

**CONVENZIONE OPERATIVA TRA L'AREA MARINA PROTETTA ISOLA DI BERGEGGI  
E IL DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA, DELL'AMBIENTE E DELLA VITA  
(DISTAV)**

# **QUALITÀ ECOLOGICA DELL'HABITAT CORALLIGENO NELL'AMP ISOLA DI BERGEGGI**

## **RELAZIONE FINALE ANNO 2023**

a cura di

**Annalisa Azzola, Annalaura Acierno, Monica Montefalcone**

Responsabile scientifico: Prof.ssa Monica Montefalcone

Seascape Ecology Lab., DiSTAV, Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26,  
16132 Genova

**Genova, dicembre 2023**

## INDICE

1. PREMESSE	3
2. MATERIALI E METODI	5
2.1. Tecniche di rilevamento e area di studio	5
2.2. Diario di campo: protocollo STAR (Indice COARSE)	6
2.3. Attività di campo: protocollo STAR (Indice COARSE)	7
2.4. Analisi dei dati	8
2.4.1. Applicazione dell'Indice COARSE	8
2.4.2. Applicazione dell'Indice MACS	10
3. RISULTATI	12
3.1. Stato ecologico del coralligeno tramite Indice COARSE	12
3.2. Stato ecologico del coralligeno tramite Indice MACS	13
4. CONCLUSIONI	15
Bibliografia	18

## 1. PREMESSE

Al fine di attuare quanto previsto dalle Direttive Natura (Direttiva Habitat 92/43/CEE, Direttiva Uccelli 2009/147/CE) sugli habitat e le specie di particolare interesse comunitario e per la corretta gestione dei Siti di Interesse Comunitario/Zone Speciali di Conservazione (SIC/ZSC) che ricadono all'interno delle Aree Marine Protette (AMP), l'AMP Isola di Bergeggi e il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DiSTAV, Università degli Studi di Genova) hanno stipulato una convenzione operativa con l'obiettivo di definire lo stato ecologico del coralligeno (Habitat 1170) all'interno dei confini dell'AMP e nell'area circostante dove è nota la presenza di questo habitat.

Il coralligeno rappresenta, in termini di estensione, biodiversità e produzione, uno degli habitat marini costieri più importanti del Mar Mediterraneo, in grado di creare un paesaggio marino estremamente complesso e diversificato (Ballesteros, 2006), il cui valore è paragonabile a quello delle scogliere coralline tropicali (Bianchi, 2001). A causa della sua suscettibilità alle pressioni antropiche locali e globali, il coralligeno è definito come un ecosistema vulnerabile, anche a causa del lento tasso di crescita tipico di molte specie strutturanti (Ferrigno et al., 2021). Il coralligeno è definito dalla Direttiva Quadro sulla Strategia per l'ambiente Marino (MSFD) come un "tipo di habitat speciale", in quanto la valutazione del suo stato ecologico è uno strumento prezioso per definire lo stato ambientale (ES) delle regioni marine del Mediterraneo (CE, 2008).

In questo contesto, dal 2009, sono stati proposti diversi indici ecologici per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno basati su diverse tecniche di rilevamento (Di Camillo et al., 2023). Nel presente piano di monitoraggio sono state considerate due differenti situazioni: i) l'habitat a coralligeno di parete presente all'interno dei confini dell'AMP Isola di Bergeggi a circa 30 m di profondità; e ii) l'habitat a coralligeno di piattaforma o le secche coralligene presenti nell'area prospiciente Bergeggi, fuori dai confini dell'AMP, a circa 50-60 m di profondità. Con l'obiettivo di valutarne lo stato ecologico, sono state applicate due diverse metodologie di rilevamento e di analisi.

In particolare, per l'habitat a coralligeno di parete ricadente nell'AMP è stato adottato il protocollo STAR (*STAndaRdize Coralligenous Evaluation Procedure*), come previsto a livello nazionale dalle linee guida di ISPRA (Gennaro et al., 2020). Questo protocollo combina approcci biocenotici, tramite rilevamenti fotografici, con approcci paesaggistici, tramite rilevamenti visivi e misure sul campo. Tra gli indici proposti dal protocollo STAR per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno, nel presente monitoraggio è stato

applicato l'indice COARSE (*Coralligenous Assessment by Reef Scape Estimate*; Gatti et al., 2015). Questo indice dà importanza all'elevata eterogeneità spaziale e alla tridimensionalità del coralligeno, tenendo conto dei tre strati da cui è composto: (i) strato basale, costituito principalmente da organismi incrostanti che si accrescono sul piano orizzontale; (ii) strato intermedio, caratterizzato dalla presenza di organismi che si accrescono sia sul piano orizzontale sia verticale, con un'altezza massima di 10 cm e con forme di crescita cespugliose, fogliose e massive emisferiche; e (iii) strato elevato, costituito da organismi di dimensioni maggiori di 10 cm che si accrescono principalmente sul piano verticale, con forme di crescita arborescenti, che apportano un importante contributo alla struttura del coralligeno e soprattutto alla tridimensionalità strutturale dell'habitat. Essendo popolati da specie diverse i tre strati del coralligeno risentono, e quindi rispondono, in modo differente ai fattori ambientali e alle pressioni antropiche locali e globali (Gatti et al., 2015a).

