



**BLUE MARINE
FOUNDATION**

GREENPEACE



**PROGETTO “MARINE PROTECTED AREAS EMPOWERMENT”
PER IL RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DELL’AGENDA
2030 (AMPOWER): *orientare la strategia marina italiana verso piani
di protezione efficaci***

**RELAZIONE FINALE, OTTOBRE 2025
Sito di Interesse Comunitario ITB013051
Dall’Isola dell’Asinara all’Argentiera**

A cura di Ilaria Mancini, Annalisa Azzola, Silvia Melchiori,
Giulia Cesarato, Monica Montefalcone

Responsabile scientifico: Prof.ssa Monica Montefalcone

Laboratorio di Ecologia del Paesaggio Marino, DiSTAV, Università degli Studi di Genova,
Corso Europa 26, 16132 Genova

INDICE

1. PREMESSA	2
2. MATERIALI E METODI	4
2.1 Praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	4
2.1.1 Area di studio	4
2.1.2. Attività di campo	6
2.1.3 Attività di laboratorio	11
2.1.4 Elaborazione degli indici ecologici	12
2.2 Habitat coralligeno	16
2.2.1 Area di studio	16
2.2.2 Attività di campo	16
2.2.3 Analisi dei dati	19
3. RISULTATI	21
3.1 Praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	21
3.1.1 Caratterizzazione delle aree	21
3.1.2 Densità dei fasci fogliari	29
3.1.3 Profondità e ricoprimento del limite inferiore	30
3.1.4 PREI <i>Posidonia oceanica</i> Rapid and Easy Index	30
3.1.5 Indice di Conservazione – Indice di Sostituzione – Indice di Cambiamento di Fase	32
3.2. Habitat coralligeno	32
3.2.1 Stato ecologico dell'habitat coralligeno	32
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	38
BIBLIOGRAFIA	40

1. PREMESSA

Secondo i dati ISPRA, attualmente solo l'11,6% del mare italiano è formalmente protetto, e spesso in modo non efficace a causa di carenze nella governance e nei sistemi di controllo. Nell'ambito della Strategia Nazionale per la Biodiversità, l'Italia si è posta l'obiettivo di proteggere efficacemente entro il 2030 almeno il 30% dei mari nazionali, di cui il 10% tramite misure di tutela integrale. Per contribuire al raggiungimento di tale traguardo, il progetto "Marine Protected Areas Empowerment" (**AMPOWER**) sostiene alcune Aree Marine Protette (AMP) italiane, sia per l'ampliamento e nuova zonizzazione della loro superficie protetta sia nella gestione dei SIC (Siti di Interesse Comunitario) marini limitrofi alle AMP. Le aree scelte ospitano habitat marini di interesse comunitario, tra cui le praterie di *Posidonia oceanica*, le grotte sommerse e semisommerse, e l'habitat coralligeno.

Il Parco Nazionale dell'Asinara ha recentemente preso in gestione dalla Regione Sardegna il SIC ITB013051 "*Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera*", con la finalità di monitorare e redigere un piano di gestione del sito. Il Parco Nazionale dell'Asinara punterà, inoltre, a ottenere il riconoscimento come area SPAMI (*Specially Protected Area of Mediterranean Importance*, RAC-SPA / UNEP-CBD), per migliorare le attività di monitoraggio e sorveglianza delle specie minacciate o a rischio di estinzione.

Nel mese di luglio 2025 sono stati effettuati i primi monitoraggi previsti dal progetto AMPOWER nel SIC ITB013051 "*Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera*", che comprende al suo interno la zona dell'Argentiera limitrofa all'AMP Isola dell'Asinara, con l'obiettivo di valutare lo stato ecologico di due habitat prioritari, quali le praterie di *Posidonia oceanica* e l'habitat coralligeno.

Posidonia oceanica L. (Delile) è una fanerogama marina endemica del Mediterraneo, in grado di sviluppare estese praterie dalla superficie del mare fino a una profondità massima di circa 40 m. Le praterie di *P. oceanica* sostengono delle funzioni fondamentali per l'equilibrio degli ecosistemi marini costieri e svolgono un ruolo esclusivo per la protezione dei fondali e dei tratti di litorale antistanti (Boudouresque et al., 2006). Le praterie stanno subendo un progressivo e intenso fenomeno di regressione in molte aree del Mediterraneo, sia a causa degli effetti diretti e locali di distruzione conseguenti l'intensa urbanizzazione della fascia costiera, sia a causa di effetti indiretti (erosione dovuta ai cambiamenti nel regime delle correnti, insabbiamento, regressione delle parti profonde delle praterie a causa dell'aumento della torbidità dell'acqua, riscaldamento delle acque, etc.), che avvengono a scala globale e interagiscono in maniera sinergica con le pressioni locali (Marbà et al., 1996; Montefalcone et al., 2007).

La regressione delle praterie di *P. oceanica* è spesso accompagnata dalla ricolonizzazione della matre morta da parte di una serie di potenziali sostituti che possono essere o un'altra fanerogama marina comune in Mediterraneo, *Cymodocea nodosa*, che è una specie più tollerante di *P. oceanica*, oppure le alghe verdi del genere *Caulerpa*, ovvero la specie nativa *C. prolifera* e le due specie aliene invasive *C. taxifolia* e *C. cylindracea* (Montefalcone et al., 2006). Tutti questi sostituti possiedono una più bassa capacità a funzionare sia come "ingegneri" sia come "strutturanti" dell'ecosistema rispetto alla stessa *P. oceanica*. La

regressione delle praterie di *P. oceanica* può quindi portare a un “cambiamento di fase” nell’ecosistema (*phase-shift*), che inizia con la comparsa della matte morta per poi evolvere, aggravandosi, verso la sostituzione con altre specie a minore capacità strutturante (Montefalcone et al., 2007).

Negli ultimi decenni diversi sforzi sono stati fatti per tutelare e salvaguardare le praterie di *P. oceanica*: L’Annesso V della Direttiva Quadro per le Acque (WFD, 2000/60/EC) dichiara che le fanerogame marine sono da considerarsi degli elementi biologici di qualità che devono essere usate negli studi di monitoraggio ambientale per definire lo stato ecologico delle acque costiere, poiché sono molto sensibili ai disturbi antropici. L’implementazione nazionale della direttiva europea sulla Strategia Marina (MSFD, 2008/56/CE), vede tra gli habitat oggetto di valutazione della qualità ecologica le praterie di *P. oceanica*.

L’habitat 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, 2004). 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).

Il coralligeno è un ambiente che presenta elevata eterogeneità spaziale e la sua struttura tridimensionale può essere suddivisa in tre strati: (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 arboree, 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., 2015).

Lo stato di salute del coralligeno, e più in generale degli habitat di scogliere rocciosa, è a oggi minacciato da diversi disturbi e stress, tra i quali le pressioni antropiche locali (e.g., inquinamento, attività di pesca, opere costiere) e i cambiamenti climatici globali (Montefalcone et al., 2017), che rendono il monitoraggio dello stato di salute di questo habitat essenziale per la conservazione della biodiversità marina mediterranea.

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 SIC/ZSC che ricadono all’interno delle AMP, il Dipartimento di Scienze della Terra, dell’Ambiente e della Vita (DiSTAV, Università degli Studi di Genova)

e Greenpeace hanno stipulato una convenzione operativa con l'obiettivo di definire la qualità ecologica e lo stato attuale delle praterie di *Posidonia oceanica* e dell'habitat coralligeno all'interno del SIC ITB013051 "*Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera*". Per le praterie di *P. oceanica*, è stato utilizzato un approccio multifattoriale (Oprandi et al., 2021) con l'impiego di vari descrittori e indici sintetici che lavorano a differenti livelli di complessità ecologica: specie (i.e., superficie fogliare), popolazione (i.e., densità fogliare; limiti inferiore e superiore della prateria), paesaggio (i.e., Indice di Conservazione, Indice di Sostituzione, Indice di Cambiamento di Fase; Montefalcone, 2009) e infine l'Indice PREI (*Posidonia Rapid Easy Index*; Gobert et al., 2009) che lavora a diversi livelli di complessità. Per il monitoraggio dell'habitat coralligeno è stato invece adottato il protocollo STAR (*STAndaRdize Coralligenous Evaluation Procedure*; Piazzì et al., 2019, 2025), come previsto a livello nazionale dalle linee guida di ISPRA (Gennaro et al., 2020). Lo stato ecologico di questo habitat è stato valutato tramite l'applicazione dell'indice COARSE (*COralligenous Assessment by ReefScape Estimate*; Gatti et al., 2012, 2015).

2. MATERIALI E METODI

2.1 Praterie di *Posidonia oceanica*

2.1.1 Area di studio

Il piano di monitoraggio per la valutazione dello stato ecologico delle praterie di *Posidonia oceanica* ha previsto di campionare due siti all'interno del SIC ITB013051: Argentiera 1 (Fig. 1) e Argentiera 2 (Fig. 2). In ciascun sito sono state individuate tre stazioni di campionamento, la prima in corrispondenza del limite superiore della prateria, la seconda a una profondità di circa 15 m, considerata la profondità media alla quale la prateria dovrebbe raggiungere il massimo ricoprimto del fondo, e infine una stazione in corrispondenza del limite inferiore, per un totale di sei stazioni.



Figura 1. Mappa dei siti dove sono stati condotti i monitoraggi per la valutazione dello stato ecologico delle praterie di *Posidonia oceanica* nel SIC ITB013051: sito Argentiera 1; A1 LI = Argentiera 1 Limite Inferiore; A1 15 = Argentiera 1 stazione 15 m; A1 LS = Argentiera 1 Limite Superiore.



Figura 2. Mappa dei siti dove sono stati condotti i monitoraggi per la valutazione dello stato ecologico delle praterie di *Posidonia oceanica* nel SIC ITB013051: sito Argentiera 2; A2 LI = Argentiera 2 Limite Inferiore; A2 15 = Argentiera 2 stazione 15 m; A2 LS = Argentiera 2 Limite Superiore.

2.1.2. Attività di campo

Le attività di rilevamento in mare per il monitoraggio delle praterie di *P. oceanica* sono state realizzate in data 4 e 6 luglio 2025 (Fig. 3), 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), 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/>) e in conformità a quanto previsto dal D.M. Ambiente 5 marzo 2024 che disciplina le "Linee guida operative SNPA per le attività tecnico-scientifiche subacquee".



Figura 3. Operatori scientifici subacquei del DiSTAV e di Greenpeace impegnati nelle attività di monitoraggio nei siti dell'Argentario.

Gli operatori scientifici subacquei partecipanti alle attività di campo per il monitoraggio delle praterie di *P. oceanica* sono stati:

- Dott.ssa Ilaria Mancini
Dottoranda DiSTAV, Università degli Studi di Genova
Brevetto Deep Diver SNSI
- Dott.ssa Silvia Melchiori
Assegnista di Ricerca DiSTAV, Università degli Studi di Genova
Brevetto Dive Master SNSI

Gli operatori scientifici subacquei hanno svolto le attività di campo grazie al supporto del personale del Roccaruja Diving Center di Stintino. Il personale del Roccaruja Diving Center, 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, presente sulla barca d'appoggio, riferito all'ellissoide WGS 84.

