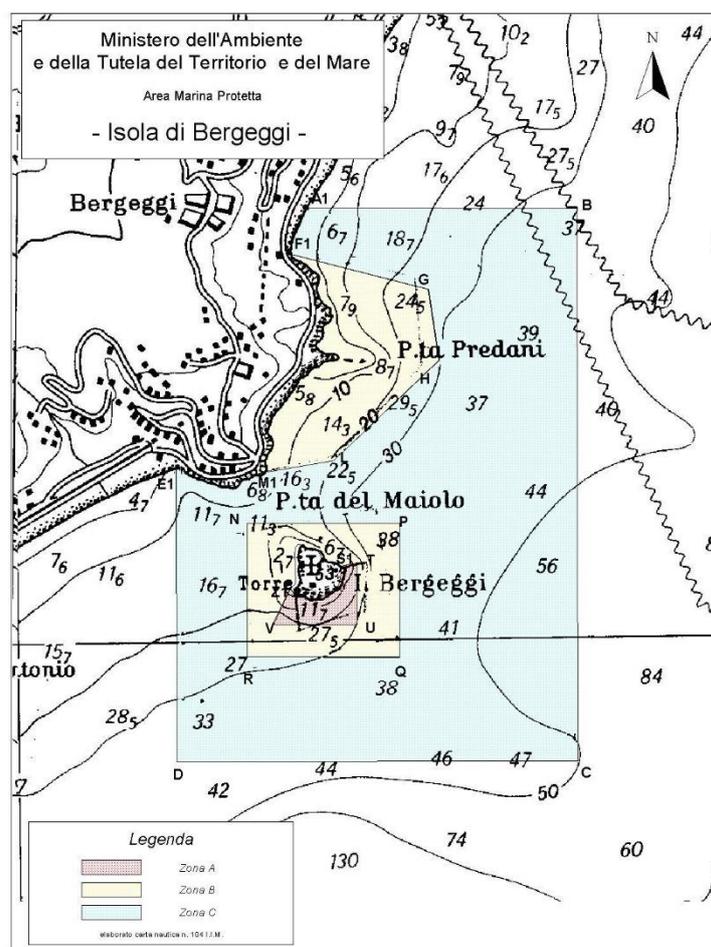


Figura 2. Zonazione dell'AMP Isola di Bergegggi.

2.2. Diario di campo

Le attività di rilevamento in mare per il monitoraggio dell'habitat di scogliera rocciosa infralitorale all'interno dell'Area Marina Protetta Isola di Bergeggi sono state realizzate in data 23, 24, 25, 26 e 29 maggio 2023, con condizioni meteorologiche buone, mare calmo e assenza di vento. I rilevamenti sono stati condotti in immersione subacquea con autorespiratore ad aria (ARA) da parte di operatori scientifici subacquei qualificati del DiSTAV (Università di Genova), utilizzando come normativa di riferimento per l'immersione scientifica il codice di pratica dell'UNESCO (Scientific Diving: a general code of practice, edizione del 1996 e aggiornamenti successivi) e adottando gli standard previsti dalla Comunità Europea (ESD, European Scientific Diver, e AESD, Advanced European Scientific Diver, MAST CT 96-6351, Maggio 1997) (<http://www.aioss.info/>).

Gli operatori scientifici subacquei partecipanti alle attività di campo sono stati:

Dr. Alice Oprandi

brevetto NAUI Master Scuba Diver

Assegnista di ricerca DiSTAV, Università degli Studi di Genova

Dott.ssa Ilaria Mancini

brevetto DEEP Diver SNSI

Dottoranda DiSTAV, Università degli Studi di Genova

Gli operatori scientifici subacquei hanno svolto le attività di campo grazie al supporto del personale del diving Nereo Sub di Spotorno. Il personale del diving Nereo Sub, presente sulla barca d'appoggio, ha anche curato gli aspetti legati alla sicurezza in mare. Le coordinate geografiche di ogni stazione sono state registrate tramite un ricevitore GPS riferito all'ellissoide WGS 84 (Tabella 1). La profondità delle immersioni è stata misurata con un computer da immersione, la cui precisione è di circa 30 cm.

IMMERSIONE N° 1

Data: 23/05/2023

Località: Punta del Maiolo Ovest

STAZIONE: A1 (44° 14,22' N; 008° 26,47' E)

STAZIONE B1 (44° 14,22' N; 008° 26,44' E)

Profondità massima: 5,6 m

Orario entrata: 9:30 Orario uscita: 10:15

Tempo totale di immersione: 45'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 2

Data: 23/05/2023

Località: Punta del Maiolo est

STAZIONE: A2 (44° 14,23' N; 008° 26,51' E)

STAZIONE: B2 (44° 14,23' N; 008° 26,52' E)

Profondità massima: 6 m

Orario entrata: 11:00 Orario uscita: 11:44

Tempo totale di immersione: 44'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 3

Data: 24/05/2023

Località: Isola Bergeggi Nord-Est

STAZIONE: A3 (44° 14,10' N; 008° 26,70' E)

STAZIONE: B3 (44° 14,11' N; 008° 26,69' E)

Profondità massima: 6,3 m

Orario entrata: 9:30 Orario uscita: 10:20

Tempo totale di immersione: 50'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 4

Data: 24/05/2023

Località: Secchetta della Croce

STAZIONE: A4 (44° 14,18' N; 008° 26,64' E)

STAZIONE: B4 (44° 14,16' N; 008° 26,64' E)

Profondità massima: 11,2 m

Orario entrata: 11:15 Orario uscita: 12:05

Tempo totale di immersione: 50'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Orandi

IMMERSIONE N° 5

Data: 25/05/2023

Località: Isola di Bergeggi, Canalone

STAZIONE: A5-5 (44° 14,07' N; 008° 26,77' E)

STAZIONE: B5-5 (44° 14,06' N; 008° 26,76' E)

Profondità massima: 12 m

Orario entrata: 10:30 Orario uscita: 11:15

Tempo totale di immersione: 45'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Orandi

IMMERSIONE N° 6

Data: 25/05/2023

Località: Isola di Bergeggi, Canalone

STAZIONE: A5-10 (44° 14.10' N; 8° 26.75' E)

STAZIONE: A5-10 (44° 14.11' N; 8° 26.74' E)

Profondità massima: 11,5 m

Orario entrata: 14:30 Orario uscita: 15:10

Tempo totale di immersione: 40'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 7

Data: 26/05/2023

Località: Isola di Bergeggi, Franata

STAZIONE: A6-5 (44° 14,03' 008° 26,72'E)

STAZIONE: B6-5 (44° 14,02' 008° 26,71'E)

Profondità massima: 5,7 m

Orario entrata: 10:40 Orario uscita: 11:25

Tempo totale di immersione: 45'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 8

Data: 26/05/2023

Località: Isola di Bergeggi, Franata

STAZIONE: A6-10 (44° 14.018' N; 8° 26.73' E)

STAZIONE: B6-10 (44° 14.015' N; 8° 26.724' E)

Profondità massima: 10,2 m

Orario entrata: 14:20

Orario uscita: 15:05

Tempo totale di immersione: 45'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 9

Data: 29/05/2023

Località: Punta Predani

STAZIONE: A7-5 (44° 14,44' N; 008° 26,81' E)

STAZIONE: B7-5 (44° 14,46' N; 008° 26,82' E)

Profondità massima: 5,3 m

Orario entrata: 09:25

Orario uscita: 10:11

Tempo totale di immersione: 46'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

IMMERSIONE N° 10

Data: 29/05/2023

Località: Punta Predani

STAZIONE: A7-10 (44° 14,46' N; 008° 26,82' E)

STAZIONE: B7-10 (44° 14,45' N; 008° 26,83' E)

Profondità massima: 11 m

Orario entrata: 11:28

Orario uscita: 12:19

Tempo totale di immersione: 51'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini, A. Oprandi

Tabella 1. Profondità e coordinate geografiche delle stazioni utilizzate per il monitoraggio delle scogliere infralitorali dell'AMP di Bergoggi.

