



GREENPEACE

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

RELAZIONE DEL TERZO ANNO DI PROGETTO MARE CALDO (2021-2022)

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

a cura di

Annalisa Azzola, Monica Montefalcone

Responsabile scientifico: Dr. Monica Montefalcone

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

Genova, marzo 2023

Ringraziamenti

Per la consulenza scientifica si ringrazia il Professore Marco Capello, oceanografo fisico del DiSTAV dell'Università di Genova. Si ringrazia inoltre Cristina Abbate che ha collaborato al progetto nell'ambito della tesi di Laurea Magistrale in Biologia ed Ecologia Marina presso il DiSTAV dell'Università di Genova.

| | |
|--|----|
| INDICE | |
| PROGETTO MARE CALDO | 3 |
| MATERIALI E METODI | 5 |
| AREE DI STUDIO | 5 |
| ATTIVITÀ DI CAMPO | 12 |
| Monitoraggio della temperatura nella colonna d'acqua | 12 |
| Monitoraggio degli ecosistemi di scogliera | 14 |
| ANALISI DEI DATI | 18 |
| Dati di temperatura | 18 |
| Struttura e stato ecologico delle comunità | 19 |
| Cambiamento nel tempo | 20 |
| Mortalità | 21 |
| Specie termofile | 21 |
| RISULTATI E DISCUSSIONI | 22 |
| Temperature | 22 |
| Struttura e stato ecologico delle comunità | 50 |
| Cambiamento nel tempo | 56 |
| Monitoraggio morie di massa | 57 |
| Monitoraggio specie termofile | 62 |
| CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 67 |
| BIBLIOGRAFIA | 70 |

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 impatti 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 undici aree marine protette (AMP) aderenti al progetto: AMP Miramare, AMP Portofino, AMP Cinque Terre, 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.

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 termocline), 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 loggers* nelle aree aderenti al progetto, fatta eccezione per l'AMP Cinque Terre, l'AMP Isole Tremiti, e l'AMP Milazzo dove l'installazione dei sensori è avvenuta nel corso del terzo anno di progetto. Inoltre, sono riportati i risultati delle campagne di monitoraggio condotte, nel terzo anno di progetto Mare Caldo (2021-2022), nell'AMP Cinque Terre, nell'AMP Miramare e all'Isola d'Elba (Fig. 1).



Figura 1. Monitoraggi biologici condotti all'Isola d'Elba nell'ambito del progetto Mare Caldo. Foto di Lorenzo Moscia.

MATERIALI E METODI

AREE DI STUDIO

Nel corso del terzo anno del progetto Mare Caldo (2021-2022) sono stati analizzati i dati di temperatura registrati dai *temperature data loggers* in nove aree situate a diverse latitudini: AMP Miramare, AMP Portofino, Isola d'Elba, AMP Isola dell'Asinara, AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano, AMP Tavolara Punta Coda Cavallo, AMP Torre Guaceto, AMP Capo Carbonara e AMP Plemmirio.

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.

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.

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.

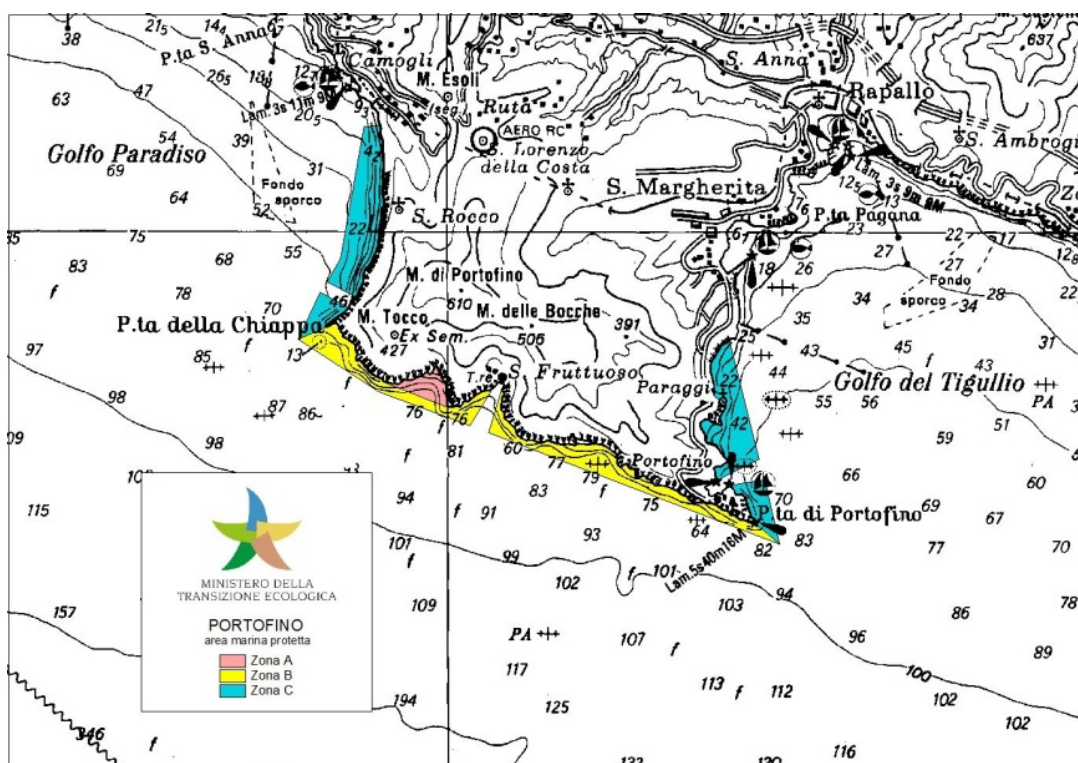


Figura 3. Carta dell'AMP Portofino dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

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 Isola dell'Asinara

L'AMP Isola dell'Asinara (Fig. 4) 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 (<http://www.parcoasinara.org/>).

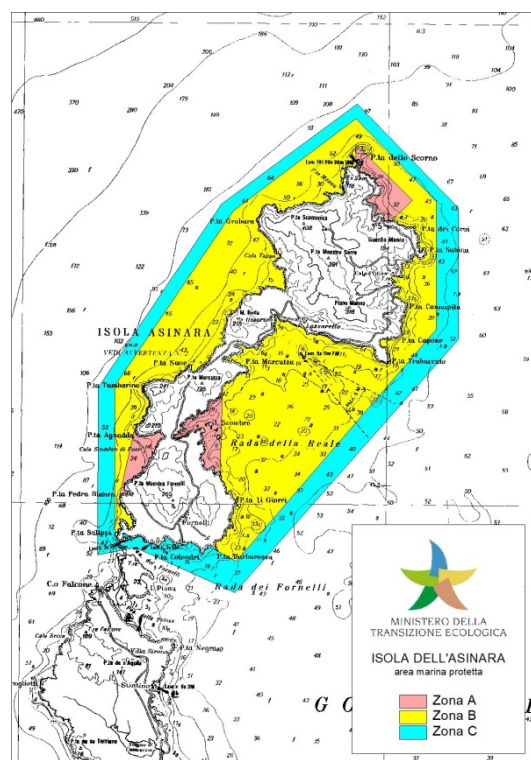


Figura 4. Carta dell'AMP Isola dell'Asinara dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano

L'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano (Fig. 5) 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 (<http://www.parks.it/riserva.marina.ventotene>).

