



**GREENPEACE**

CONVENZIONE OPERATIVA NELL'AMBITO DEL PROGETTO "MARE CALDO" IN COLLABORAZIONE TRA DISTAV, GREENPEACE E ELBATECH

## **RELAZIONE DEL QUARTO ANNO DI PROGETTO MARE CALDO (2022-2023)**

### **MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUGLI ECOSISTEMI MARINI BENTONICI DI SCOGLIERA**

a cura di

Annalisa Azzola, Monica Montefalcone

Responsabile scientifico: Prof. Monica Montefalcone

DiSTAV, Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova

Genova, aprile 2024

## **Ringraziamenti**

Per la consulenza scientifica si ringrazia il Professore Marco Capello, oceanografo fisico del DiSTAV dell'Università di Genova. Si ringraziano inoltre Nicolò Campisi e Mattia David Frau che hanno collaborato al progetto nell'ambito delle loro tesi di Laurea Triennale in Scienze Ambientali e Naturali e in Scienze Biologiche, presso il DiSTAV dell'Università di Genova.

<b>INDICE</b>	
<b>PROGETTO MARE CALDO</b>	3
<b>MATERIALI E METODI</b>	4
AREE DI STUDIO	4
ATTIVITÀ DI CAMPO	15
Monitoraggio della temperatura nella colonna d'acqua	15
Monitoraggio degli ecosistemi di scogliera	17
ANALISI DEI DATI	20
Dati di temperatura	20
Struttura e stato ecologico delle comunità	21
Monitoraggio mortalità delle specie target	22
Monitoraggio delle specie termofile	22
<b>RISULTATI</b>	22
Temperatura	22
Struttura e stato ecologico delle comunità	55
Mortalità delle specie target	61
Specie termofile	65
<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	70
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	72

## PROGETTO MARE CALDO

Il progetto Mare Caldo, in collaborazione tra il DiSTAV dell'Università di Genova e Greenpeace, si propone di sviluppare una rete costiera di stazioni di monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici nei mari italiani. La rete, nata nel 2019 con l'installazione di una prima stazione pilota presso la costa nord-occidentale dell'Isola d'Elba, conta ad oggi dodici stazioni aderenti al progetto, di cui undici sono in aree marine protette (AMP): AMP Capo Carbonara, AMP Capo Milazzo, AMP Cinque Terre, AMP Isola dell'Asinara, AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano, AMP Isole Tremiti, AMP Miramare, AMP Plemmirio, AMP Portofino, AMP Tavolara Punta Coda Cavallo, e AMP Torre Guaceto.

Il progetto Mare Caldo prevede lo sviluppo di stazioni fisse per la registrazione delle temperature in mare a diverse profondità, secondo il protocollo proposto dal network mediterraneo T-MEDNet (<http://www.t-mednet.org>), piattaforma già esistente e costituita da diverse stazioni per la misurazione delle temperature nel Mediterraneo. Il progetto prevede inoltre la registrazione delle stazioni dei diversi Soggetti Aderenti sulla piattaforma T-MEDNet e la condivisione periodica dei dati registrati con la suddetta piattaforma, in modo da contribuire a una più ampia rete mediterranea per consentire, grazie allo scambio d'informazioni e conoscenze, la messa in atto di meccanismi regionali di tutela.

Nell'ambito del progetto Mare Caldo i dati raccolti nelle diverse stazioni dei mari italiani sono analizzati per evidenziare differenze geografiche e latitudinali negli andamenti stagionali delle temperature nella colonna d'acqua e per rilevare la presenza di eventuali anomalie termiche (e.g., ondate di calore, alterazioni del termoclino), per sviluppare quindi uno studio comparativo tra le diverse aree in modo da aumentare le conoscenze relative ai mari che circondano la nostra penisola. Il progetto, infine, prevede nelle aree di studio lo sviluppo di campagne di monitoraggio sulle biocenosi marine di scogliera per correlare gli andamenti delle temperature rilevate a specifici cambiamenti nella struttura e nella composizione delle comunità bentoniche.

Gli obiettivi prioritari del progetto Mare Caldo sono:

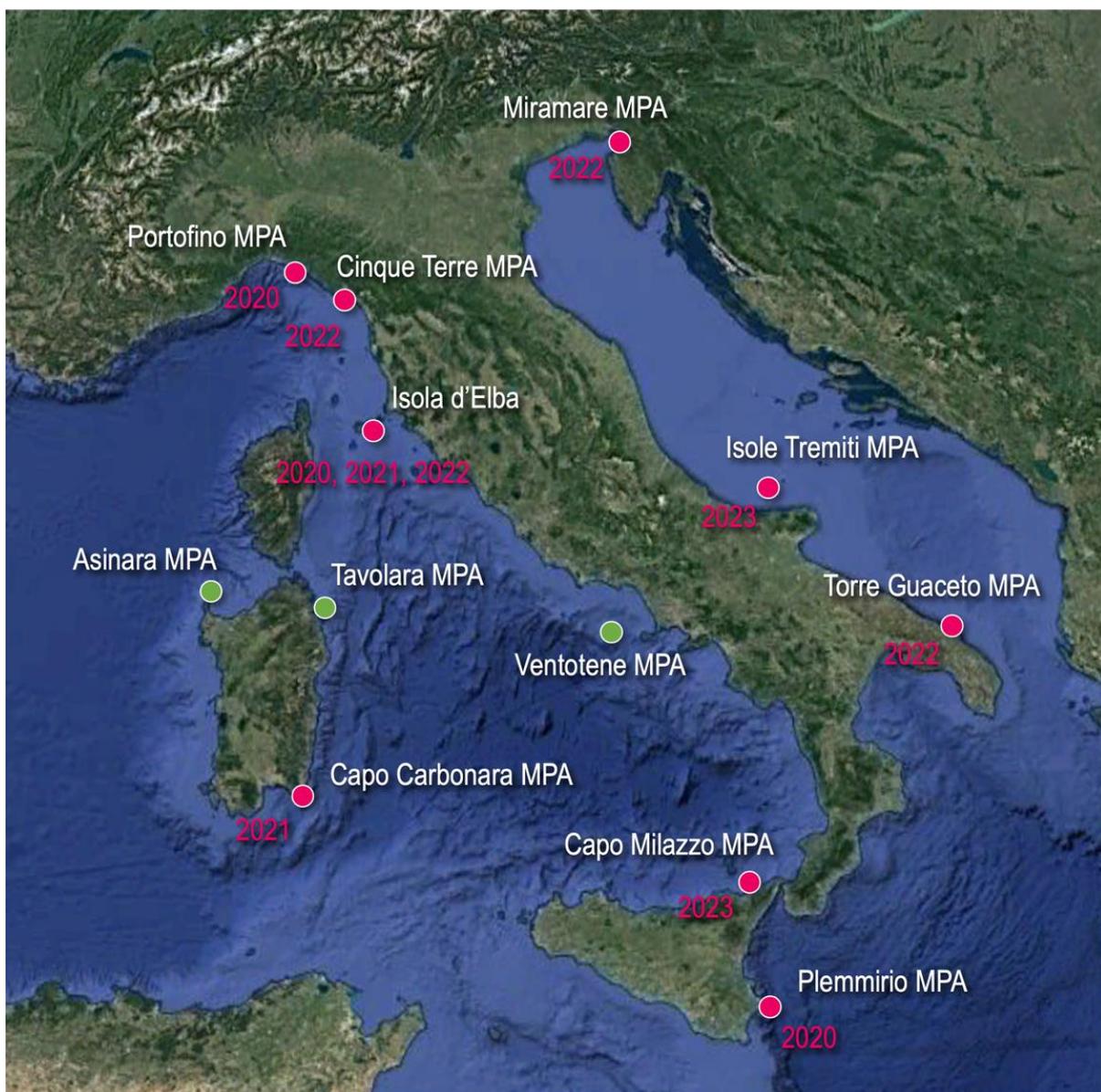
- 1) monitorare, attraverso l'adozione di un protocollo standardizzato di raccolta dati, i cambiamenti della temperatura lungo la colonna d'acqua per periodi continui per valutare gli effetti del riscaldamento globale sugli ecosistemi marini costieri, in modo da raccogliere dati utili per sviluppare adeguate misure di gestione e tutela;
- 2) sensibilizzare l'opinione pubblica e aumentare la consapevolezza sui cambiamenti in atto, con il fine ultimo di stimolare i dovuti interventi per fronteggiarli;
- 3) porre le basi per lo sviluppo di una rete nazionale di monitoraggio degli impatti dei cambiamenti climatici sulle comunità di scogliera nei mari italiani.

Nella presente relazione sono riportate le analisi dei dati di temperatura registrati dai *temperature data logger* nelle aree aderenti al progetto. Inoltre, sono riportati i risultati delle campagne di monitoraggio condotte, nel quarto anno di progetto Mare Caldo (2023), nell'AMP Capo Milazzo e nell'AMP Isole Tremiti.

# MATERIALI E METODI

## AREE DI STUDIO

Nel corso del quarto anno del progetto Mare Caldo (2022-2023) sono stati analizzati i dati di temperatura registrati dai *temperature data logger* nelle dodici aree situate a diverse latitudini (da nord verso sud): AMP Miramare, AMP Portofino, AMP Cinque Terre, Isola d'Elba, AMP Isole Tremiti, AMP Isola dell'Asinara, AMP Tavolara Punta Coda Cavallo, AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano, AMP Torre Guaceto, AMP Capo Carbonara, AMP Capo Milazzo, e AMP Plemmirio (Fig. 1).

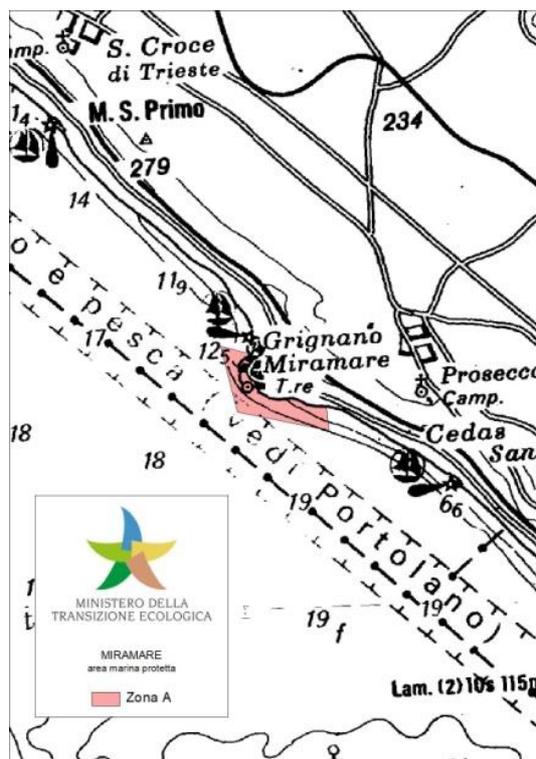


**Figura 1.** Mappa delle aree di studio comprendenti la stazione pilota dell'Isola d'Elba e le 11 Aree Marine Protette aderenti al progetto Mare Caldo. In rosso le stazioni dove, oltre al monitoraggio delle temperature, sono stati condotti i monitoraggi biologici nei quattro anni di progetto; in verde le aree dove i rilevamenti sulle comunità bentoniche di scogliera sono ancora da svolgere.

## AMP Miramare

L'AMP Miramare (Fig. 2) nasce nel 1973 inizialmente come Parco Marino, in concessione demaniale dalla Capitaneria di Porto di Trieste al WWF Italia, e istituita poi come area marina protetta con il Decreto Interministeriale del 12 novembre 1986. L'AMP ha un'estensione di 30 ettari sottoposti a protezione integrale e 90 ettari di zona cuscinetto, istituita nel 1995 da un'ordinanza della Capitaneria di Porto ([www.ampmiramare.it](http://www.ampmiramare.it)).

Dal punto di vista geomorfologico l'AMP presenta ambienti di marea, ambienti detritici, ambienti di scogliera e fondali sabbiosi e fangosi.

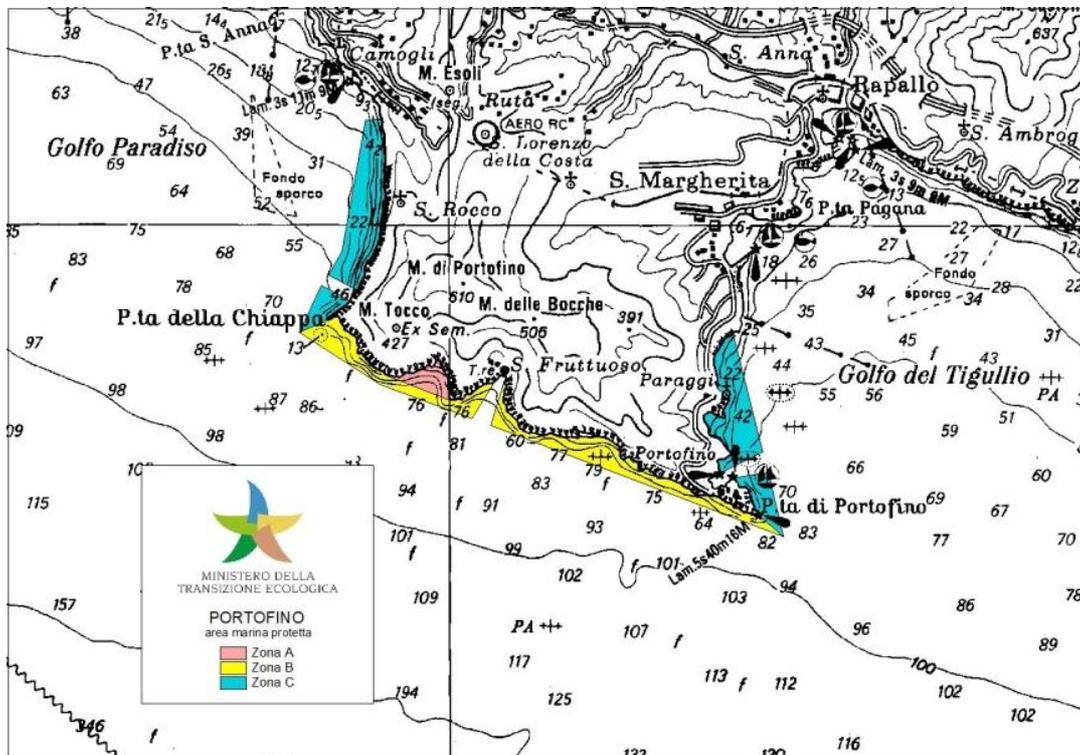


**Figura 2.** Carta dell'AMP Miramare dove è evidenziata la zona a protezione integrale (<https://www.mite.gov.it>).

## AMP Portofino

L'AMP Portofino (Fig. 3), gestita dal Consorzio di Gestione dell'Area Marina Protetta del Promontorio di Portofino, è stata istituita con il decreto del Ministero dell'Ambiente del 26 aprile 1999 e comprende i Comuni di Camogli, Portofino e Santa Margherita Ligure. L'area marina, si sviluppa per circa 13 km costieri lungo tutto il promontorio di Portofino per un totale di 372 ettari di mare che dividono il Golfo del Tigullio dal Golfo Paradiso ([www.portofinoamp.it](http://www.portofinoamp.it)).

Da un punto di vista geomorfologico le rocce di cui sono costituite le coste del Promontorio di Portofino sono di origine sedimentaria. La costa è caratterizzata da falesie che proseguono verticalmente sott'acqua finendo su fondali detritici.

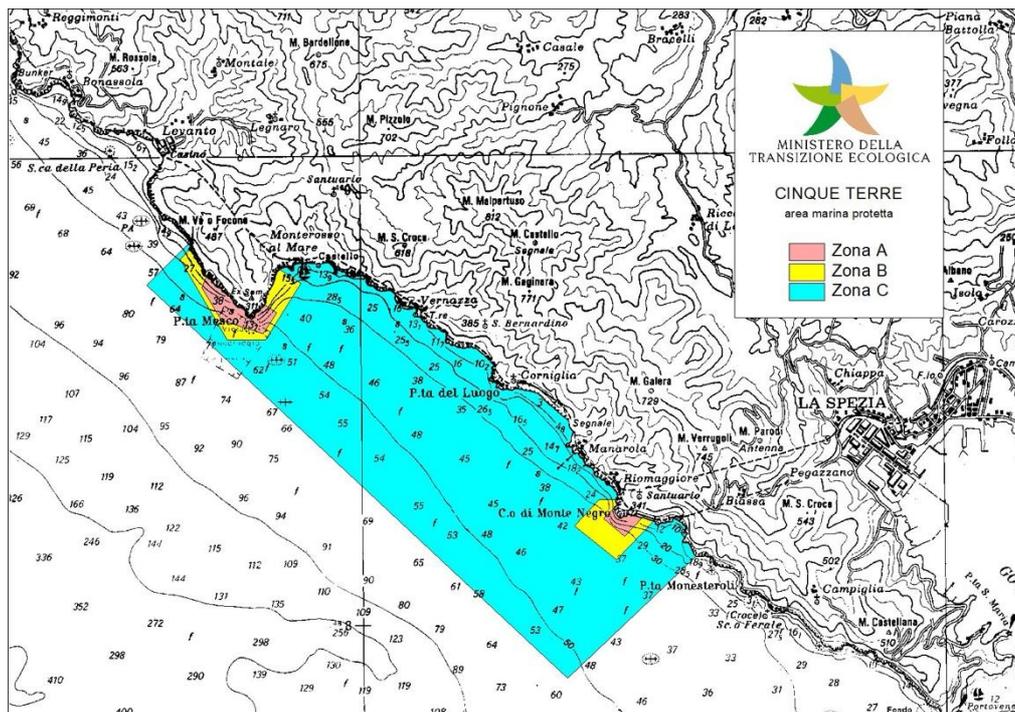


**Figura 3.** Carta dell'AMP Portofino dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

### AMP Cinque Terre

L'AMP Cinque Terre (Fig. 4), gestita dall'Ente parco nazionale delle Cinque Terre, è stata istituita con il decreto del Ministero dell'Ambiente del 12 dicembre 1997 in riferimento alle due leggi nazionali: Disposizioni per la difesa del mare (n. 979 del 31 dicembre 1982) e Legge Quadro sulle Aree Protette (n. 394 del 6 dicembre 1991).

L'AMP delle Cinque Terre comprende i Comuni di Riomaggiore, Vernazza, Monterosso e per una piccola porzione Levanto, per un totale di 19 km costieri. L'area ricopre 4591 ha di mare, facenti parte di un unico golfo che si estende da Punta Mesco a est, a Punta Pineda a ovest, poco oltre Capo Montenero ([www.parconazionale5terre.it](http://www.parconazionale5terre.it)).



**Figura 4.** Carta dell'AMP Cinque Terre dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

## Isola d'Elba

L'isola d'Elba fa parte del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, istituito con il decreto del Presidente della Repubblica il 22 luglio 1996. Il parco comprende tutte le sette isole principali dell'Arcipelago Toscano (Elba, Capraia, Gorgona, Pianosa, Montecristo, Giglio e Giannutri) e alcune isole minori per un totale di 56.766 ettari di mare e 17.887 ettari di terra. L'Isola d'Elba, tuttavia, è sottoposta a regime di tutela solo per una parte del suo territorio terrestre e le acque costiere non rientrano nel perimetro del Parco Nazionale.

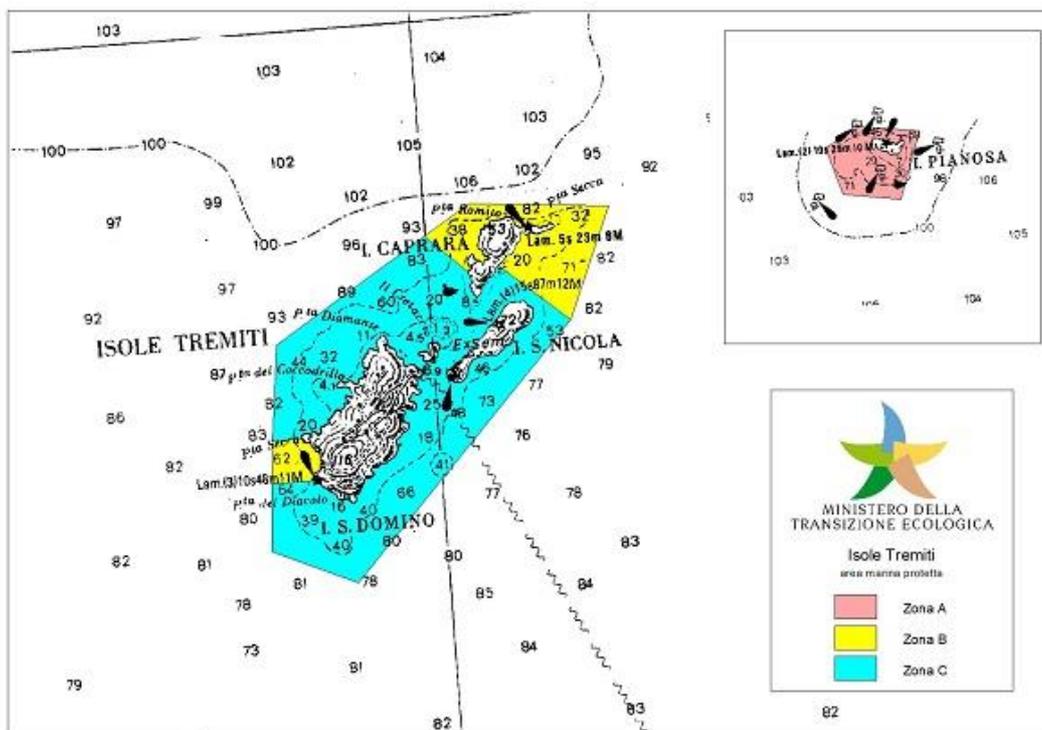
Da un punto di vista geomorfologico l'Isola d'Elba è l'affioramento più occidentale della catena nord-appenninica ed è nota per i suoi giacimenti minerali a ferro. A ovest è costituita da plutone granodioritico, mentre a est è costituita da una sequenza di unità tettoniche con successioni sedimentarie di tipo Ligure e Toscano, oltre che da monzoniti.

## AMP Isole Tremiti

L'AMP Isole Tremiti (Fig. 5) è stata istituita nel 1989, con D.I. del 14.07.1989 inizialmente come "Riserva Naturale marina Isole Tremiti". La gestione della Riserva, con l'istituzione del Parco Nazionale del Gargano avvenuta nel 1991, è passata all'Ente Parco Nazionale del Gargano. Con Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica viene istituita la "Commissione di Riserva dell'Area Marina protetta Isole Tremiti". La Commissione ha durata di quattro anni. La Commissione istituita con Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 178 del 11/05/2018 è scaduta nel 2022. Resta in

carica il Prof. Angelo Tursi (Rappresentante designato dal Ministro dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con Decreto n. 31 del 25/01/2021) con funzioni di Presidente ([www.parcogargano.it](http://www.parcogargano.it)).

L’AMP Isole Tremiti ha un’estensione di 1466 ha, ed è localizzato a circa 12 miglia a Nord del promontorio del Gargano. L’arcipelago è costituito da tre isole maggiori: S. Domino, S. Nicola e Caprara, da un isolotto posto fra le tre isole denominato il Cretaccio ed infine da un’isola minore, localizzata a distanza di circa 12 miglia in direzione NE dalle prime tre e ad oltre 30 miglia dalla costa garganica, denominata Pianosa ([www.parcogargano.it](http://www.parcogargano.it)).



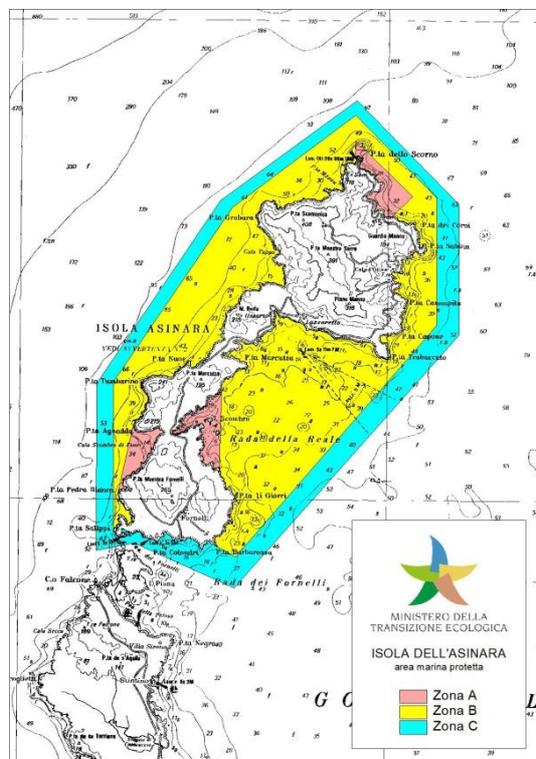
**Figura 5.** Carta dell’AMP Isole Tremiti dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

### AMP Isola dell’Asinara

L’AMP Isola dell’Asinara (Fig. 6) è stata istituita dal Ministero dell’Ambiente con Decreto Ministeriale 13 agosto 2002 (GU n. 298 del 20 dicembre 2002). L’AMP si trova di fronte alla Punta di Capo Falcone, a nord-ovest della Sardegna tra Punta Salippa e Punta Scorno, e ha un’estensione totale di 10.732 ettari che coinvolgono 108 km di costa. L’AMP fa parte del territorio del Comune di Porto Torres ma comprende anche i comuni di Stintino, Sassari e Sorso.

Dal punto di vista geomorfologico, il versante occidentale è caratterizzato da ripidi pendii che continuano nella parte sommersa fino a 50 m. La morfologia del fondo marino è costituita da falesie ricche di anfratti, canali e spaccature. Il versante orientale, invece, è caratterizzato da coste basse. Il fondo qui è costituito prevalentemente da un basamento

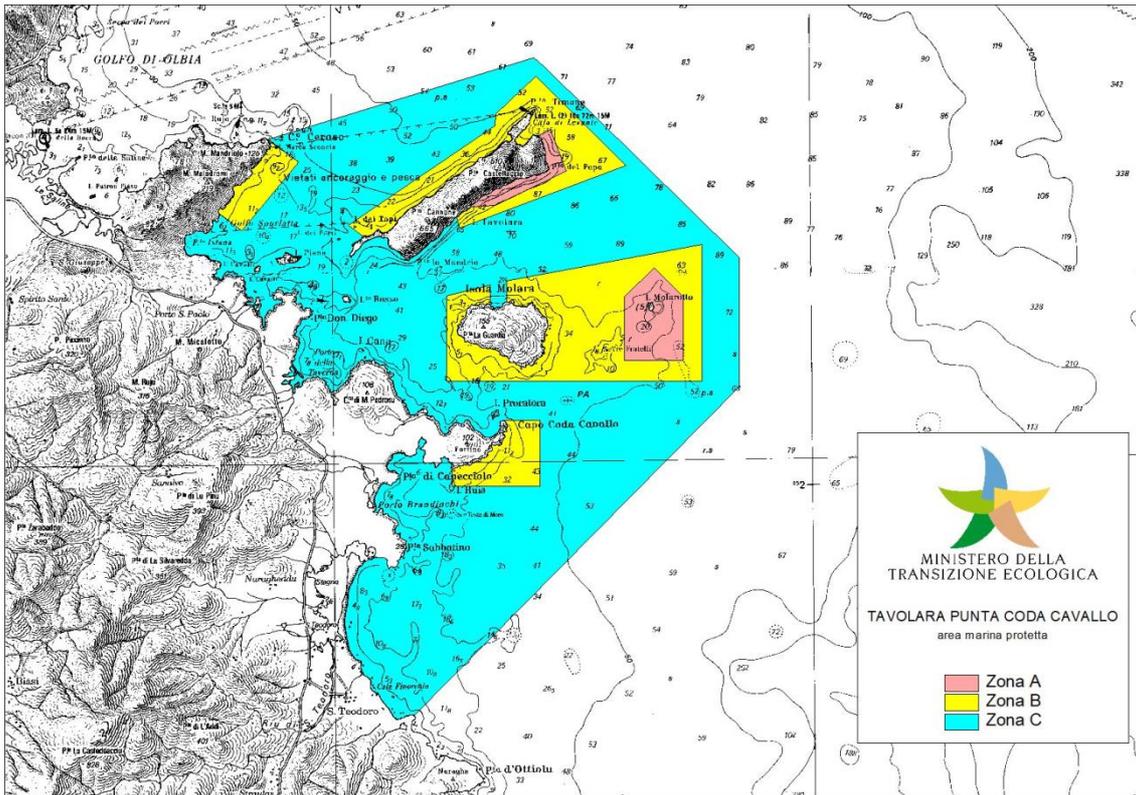
formato da scisti e attraversati da filoni, vene di quarzo e da substrati incoerenti formati da sabbie grossolane di detrito organogeno, da cui emergono frequentemente grossi affioramenti rocciosi ([www.parcoasinara.org](http://www.parcoasinara.org)).



**Figura 6.** Carta dell'AMP Isola dell'Asinara dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

### AMP Tavolara Punta Coda Cavallo

L'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo (Fig. 7) è stata istituita dal Ministero dell'Ambiente nel 1997 con Decreto Ministeriale del 12 Dicembre, in seguito modificato con Decreto Ministeriale del 28 Novembre 2001. L'AMP si estende lungo la costa nord-orientale della Sardegna, da Capo Ceraso fino a Cala Finocchio, e comprende le isole di Tavolara, Molaro e Molarotto per un'estensione totale di circa 15.000 ettari di mare. La gestione è affidata dal 01.01.2004 ad un Consorzio costituito fra i Comuni di Olbia, Loiri Porto San Paolo e San Teodoro ([www.amptavolara.com](http://www.amptavolara.com)).

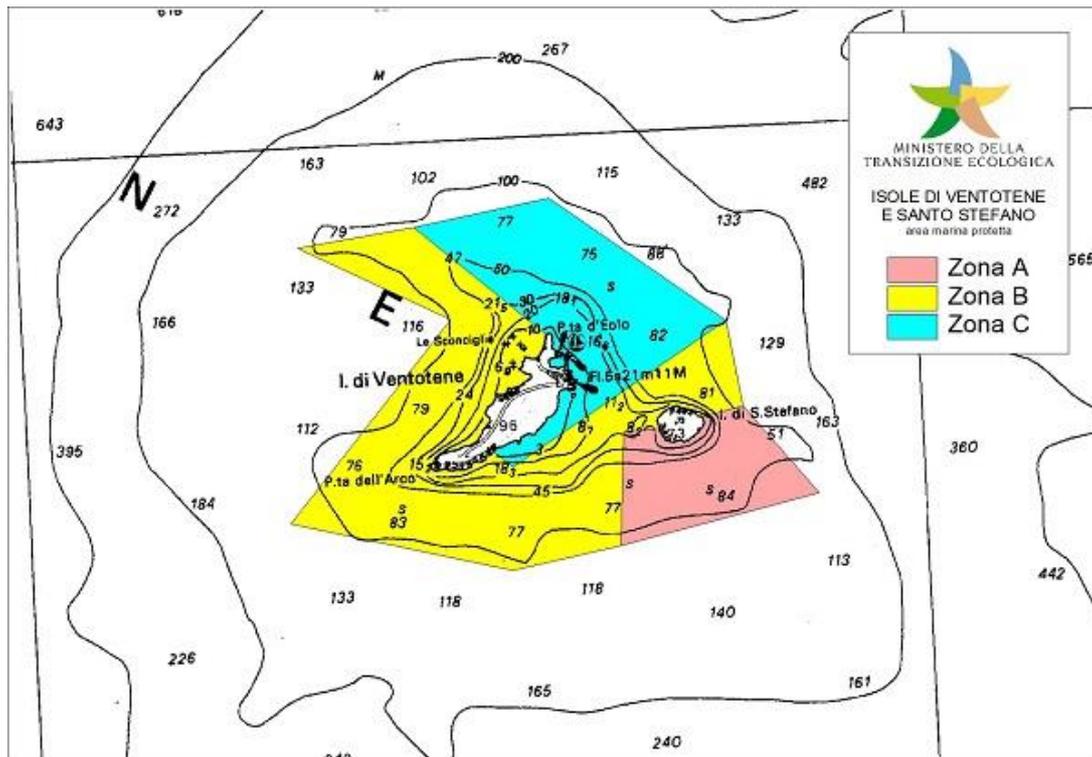


**Figura 7.** Carta dell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

### AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano

L'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano (Fig. 8) è stata istituita dal Ministero dell'Ambiente nel 1999 con il Decreto Ministeriale del 12 dicembre 1997 (G.U. n. 190 del 14.08.1999). L'AMP ricade nel territorio della provincia di Latina in Lazio, e comprende le Isole di Ventotene e Santo Stefano per un'estensione totale di 2.799 ettari.