Nelle 2 giornate di attività di campo, sono state effettuate 4 immersioni scientifiche, secondo il seguente diario di campo:

IMMERSIONE N°1

Data: 04/07/2025

Località: Argentiera 1

Stazione: Limite inferiore

Coordinate: 40.78377°N; 8.15694°E

Profondità massima: 36,4 m

Orario entrata: 13:45 Orario uscita: 14:20

Tempo totale di immersione: 35'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini; S. Melchiori

IMMERSIONE N°2

Data: 04/07/2025

Località: Argentiera 1

Stazione: Stazione intermedia, limite superiore

Coordinate stazione intermedia: 40.78431°N; 8.15984°E (15 m)

Coordinate limite superiore: 40.78464°N; 8.16169°E (6 m)

Profondità massima: 18,0 m

Orario entrata: 16:29 Orario uscita: 17:16

Tempo totale di immersione: 45'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini; S. Melchiori

IMMERSIONE N°3

Data: 06/07/2025

Località: Argentiera 2, Scoglio Businco

Stazione: Limite inferiore

Coordinate: 40.835633°N; 8.181237°E

Profondità massima: 38,7 m

Orario entrata: 10:06 Orario uscita: 10:45

Tempo totale di immersione: 39'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini; S. Melchiori

IMMERSIONE N°4

Data: 06/07/2025

Località: Argentiera 2

Stazione: Stazione intermedia, limite superiore

Coordinate stazione intermedia: 40.83691°N; 8.18955°E (16 m)

Coordinate limite superiore: 40.836757°N; 8.191233°E (6 m)

Profondità massima: 21,1 m

Orario entrata: 12:16 Orario uscita: 13:16

Tempo totale di immersione: 60'

Operatori scientifici in immersione: I. Mancini; S. Melchiori

Durante le attività di campo sono stati rilevati alcuni descrittori utili alla definizione dello stato ecologico delle praterie (e.g., densità dei fasci fogliari) e sono stati campionati 18 fasci fogliari di *Posidonia oceanica* in ognuna delle 2 praterie investigate, alla profondità di circa 15 m, come previsto dal protocollo nazionale di monitoraggio ISPRA. I dati ottenuti sono stati utilizzati per il calcolo dell'indice PREI (*Posidonia oceanica* Rapid Easy Index; Gobert et al., 2009), utilizzato in Italia come strumento diagnostico per determinare la qualità dei corpi idrici costieri nell'ambito delle due direttive quadro sulle acque e sulla strategia marina (i.e., WFD, 2000/60/EC e MSFD, 2008/56/EC).

Densità dei fasci fogliari

Le misure di densità dei fasci fogliari sono state eseguite seguendo le indicazioni del protocollo di monitoraggio delle praterie di *P. oceanica* di ISPRA. La strategia di rilevamento è stata gerarchizzata, ossia sono state definite tre aree di circa 400 m² ciascuna e distanziate di 10 m tra loro (si veda la Fig. 4), in ciascuna delle quali sono state realizzate tre repliche di conteggio di densità dei fasci fogliari, per un totale di nove repliche per stazione. Nelle stazioni in corrispondenza dei limiti inferiori delle praterie sono state eseguite solo sei repliche di densità, quindi solo due repliche per area, al fine di rispettare i limiti di sicurezza del tempo di fondo, soprattutto nelle stazioni più profonde. I ricercatori subacquei, dopo aver lasciato cadere in modo casuale sopra la prateria una cornice quadrata di superficie 20 cm × 20 cm, hanno contato i fasci fogliari di posidonia presenti all'interno della cornice. La densità assoluta è stata poi espressa come numero dei fasci presenti su ogni m² di fondo e i valori medi di densità assoluta per ciascuna stazione (nove valori) sono stati successivamente classificati secondo gli stadi previsti da UNEP/MAP-RAC/SPA (2011) (Tab. 1).

Raccolta dei fasci fogliari

In ciascuna delle stazioni a 15 m di profondità sono stati raccolti 18 fasci di *P. oceanica* per le successive analisi di laboratorio. I fasci sono stati campionati seguendo anche in questo caso il protocollo di monitoraggio di ISPRA, come illustrato in Figura 4. Sono stati quindi selezionati e raccolti 6 fasci ortotropi in ognuna delle tre aree di campionamento (A, B, C) (Fig. 4).

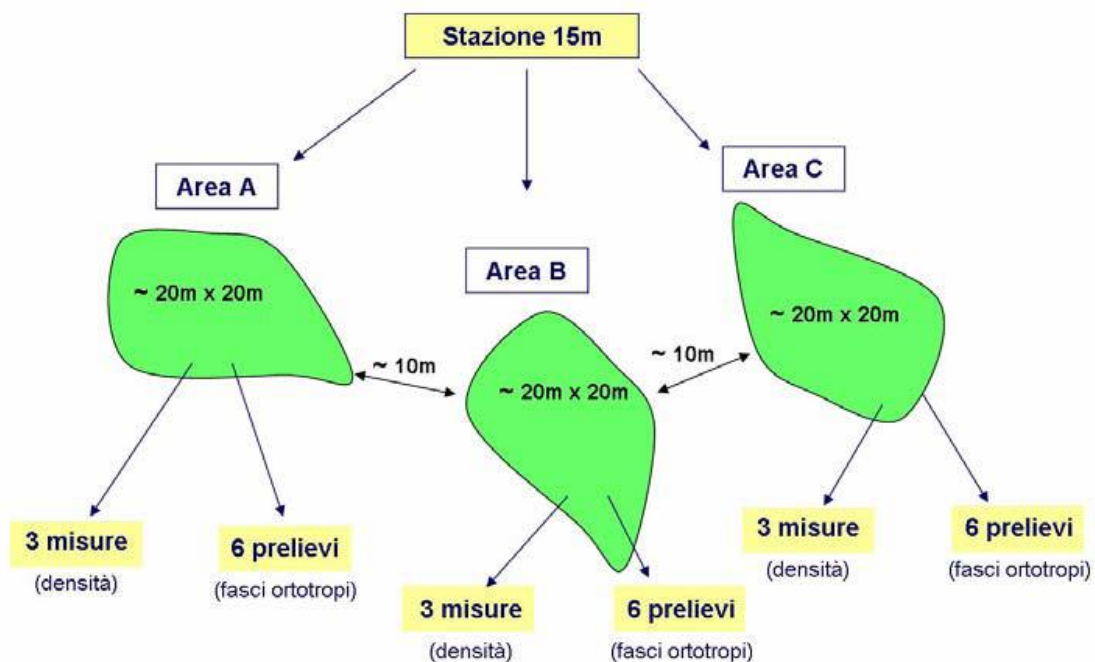


Figura 4. Protocollo di monitoraggio delle praterie di *P. oceanica* a 15 m, come indicato da ISPRA.

Tabella 1. Classificazione della qualità ecologica della prateria di *Posidonia oceanica* utilizzando la densità dei fasci fogliari (n° fasci m⁻²) (UNEP/MAP-RAC/SPA, 2011).

Depth (m)	High	Good	Moderate	Poor	Bad
1	> 1133	1133 to 930	930 to 727	727 to 524	< 524
2	> 1067	1067 to 863	863 to 659	659 to 456	< 456
3	> 1005	1005 to 808	808 to 612	612 to 415	< 415
4	> 947	947 to 757	757 to 567	567 to 377	< 377
5	> 892	892 to 709	709 to 526	526 to 343	< 343
6	> 841	841 to 665	665 to 489	489 to 312	< 312
7	> 792	792 to 623	623 to 454	454 to 284	< 284
8	> 746	746 to 584	584 to 421	421 to 259	< 259
9	> 703	703 to 547	547 to 391	391 to 235	< 235
10	> 662	662 to 513	513 to 364	364 to 214	< 214
11	> 624	624 to 481	481 to 338	338 to 195	< 195
12	> 588	588 to 451	451 to 314	314 to 177	< 177
13	> 554	554 to 423	423 to 292	292 to 161	< 161
14	> 522	522 to 397	397 to 272	272 to 147	< 147
15	> 492	492 to 372	372 to 253	253 to 134	< 134
16	> 463	463 to 349	349 to 236	236 to 122	< 122
17	> 436	436 to 328	328 to 219	219 to 111	< 111
18	> 411	411 to 308	308 to 204	204 to 101	< 101
19	> 387	387 to 289	289 to 190	190 to 92	< 92
20	> 365	365 to 271	271 to 177	177 to 83	< 83
21	> 344	344 to 255	255 to 165	165 to 76	< 76
22	> 324	324 to 239	239 to 154	154 to 69	< 69
23	> 305	305 to 224	224 to 144	144 to 63	< 63
24	> 288	288 to 211	211 to 134	134 to 57	< 57
25	> 271	271 to 198	198 to 125	125 to 52	< 52
26	> 255	255 to 186	186 to 117	117 to 47	< 47
27	> 240	240 to 175	175 to 109	109 to 43	< 43
28	> 227	227 to 164	164 to 102	102 to 39	< 39
29	> 213	213 to 154	154 to 95	95 to 36	< 36
30	> 201	201 to 145	145 to 89	89 to 32	< 32
31	> 189	189 to 136	136 to 83	83 to 30	< 30
32	> 179	179 to 128	128 to 77	77 to 27	< 27
33	> 168	168 to 120	120 to 72	72 to 24	< 24
34	> 158	158 to 113	113 to 68	68 to 22	< 22
35	> 149	149 to 106	106 to 63	< 63	
36	> 141	141 to 100	100 to 59	< 59	
37	> 133	133 to 94	94 to 55	< 55	
38	> 125	125 to 88	88 to 52	< 52	
39	> 118	118 to 83	83 to 48	< 48	
40	> 111	111 to 78	78 to 45	< 45	

Ricoprimento del fondo

Le stime del ricoprimento (in percentuale) del fondo con *Posidonia oceanica* viva, matte morta e con eventuali sostituti (e.g., l'altra fanerogama mediterranea *Cymodocea nodosa* e le specie del genere *Caulerpa*) sono state rilevate visivamente su una superficie nota (Montefalcone, 2009), in un numero di repliche pari a sei in ogni stazione, e in seguito sono state mediate per il calcolo degli indici paesaggistici. Il ricercatore, nuotando a un'altezza dal fondo pari a circa 3 m, stima il ricoprimento del descrittore in una superficie di fondo pari a circa 25 m², immaginando un cerchio di 2,5-3 m di raggio. Le stime di ricoprimento di *P. oceanica* viva sul limite inferiore sono state confrontate con la classificazione proposta da UNEP/MAP-RAC/SPA (2011) per la valutazione dello stato ecologico della prateria (Tab. 2)

Tabella 2. Classificazione UNEP/MAP-RAC/SPA (2011) per il ricoprimento % sul limite inferiore.

High	Good	Moderate	Poor	Bad
>35	35 to 25	25 to 15	15 to 5	<5

Profondità e tipologia dei limiti

In prossimità delle stazioni superficiali e di quelle profonde è stata rilevata la profondità e il tipo di limite (i.e., sfumato, netto, regressivo). Le profondità dei limiti inferiori sono state poi confrontate con la classificazione proposta da UNEP/MAP-RAC/SPA (2011) per la valutazione dello stato ecologico della prateria (Tab. 3).