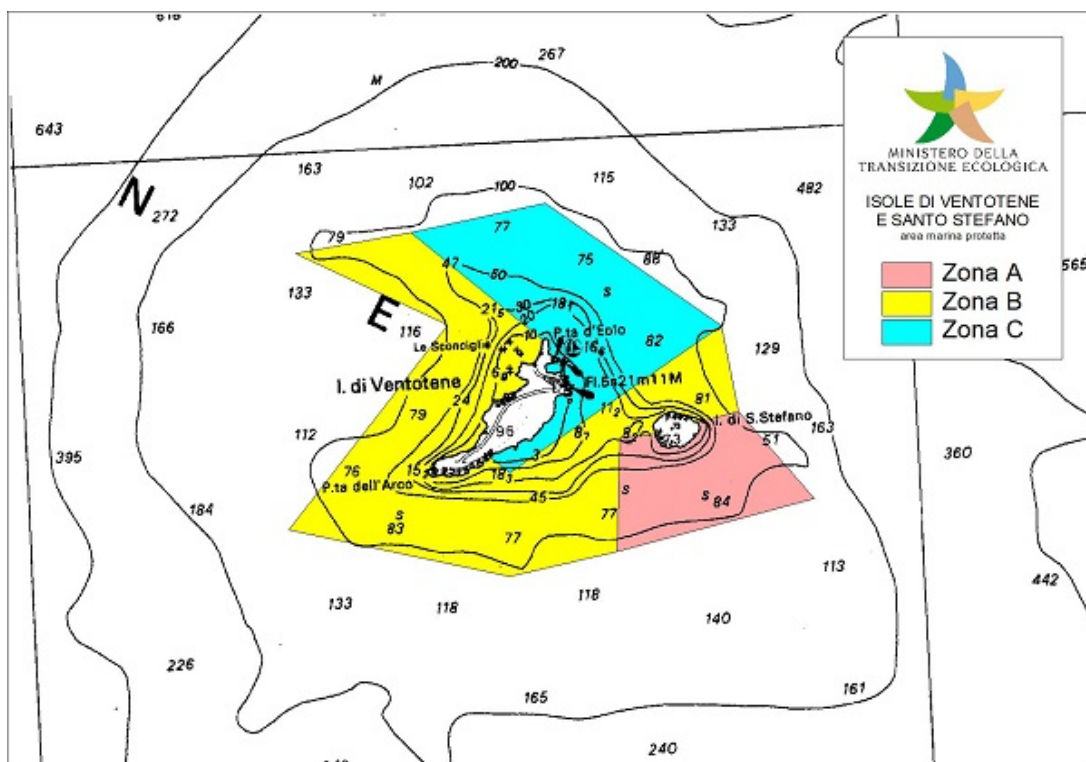


Figura 5. Carta dell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

AMP Tavolara Punta Coda Cavallo

L'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo (Fig. 6) 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, Molarà 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 (<https://www.amptavolara.com/territorio/i-tre-comuni>).

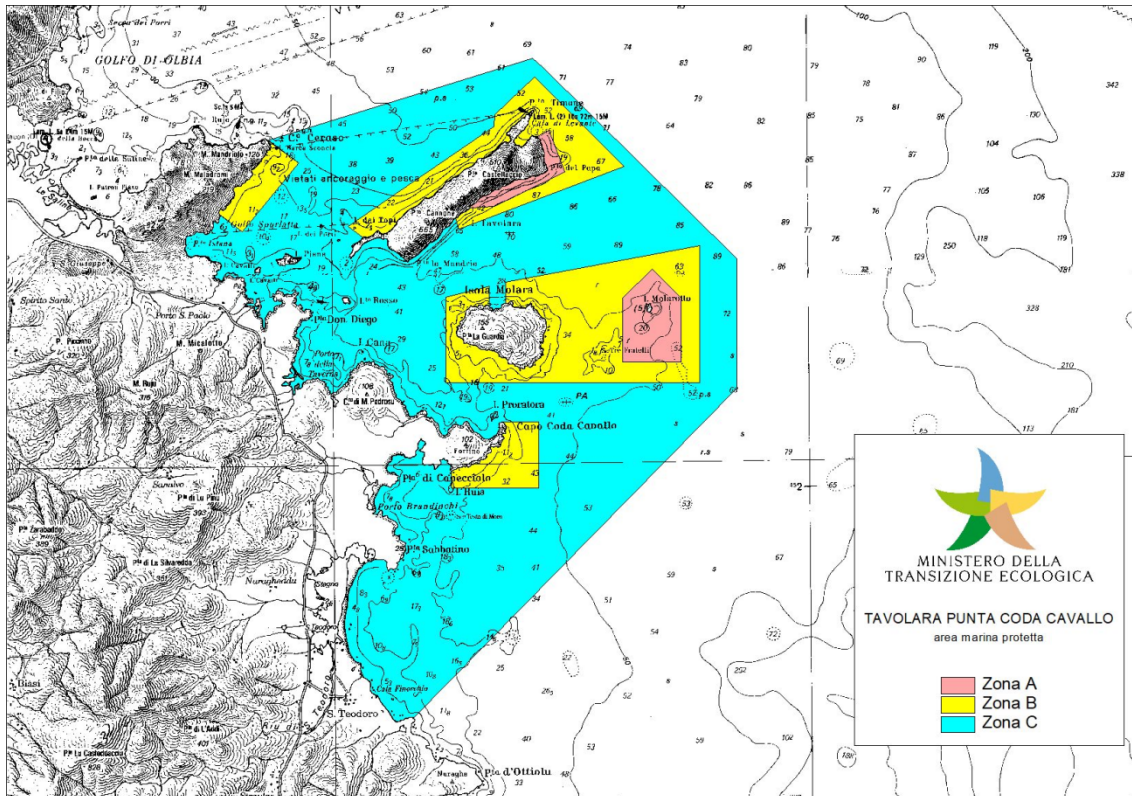


Figura 6. Carta dell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

AMP Torre Guaceto

L'AMP di Torre Guaceto (Fig. 7) 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.

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.