A differenza delle altre isole facenti parte dell'Arcipelago delle Pontine, le isole di Ventotene e Santo Stefano sono geologicamente più recenti e formate da differenti tipi di rocce dovute a un tipo di magmatismo più basico. L'Isola di Ventotene, in particolare, è caratterizzata da falesie verticali, promontori, e lingue di basalto nero originati dall'erosione marina dei depositi vulcanici ([www.riservaventotene.it](http://www.riservaventotene.it)).

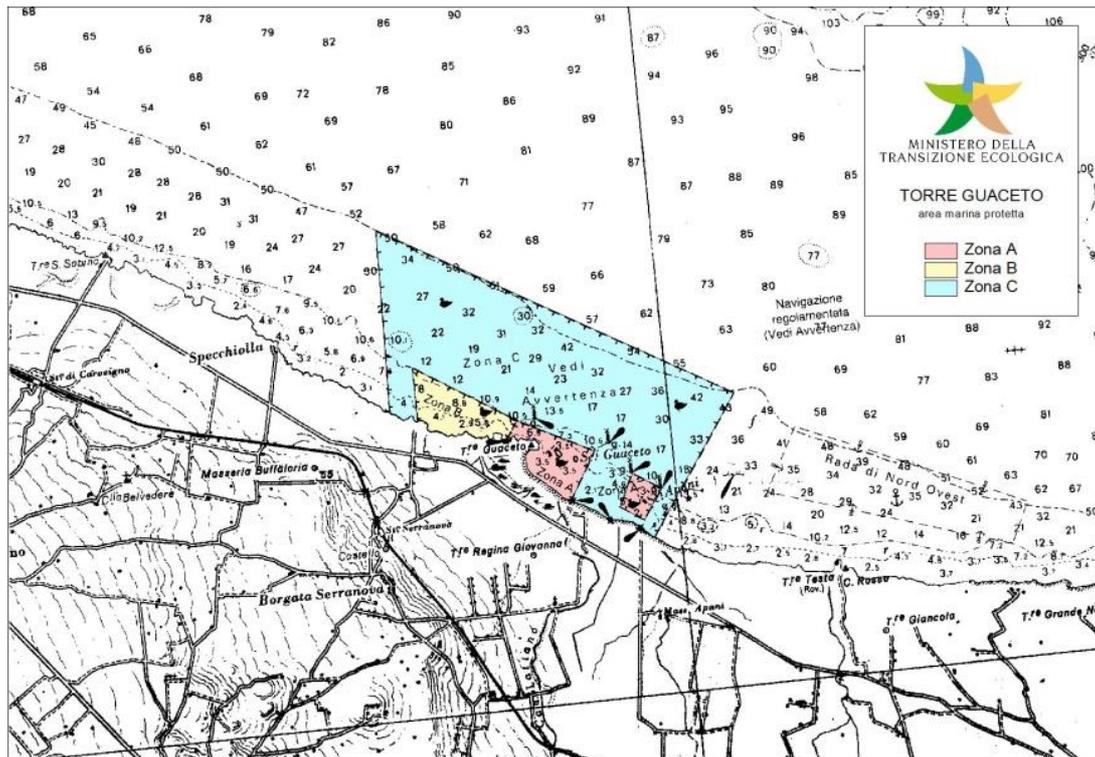


**Figura 8.** Carta dell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

### AMP Torre Guaceto

L'AMP di Torre Guaceto (Fig. 9) è stata istituita con Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 04 febbraio 2000 (G.U. n. 124 del 30/05/2000) con l'obiettivo di gestire sia un'area terrestre sia marina. Ad oggi è gestita dal consorzio comprendente i comuni di Brindisi e Carovigno e l'Associazione Italiana per il WWF for Nature Onlus. L'AMP si estende per circa 2.200 ettari fino alla linea batimetrica dei 50 m, interessando un tratto di costa di 8 Km, compreso tra Punta Penna Grossa e gli scogli di Apani ([www.riservaditorreguaceto.it](http://www.riservaditorreguaceto.it)).

Dal punto di vista geomorfologico l'area di Torre Guaceto ha formazione calcarea e calcareo dolomitica di età cretacea. A causa dell'alternanza di fondali sabbiosi e rocciosi l'AMP comprende diversi habitat, tra i quali l'habitat degli ambienti di marea, delle scogliere marittime, delle spiagge ghiaiose e delle acque stagnanti.

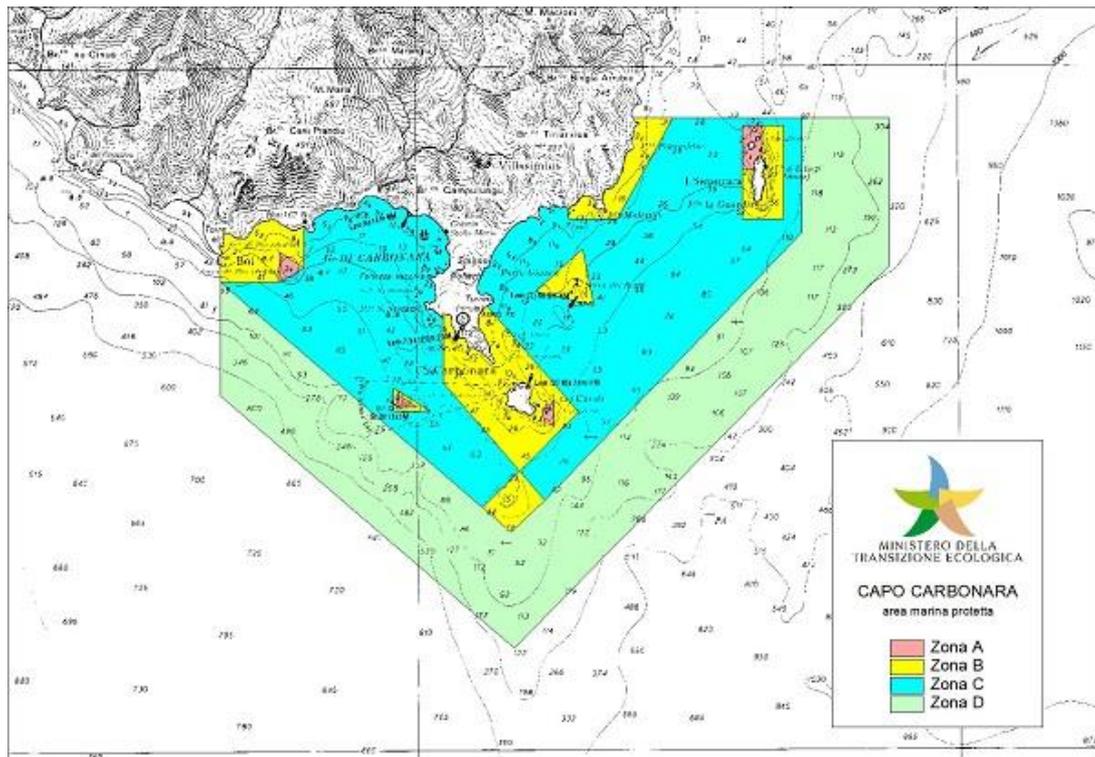


**Figura 9.** Carta dell'AMP Torre Guaceto dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

### AMP Capo Carbonara

L'AMP Capo Carbonara (Fig. 10) è stata istituita dal Ministero dell'Ambiente con Decreto Ministeriale del 15 settembre 1998, poi modificato nel 1999 e sostituito integralmente dal Decreto Ministeriale del 7 febbraio 2012 (Gazzetta Ufficiale n. 113 del 16 maggio 2012). L'AMP è situata a sud-est della Sardegna ed è delimitata a ovest da Capo Boi e a est da Punta Porceddus, nella zona di mare antistante l'Isola di Serpentara. L'area ricopre 14.360 ettari, suddivisi in due ampie baie dal promontorio granitico di Capo Carbonara. L'AMP comprende inoltre l'Isola dei Cavoli e l'Isola di Serpentara e ha un'estensione costiera di 42 km, di cui 7 km di costa sabbiosa, 25 km di costa rocciosa 'continentale' e 10 km di costa rocciosa 'insulare' (Isola dei Cavoli, Isola di Serpentara e numerosi scogli minori) ([www.ampcapocarbonara.it](http://www.ampcapocarbonara.it)).

Da un punto di vista geomorfologico la linea di costa è caratterizzata da promontori, costituiti per lo più da graniti e granodioriti. Il paesaggio sommerso dell'Area Marina Protetta Capo Carbonara è caratterizzato da rocce granitiche, che formano pinnacoli e bastioni, e da rocce magmatiche alternate a sistemi sabbiosi.

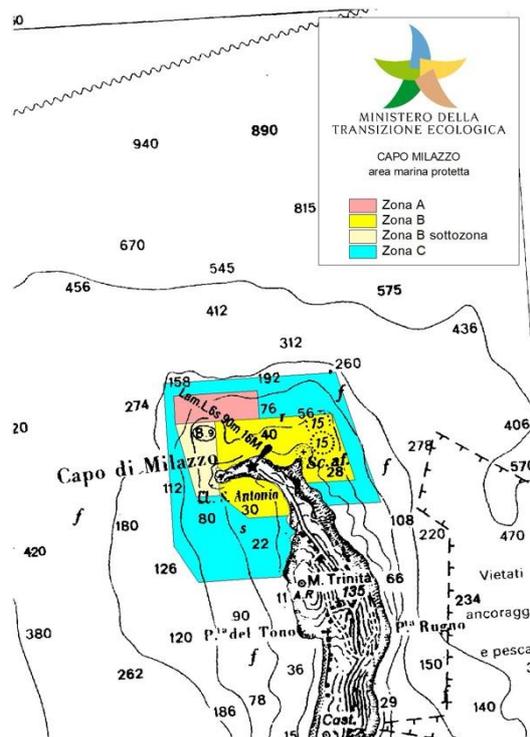


**Figura 10.** Carta dell'AMP Capo Carbonara dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

## AMP Capo Milazzo

L'AMP Capo Milazzo (Fig. 11), gestita dal Consorzio di Gestione dell'Area Marina Protetta Capo Milazzo composto dal Comune di Milazzo, dall'Università degli Studi di Messina e dall'Associazione Ambientalista Marevivo onlus, è stata istituita con il Decreto 17 maggio 2018 (GU n.55 del 6 marzo 2019). Ha un'estensione di 755 ha che interessano 5.670 m di costa.

Da un punto di vista geologico il promontorio dell'AMP Capo Milazzo presenta insenature, cale e grotte che si susseguono tra ricchi giacimenti fossiliferi. I fondali sono caratterizzati dalla presenza di foreste animali formate da gorgonie bianche, gialle e rosse, e dalle praterie di *Posidonia oceanica* ([www.ampcapomilazzo.it](http://www.ampcapomilazzo.it)).

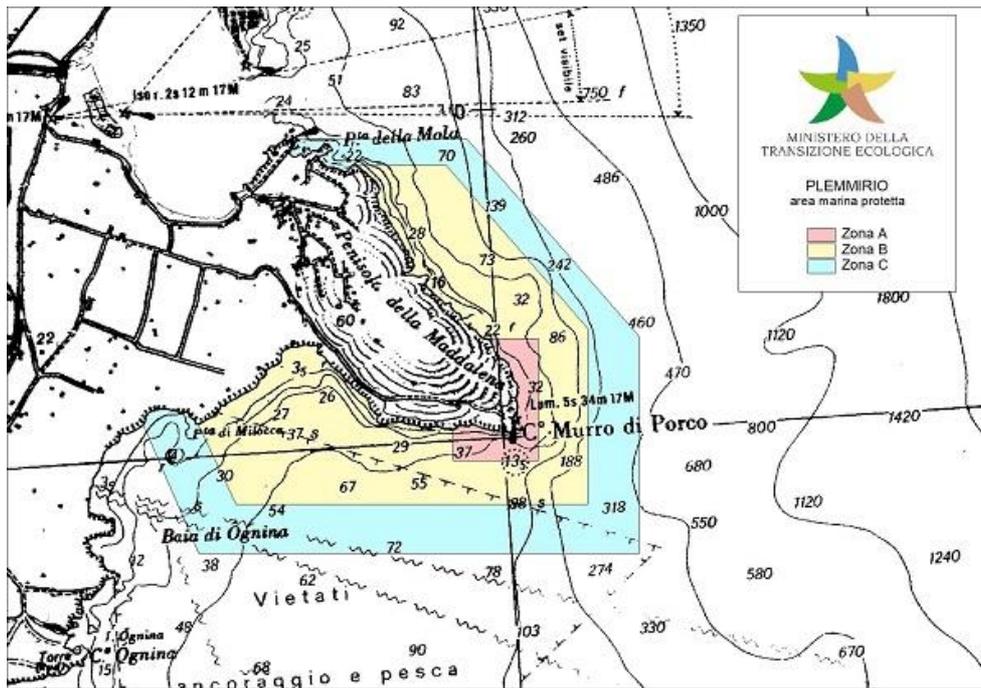


**Figura 11.** Carta dell'AMP Capo Milazzo dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

## AMP Plemmirio

L'AMP Plemmirio (Fig. 12), gestita dal Consorzio Plemmirio, è stata istituita con il decreto del Ministero dell'Ambiente del 15 settembre 2004. L'area marina, situata 12 km a sud dalla città di Siracusa, si sviluppa per circa 14 km lungo tutto il tratto di costa della Penisola della Maddalena, per un totale di 2.429 ettari di mare ([www.plemmirio.eu](http://www.plemmirio.eu)).

Dal punto di vista geomorfologico la Penisola della Maddalena è costituita da una piattaforma prevalentemente calcarenitica. Quest'area, scolpita nei secoli dall'erosione marina, presenta una morfologia piuttosto varia. L'AMP Plemmirio è, infatti, caratterizzata da alte falesie, linee di spiaggia, spianate d'abrasione, grotte, insenature frastagliate, archi sottomarini, crepe e anfratti che contribuiscono a rendere i paesaggi aerei e subacquei ricchi e diversificati, offrendo così una notevole varietà di habitat per gli organismi. I fondali dell'area sono costituiti prevalentemente da fondi duri rocciosi (Pasolli 2011).



**Figura 12.** Carta dell'AMP Plemmirio dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

## ATTIVITÀ DI CAMPO

### MONITORAGGIO DELLA TEMPERATURA NELLA COLONNA D'ACQUA

Nell'ambito del progetto Mare Caldo le temperature della colonna d'acqua sono state registrate *in situ* da stazioni composte di sensori (*temperature data logger*) installati a diverse profondità e settati per registrare le temperature a intervalli di tempo regolari.

Il protocollo per il monitoraggio della temperatura è stato sviluppato sul modello di quello utilizzato dalla rete mediterranea T-MEDNet in modo da poter inserire i dati delle stazioni italiane in un più ampio network di monitoraggio mediterraneo e favorire la comparazione dell'evoluzione delle temperature nelle diverse aree del bacino.

#### *Temperature data logger*

I *temperature data logger* utilizzati nell'ambito del progetto Mare Caldo sono gli HOBO MX TidbiT 400 (Fig. 13), in grado di registrare in continuo a intervalli di un'ora e archiviare i dati con una capacità di memoria tale per cui possano essere scaricati ogni sei mesi. Il modello è stato inoltre scelto perché dotato di tecnologia Bluetooth, che facilita il *download* immediato dei dati, attraverso l'uso di dispositivi mobili con apposita applicazione, non appena i sensori vengono recuperati in mare.

Per ogni area di studio dove è stato necessario acquistare i *temperature data logger* (i.e., tutte le aree ad esclusione dell'AMP Miramare e dell'AMP Portofino che ne erano già dotate) si è scelto di acquistarne 12: 8 sensori previsti per la stazione di monitoraggio, 2 sensori di *backup* in acqua e 2 di *backup* in caso di perdita e/o malfunzionamento dei sensori in acqua.

Per tutti i *temperature data logger* acquistati nell'ambito del progetto Mare Caldo, il settaggio è stato curato dal partner tecnico ElbaTech SRL che ha effettuato per ognuno il test iniziale di funzionamento e quello di accuratezza (al fine di calcolarne l'offset).

#### *Sviluppo delle stazioni per la registrazione delle temperature in mare*

Al fine di monitorare le variazioni stagionali delle temperature e i fenomeni di stratificazione dell'acqua, ogni stazione del progetto Mare Caldo si compone di 8 *temperature data logger* posizionati su pareti rocciose ogni 5 m di profondità, dai 40 m fino alla superficie (i.e., 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 m).

Oltre ai *temperature data logger* previsti per la stazione di monitoraggio a 5 m e a 10 m, sono stati posti anche 2 sensori di *backup* alle medesime profondità, al fine di garantire comunque la raccolta dei dati anche in caso di perdita del sensore, essendo queste due profondità quelle più esposte al moto ondoso.

#### **AMP Miramare e AMP Portofino**

L'AMP Portofino, facendo già parte della rete mediterranea T-MEDNet dal 2015 ed essendo partner del progetto Interreg MPA-ADAPT, disponeva già di *temperature data logger* posizionati nel sito di Cala dell'Oro, zona di riserva integrale dell'Area Marina Protetta. Similmente, l'AMP Miramare disponeva già dei sensori posizionati all'interno dell'AMP alle profondità di 1, 10, 11, e 17 m. Il modello utilizzato da entrambe queste AMP è HOBO Water Temp Pro v2, leggermente differente rispetto a quello scelto per le altre aree di studio del progetto Mare Caldo (Fig. 13). Tuttavia, dal confronto dei rispettivi *data sheets* effettuato dal partner tecnico ElbaTech SRL è emerso che i dati raccolti dalle due tipologie di sensori sono del tutto comparabili poiché differiscono per caratteristiche ininfluenti alla misurazione della temperatura (Tab. 1).



**Figura 13.** I due modelli di *temperature data logger* utilizzati nell'ambito del progetto Mare Caldo. A sinistra il modello HOBO Water Temp Pro v2, adottato dall'AMP Miramare e dall'AMP Portofino; a destra il modello HOBO MX TidbiT 400 acquistato per l'Isola d'Elba e le altre aree marine protette del progetto.

**Tabella 1.** In tabella sono riassunte le caratteristiche rilevanti per la messa a confronto dei due modelli di *temperature data logger*.

Area	AMP Miramare, AMP Portofino	Progetto Mare Caldo
Modello	HOBO Water Temp Pro v2	HOBO TidBit 400
Accuratezza	+/- 0.21°C da 0° a 50°C	+/- 0.2°C da 0° a 70°C
Risoluzione	0.02°C a 25°C	0.01°C
Memoria	42000 measurements	96000 measurements
Interfaccia	USB	Bluetooth

### Installazione dei *temperature data logger*

L'installazione dei *temperature data logger* prevede l'utilizzo di chiodi da roccia *narrow angle*, che sono fissati meccanicamente o con ancorante chimico bicomponente mediante pistola per silicone, sulla base della litologia presente nell'area di interesse. Sui chiodi vengono installati i supporti per le sonde fissate tramite fascette di plastica (che rendono semplice la periodica rimozione dei sensori).

## MONITORAGGIO DEGLI ECOSISTEMI DI SCOGLIERA

Oltre alle analisi relative ai dati di temperatura, nell'ambito del quarto anno di progetto Mare Caldo, sono stati condotti i monitoraggi biologici per la valutazione degli effetti del cambiamento climatico sugli ecosistemi di scogliera nell'AMP Capo Milazzo e nell'AMP Isole Tremiti.

### *Tempistiche*

I monitoraggi sono stati condotti prima e dopo la stagione estiva, tra giugno e settembre 2023. In particolare, nell'AMP Capo Milazzo i monitoraggi sono stati condotti l'8 e il 9 giugno, mentre nell'AMP Isole Tremiti nelle giornate dall'11 al 14 settembre.

### *Selezione delle stazioni di monitoraggio per ogni area di studio*

Per ogni area di studio sono state individuate stazioni di monitoraggio biologico in corrispondenza di scogliere rocciose dove, indipendentemente dalla morfologia del fondale, fosse raggiunta una profondità di circa 40 m. In particolare:

1. Nell'AMP Capo Milazzo i monitoraggi sono stati condotti in quattro stazioni (Fig. 14): I) Scoglio della Portella (38°16'3.00"N; 15°13'25.00"E), II) Secca di Levante (38°16'33.00"N;

15°14'57.00"E), III) Secca di Ponente NW (38°16'28.77"N; 15°13'20.49"E); e IV) Secca di Ponente S (38°16'28.00"N; 15°13'22.00"E).

2. Nell'AMP Isole Tremiti i monitoraggi sono stati condotti in cinque stazioni (Fig. 15): I) Punta Secca di San Domino (42° 6'47.48"N; 15°28'30.08"E); II) Scoglio del Corvo (42° 8'19.33"N; 15°30'35.00"E); III) Secca del Pigno (42° 6'29.98"N; 15°29'58.81"E); IV) Secca della Vedova (42° 8'2.13"N; 15°30'23.84"E); e V) Secca di Punta Secca (42° 8'23.83"N; 15°31'31.14"E).



**Figura 14.** Posizione geografica delle quattro stazioni presso le quali sono stati svolti i monitoraggi biologici per la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sulle comunità di scogliera dell'AMP Capo Milazzo.



**Figura 15.** Posizione geografica delle cinque stazioni presso le quali sono stati svolti i monitoraggi biologici per la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sulle comunità di scogliera dell'AMP Isole Tremiti.

## *Metodi di rilevamento*

In ogni stazione di monitoraggio, i dati sono stati raccolti tramite rilevamenti visivi in immersione subacquea con autorespiratore ad aria (ARA) da parte di operatori scientifici subacquei qualificati del DiSTAV (Università di Genova), utilizzando come normativa di riferimento per l'immersione scientifica il codice di pratica dell'Unesco (*Scientific Diving: a general code of practice*, edizione del 1996 e aggiornamenti successivi) e adottando gli standard previsti dalla Comunità Europea (ESD, *European Scientific Diver*, e AESD, *Advanced European Scientific Diver*, MAST CT 96-6351, Maggio 1997) (<http://www.aioss.info/>).

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

Prof.ssa Monica Montefalcone

Brevetto SDI-TDI Instructor e Advanced European Scientific Diver

Docente DiSTAV, Università degli Studi di Genova

Dr. Annalisa Azzola

Brevetto FIPSAS Instructor e European Scientific Diver

Assegnista di ricerca DiSTAV, Università degli Studi di Genova

Gli operatori scientifici subacquei del DiSTAV sono sempre stati accompagnati in immersione dal personale delle aree marine o dei *diving center*, assieme al personale di Greenpeace. Durante i monitoraggi alle Isole Tremiti hanno partecipato anche i ricercatori dell'Università Aldo Moro di Bari (Dr. Giovanni Chimienti, Dott. Andrea Tursi). Il personale presente sulla barca d'appoggio ha anche curato gli aspetti legati alla sicurezza in mare. La profondità è stata misurata con un computer da immersione, la cui precisione è di circa 30 cm. Di seguito sono riportate le tre attività condotte in immersione.

### *1. Transetti bionomici verticali*

Nell'ambito dei monitoraggi sono stati realizzati transetti bionomici al fine di caratterizzare le comunità bentoniche e per valutarne lo stato ecologico. Per ogni stazione è stato quindi percorso un tragitto definito lungo il gradiente di profondità (i.e., a partire da 40 m circa fino alla superficie), mantenendo una fascia di osservazione d'ampiezza fissa (Gatti et al. 2017). Lungo ogni transetto sono state annotate le specie cospicue presenti identificate mediante criterio fisionomico, che presentassero dimensioni tali da permetterne il riconoscimento e l'identificazione sott'acqua. Per tutte le specie rilevate è stata inoltre stimata l'abbondanza

tramite stime semi-quantitative basate su 3 classi: 1 = poco abbondante; 2 = mediamente abbondante; 3 = molto abbondante.

## 2. Monitoraggio delle specie termofile

Lungo i transetti sono stati inoltre registrati i dati di presenza e abbondanza (tramite stime semi-quantitative basate sempre sulle tre classi di abbondanza 1, 2, 3) di alcune specie indicatrici del cambiamento climatico (i.e., specie termofile), facendo riferimento agli esempi elencati in Tabella 2 della relazione del primo anno (Montefalcone & Azzola 2020). Le specie termofile sono distinte in specie aliene, specie criptogeniche (quelle specie per le quali non è possibile definirne con certezza l'origine aliena o nativa, a causa di scarse conoscenze tassonomiche), e specie native. La lista delle specie termofile è stata aggiornata e adattata in funzione delle diverse realtà locali e non è esaustiva di tutte le specie termofile segnalate in Mediterraneo, ma rappresenta un elenco delle specie termofile bentoniche più frequentemente osservate in corrispondenza della fascia infralitorale e circalitorale delle scogliere rocciose nei mari italiani.

## 3. Monitoraggio della mortalità di specie target

Seguendo il protocollo utilizzato dalla rete di monitoraggio T-MEDNet, sono stati raccolti dati sugli eventi di moria di alcune specie target (e.g., *Cladocora caespitosa*, *Eunicella cavolini*, *Eunicella singularis*, *Paramuricea clavata*, *Pinna nobilis*, spugne massive e incrostanti, briozoi massivi, alghe corallinacee) che sono state individuate di volta in volta in relazione alle diverse aree di studio. In particolare, è stato registrato il numero di individui (o colonie) presenti di ciascuna specie target a una data profondità, o la percentuale di ricoprimento del fondo da parte delle alghe corallinacee. È stato poi registrato il numero di individui (o colonie, o % di ricoprimento per le alghe) che mostrassero segni di impatto e necrosi (e.g., segni di sbiancamento per gli organismi calcarei, parziale o totale mortalità della colonia, presenza di epibiosi). Secondo il protocollo T-MEDNet gli organismi sono da considerarsi impattati quando presentano segni di necrosi (o sbiancamento) per oltre il 10% della superficie dell'individuo o della colonia.

# ANALISI DEI DATI

## DATI DI TEMPERATURA

Per ogni area di studio i dati di temperatura registrati dai *temperature data logger* sono stati riportati in un foglio di calcolo Excel organizzati in una matrice profondità x tempo. Per tutte le aree sono stati calcolati i valori medi di temperatura, i valori massimi e i valori minimi

annuali (quando disponibili per almeno un intero anno di dati), stagionali e mensili. Da questi calcoli sono stati esclusi i mesi per i quali non si avesse disponibilità di dati dal primo all'ultimo giorno del mese (i.e., il primo e l'ultimo mese di rilevamento). Inoltre, sono state calcolate le medie mensili alle 8 diverse profondità e sono state rappresentate tramite grafico a linee per l'analisi dell'andamento nel tempo delle temperature lungo la colonna d'acqua.

I dati scaricati dai *temperature data logger* sono stati inoltre rappresentati graficamente tramite il software Ocean Data View (ODV), che consente l'analisi e la visualizzazione di dati oceanografici tramite una scala graduata di colore per mezzo della quale viene evidenziato l'andamento delle temperature nel tempo, in relazione alle diverse profondità.

Per ogni area di studio vengono di seguito riportati i periodi di monitoraggio a partire dalla data di installazione dei *temperature data logger* fino alla data dell'ultimo *download* dei dati:

- AMP Miramare: 14.01.2021 - 27.12.2023
- AMP Portofino: 17.09.2019 - 18.07.2023
- AMP Cinque Terre: 29.08.2022 - 24.05.2023
- Isola d'Elba: 26.11.2019 - 11.10.2023
- AMP Isole Tremiti: 2.05.2022 - 24.05.2023
- AMP Isola dell'Asinara: 30.06.2021 - 26.09.2023
- AMP Tavolara Punta Coda Cavallo: 21.06.2022 - 9.11.2023
- AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano: 29.04.2021 - 19.11.2023
- AMP Torre Guaceto: 30.03.2021 - 04.11.2022
- AMP Capo Carbonara: 8.09.2020 - 8.11.2023
- AMP Capo Milazzo: 22.07.2023 - 24.11.2023
- AMP Plemmirio: 23.07.2020 - 23.10.2023

## **STRUTTURA STATO ECOLOGICO DELLE COMUNITÀ**

Al fine di caratterizzare la composizione e la struttura delle comunità bentoniche di scogliera nelle aree di studio previste dal progetto Mare Caldo, le specie e le relative abbondanze rilevate tramite i transetti bionomici sono state organizzate in matrici (sito x profondità) x specie su fogli di calcolo Excel. Sul numero totale di specie rilevate è stata calcolata la percentuale delle specie per ogni taxon.

Le matrici di dati sono state inoltre importate nel software *open-source* PaSt (Hammer et al. 2001) per le analisi sulla struttura delle comunità. In particolare, si è scelto di utilizzare due

indici di diversità: i) l'indice di Shannon, per misurare la diversità delle specie nella comunità e il suo stato ecologico; e ii) l'indice di Dominanza, per misurare la dominanza tra le specie.

Lo stato ecologico delle aree di studio indagate nell'ambito del quarto anno di progetto è stato confrontato con lo stato ecologico delle sette aree di studio indagate nei primi tre anni di progetto.

## **MONITORAGGIO MORTALITÀ DELLE SPECIE TARGET**

Per determinare l'impatto delle anomalie termiche sulle specie target previste dal protocollo della rete mediterranea T-MEDNet, il numero di organismi o di colonie (o la percentuale di ricoprimento per le alghe corallinacee) che riportavano segni di necrosi, sbiancamento o sofferenza è stato rapportato al numero totale di individui monitorati. L'impatto è stato valutato 'basso' per una percentuale del 10-30%, 'moderato' per una percentuale del 30-60% e 'severo' nel caso in cui il rapporto tra individui impattati e totali fosse maggiore del 60%.

La percentuale di mortalità delle diverse specie target rilevata nelle aree di studio indagate nell'ambito del quarto anno di progetto è stata confrontata con la percentuale di mortalità rilevata nelle sette aree di studio indagate nei primi tre anni di progetto.

## **MONITORAGGIO DELLE SPECIE TERMOFILE**

Per ogni area di studio è stato calcolato il numero di specie termofile presenti e su questo numero è stata calcolata la percentuale delle specie aliene, criptogeniche e native. Inoltre, il numero di specie termofile bentoniche è stato rapportato al numero totale delle specie rilevate in ciascuna area di studio, al fine di valutare il loro contributo relativo nella comunità di scogliera.

Il numero di specie termofile rilevato nelle aree di studio indagate nell'ambito del quarto anno di progetto è stato confrontato con il numero di specie termofile rilevato nelle sette aree di studio indagate nei primi tre anni di progetto.

# **RISULTATI**

## **TEMPERATURA**

L'analisi dei dati ha permesso di monitorare l'andamento nel tempo della temperatura nelle dodici aree di studio, per il periodo intercorso tra l'installazione dei sensori e l'ultimo

download dei dati. Sono stati registrati diversi periodi particolarmente caldi in molte delle stazioni del progetto, ma solo tramite il confronto con l'andamento dei prossimi anni sarà possibile definire se questi rappresentino anomalie termiche, ondate di calore, o regolari variabilità stagionali.