Tabella 3. Classificazione UNEP/MAP-RAC/SPA (2011) per la profondità del limite inferiore (m).

High	Good	Moderate	Poor	Bad
>34.2	34.2 to 30.4	30.4 to 26.6	26.6 to 22.8	<22.8

2.1.3 Attività di laboratorio

Parametri fenologici

I 72 fasci raccolti sono stati analizzati in laboratorio al fine di determinare una serie di parametri fenologici indicativi della morfometria della pianta. Ciascun fascio è stato scomposto nelle singole foglie, rispettando l'ordine distico d'inserzione. Le foglie sono state suddivise in classi di età (foglie adulte, foglie intermedie, foglie giovanili) (Pergent-Martini et al., 2005) e per ciascuna foglia sono state misurate:

- Larghezza
- Lunghezza totale
- Lunghezza della base per le sole foglie adulte
- Lunghezza del tessuto verde
- Lunghezza del tessuto bruno, se presente
- Lunghezza del tessuto bianco, se presente
- Stato dell'apice

Sulla base di questi dati è stato calcolato un parametro di sintesi della fenologia della pianta in ciascuna delle quattro stazioni, la superficie fogliare media per fascio ($\text{cm}^2 \text{ fascio}^{-1}$). I valori di superficie fogliare media per ciascuna stazione sono stati utilizzati per il calcolo dell'indice PREI.

Biomassa epifita

La determinazione della biomassa epifita è stata effettuata seguendo il protocollo di Kendrick & Lavery (2001). Per ogni fascio, gli epifiti presenti sono stati rimossi da entrambe le facce delle lamine fogliari utilizzando una lametta. Questa operazione è stata eseguita con molta attenzione al fine di rimuovere tutti gli organismi, senza rischiare di asportare anche porzioni di lamina fogliare. Gli epifiti ottenuti e le foglie “pulite” sono stati messi in stufa a una temperatura di 80°C per almeno 48 ore. Il peso degli epifiti è stato ricavato utilizzando una bilancia con una precisione di 10⁻⁴ g e la biomassa epifita è stata quindi espressa in milligrammi di peso secco per fascio (mgPS fascio⁻¹).

Le misure di biomassa epifita e di biomassa fogliare sono state quindi utilizzate per il calcolo dell'indice PREI.

2.1.4 Elaborazione degli indici ecologici

PREI

L'indice PREI integra i valori di cinque descrittori: 1) densità della prateria (n° fasci m⁻²); 2) superficie fogliare (cm² fascio⁻¹); 3) rapporto tra la biomassa degli epifiti (mgPS fascio⁻¹) e la biomassa fogliare (mgPS fascio⁻¹); 4) profondità del limite inferiore (m); 5) tipologia del limite inferiore (i.e., progressivo (=sfumato), stabile (=netto), regressivo). Una volta misurati i cinque descrittori, i valori ottenuti sono messi a confronto con i valori delle condizioni di riferimento relativi a una prateria “ideale” che presenta uno stato inalterato, ovvero una situazione ipotetica ottimale che corrisponde ai valori migliori di ciascun descrittore rilevati sul campo, così da ottenere il Rapporto di Qualità Ecologica (EQR) (Gobert et al., 2009). L'EQR è il rapporto tra la qualità ecologica riscontrata in una determinata area e le sue condizioni di riferimento fissate in precedenza, e ha come risultato un valore compreso tra 0 e 1, dove 1 rappresenta la condizione ecologica ottimale e 0 la condizione ecologica peggiore (Fig. 5).

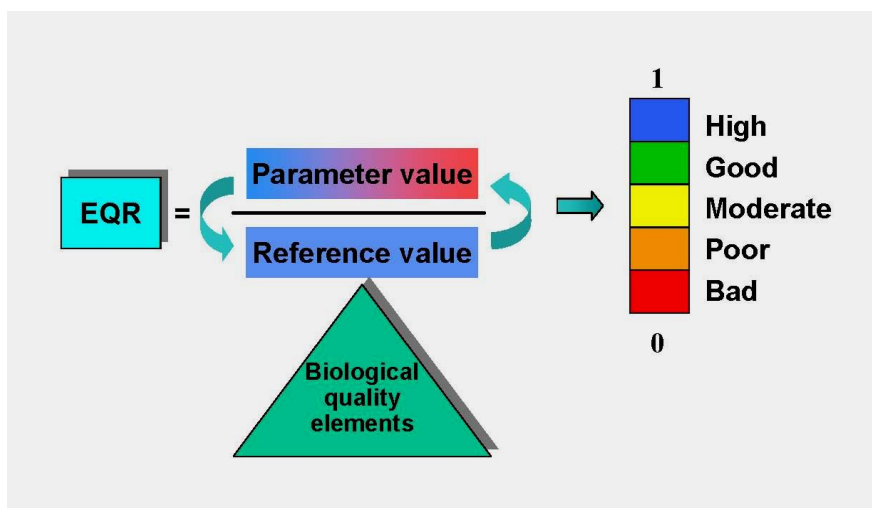


Figura 5. Calcolo dell'EQR e possibili classi di qualità ecologica risultanti.

L'equazione da applicare per il calcolo del Rapporto di Qualità Ecologica (EQR) con l'indice PREI è la seguente:

$$EQR = \frac{EQR' + 0,11}{1 + 0,10}$$

dove:

$$EQR' = \frac{N \text{ densità} + N \text{ superficie fogliare fascio} + N \text{ rapporto tra biomasse} + N \text{ limite inferiore}}{3,5}$$

$$N \text{ densità} = \frac{\text{valore misurato} - 0}{\text{valore di riferimento} - 0}$$

$$N \text{ superficie fogliare fascio} = \frac{\text{valore misurato} - 0}{\text{valore di riferimento} - 0}$$

$$N \text{ rapporto tra biomasse} = \left(1 - \left(\frac{\text{biomassa epifiti}}{\text{biomassa fogliare}} \right) \right) \times 0,5$$

$$N \text{ limite inferiore} = \frac{N' - 17}{\text{valore di riferimento} - 17}$$

Nell'equazione "N densità" compare il valore 0, che è considerato il valore di densità indicativo di pessime condizioni; allo stesso modo nell'equazione "N superficie fogliare fascio", il valore 0 è considerato il valore del descrittore indicativo di pessime condizioni. Nell'equazione "N limite inferiore" il valore 17 è riferito alla profondità minima (in m) del limite inferiore indicativa di pessime condizioni; inoltre, N' nella stessa equazione è uguale a:

$$N' = \text{profondità limite inferiore misurata} + \lambda$$

Il valore λ si determina in base alla tipologia del limite inferiore, in particolare $\lambda = 0$ se il limite inferiore è stabile (=netto), $\lambda = 3$ se il limite inferiore è progressivo (=sfumato), $\lambda = -3$ se il limite inferiore è regressivo.

Il valore dell'indice PREI varia tra 0 e 1; il risultato finale fornisce direttamente l'EQR e va interpretato in base alla classificazione proposta da Gobert et al. (2009) (Tab. 4).

Tabella 4. Classi di EQR per la classificazione dell'indice PREI (Gobert et al., 2009).

EQR	STATO ECOLOGICO
1 – 0,775	Elevato
0,774 – 0,550	Buono
0,549 – 0,325	Sufficiente
0,324 – 0,100	Scarso
< 0,100	Cattivo

Indice di Conservazione

L'Indice di Conservazione (CI) (Moreno et al., 2001) fornisce indicazioni riguardanti lo stato di degrado della prateria, misurando l'abbondanza relativa di matte morta rispetto a *Posidonia oceanica* viva, ed è espresso dalla formula:

$$CI = P/(P+M)$$

dove P è la percentuale di ricoprimento del fondo con *P. oceanica* viva e M è la percentuale di ricoprimento con matte morta. L'indice varia tra 0, massimo stato di alterazione o minimo stato di conservazione (100% matte morta) e 1, massimo stato di conservazione (100% *P. oceanica*). Il risultato ottenuto di CI è classificato secondo la scala assoluta proposta da Montefalcone (2009) (Tab. 5), che prevede cinque livelli di qualità ecologica per le praterie, in accordo con la Direttiva Quadro per le Acque (WFD) della Comunità Europea.

Tabella 5. Classi di qualità ecologica per l'Indice di Conservazione (CI) (Montefalcone, 2009).

CI	STATO ECOLOGICO
≥ 0,9	Elevato
0,7 – 0,9	Buono
0,5 – 0,7	Sufficiente
0,3 – 0,5	Scarso
< 0,3	Cattivo

Indice di Sostituzione

L'Indice di Sostituzione (SI) (Montefalcone, 2009) misura il grado di sostituzione di *P. oceanica* da parte delle specie sostitutive, ed è espresso dalla formula:

$$SI = S/(P+S)$$

dove P è la percentuale di ricoprimento del fondo con *P. oceanica* mentre S è la percentuale di ricoprimento del fondo con i sostituti (e.g., *Cymodocea nodosa*, *Caulerpa cylindracea*,

Cualerpa taxifolia). I valori di SI ottenuti per ciascuna stazione sono classificati secondo la scala assoluta proposta da Montefalcone (2009), che prevede cinque livelli di qualità ecologica (Tab. 6).

Tabella 6. Classi di qualità ecologica per l'Indice di Sostituzione (SI) (Montefalcone, 2009).

SI	STATO ECOLOGICO
< 0,1	Elevato
0,1 – 0,25	Buono
0,25 – 0,4	Sufficiente
0,4 – 0,7	Scarso
≥ 0,7	Cattivo

Indice di Cambiamento di Fase

L'Indice di Cambiamento di Fase (Phase Shift Index, PSI) (Montefalcone, 2009) misura l'intensità del cambiamento di fase (phase-shift) in atto all'interno della prateria (Montefalcone et al., 2007), ed è espresso dalla formula:

$$PSI = \{[D/(P+D) \times 1] + [Cn/(P+Cn) \times 2] + [Cp/(P+Cp) \times 3] + [Ct/(P+Ct) \times 4] + [Cc/(p+Cc) \times 5]\}/6$$

dove D è la percentuale di ricoprimento del fondo con matte morta, P è la percentuale di ricoprimento del fondo con *P. oceanica* viva, Cn con *C. nodosa*, Cp con *C. prolifera*, Ct con *C. taxifolia* e Cc con *C. cylindracea*. I valori di PSI sono stati classificati secondo la scala assoluta proposta da Montefalcone (2009), che prevede 5 livelli di qualità ecologica (Tab. 7):

Tabella 7. Classi di qualità ecologica per l'Indice di Cambiamento di Fase (Montefalcone, 2009).

PSI	STATO ECOLOGICO
< 0,08	Elevato
0,08 – 0,16	Buono
0,16 – 0,25	Sufficiente
0,25 – 0,50	Scarso
≥ 0,50	Cattivo

2.2 Habitat coralligeno

2.2.1 Area di studio

Al fine di monitorare lo stato ecologico dell'habitat coralligeno, il piano di monitoraggio ha previsto di effettuare rilevamenti visivi e fotografici in tre siti ricadenti nel SIC ITB013051 (Fig. 6): Argentiera 1 (40.78377° N; 8.15694° E), Argentiera 2 (40.79306° N; 8.15375° E), e Argentiera 3_Scoglio Businco (40.83580° N; 8.17966° E).