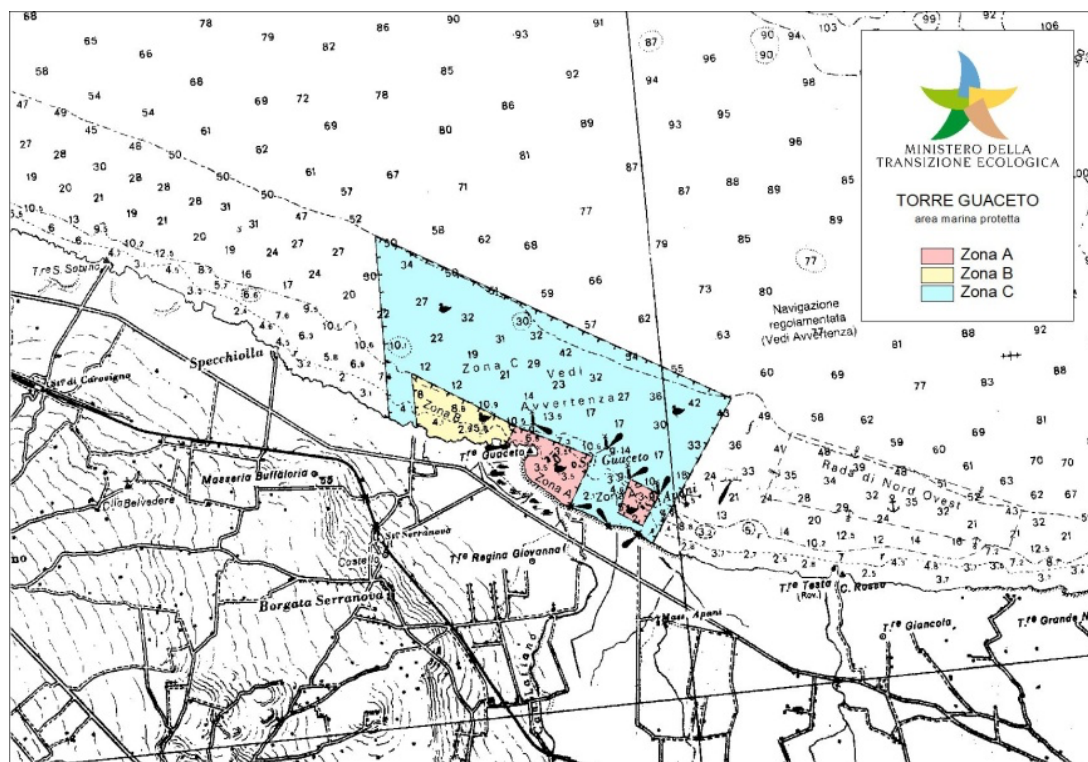


Figura 7. Carta dell'AMP Torre Guaceto dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

AMP Capo Carbonara

L'AMP Capo Carbonara (Fig. 8) 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) (<https://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.

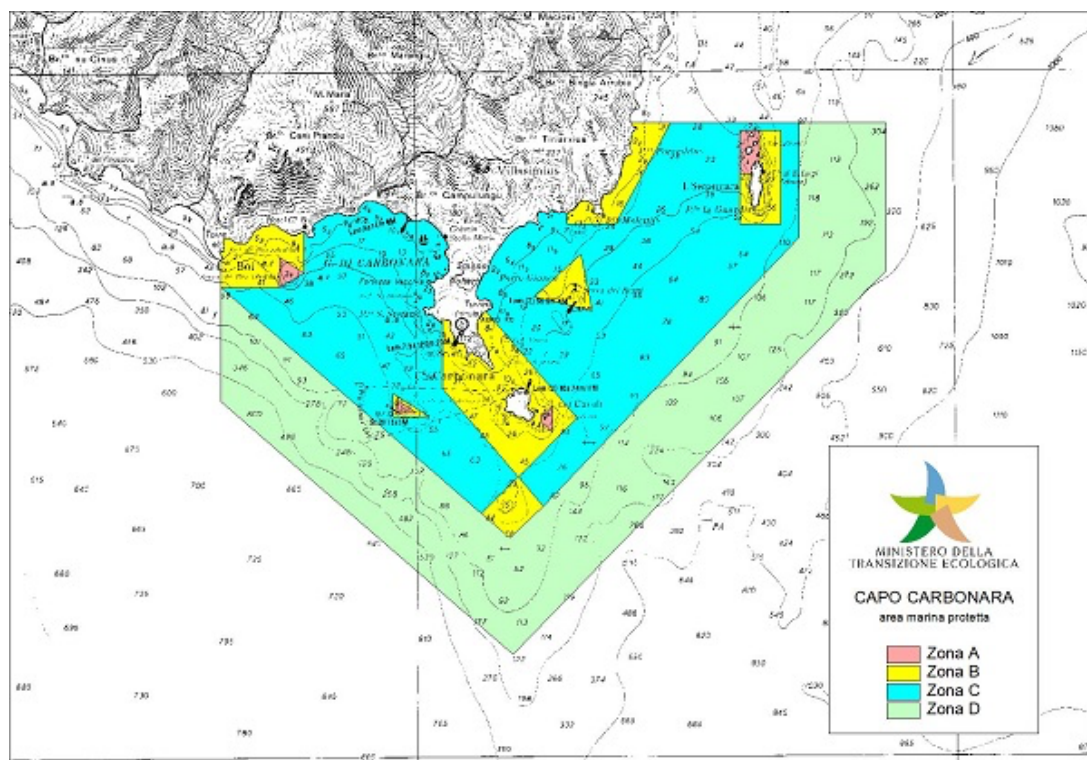


Figura 8. Carta dell'AMP Capo Carbonara dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

AMP Plemmirio

L'AMP Plemmirio (Fig. 9), 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.

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, <https://plemmirio.eu>).

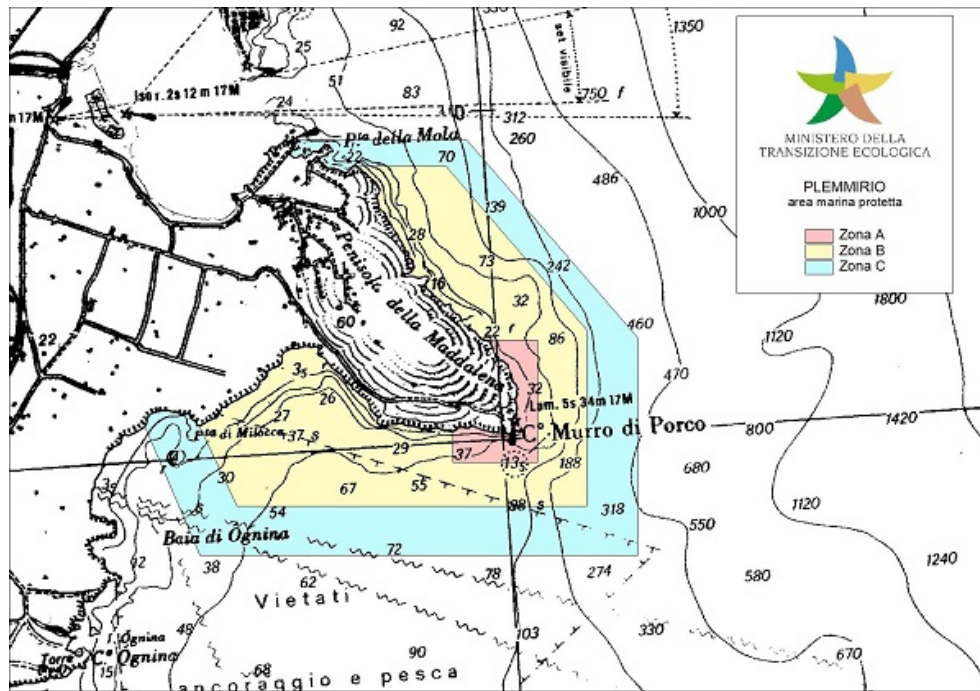


Figura 9. Carta dell'AMP Plemmirio dove sono evidenziate le tre zone a diverso grado di protezione (<https://www.mite.gov.it>).

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 loggers* utilizzati nell'ambito del progetto Mare Caldo sono gli HOBO MX TidbiT 400 (Fig. 10), 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 loggers* (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 loggers* 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 loggers* 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 loggers* 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 loggers* 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. 10). 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 10. I due modelli di *temperature data loggers* 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 loggers*.

| 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 loggers*

L'installazione dei *temperature data loggers* 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 terzo 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 Cinque Terre, nell'AMP Miramare, e all'Isola d'Elba.