Di seguito, per ogni area di studio, è riportato il numero totale di dati raccolti nell'ambito dei quattro anni di progetto Mare Caldo:

- AMP Miramare: 216.697 dati
- AMP Portofino: 304.277 dati
- AMP Cinque Terre: 58.159 dati
- Isola d'Elba: 260.743 dati
- AMP Isole Tremiti: 63.447 dati
- AMP Isola dell'Asinara: 84.117 dati
- AMP Tavolara Punta Coda Cavallo: 89.289 dati
- AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano: 94.716 dati
- AMP Torre Guaceto: 88.800 dati
- AMP Capo Carbonara: 186.885 dati
- AMP Capo Milazzo: 20.999 dati
- AMP Plemmirio: 180.912 dati

### **AMP Miramare**

Per l'AMP Miramare, nel secondo e nel terzo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* hanno permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra febbraio 2021 e settembre 2022. I risultati sono riportati nelle relazioni del secondo e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2022; Azzola & Montefalcone, 2023).

Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2022 a novembre 2023. La temperatura media per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~16°C, con massime di ~21°C e minime di ~12°C; per la stagione invernale del 2022 la media è stata di ~11°C, con massime di ~12°C e minime di ~9°C; per la stagione primaverile del 2023 la media è stata di ~16°C, con massime di ~22°C e minime di ~13°C; per la stagione estiva del 2023 la media è stata di ~24°C, con massime di 26°C e minime di ~21°C; infine per la stagione autunnale 2023 la media è stata di ~18°C, con massime di ~22°C e minime di ~14°C (Tab. 2). I valori medi annuali, stagionali e mensili sono riportati in Tabella 2; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 16 e 17.

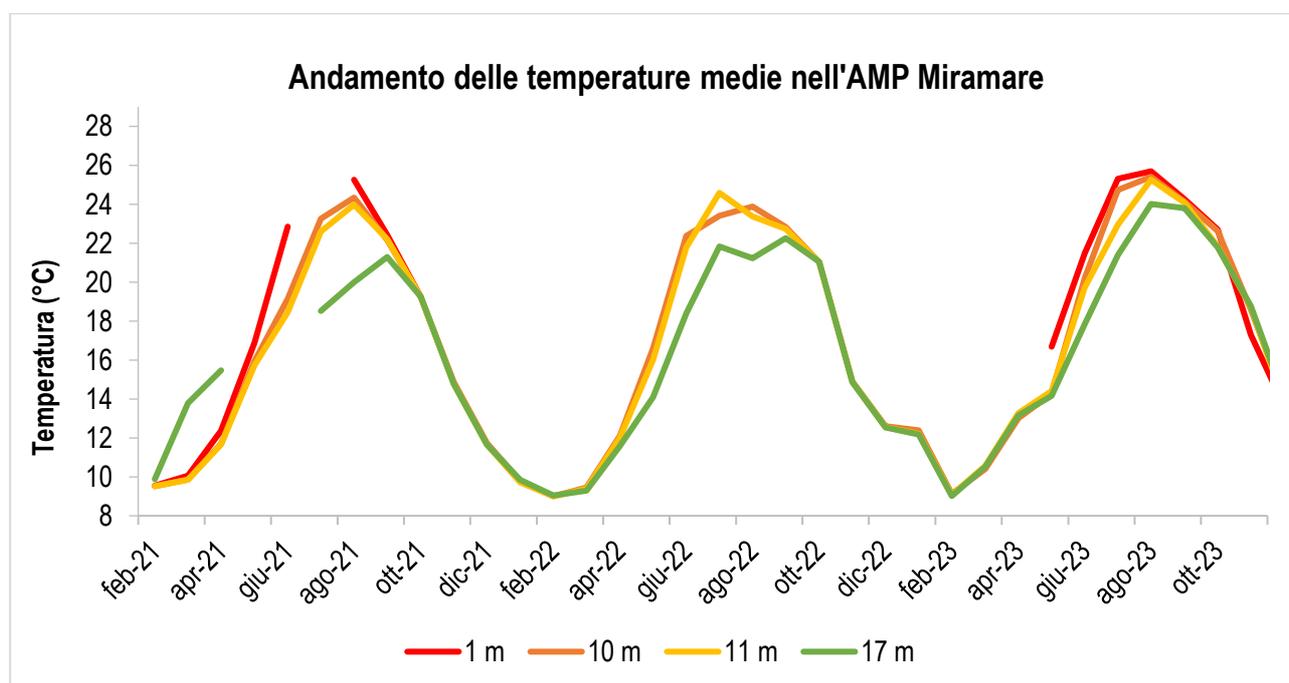
**Tabella 2.** Temperature medie, massime e minime annuali, stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 1, 10, 11, 17 m) nell'AMP Miramare per il periodo compreso tra febbraio 2021 e dicembre 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi. \*Da novembre 2022 ad aprile 2023 i dati a 1 m di profondità non sono disponibili.

TEMPERATURE MEDIE ANNUALI 2020-2021					
Anno	Stazioni (m)	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
2022	1	non disponibili	-	-	-
2023	1	20,88	4,49	25,69	13,64
2022	10	16,50	5,92	23,88	9,00
2023	10	17,42	5,90	25,41	9,13
2022	11	16,42	5,96	24,59	9,00
2023	11	17,16	5,60	25,26	9,07
2022	17	15,50	5,19	22,27	9,05
2023	17	16,72	5,23	24,01	9,01

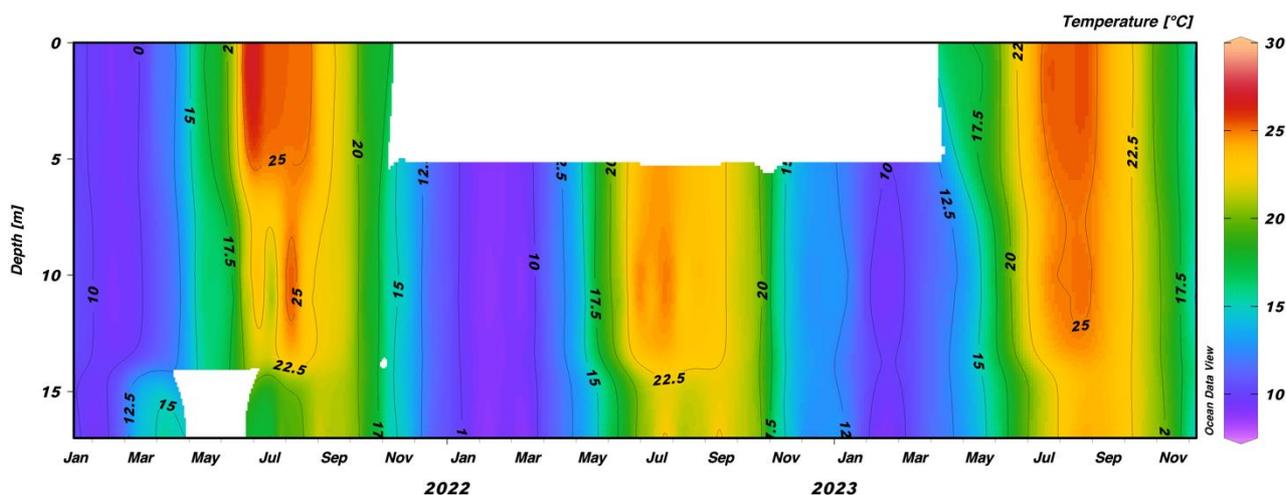
TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Primavera-21	14,28	2,88	23,88	9,61
Estate-21	22,72	2,79	31,59	16,23
Autunno-21	15,87	4,62	26,52	8,47
Inverno-21	12,81	4,84	26,52	8,27
Primavera-22	14,52	3,67	23,59	8,82
Estate-22	23,24	1,95	27,36	17,94
Autunno-22	16,15	3,79	21,03	12,53
Inverno-22	10,61	1,38	12,39	9,01
Primavera-23	16,20	3,14	21,48	13,01
Estate-23	24,25	1,20	25,69	21,39
Autunno-23	18,16	3,58	22,69	13,64

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
feb-21	9,60	0,65	11,57	8,42
mar-21	10,68	1,72	16,15	9,14
apr-21	12,08	1,13	16,37	10,59
mag-21	16,08	1,09	19,27	12,78
giu-21	19,72	3,70	28,57	14,53
ago-21	23,51	2,58	27,97	18,25
set-21	22,06	0,72	23,74	20,29
ott-21	19,25	1,44	23,79	17,15
nov-21	14,80	0,57	15,75	13,23
dic-21	11,67	0,82	13,64	10,52
gen-22	9,81	0,66	11,01	8,59
feb-22	9,00	0,26	9,71	8,39
mar-22	9,33	0,74	11,32	8,27

apr-22	11,87	0,64	13,67	10,59
mag-22	15,50	2,65	22,30	12,44
giu-22	20,73	2,41	26,70	16,87
lug-22	23,77	1,88	27,36	19,22
ago-22	22,79	1,77	26,97	19,15
set-22	22,65	0,96	25,14	20,58
ott-22	21,03	0,01	-	20,22
nov-22*	14,88	0,02	-	11,49
dic-22*	12,56	0,04	-	8,69
gen-23*	12,25	0,12	-	9,53
feb-23*	9,07	0,06	-	7,82
mar-23*	10,50	0,09	-	8,29
apr-23*	13,15	0,14	-	11,39
mag-23	14,88	1,20	18,70	12,68
giu-23	19,82	1,51	26,99	15,43
lug-23	23,60	1,78	27,72	19,15
ago-23	25,09	0,74	27,77	21,68
set-23	24,07	0,19	25,77	22,42
ott-23	22,20	0,50	23,52	20,63
nov-23	18,34	0,70	20,22	15,25



**Figura 16.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 1, 10, 11, 17 m) per il periodo compreso tra febbraio 2021 e novembre 2023 nell'AMP Miramare. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 17.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d’acqua nell’AMP Miramare per il periodo compreso tra il 14 gennaio 2021 e il 27 dicembre 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell’AMP.

### AMP Portofino

Per l’AMP Portofino, nei primi tre anni di monitoraggio i dati forniti dai *temperature data logger* hanno permesso di analizzare l’andamento delle temperature per il periodo compreso tra ottobre 2019 e agosto 2022. I risultati sono riportati nelle relazioni del primo, del secondo e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola 2020, 2022; Azzola & Montefalcone; 2023).

Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l’andamento della temperatura sulla colonna d’acqua da settembre 2022 a luglio 2023. La temperatura media per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~19°C con massime di ~21°C e minime di ~15°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è risultata di ~14°C con massime di ~15°C e minime di ~14°C. Nella primavera 2023 la temperatura media registrata è stata di ~17°C con massime di ~23°C e minime di ~15°C (Tab. 3). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 3; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d’acqua sono rappresentati nelle Figure 18 e 19.

**Tabella 3.** Temperature medie, massime e minime annuali, stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell’AMP Portofino per il periodo compreso tra ottobre 2019 e luglio 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

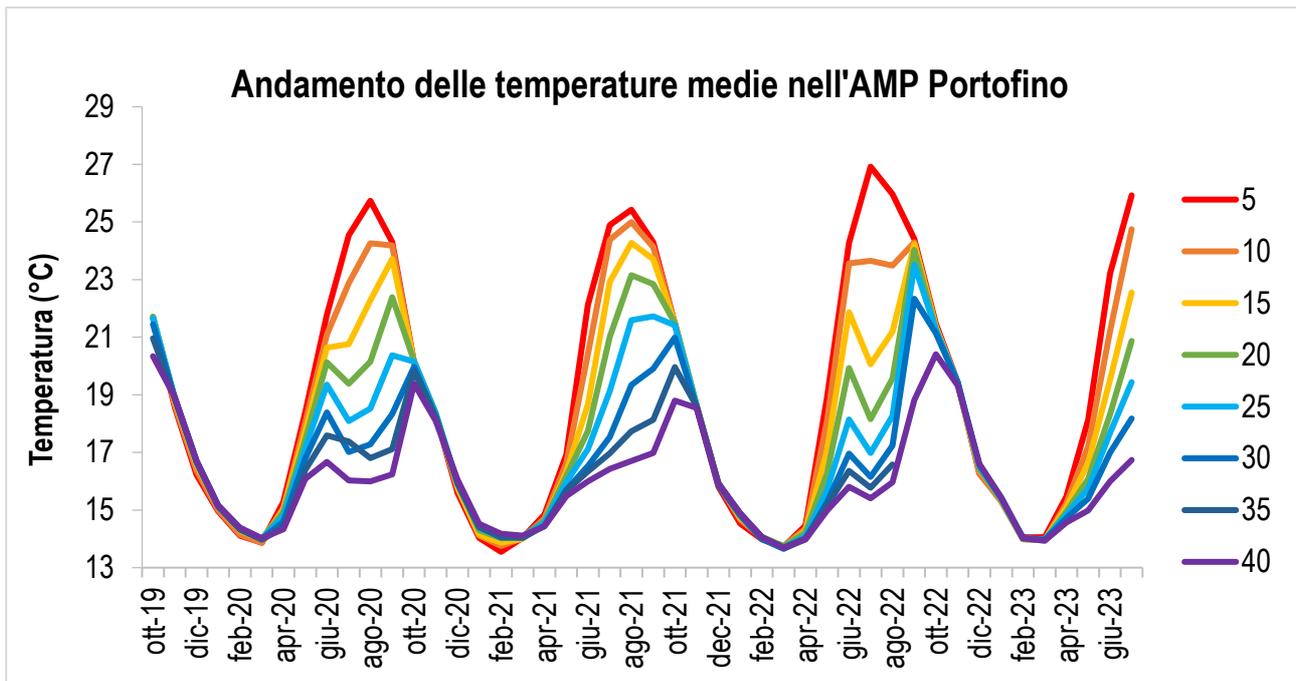
TEMPERATURE MEDIE ANNUALI 2020-2021-2022					
Anno	Stazioni (m)	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
2020	5	18,96	4,24	27,70	12,97
2021	5	18,84	4,47	27,09	12,03
2022	5	19,74	4,96	29,62	19,74
2020	10	18,58	3,87	27,33	13,04
2021	10	18,63	4,27	26,89	12,10

2022	10	19,10	4,39	28,84	19,10
2020	15	18,15	3,38	26,62	13,21
2021	15	18,24	3,98	26,48	12,12
2022	15	18,36	3,84	26,43	18,36
2020	20	17,70	2,90	26,40	13,47
2021	20	17,86	3,58	26,09	12,87
2022	20	17,77	3,41	26,35	17,77
2020	25	17,19	2,45	26,18	13,52
2021	25	17,40	3,17	25,74	12,90
2022	25	17,29	3,13	26,40	17,29
2020	30	16,68	2,05	26,18	13,62
2021	30	16,80	2,60	25,23	13,06
2022	30	16,85	2,89	26,18	16,85
2020	35	15,97	1,80	26,30	13,64
2021	35	17,93	1,81	24,20	15,20
2022	35	16,44	2,08	20,17	16,44
2020	40	16,04	1,64	25,43	13,76
2021	40	16,02	1,73	23,38	12,78
2022	40	16,18	2,29	24,85	16,18

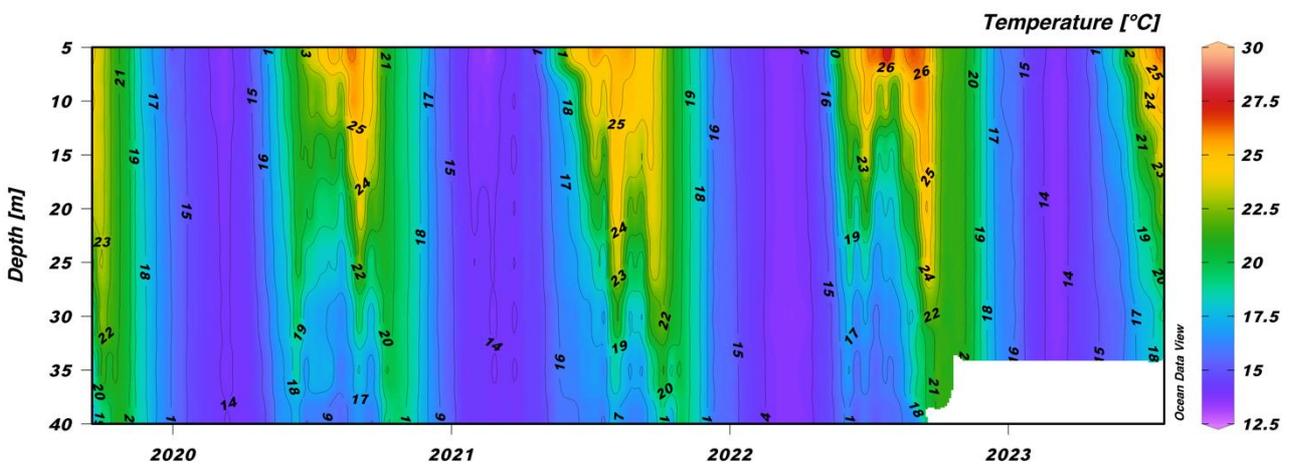
TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Autunno-19	19,63	2,21	24,17	15,37
Inverno-20	14,69	0,78	16,61	12,97
Primavera-20	16,55	2,26	23,38	13,88
Estate-20	20,10	3,50	27,70	14,70
Autunno-20	18,60	1,93	24,39	14,05
Inverno-21	14,28	0,60	15,92	12,03
Primavera-21	15,65	1,59	25,21	13,59
Estate-21	20,88	3,53	27,09	14,91
Autunno-21	18,31	1,84	22,13	15,10
Inverno-21	14,41	0,69	15,92	13,47
Primavera-22	15,93	2,77	25,72	13,43
Estate-22	19,76	3,98	29,62	14,48
Autunno-22	19,01	2,01	21,47	16,27
Inverno-22	14,45	0,66	15,43	13,93
Primavera-23	16,76	2,28	23,20	14,56

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
ott-19	21,40	1,01	23,50	16,80
nov-19	18,82	1,01	20,72	16,51
dic-19	16,57	0,73	18,06	13,28
gen-20	15,11	0,48	16,13	13,55
feb-20	14,29	0,25	14,84	13,28
mar-20	13,96	0,21	14,96	12,97
apr-20	14,80	0,73	16,58	13,98

mag-20	17,25	1,19	21,84	14,48
giu-20	19,45	2,15	27,33	14,70
lug-20	19,58	2,95	26,99	15,10
ago-20	20,26	3,96	27,70	14,79
set-20	20,83	3,43	25,89	15,01
ott-20	19,98	0,85	21,89	15,49
nov-20	18,28	0,68	19,39	15,32
dic-20	15,87	0,61	17,15	13,69
gen-21	14,29	0,54	15,84	12,32
feb-21	13,95	0,36	14,46	12,03
mar-21	14,05	0,15	14,98	13,47
apr-21	14,59	0,30	15,99	13,86
mag-21	16,11	0,78	19,29	14,48
giu-21	18,11	2,50	25,57	15,06
lug-21	20,41	3,69	27,01	14,91
ago-21	21,65	3,47	27,09	14,98
set-21	21,47	3,03	25,19	15,34
ott-21	20,29	1,24	22,18	15,39
nov-21	18,58	0,70	20,03	17,01
dic-21	15,90	0,57	17,30	14,03
gen-22	14,77	0,46	15,72	13,50
feb-22	14,03	0,23	14,58	13,47
mar-22	13,71	0,13	14,77	13,43
apr-22	14,17	0,47	16,23	13,50
mag-22	16,44	2,17	23,76	14,05
giu-22	19,61	3,53	26,57	13,98
lug-22	19,14	4,19	29,62	14,48
ago-22	19,75	3,67	28,59	15,06
set-22	23,09	2,01	18,82	24,40
ott-22	21,18	0,36	20,41	21,47
nov-22	19,39	0,04	19,32	19,43
dic-22	16,44	0,13	16,27	16,60
gen-23	15,37	0,05	15,29	15,43
feb-23	14,02	0,03	14,06	13,98
mar-23	13,97	0,04	14,06	13,93
apr-23	14,98	0,31	15,46	14,56
mag-23	16,31	1,10	18,13	14,99
giu-23	18,99	2,52	23,20	15,99
lug-23	21,21	3,39	25,92	16,74



**Figura 18.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra ottobre 2019 e luglio 2023 nell'AMP Portofino.



**Figura 19.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Portofino per il periodo compreso tra il 17 settembre 2019 e il 18 luglio 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

## AMP CINQUE TERRE

Nel quarto anno di progetto per l'AMP Cinque Terre è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da agosto 2022 a ottobre 2023. Per un problema tecnico ai sensori i dati di temperatura da giugno 2023 a ottobre 2023 non sono disponibili, a eccezione delle profondità di 20 m e 25 m.

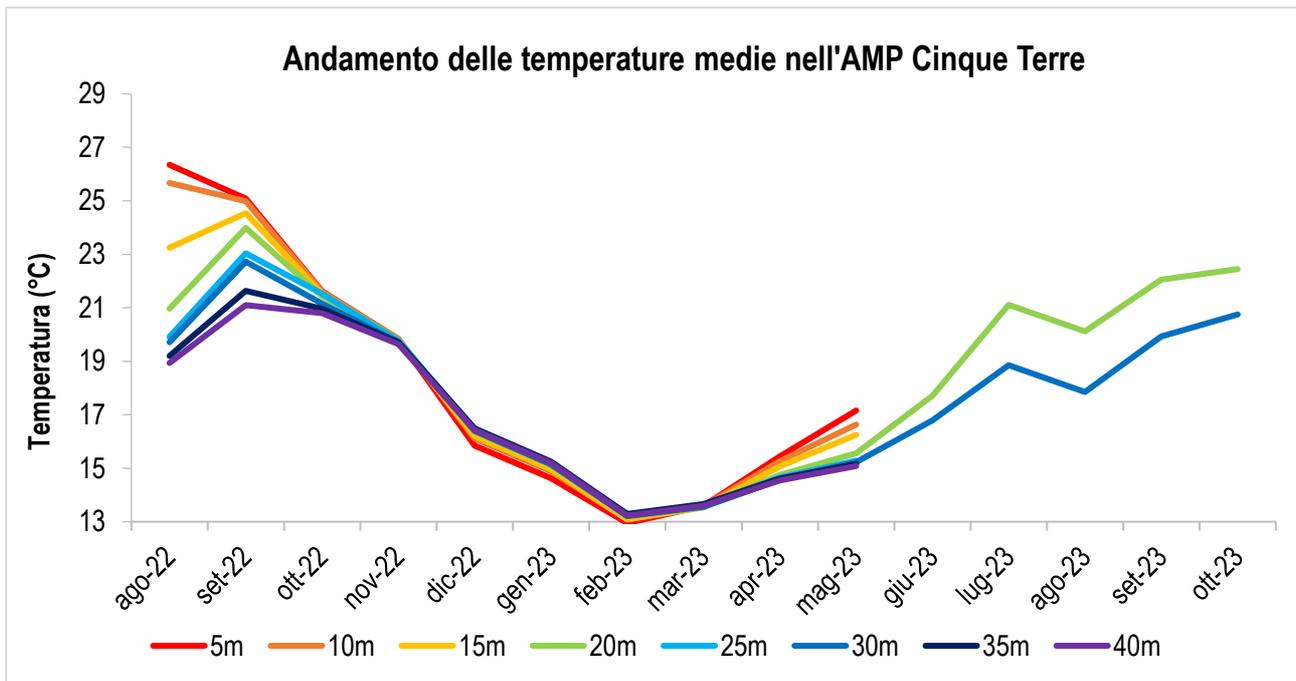
La temperatura media per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~19°C con massime di ~22°C e minime di ~16°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è

risultata di ~14°C con massime di ~15°C e minime di ~13°C. Per la primavera e l'estate 2023 i dati sono disponibili solo per le profondità di 20 m e 25 m: in primavera la temperatura media registrata è stata di ~16°C con massime di ~17°C e minime di ~15°C, mentre in estate la media è risultata di ~20°C con massime di ~22°C e minime di ~18°C (Tab. 4). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 4; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 20 e 21.

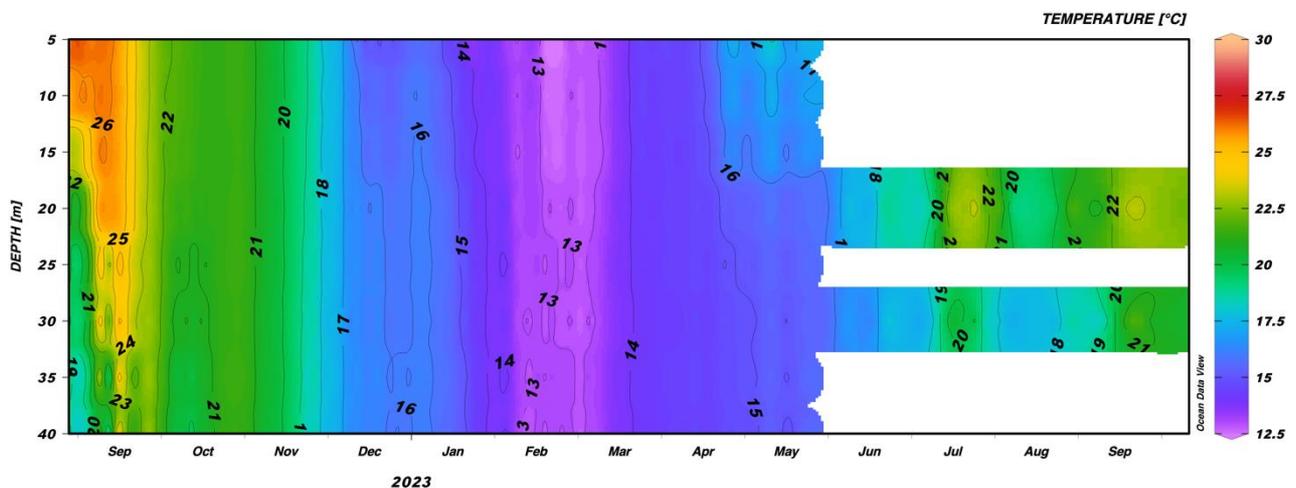
**Tabella 4.** Temperature medie, massime e minime stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'AMP Cinque Terre per il periodo compreso tra agosto 2022 e ottobre 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi. \*Per le stagioni primavera 2023 ed estate 2023 e per i mesi di giugno, luglio, agosto, settembre, ottobre del 2023 i dati sono riferiti alle sole profondità di 20 m e 25 m.

TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Autunno-22	19,13	2,16	21,62	15,85
Inverno-22	13,94	0,83	15,25	12,95
Primavera-23*	15,54	0,96	17,71	14,55
Estate-23*	19,99	1,51	22,06	17,86

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
set-22	23,39	1,51	26,81	16,59
ott-22	21,33	0,31	22,40	17,80
nov-22	19,76	0,07	21,45	15,14
dic-22	16,29	0,22	17,96	15,53
gen-23	15,05	0,21	16,26	13,37
feb-23	13,17	0,12	14,15	12,32
mar-23	13,59	0,04	15,21	12,39
apr-23	14,86	0,35	18,31	14,30
mag-23	15,79	0,79	18,92	14,28
giu-23*	17,25	0,65	-	-
lug-23*	19,98	1,60	-	-
ago-23*	18,99	1,60	-	-
set-23*	20,99	1,51	-	-
ott-23*	21,59	1,20	-	-



**Figura 20.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra agosto 2022 e ottobre 2023 nell'AMP Cinque Terre. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 21.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Cinque Terre per il periodo compreso tra il 29 agosto 2022 e il 9 ottobre 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

## Isola d'Elba

Per l'area dell'Isola d'Elba, nei primi tre anni di monitoraggio i dati forniti dai *temperature data logger* hanno permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra dicembre 2019 e settembre 2022 (Montefalcone & Azzola 2020, 2022; Azzola & Montefalcone, 2023).

Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2022 a settembre 2023. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua nell'area dell'Isola d'Elba la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~20°C con massime di ~22°C e minime di ~17°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è stata di ~15°C, con massime di ~16°C e minime di ~14°C. Per la stagione primaverile del 2023 la temperatura media è stata di ~17°C, con massime di ~24°C e minime di ~15°C. Per l'estate 2023 la temperatura media registrata è stata di ~22°C con massime di ~27°C e minime di ~17°C (Tab. 5). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 5; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 22 e 23.