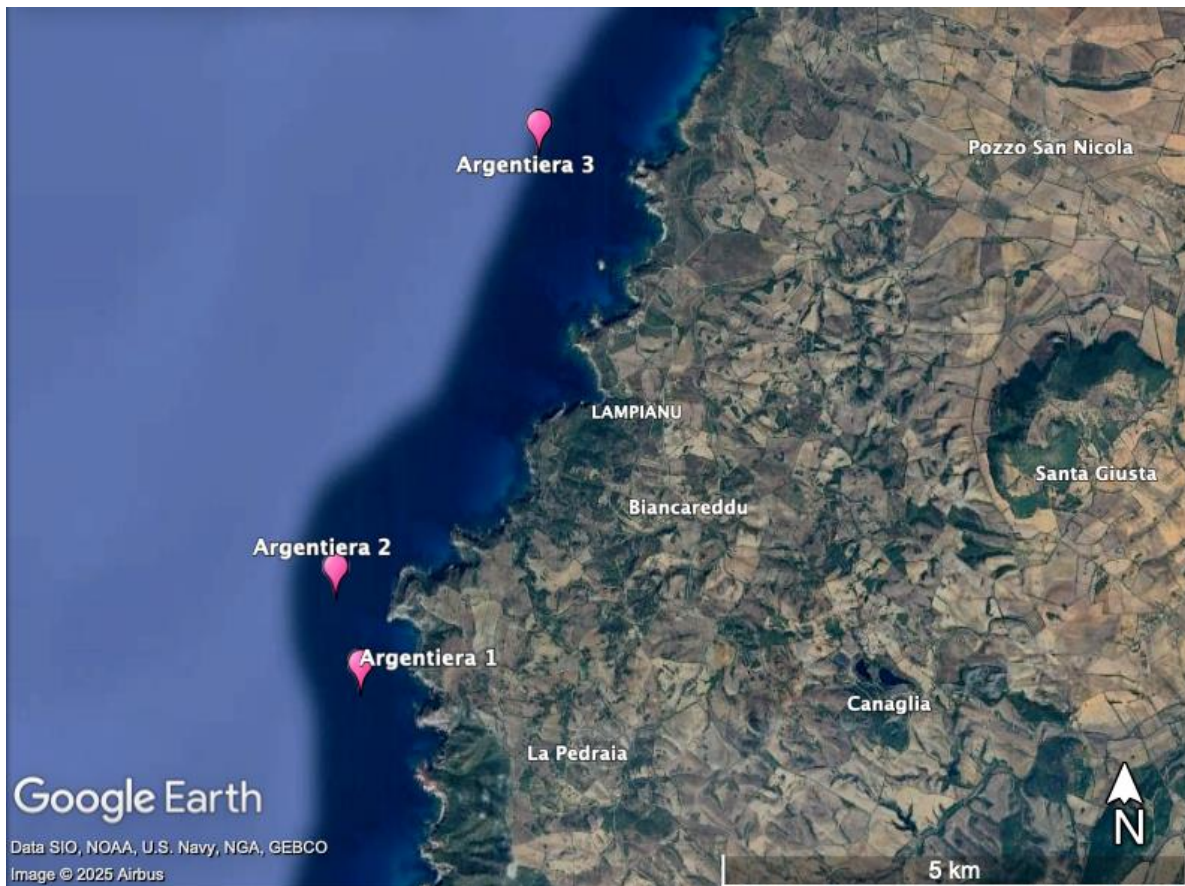


Figura 6. Mappa dei tre siti dove sono stati condotti i monitoraggi per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno nel SIC ITB013051 *Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera*.

2.2.2 Attività di campo

Le attività di rilevamento in mare per il monitoraggio dell'habitat coralligeno sono state realizzate in data 4 e 6 luglio 2025, 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), 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/>) e in conformità a quanto previsto dal D.M. Ambiente 5 marzo 2024 che disciplina le “Linee guida operative SNPA per le attività tecnico-scientifiche subacquee”.

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

- Prof. ssa Monica Montefalcone
Docente DiSTAV, Università degli Studi di Genova
Brevetto Istruttore SDI-TDI e Advanced European Scientific Diver

- Dr. Annalisa Azzola
Assegnista di ricerca DiSTAV, Università degli Studi di Genova
Brevetto Istruttore FIPSAS e European Scientific Diver

Gli operatori scientifici subacquei hanno svolto le attività di campo grazie al supporto del personale del centro di immersioni Roccaruja Diving Center di Stintino. Il personale del Roccaruja Diving Center 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: 04/07/2025

Località: Argentiera 1

Coordinate: 40.78377° N; 8.15694° E

Profondità massima: 35,9 m

Orario entrata: 13:45 Orario uscita: 14:30

Tempo totale di immersione: 45'

Operatori scientifici in immersione: A. Azzola; M. Montefalcone

IMMERSIONE N°2

Data: 04/07/2025

Località: Argentiera 2

Coordinate: 40.79306° N; 8.15375° E

Profondità massima: 36,0 m

Orario entrata: 16:08 Orario uscita: 16:30

Tempo totale di immersione: 22'

Operatori scientifici in immersione: A. Azzola; M. Montefalcone

IMMERSIONE N°3

Data: 06/07/2025

Località: Argentiera 3, Scoglio Businco

Coordinate: 40.83580° N; 8.17966° E

Profondità massima: 38,0 m

Orario entrata: 10:01 Orario uscita: 10:41

Tempo totale di immersione: 39'

Operatori scientifici in immersione: A. Azzola

In ognuno dei tre siti di monitoraggio sono state effettuate tre repliche di rilevamenti visivi, a profondità comprese tra i 30 m e i 38 m, su substrati verticali (80-90°), per un totale di 12 repliche di circa 1,5 m² ciascuna. I dati sono stati raccolti seguendo il protocollo STAR (Gennaro et al., 2020; Piazzì et al., 2025) per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno, 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, per un totale di 30 fotografie per ciascun sito di monitoraggio. È stata utilizzata una macchina fotografica Olympus Tg7 con scafandro rigido PT-059 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.

2.2.3 Analisi dei dati

Lo stato ecologico dell'habitat coralligeno è stato valutato tramite l'applicazione dell'Indice COARSE (Gatti et al., 2012, 2015, Piazzì et al., 2025). 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: i) copertura di ECR, NCEA, EA, TURF/SED (si veda sezione 'Attività di campo'); ii) spessore e consistenza dello strato calcareo; e iii) presenza di specie perforanti. Per lo strato intermedio: iv) ricchezza in specie (SR); v) organismi eretti calcificati (ECO); e vi) grado di sensibilità dei briozoi presenti. Per lo strato elevato: vii) copertura totale delle specie erette; viii) altezza massima (MH) di ciascuna specie; e ix) 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 8.

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 sito (Q_S) si ottiene utilizzando come metodo di aggregazione la media geometrica dei valori di qualità dei tre strati Q_{BL} , Q_{IL} e Q_{EL} . 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 9.

Tabella 8. Criteri per assegnare i punteggi (da 1 a 3) per ogni descrittore e per ogni replica. La tabella è stata modificata 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: $5 \leq SR \leq 8$ 3: $SR > 8$	Cover totale delle specie 1: cover $< 5\%$ 2: $5\% \leq \text{cover} \leq 25\%$ 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: $ECO \leq 1$ 2: $1 < ECO \leq 3$ 3: $ECO > 3$	Altezza massima (MH) 1: $MH < 0,3 < LMH^*$ 2: $0,3 LMH^* \leq MH \leq 0,6 LMH^*$ 3: $MH > 0,6 LMH^*$
Presenza di specie perforanti 1: comuni 2: occasionali 3: assenti	Sensibilità delle specie di briozoi 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: $10\% \leq N \leq 75\%$ 3: $N < 10\%$

Tabella 9. Limiti tra classi di qualità e codici di colore (sensu Water Framework Directive) per la definizione dello stato ecologico dell'habitat coralligeno tramite l'applicazione dell'indice COARSE.

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

3. RISULTATI

3.1 Praterie di *Posidonia oceanica*

3.1.1 Caratterizzazione delle aree

Argentiera 1

Il limite inferiore della prateria si posiziona a una profondità massima di circa 36,5 m. In questa zona, la prateria si sviluppa esclusivamente su substrato roccioso e si presenta in modo discontinuo, con valori di ricoprimento del fondo bassi (inferiori al 30%). Il limite è di tipo sfumato naturale.

Procedendo lungo il limite inferiore, in direzione Nord, la prateria mantiene caratteristiche simili: la profondità resta pressoché costante, così come i bassi valori di ricoprimento. In tutte le aree indagate lungo il limite inferiore la prateria si sviluppa sempre su roccia, senza interruzioni dovute a cambiamenti di substrato.

Risalendo verso costa, il fondale presenta una pendenza graduale. Fino a una profondità di circa 20 m, la prateria mantiene una distribuzione discontinua, con coperture inferiori al 30%. Anche a questa profondità, la prateria si sviluppa esclusivamente su roccia, formando patches alternate a tratti di substrato roccioso (Fig. 7).

Intorno ai 15 m la prateria appare ancora discontinua ma con ricoprimenti più elevati (tra il 40% e il 60%) e valori di densità maggiori rispetto alla stazione più profonda (Fig. 8 e Fig. 9). Anche in questa zona la prateria si sviluppa in maniera discontinua con patches su substrato roccioso. Risalendo alla profondità di 14 m la prateria è più compatta e raggiunge valori di ricoprimento del 70% (Fig. 10).

Il limite superiore della prateria si colloca a una profondità di circa 9 m. Anche a questa profondità la prateria si sviluppa su un substrato roccioso, formando ampie patches con valori di ricoprimento elevati (fino al 90-100%) (Fig. 11). Tuttavia, anche in questa zona non si osserva una copertura continua, in quanto la prateria è sempre interrotta dalla presenza di grandi affioramenti rocciosi e da canali di roccia. In prossimità del limite superiore è stata osservata la presenza di foglie sbiancate (Fig. 12).



Figura 7. Prateria di *Posidonia oceanica* intervallata da grandi canali rocciosi alla profondità di 20 m.



Figura 8. Stazione intermedia alla profondità di 15 m.

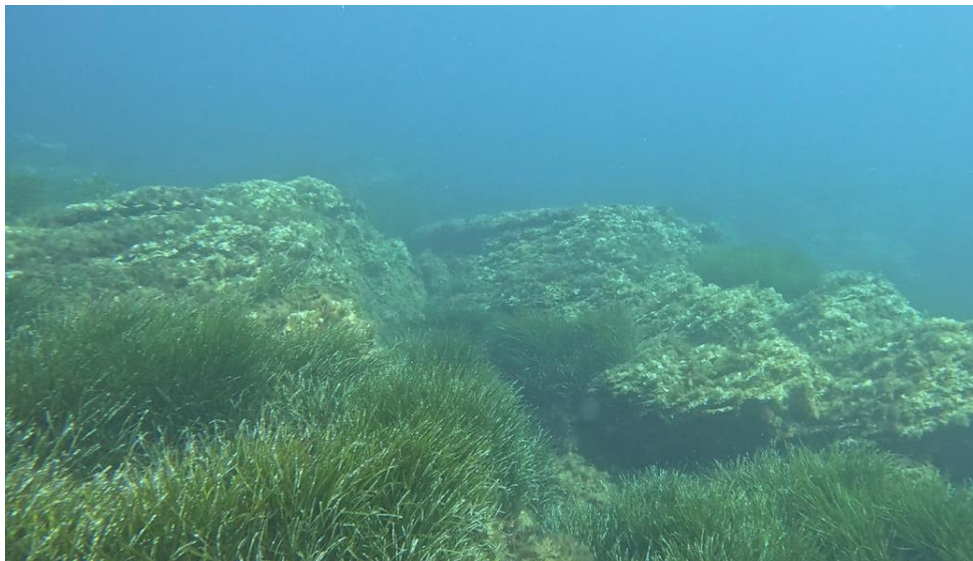


Figura 9. Stazione intermedia alla profondità di 15 m. La prateria si sviluppa in maniera eterogenea sul fondale roccioso.