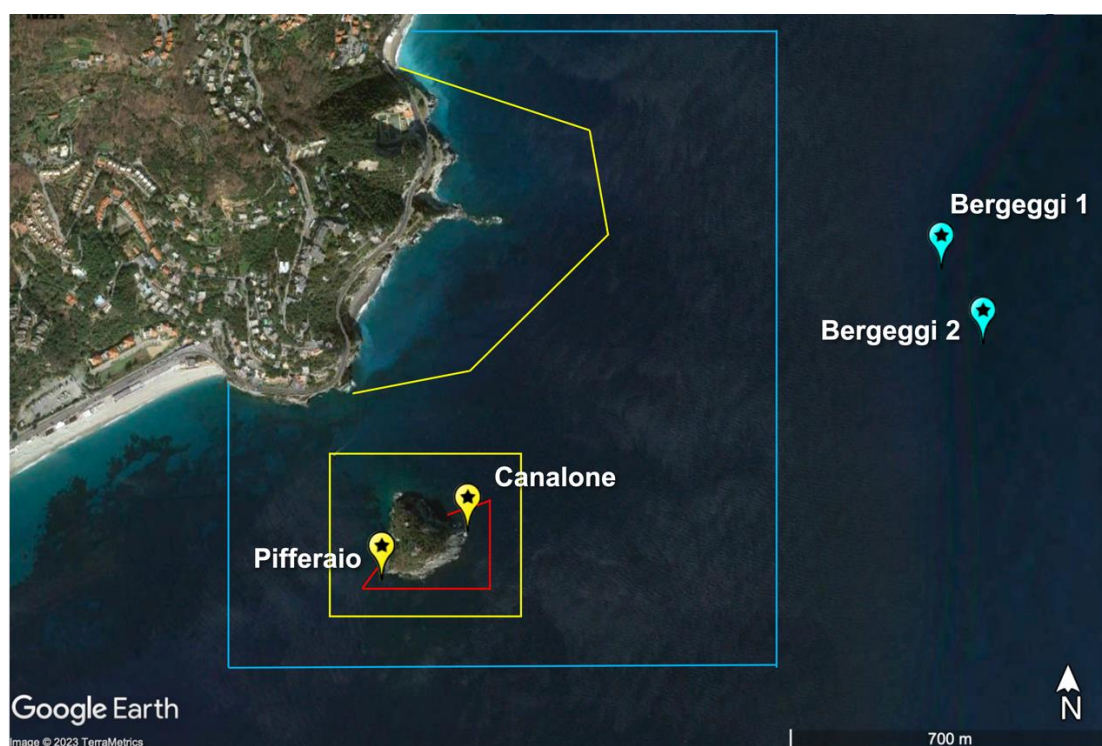
Per l'habitat a coralligeno di piattaforma o per le secche coralligene presenti nell'area prospiciente Bergeggi, fuori dai confini dell'AMP a circa 50-60 m di profondità, sono stati analizzati video-transetti ROV (*Remotely Operated Vehicle*) per l'applicazione dell'indice MACS (*Mesophotic Assemblages Conservation Status*, Enrichetti et al., 2019). Questo indice multiparametrico integra tre descrittori inclusi nella MSFD per definire lo stato ambientale delle regioni marine del Mediterraneo, ovvero: i) la diversità biologica, ii) l'integrità del fondale, e iii) la presenza e la tipologia di rifiuti marini. Considerando quindi lo stato del coralligeno e gli impatti a cui è soggetto, l'indice MACS risulta efficace nel distinguere gli effetti dei fenomeni naturali da quelli antropici portando a una migliore comprensione delle realtà locali (Enrichetti et al., 2019).

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1. Area di studio e tecniche di rilevamento

L'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 Km<sup>2</sup> (215 ha).

Per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno di parete dell'AMP Isola di Bergeggi sono state svolte immersioni subacquee (si veda la sezione '2.2. Diario di campo') per l'applicazione del protocollo STAR e dell'indice COARSE nei siti Canalone (44°14,07' N; 08°26,77' E) e Pifferaio (44°14,027' N; 8°26,620' E) (Fig. 1). Per il coralligeno di piattaforma e per le secche presenti nell'area prospiciente Bergeggi, invece, sono stati analizzati i video-transetti ROV (50 m di lunghezza × 2 m di ampiezza, forniti dall'AMP) per l'applicazione dell'indice MACS nei siti nominati Bergeggi 1 (44°14,388' N; 8°27,574' E) e Bergeggi 2 (44°14,295' N; 8°27;641' E) (Fig. 1).



**Figura 1.** Mappa dell'AMP Isola di Bergeggi, dove è indicata la delimitazione delle zone: Zona A in rosso, Zona B in giallo, e Zona C in blu. Inoltre, sono riportati i siti dove sono stati condotti i monitoraggi per la valutazione dello stato ecologico dell'habitat coralligeno tramite applicazione dell'indice COARSE (in giallo) e tramite applicazione dell'indice MACS (in azzurro).

## 2.2. Diario di campo: protocollo STAR (Indice COARSE)

Le attività di rilevamento in mare per il monitoraggio del coralligeno di parete nell'AMP Isola di Bergeggi tramite l'applicazione del protocollo STAR sono state realizzate in data 30 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/>).

Le operatrici scientifiche subacquee partecipanti alle attività di campo sono state:

- Dr. Annalisa Azzola  
Assegnista di ricerca DiSTAV, Università degli Studi di Genova  
Brevetto Istruttrice FIPSAS e *European Scientific Diver*
- Dott.ssa Ilaria Mancini  
Dottoranda DiSTAV, Università degli Studi di Genova  
Brevetto *Deep Diver* SNSI

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

### IMMERSIONE N° 1

Data: 30/05/2023

Località: Pifferaio (44°14,027' N; 8°26,620' E)

Profondità massima: 30 m

Orario entrata: 9:33

Tempo totale di immersione: 50'

Operatrici scientifiche in immersione: A. Azzola, I. Mancini

## IMMERSIONE N° 2

Data: 30/05/2023

Località: Canalone (44°14,07' N; 08°26,77' E)

Profondità massima: 30 m

Orario entrata: 11:56

Tempo totale di immersione: 45'

Operatrici scientifiche in immersione: A. Azzola, I. Mancini

### **2.3. Attività di campo: protocollo STAR (Indice COARSE)**

In ognuno dei due siti di monitoraggio nell'AMP Isola di Bergeggi sono state effettuate tre repliche di rilevamenti visivi, alla profondità di 30 m, su substrati verticali (80-90°), per un totale di 12 repliche di circa 1,5 m<sup>2</sup> ciascuna. I dati sono stati raccolti seguendo il protocollo STAR (Gennaro et al., 2020) per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno di parete, come indicato di seguito.