**Tabella 5.** Temperature medie, massime e minime annuali, stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'area dell'Isola d'Elba per il periodo compreso tra dicembre 2019 e settembre 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

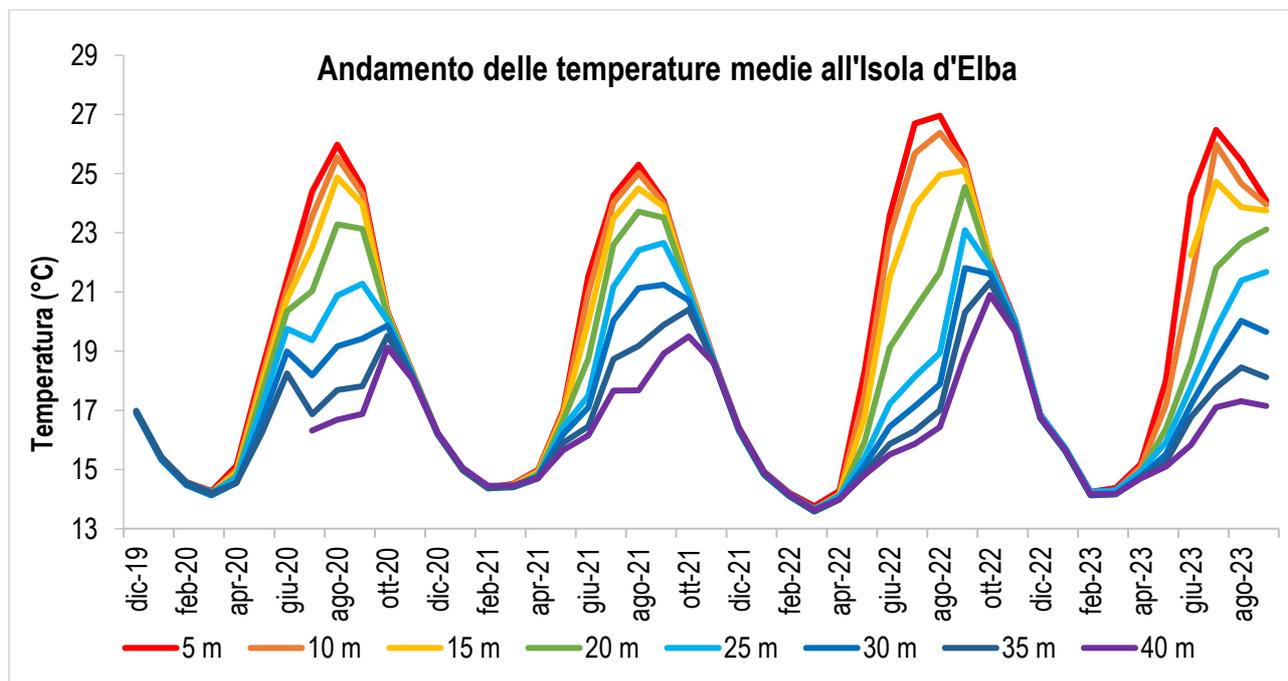
TEMPERATURE MEDIE ANNUALI 2020-2021					
Anno	Stazioni (m)	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
2020	5	19,09	4,12	27,28	13,79
2021	5	18,99	4,07	27,29	14,05
2022	5	19,97	5,07	29,17	13,37
2020	10	18,88	3,97	27,39	13,72
2021	10	18,86	3,98	26,73	14,02
2022	10	19,45	4,88	28,76	13,31
2020	15	18,65	3,75	28,01	13,77
2021	15	18,66	3,82	26,23	13,99
2022	15	19,12	4,84	28,32	13,34
2020	20	18,24	3,36	27,29	13,76
2021	20	18,35	3,58	26,05	14,04
2022	20	18,07	3,68	27,60	13,30
2020	25	17,65	2,74	28,28	13,82
2021	25	17,93	3,22	25,89	14,06
2022	25	17,36	3,12	26,23	13,45
2020	30	17,09	2,29	27,88	13,72
2021	30	17,52	2,85	26,01	14,06
2022	30	16,92	2,87	25,97	13,34
2020	35	16,60	1,84	25,24	13,80
2021	35	17,02	2,46	26,00	14,06
2022	35	16,56	2,61	25,57	13,37
2020	40	16,62	2,04	26,03	14,13
2021	40	19,09	4,12	27,28	13,79
2022	40	16,29	2,36	25,15	13,43

TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Autunno-19	17,66	0,76	24,42	14,66

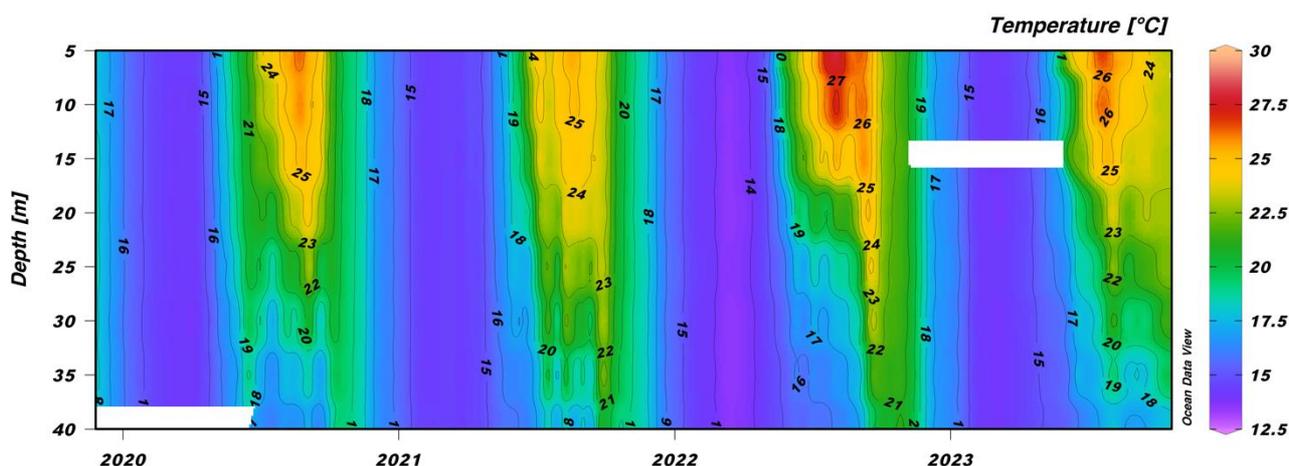
Inverno-19	14,98	0,74	16,91	13,91
Primavera-20	16,69	2,31	22,09	13,72
Estate-20	21,10	3,39	28,28	15,03
Autunno-20	18,60	1,92	24,96	14,99
Inverno-20	14,81	0,58	16,40	13,99
Primavera-21	16,02	1,77	24,02	14,05
Estate-21	21,65	3,00	27,29	15,49
Autunno-21	19,42	2,22	24,28	15,46
Inverno-21	14,46	0,71	16,00	13,30
Primavera-22	15,74	2,60	26,29	13,45
Estate-22	21,26	4,18	29,17	14,58
Autunno-22	19,57	2,12	22,16	16,74
Inverno-22	14,69	0,70	15,73	14,13
Primavera-23	16,89	2,64	24,24	14,70
Estate-23	21,57	3,06	26,48	17,10

<b>TEMPERATURE MEDIE MENSILI</b>				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
dic-19	16,95	0,60	18,23	15,85
gen-20	15,39	0,35	16,09	14,76
feb-20	14,53	0,21	15,16	14,12
mar-20	14,20	0,17	14,87	13,72
apr-20	14,80	0,69	17,05	13,75
mag-20	17,43	1,27	21,17	14,66
giu-20	20,09	1,55	25,11	15,24
lug-20	20,01	3,17	28,28	15,29
ago-20	21,76	3,70	27,29	15,47
set-20	21,42	3,30	25,83	14,99
ott-20	19,96	1,03	22,36	15,16
nov-20	18,19	0,79	19,28	15,57
dic-20	16,21	0,26	16,91	15,30
gen-21	14,99	0,44	15,73	14,25
feb-21	14,38	0,11	14,73	13,99
mar-21	14,45	0,13	15,19	14,05
apr-21	14,83	0,29	16,11	14,23
mag-21	16,45	0,87	22,64	14,68
giu-21	18,56	2,32	25,16	14,89
lug-21	21,50	2,73	26,19	15,49
ago-21	22,37	3,00	27,29	15,66
set-21	21,98	2,54	26,05	15,66
ott-21	20,82	1,48	23,96	15,46
nov-21	18,66	0,46	19,92	17,48
dic-21	16,38	0,69	17,75	15,47
gen-22	14,89	0,42	15,66	14,25
feb-22	14,16	0,10	14,51	13,71
mar-22	13,64	0,16	14,69	13,30
apr-22	14,08	0,34	15,67	13,45

mag-22	16,04	1,76	23,04	14,14
giu-22	18,98	3,38	26,29	14,58
lug-22	20,50	4,22	29,06	14,69
ago-22	21,26	4,26	29,17	15,14
set-22	23,08	3,09	27,01	15,65
ott-22	21,74	0,44	23,00	17,63
nov-22	19,87	0,14	21,63	14,85
dic-22	16,78	0,05	17,89	16,19
gen-23	15,65	0,05	16,55	14,49
feb-23	14,17	0,05	14,54	13,82
mar-23	14,24	0,08	15,44	13,91
apr-23	14,90	0,19	16,99	14,05
mag-23	16,19	1,07	23,61	14,58
giu-23	19,25	2,99	28,43	14,96
lug-23	21,54	3,77	28,06	15,24
ago-23	21,72	2,96	27,74	15,02
set-23	21,44	2,78	25,19	15,69



**Figura 22.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra dicembre 2019 e settembre 2023 nell'area dell'Isola d'Elba. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 23.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'area dell'Isola d'Elba per il periodo compreso tra il 26 novembre 2019 e l'11 ottobre 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici sui sensori.

### AMP Isole Tremiti

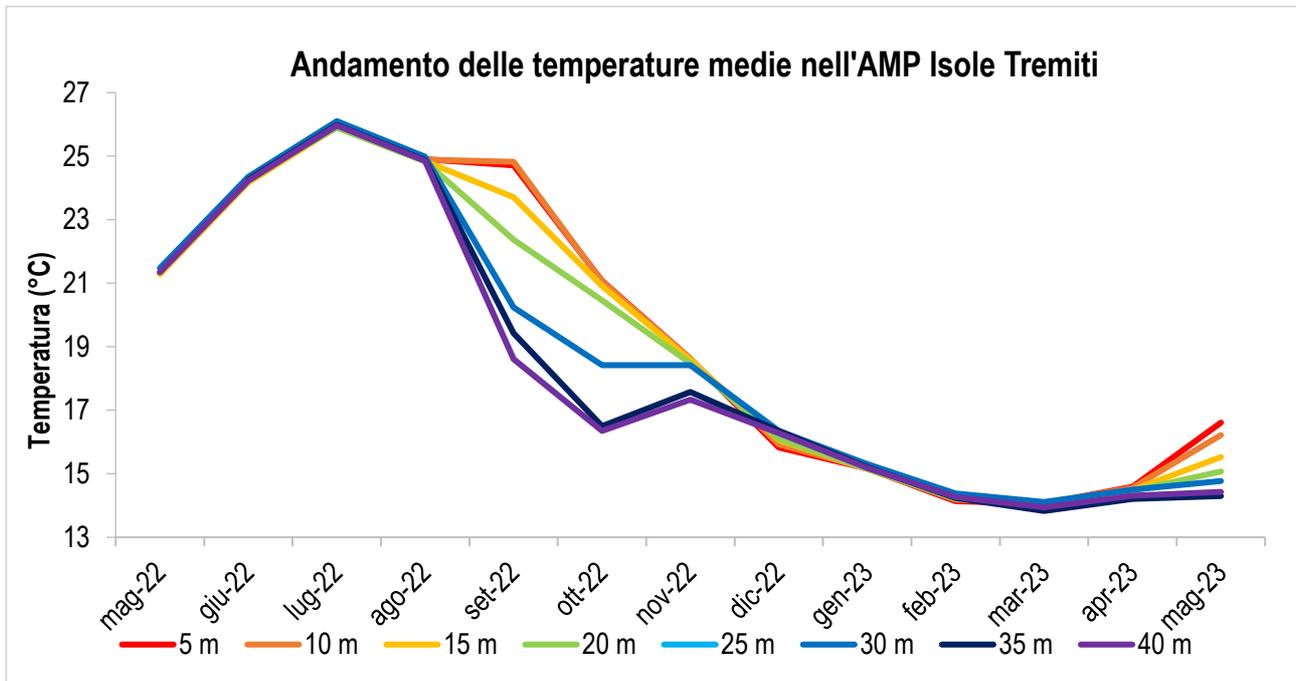
Nel quarto anno di progetto per l'AMP Isole Tremiti è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da maggio 2022 a maggio 2023. La temperatura media per l'estate 2022 è stata di ~24°C con massime di ~26°C e minime di ~19°C. Per la stagione autunnale del 2022 la temperatura media è risultata di ~18°C con massime di ~21°C e minime di ~16°C. Nell'inverno 2022 la temperatura media registrata è stata di ~14°C con massime di ~15°C e minime di ~14°C (Tab. 6). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 6; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 24 e 25.

**Tabella 6.** Temperature medie, massime e minime stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'AMP Isole Tremiti per il periodo compreso tra maggio 2022 e maggio 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

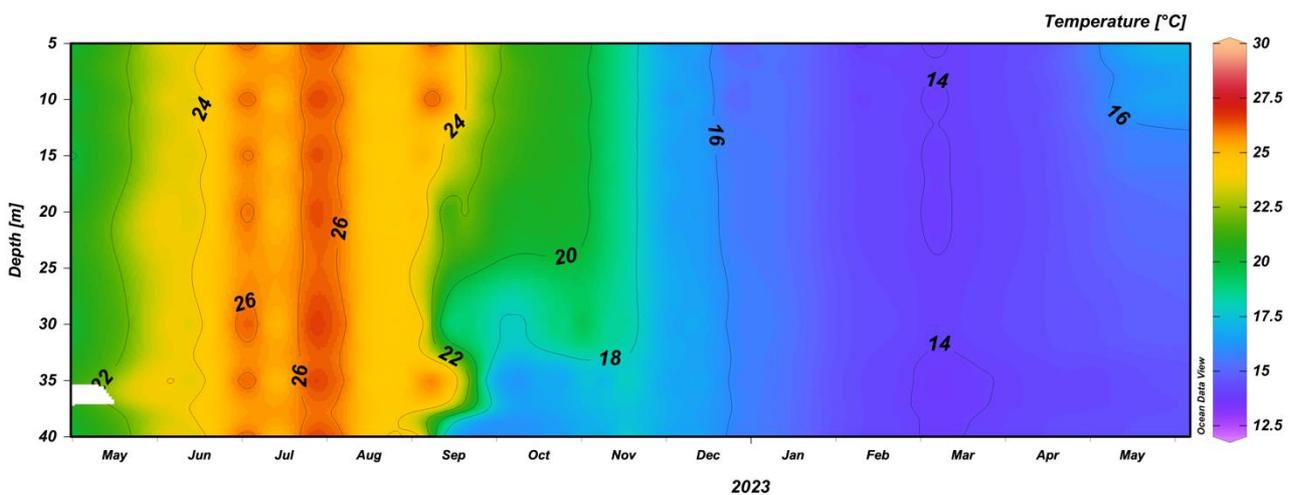
TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Estate-22	24,28	2,22	26,10	18,61
Autunno-22	17,87	1,80	21,08	15,83
Inverno-22	14,48	0,53	15,31	13,83

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
mag-22	21,35	0,07	24,07	13,52
giu-22	24,25	0,07	27,45	22,16
lug-22	25,97	0,07	28,22	23,62
ago-22	24,88	0,05	28,15	23,04
set-22	21,98	2,57	28,31	15,08
ott-22	19,25	2,14	28,25	15,05

nov-22	18,23	0,54	20,96	15,21
dic-22	16,12	0,21	17,34	14,39
gen-23	15,19	0,06	16,25	14,11
feb-23	14,23	0,08	14,81	13,56
mar-23	14,01	0,09	14,77	12,93
apr-23	14,44	0,14	15,82	13,52
mag-23	15,27	0,89	18,71	13,37



**Figura 24.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra maggio 2022 e maggio 2023 nell'AMP Isole Tremiti.



**Figura 25.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'area dell'AMP Isole Tremiti per il periodo compreso tra il 2 maggio 2022 e il 24 maggio 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

## AMP Isola dell'Asinara

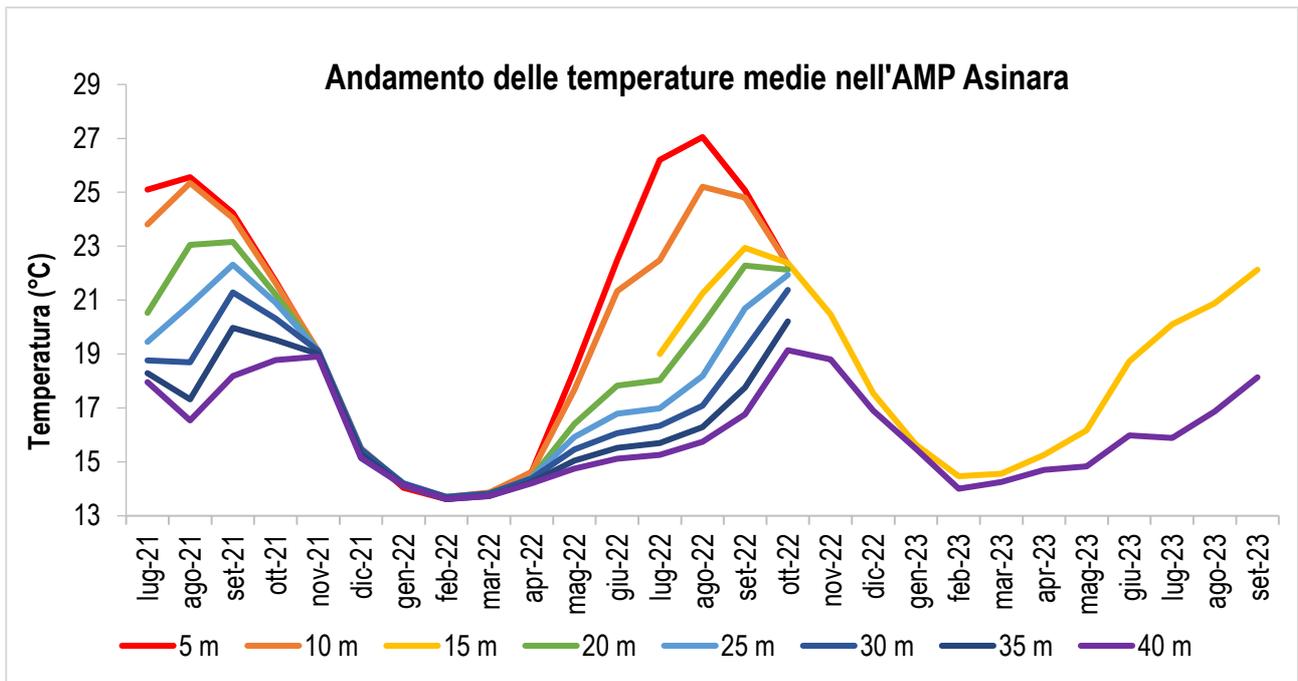
Per l'AMP Asinara, nel secondo e nel terzo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra luglio 2021 e settembre 2022. I risultati sono riportati nelle relazioni del secondo e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2022; Azzola & Montefalcone, 2023).

Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2022 ad agosto 2023, solo per le profondità di 15 m e 40 m, per le quali si avevano dati a disposizione, e per il mese di settembre 2023 per il quale si avevano a disposizione tutte le profondità. Non è stato possibile quindi calcolare le medie stagionali e mensili e si riporta la Tabella 7, già pubblicata nella precedente relazione (Azzola & Montefalcone, 2023). Gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 26 e 27.

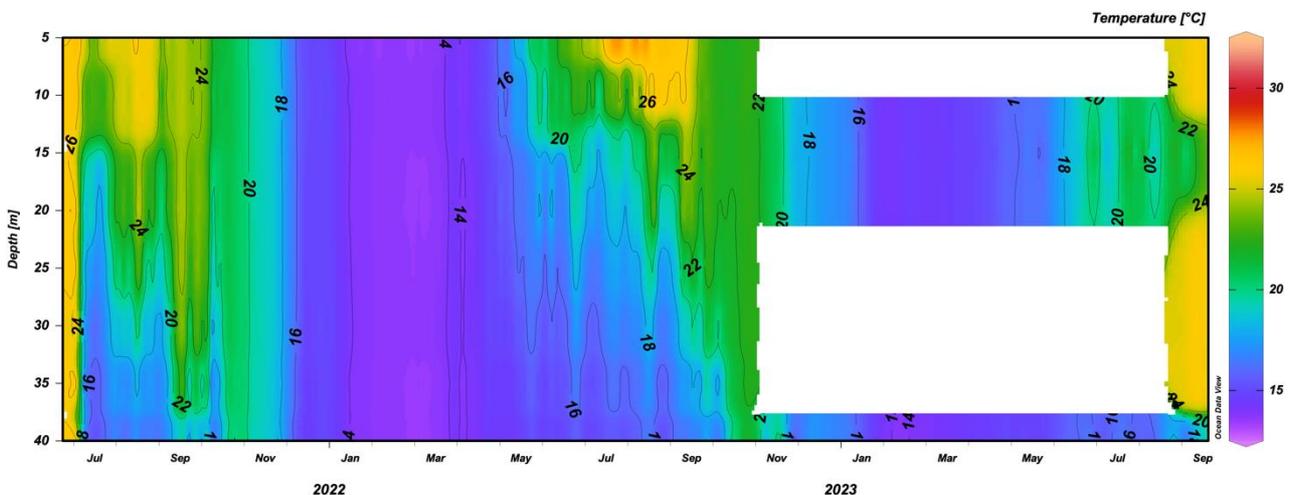
**Tabella 7.** Temperature medie, massime e minime stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'AMP Isola dell'Asinara per il periodo compreso tra luglio 2021 e settembre 2022. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Estate-21	21,10	3,87	29,88	14,58
Autunno-21	19,09	2,65	24,47	14,10
Inverno-21	13,97	0,48	15,23	13,32
Primavera-22	15,63	2,09	25,23	13,44
Estate-22	19,78	4,02	28,91	14,33

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
lug-21	20,56	4,47	29,88	14,58
ago-21	21,05	3,69	27,28	15,21
set-21	21,76	2,93	25,40	15,76
ott-21	20,58	2,10	24,09	14,25
nov-21	19,06	0,77	20,58	15,72
dic-21	15,40	0,78	17,41	14,10
gen-22	14,13	0,37	15,07	13,55
feb-22	13,65	0,08	14,05	13,37
mar-22	13,78	0,25	14,84	13,32
apr-22	14,42	0,47	16,04	13,64
mag-22	16,24	1,68	22,64	14,03
giu-22	17,96	3,02	27,04	14,10
lug-22	18,75	3,79	28,48	14,33
ago-22	20,11	4,24	28,91	14,74
sett-22	21,19	3,58	27,27	14,63



**Figura 26.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 15, 10, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra luglio 2021 e settembre 2023 nell'AMP Isola dell'Asinara. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 27.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Isola dell'Asinara per il periodo compreso tra il 30 giugno 2021 e il 26 settembre 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

### AMP Tavolara Punta Coda Cavallo

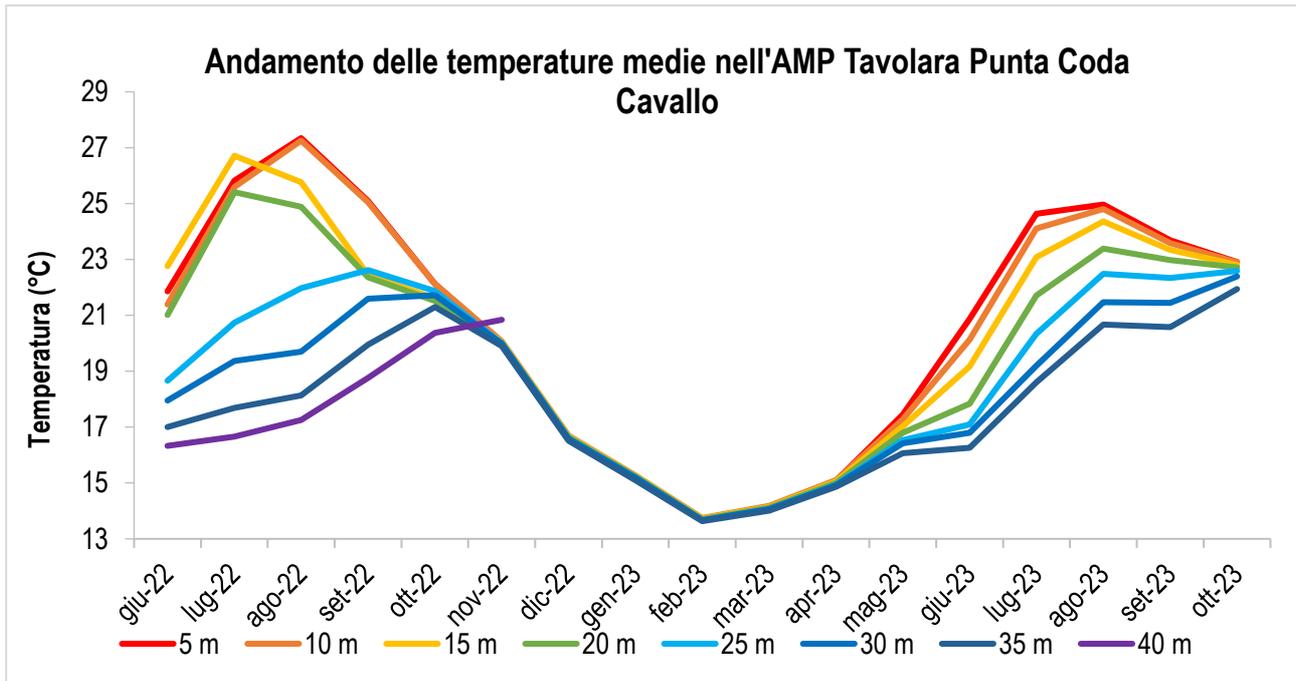
Per l'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo nel terzo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra giugno 2022 e ottobre 2022. I risultati sono riportati nella relazione del terzo anno di progetto (Azzola & Montefalcone, 2023).

Nel quarto anno di progetto sono stati analizzati i dati di temperatura per il periodo tra novembre 2022 e ottobre 2023 (Tab. 8). Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~20°C con massime di ~22°C e minime di ~17°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è stata di ~14°C, con massime di ~15°C e minime di ~14°C. Per la stagione primaverile del 2023 la temperatura media è stata di ~17°C, con massime di ~21°C e minime di ~15°C. Per l'estate 2023 la temperatura media registrata è stata di ~22°C con massime di ~25°C e minime di ~19°C (Tab. 8). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 8; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 28 e 29.

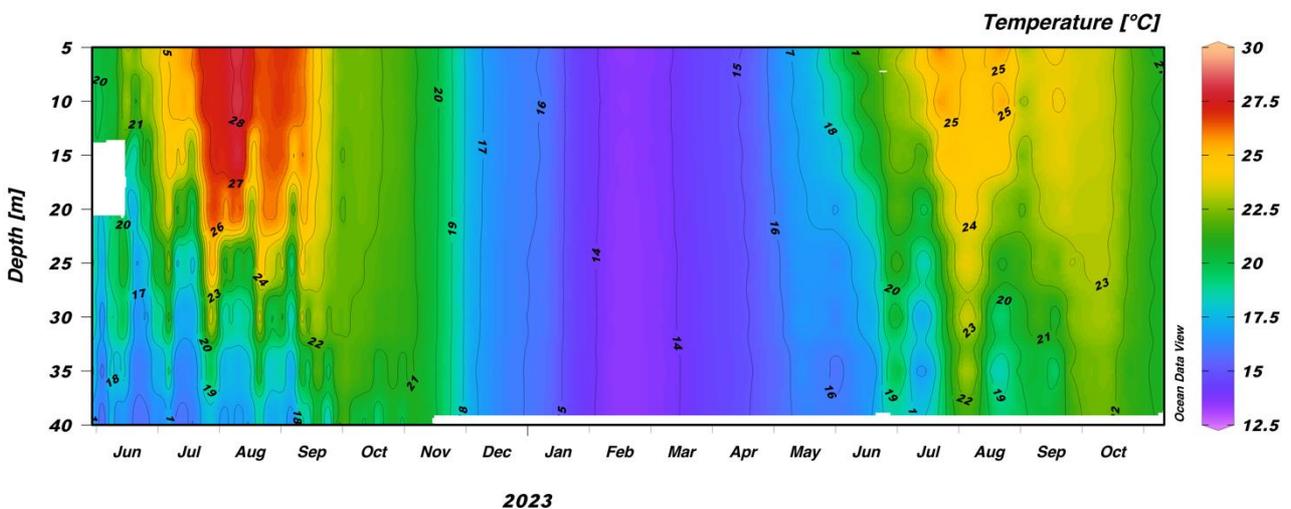
**Tabella 8.** Temperature medie, massime e minime stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 m) nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo per il periodo compreso tra giugno 2022 e ottobre 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Estate-22	22,13	4,11	28,92	15,08
Autunno-22	19,56	2,11	22,13	16,52
Inverno-22	14,33	0,66	15,27	13,63
Primavera-22	16,70	1,71	20,87	14,87
Estate-22	22,47	1,83	24,97	18,60

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
giu-22	18,96	2,60	24,85	14,82
lug-22	21,03	3,86	28,17	15,10
ago-22	22,99	4,39	28,92	16,01
sett-22	22,83	3,37	27,33	15,70
ott-22	21,75	0,93	22,97	16,11
nov-22	20,12	0,30	22,63	22,61
dic-22	16,62	0,06	18,06	-
gen-23	15,21	0,06	16,37	-
feb-23	13,69	0,04	14,29	-
mar-23	14,10	0,06	15,65	-
apr-23	15,00	0,09	16,63	-
mag-23	16,80	0,49	21,01	-
giu-23	18,31	1,77	23,97	-
lug-23	21,67	2,38	27,72	-
ago-23	23,17	1,68	27,18	-
sett-23	22,57	1,18	25,16	-
ott-23	22,61	0,35	24,63	-



**Figura 28.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra giugno 2022 e ottobre 2023 nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 29.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo per il periodo compreso tra il 21 giugno 2022 e il 9 novembre 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

### AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano

Per l'AMP Isola di Ventotene e Santo Stefano, nel secondo e nel terzo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra maggio 2021 e settembre 2022. I risultati sono riportati nelle relazioni del secondo e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2022; Azzola & Montefalcone, 2023).

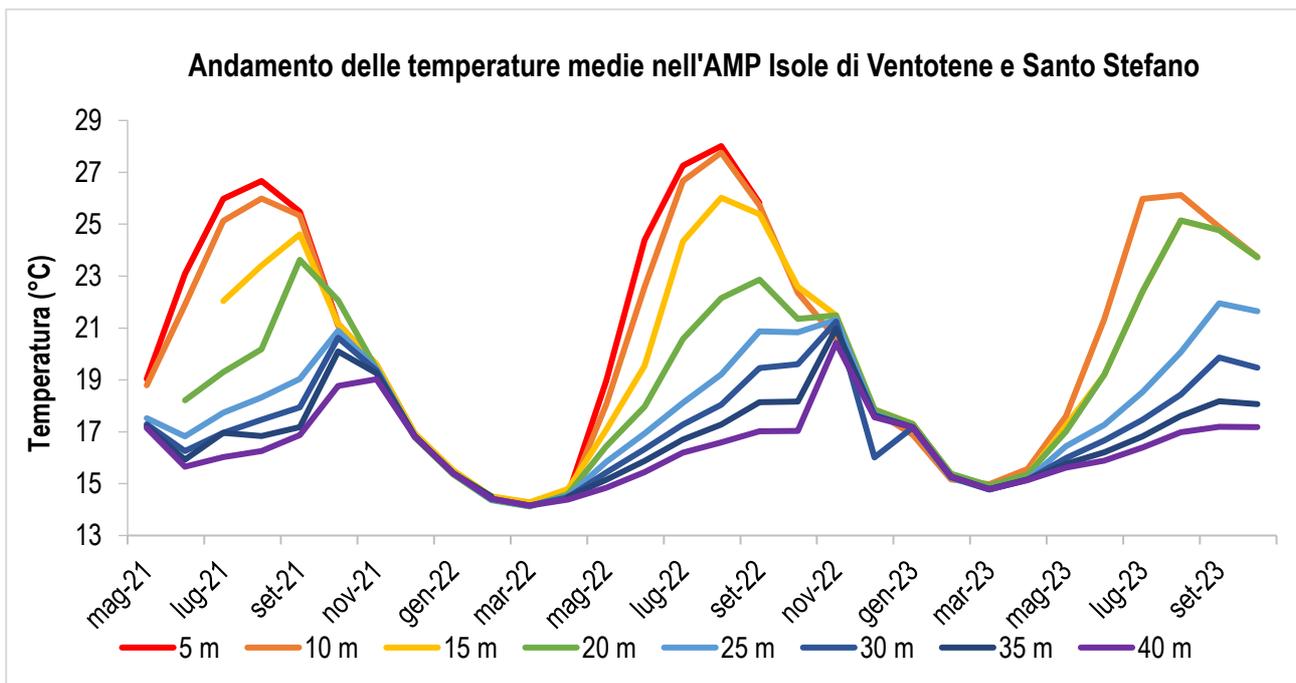
Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2022 a ottobre 2023. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~20°C con massime di ~23°C e minime di ~16°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è stata di ~16°C, con massime di ~17°C e minime di ~15°C. Per la stagione primaverile del 2023 la temperatura media è stata di ~17°C, con massime di ~21°C e minime di ~15°C. Per l'estate 2023 la temperatura media registrata è stata di ~21°C con massime di ~26°C e minime di ~16°C (Tab. 9). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 9; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 30 e 31.