Tempistiche

I monitoraggi sono stati condotti prima, durante e dopo la stagione estiva, tra aprile e ottobre 2022. In particolare, nell'AMP Cinque Terre i monitoraggi sono stati condotti il 18 aprile, nell'AMP Miramare nelle giornate dal 22 al 25 maggio, mentre all'Isola d'Elba nelle giornate dal 26 al 28 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. Per l'AMP Cinque Terre, sono stati condotti monitoraggi preliminari in due soli siti. Per l'AMP Miramare, a causa delle caratteristiche morfologiche del fondale, i monitoraggi sono stati condotti in tre diversi siti, uno dei quali ricadente nell'AMP e due in prossimità e ricadenti nella Zona Speciale di Conservazione/Zona di Protezione Speciale (ZPS/ZSC) Trezze di San Pietro e Bardelli; in

ognuno di questi è stata indagata una sola fascia batimetrica. Per l'Isola d'Elba una prima stazione è stata scelta in corrispondenza del sito dove sono stati installati i sensori di rilevamento della temperatura, mentre per le restanti stazioni sono stati ripercorsi i siti già studiati nei due anni precedenti di progetto Mare Caldo e dove si hanno a disposizione dati storici. In particolare:

1. Nell'AMP Cinque Terre i monitoraggi sono stati condotti in due stazioni (Fig. 11): I) Prateria di Monterosso ($44^{\circ}8'16.71''$ N, $9^{\circ}38'27.79''$ E); II) Scoglietto Gaggiato ($44^{\circ}8'2.37''$ N, $9^{\circ}37'59.57''$ E).

2. Nell'AMP Miramare i monitoraggi sono stati condotti in tre stazioni (Fig. 12): I) Castello di Miramare ($45^{\circ}42'07.81''$ N, $13^{\circ}42'07.81''$ E) nell'AMP Miramare; II) Sic Bardelli - Piastre ($45^{\circ}33'0.0''$ N; $13^{\circ}18'0.0''$ E); III) Sic Bardelli - San Pietro ($45^{\circ}36'0.0''$ N; $13^{\circ}21'0.0''$ E), questi ultimi due ricadenti nella ZPS/ZSC Trezze di San Pietro e Bardelli.

3. All'Isola d'Elba i monitoraggi sono stati condotti nelle quattro stazioni già monitorate nell'ambito dei primi due anni di progetto (Fig. 13): I) Formiche della Zanca ($42^{\circ}48'23.51''$ N, $10^{\circ}07'34.74''$ E), dove sono stati installati i sensori; II) Cannelle ($42^{\circ}46'28.98''$ N, $10^{\circ}25'60.00''$ E); III) Scoglietto ($42^{\circ}49'42.84''$ N $10^{\circ}19'55.38''$ E); e IV) Picchi di Pablo (denominato anche Altare, $42^{\circ}43'44.58''$ N, $10^{\circ}25'58.38''$ E). Nelle stazioni II, III, e IV si ha disponibilità di dati storici in letteratura.

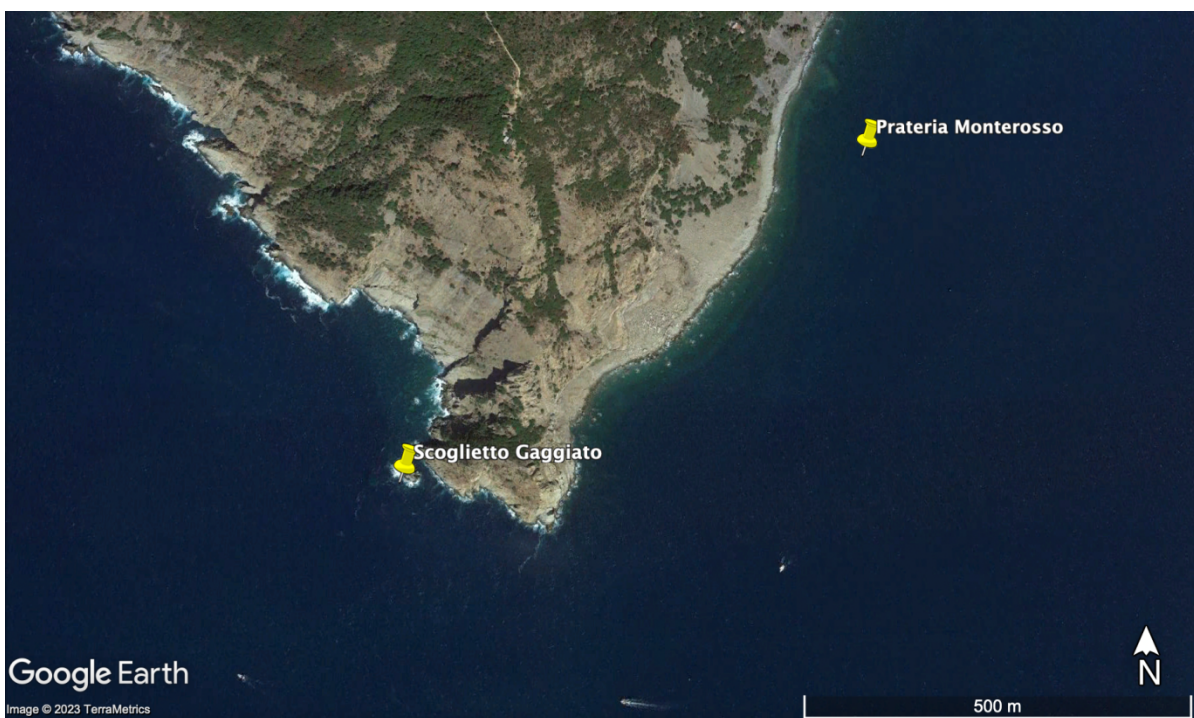


Figura 11. Posizione geografica delle due stazioni presso le quali sono stati svolti i monitoraggi biologici per la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sulle comunità di scogliera dell'AMP Cinque Terre.