Per ogni sito è stata condotta una caratterizzazione geomorfologica considerando i "morfotipi" più frequenti che caratterizzano l'habitat coralligeno (e.g., banco, secca, parete su falesia). Per ogni replica sono stati misurati i seguenti parametri mesologici: profondità, elevazione dal fondo, pendenza, ed esposizione del substrato. L'habitat coralligeno presenta una struttura stratificata poiché è caratterizzato da tre strati distinti (basale, intermedio, elevato) popolati da specie diverse, che risentono e rispondono in modo diverso alle pressioni e agli impatti antropici (Gatti et al., 2012). Per ogni replica sono stati quindi raccolti i dati bionomici separatamente per i tre strati: (i) strato basale, costituito da organismi incrostanti o con crescita verticale limitata (< 1 cm); (ii) strato intermedio, composto da organismi con crescita verticale moderata (1-10 cm); (iii) strato elevato, caratterizzato da organismi con crescita verticale considerevole (> 10 cm).

Nello strato basale, è stata stimata visivamente la copertura percentuale di quattro categorie bentoniche: i) rodofite incrostanti e calcificate (ECR); ii) alghe incrostanti non calcificate (NCEA); iii) animali incrostanti (AN); iv) turf algale e sedimento (TURF/SED). Inoltre, è stata rilevata la presenza di specie perforanti (e.g., papille di Clionidae e fori di bivalvi) attraverso una stima semi-quantitativa della loro abbondanza, utilizzando tre classi: i) abbondante; ii) occasionale; iii) assente. Infine, lo spessore della concrezione calcarea è stato misurato tramite un penetrometro portatile (la misura è stata ripetuta sei

volte in ogni replica di rilevamento). Nello strato intermedio sono state censite le specie sessili cospicue presenti (considerando un tempo pari a 2 minuti come sforzo di campionamento). Nello strato elevato, sono state stimate visivamente: i) la percentuale di copertura di ogni specie eretta; ii) la percentuale di necrosi (anche se coperta da epibionti) per ogni popolazione; iii) per ogni specie è stata misurata l'altezza massima dell'esemplare più alto.

In ciascuna replica sono state inoltre raccolte 10 fotografie utilizzando una cornice quadrata di 50 cm x 50 cm, per un totale di 30 fotografie per ciascun sito di monitoraggio. È stata utilizzata una macchina fotografica Canon EOS R con scafandro NIMAR PRO e flash esterno. Le foto così raccolte sono state analizzate al computer al fine di completare il censimento delle specie presenti nello strato intermedio e per verificare i valori registrati in immersione delle % di ricoprimento delle categorie bentoniche nello strato basale.

## **2.4. Analisi dei dati**

### **2.4.1. Applicazione dell'indice COARSE**

Lo stato ecologico dell'habitat a coralligeno di parete nell'AMP Isola di Bergeggi è stato valutato tramite l'applicazione dell'indice COARSE (Gatti et al., 2012, 2015a). Questo indice considera i tre strati principali del coralligeno (basale, intermedio, elevato) in modo indipendente. Lo stato ecologico è quindi valutato per ogni singolo strato e poi mediato sui tre strati per definire lo stato ecologico complessivo del coralligeno nel sito in esame. Per ogni strato sono stati considerati tre descrittori (per un totale di nove descrittori). Per lo strato basale: **1)** copertura di ECR, NCEA, EA, TURF/SED (si veda la sezione 'Attività di campo'); **2)** spessore e consistenza dello strato calcareo; e **3)** presenza di specie perforanti. Per lo strato intermedio: **4)** ricchezza in specie (SR); **5)** organismi eretti calcificati (ECO); e **6)** grado di sensibilità dei briozoi presenti. Per lo strato elevato: **7)** copertura totale delle specie erette; **8)** altezza massima (MH) di ciascuna specie; e **9)** percentuale di necrosi degli organismi di ciascuna specie. I criteri adottati per assegnare i punteggi a ciascun descrittore, per ciascuna replica, sono riassunti nella Tabella 1.

Al valore di ciascun descrittore è assegnato un punteggio, e le medie ottenute per ciascun descrittore, e per ciascuno strato, sono poi integrate nella formula finale dell'indice COARSE:

$$Q_L = (X_L \times Y_L \times Z_L)^{1/n}$$



dove L è lo strato (basale, intermedio, elevato), X, Y e Z il valore del descrittore per strato, n il numero degli strati (3 in questo caso). Il valore di qualità totale per il sito (Q<sub>s</sub>) si ottiene utilizzando come metodo di aggregazione la media geometrica dei valori di qualità dei tre strati Q<sub>BL</sub>, Q<sub>IL</sub> e Q<sub>EL</sub>. Il calcolo dell'indice COARSE è stato dunque effettuato sia per singolo strato, consentendo di valutare impatti che agiscono diversamente su organismi che sono aderenti al substrato o organismi eretti di differente dimensione, sia per sito di indagine. La classificazione per definire lo stato ecologico di ogni strato del coralligeno è riportata in Tabella 2.

**Tabella 1.** Criteri per assegnare i punteggi (da 1 a 3) per ognuno dei 9 descrittori dell'indice COARSE e per ogni replica. La tabella è stata ridisegnata da Gatti et al. (2015a).