SITO	STAZIONE	Prof. (m)	Lat. N	Long. E
1 – Punta del Maiolo Ovest	A1	5	44° 14,22'	008° 26,47'
	B1	5	44° 14,22'	008° 26,44'
2 – Punta del Maiolo Est	A2	5	44° 14,23'	008° 26,51'
	B2	5	44° 14,23'	008° 26,52'
3 – Isola di Bergoggi Nord-Est	A3	5	44° 14,10'	008° 26,70'
	B3	5	44° 14,11'	008° 26,69'
4 – Secchetta della Croce	A4	10	44° 14,18'	008° 26,64'
	B4	10	44° 14,16'	008° 26,64'
5 – Isola di Bergoggi Canalone	A5-5 m	5	44° 14,07'	008° 26,77'
	B5-5 m	5	44° 14,06'	008° 26,76'
	A5-10 m	10	44° 14,08'	008° 26,79'
	B5-10 m	10	44° 14,07'	008° 26,79'
6 – Isola di Bergoggi Franata	A6-5 m	5	44° 14,03'	008° 26,72'
	B6-5 m	5	44° 14,02'	008° 26,71'
	A6-10 m	10	44° 14,01'	008° 26,74'
	B6-10 m	10	44° 14,02'	008° 26,77'
7 – Punta Predani	A7-5 m	5	44° 14,44'	008° 26,81'
	B7-5 m	5	44° 14,46'	008° 26,82'
	A7-10 m	10	44° 14,46'	008° 26,82'
	B7-10 m	10	44° 14,45'	008° 26,83'

2.3. Attività di campo

Per la valutazione dello stato di salute delle scogliere infralitorali il piano di monitoraggio (che ripercorre esattamente quello realizzato durante i monitoraggi del 2007; Bianchi et al., 2007) ha previsto di selezionare due siti in corrispondenza delle scogliere sommerse presenti in zona A dell'AMP alla profondità di 5 m, due siti in corrispondenza delle falesie presenti in zona B dell'AMP, sempre a 5 m di profondità, e due siti in corrispondenza delle falesie presenti in zona C dell'AMP a 5 m di profondità, per un totale di sei siti (Tabella 1). Inoltre, sono stati monitorati due siti presenti nella zona A dell'AMP e due siti presenti all'interno della zona B alla profondità di 10 m, per un totale di altri quattro siti (Tabella 1). In ciascun sito sono state selezionate, randomicamente, due stazioni di rilevamento, per un totale di 12 stazioni alla profondità di 5 m e di 8 stazioni alla profondità di 10 m (Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Tabella 1). A ciascuna profondità il disegno di campionamento ha previsto un numero di repliche di rilevamenti visivi pari a tre per ogni stazione (tramite la tecnica del quadrato bionomico, si veda più avanti), per un totale di 36 quadrati a 5 m (Fig. 3) e di 24 quadrati a 10 m (Fig. 4).

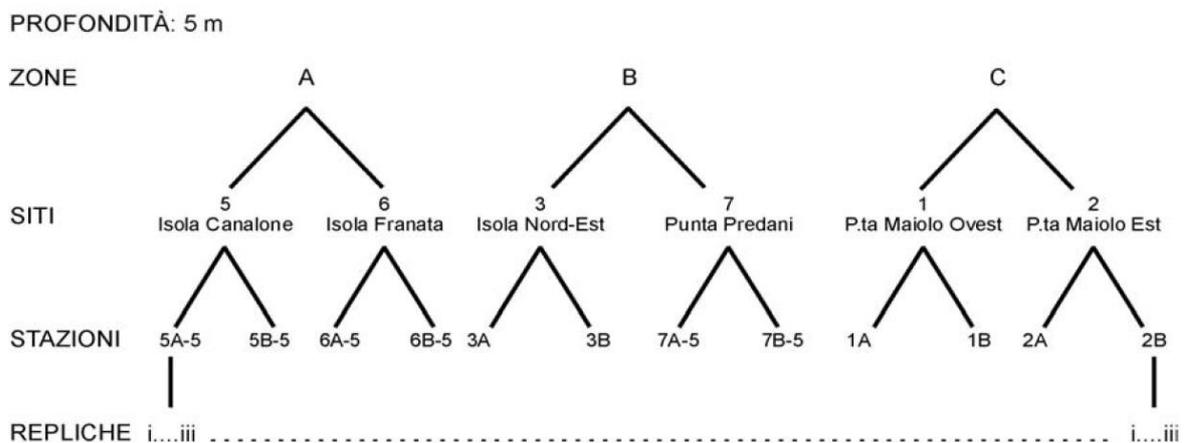


Figura 3. Piano di campionamento utilizzato per il monitoraggio delle scogliere rocciose infralitorali nei sei siti a 5 m di profondità.

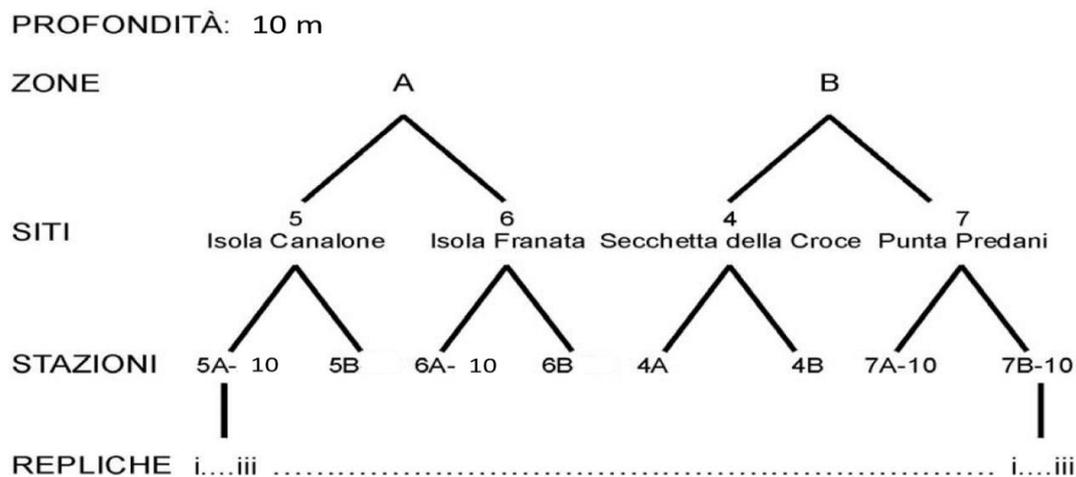


Figura 4. Piano di campionamento utilizzato per il monitoraggio delle scogliere rocciose infralitorali nei quattro siti alla profondità di 10 m.

In ognuna delle stazioni di monitoraggio sono state realizzate tre repliche di rilevamento visivo, utilizzando la tecnica del quadrato bionomico per mezzo di una cornice quadrata di materiale plastico posata sulla roccia, all'interno della quale il ricercatore subacqueo ha stimato il ricoprimento % delle specie sessili cospicue presenti. A livello nazionale, questa tecnica di campionamento del benthos rappresenta la metodica più diffusa per lo studio quali-quantitativo delle biocenosi infralitorali (Bianchi et al., 2004). La cornice impiegata, un quadrato di 0,5 m per lato, è suddivisa al suo interno, per mezzo di una serie di cimette, in quadrati più piccoli (25 quadratini di lato 10 cm) che fungono da riferimento per i rilevamenti quantitativi. A ogni specie o taxa superiore identificato è assegnato un punteggio da 0 a 4 in ciascuno dei 25 quadratini: 0 in caso di totale assenza; 1 se la specie/taxa copre circa $\frac{1}{4}$ della superficie del quadratino; 2 se il ricoprimento interessa circa $\frac{1}{2}$ della superficie del quadratino; 3 se il ricoprimento è intorno ai $\frac{3}{4}$; 4 se la specie/taxa occupa praticamente tutto il quadratino. Con il simbolo «+» (cui in fase di elaborazione si attribuisce generalmente il valore convenzionale di 0,5%) si indica una presenza con ricoprimento trascurabile (inferiore a $\frac{1}{4}$ di quadratino). I valori finali di abbondanza sono sommati per tutti i quadratini ed espressi come percentuale di copertura (cover %) della specie/taxa sull'intero quadrato (Montefalcone et al., 2007).