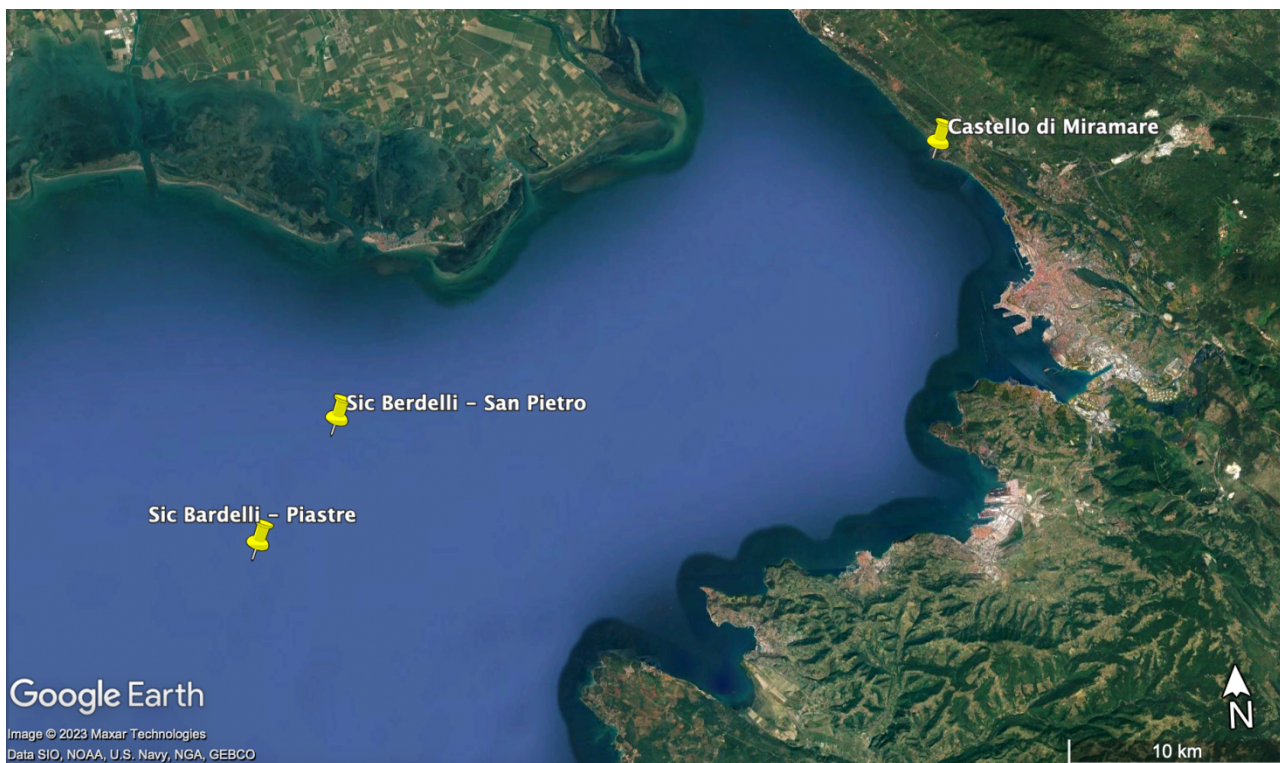


Figura 12. Posizione geografica delle tre stazioni presso le quali sono stati svolti i monitoraggi biologici per la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sulle comunità di scogliera dell'AMP Miramare e delle ZPS/ZSC Trezze di San Pietro e Bardelli.



Figura 13. 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'Isola d'Elba.

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

Ricercatrice DiSTAV, Università degli Studi di Genova

Dott.ssa Annalisa Azzola

Brevetto FIPSAS Instructor e European Scientific Diver

Dottoranda DiSTAV, Università degli Studi di Genova

Gli operatori scientifici subacquei del DiSTAV sono sempre stati accompagnati in immersione dal personale delle aree marine o del diving center, assieme al personale di Greenpeace. 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 degli eventi di mortalità di massa

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 ad 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 loggers* sono stati riportati in un foglio di calcolo Excel organizzati in una matrice profondità × 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.

Per l'AMP Portofino e per l'Isola d'Elba, per le quali si disponeva di quasi tre anni di dati, sono state calcolate le anomalie termiche. È da premettere che per anomalia termica è generalmente intesa la differenza (sia positiva sia negativa) tra la temperatura media calcolata in un dato periodo e la media climatologica (generalmente riferita ai decenni precedenti). Le ondate di calore marine (*heat waves*), in particolare, sono periodi di temperatura del mare estremamente caldi che persistono per giorni o mesi e possono estendersi fino a migliaia di chilometri. Queste vengono quindi solitamente individuate confrontando i dati di temperatura del periodo d'interesse (e.g., anno, mese) con la media climatologica. Il periodo analizzato per le due aree sopracitate comprende solo tre anni (2020-2022), e l'occorrenza di anomalie termiche (o ondate di calore) è evidenziata confrontando le medie mensili del 2022 più alte (o più basse) di almeno 1°C rispetto alle medie mensili dei due anni precedenti.

I dati scaricati dai *temperature data loggers* 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 loggers* fino alla data dell'ultimo *download* dei dati:

- AMP Miramare: 14.01.2021 - 20.10.2022
- AMP Portofino: 17.09.2019 - 6.09.2022
- Isola d'Elba: 26.11.2019 - 22.10.2022
- AMP Isola dell'Asinara: 30.06.2021 - 26.10.2022
- AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano: 29.04.2021 - 19.10.2022
- AMP Tavolara Punta Coda Cavallo: 19.10.2021 – 8.11.2022
- AMP Torre Guaceto: 30.03.2021 - 04.11.2022
- AMP Capo Carbonara: 8.09.2020 - 19.10.2022
- AMP Plemmirio: 23.07.2020 - 9.11.2022

STRUTTURA E 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 × profondità) × 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 terzo anno di progetto è stato confrontato con lo stato ecologico delle cinque aree di studio indagate nel primo e nel secondo anno di progetto.

CAMBIAMENTO NEL TEMPO

Per l'analisi del cambiamento nel tempo della struttura e della composizione delle comunità bentoniche di scogliera sono stati presi in esame i dati raccolti all'Isola d'Elba dov'era disponibile una serie storica che permettesse il confronto con i dati recenti raccolti nei tre anni di progetto Mare Caldo.

Isola d'Elba

Il cambiamento nel tempo relativo alle comunità bentoniche di scogliera dell'Isola d'Elba era già stato valutato nell'ambito del primo anno di progetto con i soli dati raccolti nel 2020 (Montefalcone & Azzola 2020). I dati storici erano stati ricavati da rilevamenti subacquei svolti negli anni '90, nel 2000 e nel 2010 da Carlo Nike Bianchi e Carla Morri (DiSTAV, Università di Genova). Nell'ambito del terzo anno di progetto sono stati integrati alla serie storica anche i dati raccolti nel 2021 e nel 2022.

Per avere un numero comparabile di transetti bionomici nel tempo sono stati identificati quattro periodi: il periodo 1, che corrisponde agli anni '90; il periodo 2, dall'inizio del 2000 fino al 2008; il periodo 3, che comprende gli anni 2009 e 2010; il periodo 4 che corrisponde ai dati raccolti nell'ambito dei tre anni di progetto Mare Caldo. Sono state indagate quattro fasce batimetriche: 0-10 m; 10-20 m; 20-30 m; 30-40 m. È stata quindi organizzata una matrice di dati (intervallo di profondità × tempo) × specie.

Alla matrice dati è stata applicata l'analisi multivariata *Multi Dimensional Scaling* (MDS) tramite il software *open-source* PaSt (Hammer e Harper 2001). Sono stati quindi calcolati graficamente i centroidi dei quattro periodi temporali e ciò ha permesso di delineare le traiettorie temporali per le quattro fasce di profondità.

MORTALITÀ

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 terzo anno di progetto è stata confrontata con la percentuale di mortalità rilevata nelle cinque aree di studio indagate nel primo e nel secondo anno di progetto.

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 terzo anno di progetto è stato confrontato con il numero di specie termofile rilevato nelle cinque aree di studio indagate nel primo e nel secondo anno di progetto.

RISULTATI E DISCUSSIONI

TEMPERATURE

COLONNA D'ACQUA

L'analisi dei dati ha permesso di monitorare l'andamento della temperatura nelle nove aree di studio per il periodo di tempo intercorso tra l'installazione dei sensori e l'ultimo download dei dati. Per l'AMP Portofino e per l'Isola d'Elba, dove erano disponibili quasi tre anni di dati, il confronto dell'andamento tra gli anni ha permesso di identificare anomalie termiche nei mesi tra maggio e luglio 2022, oltre a quella già identificata nel giugno 2020 (Montefalcone & Azzola, 2021). Diversi periodi particolarmente caldi sono stati inoltre registrati in altre aree di studio, 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 tre anni di progetto Mare Caldo:

- AMP Miramare: 111.216 dati
- AMP Portofino: 207.919 dati
- Isola d'Elba: 198.648 dati
- AMP Isola dell'Asinara: 84.117 dati
- AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano: 94.716 dati
- AMP Tavolara Punta Coda Cavallo: 29.872 dati
- AMP Torre Guaceto: 88.800 dati
- AMP Capo Carbonara: 122.929 dati
- AMP Plemmirio: 135.833 dati

AMP Miramare

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

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a settembre 2022. La temperatura media per la stagione autunnale del 2021 è stata di $\sim 16^{\circ}\text{C}$, con massime di $\sim 26^{\circ}\text{C}$ e minime di $\sim 8^{\circ}\text{C}$; per la stagione invernale del 2021 la media è stata di $\sim 13^{\circ}\text{C}$, con massime di $\sim 24^{\circ}\text{C}$ e minime di $\sim 8^{\circ}\text{C}$; per la stagione primaverile del 2022 la media è stata di $\sim 15^{\circ}\text{C}$, con massime di

~24°C e minime di ~9°C; infine per la stagione estiva del 2022 la media è stata di ~23°C, con massime di 27°C e minime di ~18°C (Tab. 2).