Strato Basale		Strato Intermedio		Strato Elevato	
Percentuale di cover dei descrittori	1: TURF/SED 2: NCEA, AN 3: ECR	Ricchezza specifica (SR)	1: SR < 5 2: 5 ≤ SR ≤ 8 3: SR > 8	Cover totale delle specie	1: cover < 5% 2: 5% ≤ cover ≤ 25% 3: cover > 25%
Spessore e consistenza dello strato calcareo	1: penetrazione nulla 2: penetrazione < 1 cm 3: penetrazione > 1 cm	Organismi eretti calcificati (ECO)	1: ECO ≤ 1 2: 1 < ECO ≤ 3 3: ECO > 3	Altezza massima (MH)	1: MH < 0,3 < LMH* 2: 0,3 LMH* ≤ MH ≤ 0,6 LMH* 3: MH > 0,6 LMH*
Presenza di specie perforanti	1: comuni 2: occasionali 3: assenti	Sensibilità delle specie di briozi	1: <i>Myriapora truncata</i> 2: <i>Pentapora fascialis</i> , <i>Adeonella calveti</i> 3: <i>Smittina cervicornis</i> , <i>Reteporella grimaldii</i>	Necrosi (N)	1: N > 75% 2: 10% ≤ N ≤ 75% 3: N < 10%

**Tabella 2.** Limiti tra le cinque classi di qualità e codici di colore (*sensu* Water Framework Directive) per la definizione dello stato ecologico del coralligeno tramite l'applicazione dell'indice COARSE.

< 0,6 CATTIVO
0,6 ≤ SCARSO < 1,2
1,2 ≤ SUFFICIENTE < 1,8
1,8 ≤ BUONO < 2,4
2,4 ≤ ELEVATO ≤ 3

## 2.4.2. Applicazione dell'indice MACS

Lo stato ecologico dell'habitat a coralligeno di piattaforma o delle secche coralligene che si trovano a circa 50-60 m di profondità nell'area prospiciente Bergeggi è stato valutato tramite l'analisi visiva dei video-transetti ROV e la successiva applicazione dell'indice MACS (Enrichetti et al., 2019). Questo indice considera un totale di 12 descrittori (Tab. 3) suddivisi in modo tale da poter calcolare un valore di indice di stato ( $I_s$ ) e un valore di indice di impatto ( $I_i$ ).

L' $I_s$ , in particolare, definisce lo stato delle comunità bentoniche considerando la ricchezza in specie, lo stato ecologico dello strato basale e lo stato ecologico dello strato elevato, tramite i seguenti descrittori (Tab. 3): **1**) ricchezza di specie cospicue megabentoniche (SR); **2**) copertura degli organismi viventi (BC); **3**) copertura delle alghe corallinacee (CC); **4**) dominanza (DM) e **5**) densità (SSD) di tutte le specie strutturanti dello strato elevato; e **6**) altezza media (SSH) delle specie strutturanti che dominano lo strato elevato.

L' $I_i$  definisce, invece, il grado di impatto sulle comunità bentoniche considerando il livello di sedimentazione, la percentuale di antozoi strutturanti danneggiati e la presenza di rifiuti marini tramite i seguenti descrittori (Tab. 3): **7**) percentuale di fondale duro coperto da sedimento (SD); **8**) percentuale di colonie di antozoi impigliate in rifiuti marini o attrezzi da pesca (ENT); **9**) percentuale di colonie di antozoi che mostrano porzioni necrotiche (NCR); **10**) percentuale di colonie di antozoi che mostrano porzioni con epibionti (EPB); **11**) densità di rifiuti marini osservati in ogni video-transetto (LD); e **12**) tipologia di rifiuti (LT), distinguendo la presenza di rifiuti generici o di attrezzi da pesca abbandonati.

Al valore di ciascun descrittore è assegnato un punteggio (Tab. 3), che viene successivamente trasformato in EQR (*Ecological Quality Ratio*), comunemente adottato per confrontare la situazione osservata con l'ipotetica condizione di riferimento "ideale".

Dopo aver trasformato i punteggi dei 12 descrittori in EQR, i due indici sono aggregati in ciascun sito utilizzando le seguenti formule:

$$I_s = (EQR_{SR} + EQR_{BC} + EQR_{CC} + EQR_{DM} + EQR_{SSD} + EQR_{SSH}) / 6$$

$$I_i = (EQR_{SD} + EQR_{ENT} + EQR_{NCR} + EQR_{EPB} + EQR_{LD} + EQR_{LT}) / 6$$

Il valore finale dell'indice MACS viene quindi calcolato per ciascun sito, combinando le informazioni sullo stato della comunità e sull'impatto, utilizzando la seguente formula:

$$MACS = [I_s + (100 - I_i)] / 2$$

La classificazione per definire lo stato ecologico del coralligeno secondo l' $I_s$ , l' $I_i$ , e il MACS è riportata in Tabella 4.

**Tabella 3.** Criteri per assegnare i punteggi (da 1 a 3) per ognuno dei 12 descrittori dell'indice MACS. H = altezza; GL = *general litter*; LFG = *lost fishing gears*. La tabella è stata ridisegnata da Enrichetti et al. (2019).