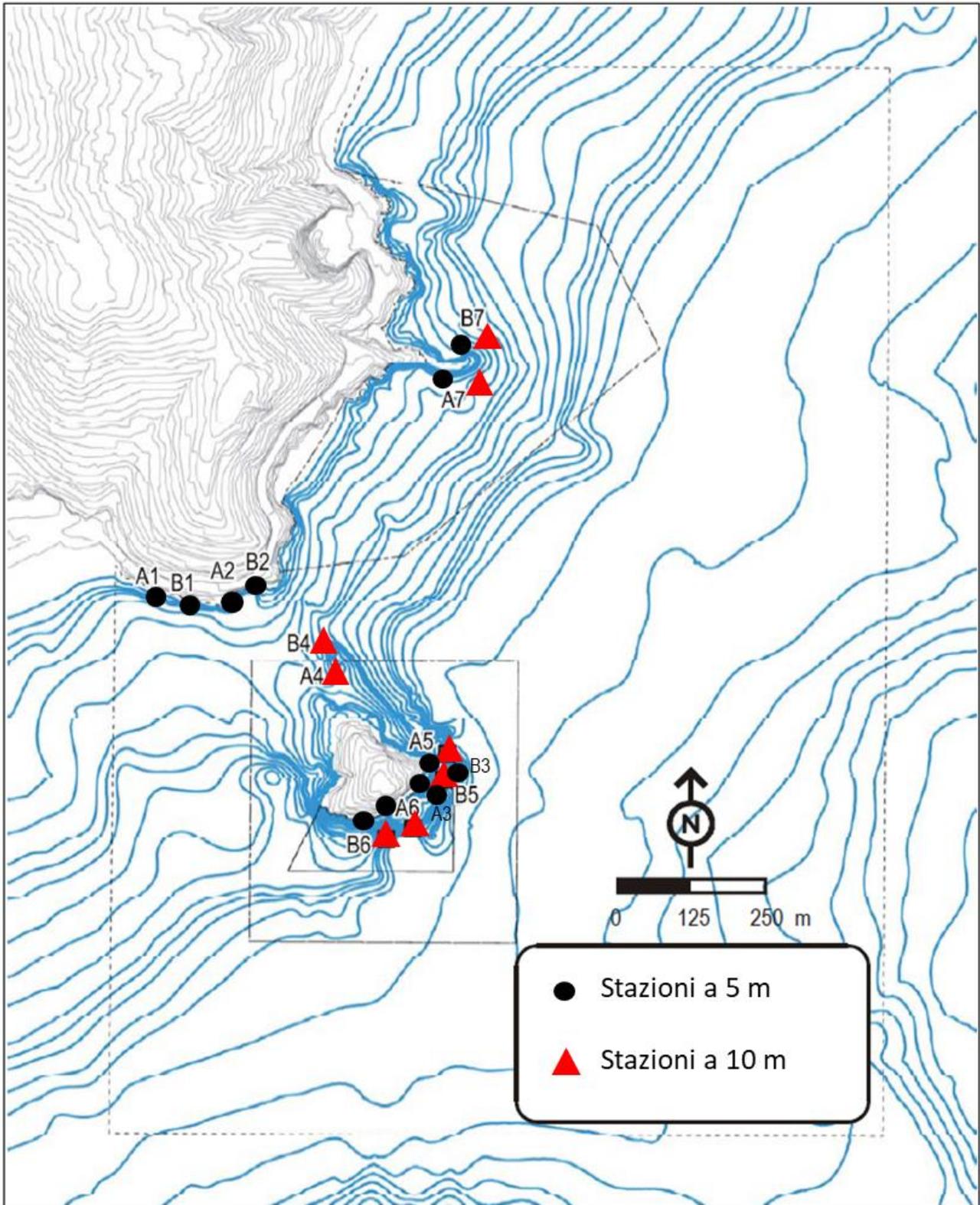


Figura 5. Posizione delle stazioni di rilevamento visivo (con tre repliche di quadrati per stazione) utilizzato per il monitoraggio delle biocenosi infralitorali di scogliera dell'AMP Isola di Bergoggi. La linea tratteggiata indica i confini della zona C, quella tratto-punto della zona B, quella intera della zona A.

2.4. Analisi dei dati

Al fine di definire la composizione, la struttura e lo stato ecologico delle comunità bentoniche delle scogliere rocciose infralitorali all'interno dell'Area Marina Protetta Isola di Bergeggi, le specie/taxa identificate e le loro relative abbondanze (cover %) rilevate durante i monitoraggi tramite i quadrati bionomici sono state organizzate in matrici (stazione x profondità) x specie su un foglio di calcolo Excel.

Tramite il software open-source PaSt (Hammer et al., 2001) dalla matrice dei dati sono stati calcolati gli Indici di Diversità. In particolare, si è scelto di utilizzare l'Indice di Shannon (H') per misurare la diversità delle specie. I risultati ottenuti sono stati poi confrontati con la tabella di riferimento esistente in letteratura (Zettler et al., 2007) per definire lo stato ecologico delle comunità di scogliera dell'infralitorale (Tabella 2). La formula usata per il calcolo dell'Indice di Shannon (H') è:

$$H = -\sum_i \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$$

dove n rappresenta il numero delle specie e n_i l'abbondanza relativa della specie i esima in termini di % di ricoprimento (cover %), ln è il logaritmo naturale.

Tabella 1. Limiti tra le classi di qualità ecologica e codici di colore (*sensu* Water Framework Directive) per la definizione dello stato ecologico delle comunità di scogliere rocciose infralitorali basata sui valori dell'Indice di Diversità di Shannon.

ELEVATO	$H' > 4$
BUONO	$3 < H' \leq 4$
SUFFICIENTE	$2 < H' \leq 3$
SCARSO	$1 < H' \leq 2$
CATTIVO	$H' \leq 1$

L'Indice di Dominanza di Simpson (D) è stato invece utilizzato per misurare la dominanza di specie nella comunità e avere quindi, indirettamente, un'indicazione sul grado di equipartizione (= equitabilità) delle specie all'interno della comunità. La formula usata per il calcolo dell'Indice di Dominanza di Simpson (D) è:

$$D = \sum_i \frac{n_i(n_i - 1)}{n(n - 1)}$$

dove n rappresenta il numero delle specie e n_i l'abbondanza relativa della specie i esima in termini di % di ricoprimento (cover %).

Inoltre, i dati raccolti in immersione con l'impiego della tecnica del quadrato bionomico sono stati elaborati in valori di ricoprimento percentuale di ogni organismo sessile per ciascun quadrato (sommando i ricoprimenti all'interno di ogni singolo quadratino per tutto il quadrato). Per effettuare una comparazione dei popolamenti presenti tra i vari siti monitorati all'interno dell'AMP e per il confronto dei popolamenti nel tempo tra il 2007 e il 2023 (monitoraggi realizzati durante lo stesso mese di maggio in entrambi i tempi), per ciascun sito è stato calcolato il valore medio di ricoprimento dei principali gruppi tassonomici presenti: Chlorophyta (alghe verdi), Rhodophyta (alghe rosse), Ochrophyta (alghe brune), Porifera (spugne), Cnidaria (cnidari), e Annelida (anellidi), feltro algale (turf) e sedimento. Il feltro algale è costituito da intrecci di alghe indistinguibili al censimento visivo, spesso inframezzati da sedimento.

3. RISULTATI

3.1 Stato ecologico delle scogliere infralitorali

Nell'ambito dei monitoraggi condotti sulle scogliere rocciose infralitorali dell'AMP Isola di Bergeggi (sia a 5 m sia a 10 m) sono state rilevate un totale di 33 specie/taxa bentoniche sessili, tra le quali 15 specie sono animali e 18 specie sono vegetali. Il 6% (N = 2) della comunità è rappresentato da specie appartenenti al phylum Annelida, il 12% (N = 4) sono Cnidaria, il 12% (N = 4) sono Ochrophyta, il 27% (N = 9) sono Porifera, il 15% (N = 5) sono Chlorophyta e il 27% (N = 9) sono Rhodophyta (Fig. 6). Questo risultato evidenzia come la componente algale fotofila sia dominante nella comunità e identifica pertanto, come ci si poteva aspettare, una comunità tipica di questa zona batimetrica dell'infralitorale superiore, ascrivibile all'habitat 'MB1.51, Roccia infralitorale ben illuminata, esposta' (SPA/RAC-UN Environment/MAP, 2019; Montefalcone et al., 2021).