Le temperature medie a ottobre 2021 sono risultate di ~19°C su tutta la colonna d'acqua. Da novembre 2021 la temperatura ha iniziato ad abbassarsi per raggiungere i ~9°C a febbraio e marzo 2022 su tutta la colonna d'acqua. Una stratificazione della colonna d'acqua è stata osservata a partire dal mese di giugno 2022 fino a settembre 2022 con ~22-23°C a 10-11 m e ~21°C a 17 m (Fig. 14, 15).

Tabella 2. Temperature medie, massime e minime 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 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) |
| 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 |

| 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 |

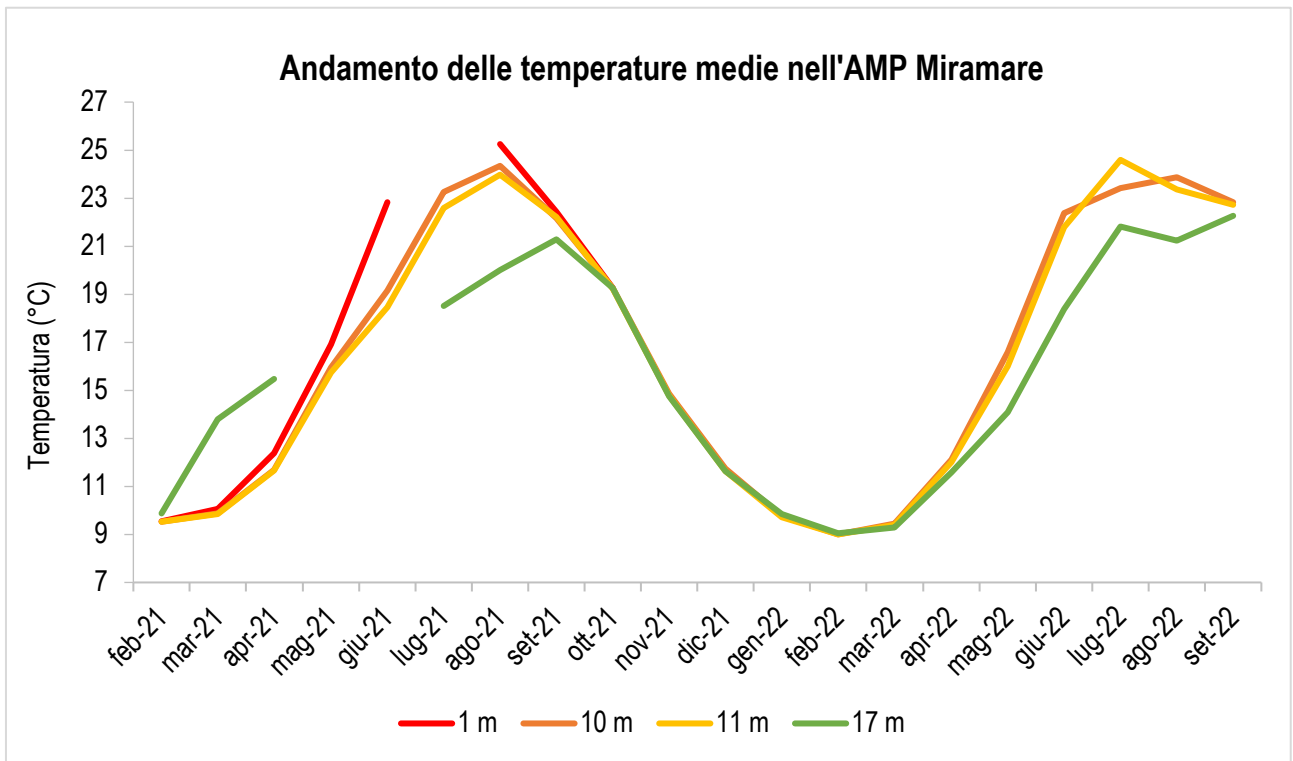


Figura 14. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 1, 10, 11, 17 m) per il periodo compreso tra febbraio 2021 e settembre 2022 nell'AMP Miramare. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

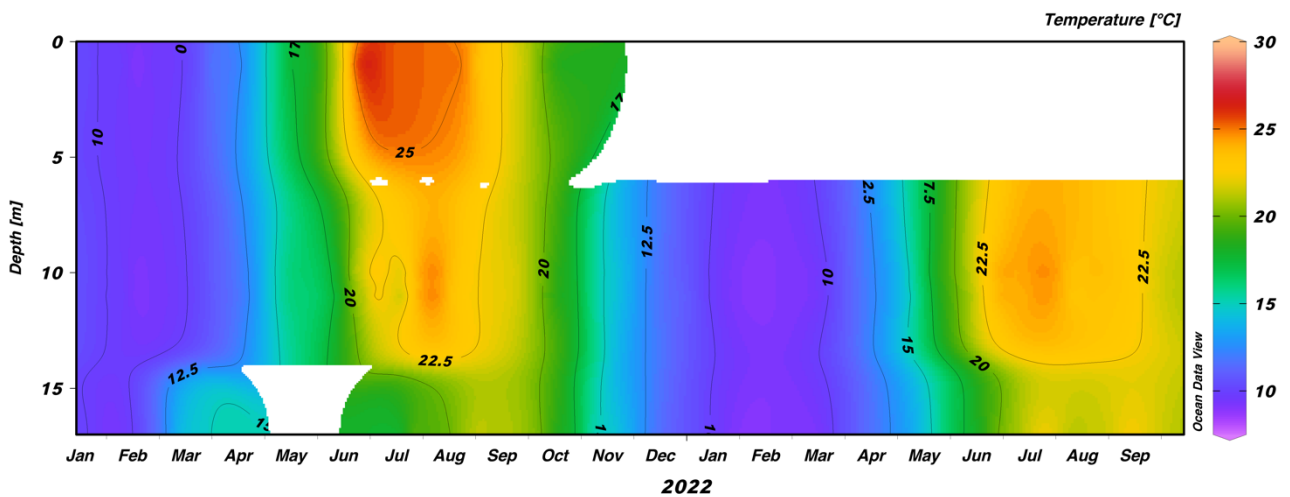


Figura 15. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Miramare per il periodo compreso tra il 14 gennaio 2021 e il 20 ottobre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

AMP Portofino

Per l'AMP Portofino, nel primo e nel secondo anno di monitoraggio i dati forniti dai *temperature data loggers* hanno permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra ottobre 2019 e settembre 2021. I risultati sono riportati nella relazione del primo e del secondo anno di progetto (Montefalcone & Azzola 2020, 2021).