Descrittori	Punteggio 0	Punteggio 1	Punteggio 2	Punteggio 3
<b>Indice di stato (<math>I_s</math>)</b>				
1) Ricchezza in specie (SR)	0	$\leq 20$	$20 < SR \leq 40$	$> 40$
2) Bio-cover dello strato basale (BC)	0	$> 1,5$	$1,5 \leq BC < 2,5$	$\geq 2,5$
3) Cover delle alghe corallinacee (CC)	0	$> 1,5$	$1,5 \leq BC < 2,5$	$\geq 2,5$
4) Dominanza delle specie strutturanti (DM)	$SSD \leq 0,5 \text{ org. m}^{-2}$	1 sp.	2 sp.	3 sp.
5) Densità delle specie strutturanti (SSD)	$SSD \leq 0,5 \text{ org. m}^{-2}$	$\leq 2$	$2 < SSD \leq 5$	$> 5$
6) Altezza media delle specie strutturanti (SSH)	$SSD \leq 0,5 \text{ org. m}^{-2}$	$\leq 1/3 (\frac{1}{2} \text{ MH})$	$1/3 (\frac{1}{2} \text{ MH}) > SSH \leq 2/3 (\frac{1}{2} \text{ MH})$	$> 2/3 (\frac{1}{2} \text{ MH})$
<b>Indice di impatto (<math>I_i</math>)</b>				
7) Sedimentazione (SD)	0	$< 1,5$	$1,5 \leq SD < 2,5$	$\geq 2,5$
8) Percentuale di colonie impigliate (ENT)	0	$\leq 20$	$20 < ENT \leq 40$	$> 40$
9) Percentuale di colonie con necrosi (NCR)	0	$\leq 20$	$20 < NCR \leq 40$	$> 40$
10) Percentuale di colonie epibiontate (EPB)	0	$\leq 20$	$20 < EPB \leq 40$	$> 40$
11) Densità dei rifiuti (LD)	0	$\leq 0,1$	$0,1 < LD \leq 0,2$	$> 0,2$
12) Tipologia dei rifiuti (LT)	Assenza di rifiuti	Presenza di GL	Presenza di LFG	GL + LFG

**Tabella 4.** Limiti tra le classi di qualità e codici di colore (*sensu* Water Framework Directive) per la definizione dello stato ecologico del coralligeno tramite l'applicazione dell'indice MACS composto dagli indici di stato ( $I_s$ ) e di impatto ( $I_i$ ).

	Indice di stato ( $I_s$ )	Indice di impatto ( $I_i$ )	MACS
$\leq 35$	Cattivo	Molto basso	Cattivo
36–45	Scarso	Basso	Scarso
46–55	Sufficiente	Moderato	Sufficiente
56–65	Buono	Alto	Buono
$\geq 66$	Elevato	Molto alto	Elevato

### 3. RISULTATI

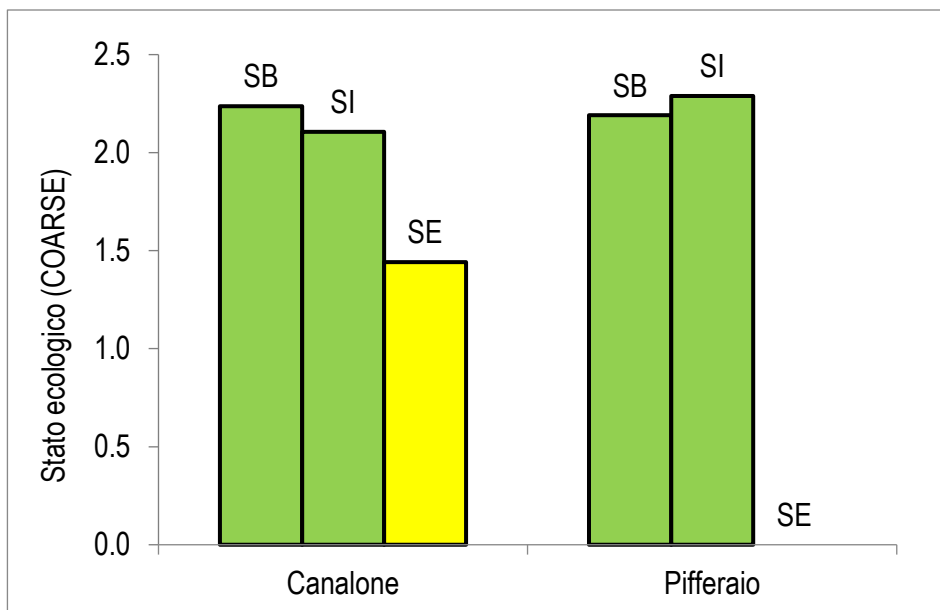
#### 3.1. Stato ecologico del coralligeno tramite l'indice COARSE

Le formazioni coralligene di parete indagate nell'AMP Isola di Bergeggi si sviluppano alla profondità di circa 30 m sulle pareti rocciose che rappresentano la parte sommersa dell'isola. L'applicazione dell'indice COARSE ha rivelato un generale buono stato ecologico per il sito Canalone e un sufficiente stato ecologico per il sito Pifferaio (Tab. 5).

Dall'analisi dei tre diversi strati considerati separatamente sono stati ottenuti valori differenti di stato ecologico (Tab. 5, Fig. 2). Lo strato elevato ha mostrato i valori più bassi, che corrispondono a un sufficiente stato ecologico nel sito Canalone e a un cattivo stato ecologico nel sito Pifferaio (dove non era presente), indicativi di un coralligeno poco strutturato e complesso (Fig. 2). L'unica specie eretta rilevata nel sito Canalone è stata la spugna *Sarcotragus foetidus* (specie di interesse conservazionistico inserita nell'allegato II del Protocollo SPA/BIO della Convenzione di Barcellona) per la quale sono stati osservati solo pochi individui. Lo strato intermedio ha mostrato un buono stato ecologico in entrambi i siti, indicativo di una buona biodiversità associata all'habitat, che corrisponde a una media di 8 specie in entrambi i siti (Fig. 2). Infine, anche lo strato basale ha mostrato un buono stato ecologico in entrambi i siti, indicativo di un coralligeno con uno strato calcareo biocostruito ben strutturato e consistente (Fig. 2).