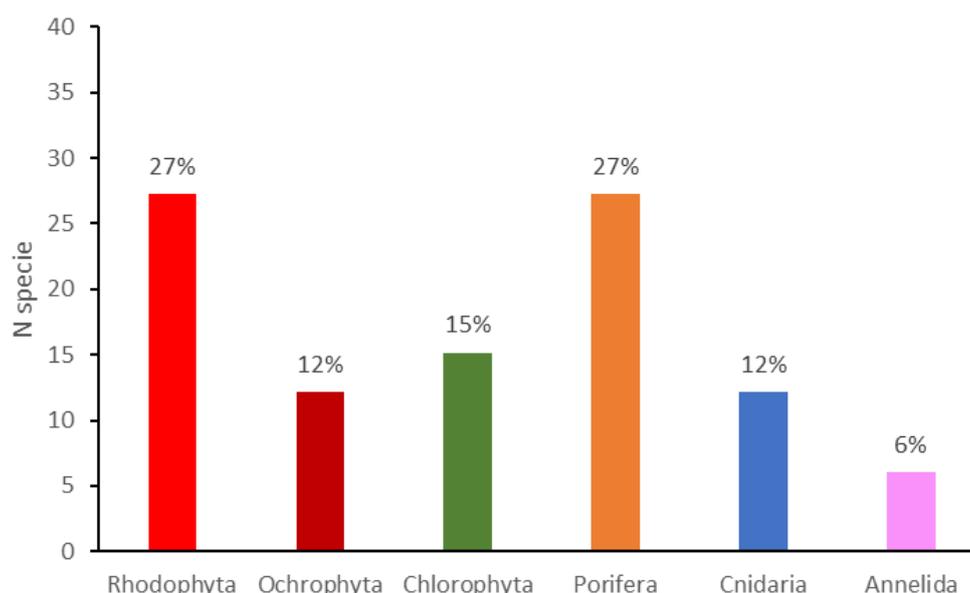


Figura 6. Numero di specie/taxa (N) per i principali taxa animali e vegetali che compongono le comunità di scogliera rocciosa infralitorale, identificate in tutta l'area di indagine, alle due profondità indagate (5 m e 10 m). È inoltre indicata l'abbondanza relativa (in %) di ogni Phylum/Divisione sull'intera comunità.

La diversità della comunità, misurata attraverso l'indice di Shannon (H'), per tutte le stazioni indagate alla profondità di 5 m è compresa tra 1,43 e 2,00: Punta del Maiolo Ovest: $H'=1,74$; Punta del Maiolo Est (5 m): $H'=2,00$; Isola Nord-Est (5 m): $H'=1,59$; Punta Predani (5 m): $H'=1,47$; Isola Canalone (5 m): $H'=1,46$; Isola Franata (5 m): $H'=1,43$ (Fig. 7). Anche nelle stazioni indagate alla profondità di 10 m la diversità della comunità è compresa tra 1,75 e

1,90: Isola Franata (10 m): $H'=1,80$; Isola Canalone (10 m): $H'=1,75$; Secchetta della Croce (10 m): $H'=1,84$; Punta Predani (10 m): $H'=1,90$ (Fig. 8). In generale si evidenzia una bassa diversità, e quindi uno scarso ($1 < H' \leq 2$) stato ecologico della comunità di scogliera rocciosa infralitorale in tutte le stazioni monitorate, indipendentemente dalla zona a diversa tutela ambientale in cui si trovano (i.e., zona A, B, C) e dalla profondità (i.e., 5 m e 10 m).

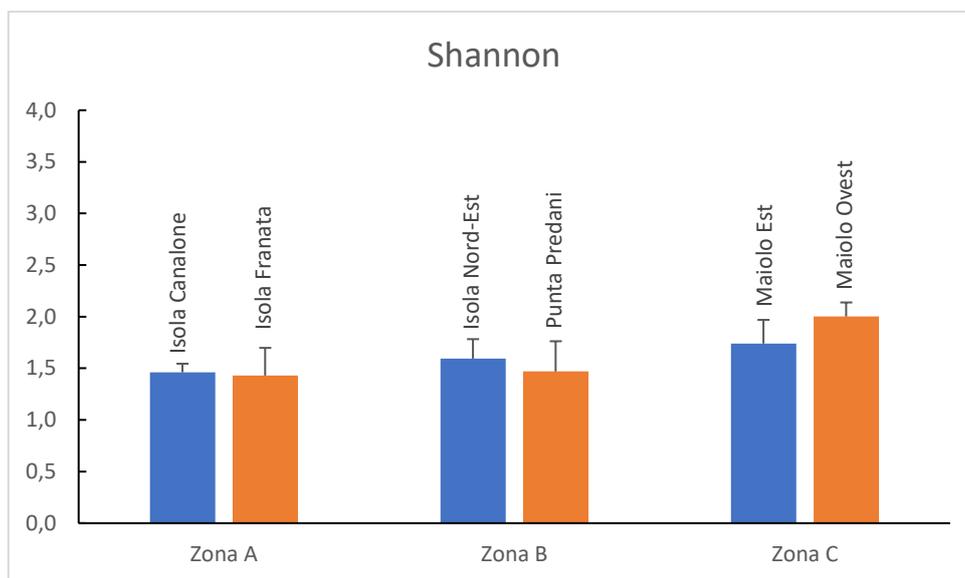


Figura 7. Valori medi (+ d.s.) dell'Indice di Shannon H' calcolati in ogni stazione alla profondità di 5 m nei siti monitorati sulle scogliere rocciose infralitorali nelle zone A, B, e C dell'Area Marina Protetta Isola di Bergoggi. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

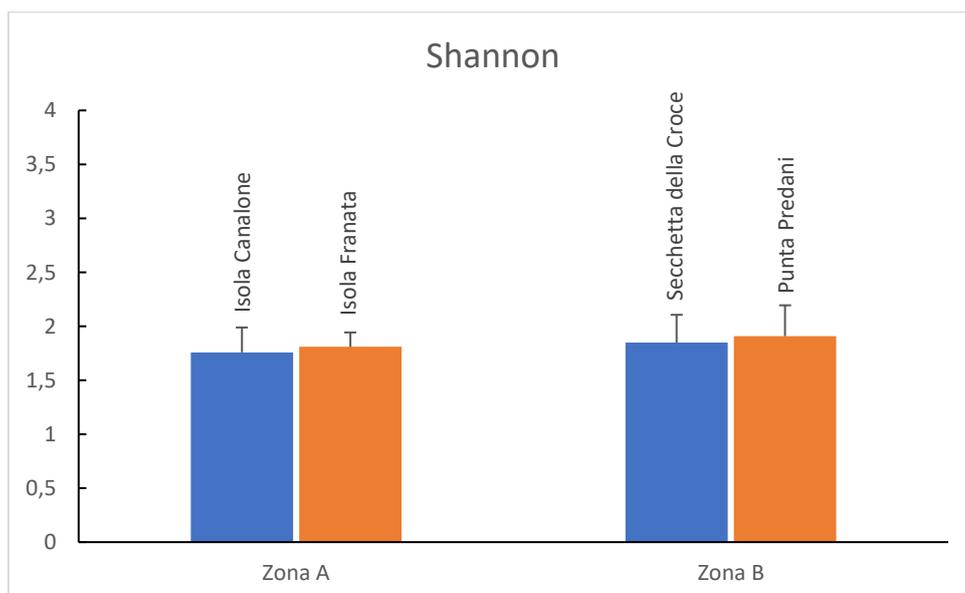


Figura 8. Valori medi (+ d.s.) dell'Indice di Shannon H' calcolati in ogni stazione alla profondità di 10 m nei siti monitorati sulle scogliere rocciose infralitorali nelle zone A e B dell'Area Marina Protetta Isola di Bergoggi. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

La dominanza delle comunità, misurata attraverso l'indice di Dominanza di Simpson (D), per tutte le stazioni indagate alla profondità di 5 m è compresa tra 0,16 e 0,38 in tutte le stazioni: Punta del Maiolo Ovest: $D=0,25$; Punta del Maiolo Est (5 m): $D=0,16$; Isola Nord-Est (5 m): $D=0,27$; Punta Predani (5 m): $D=0,38$; Isola Canalone (5 m): $D=0,30$; Isola Franata (5 m): $D=0,32$ (Fig. 9). Anche nelle stazioni indagate alla profondità di 10 m la dominanza delle comunità è compresa tra 0,22 e 0,24: Isola Franata (10 m): $D=0,22$; Isola Canalone (10 m): $D=0,24$; Secchetta della Croce (10 m): $D=0,23$; Punta Predani (10 m): $D=0,23$ (Fig.10). Si evidenzia, quindi, delle comunità di scogliera rocciosa infralitorale poco o moderatamente dominate (Fig. 8).