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 ad agosto 2022. La temperatura media per la stagione autunnale del 2021 è stata di $\sim 18^{\circ}\text{C}$ con massime di $\sim 22^{\circ}\text{C}$ e minime di $\sim 15^{\circ}\text{C}$. Per la stagione invernale del 2021 la temperatura media è risultata di $\sim 14^{\circ}\text{C}$ con massime di $\sim 16^{\circ}\text{C}$ e minime di $\sim 13^{\circ}\text{C}$. Nella primavera 2022 la temperatura media registrata è stata di $\sim 16^{\circ}\text{C}$ con massime di $\sim 26^{\circ}\text{C}$ e minime di $\sim 13^{\circ}\text{C}$. Infine, nella stagione estiva del 2022 sono state registrate temperature medie di $\sim 20^{\circ}\text{C}$ con massime che hanno raggiunto i $\sim 29^{\circ}\text{C}$ a 5 m e $\sim 20^{\circ}\text{C}$ a 40 m (Tab. 3).

Dal confronto delle medie mensili alle 8 profondità tra i tre anni 2020, 2021 e 2022 sono stati osservati andamenti simili, ma con temperature significativamente più alte nel 2022. Le temperature medie a ottobre sono risultate (su tutta la colonna d'acqua) di $\sim 21\text{-}22^{\circ}\text{C}$ nel 2020, di $\sim 19\text{-}20^{\circ}\text{C}$ nel 2021, e di $\sim 20\text{-}21^{\circ}\text{C}$. Da novembre, in tutti gli anni, le temperature sono diminuite a tutte le profondità fino a raggiungere i $\sim 14^{\circ}\text{C}$ a marzo. Nel corso di questo periodo negli anni 2020 e 2021 le acque più superficiali (i.e., 5, 10, 15, 20 m) sono risultate più fredde di quelle profonde (i.e., 25, 30, 35, 40 m), questa distinzione è meno visibile nel 2022. Da marzo si è verificata un'inversione di tendenza con acque superficiali più calde e acque profonde più fredde. Nei mesi di maggio, giugno e luglio, grazie al confronto dei dati del 2020 e 2021, è stato possibile individuare nel 2022 un'anomalia termica con valori di temperatura a 5 m più alti di $\sim 2^{\circ}\text{C}$ che nel mese di giugno sono stati osservati fino a 15 m di profondità. Inoltre, nel mese di giugno è stato possibile osservare un'anomalia termica negativa di circa $-1,5/2^{\circ}\text{C}$ fino a 35 m. Questa netta stratificazione delle temperature lungo la colonna d'acqua può essere spiegata dal repentino riscaldamento atmosferico trasmesso solo allo strato più superficiale del mare (fino ai primi 10-15 m d'acqua) che ha generato un termoclino stagionale più superficiale (a 15 m), causando così una segregazione delle masse d'acqua. Ad agosto 2022, in seguito all'anomalia, le acque si sono poi leggermente raffreddate con medie di $\sim 25\text{-}26^{\circ}\text{C}$ a 5 m e di $\sim 16^{\circ}\text{C}$ a 40 m, come negli anni precedenti (Fig. 16, 17).

Gli elevati valori osservati nell'estate 2022 sono stati registrati anche in altre stazioni della rete mediterranea T-MEDNet (<https://t-mednet.org/t-sites/t-figures>), ovvero in Spagna (Cap de Creus, Medes), Francia (Banyuls Sur Mer) e Corsica (Cap Corse), interessando la colonna d'acqua in alcuni casi fino a 15-20 m di profondità.

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 agosto 2022. 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 | 18,96 | 4,24 | 27,70 | 12,97 |
| 2021 | 5 | 18,84 | 4,47 | 27,09 | 12,03 |
| 2020 | 10 | 18,58 | 3,87 | 27,33 | 13,04 |
| 2021 | 10 | 18,63 | 4,27 | 26,89 | 12,10 |
| 2020 | 15 | 18,15 | 3,38 | 26,62 | 13,21 |
| 2021 | 15 | 18,24 | 3,98 | 26,48 | 12,12 |
| 2020 | 20 | 17,70 | 2,90 | 26,40 | 13,47 |
| 2021 | 20 | 17,86 | 3,58 | 26,09 | 12,87 |
| 2020 | 25 | 17,19 | 2,45 | 26,18 | 13,52 |
| 2021 | 25 | 17,40 | 3,17 | 25,74 | 12,90 |
| 2020 | 30 | 16,68 | 2,05 | 26,18 | 13,62 |
| 2021 | 30 | 16,80 | 2,60 | 25,23 | 13,06 |
| 2020 | 35 | 15,97 | 1,80 | 26,30 | 13,64 |
| 2021 | 35 | 17,93 | 1,81 | 24,20 | 15,20 |
| 2020 | 40 | 16,04 | 1,64 | 25,43 | 13,76 |
| 2021 | 40 | 16,02 | 1,73 | 23,38 | 12,78 |

| 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 |

| 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 | 15,39 | 22,18 |
| nov-21 | 18,58 | 0,70 | 17,01 | 20,03 |
| dic-21 | 15,90 | 0,57 | 14,03 | 17,30 |
| gen-22 | 14,77 | 0,46 | 13,50 | 15,72 |
| feb-22 | 14,03 | 0,23 | 13,47 | 14,58 |
| mar-22 | 13,71 | 0,13 | 13,43 | 14,77 |
| apr-22 | 14,17 | 0,47 | 13,50 | 16,23 |
| mag-22 | 16,44 | 2,17 | 14,05 | 23,76 |
| giu-22 | 19,61 | 3,53 | 13,98 | 26,57 |
| lug-22 | 19,14 | 4,19 | 14,48 | 29,62 |
| ago-22 | 19,75 | 3,67 | 15,06 | 28,59 |