Figura 10. Prateria alla profondità di 14 m, che si sviluppa su un fondale roccioso e con valori di ricoprimento maggiori.

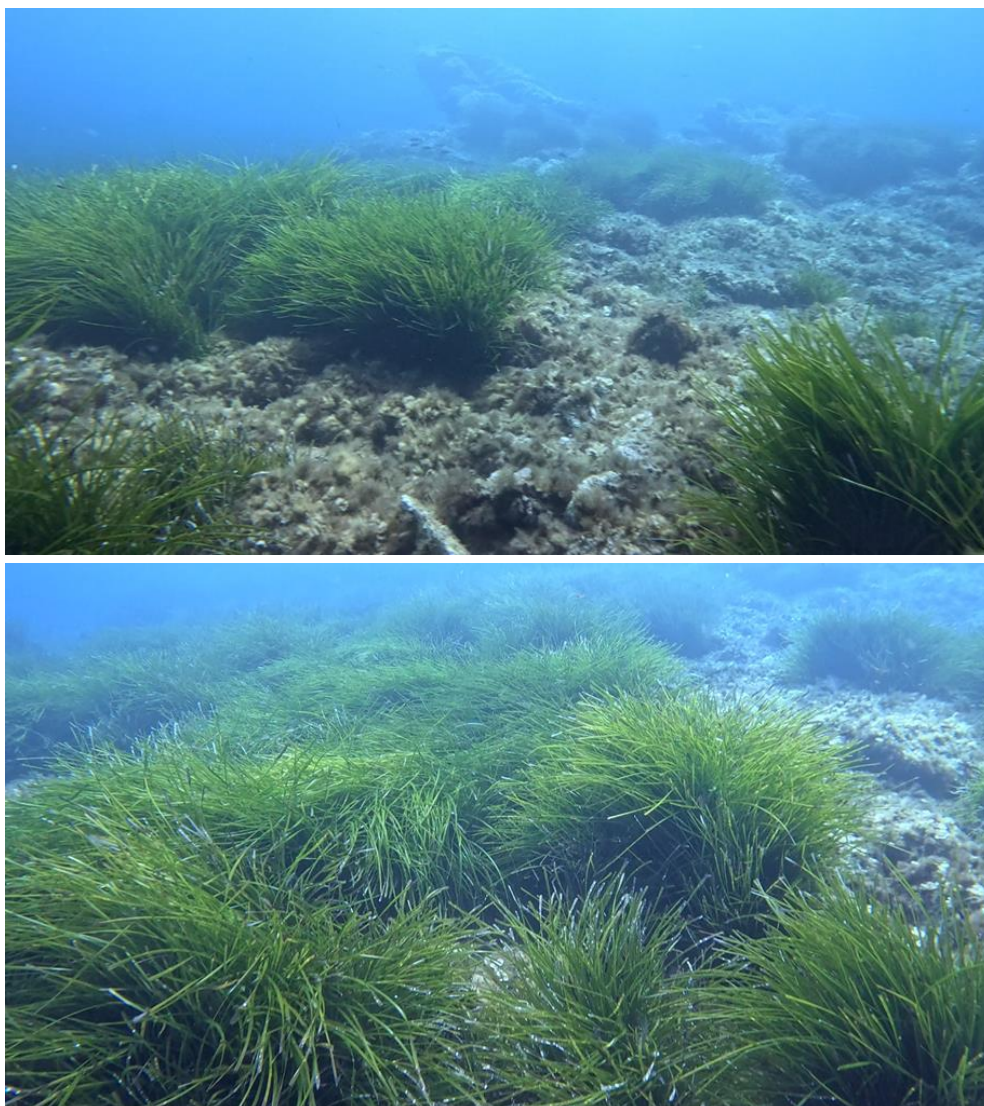


Figura 11. Limite superiore della prateria nel sito Argentiera 1. La prateria si sviluppa su substrato roccioso formando ampie patches con valori di ricoprimento elevati, interrompendosi in presenza di grandi affioramenti rocciosi.



Figura 12. Foglie sbiancate nella prateria in prossimità del limite superiore.

Argentiera 2

Il limite inferiore della prateria in questa zona si colloca a una profondità massima di 34,2 m ed è di tipo sfumato naturale, senza una netta separazione tra la prateria e il substrato roccioso (Fig. 13). Nei pressi del limite inferiore la prateria si sviluppa esclusivamente su substrato roccioso ed è caratterizzata da valori densità bassi e da valori di ricoprimento compresi tra il 10% e il 30%. Procedendo lungo il limite verso Nord non si osservano variazioni significative né nella profondità né nella tipologia del limite.

Risalendo verso costa, il fondale presenta una pendenza molto lieve e la prateria mantiene valori di ricoprimento modesti, sviluppandosi sempre su roccia. A circa 20 m di profondità si incontra un ampio canale sabbioso che frammenta la prateria, rendendo visibile un gradino roccioso sui bordi di circa 2 m di altezza (Fig. 14). Sulla roccia si osservano formazioni precoralligene, con la presenza di specie come lo zoantario *Parazoanthus axinellae* e la gorgonia *Eunicella cavolini*. Superato il gradino, la prateria appare uniforme e compatta, formando ampie distese con coperture fino al 100%.



Figura 13. Limite inferiore della prateria nel sito Argentiera 2. Il limite si presenta sfumato e la prateria si sviluppa su roccia.



Figura 14. Gradino roccioso alla profondità di 20 m.

A 15 m di profondità, nella stazione intermedia, la prateria risulta densa e continua (Fig. 15), con elevati valori di copertura del fondo (90%). Proseguendo verso costa, la densità e la copertura rimangono costanti e la prateria si estende in modo omogeneo, interrotta solo da grandi canali rocciosi o chiazze di sabbia (Fig. 16).

Il limite superiore della prateria è stato rilevato a una profondità di 13 m (Fig. 17). In questa zona i valori di copertura raggiungono l'80%. Anche qui la prateria è intervallata dalla presenza di numerosi affioramenti rocciosi che interrompono parzialmente la continuità del ricoprimento.



Figura 15. Stazione intermedia dove la prateria si sviluppa in maniera uniforme e presenta alti valori di ricoprimento.

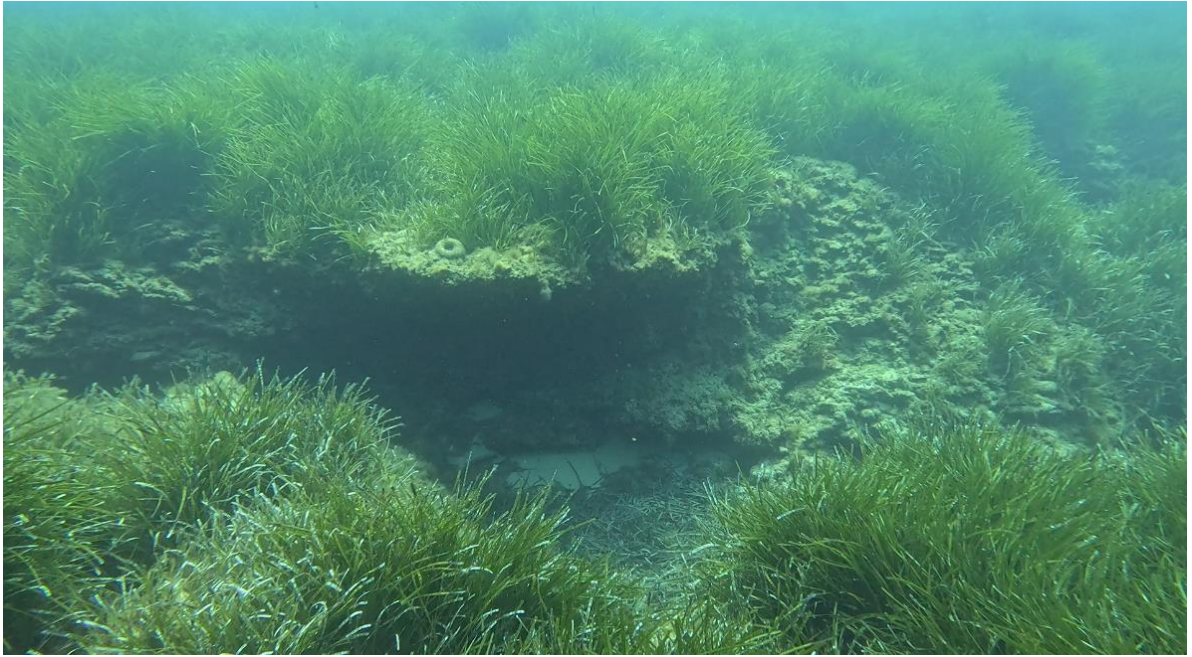


Figura 16. Canale roccioso che interrompe la prateria alla profondità di 14 m.



© Lorenzo Moscia

Figura 17. Operatori scientifici subacquei impegnati nel conteggio della densità dei fasci fogliari sul limite superiore della prateria (foto di Lorenzo Moscia).

3.1.2 Densità dei fasci fogliari

Per la prateria Argentiera 1 il descrittore densità fogliare diminuisce progressivamente con la profondità (Fig. 18). Il valore massimo riscontrato è sul limite superiore della prateria, dove la densità fogliare media corrisponde a $512,5 \pm 77,1$ fasci m^{-2} . Secondo la classificazione UNEP/MAP-RAC/SPA (2011) questo valore corrisponde a uno stato ecologico moderato. Questo perché il limite superiore risulta particolarmente profondo (12 m), portandolo ad avere una densità più simile a quella di una stazione intermedia piuttosto che a quella di un limite superiore. Nella fascia intermedia il valore di densità medio è di $491,7 \pm 96,0$ fasci m^{-2} , che corrisponde a un buono stato ecologico. Sul limite inferiore è stato riscontrato il valore di densità più basso, con un valore medio pari a $279,2 \pm 87,2$ fasci m^{-2} . La densità dei fasci fogliari a questa profondità è fisiologicamente più bassa rispetto alle zone più superficiali, a causa delle scarse condizioni di luminosità. Nonostante sia il valore più basso delle tre stazioni indagate, corrisponde a un uno stato ecologico elevato.