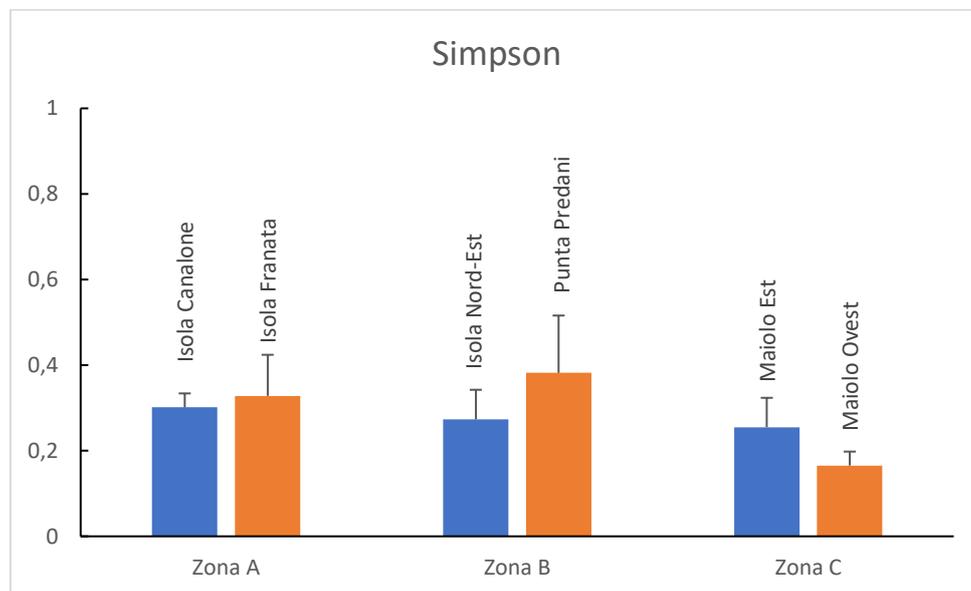


Figura 9. Valori medi (+ d.s.) dell'Indice di Dominanza di Simpson calcolati in ogni stazione alla profondità di 5 m nei siti monitorati sulle scogliere rocciose infralitorali nelle zone A, B e C dell'Area Marina Protetta Isola di Bergoggi. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

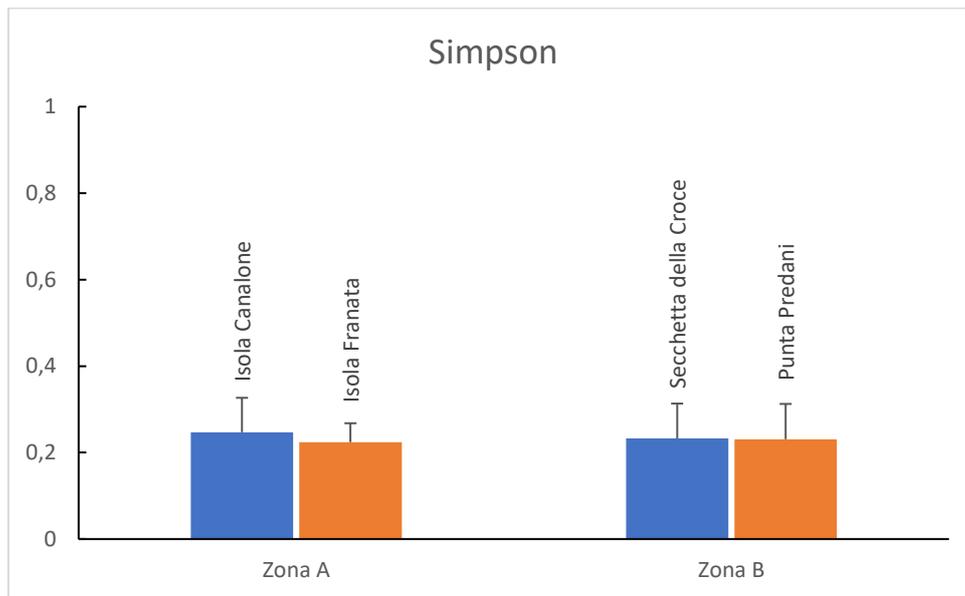


Figura 10. Valori medi (+ d.s.) dell'Indice di Dominanza di Simpson calcolati in ogni stazione alla profondità di 10 m nei siti monitorati sulle scogliere rocciose infralitorali nelle zone A e B dell'Area Marina Protetta Isola di Bergoggi. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

3.2 Cambiamento nel tempo

Lo stato di salute delle scogliere infralitorali era già stato definito nel monitoraggio del 2007 (Bianchi et al., 2007). Il piano di campionamento effettuato nel 2023 ha ripercorso, esattamente nella stessa stagione, tutti i siti e le stazioni studiate nel 2007, sia alla profondità di 5 m sia le due stazioni alla profondità di 10 m (Secchetta della Croce e Punta Predani). È stato quindi possibile confrontare nel tempo la ricchezza delle specie nelle comunità e le percentuali di ricoprimento dei diversi gruppi tassonomici in queste stazioni.

In generale, nel 2007 sono stati registrati un totale di 62 taxa, mentre nel 2023 un totale di 33 taxa. Sebbene la composizione delle comunità di scogliera nei due anni sia rimasta pressoché simile, in termini di principali gruppi tassonomici presenti (i popolamenti algali sono sempre dominanti, seguiti da spugne, cnidari e anellidi), nel tempo sono scomparsi i briozoi (Bryozoa) e le ascidie (Chordata). Questi due taxa presentavano, tuttavia, ricoprimenti inferiori al 2% già nel 2007. Il numero delle specie presenti in tutti i Phylum/Divisioni si è dimezzato nel tempo. I popolamenti algali nel 2007 erano dominati dalle alghe rosse (Rhodophyta), soprattutto *Mesophyllum lichenoides* e *Peyssonnelia* sp., mentre nel 2023 sono dominanti le alghe brune (Ochrophyta), specialmente le specie *Halopteris scoparia* e *Dictyota dichotoma*. Le alghe rosse nel 2023, pur raggiungendo una ricchezza in specie maggiore (N=9) rispetto a quella delle alghe brune (N=4), rappresentano una minima percentuale di copertura del fondo. La stessa tendenza si osserva anche per le alghe verdi (Chlorophyta) che nel 2023 sono poco abbondanti.

Nei 2 siti in zona C (Punta del Maiolo Ovest e Punta del Maiolo Est), alla profondità di 5 m, i popolamenti algali presentavano i maggiori ricoprimenti (>50%) nel 2007, con i valori medi più alti (>35%) raggiunti dalle alghe rosse (Rhodophyta), principalmente caratterizzate da corallinacee incrostanti (Fig. 11). Le spugne (Porifera) raggiungevano ricoprimenti medi del 16% nel sito di Punta del Maiolo Est ed erano presenti, seppur in basse percentuali (<2%), anche i briozoi (Bryozoa) e le ascidie (Chordata). Nel 2023, invece, le alghe brune (Ochrophyta) raggiungono i maggiori valori di copertura della roccia (>50%). Turf e sedimento sono presenti, in entrambi gli anni, con un ricoprimento simile del 20%.

Nel 2007, nei 2 siti in zona B alla profondità di 5 m (Isola Nord-Est e Punta Predani), i popolamenti algali (soprattutto le alghe rosse e brune) presentavano i maggiori ricoprimenti (>30%), insieme alle spugne (Fig. 12). Il turf e il sedimento presentavano un ricoprimento maggiore del 40%. Nel 2007 erano inoltre presenti, seppur in percentuali ridotte (<2%), briozoi (Bryozoa) e ascidie (Chordata). Nel 2023 la componente algale, rappresentata

principalmente dalle alghe brune (Ochrophyta) mostra i maggiori ricoprimenti (>80%). Turf e sedimento mostrano, invece, una diminuzione di copertura nel tempo, passando a ricoprimenti inferiori al 7%. Le spugne sono sempre presenti con ricoprimenti medi dell'8% e del 2%, rispettivamente, per i siti Isola Nord-Est e Punta Predani.