**Tabella 9.** Temperature medie, massime e minime stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 m) nell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano per il periodo compreso tra maggio 2021 e ottobre 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

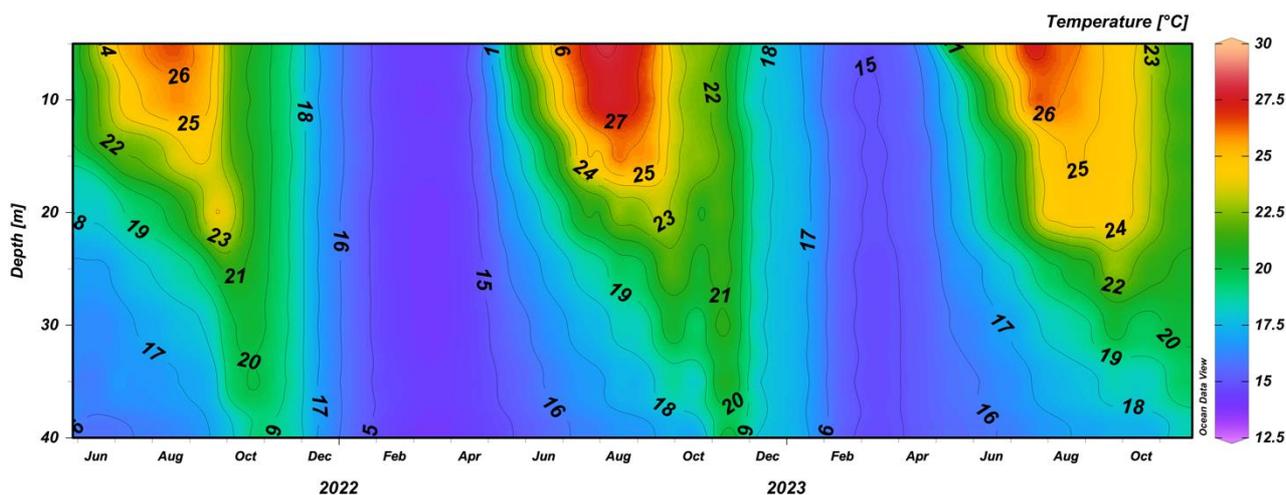
TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Estate-21	20,24	3,91	29,75	14,95
Autunno-21	18,81	2,23	25,55	14,17
Inverno-21	15,00	0,75	17,32	14,39
Primavera-22	15,85	2,12	25,43	14,03
Estate-22	21,25	4,51	29,41	14,69
Autunno-22	19,61	2,00	22,59	16,01
Inverno-22	15,76	1,04	17,31	14,76
Primavera-23	16,58	1,63	21,34	15,13
Estate-23	21,01	3,54	26,12	16,39

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
mag-21	17,84	2,03	28,70	13,75
giu-21	18,27	2,95	26,53	14,95
lug-21	19,97	3,82	29,75	14,95
ago-21	20,64	4,00	28,00	15,16
set-21	20,95	3,74	26,51	15,62
ott-21	19,96	2,34	25,05	14,11
nov-21	16,81	0,77	18,53	14,11
dic-21	16,81	0,77	18,53	14,11
gen-22	15,42	0,42	16,28	14,42
feb-22	14,39	0,14	14,87	14,08
mar-22	14,20	0,10	14,76	13,97
apr-22	14,65	0,46	17,19	14,07
mag-22	16,54	1,87	25,41	14,14
giu-22	18,67	3,29	27,51	14,56
lug-22	21,01	4,49	29,22	15,04

ago-22	21,89	4,65	29,43	15,34
sett-22	21,94	3,68	27,91	14,89
ott-22	20,28	2,11	-	15,48
nov-22	21,08	0,43	-	17,10
dic-22	17,49	0,66	-	14,48
gen-23	17,17	0,14	-	15,33
feb-23	15,27	0,08	-	14,76
mar-23	14,84	0,09	-	14,63
apr-23	15,27	0,16	-	15,13
mag-23	16,52	0,77	-	15,17
giu-23	17,96	2,00	-	15,03
lug-23	20,00	3,63	-	15,25
ago-23	21,36	3,97	-	15,53
sett-23	21,66	3,30	-	19,13
ott-23	21,08	2,84	-	15,53



**Figura 30.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra luglio 2021 e settembre 2023 nell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 31.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano per il periodo compreso tra il 29 aprile 2021 e il 19 novembre 2023.

### AMP Torre Guaceto

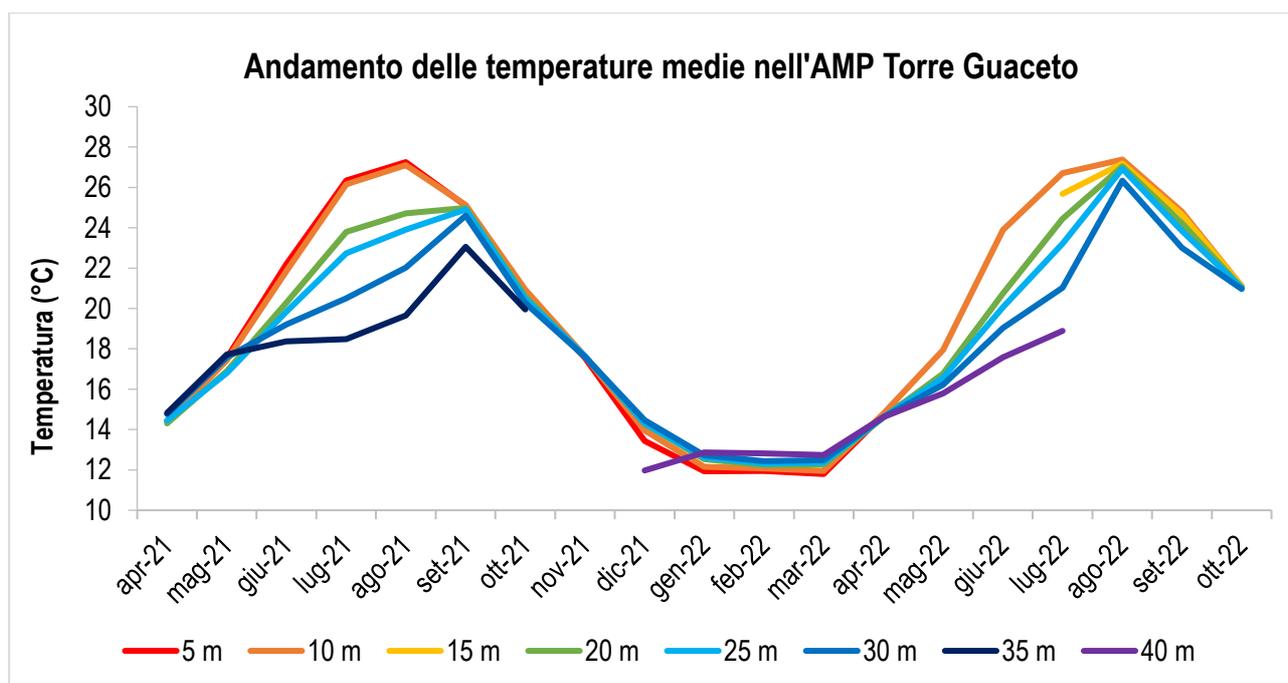
Per l'AMP Torre Guaceto, nel secondo e nel terzo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra aprile 2021 e ottobre 2022. Nel quarto anno di progetto non è stato possibile analizzare nuovi dati per un problema tecnico ai sensori. Di seguito vengono riportate le medie e gli andamenti di temperatura analizzati negli anni precedenti (Tab. 10; Fig. 32, 33) e già riportati nelle relazioni del secondo e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2022; Azzola & Montefalcone, 2023).

**Tabella 10.** Temperature medie, massime e minime stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'AMP Torre Guaceto per il periodo compreso tra aprile 2021 e ottobre 2022. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

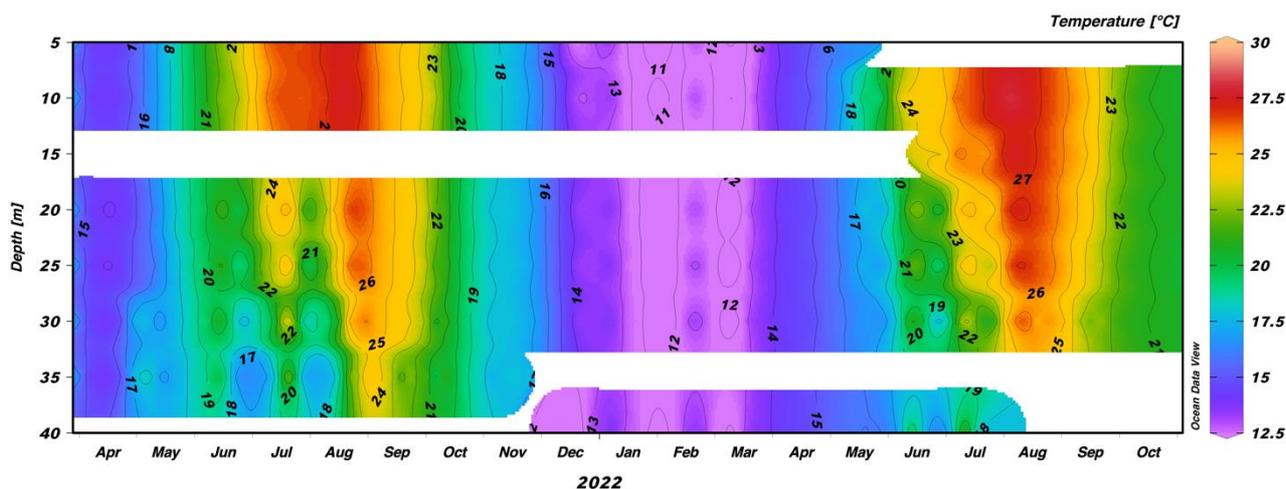
TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI				
Stagioni	Media (°C)	dev,st	Max (°C)	Min (°C)
estate-21	23,78	3,70	28,44	15,17
autunno-21	19,41	3,28	28,70	9,62
inverno-21	12,29	1,13	15,09	9,53
primavera-22	16,19	2,85	25,56	11,56
estate-22	24,42	3,53	28,70	15,22

TEMPERATURE MEDIE MENSILI				
Mesi	Media (°C)	dev,st	Max (°C)	Min (°C)
apr-21	14,48	1,68	27,93	11,37
mag-21	17,28	1,54	29,14	14,43
giu-21	20,51	2,11	26,05	15,17
lug-21	23,51	3,87	27,64	15,44

ago-21	24,53	3,95	28,44	15,83
set-21	24,63	1,54	26,83	16,44
ott-21	20,51	1,99	24,23	15,85
nov-21	21,06	0,42	22,67	17,90
dic-21	13,90	1,43	16,81	9,59
gen-22	12,48	1,17	15,09	9,53
feb-22	12,29	1,12	14,30	9,56
mar-22	12,21	1,14	14,53	9,62
apr-22	14,62	0,48	16,91	13,53
mag-22	16,67	1,24	20,74	15,13
giu-22	20,36	3,21	25,56	15,31
lug-22	23,45	3,76	28,70	15,53
ago-22	27,00	1,09	28,67	17,38
sett-22	24,18	1,91	26,70	16,64
ott-22	21,06	1,99	22,67	17,90



**Figura 32.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra aprile 2021 e ottobre 2022 nell'AMP Torre Guaceto. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



**Figura 33.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Torre Guaceto per il periodo compreso tra il 30 marzo 2021 e il 4 novembre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

### AMP Capo Carbonara

Per l'AMP Capo Carbonara, nel secondo e nel terzo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra ottobre 2020 e settembre 2022. I risultati sono riportati nelle relazioni del secondo e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2022; Azzola & Montefalcone 2023).

Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2022 a ottobre 2023. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~20°C con massime di ~23°C e minime di ~17°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è stata di ~15°C, con massime di ~16°C e minime di ~14°C. Per la stagione primaverile del 2023 la temperatura media è stata di ~17°C, con massime di ~22°C e minime di ~15°C. Per l'estate 2023 la temperatura media registrata è stata di ~22°C con massime di ~26°C a 5 m e minime di ~17°C (Tab. 11). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 11; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 34 e 35.

**Tabella 11.** Temperature medie, massime e minime annuali, stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'AMP Capo Carbonara per il periodo compreso tra ottobre 2020 e settembre 2022. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

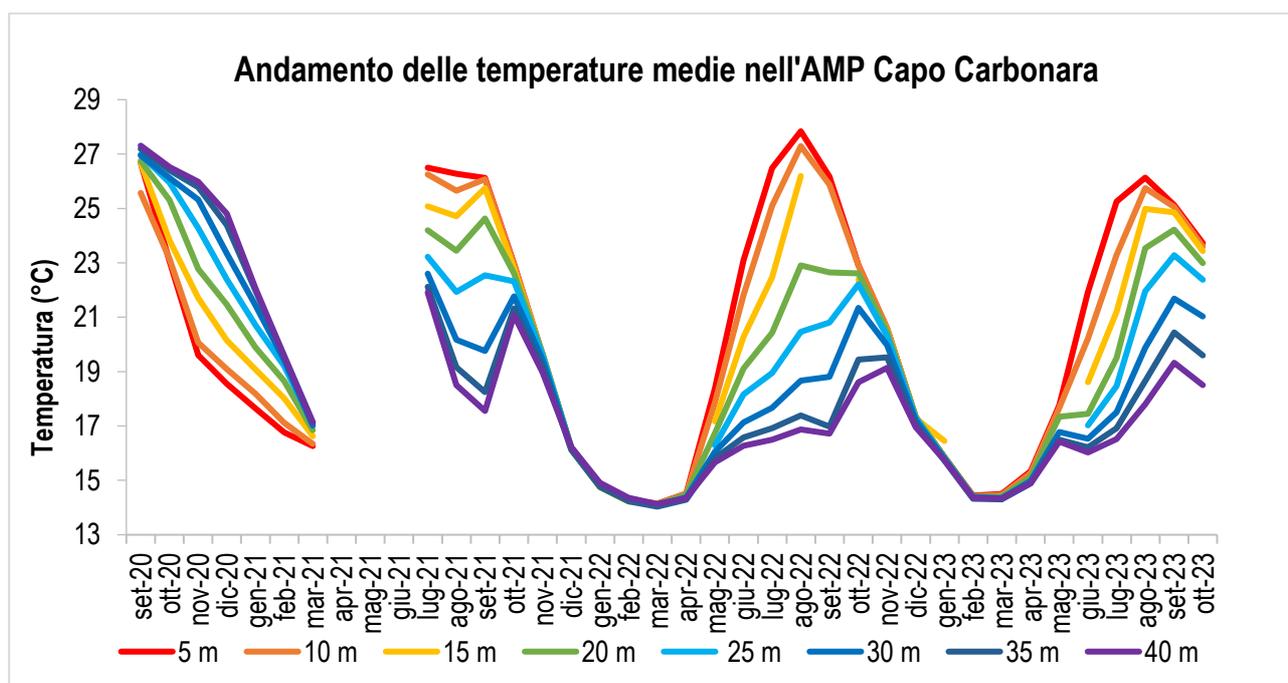
TEMPERATURE ANNUALI 2021				
Stazioni (m)	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
5	20,92	4,54	31,76	13,80
10	20,93	4,31	31,13	13,76

15	20,86	3,76	30,83	13,77
20	20,68	3,16	31,16	13,65
25	19,99	2,38	30,96	13,95
30	19,76	2,11	30,86	13,73
35	19,43	2,09	31,06	13,65
40	18,70	2,18	30,96	13,95

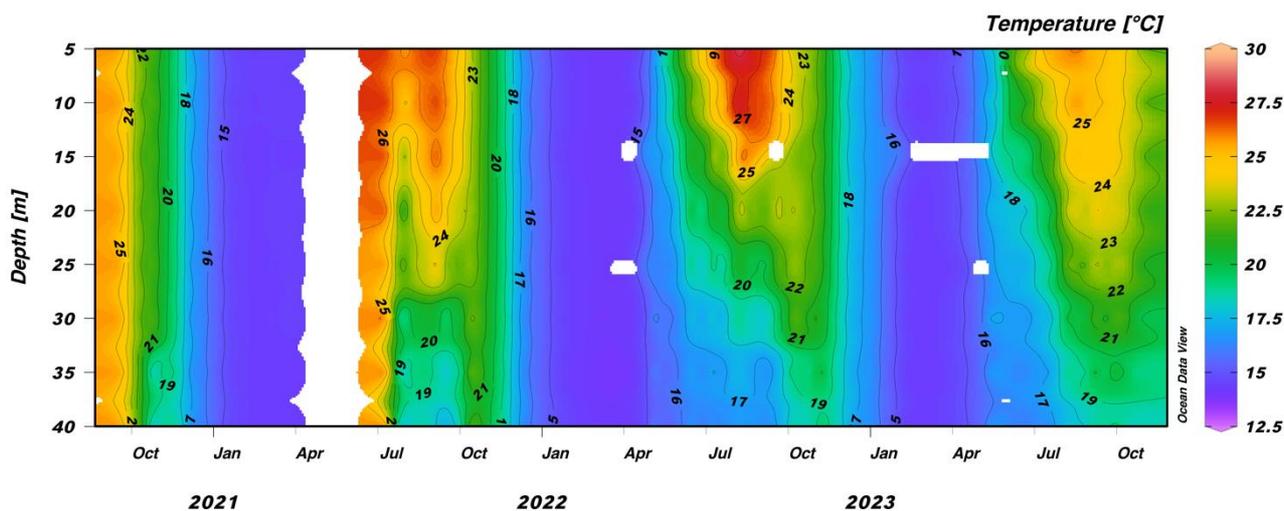
<b>TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI</b>				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Autunno-20	20,08	2,74	26,99	14,61
Inverno-20	14,75	0,59	16,67	13,89
Estate-21	23,06	3,75	29,07	15,27
Autunno-21	20,08	2,73	25,74	15,40
Inverno-21	14,60	0,51	16,03	13,77
Primavera-22	17,75	3,79	24,90	13,65
Estate-22	20,94	4,24	29,90	14,86
Autunno-22	19,64	2,08	22,92	16,96
Inverno-22	14,93	0,75	16,45	14,30
Primavera-23	16,85	1,82	21,93	14,89
Estate-23	21,72	3,13	26,13	16,51

<b>TEMPERATURE MEDIE MENSILI</b>				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
ott-20	21,50	1,70	26,99	14,61
nov-20	19,41	0,87	23,47	15,60
dic-20	16,39	0,74	18,34	14,74
gen-21	14,76	0,32	15,82	14,04
feb-21	14,37	0,15	14,74	13,89
mar-21	14,48	0,15	15,22	14,08
lug-21	23,99	3,93	29,07	15,27
ago-21	22,48	3,27	28,48	16,13
set-21	22,61	3,81	27,59	15,56
ott-21	22,26	1,74	25,61	13,76
nov-21	19,50	1,00	21,32	15,41
dic-21	16,20	0,69	17,96	15,17
gen-22	14,80	0,32	15,58	14,17
feb-22	14,28	0,10	14,60	13,83
mar-22	14,11	0,10	14,59	13,77
apr-22	14,42	0,39	16,05	13,65
mag-22	16,74	1,49	23,66	14,43
giu-22	19,06	2,83	25,80	14,85
lug-22	20,57	3,85	28,69	14,97
ago-22	22,20	4,49	29,90	15,03

set-22	21,15	4,25	27,90	14,86
ott-22	21,78	2,08	23,90	16,26
nov-22	20,14	0,55	22,71	15,47
dic-22	17,23	0,14	18,40	15,28
gen-23	15,89	0,23	17,14	14,36
feb-23	14,39	0,04	15,05	13,66
mar-23	14,38	0,08	15,52	13,98
apr-23	15,08	0,19	17,80	14,26
mag-23	17,08	0,59	25,82	14,93
giu-23	18,00	2,11	23,91	14,70
lug-23	19,83	3,17	28,06	14,89
ago-23	22,34	3,27	28,29	15,17
set-23	23,00	2,25	26,19	15,69
ott-23	21,91	1,99	25,20	15,24



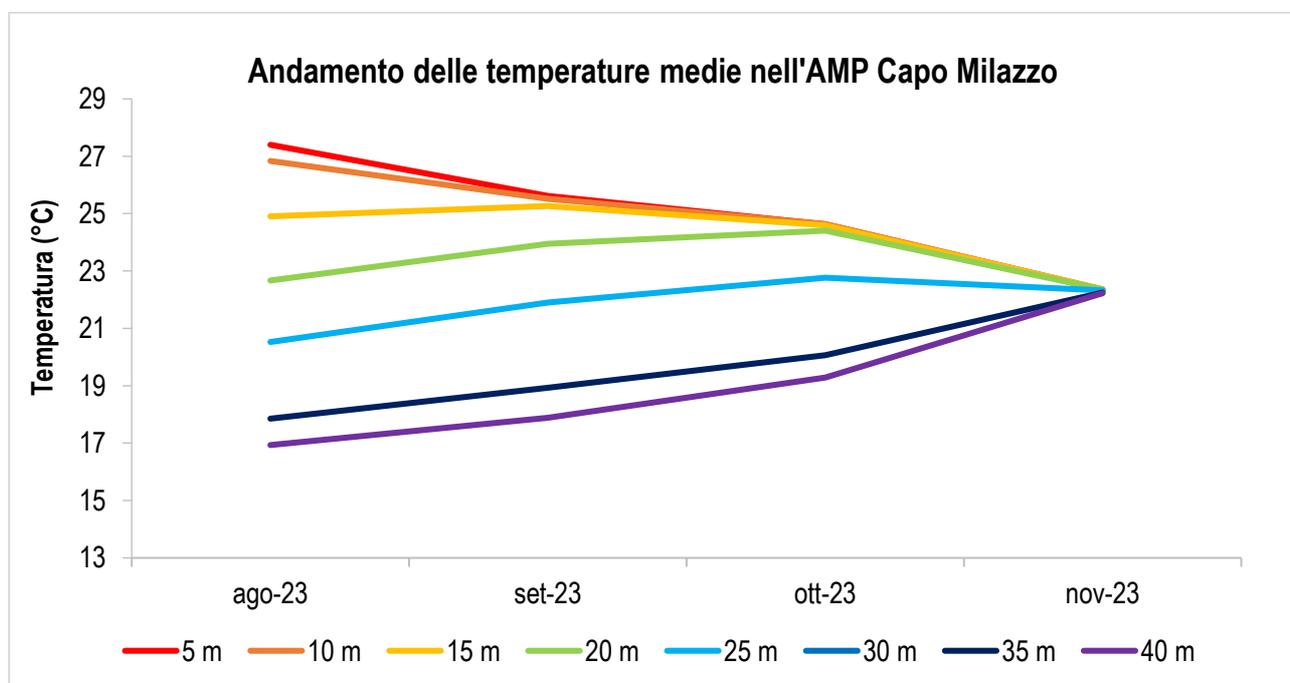
**Figura 34.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra settembre 2020 e ottobre 2023 nell'AMP Capo Carbonara. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



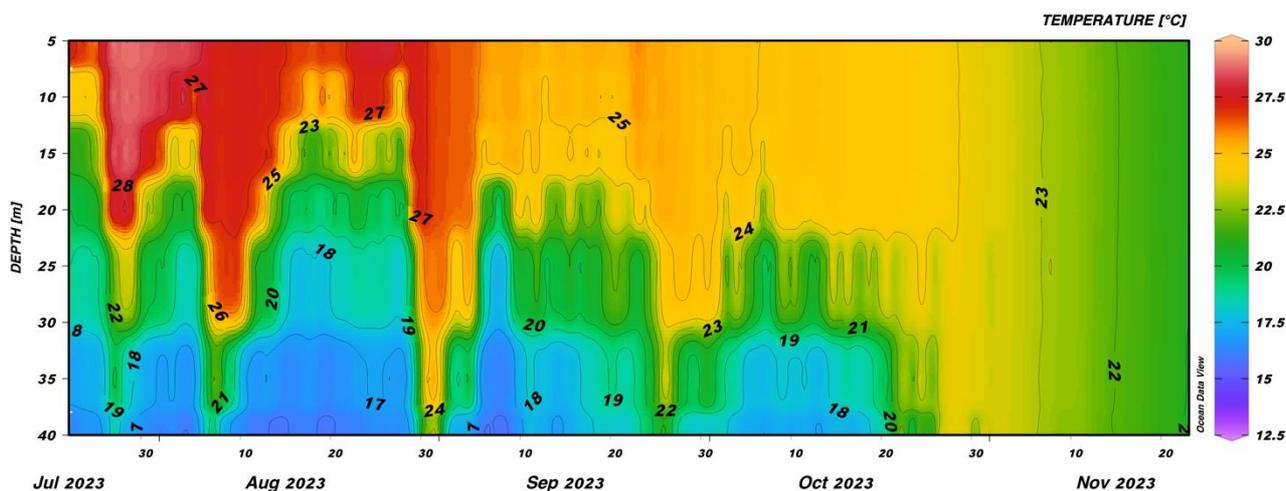
**Figura 35.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Capo Carbonara per il periodo compreso tra l'8 settembre 2020 e l'8 novembre 2023. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

### AMP Capo Milazzo

Nel quarto anno di progetto per l'AMP Capo Milazzo è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da agosto 2023 a novembre 2023. Gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 36 e 37.



**Figura 36.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra agosto 2023 e novembre 2023 nell'AMP Capo Milazzo.



**Figura 37.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Capo Milazzo per il periodo compreso tra il 22 luglio 2023 e il 24 novembre 2023.

### AMP Plemmirio

Per l'AMP Plemmirio, nei primi tre anni di progetto i dati forniti dai *temperature data logger* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra luglio 2020 e settembre 2022. I risultati sono riportati nelle relazioni del primo, del secondo, e del terzo anno di progetto (Montefalcone & Azzola 2020, 2022; Azzola & Montefalcone, 2023).

Nel quarto anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2022 a ottobre 2023. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2022 è stata di ~20°C con massime di ~23°C e minime di ~17°C. Per la stagione invernale del 2022 la temperatura media è stata di ~15°C, con massime di ~16°C e minime di ~15°C. Per la stagione primaverile del 2023 la temperatura media è stata di ~17°C, con massime di ~22°C e minime di ~15°C. Infine, per la stagione estiva del 2023 la temperatura media è stata di ~23°C, con massime di ~27°C e minime di ~18°C. (Tab. 12). I valori medi mensili sono riportati in Tabella 12; e gli andamenti di temperatura lungo la colonna d'acqua sono rappresentati nelle Figure 38 e 39.

**Tabella 12.** Temperature medie, massime e minime annuali, stagionali e mensili registrate alle diverse profondità (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) nell'AMP Plemmirio per il periodo compreso tra agosto 2020 e settembre 2023. In tabella sono inoltre riportati i valori di deviazione standard (dev.st) riferiti ai valori medi.

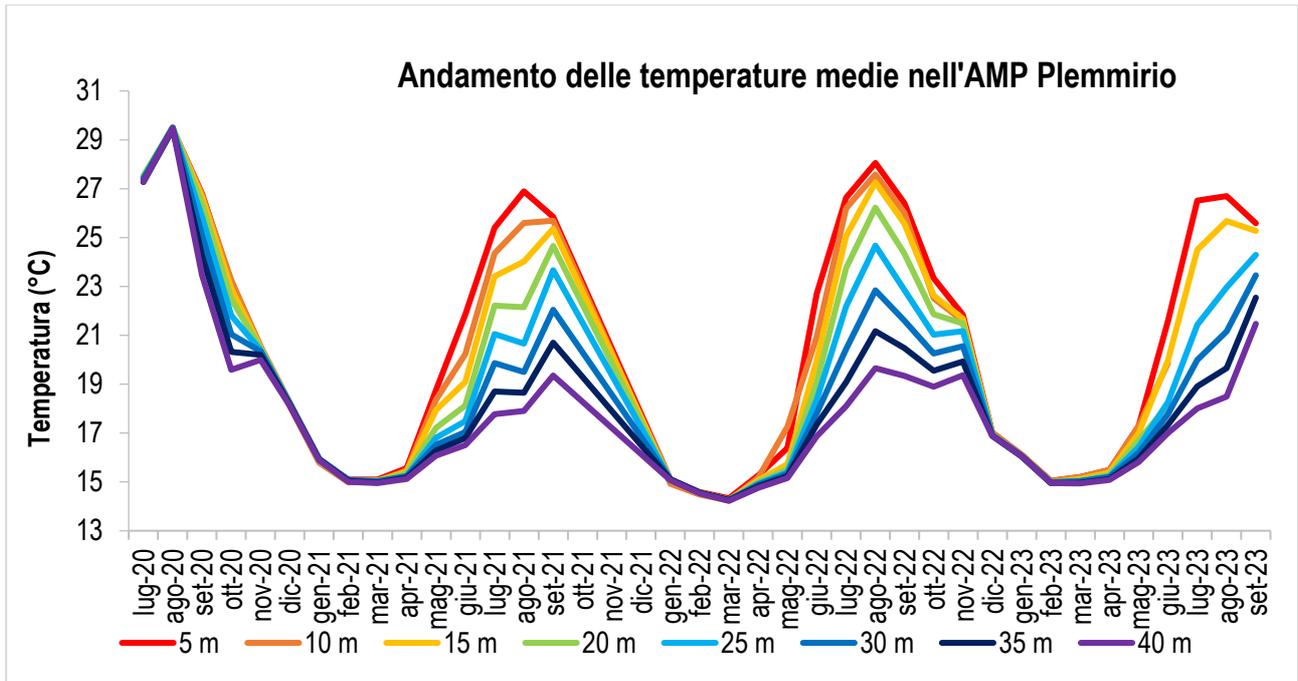
TEMPERATURE ANNUALI 2021				
Stazioni (m)	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
5	20,28	4,97	28,66	14,54
10	19,80	4,64	28,18	14,20
15	19,33	4,24	27,66	14,54
20	18,61	3,76	27,08	14,54

25	18,19	3,70	26,85	14,29
30	17,54	2,73	26,45	14,59
35	17,09	2,25	26,12	14,57
40	16,57	5,03	22,88	14,54

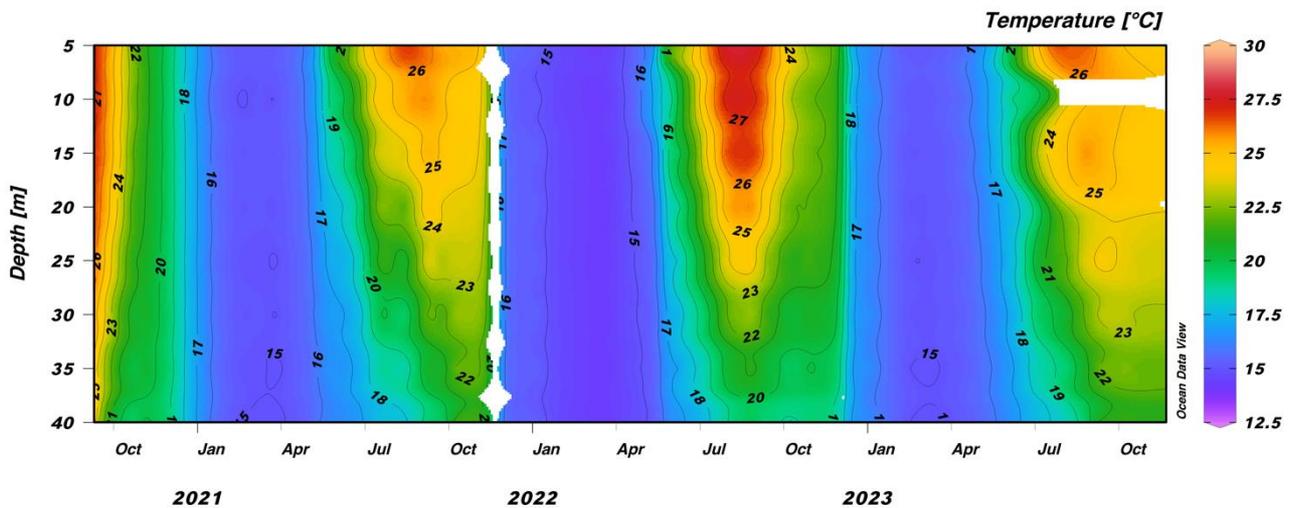
<b>TEMPERATURE STAGIONALI</b>				
Stagioni	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
Autunno-20	20,86	2,13	29,47	16,75
Inverno-20	15,64	0,83	18,02	14,20
Primavera-21	16,31	1,74	24,25	14,29
Estate-21	21,96	3,24	28,66	15,83
Primavera-22	15,94	2,10	24,66	13,75
Estate-22	23,24	2,09	29,35	15,73
Autunno-22	19,72	2,25	23,34	16,88
Inverno-22	15,37	0,51	16,11	14,94
Primavera-23	16,87	1,73	21,59	15,09
Estate-23	22,59	2,84	26,70	18,01

<b>TEMPERATURE MENSILI</b>				
Mesi	Media (°C)	Dev.st	Max (°C)	Min (°C)
lug-20	27,41	2,36	31,82	21,36
ago-20	29,47	2,17	32,62	20,43
set-20	25,66	4,73	31,79	16,75
ott-20	21,82	1,91	27,22	16,96
nov-20	20,38	0,60	21,53	17,55
dic-20	18,17	0,82	21,17	16,52
gen-21	15,90	0,54	17,10	15,02
feb-21	15,04	0,17	15,65	14,20
mar-21	15,02	0,17	16,05	14,29
apr-21	15,32	0,29	17,03	14,68
mag-21	17,02	1,54	22,76	15,15
giu-21	21,70	2,83	27,74	16,21
lug-21	21,70	2,83	27,74	16,21
ago-21	21,92	3,40	28,66	15,95
set-21	23,89	2,30	27,29	17,34
gen-22	15,07	0,35	15,11	14,93
feb-22	14,55	0,09	14,59	14,48
mar-22	14,26	0,15	14,33	14,22
apr-22	14,98	0,41	15,26	14,76
giu-22	19,14	2,28	22,71	16,88
lug-22	22,68	3,45	26,64	18,10
ago-22	24,68	3,23	28,06	19,66
set-22	23,33	2,95	26,41	19,33
ott-22	21,26	1,86	23,34	18,89
nov-22	20,95	0,91	22,50	16,50
dic-22	16,94	0,06	18,03	16,48
gen-23	16,07	0,03	17,02	16,46

feb-23	14,99	0,04	15,53	16,48
mar-23	15,07	0,10	16,06	14,65
apr-23	15,28	0,15	16,80	14,78
mag-23	16,58	0,57	20,12	14,80
giu-23	18,74	1,58	25,64	15,24
lug-23	21,56	3,33	29,44	15,67
ago-23	22,43	3,28	28,24	16,30
set-23	23,77	1,60	26,86	16,07



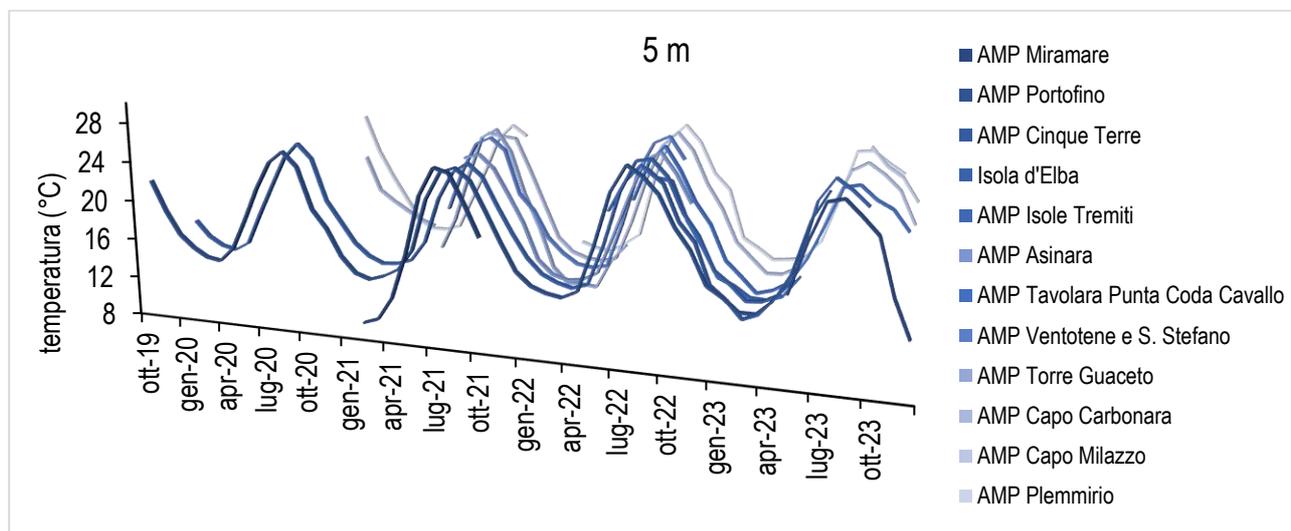
**Figura 38.** Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra agosto 2020 e settembre 2023 nell'AMP Plemmirio. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili.