**Tabella 5.** Risultati dell'indice COARSE applicato alle scogliere coralligene nei due siti monitorati all'interno dell'AMP Isola di Bergeggi. I colori rappresentano i diversi livelli di stato ecologico per i tre strati del coralligeno e per il valore complessivo del sito: verde = buono; giallo = sufficiente; rosso = cattivo.

	Canalone	Pifferaio
<b>Strato basale</b>	2,24	2,19
<b>Strato intermedio</b>	2,11	2,29
<b>Strato elevato</b>	1,44	0,00
<b>Valore complessivo</b>	1,93	1,49



**Figura 2.** Valori dell'indice COARSE applicato alle scogliere coralligene nei due siti monitorati all'interno dell'AMP Isola di Bergeggi, divisi nei tre strati caratterizzanti l'habitat del coralligeno: strato basale (SB); strato intermedio (SI); strato elevato (SE). I colori rappresentano i diversi livelli di stato ecologico nei tre strati del coralligeno: verde = buono; giallo = sufficiente.

### 3.2. Stato ecologico del coralligeno tramite l'indice MACS

Le formazioni coralligene indagate nell'area prospiciente Bergeggi, al di fuori dei confini dell'AMP e alle profondità di circa 50-60 m, sono rappresentate da coralligeno di piattaforma nel caso del sito Bergeggi 1, e da secche coralligene nel caso del sito Bergeggi 2. L'applicazione dell'indice MACS ha rivelato un generale buono stato ecologico per il sito Bergeggi 1 e un sufficiente stato ecologico per il sito Bergeggi 2 (Tab. 6).

Analizzando separatamente i due diversi indici di cui è composto il MACS, l'indice di stato ha mostrato un elevato stato ecologico per il sito Bergeggi 1, dove erano presenti ricche e dense foreste di gorgonie, in particolare della specie *Paramuricea clavata*, mentre un buono stato ecologico per il sito Bergeggi 2, anch'esso caratterizzato dalla presenza di gorgonie e di specie erette ma in minor densità e abbondanza rispetto al sito Bergeggi 1 (Fig. 3).

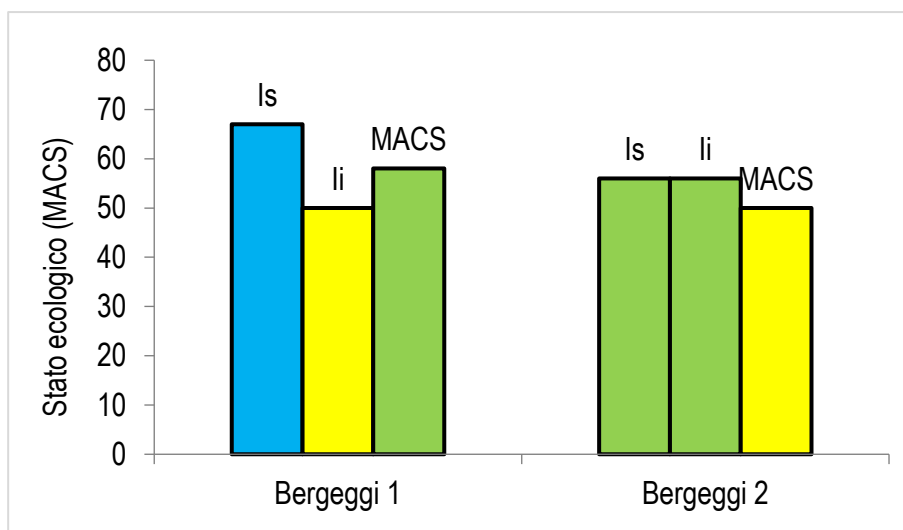
Per quanto riguarda l'indice di impatto, invece, è risultato un moderato stato ecologico per il sito Bergeggi 1 e un alto stato ecologico per il sito Bergeggi 2, nonostante in quest'ultimo siano stati osservati un maggior numero di rifiuti (28 e 6, rispettivamente). Questo risultato

può essere spiegato dal fatto che nel sito Bergeggi 1 un maggior numero di individui di diverse specie strutturanti è risultato impattato dai pochi attrezzi da pesca osservati, mentre nel sito Bergeggi 2, sebbene gli attrezzi da pesca rilevati fossero in numero maggiore, questi non hanno causato danni evidenti alle specie bentoniche.

Il valore finale dell'indice MACS più alto nel sito Bergeggi 1 rispetto al sito Bergeggi 2 può essere spiegato dal fatto che l'indice di stato pesa maggiormente rispetto all'indice di impatto sul valore finale della qualità ecologica dell'habitat, andando quindi ad influenzare maggiormente il generale stato ecologico del coralligeno nel sito Bergeggi 2 (Fig. 3).

**Tabella 6.** Risultati dell'indice MACS applicato alle formazioni coralligene di piattaforma e di secca nei due siti monitorati all'esterno dell'AMP Isola di Bergeggi. I colori rappresentano i diversi livelli di stato ecologico ottenuti applicando l'indice di stato ( $I_s$ ), l'indice di impatto ( $I_i$ ) e l'integrazione dei due indici nell'indice finale MACS: blu = elevato; verde = buono per l' $I_s$  e il MACS e alto per l' $I_i$ ; giallo = sufficiente per l' $I_s$  e il MACS e moderato per l' $I_i$ .

	Bergeggi 1	Bergeggi 2
<b>Indice di stato (<math>I_s</math>)</b>	67	56
<b>Indice di impatto (<math>I_i</math>)</b>	50	56
<b>MACS</b>	58	50



**Figura 3.** Valori degli indici di stato ( $I_s$ ), di impatto ( $I_i$ ) e dell'indice MACS, applicati alle formazioni coralligene di piattaforma e delle secche nei due siti monitorati all'esterno dell'AMP Isola di Bergeggi. I colori rappresentano i livelli di stato ecologico: blu = elevato; verde = buono per l' $I_s$  e il MACS e alto per l' $I_i$ ; giallo = sufficiente per l' $I_s$  e il MACS e moderato per l' $I_i$ .