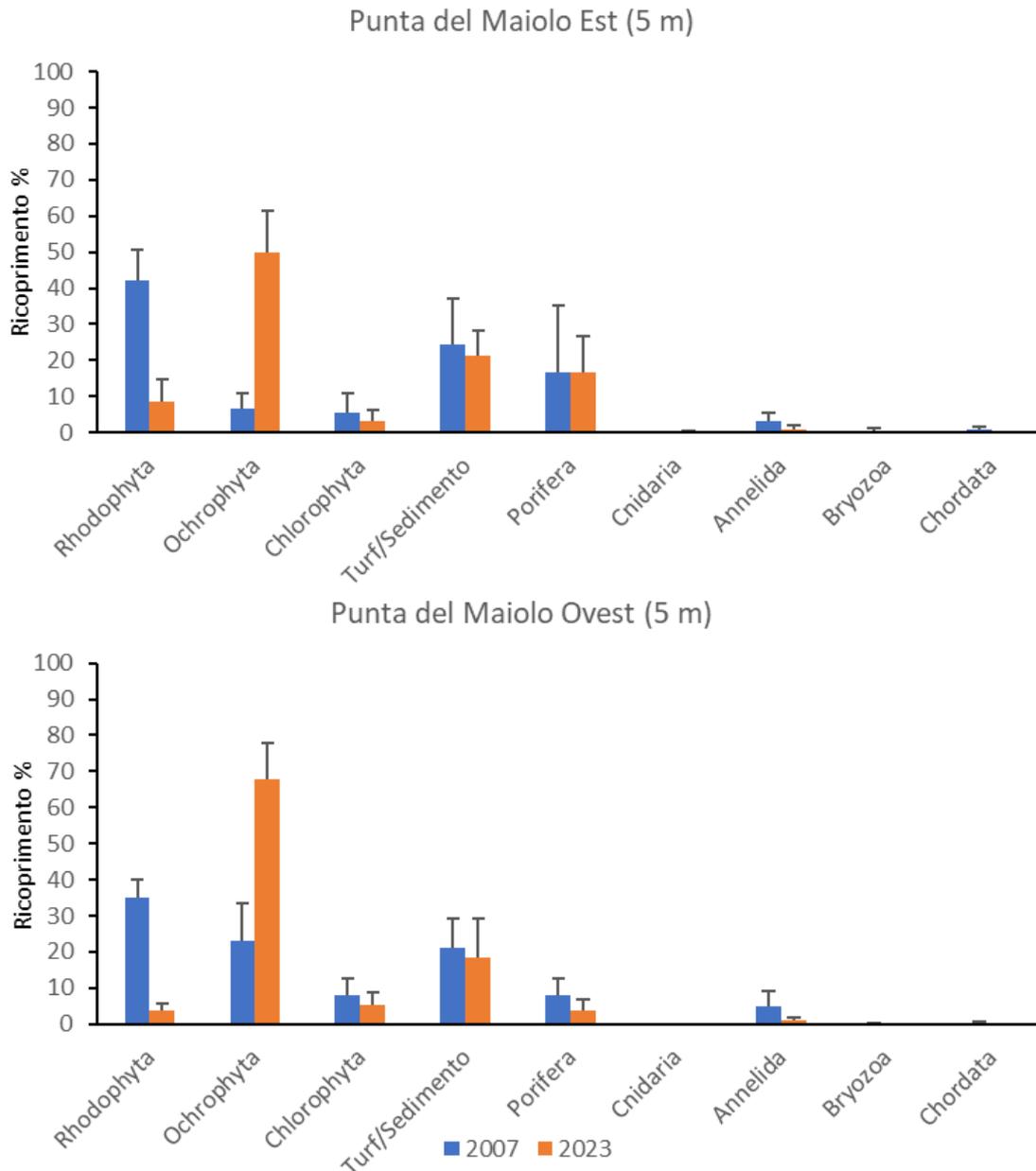


Figura 11. Confronto tra i monitoraggi del 2007 e del 2023 nelle percentuali di ricoprimento dei principali gruppi tassonomici rilevati nelle comunità di scogliera nei siti Punta del Maiolo Est e Punta del Maiolo Ovest, all'interno della zona C dell'AMP. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

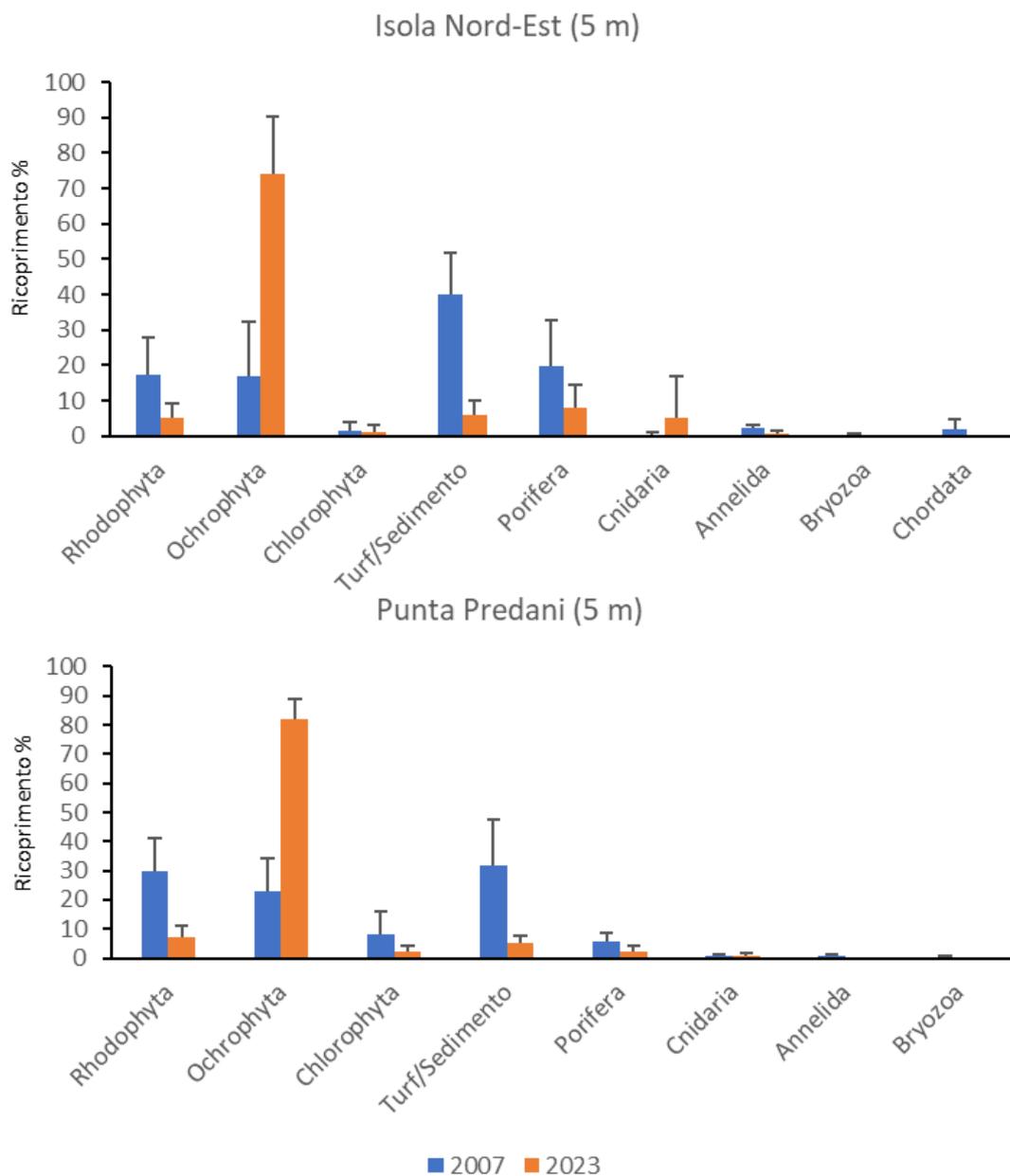


Figura 12. Confronto tra i monitoraggi del 2007 e del 2023 nelle percentuali di ricoprimento dei principali gruppi tassonomici rilevati nelle comunità di scogliera nei siti Isola Nord-Est e Punta Pedani, all'interno della zona B dell'AMP. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

Nel 2007 nei 2 siti in zona A (Isola Franata e Isola Canalone), alla profondità di 5 m, erano sempre i popolamenti algali a presentare i maggiori ricoprimenti del fondo (>50%), seguiti dalle spugne (Fig. 13). Il turf e il sedimento mostravano sempre alti valori di ricoprimento (>30%). Anche nel 2023 i popolamenti algali in questi due siti continuano a presentare il maggiore ricoprimento del fondo (>90%), ma risultano più abbondanti rispetto a quanto osservato nel 2007, e sono rappresentati principalmente dalle alghe brune (Ochrophyta)

(>80%). Turf e sedimento, invece, mostrano una diminuzione nel tempo con un ricoprimento in entrambi i siti di circa il 6%.