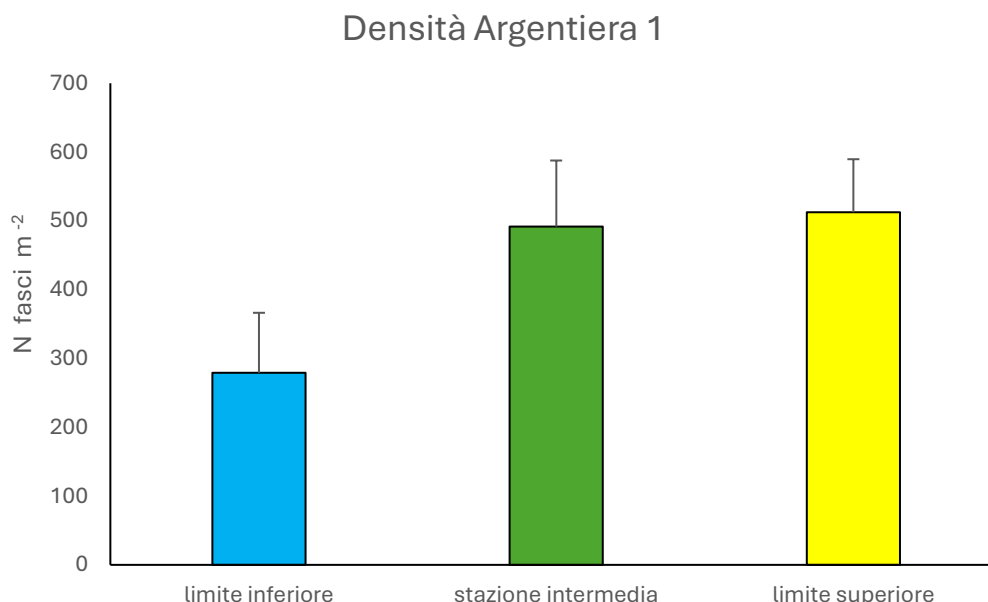


Figura 18. Andamento della densità fogliare media (+ES) nella prateria Argentiera 1 in accordo con la profondità. Il colore degli istogrammi è relativo alla scala cromatica di classificazione della qualità ecologica, dove il blu corrisponde a un'elevata qualità (*high*), verde a una buona qualità (*good*), e giallo a una moderata qualità (*moderate*).

Per la prateria nel sito Argentiera 2 il descrittore densità fogliare non diminuisce progressivamente con la profondità come per il sito Argentiera 1 (Fig. 19). Il valore massimo riscontrato è infatti nella stazione intermedia, con una densità media di $644,4 \pm 108,8$ fasci m^{-2} che corrisponde a un elevato stato ecologico. Il limite superiore presenta una densità media leggermente minore, con un valore di $587 \pm 95,9$ fasci m^{-2} ; questo valore corrisponde a uno stato ecologico buono e anche in questo caso il risultato può essere attribuito alla posizione del limite superiore che risulta piuttosto profondo (9 m), portandolo ad avere una

densità più simile a quella di una stazione intermedia piuttosto che a quella di un limite superiore. Sul limite inferiore è stato riscontrato il valore di densità più basso, con un valore medio corrispondente a $287,5 \pm 119,1$ fasci m^{-2} che, come per la prateria di Argentiera 1, corrisponde a un uno stato ecologico elevato.

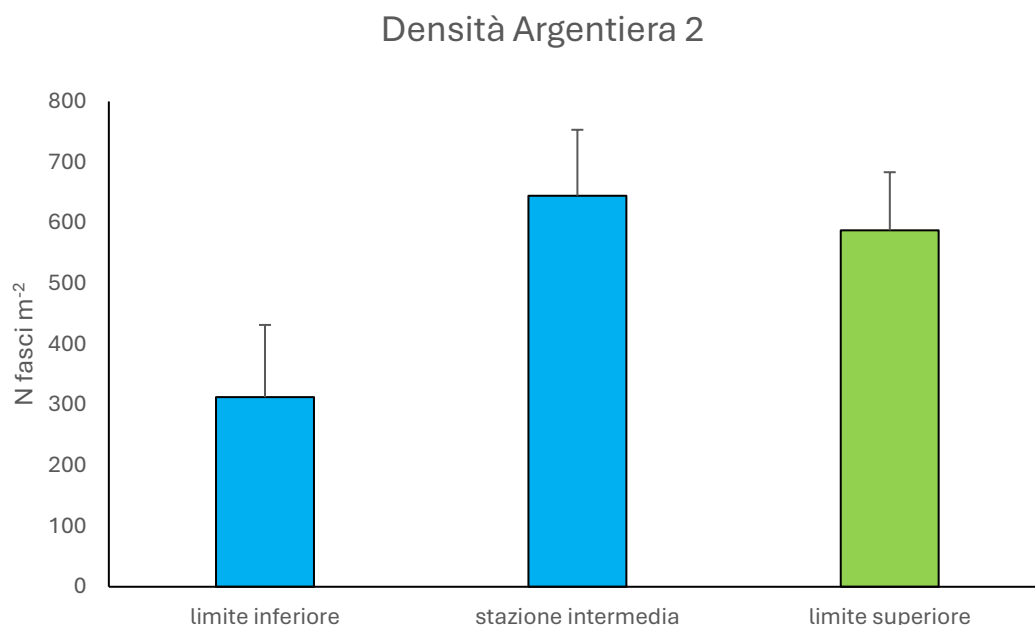


Figura 19. Andamento della densità fogliare media (+ES) nella prateria Argentiera 2 in accordo con la profondità. Il colore degli istogrammi è relativo alla scala cromatica di classificazione della qualità ecologica, dove il blu corrisponde a un'elevata qualità (*high*) e il verde a una buona qualità (*good*).

3.1.3 Profondità e ricoprimento del limite inferiore

Le profondità del limite inferiore delle praterie indagate descrivono in generale un ottimo stato ecologico per la prateria Argentiera 1 (profondità del limite 36,5 m) e un buono stato ecologico per la prateria Argentiera 2 (profondità del limite 34,2), in accordo con i valori di riferimento della classificazione (Tab. 2) (UNEP-MAP/RAC-SPA, 2011). Anche la percentuale di ricoprimento sul limite ha individuato un buono stato ecologico per entrambe le praterie, Argentiera 1 e Argentiera 2. Entrambi i limiti risultano stabili.

3.1.4 PREI Posidonia oceanica Rapid and Easy Index

I valori di EQR calcolati per l'indice PREI definiscono un elevato stato ecologico in tutte e due le praterie indagate (Tab. 10, Tab. 11). La prateria nel sito di Argentiera 1 presenta un valore dell'indice di 0,849, la prateria nel sito di Argentiera 2 un valore di 0,976.

Tabella 10. Calcolo dell'indice PREI per la prateria nel sito di Argentario 1. Il colore della cella è relativo alla scala cromatica di classificazione della qualità ecologica *sensu* Water Framework Directive (Gobert et al., 2009), dove l'azzurro corrisponde a una qualità elevata (*high*).

ARGENTIERA 1					
DESCRITTORI	VALORE	PREI			
		N	EQR'	EQR	classe
Densità (fasci m ⁻²)	491,67	0,82082	0,82444	0,849	ELEVATO
Superficie fogliare (cm ² fascio ⁻¹)	194,71	0,6281			
Prof. limite inferiore (m)	36,5	0,94231			
Biomassa epifiti (mg _{PS} fascio ⁻¹)	7,63	0,49433			
Biomassa fogliare (mg _{PS} fascio ⁻¹)	673				
Tipo di limite * (λ)	0				
*Tipo di limite	λ				
Limite stabile	0				
Limite	3				
Limite regressivo	-3				

Tabella 11. Calcolo dell'indice PREI per la prateria nel sito di Argentario 2. Il colore della cella è relativo alla scala cromatica di classificazione della qualità ecologica *sensu* Water Framework Directive (Gobert et al., 2009), dove il blu corrisponde a una qualità elevata (*high*).

ARGENTIERA 2					
DESCRITTORI	VALORE	PREI			
		N	EQR'	EQR	classe
Densità (fasci m ⁻²)	644,44	1,07586	0,8535	0,876	ELEVATO
Superficie fogliare (cm ² fascio ⁻¹)	173,94	0,5611			
Prof. limite inferiore (m)	34,2	0,85385			
Biomassa epifiti (mg _{PS} fascio ⁻¹)	6	0,49646			
Biomassa fogliare (mg _{PS} fascio ⁻¹)	847				
Tipo di limite * (λ)	0				
*Tipo di limite	λ				
Limite stabile	0				
Limite	3				
Limite regressivo	-3				

3.1.5 Indice di Conservazione – Indice di Sostituzione – Indice di Cambiamento di Fase

In entrambe le praterie Argentiera 1 e Argentiera 2 e in tutte e tre le stazioni di profondità (i.e., stazione profonda, stazione intermedia, stazione superficiale) l'Indice di Conservazione ha restituito una qualità ecologica elevata (Tab. 12, Tab. 13). L'Indice di Sostituzione non è stato calcolato in quanto nell'area di studio non è stata riscontrata la presenza di sostituti. Anche l'Indice di Cambiamento di Fase ha restituito una elevata qualità ecologica in tutte le stazioni e in entrambe le praterie. Nel sito Argentiera 1 i valori di CI e PSI sono leggermente più bassi rispetto ad Argentiera 2 a causa della presenza di piccole porzioni di matte morta riscontrate lungo i transetti.

Tabella 12. Valori degli indici paesaggistici (CI e PSI) nel sito Argentiera 1 nelle tre stazioni di profondità indagate. Il colore delle celle è relativo alla scala cromatica di classificazione della qualità ecologica, dove il blu corrisponde a un'elevata qualità (*high*).

Argentiera 1	CI	PSI
stazione profonda	0,916	0,013
stazione intermedia	0,913	0,014
stazione superficiale	1	0

Tabella 13. Valori degli indici paesaggistici (CI e PSI) nel sito Argentiera 2 nelle tre stazioni di profondità indagate. Il colore delle celle è relativo alla scala cromatica di classificazione della qualità ecologica, dove il blu corrisponde a un'elevata qualità (*high*).

Argentiera 2	CI	PSI
stazione profonda	1	0
stazione intermedia	1	0
stazione superficiale	1	0

3.2. Habitat coralligeno

3.2.1 Stato ecologico dell'habitat coralligeno

Le formazioni coralligeno all'interno del SIC ITB013051 “*Dall’Isola dell’Asinara all’Argentiera*” consistono in affioramenti e cordoni rocciosi sparsi tra le patches di *Posidonia oceanica*, a profondità comprese tra i 30 m e i 40 m (Fig. 20).