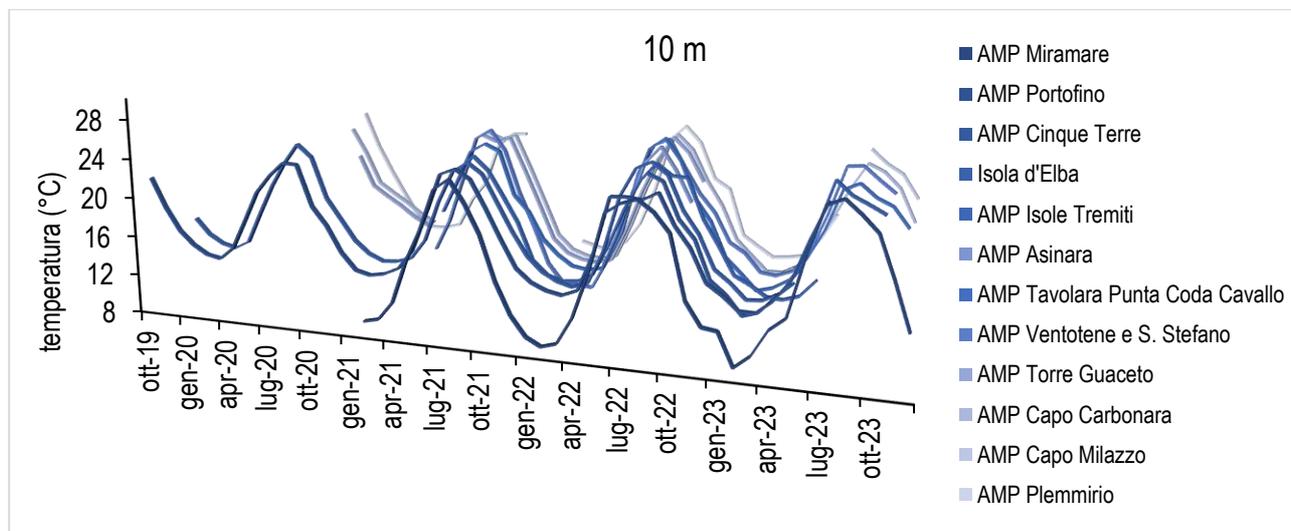
**Figura 39.** Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Plemmirio per il periodo compreso tra il 23 luglio 2020 e il 9 novembre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono stati resi disponibili a causa di problemi tecnici dell'AMP.

## Confronto tra le diverse aree

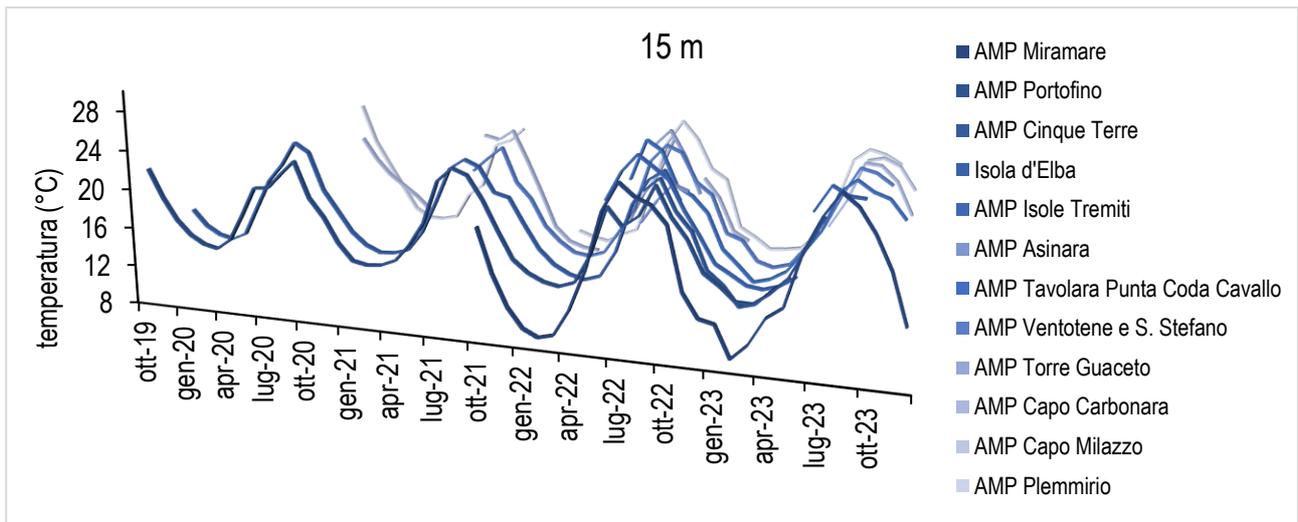
Di seguito sono confrontati graficamente gli andamenti medi di temperatura dell'acqua tra le diverse aree di monitoraggio a ogni profondità indagata (Fig. 40-47).



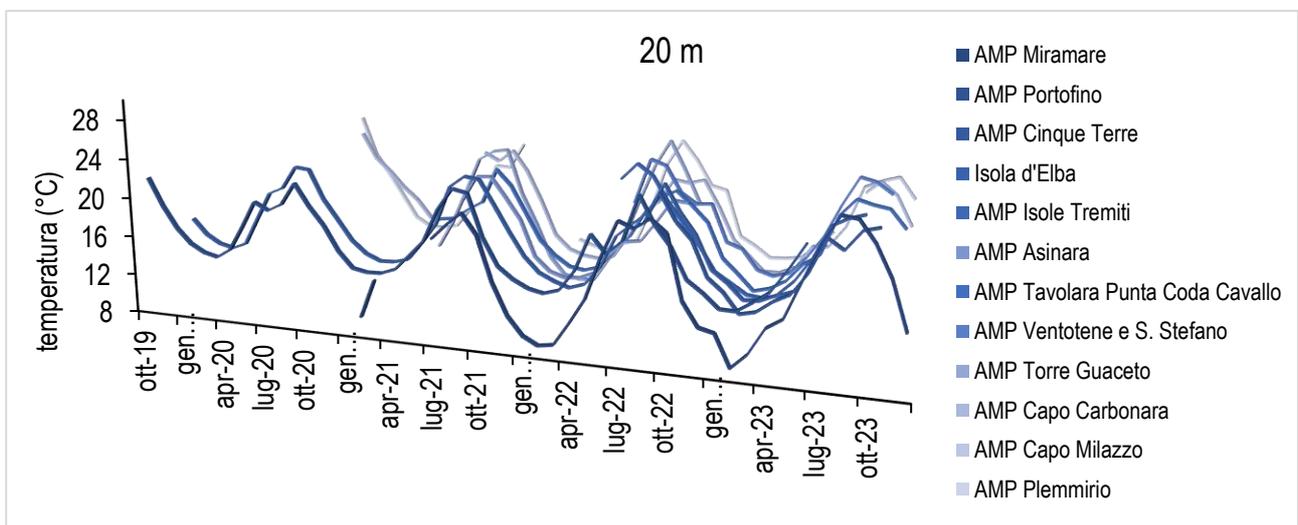
**Figura 40.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 5 m per tutte le aree monitorate.



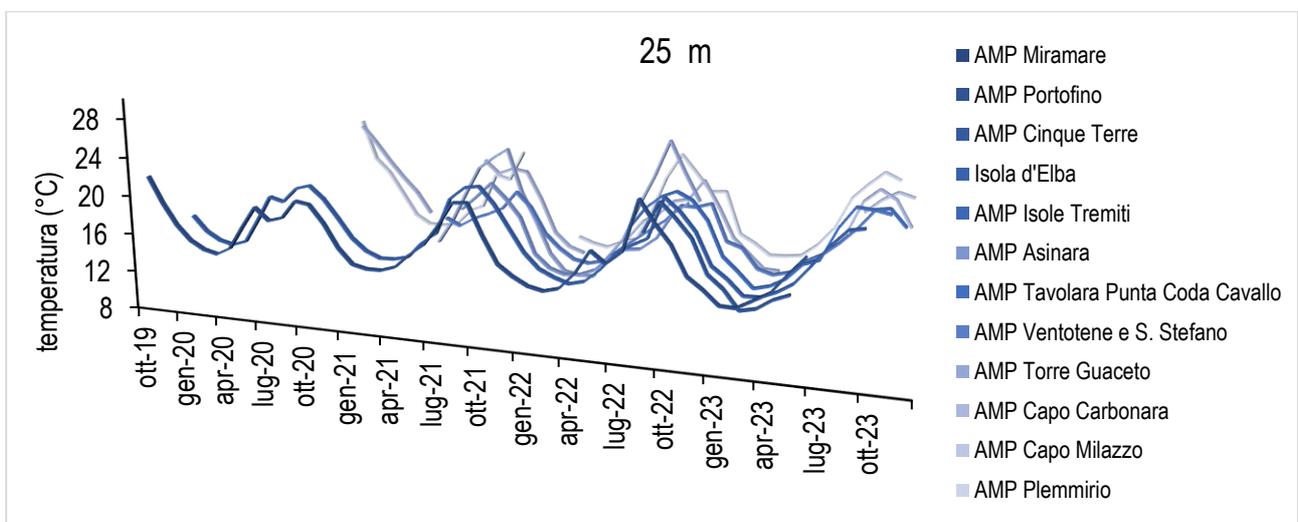
**Figura 41.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 10 m per tutte le aree monitorate.



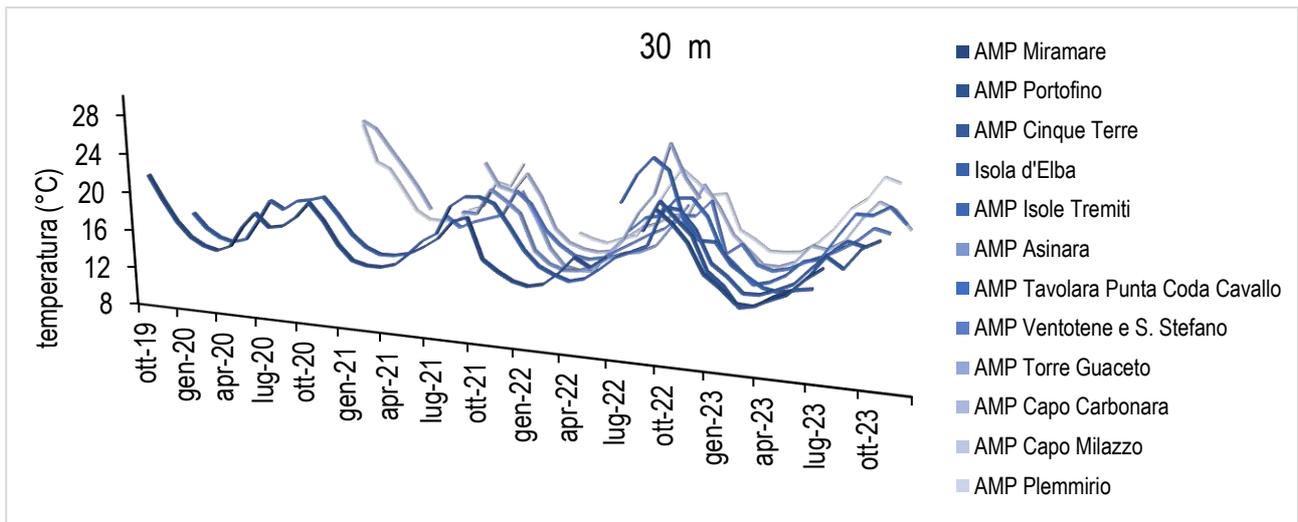
**Figura 42.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 15 m per tutte le aree monitorate.



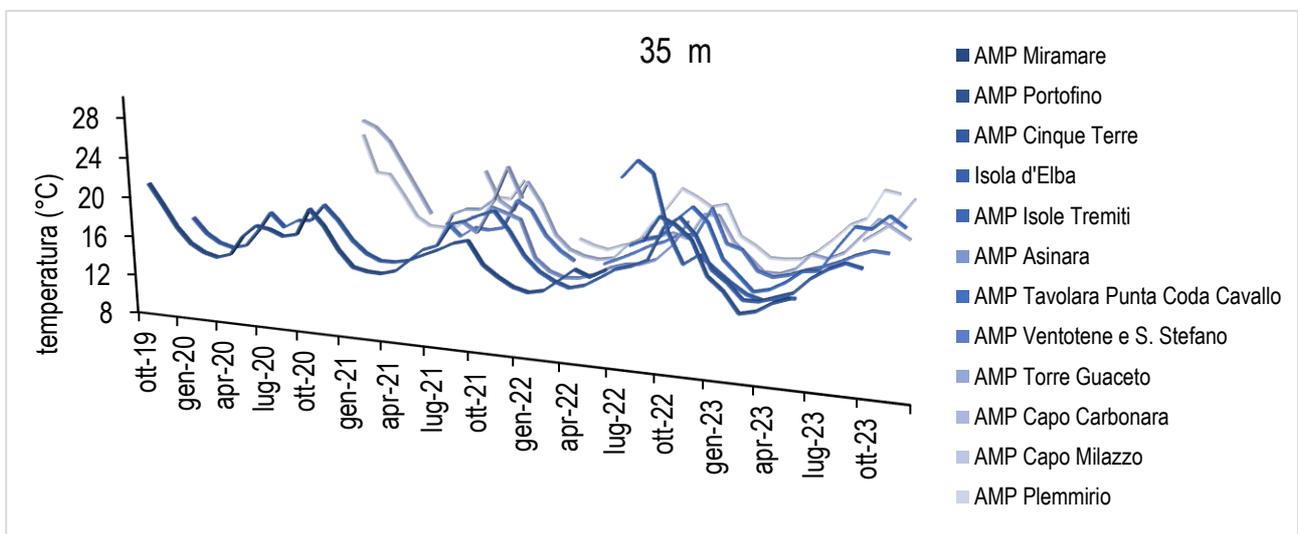
**Figura 43.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 20 m per tutte le aree monitorate.



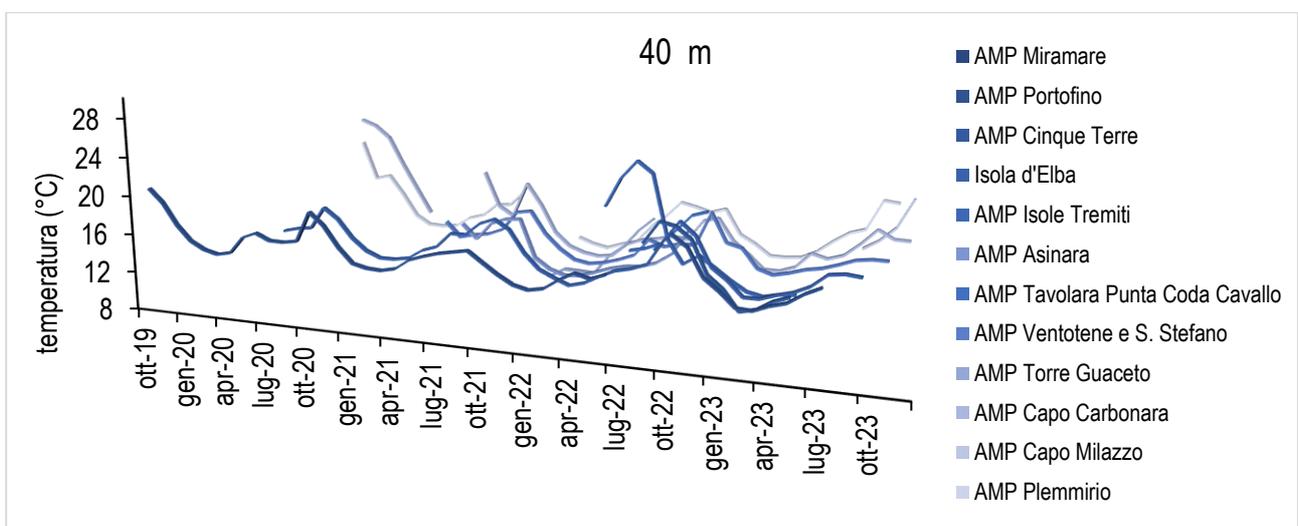
**Figura 44.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 25 m per tutte le aree monitorate.



**Figura 45.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 30 m per tutte le aree monitorate.



**Figura 46.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 35 m per tutte le aree monitorate.



**Figura 47.** Valori medi mensili di temperatura (°C) dell'acqua a 40 m per tutte le aree monitorate.

## STUTTURA E STATO ECOLOGICO DELLE COMUNITÀ

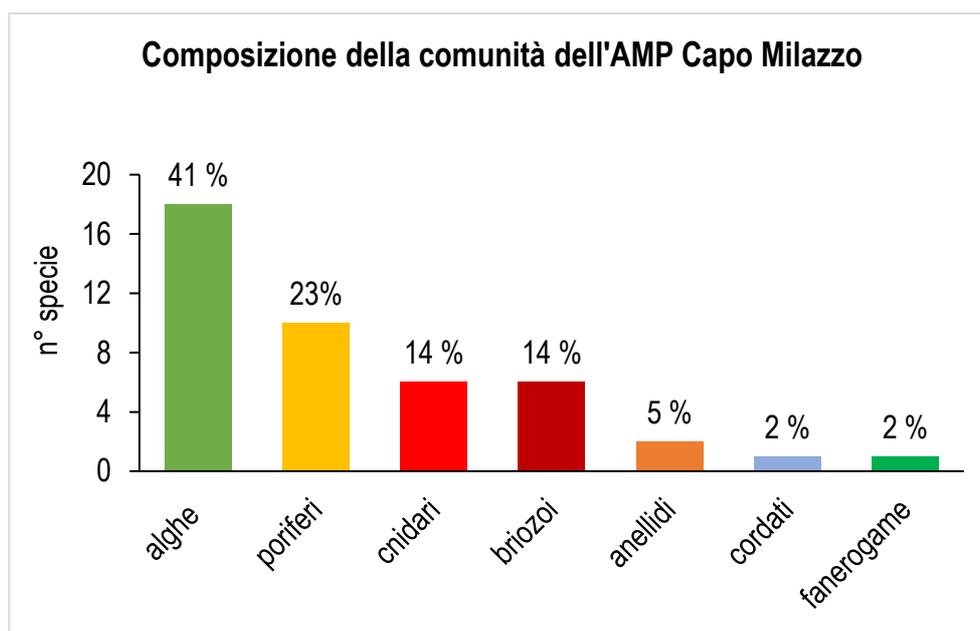
L'analisi della struttura e della composizione delle comunità bentoniche dell'AMP Capo Milazzo e dell'AMP Isole Tremiti ha permesso una prima caratterizzazione degli ecosistemi di scogliera in queste due aree di studio. Attraverso l'applicazione dei due indici di diversità, l'indice di Shannon e l'indice di Dominanza, è stato inoltre possibile valutare lo stato ecologico degli habitat di scogliera.

### AMP Capo Milazzo

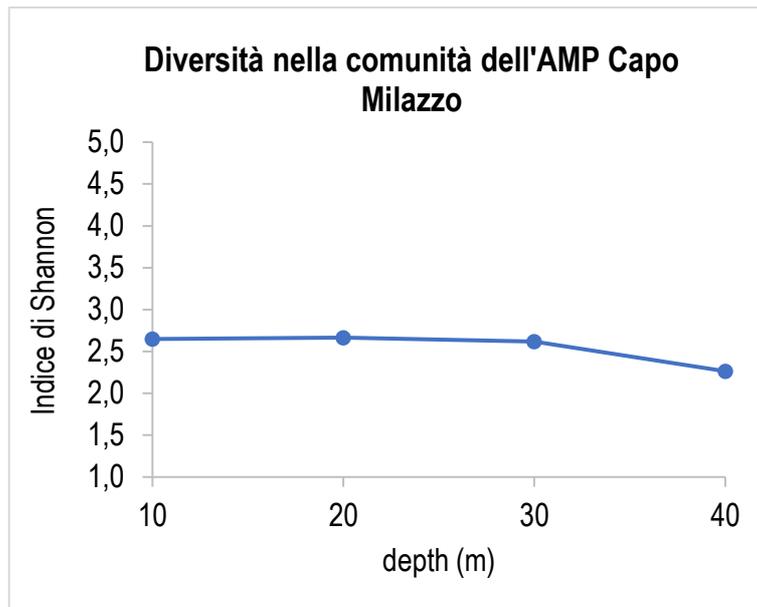
Nell'ambito dei monitoraggi condotti a giugno 2023, nell'AMP Capo Milazzo sono state rilevate un totale di 45 specie bentoniche sessili tra le quali 19 specie vegetali e 26 specie animali. Di queste ultime il 40% (N=10) è rappresentato da poriferi, il 24% (N=6) da cnidari, il 24% (N=6) da briozoi, l'8% (N=2) da anellidi, e il 4% (N=1) da cordati (Fig. 48).

I valori relativi alla diversità della comunità, misurata attraverso l'indice di Shannon ( $H'$ ), risultano pari a circa 2,5 a tutte le profondità indagate (i.e. 10 m:  $H'=2,65$ ; 20 m:  $H'=2,67$ ; 30 m:  $H'=2,62$ ; 40 m:  $H'=2,26$ ), evidenziando un moderato stato ecologico delle comunità di scogliera nell'AMP Capo Milazzo (Fig. 49).

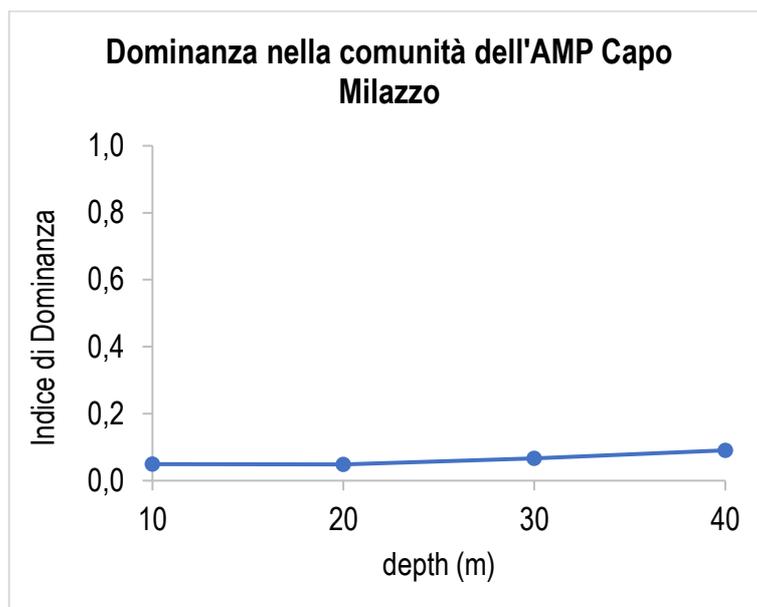
Per quanto riguarda la dominanza della comunità, i valori dell'indice di Dominanza ( $D'$ ) risultano bassi a tutte le profondità indagate (i.e. 10 m:  $D'=0,05$ ; 20 m:  $D'=0,05$ ; 30 m:  $D'=0,07$ ; 40 m:  $D'=0,09$ ), a indicare quindi una buona equitabilità tra le specie che compongono la comunità di scogliera dell'AMP Capo Milazzo (Fig. 50).



**Figura 48.** Numero di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità dell'AMP Capo Milazzo. Sono inoltre riportati i valori percentuali di ogni gruppo sull'intera comunità.



**Figura 49.** Andamento dell'indice di Shannon lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Capo Milazzo.



**Figura 50.** Andamento dell'indice di Dominanza lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Capo Milazzo.

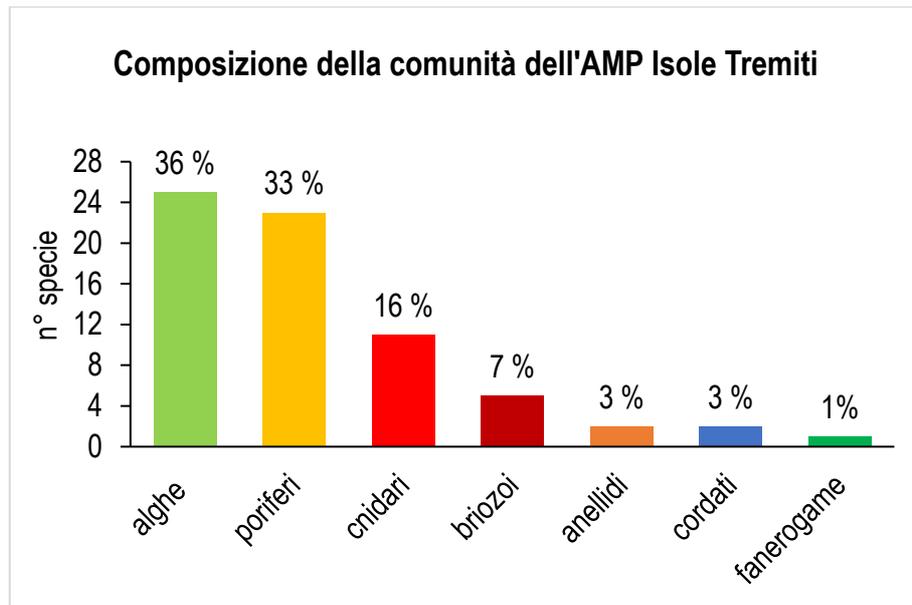
### AMP Isole Tremiti

Nell'ambito dei monitoraggi condotti a settembre 2023, nell'AMP Isole Tremiti sono state rilevate un totale di 69 specie bentoniche sessili tra le quali 26 specie vegetali e 43 specie animali. Di queste ultime il 53% (N=23) è rappresentato da poriferi, il 26% (N=11) da cnidari, il 12% (N=5) da briozoi, il 5% (N=2) da anellidi, e il 5% (N=2) da cordati (Fig. 51).

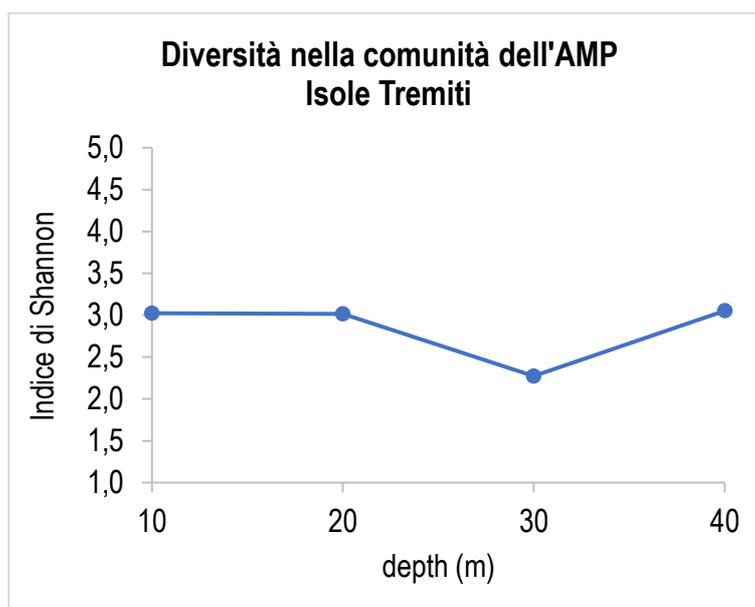
I valori relativi alla diversità della comunità, misurata attraverso l'indice di Shannon ( $H'$ ), risultano pari a circa 3 a tutte le profondità indagate, evidenziando un buono stato ecologico

delle comunità di scogliera nell'AMP Isole Tremiti, a eccezione dei 30 m dove lo stato ecologico è risultato moderato (i.e. 10 m:  $H'=3,03$ ; 20 m:  $H'=3,01$ ; 30 m:  $H'=2,27$ ; 40 m:  $H'=3,05$ ) (Fig. 52).