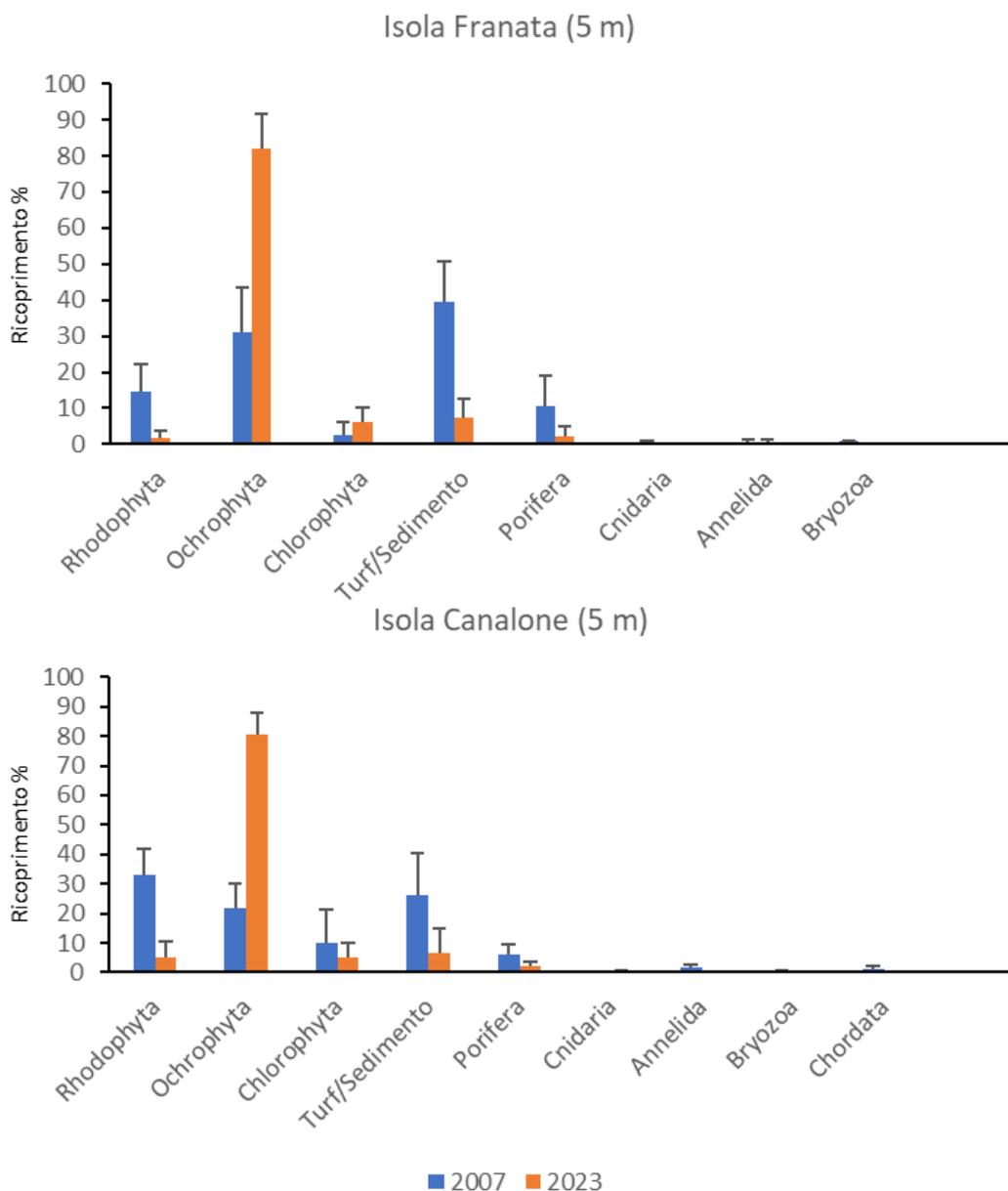


Figura 13. Confronto tra i monitoraggi del 2007 e del 2023 nelle percentuali di ricoprimento dei principali gruppi tassonomici rilevati nelle comunità di scogliera nei siti Isola Franata e Punta Canalone, all'interno della zona A dell'AMP. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

Alla profondità di 10 m (Fig. 14) nel 2007 entrambi i siti (Secchetta della Croce e Punta Predani) erano caratterizzati da alti valori di ricoprimento dei popolamenti algali (>50%), con le alghe rosse sempre dominanti. Porifera, Annelida e Cnidaria erano presenti ma con

ricoprimenti medi sempre minori del 15%. Il sedimento e il turf mostravano valori medi di ricoprimento attorno al 20%. Anche nel 2023 i popolamenti algali sono dominanti, arrivando a raggiungere, nel sito di Punta Predani, un ricoprimento maggiore del 70%. Nel 2023 le alghe dominanti sono le alghe brune. Il turf e il sedimento mostrano valori di ricoprimento medi del 24%. In queste due stazioni, nel 2023, è stata inoltre riscontrata la presenza di mucillagine, con un ricoprimento del 6%.

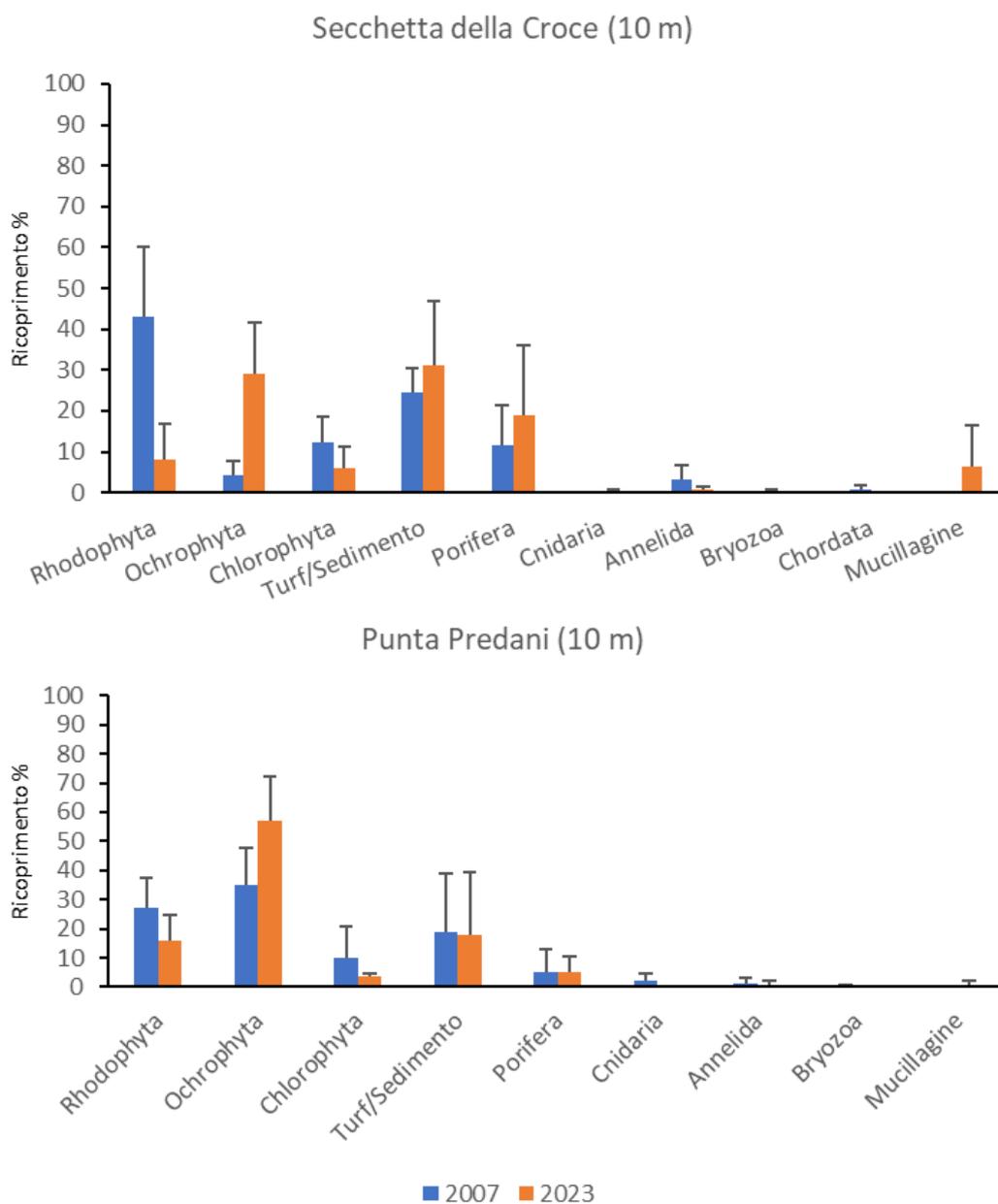


Figura 14. Confronto tra i monitoraggi del 2007 e del 2023 nelle percentuali di ricoprimento dei principali gruppi tassonomici rilevati nelle comunità di scogliera nei siti Secchetta della Croce e Punta Predani, alla profondità di 10 m all'interno della zona B dell'AMP. Il valore medio (+ d.s.) è stato calcolato sulle 3 repliche di quadrati effettuati in ciascuna stazione (A e B) del sito.

4.CONCLUSIONI

I risultati del presente monitoraggio sull'habitat scogliere rocciose infralitorali (Habitat 1170) condotto nell'Area Marina Protetta "Isola di Bergeggi" hanno evidenziato una bassa diversità di specie nelle comunità di scogliera, e quindi uno stato ecologico scarso in tutta l'area indagata. Nonostante la bassa ricchezza del numero di specie, le comunità sono risultate ancora poco dominate da specie tolleranti e/o opportuniste, mostrando una struttura equitabile della comunità. La maggiore abbondanza (in termini di ricoprimento percentuale) di alcune specie alaghi, quali ad esempio *Dictyota dichotoma* e *Halopteris scoparia*, è caratteristica dei popolamenti di scogliera infralitorale superiore.