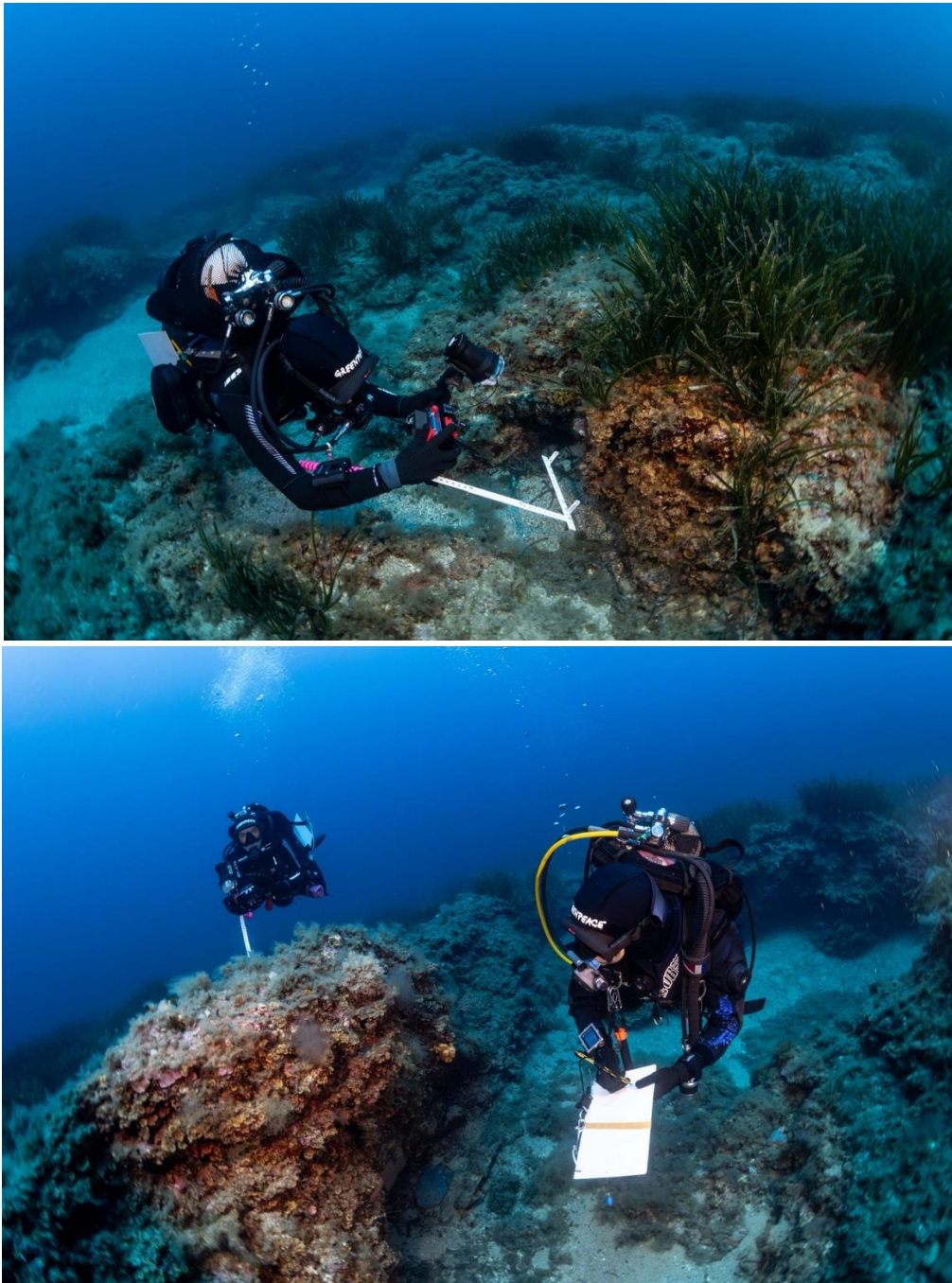


Figura 20. Operatori scientifici subacquei intenti a condurre i rilevamenti visivi per il monitoraggio dell'habitat coralligeno ricadente nel SIC ITB013051 “*Dall’Isola dell’Asinara all’Argentiera*” (foto di Lorenzo Moscia).

L'applicazione dell'indice COARSE nei tre diversi siti ha rilevato uno stato ecologico sufficiente nel sito Argentiera 1 e uno stato ecologico buono nei siti Argentiera 2 e Argentiera 3 (Tab. 14).

Tabella 14. Risultati dell'indice COARSE applicato alle scogliere coralligene nei tre siti monitorati nel SIC ITB013051 "Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera". I colori rappresentano i diversi livelli di stato ecologico per i tre strati del coralligeno e per il valore complessivo. Azzurro = elevato; verde = buono; giallo = sufficiente.

	Argentiera 1	Argentiera 2	Argentiera 3
Strato basale	2,38	2,74	2,51
Strato intermedio	1,26	1,75	1,44
Strato elevato	1,26	1,44	1,59
Valore complessivo	1,63	1,98	1,85

Dall'analisi dei tre strati considerati separatamente, per lo strato basale è stato ottenuto un buono stato ecologico nel sito Argentiera 1 e un elevato stato ecologico nei siti Argentiera 2 e Argentiera 3. Al contrario, per gli strati intermedio ed elevato è stato ottenuto un sufficiente stato ecologico in tutti e tre i siti monitorati (Fig. 21).

Il buono ed elevato stato ecologico ottenuti per lo strato basale nei tre siti monitorati sono indicativi di un coralligeno con uno strato calcareo biocostruito ben strutturato e consistente, che rappresenta la base di un habitat in salute e in grado di fornire numerosi servizi ecosistemici (Fig. 22).

Tuttavia, i bassi valori di stato ecologico rilevati nello strato intermedio di tutti e tre i siti forniscono un'indicazione di un moderato ruolo ecologico delle specie presenti in questo strato. In termini di biodiversità associata, infatti, i valori risultano alti con una media di 8 specie nei siti di Argentiera 1 e Argentiera 2, e addirittura 15 specie nel sito Argentiera 3. Tuttavia, la ridotta presenza di organismi eretti calcificanti, completamente assenti nel sito Argentiera 1 e con una media mai superiore a 1,3 negli altri due siti indagati, riducono significativamente il valore di stato ecologico del coralligeno del SIC ITB013051. Similmente, le specie di briozoi più sensibili (e.g., *Smittina cervicornis*, *Reteporella grimaldii*) a cui si attribuisce un valore di sensibilità pari a 3 (Tab. 8) risultano assenti in tutti i siti, dove è invece maggiormente presente la specie *Myriapora truncata*, a cui si attribuisce un punteggio di sensibilità pari a 1.

Anche lo strato elevato ha mostrato valori sufficienti di stato ecologico in tutti i siti monitorati, dove sono state osservate le specie di gorgonie *Eunicella cavolini* ed *E. singularis*, con una copertura che però non ha mai superato il 3% e una altezza massima di 15 cm (Fig. 23). Il sito con la maggior ricchezza specifica è risultato quello di Argentiera 3, con la presenza delle due specie di gorgonie del genere *Eunicella* e dell'alga bruna *Cystoseira zoosteroides*, ma anche in questo caso con coperture medie del fondo e altezze massime ridotte.

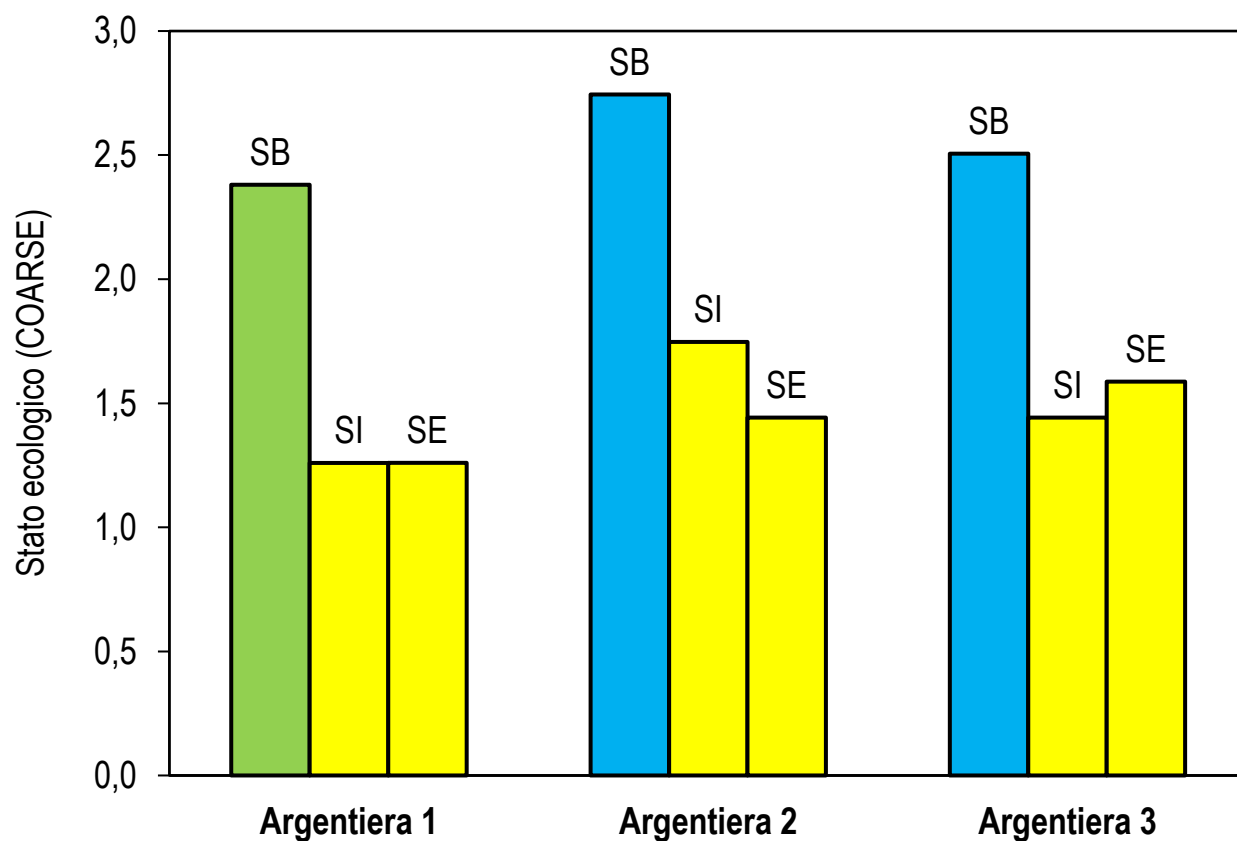


Figura 21. Valori dell'indice COARSE applicato alle scogliere coralligene nei tre siti monitorati nel SIC ITB013051 "Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera" divisi nei tre strati caratterizzanti l'habitat del coralligeno: strato basale (SB); strato intermedio (SI); strato elevato (SE). I colori rappresentano i diversi livelli di stato ecologico nei tre strati del coralligeno. Azzurro = elevato; verde = buono; giallo = sufficiente.