## CONCLUSIONI

Tra gli ecosistemi marini costieri, il coralligeno rappresenta uno dei più importanti “*hot spot*” di biodiversità mediterranea e uno dei principali ecosistemi marini per distribuzione, biomassa e ruolo ecologico (Laborel, 1961; Cocito, 2004; Ballesteros, 2006). Allo stesso tempo, il coralligeno risulta anche uno degli habitat più sensibili e vulnerabili alle pressioni antropiche locali e globali (Piazzi et al., 2012). Per questi motivi, il coralligeno è considerato un buon indicatore per la valutazione dello stato ambientale delle aree costiere e la definizione del suo stato di salute è da ritenersi fondamentale nel delineare efficaci piani di protezione e conservazione della fascia marina costiera (Direttiva Quadro sulla Strategia per l’ambiente Marino, MSFD).

Al fine di valutare lo stato di qualità del coralligeno, l’applicazione di indici ecologici rappresenta uno strumento adatto e di facile utilizzo (Gatti et al., 2012; Cecchi et al., 2014; Montefalcone et al., 2017; Di Camillo et al., 2023). Tuttavia, i diversi indici ecologici esistenti in letteratura per il monitoraggio del coralligeno sono basati su approcci e metriche differenti che rendono difficile il confronto fra i risultati ottenuti (Piazzi et al., 2017, 2019). In questo contesto nasce la necessità di delineare delle linee guida con l’obiettivo di integrare le diverse metodologie esistenti e di standardizzare in un’unica procedura i diversi approcci utilizzati in Mediterraneo per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno di parete. Tale necessità trova risposta nello sviluppo del protocollo STAR (*STAndaRdized coralligenous evaluation procedure*) che, ottimizzando il bilancio tra sforzo di campionamento e tipo di informazioni ottenute, consente di raccogliere in un database comune ai diversi metodi i parametri ecologici considerati finora rilevanti per la valutazione dello stato di qualità del coralligeno di parete (Gennaro et al., 2020).

Tra gli indici proposti nell’ambito del protocollo STAR, l’indice COARSE è stato sviluppato nell’ambito della MSFD, con lo scopo specifico di fornire informazioni sull’integrità dei fondali marini (Gatti et al., 2015a). L’indice considera tre diverse componenti dell’habitat che riguardano la biocostruzione, la biodiversità, e la struttura tridimensionale. Queste tre componenti sono in grado di rilevare alterazioni della qualità ambientale legate alle pressioni antropiche locali e globali. Attraverso l’applicazione dell’indice COARSE sull’habitat coralligeno dell’AMP Isola di Bergeggi, i risultati del presente monitoraggio hanno mostrato un buono stato ecologico per il sito Canalone e un sufficiente stato ecologico per il sito Pifferaio, quest’ultimo penalizzato dall’assenza totale dello stato elevato.

L'habitat coralligeno è caratterizzato da tre strati popolati da specie diverse che risentono, e quindi rispondono, in maniera differente ai fattori ambientali e alle pressioni e impatti antropici. Lo strato elevato è risultato lo strato con i minori valori di stato ecologico, a indicare una generale scarsa tridimensionalità e complessità strutturale dell'habitat coralligeno nell'AMP Isola di Bergeggi. Tuttavia, l'ambiente monitorato lungo le pareti rocciose dell'Isola di Bergeggi, che non raggiunge mai profondità maggiori di 30 m, non è propriamente idoneo allo sviluppo di un complesso habitat a coralligeno e solo tramite monitoraggi nel tempo sarà possibile definire se il sufficiente stato ecologico del sito Pifferaio sia il risultato di pressioni che agiscono su questo habitat, oppure se sia dovuto alle condizioni ambientali naturali dell'area in cui si è sviluppato. Negli strati intermedio e basale, invece, è stato registrato un buono stato ecologico in entrambi i siti monitorati, indicativi di un'alta diversità di specie e di una sviluppata biocostruzione.

Il sopraccitato protocollo STAR, prevedendo rilevamenti a circa 35 m di profondità in immersione subacquea, non include ovviamente l'habitat coralligeno presente negli ambienti mesofotici alle maggiori profondità. Per questo motivo, nel presente monitoraggio, si è scelto di applicare anche l'indice MACS per la valutazione dello stato ecologico delle formazioni coralligene mesofotiche che si trovano a 50-60 m di profondità nell'area prospiciente Bergeggi, fuori dai confini dell'AMP. L'applicazione di questo indice in due siti, nominati Bergeggi 1 e Bergeggi 2, ha permesso di registrare un buono stato ecologico per il primo sito e un sufficiente stato ecologico per il secondo. In particolare, il sito Bergeggi 1 è risultato più ricco in termini di abbondanza e diversità delle specie erette che contribuiscono alla tridimensionalità e alla struttura di questo habitat. In questo sito, tuttavia, è stato registrato anche un maggior livello di impatto dovuto alla presenza di numerosi attrezzi da pesca abbandonati. Un elevato numero di rifiuti marini è stato registrato anche nel sito Bergeggi 2, sebbene non siano stati osservati significativi impatti sulle specie bentoniche.