Le scogliere rocciose dell'infralitorale monitorate si trovano in una fascia batimetrica compresa tra i 4 m e i 12 m circa, che è la zona di mare più prossima alla linea di costa, e sono pertanto maggiormente soggette agli effetti dell'antropizzazione e alle pressioni antropiche. Nonostante la protezione legale fornita dall'AMP all'ambiente marino, alcune pressioni antropiche non possono essere arginate dall'istituzione di un'area marina protetta. Questo è il caso dell'aumento della torbidità dell'acqua, dell'inquinamento e della riduzione della qualità dell'acqua, e dell'aumento delle temperature superficiali, tre pressioni antropiche che sono aumentate in tutto il Mar Ligure negli ultimi decenni (Bianchi et al., 2019). L'azione sinergica di queste pressioni potrebbe, quindi, avere causato una riduzione della biodiversità nelle comunità di scogliera monitorate in tutti i siti dell'AMP, indipendentemente dal livello di protezione (i.e., zona A, B, o C) e dalla profondità (5 m o 10 m).

Il confronto nel tempo ha confermato come, negli ultimi 16 anni, l'habitat di scogliera abbia subito dei cambiamenti. In particolare, il paesaggio di scogliera si è modificato passando da comunità algali caratterizzate principalmente dalle alghe rosse Rhodophyta (e in particolare le corallinacee incrostanti) a comunità algali caratterizzate principalmente dalle alghe brune Ochrophyta. Questo cambiamento nella composizione delle comunità potrebbe essere dovuto, in particolare, alla maggiore tolleranza rispetto alla riduzione della qualità dell'acqua delle alghe brune cespugliose (come *Dictyota dichotoma* e *Halopteris scoparia*) rispetto alle alghe rosse (come le corallinacee incrostanti) (Cecchi et al., 2014). Inoltre, l'aumento graduale della temperatura dell'acqua superficiale che si sta registrando in tutto il Mar Mediterraneo, e anche in Mar Ligure, a partire dagli anni '60 (Parravicini et al., 2015), potrebbe aver favorito un maggiore sviluppo delle alghe brune stagionali e aver causato una maggiore mortalità per sbiancamento delle alghe corallinacee incrostanti (Garrabou et al., 2022). Il riscaldamento globale, infatti, favorisce la crescita di specie stagionali meno

sensibili all'aumento della temperatura a discapito di alghe corallinacee che risultano, invece, maggiormente sensibili (Hereu et al., 2018).

La presenza e il ricoprimento del turf algale e del sedimento sulle scogliere rocciose infralitorali dell'AMP è, invece, diminuito nel tempo in tutte le stazioni monitorate a 5 m, mentre a 10 m è rimasto pressoché costante. Questo risultato è un segnale positivo indicativo del fatto che i popolamenti algali infralitorali di Bergeggi, seppur si siano modificati nel tempo, non stanno andando incontro a fenomeni di omogeneizzazione causati da un potenziale *phase-shift*, che prevederebbe un passaggio da popolamenti algali tridimensionali cespugliosi a popolamenti dominati da feltro algale (Sala et al., 2012).

È inoltre importante sottolineare come, nel 2007, l'alga aliena *Caulerpa cylindracea* era presente nel sito di Punta Predani con un ricoprimento medio pari al 14%. Oggi *C. cylindracea* è stata ritrovata nello stesso sito ma con un ricoprimento inferiore all'1%. Nonostante sia una specie termofila, *C. cylindracea* è apparsa in regressione in diverse aree della Liguria negli ultimi anni, e i risultati ottenuti dal presente monitoraggio confermano questo trend generale di regressione. Anche questo risultato è estremamente positivo, soprattutto in considerazione del fatto che l'alga aliena *C. cylindracea* aveva raggiunto coperture significative (>80%) in molte zone dell'AMP negli anni compresi tra il 2007 e il 2014 (Oprandi et al., 2014).

Le comunità di scogliera che presentano bassi valori di diversità di specie risultano meno resilienti e sono, pertanto, maggiormente vulnerabili al rischio di erosione ulteriore della biodiversità (che avviene tipicamente con la scomparsa delle specie più sensibili e meno abbondanti). L'erosione della biodiversità, soprattutto delle specie chiave, causerebbe anche una perdita di funzioni fondamentali per il normale funzionamento dell'ecosistema. Sarà pertanto fondamentale continuare a monitorare nel tempo lo stato ecologico di questo habitat per evidenziare eventuali modifiche nella sua qualità e nel suo funzionamento.

Bibliografia

- Bianchi C.N., Azzola A., Bertolino M., Betti F., Bo M., Cattaneo-Vietti R., Cocito S., Montefalcone M., Morri C., Oprandi A., Peirano A., Bavestrello G. 2019. Consequences of the marine climate and ecosystem shift of the 1980-90s on the Ligurian Sea biodiversity (NW Mediterranean). *The European Zoological Journal*, 86(1): 458-487.
- Bianchi C.N., Montefalcone M., Morri C., Parravicini V. 2007. Contratto di ricerca relativo al monitoraggio della Grotta Marina e delle biocenosi infralitorali di scogliera nell'Area Marina Protetta "Isola di Bergeggi". Relazione Finale. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università degli Studi di Genova, p. 128.
- Bianchi C.N., Pronzato R., Cattaneo-Vietti R., Benedetti Cecchi L., Morri C., Pansini M., Chemello R., Milazzo M., Frascchetti S., Terlizzi A., Peirano A., Salvati E., Benzoni F., Calcinaï B., Cerrano C., Bavestrello G. 2004. Hard bottoms. *Biologia Marina Mediterranea*, 11: 185-215.
- Cecchi E., Gennaro P., Piazzì L., Ricevuto E., Serena F. 2014. Development of a new biotic index for ecological status assessment of Italian coastal waters based on coralligenous macroalgal assemblages. *European Journal of Phycology*, 49(3): 298-312.
- Crowe T.P., Thompson R.C., Bray S., Hawkins S.J. 2000. Impacts of anthropogenic stress on rocky intertidal communities. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7: 273-297.
- Firth L.B., Knights A.M., Bridger D., Evans A.J., Mieszkowska N., Moore P.J., O'Connor N.E., Sheehan E.V., Thompson R.C., Hawkins S.J. 2016. Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 54: 189-262.
- Garrabou J., Gómez-Gras D., Medrano A., Cerrano C., Ponti M., Schlegel R., ..., Harmelin J.G. 2022. Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*, 28(19): 5708-5725.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PaSt: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 4.
- Hereu B., Matamalas N., Aspillaga E., Capdevila P., Rovira G. 2018. Bleaching of crustose coralline algae in the Mediterranean Sea. In *3rd Mediterranean Symposium on the Conservation of Coralligenous and Other Calcareous Bio-Concretions* (pp. 63-68).

- Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N., Bavestrello C., Piazzì L. 2017. The two facets of species sensitivity: stress and disturbance on coralligenous assemblages in space and time. *Marine Pollution Bulletin*, 117: 229-238.
- Montefalcone M., Tunesi L., Ouerghi A. 2021. A review of the classification systems for marine benthic habitats and the new updated Barcelona Convention classification for the Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 169: 105387.
- Oprandi A., Montefalcone M., Ferrari M., Morri C., Bianchi C.N. 2014. Invasion of the alien green alga *Caulerpa racemosa* and phase shift within the *Posidonia oceanica* seagrass meadow of Bergeggi. *Biologia Marina Mediterranea*, 21: 101-104.
- Parravicini V., Mangialajo L., Mousseau L., Peirano A., Morri C., Montefalcone M., ..., Bianchi C.N. 2015. Climate change and warm-water species at the north-western boundary of the Mediterranean Sea. *Marine Ecology*, 36(4): 897-909.
- Sala E., Ballesteros E., Dendrinos P., Di Franco A., Ferretti F., Foley D., ..., Zabala M. 2012. The structure of Mediterranean rocky reef ecosystems across environmental and human gradients, and conservation implications. *PloS One*, 7(2): e32742.
- SPA/RAC-UN Environment/MAP. 2019. Updated classification of benthic marine habitat types for the Mediterranean Region. UNEP/MAP-SPA/RAC publ, Tunis.
- Zettler M.L., Schiedek D., Bobertz B. 2007. Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 55 (1-6): 258-270.