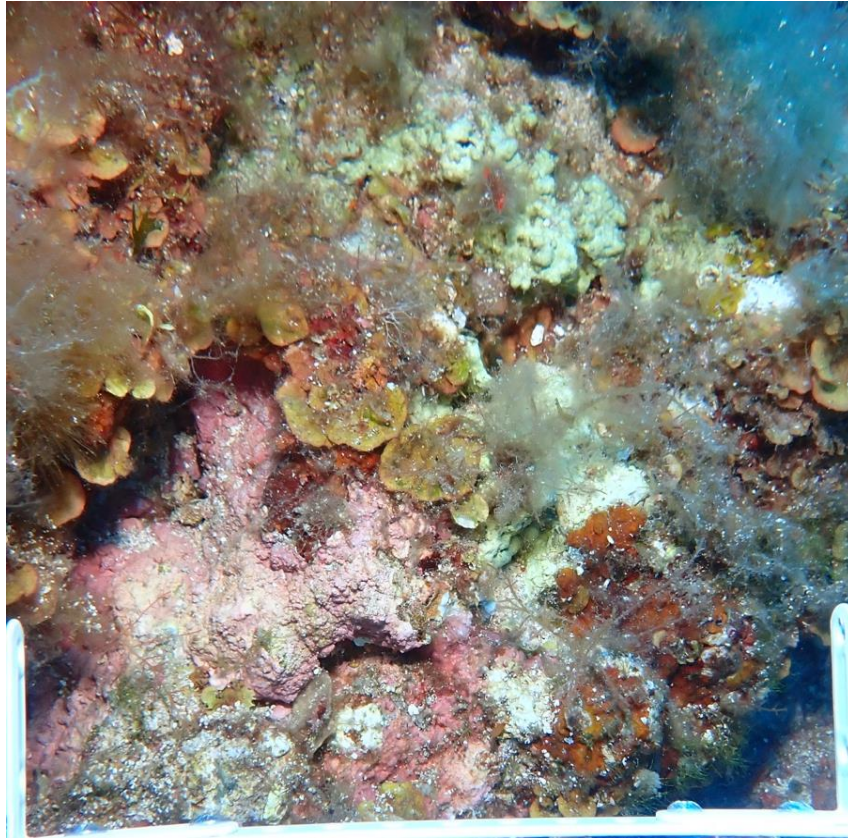


Figura 22. Fotoquadrati realizzati nel SIC ITB013051 *“Dall’Isola dell’Asinara all’Argentiera”* nell’ambito del monitoraggio per l’habitat coralligeno, dove si osserva una buona biocostruzione nello strato basale.



Figura 23. Fotoquadrati realizzati nel SIC ITB013051 “Dall’Isola dell’Asinara all’Argentiera” nell’ambito del monitoraggio per l’habitat coralligeno, dove si osservano una colonia di *Eunicella singularis* (sopra) e di *Eunicella cavolini* (sotto).

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati del presente monitoraggio nell'ambito del progetto Marine Protected Areas Empowerment (AMPOWER) hanno confermato la presenza all'interno del SIC ITB013051 "Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera" di habitat prioritari, quali praterie di *Posidonia oceanica* e formazioni rocciose caratterizzate dall'habitat coralligeno. L'applicazione degli indici e dei descrittori ecologici, riconosciuti e adottati a livello nazionale e internazionale, ha permesso di valutare efficacemente lo stato ecologico di questi due habitat e di rilevare eventuali problematiche e pressioni a cui sono soggetti.

L'utilizzo simultaneo di diversi descrittori per la valutazione dello stato di salute delle praterie di *P. oceanica* si è rivelato un ottimo approccio per l'area di studio, poiché ha permesso di definire la qualità ecologica dell'habitat tenendo in considerazione la sua complessità. In generale, le due praterie indagate hanno evidenziato una qualità ecologica elevata e non sono state riscontrate differenze significative nella qualità tra le due aree. La totale mancanza di sostituti con elevato potere invasivo (e.g., *Caulerpa cylindracea*), la quasi totale assenza di matte morta, gli alti valori di copertura del fondo e gli alti valori di densità dei fasci fogliari, soprattutto in corrispondenza dei limiti superiori e delle stazioni intermedie, costituiscono importanti elementi che confermano il buono stato di salute delle praterie.

Tutti gli indici utilizzati confermano uno stato ecologico che varia da buono a elevato, a eccezione del limite superiore di Argentiera 1, che mostra uno stato ecologico moderato, dovuto alla posizione batimetrica del limite superiore che, essendo particolarmente profondo (12 m) a causa della conformazione rocciosa della costa, porta ad avere una densità più simile a quella di una stazione intermedia piuttosto che a quella di un limite superiore.

La scarsa presenza di aree di matte morta evidenzia la stabilità della prateria, che non mostra quasi mai segni di sofferenza o di regressione. Questa stabilità è confermata dall'alto valore ottenuto dagli indici paesaggistici (i.e., Indice di Conservazione e Indice di Cambiamento di Fase), che evidenziano sempre uno stato ecologico elevato. È importante sottolineare che la prateria si sviluppa quasi interamente su roccia, e i valori di ricoprimento della prateria, che non risultano particolarmente elevati, sono sicuramente influenzati dalla conformazione del substrato che crea un paesaggio molto eterogeneo. L'indice PREI, che attualmente è lo strumento diagnostico utilizzato a livello nazionale dalle agenzie regionali per l'ambiente (ARPA) per la definizione della qualità dei corpi idrici nell'ambito dei monitoraggi richiesti dalla WFD e dalla MSFD, ha riportato uno stato ecologico ottimo in entrambe le praterie considerate.

Allo stesso modo, il protocollo STAR (Piazzi et al., 2019; 2025) e la successiva applicazione dell'indice COARSE (Gatti et al., 2015) si sono rivelati validi strumenti diagnostici per la valutazione dello stato ecologico del coralligeno nel SIC ITB013051 "Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera", in quanto hanno permesso di evidenziare quali fossero le maggiori criticità che influenzano lo stato di conservazione di questo habitat. L'indice COARSE, infatti, è stato sviluppato con lo scopo specifico di rispondere alle richieste della MSFD, e quindi di fornire informazioni sull'integrità del fondale marino, tramite lo studio del coralligeno e considerando le tre diverse componenti che lo contraddistinguono: 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.

I risultati del presente monitoraggio hanno mostrato uno stato ecologico sufficiente per il sito Argentiera 1 e un buono stato ecologico per i siti Argentiera 2 e Argentiera 3. Analizzando separatamente i tre strati del coralligeno, popolati da specie diverse che risentono e rispondono in maniera differente ai fattori ambientali e alle pressioni e impatti antropici, sono stati ottenuti valori di stato ecologico estraneamente differenti. Lo strato basale è apparso ben strutturato in tutte le sue componenti, a indicare una biocostruzione ben sviluppata in tutti gli affioramenti coralligeni dell'area di indagine. Nello strato intermedio, invece, è stato registrato un valore di biodiversità sufficiente, principalmente dovuto alla mancanza di specie calcificanti con elevato ruolo ecologico e alla scarsa presenza di specie di briozoi sensibili, rappresentate dalla sola specie *Myriapora truncata* (la meno sensibile). Lo strato elevato, similmente, è risultato con un sufficiente stato ecologico in tutti i siti monitorati, dovuto alla scarsa abbondanza di specie erette; queste ultime sono presenti sempre con abbondanze esigue e con dimensioni delle colonie/individui particolarmente ridotte.

La mancanza di dati pregressi relativi allo stato ecologico del coralligeno nell'area monitorata limita, ovviamente, la possibilità di individuare relazioni di causa-effetto tra lo stato ecologico sufficiente ed eventuali pressioni antropiche locali e globali che potrebbero averlo generato. Tuttavia, i moderati valori di stato ecologico rilevati per gli strati intermedio ed elevato possono essere considerati sentinelle precoci dell'effetto sinergico delle pressioni antropiche locali (e.g., attività di pesca) e del cambiamento climatico. Le specie erette, infatti, soffrono particolarmente l'azione della pesca poiché rimangono facilmente impigliate negli attrezzi da pesca, mentre le specie calcificanti soffrono, in particolare, l'effetto dell'aumento delle temperature.

I risultati ottenuti dal presente lavoro possono considerarsi una fondamentale *baseline* per i futuri monitoraggi all'interno del SIC ITB013051 "*Dall'Isola dell'Asinara all'Argentiera*", grazie ai quali sarà possibile delineare i fattori che influenzano lo stato ecologico degli habitat prioritari, per valutarne le traiettorie di cambiamento. Le praterie di *P. oceanica* e l'habitat coralligeno sono da considerarsi habitat di elevata rilevanza ecologica per l'area indagata e per tale motivo si rende estremamente necessario lo sviluppo di strategie di gestione mirate per la conservazione di questi habitat. Infatti, la mitigazione e la corretta gestione delle pressioni antropiche locali, tramite l'istituzione di AMP o la regolamentazione nei SIC (ad oggi ancora mancante), rappresentano validi strumenti di conservazione e un'ottima strategia per aumentare la resilienza degli ecosistemi marini costieri, anche a fronte dell'impatto dei cambiamenti climatici in atto.

BIBLIOGRAFIA

- Ballesteros E. 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 44: 123-195.
- 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., Calcinai B., Cerrano C. & Bavestrello G. 2004. Hard bottoms. *Biologia Marina Mediterranea*, 11: 185-215.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RaMoGe publication, Monaco: 202 pp.
- 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., Bianchi C.N., Morri C., Montefalcone M., Sartoretto S. 2015. 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., 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.
- Gennaro P., Piazzini 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.
- Gobert S., Sartoretto S., Rico-Raimondino V., Andral B., Chery A., Lejeune P., Boissery P. 2009. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, 58 (11): 1727-1733.
- Kendrick G.A., Lavery P.S. 2001. Assessing biomass, assemblage structure and productivity of algal epiphytes on seagrasses. In: Short F.T., Coles R.G. (Eds). *Global Seagrass Research Methods*, Elsevier Science, NL: 199-222.
- Marbà N., Duarte C. M., Cebrián J., Gallegos M. E., Olesen B., Sand-Jensen K. 1996. Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series*, 137: 203-213.
- Montefalcone M. 2009. Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: a review. *Ecological Indicators*, 9 (4): 595-604.
- Montefalcone M., Albertelli G., Bianchi C.N., Mariani M., Morri C. 2006. A new synthetic index and a protocol for monitoring the status of *Posidonia oceanica* meadows: a case study at Sanremo (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16 (1): 29-42.

- Montefalcone M., Albertelli G., Morri C., Bianchi C.N. 2007. Urban seagrass: status of *Posidonia oceanica* facing the Genoa city waterfront (Italy) and implications for management. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 206-213.
- 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.
- Moreno D., Aguilera P. A., Castro H. 2001. Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. *Biological Conservation*, 102 (3): 325-332.
- Oprandi A., Bianchi C.N., Karayali O., Morri C., Rigo I., Montefalcone M. 2021. RESQUE: A novel comprehensive approach to compare the performance of different indices in evaluating seagrass health. *Ecological Indicators*, 131: 108118.
- Pergent-Martini C., Leoni V., Pasqualini V., Ardizzone G.D., Balestri E., Bedini R., Belluscio A., Belsher T., Borg J., Boudouresque C.F., Boumaza S., Bouquegneau J.M., Buia M.C., Calvo S., Cebrian J., Charbonnel E., Cinelli F., Cossu A., Di Maida G., Dural B., Francour P., Gobert S., Lepoint G., Meinesz A., Molenaar H., Mansour H.M., Panayotidis P., Peirano A., Pergent G., Piazzì L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri P., Shili A., Tomasello A., Velimirov B. 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. *Ecological Indicators*, 5: 213-230.
- Piazzì L., Gennaro P., Azzola A., Cinti M.F., Montefalcone M. 2025. Advancing star: A revised protocol for assessing the ecological status of coralligenous cliffs. *Marine Pollution Bulletin*, 213: 117684.
- Piazzì 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.
- UNEP/MAP-RAC/SPA 2011. Draft guidelines for the standardization of mapping and monitoring methods of marine Magnoliophyta in the Mediterranean. Tenth Meeting of Focal Points for SPAs. Marseilles (France), 17-20 May 2011. RAC/SPA Publ., UNEP (DEPI)/MED WG 359/9: 1-63.