In conclusione, i risultati del presente studio hanno mostrato come i continui monitoraggi nel tempo siano necessari per valutare lo stato ecologico degli habitat prioritari, quale è l'habitat coralligeno. Inoltre, i rilevamenti svolti al di fuori dei confini dell'AMP hanno dimostrato la presenza di un coralligeno ben strutturato ma particolarmente impattato dagli attrezzi da pesca. In una eventuale futura revisione della zonazione dell'AMP Isola di Bergeggi si dovrebbe considerare la possibilità di ampliare i confini dell'AMP, al fine di includere queste aree più profonde caratterizzate dalla presenza del coralligeno (Azzola et al., 2021). In questo contesto, la disponibilità di informazioni dettagliate sulla distribuzione



delle specie di interesse conservazionistico e sulla mappatura degli habitat bentonici è essenziale per sviluppare piani di gestione ambientale efficaci, sia per la conservazione sia per il ripristino.

## Bibliografia

- Azzola A., Bavestrello G., Bertolino M., Bianchi C.N., Bo M., Enrichetti F., Morri C., Oprandi A., Toma M., Montefalcone M. (2021) You cannot conserve a species that has not been found: The case of the marine sponge *Axinella polypoides* in Liguria, Italy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(4): 737-747.
- Ballesteros E. (2006) Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 44: 123-195.
- Bianchi C.N., Azzola A., Parravicini V., Peirano A., Morri C., Montefalcone M. (2019) Abrupt change in a subtidal rocky reef community coincided with a rapid acceleration of sea water warming. *Diversity*, 11(11): 215.
- Bianchi C.N., Peirano A., Salvati E., Morri C. (2001) Assessing interannual and decadal changes in marine epibenthic assemblages through UW photography: An example from Punta Mesco, Ligurian Sea. *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 22: 83-86.
- 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.
- Cocito S. (2004) Bioconstruction and biodiversity: their mutual influence. *Scientia Marina*, 68(S1): 137-144.
- Di Camillo C.G., Ponti M., Storari A., Scarpa C., Roveta C., Pulido Mantas T., Coppari M., Cerrano C. (2023) Review of the indexes to assess the ecological quality of coralligenous reefs: towards a unified approach. *Frontiers in Marine Science*, 10:1252969.
- Enrichetti F., Bo M., Morri C., Montefalcone M., Toma M., Bavestrello G., Tunesi L., Canese S., Giusti M., Salvati E., Bertolotto R.M., Bianchi C.N. (2019) Assessing the environmental status of temperate mesophotic reefs: A new, integrated methodological approach. *Ecological Indicators*, 102: 218-229.
- Ferrigno F., Appolloni L., Donnarumma L., Di Stefano F., Rendina F., Sandulli R., Russo G.F. (2021) Diversity loss in coralligenous structuring species impacted by fishing gear and marine litter. *Diversity*, 13(7): 331.
- Gatti G., Montefalcone M., Rovere A., Parravicini V., Morri C., Albertelli G., Bianchi C.N. (2012) Seafloor integrity down the harbor waterfront: the coralligenous shoals off Vado Ligure (NW Mediterranean). *Advances in Oceanography and Limnology*, 3(1): 51-67.

- Gatti G., Bianchi C.N., Morri C., Montefalcone M., Sartoretto S. (2015a) Coralligenous reefs state along anthropized coasts: Application and validation of the COARSE index, based on a rapid visual assessment (RVA) approach. *Ecological Indicators*, 52: 567-576.
- Gatti G., Bianchi C.N., Parravicini V., Rovere A., Peirano A., Montefalcone M., Morri, C. (2015b) Ecological change, sliding baselines and the importance of historical data: lessons from combining observational and quantitative data on a temperate reef over 70 years. *PloS one*, 10(2): e0118581.
- Gennaro P., Piazzì L., Cecchi E., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N. Eds. 2020. Monitoraggio e valutazione dello stato ecologico dell'habitat a coralligeno. Il coralligeno di parete. ISPRA, Manuali e Linee Guida n.191/2020.
- Hammer Ø., Harper D.A. (2001) Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1): 1.
- Laborel J. (1961) Le concrétionnement algal "coralligène" et son importance géomorphologique en Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Stations Marine d'Endoume*, 23(37): 37-60.
- MacDougall A.S., Turkington R. (2005) Are invasive species the drivers or passengers of change in degraded ecosystems? *Ecology*, 86(1): 42-55.
- Montefalcone M., Parravicini V., Bianchi C.N. (2011) Quantification of coastal ecosystem resilience. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 10(3): 49-70.
- Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N., Bavestrello G., Piazzì L. (2017) The two facets of species sensitivity: Stress and disturbance on coralligenous assemblages in space and time. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2): 229-238.
- Peirano A., Salvati E., Bianchi C.N., Morri C. (2000) Long-term change in the subtidal epibenthic assemblages of Punta Mesco (Ligurian Sea, Italy) as assessed through underwater photography. *PMNHS Newsletter*, 5: 9-12.
- Piazzì L., Gennaro P., Balata D. (2012) Threats to macroalgal coralligenous assemblages in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 64(12): 2623-2629.
- Piazzì L., Bianchi C.N., Cecchi E., Gatti G., Guala I., Morri C., Sartoretto S., Serena F., Montefalcone M. (2017) What's in an index? Comparing the ecological information provided by two indices to assess the status of coralligenous reefs in the NW Mediterranean Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*, 27(6): 1091-1100.

- Piazzi L., Gennaro P., Montefalcone M., Bianchi C.N., Cecchi E., Morri C., Serena F. (2019) STAR: An integrated and standardized procedure to evaluate the ecological status of coralligenous reefs. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(2): 189-201.
- Roghi F., Parravicini V., Montefalcone M., Rovere A., Morri C., Peirano A., Salvati E. (2010) Decadal evolution of a coralligenous ecosystem under the influence of human impacts and climate change. *Biologia Marina Mediterranea*, 17(1): 59-62.
- Rossi L. (1965) Il coralligeno di Punta Mesco (La Spezia). *Annuario Museo Civico Storia Naturale Genova*, 75: 144-180.