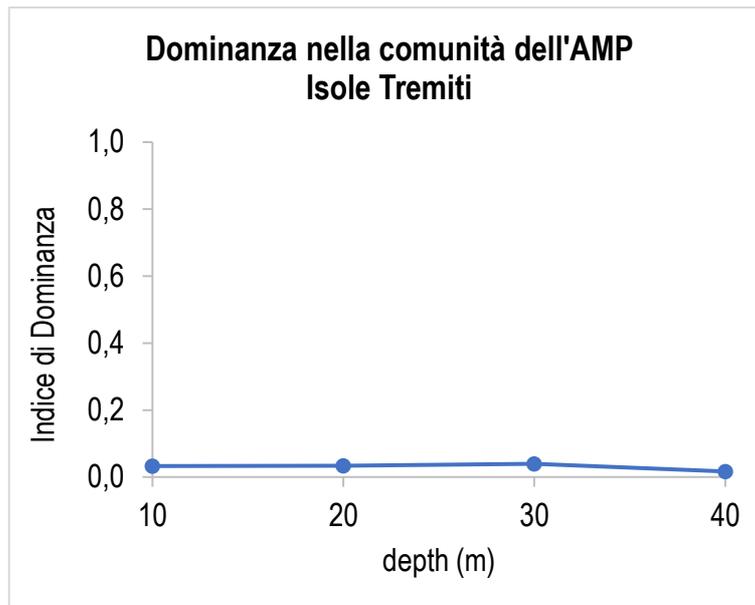
Per quanto riguarda la dominanza della comunità, i valori dell'indice di Dominanza ( $D'$ ) risultano bassi a tutte le profondità indagate (i.e. 10 m:  $D'=0,03$ ; 20 m:  $D'=0,03$ ; 30 m:  $D'=0,04$ ; 40 m:  $D'=0,02$ ) a indicare quindi una buona equitabilità tra le specie che compongono la comunità di scogliera dell'AMP Isole Tremiti (Fig. 53).



**Figura 51.** Numero di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità dell'AMP Cinque Terre. Sono inoltre riportati i valori percentuali di ogni gruppo sull'intera comunità.



**Figura 52.** Andamento dell'indice di Shannon lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Isole Tremiti.



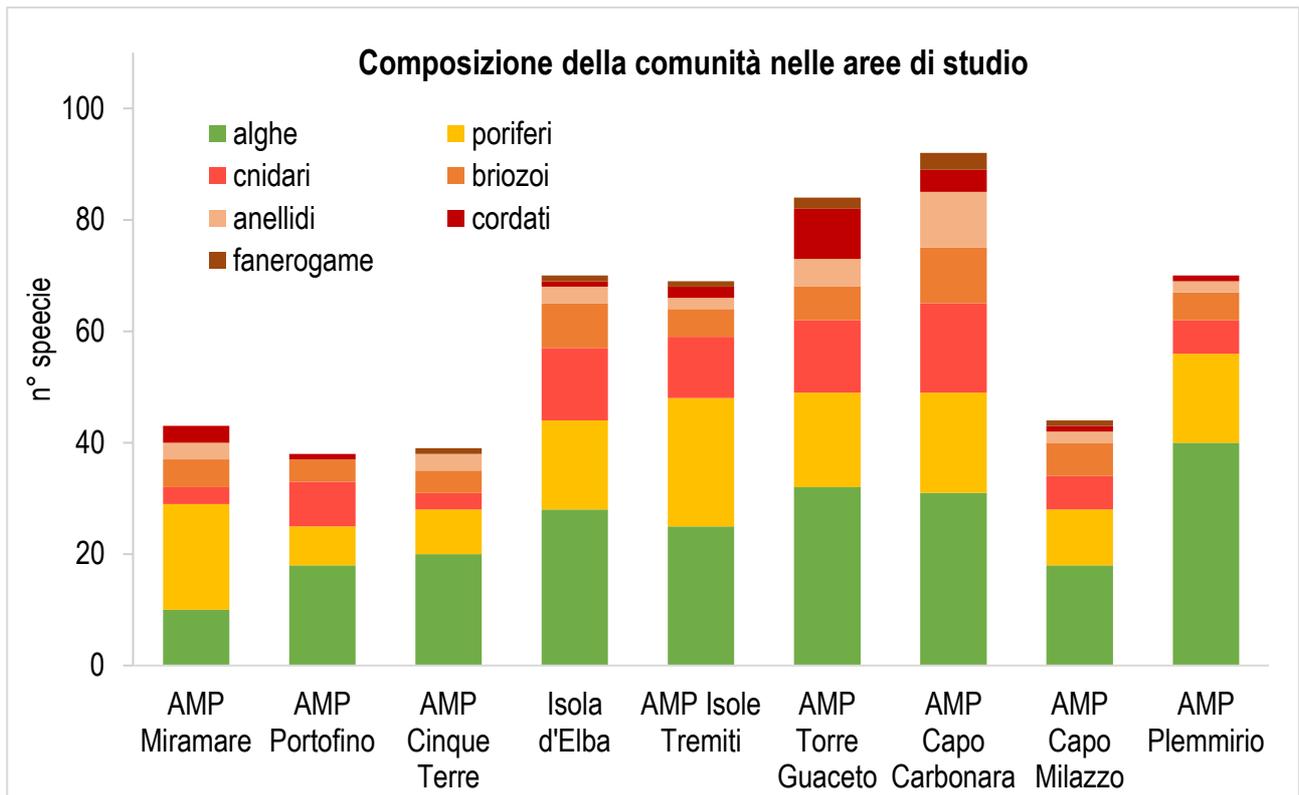
**Figura 53.** Andamento dell'indice di Dominanza lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Isole Tremiti.

### **Confronto della struttura e dello stato ecologico delle comunità bentoniche nelle nove aree monitorate**

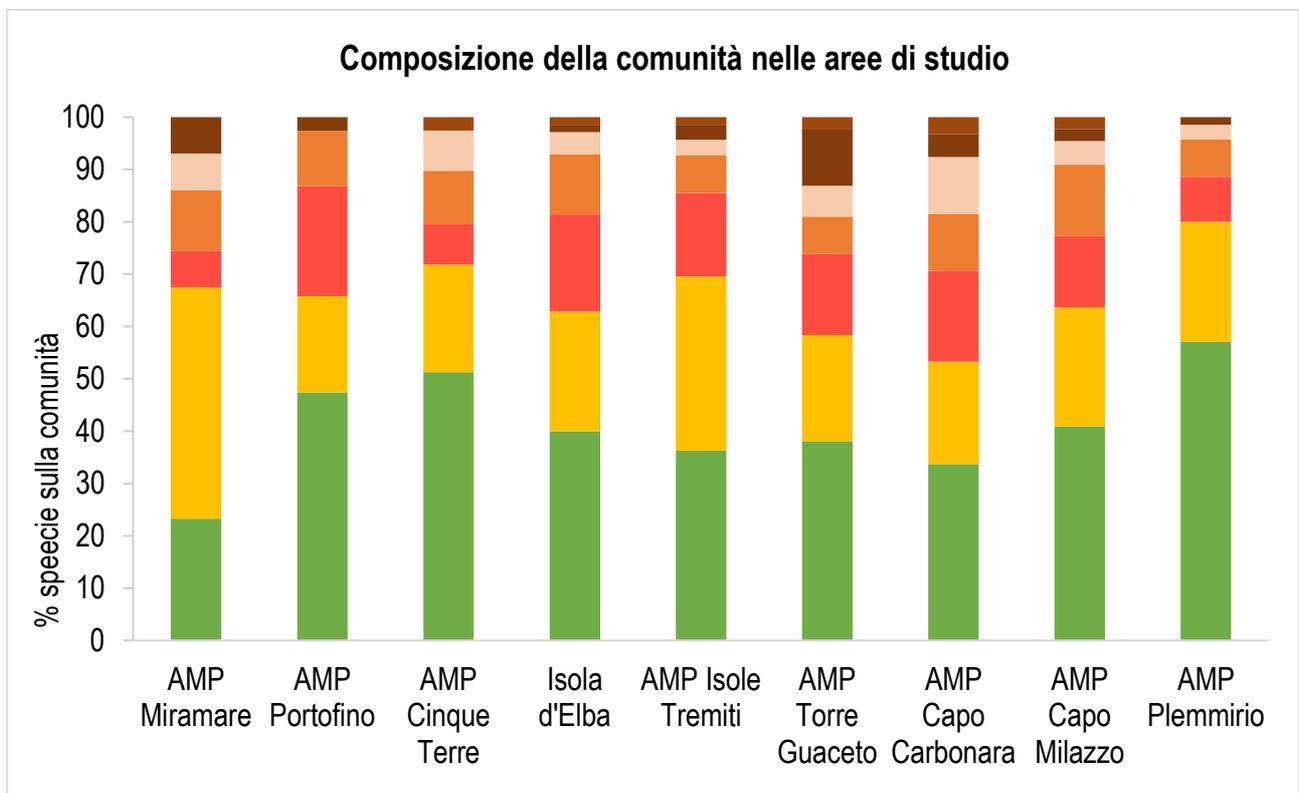
Il confronto della composizione e della struttura delle comunità bentoniche nelle nove aree di studio monitorate nell'ambito dei quattro anni di progetto ha permesso di evidenziare come i maggiori valori di biodiversità, in termini di numero di specie, siano stati rilevati nell'AMP Capo Carbonara (N=92), seguita dall'AMP Torre Guaceto (N=84), dall'AMP Plemmirio (N=70), dall'Isola d'Elba (N=70), dall'AMP Isole Tremiti (N=69), dall'AMP Miramare (N=49), dall'AMP Capo Milazzo (N=44), dall'AMP Cinque Terre (N=39) e dall'AMP Portofino (N=38). I gruppi più rappresentati in termini di numero di specie sono le alghe, i poriferi, gli cnidari e i briozoi (Fig. 54, 55).

I valori dell'indice di diversità di Shannon indicano un elevato stato ecologico per l'AMP Capo Carbonara, mentre un buono stato ecologico per l'AMP Miramare, l'AMP Torre Guaceto e l'AMP Plemmirio. Una moderata qualità ecologica è stata invece rilevata per l'AMP Portofino, l'AMP Cinque Terre (che sono però sotto-campionate rispetto alle altre), l'AMP Capo Milazzo e per l'Isola d'Elba (Fig. 56).

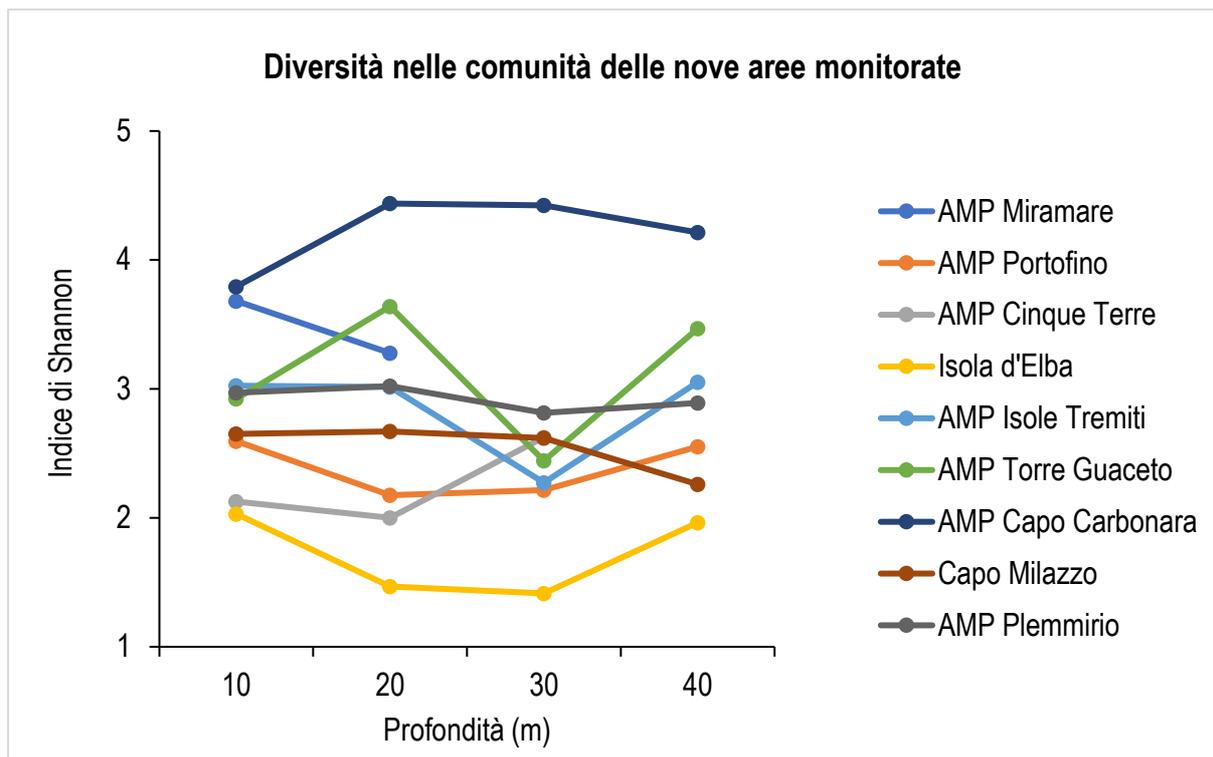
I valori dell'indice di Dominanza confermano un minore stato ecologico delle comunità dell'Isola d'Elba rispetto a tutte le altre aree indagate. Le comunità in quest'area sono, infatti, fortemente dominate da alcune specie e, di conseguenza, risultano essere meno resilienti (Fig. 57). Viceversa, a fronte di un impatto, le comunità delle altre aree di studio che presentano bassi valori di dominanza sono meno esposte al rischio di perdita di biodiversità (nel caso di scomparsa delle specie meno abbondanti) e di perdita di funzioni ecosistemiche (nel caso di scomparsa delle specie cospicue).



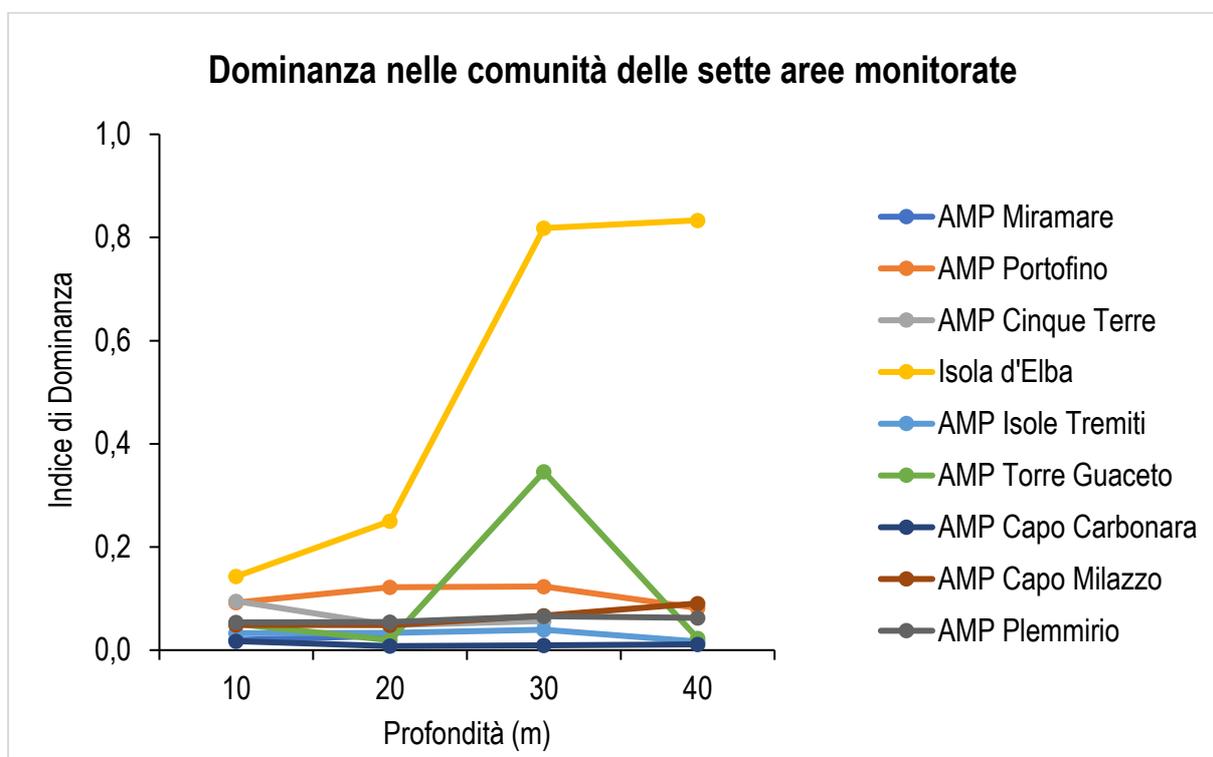
**Figura 54.** Numero di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità bentonica nelle nove aree di studio indagate nei quattro anni di progetto Mare Caldo.



**Figura 55.** Percentuale di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità bentonica nelle nove aree di studio indagate nei quattro anni di progetto Mare Caldo .



**Figura 56.** Grafico dell'andamento dell'Indice di Shannon lungo il gradiente batimetrico nelle nove aree monitorate.



**Figura 57.** Grafico dell'andamento dell'Indice di Dominanza lungo il gradiente batimetrico nelle nove aree monitorate.

## MORTALITÀ DELLE SPECIE TARGET

Nel corso dei monitoraggi condotti nei quattro anni del progetto Mare Caldo in nessuna delle aree di studio sono stati rilevati eventi eccezionali di moria di massa di specie target riconducibili ad anomalie termiche verificatesi dal 2020 al 2023.

Tuttavia, per ogni area di studio, l'analisi dei dati sulle colonie (o individui) che mostravano segni di necrosi o sbiancamento ha permesso di stabilire quali siano le specie maggiormente colpite dalle anomalie termiche e il relativo grado di impatto (i.e. basso, moderato, severo).

### AMP Capo Milazzo

I dati sul monitoraggio della mortalità delle specie target nell'AMP Capo Milazzo (Tab. 13), hanno evidenziato alcuni effetti negativi dell'innalzamento delle temperature. Gli organismi più sensibili sono risultati le diverse specie di gorgonie (i.e., *Eunicella cavolini*, *Eunicella singularis*, *Paramuricea clavata*) che in quest'area di studio formano ricchi popolamenti. Queste sono apparse abbondantemente coperte dalla mucillagine durante i monitoraggi nel mese di giugno 2023, che in alcuni casi arrivava a coprire il 30-40% delle colonie.

Un altro importante segnale attribuibile agli effetti dell'innalzamento della temperatura è relativo alle alghe corallinacee incrostanti per le quali, in 3 dei 4 siti monitorati tra i 20 m e i 35 m di profondità, è stato osservato uno sbiancamento che varia tra il 10% e il 30%. Segni di sbiancamento (ca. 5%), seppur di minore entità, sono stati inoltre osservati anche sul madreporario *Astroides calycularis* in due siti su quattro.

**Tabella 13.** Risultati del monitoraggio della mortalità delle specie target nell'AMP Capo Milazzo. Il grado d'impatto è valutato in base alla percentuale di colonie riportanti segnali di mortalità: grado di impatto basso (B) = 10-30%; moderato (M) = 30-60%; severo (S) = 60%.

Sito	Specie	prof (m)	N° colonie impattate	N° colonie non impattate	% colonie impattate	Grado di impatto
Scoglio della Portella	<i>Eunicella cavolini</i>	20	5	30	14	B
Scoglio della Portella	<i>Eunicella cavolini</i>	30	3	17	15	B
Secca di Ponente dir N/O	<i>Eunicella cavolini</i>	30	10	3	77	S
Secca di Ponente dir N/O	<i>Eunicella cavolini</i>	40	3	5	38	M
Secca di Ponente dir S	<i>Eunicella cavolini</i>	30	5	13	28	B
Secca di Ponente dir S	<i>Eunicella cavolini</i>	40	7	25	22	B
Secca di Levante	<i>Eunicella cavolini</i>	30	14	6	70	S
Scoglio della Portella	<i>Eunicella singularis</i>	20	14	11	56	M
Scoglio della Portella	<i>Eunicella singularis</i>	30	5	4	56	M
Secca di Ponente dir N/O	<i>Eunicella singularis</i>	30	33	15	69	M
Secca di Ponente dir N/O	<i>Eunicella singularis</i>	40	0	3	0	B
Secca di Ponente dir S	<i>Eunicella singularis</i>	30	20	80	20	B

Secca di Ponente dir S	<i>Eunicella singularis</i>	40	10	90	10	B
Secca di Levante	<i>Eunicella singularis</i>	16	3	6	33	M
Secca di Levante	<i>Eunicella singularis</i>	30	40	30	57	M
Scoglio della Portella	<i>Paramuricea clavata</i>	40	40	60	40	M
Scoglio della Portella	<i>Paramuricea clavata</i>	30	45	55	45	M
Secca di Ponente dir N/O	<i>Paramuricea clavata</i>	30	16	25	39	M
Secca di Ponente dir N/O	<i>Paramuricea clavata</i>	40	43	45	49	M
Secca di Ponente dir S	<i>Paramuricea clavata</i>	30	17	83	17	B
Secca di Ponente dir S	<i>Paramuricea clavata</i>	40	8	92	8	B

Sito	Specie	prof (m)	Area impattata (cm)	Area non impattata (cm)	% area impattata	Grado di impatto
Scoglio della Portella	Alghe corallinacee incr.	23	15	90	10	B
Secca di Ponente dir S	Alghe corallinacee incr.	35	30	70	30	B
Secca di Levante	Alghe corallinacee incr.	20	25	85	25	B
Scoglio della Portella	<i>Astroides calycularis</i>	15	0	95	0	B
Secca di Ponente dir S	<i>Astroides calycularis</i>	18	5	95	5	B
Secca di Levante	<i>Astroides calycularis</i>	15	5	95	5	B

## AMP Isole Tremiti

I dati sul monitoraggio della mortalità delle specie target nell'AMP Isole Tremiti (Tab. 14) hanno evidenziato un generale basso o moderato impatto attribuibile agli effetti dell'innalzamento delle temperature su alcune specie più vulnerabili. Tra le specie che hanno mostrato i maggiori segni di necrosi nel mese di settembre 2023 vi sono le gorgonie *Eunicella cavolini* e *Paramuricea clavata*, che formano ricchi popolamenti tra i 30 m e i 40 m di profondità.

Segnali attribuibili agli effetti dell'innalzamento della temperatura sono stati inoltre osservati sulla specie di corallo mediterraneo *Cladocora caespitosa* e sulla spugna *Petrosia ficiformis*. Infine, un basso grado di impatto è stato registrato per le alghe corallinacee incrostanti, con il 23% di superficie sbiancata. Tra i risultati positivi sono da evidenziare quelli relativi al monitoraggio della specie di corallo solitario *Balanophyllia europaea*, per la quale nessuno degli individui osservati (ca. 40) presentava segni di sbiancamento o necrosi.

**Tabella 14.** Risultati del monitoraggio della mortalità delle specie target nell'AMP Isole Tremiti. Il grado d'impatto è valutato in base alla percentuale di colonie riportanti segnali di mortalità: grado di impatto basso (B) = 10-30%; moderato (M) = 30-60%; severo (S) = 60%.

Sito	Specie	prof (m)	N° colonie impattate	N° colonie non impattate	% colonie impattate	Grado di impatto
Punta Secca di San Domino	<i>Balanophyllia europaea</i>	3	0	27	0	B
Secca della Vedova	<i>Balanophyllia europaea</i>	7	0	14	0	B

Punta Secca di San Domino	<i>Cladocora caespitosa</i>	15	1	2	33	M
Secca della Vedova	<i>Cladocora caespitosa</i>	7	0	2	0	B
Secca di Punta Secca	<i>Eunicella cavolini</i>	30	1	10	9	B
Scoglio del Corvo	<i>Eunicella cavolini</i>	40	0	4	0	B
Punta Secca di San Domino	<i>Eunicella cavolini</i>	35	0	2	0	B
Secca del Pigno	<i>Eunicella cavolini</i>	40	33	35	49	M
Secca di Punta Secca	<i>Paramuricea clavata</i>	40	18	80	18	B
Secca di Punta Secca	<i>Paramuricea clavata</i>	30	34	65	34	M
Secca del Pigno	<i>Paramuricea clavata</i>	40	13	55	19	B
Secca di Punta Secca	<i>Petrosia ficiformis</i>	12	6	11	35	M

Sito	Specie	prof (m)	% area impattata (cm2)	% area non impattata (cm2)	% area impattata	Grado di impatto
Scoglio del Corvo	<i>Lithophyllum stictiforme</i>	40	10	50	17	B
Scoglio del Corvo	<i>Lithophyllum stictiforme</i>	40	10	30	25	B
Punta Secca di San Domino	<i>Lithophyllum stictiforme</i>	35	4	20	17	B
Punta Secca di San Domino	<i>Lithophyllum stictiforme</i>	25	20	50	29	B

### Confronto delle aree monitorate nell'ambito dei quattro anni di progetto

Nell'ambito dei quattro anni di progetto, considerando tutte le nove aree monitorate, indipendentemente dal diverso livello di protezione e dalla diversa latitudine, sono sempre stati osservati fenomeni di mortalità su colonie animali e organismi vegetali in tutte le aree di studio. Per la specie *Balanophyllia europea* il maggior grado di impatto è stato registrato nell'AMP Torre Guaceto nel 2021 (Fig. 58). L'AMP Capo Carbonara è risultata, invece, l'area dove sono stati rilevati i maggiori segni di sofferenza sulle colonie del madreporario *Cladocora caespitosa* nel 2021, quando tutte le colonie riportavano segni di sbiancamento o necrosi (Fig. 58). Sempre in quest'area sono stati rilevati i maggiori segni di impatto per le colonie di *Paramuricea clavata* (Fig. 59). Per le specie *Eunicella cavolini* ed *Eunicella singularis*, invece, la maggior percentuale di impatto è stata osservata nell'AMP Capo Milazzo nel 2023 (Fig. 59). Per quanto riguarda le alghe calcaree incrostanti, i maggiori impatti sono stati osservati nell'AMP Capo Carbonara nel 2021, all'Isola d'Elba nel 2021 e nell'AMP Torre Guaceto sempre nel 2021 (Fig. 60).

Ovviamente i dati provenienti dalle diverse aree di studio che sono stati raccolti in anni diversi risultano solo parzialmente confrontabili, ma rappresentano una preziosissima *baseline* per i futuri monitoraggi nel tempo degli effetti del cambiamento climatico.

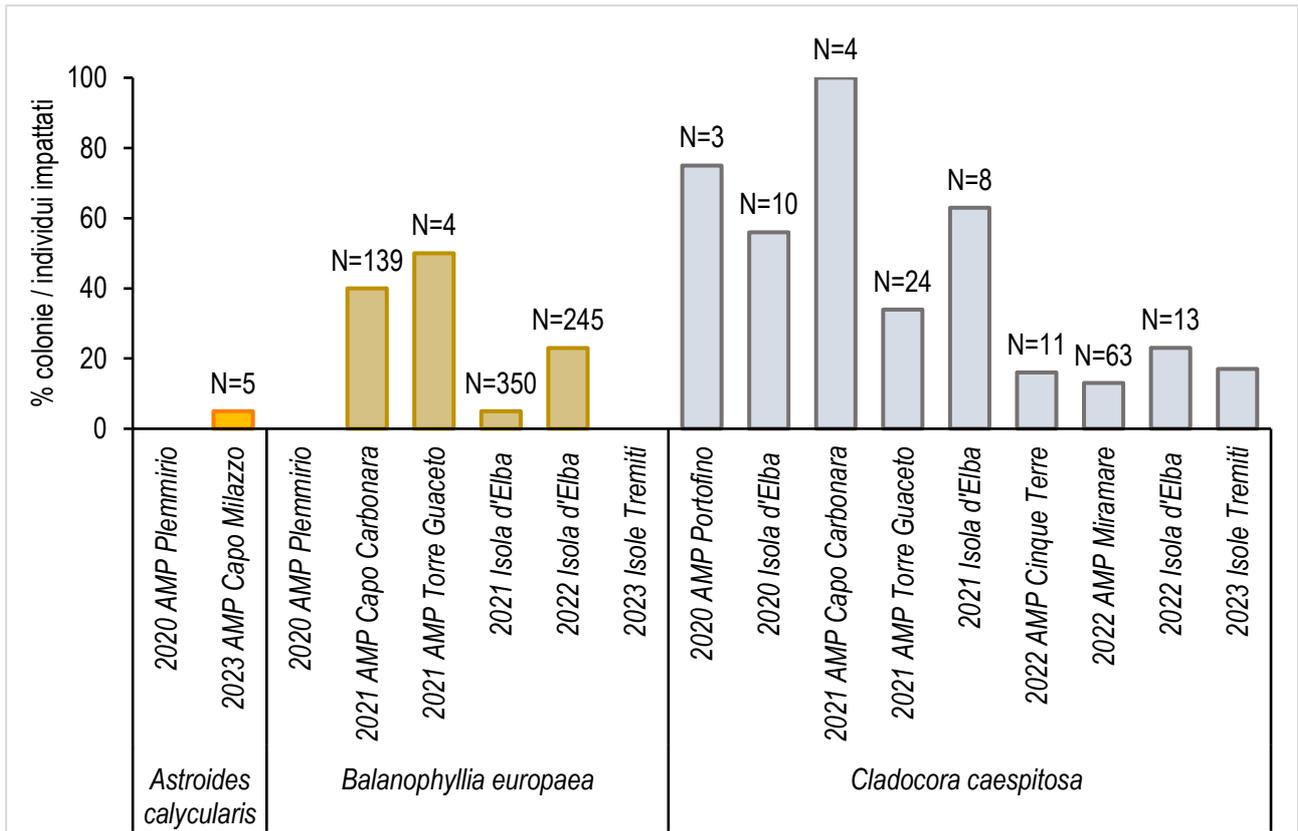


Figura 58. Percentuale (%) di colonie o individui di sclerattinie riportanti segni di sbiancamento.

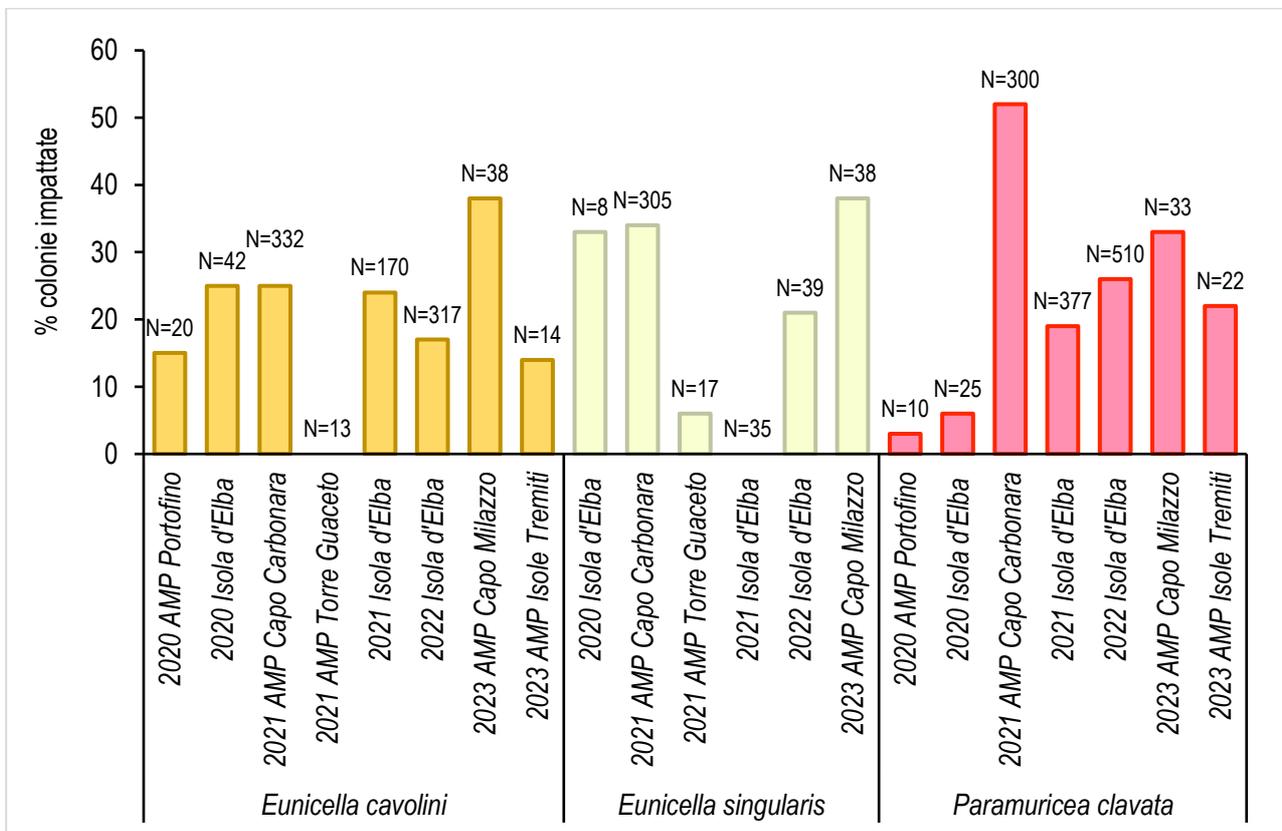
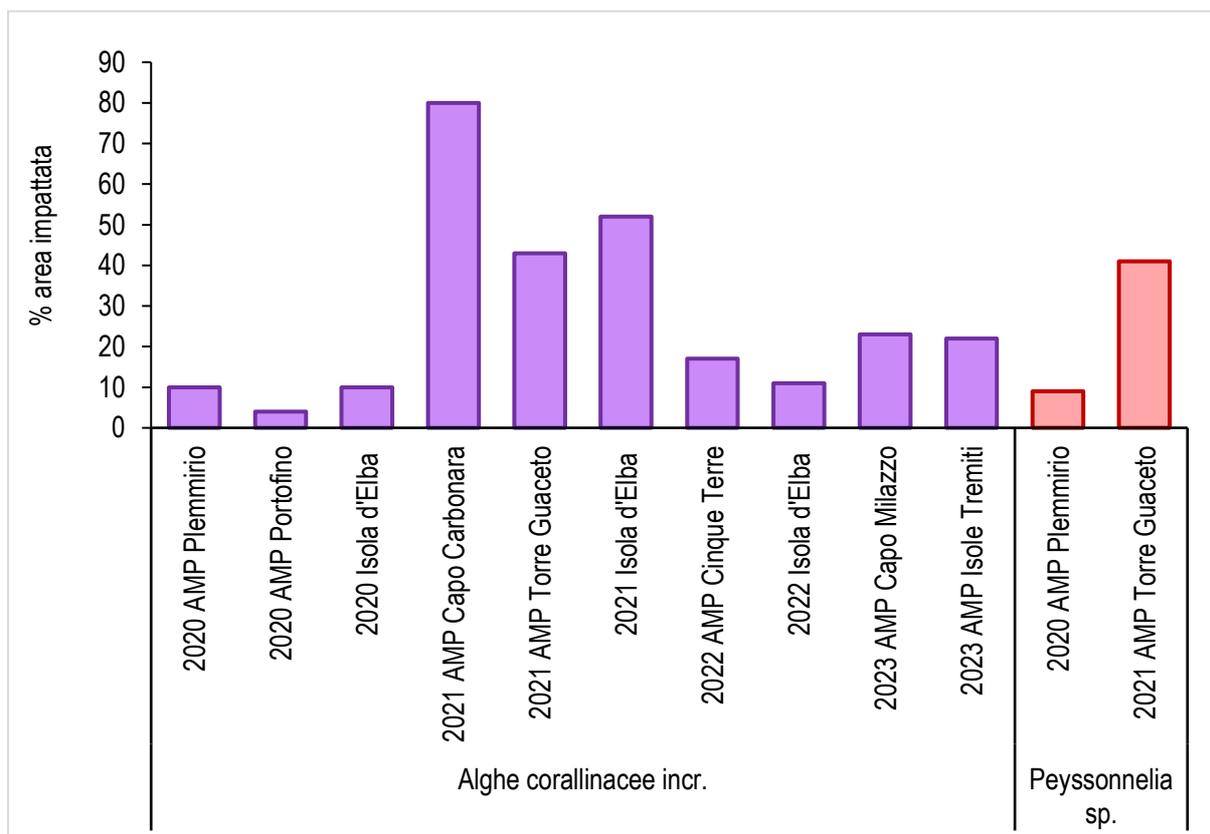


Figura 59. Percentuale (%) di colonie di gorgonie riportanti segni di necrosi.



**Figura 60.** Percentuale (%) di alge corallinacee incrostanti sbiancate nelle nove aree di monitoraggio.

## SPECIE TERMOFILE

### AMP Capo Milazzo

Nell'ambito dei monitoraggi del quarto anno di progetto Mare Caldo nell'AMP Capo Milazzo sono state rilevate un totale di 16 specie termofile, di cui 3 aliene (~ 20%) e 13 native (~ 80%). Tutte le specie aliene rilevate sono alge (Tab. 15).

**Tabella 15.** Dati relativi al monitoraggio sulle specie termofile nell'AMP Capo Milazzo. Lo 'status' indica l'origine delle specie distinta in aliena (A), criptogenica (C), e nativa (N).

Sito	Specie	Prof (m)	Abbondanza (N)	Status
Scoglio della Portella	<i>Axinella cannabina</i>	23	15	N
Secca di Punta Secca	<i>Axinella cannabina</i>	35	1	N
Secca di Ponente N/O	<i>Centrostephanus longispinus</i>	32	6	N
Scoglio della Portella	<i>Ephinephelus costae</i>	15	1	N
Secca di Levante	<i>Ephinephelus costae</i>	27	1	N
Secca di Levante	<i>Ephinephelus costae</i>	13-17	7	N

Scoglio della Portella	<i>Hacelia attenuata</i>	23-26	2	N
Secca di Levante	<i>Hacelia attenuata</i>	20-30	5	N
Secca di Ponente N/O	<i>Hacelia attenuata</i>	32	4	N
Secca di Ponente N/O	<i>Hermodice carunculata</i>	13-18	7	N
Secca di Ponente S	<i>Hermodice carunculata</i>	27	11	N
Secca di Ponente S	<i>Hermodice carunculata</i>	10-20	3	N
Scoglio della Portella	<i>Mycteroperca rubra</i>	20	7	N
Scoglio della Portella	<i>Mycteroperca rubra</i>	10-15	3	N
Secca di Levante	<i>Mycteroperca rubra</i>	10-20	6	N
Secca di Levante	<i>Mycteroperca rubra</i>	20-10	13	N
Secca di Ponente N/O	<i>Mycteroperca rubra</i>	15	4	N
Secca di Ponente S	<i>Mycteroperca rubra</i>	15	13	N
Secca di Ponente S	<i>Mycteroperca rubra</i>	25	4	N
Scoglio della Portella	<i>Ophidiaster ophidianus</i>	10-18	3	N
Scoglio della Portella	<i>Ophidiaster ophidianus</i>	25-30	2	N
Secca di Levante	<i>Ophidiaster ophidianus</i>	20-23	4	N
Scoglio della Portella	<i>Sparisoma cretense</i>	10	15	N
Secca di Levante	<i>Sparisoma cretense</i>	10-20	3	N
Secca di Levante	<i>Sparisoma cretense</i>	25-30	3	N
Secca di Ponente S	<i>Sparisoma cretense</i>	9	3	N
Scoglio della Portella	<i>Sphyaena viridensis</i>	10	3	N
Secca di Levante	<i>Sphyaena viridensis</i>	27	2	N
Scoglio della Portella	<i>Thalassoma pavo</i>	3	4	N
Scoglio della Portella	<i>Thalassoma pavo</i>	20	1	N
Scoglio della Portella	<i>Thalassoma pavo</i>	10-15	34	N
Secca di Levante	<i>Thalassoma pavo</i>	10-20	2	N
Secca di Levante	<i>Thalassoma pavo</i>	20-30	4	N
Secca di Ponente N/O	<i>Thalassoma pavo</i>	13	5	N
Secca di Ponente S	<i>Thalassoma pavo</i>	10-20	circa 50	N
Scoglio della Portella	<i>Tricleocarpa fragilis</i>	15	1	N

Sito	Specie	prof (m)	Abbondanza (1,2,3)	Status
Scoglio della Portella	<i>Asparagopsis armata</i>	15-20	2	A
Secca di Levante	<i>Asparagopsis armata</i>	13	1	A
Secca di Levante	<i>Asparagopsis armata</i>	21	3	A
Secca di Ponente N/O	<i>Asparagopsis armata</i>	13	2	A
Secca di Ponente S	<i>Asparagopsis armata</i>	30	2	A
Secca di Ponente S	<i>Asparagopsis armata</i>	40	1	A
Scoglio della Portella	<i>Astroides calycularis</i>	3	1	N
Scoglio della Portella	<i>Astroides calycularis</i>	15	1	N
Scoglio della Portella	<i>Astroides calycularis</i>	23	1	N
Scoglio della Portella	<i>Astroides calycularis</i>	30	1	N
Secca di Levante	<i>Astroides calycularis</i>	25	2	N
Secca di Ponente N/O	<i>Astroides calycularis</i>	18	3	N
Secca di Ponente N/O	<i>Astroides calycularis</i>	32	1	N

Secca di Ponente S	<i>Astroides calycularis</i>	15	2	N
Scoglio della Portella	<i>Caulerpa cylindracea</i>	4	1	A
Scoglio della Portella	<i>Caulerpa cylindracea</i>	10	1	A
Scoglio della Portella	<i>Caulerpa cylindracea</i>	15	2	A
Scoglio della Portella	<i>Caulerpa cylindracea</i>	20	2	A
Secca di Levante	<i>Caulerpa cylindracea</i>	13	2	A
Secca di Levante	<i>Caulerpa cylindracea</i>	30	2	A
Secca di Ponente N/O	<i>Caulerpa cylindracea</i>	13	1	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa cylindracea</i>	10	1	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa cylindracea</i>	11	1	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa cylindracea</i>	20	1	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa cylindracea</i>	30	2	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa cylindracea</i>	40	2	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	7	1	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	10	2	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	19	3	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	24	3	A
Scoglio della Portella	<i>Caulerpa taxifolia</i>	20	1	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa taxifolia</i>	13	1	A
Secca di Ponente S	<i>Caulerpa taxifolia</i>	18	1	A
Scoglio della Portella	<i>Psuedochlorodesmis furcellata</i>	36	1	N
Secca di Ponente S	<i>Psuedochlorodesmis furcellata</i>	40	1	N

## AMP Isole Tremiti

Nell'ambito dei monitoraggi del quarto anno di progetto Mare Caldo nell'AMP Isole Tremiti sono state rilevate un totale di 12 specie termofile, di cui 2 aliene (~ 20%) e 10 native (~ 80%). Tutte le specie aliene rilevate sono alghe (Tab. 16).

**Tabella 16.** Dati relativi al monitoraggio sulle specie termofile all'Isola d'Elba. Lo 'status' indica l'origine delle specie distinta in aliena (A), criptogenica (C), e nativa (N).

Sito	Specie	Prof (m)	Abbondanza (N)	Status
Secca di Punta Secca	<i>Axinella cannabina</i>	35	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Axinella cannabina</i>	27	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Axinella cannabina</i>	37	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Axinella cannabina</i>	40	10	N
Scoglio del Corvo	<i>Axinella cannabina</i>	12	9	N
Scoglio del Corvo	<i>Axinella cannabina</i>	24	4	N
Scoglio del Corvo	<i>Axinella cannabina</i>	20	5	N
Secca della Vedova	<i>Axinella cannabina</i>	30	6	N
Secca della Vedova	<i>Axinella cannabina</i>	30	5	N
Secca della Vedova	<i>Axinella cannabina</i>	23	20	N

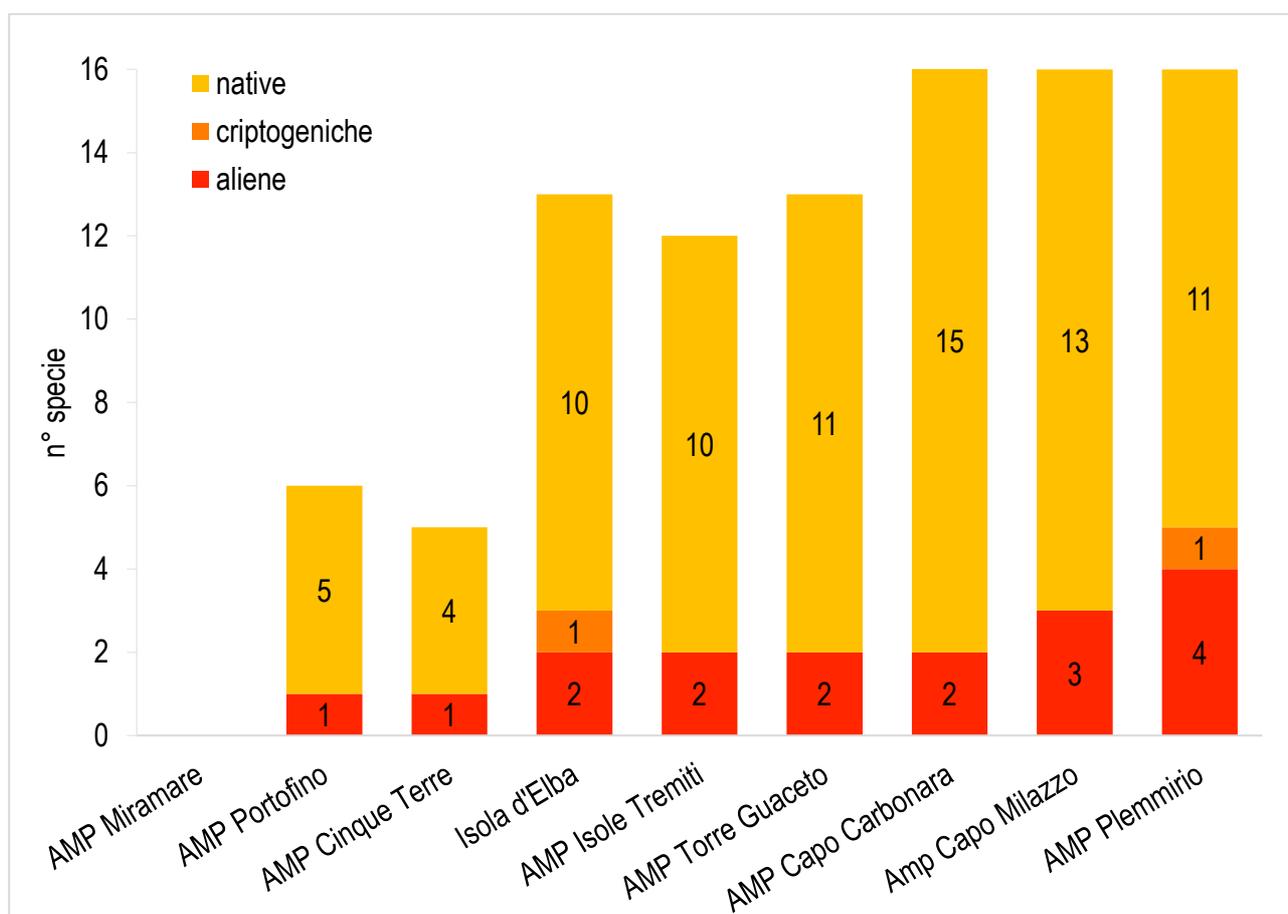
Secca della Vedova	<i>Axinella cannabina</i>	21	3	N
Scoglio del Corvo	<i>Centrostephanus longispinus</i>	42	1	N
Secca di Punta Secca	<i>Hacelia attenuata</i>	30	1	N
Secca di Punta Secca	<i>Hacelia attenuata</i>	28	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Hacelia attenuata</i>	30	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Hacelia attenuata</i>	37	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Hacelia attenuata</i>	40	3	N
Scoglio del Corvo	<i>Hacelia attenuata</i>	20	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Hacelia attenuata</i>	16	1	N
Punta Secca di San Domino	<i>Hacelia attenuata</i>	26	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Hermodice carunculata</i>	24	1	N
Secca della Vedova	<i>Sparisoma cretense</i>	15	1	N
Secca di Punta Secca	<i>Sphyraena viridensis</i>	14	20	N
Secca di Punta Secca	<i>Thalassoma pavo</i>	14	4	N
Secca di Punta Secca	<i>Thalassoma pavo</i>	10	13	N
Secca di Punta Secca	<i>Thalassoma pavo</i>	7	5	N
Secca di Punta Secca	<i>Thalassoma pavo</i>	5	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Thalassoma pavo</i>	12	4	N
Punta Secca di San Domino	<i>Thalassoma pavo</i>	18	1	N
Punta Secca di San Domino	<i>Thalassoma pavo</i>	9	1	N
Punta Secca di San Domino	<i>Thalassoma pavo</i>	6	1	N
Punta Secca di San Domino	<i>Thalassoma pavo</i>	3	12	N
Secca della Vedova	<i>Thalassoma pavo</i>	15	1	N
Secca della Vedova	<i>Thalassoma pavo</i>	22	2	N
Secca della Vedova	<i>Thalassoma pavo</i>	5	6	N

Sito	Specie	Prof (m)	Abbondanza (1,2,3)	Status
Secca di Punta Secca	<i>Acrosyphnhyton purpuriferum</i>	35	1	N
Secca di Punta Secca	<i>Acrosyphnhyton purpuriferum</i>	30	2	N
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	24	3	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	19	3	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	10	2	A
Secca di Punta Secca	<i>Caulerpa cylindracea</i>	7	1	A
Secca della Vedova	<i>Caulerpa cylindracea</i>	26	2	A
Secca della Vedova	<i>Caulerpa cylindracea</i>	23	3	A
Secca della Vedova	<i>Caulerpa cylindracea</i>	10	2	A
Secca della Vedova	<i>Caulerpa cylindracea</i>	5	2	A
Scoglio del Corvo	<i>Caulerpa cylindracea</i>	35	3	A
Scoglio del Corvo	<i>Caulerpa cylindracea</i>	20	3	A
Punta Secca di San Domino	<i>Caulerpa cylindracea</i>	25	3	A
Secca di Punta Secca	<i>Pennaria disticha</i>	10	1	A
Secca di Punta Secca	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	30	2	N
Secca di Punta Secca	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	21	1	N
Secca di Punta Secca	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	10	1	N
Secca della Vedova	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	30	2	N

Secca della Vedova	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	21	1	N
Scoglio del Corvo	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	12	1	N
Punta Secca di San Domino	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	25	2	N
Punta Secca di San Domino	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>	11	2	N
Secca di Punta Secca	<i>Sargassum vulgaris</i>	10	2	N

### Confronto delle aree monitorate nell'ambito dei quattro anni di progetto

Nell'ambito dei quattro anni di progetto, considerando tutte le nove aree monitorate, i monitoraggi mostrano un generale gradiente latitudinale con un aumento del numero di specie termofile procedendo da nord verso sud. Una maggiore presenza si osserva, infatti, nelle AMP Capo Carbonara, Plemmirio e Capo Milazzo, dove naturalmente abbondano le specie native termofile, ma sono anche molte le specie aliene provenienti dal canale di Suez e dall'Atlantico. A queste tre aree seguono l'AMP Torre Guaceto, l'Isola d'Elba, l'AMP Isole Tremiti, l'AMP Portofino e l'AMP Cinque Terre. Nell'AMP Miramare, area di studio più a nord, non sono state rilevate specie termofile (Fig. 61).



**Figura 61.** Numero di specie termofile aliene, criptogeniche e native rilevate in ogni area di studio.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Al fine di analizzare gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini sono necessari monitoraggi a lungo termine. Le indagini ad ampia scala temporale e spaziale possono, infatti, essere utilizzate per valutare le relazioni tra i fattori ambientali e i cambiamenti nelle comunità biologiche (Doney et al. 2012). Nell'ambito del progetto Mare Caldo ci si è posti l'obiettivo di monitorare l'andamento delle temperature lungo la colonna d'acqua, fino a 40 m di profondità, al fine di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle comunità bentoniche di scogliera rocciosa.

Nei primi quattro anni di progetto sono stati analizzati i dati di temperatura disponibili per le dodici aree di studio facenti parte della rete, che hanno permesso di evidenziare diversi periodi particolarmente caldi. L'anno in cui sono stati registrati i più alti valori massimi di temperatura è risultato il 2022, in particolare nei mesi di luglio e agosto. Nell'AMP Portofino sono state registrate temperature massime di 29,6°C a 5 m di profondità nel mese di luglio e di 28,6°C a 5 m di profondità nel mese di agosto, oltre 2°C in più rispetto alle temperature massime degli stessi mesi negli anni precedenti (2021) e successivi (2023). All'Isola d'Elba sono state registrate temperature massime di 29°C a 5 m di profondità, sia nel mese di luglio sia nel mese di agosto 2022, che corrispondono a circa 3°C in più rispetto alle temperature massime degli stessi mesi negli anni precedenti (2021) e di circa 1°C in più rispetto all'anno successivo (2023). Nello stesso periodo anche nell'AMP Isole di Ventotene e S. Stefano e nell'AMP Capo Carbonara state registrate temperature massime di circa 29°C a 5 m di profondità (1°C in più rispetto agli anni precedenti, con un picco di 30°C a Capo Carbonara a 5 m nel mese di agosto 2022). Tuttavia, affinché questi 'periodi particolarmente caldi' possano essere definiti anomalie termiche, e non il risultato della normale variabilità stagionale, sarà necessario disporre di ulteriori dati di temperatura continui nel tempo per i prossimi anni, che permetteranno il confronto tra i valori di temperatura da un anno all'altro su una lunga scala temporale.

I dati globali della temperatura media dell'aria superficiale registrati regolarmente nell'ambito del Programma di Osservazione della Terra dell'Unione Europea (Copernicus, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) dimostrano come il 2023 sia stato l'anno solare più caldo mai registrato dal 1850, soprattutto per quanto riguarda le stagioni estive e autunnali. Anche le temperature medie globali della superficie del mare (SST) sono rimaste persistentemente e insolitamente elevate, raggiungendo livelli record per il periodo dell'anno da aprile a dicembre (<https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>; aggiornato al 09/01/2024). Nell'ambito dei quattro anni del progetto Mare Caldo, nonostante i picchi maggiori di temperatura siano stati registrati nella stagione estiva del 2022, l'andamento delle temperature dei mari italiani nel 2023 è coerente con l'andamento globale delle temperature del mare. Ad esempio, i valori medi primaverili ed estivi nelle aree dell'Isola d'Elba, delle AMP Portofino, Capo Carbonara e Plemmirio sono risultati tendenzialmente maggiori nel 2023 rispetto agli anni precedenti. Particolarmente caldi, a livello globale, sono risultati inoltre i mesi autunnali del 2023. Sarà quindi estremamente

interessante l'analisi dei dati autunnali/invernali del 2023/2024 che verrà condotta nell'ambito del quinto anno del progetto Mare Caldo.

Dal punto di vista operativo, i dati di temperatura raccolti durante questi primi quattro anni di progetto dalle dodici stazioni della rete hanno mostrato come siano stati frequenti i problemi tecnici legati ai sensori utilizzati (perdita a causa delle mareggiate, spegnimento imprevisto, anomalie tecniche, etc.). A causa di questi problemi tecnici la serie di dati di temperatura è risultata, talvolta, incompleta e interrotta, rendendo difficile il calcolo delle temperature medie mensili e stagionali. Sarà quindi auspicabile in futuro, per la buona riuscita del progetto, cercare di ridurre al minimo i problemi tecnici dei sensori (ad esempio aumentando gli interventi di manutenzione e di cambio batteria o addirittura ipotizzando una seconda stazione di monitoraggio per ogni area di studio).

Al fine di valutare quali siano gli effetti dell'aumento delle temperature sugli ecosistemi di scogliera, nell'ambito dei primi quattro anni del progetto Mare Caldo sono state condotte attività di monitoraggio biologico in nove aree di studio: AMP Miramare, AMP Portofino, AMP Cinque Terre, Isola d'Elba, AMP Isole Tremiti, AMP Torre Guaceto, AMP Capo Carbonara, AMP Capo Milazzo, e AMP Plemmirio. Le attività di rilevamento subacqueo tramite transetti bionomici, in particolare, hanno permesso di caratterizzare la struttura e la composizione delle comunità bentoniche di scogliera nelle aree di studio. Le aree a maggiore biodiversità sono risultate l'AMP Capo Carbonara (92 specie) e l'AMP Torre Guaceto (84 specie), seguite dall'AMP Plemmirio (70 specie), dall'Isola d'Elba (70 specie), dall'AMP Isole Tremiti (N=69), dall'AMP Miramare (49 species), dall'AMP Capo Milazzo (N=44), dall'AMP Cinque Terre (39 specie), e dall'AMP Portofino dove è stato rilevato il minor numero di specie (38 specie).

I risultati ottenuti dall'applicazione dell'indice di diversità di Shannon hanno mostrato un elevato stato ecologico ( $3 < H' < 4$ ) per l'AMP Capo Carbonara e l'AMP Miramare, un buono stato ecologico per le AMP Isole Tremiti, Torre Guaceto e Plemmirio ( $H' \sim 3$ ), e un moderato stato ecologico ( $H' \sim 2,5$ ) per l'AMP Portofino, l'AMP Cinque Terre, l'AMP Capo Milazzo e l'Isola d'Elba. L'indice di Dominanza ha confermato il più basso stato ecologico dell'Isola d'Elba rispetto alle altre aree, evidenziando una bassa resilienza al disturbo delle comunità bentoniche in quest'area. Un basso valore di equitabilità rende una comunità più incline alla perdita di biodiversità (nel caso di scomparsa delle specie meno abbondanti) e di funzionamento dell'ecosistema (nel caso di scomparsa delle specie chiave).

Durante i quattro anni di monitoraggio non sono stati osservati eventi di mortalità di massa paragonabili a quelli verificatisi nel 1990 e nel 2003 (Cerrano et al. 2000; Garrabou et al. 2009). Tuttavia, in tutte le nove aree monitorate sono stati osservati segni di sbiancamento e necrosi delle specie target attribuibili all'effetto del riscaldamento delle acque. Delle nove aree monitorate, l'AMP Miramare situata più a nord è l'area dove sono stati registrati i minori valori di impatto, sia per quanto riguarda le specie target di cnidari sia per le alghe calcaree. Tuttavia, in quest'area sono stati riportati eventi significativi di mortalità di massa del mollusco bivalve *Pinna nobilis*, che ha coinvolto tutte le popolazioni mediterranee di questa specie a partire dal 2018. L'AMP Capo Carbonara e l'Isola d'Elba, nel 2021, e l'AMP Capo

Milazzo nel 2023 sono risultate le aree dove si sono osservati i maggiori impatti sulle gorgonie, verosimilmente dovuti alla presenza di mucillagine che in alcune aree di studio copriva il 30-40% delle colonie. In particolare, per le specie *Eunicella cavolini* e *Eunicella singularis*, in tutte e tre le aree il 20-30% circa delle colonie osservate mostravano segni di necrosi. Per la specie *Paramuricea clavata*, invece, l'AMP Capo Carbonara è risultata nel 2021 l'area dove sono stati osservati i maggiori impatti, con il 50% delle colonie che mostravano segnali di necrosi. Per le alghe calcaree i maggiori segnali di impatto sono stati osservati nell'AMP Capo Carbonara, dove il 65% della superficie monitorata di alghe incrostanti è risultata sbiancata, seguita dall'AMP Torre Guaceto nel 2021, dove il 45% della superficie delle alghe corallinacee incrostanti e di *Peyssonnelia* sp. è risultata sbiancata e in necrosi.

Le analisi condotte sulle specie termofile hanno rivelato un gradiente latitudinale coerente con i dati della temperatura. Nelle AMP più meridionali di Capo Carbonara, Capo Milazzo e Plemmirio è stato registrato il maggiore numero di specie termofile. Le specie termofile autoctone sono naturalmente abbondanti in queste aree; tuttavia, il loro potenziale incremento e la diffusione di specie esotiche potrebbe portare a un impoverimento delle comunità autoctone (Occhipinti-Ambrogi 2007). Diverse specie termofile sono state osservate, inaspettatamente, anche all'Isola d'Elba, nell'AMP di Portofino e nell'AMP Cinque Terre, mentre non sono state osservate specie termofile nell'AMP Miramare.

In conclusione, i risultati del quarto anno del progetto Mare Caldo confermano le osservazioni condotte nell'ambito dei primi tre anni di progetto. Gli effetti del cambiamento climatico e delle anomalie termiche sono evidenti in tutte le aree di monitoraggio, indipendentemente dalla diversa localizzazione geografica, dalla diversa latitudine e dal diverso livello di conservazione. Come già evidenziato, la mitigazione e la corretta gestione delle pressioni locali, anche grazie all'istituzione di aree marine protette, rappresentano le migliori strategie per aumentare la resilienza degli ecosistemi marini costieri. Tuttavia, pur essendo validi strumenti di conservazione, non sono sufficienti a contrastare gli effetti del cambiamento climatico, per i quali sono necessari anche interventi sinergici a livello globale. Per questo motivo risulta fondamentale lo sviluppo di reti di monitoraggio e ricerca a livello internazionale. I risultati ottenuti nei quattro anni di progetto Mare Caldo, e il loro confronto con la rete mediterranea T-MEDNet, evidenziano l'importanza di valutare in maniera sinottica e comparativa gli effetti del riscaldamento globale sugli ecosistemi marini.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Azzola A. & Montefalcone M. (2023) Relazione del terzo anno di progetto (2021-2022). Monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini bentonici di scogliera. Relazione tecnica, DiSTAV, Università di Genova.
- Cerrano C., Bavestrello G., Bianchi C.N., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., et al. (2000) A catastrophic mass-mortality episode of

gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters*, 3(4): 284-293.

Doney S.C., Ruckelshaus M., Emmett Duffy J., Barry J.P., Chan F., English C.A., Galindo H.M., Grebmeier J.M., Hollowed A.B., Knowlton N., et al. (2012) Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 4: 11-37.

Garrabou J., Coma R., Bensoussan N., Bally M., Chevaldonné P., Gigliano D., Diaz D., Harmelin J.G., Gambi M.C., Kersting D., et al. (2009) Mass mortality in northwestern Mediterranean rocky benthic communities: Effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15: 1090–1103.

Montefalcone M. & Azzola A. (2020) Relazione del primo anno di progetto (2019-2020). Monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini bentonici di scogliera. Relazione tecnica, DiSTAV, Università di Genova.

Montefalcone M. & Azzola A. (2022) Relazione del secondo anno di progetto (2020-2021). Monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini bentonici di scogliera. Relazione tecnica, DiSTAV, Università di Genova.

Occhipinti-Ambrogi A. (2007) Global change and marine communities: alien species and climate change. *Marine Pollution Bulletin*, 55(7-9): 342-352.