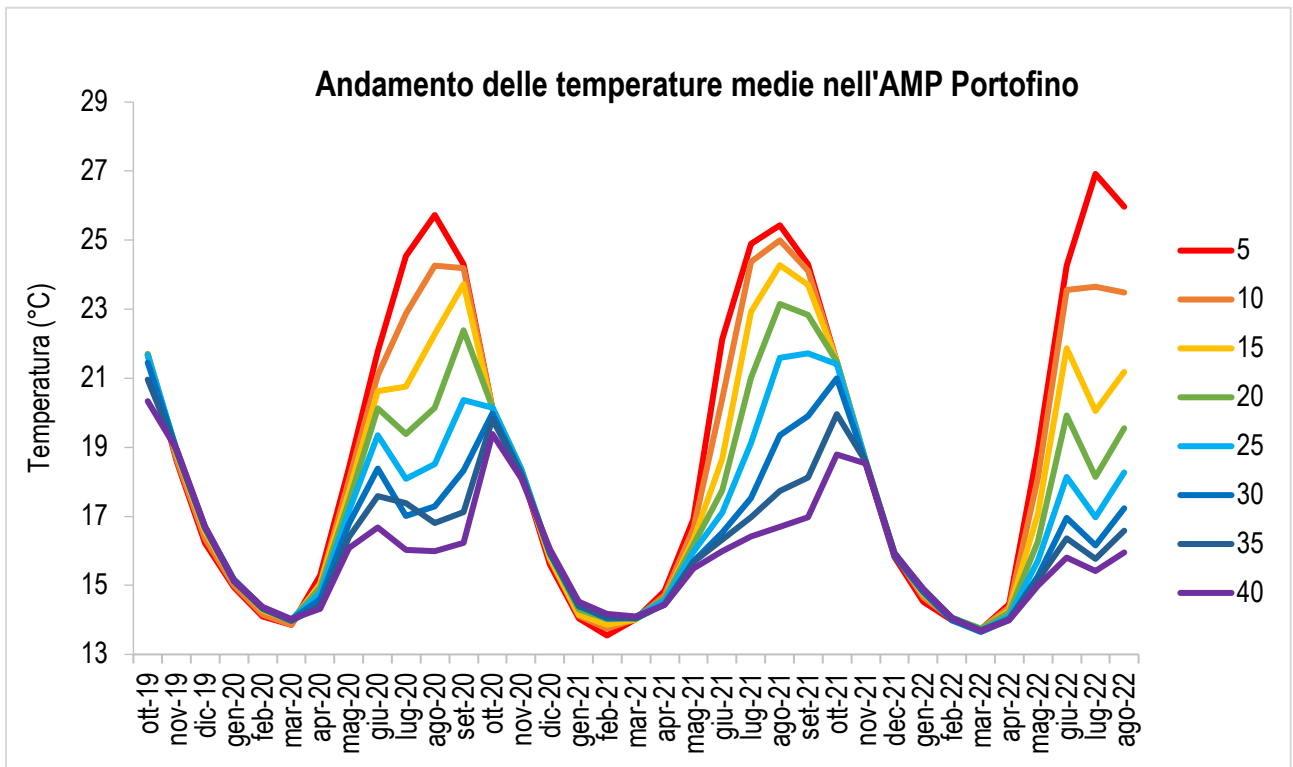


Figura 16. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra ottobre 2019 e agosto 2022 nell'AMP Portofino.

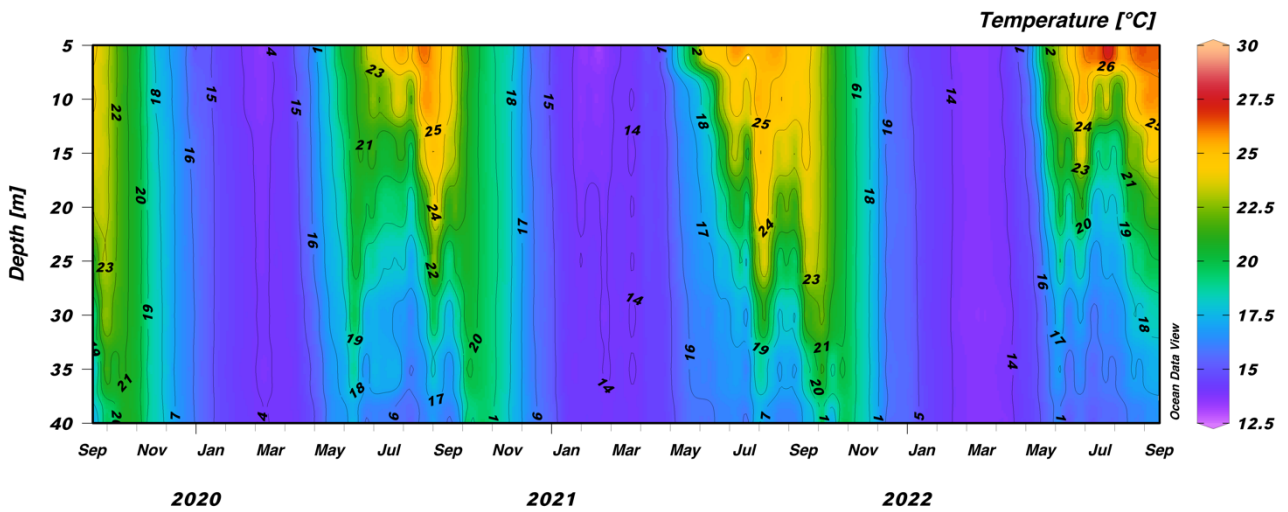


Figura 17. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Portofino per il periodo compreso tra il 17 settembre 2019 e il 6 settembre 2022.

Isola d'Elba

Per l'area dell'Isola d'Elba, nel primo e nel secondo anno di monitoraggio i dati forniti dai *temperature data loggers* hanno permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra dicembre 2019 e settembre 2021 (Montefalcone & Azzola 2020, 2021).

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a settembre 2022. 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 2021 è stata di ~19°C con massime di ~24°C e minime di ~15°C, Per la stagione invernale del 2021 la temperatura media è stata di ~14°C, con massime di ~16°C e minime di ~13°C. Per la stagione primaverile del 2022 la temperatura media è stata di ~16°C, con massime di ~26°C e minime di ~13°C. Per l'estate 2022 la temperatura media registrata è stata di ~21°C con massime di ~29°C a 5 m e minime di ~15°C (Tab. 4).

Dal confronto delle medie mensili alle 8 profondità tra i tre anni 2020, 2021 e 2022 sono stati osservati andamenti simili, ma con temperature significativamente più alte nel 2022, Le temperature medie a ottobre 2021 sono risultate di ~20-21°C (su tutta la colonna d'acqua) ~1°C in più rispetto al 2020. Da novembre 2021, come per l'anno precedente, le temperature sono diminuite a tutte le profondità fino a raggiungere i ~14°C a marzo 2022. Ad aprile 2022 le acque superficiali hanno iniziato a scaldarsi fino a giugno, mese in cui nel 2022 si è registrata un'anomalia termica di ~1-2°C che ha interessato la colonna d'acqua fino a ~15 m di profondità per tutta l'estate. In particolare, nei mesi di giugno, luglio e agosto è possibile osservare l'occorrenza di un'ondata di calore in superficie, con anomalie che variano da +1°C a +2°C fino a 10-15 m di profondità. Più in profondità, fino a 35-40 m, è avvenuta come a Portofino un'anomalia termica negativa compresa tra -1°C e -3°C. Anche in quest'area, quindi, il repentino riscaldamento atmosferico si è trasmesso alle masse d'acqua superficiali causando una netta stratificazione dell'acqua con la comparsa del termoclino superficiale e un raffreddamento delle masse d'acqua più profonde. A settembre 2022 poi l'anomalia termica di ~1°C in più rispetto al 2020 e 2021 ha interessato la colonna d'acqua fino a 40 m di profondità (Fig. 18, 19).

Tabella 4. 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 2022. 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 |
| 2020 | 10 | 18,88 | 3,97 | 27,39 | 13,72 |
| 2021 | 10 | 18,86 | 3,98 | 26,73 | 14,02 |
| 2020 | 15 | 18,65 | 3,75 | 28,01 | 13,77 |
| 2021 | 15 | 18,66 | 3,82 | 26,23 | 13,99 |

| | | | | | |
|------|----|-------|------|-------|-------|
| 2020 | 20 | 18,24 | 3,36 | 27,29 | 13,76 |
| 2021 | 20 | 18,35 | 3,58 | 26,05 | 14,04 |
| 2020 | 25 | 17,65 | 2,74 | 28,28 | 13,82 |
| 2021 | 25 | 17,93 | 3,22 | 25,89 | 14,06 |
| 2020 | 30 | 17,09 | 2,29 | 27,88 | 13,72 |
| 2021 | 30 | 17,52 | 2,85 | 26,01 | 14,06 |
| 2020 | 35 | 16,60 | 1,84 | 25,24 | 13,80 |
| 2021 | 35 | 17,02 | 2,46 | 26,00 | 14,06 |
| 2020 | 40 | 16,62 | 2,04 | 26,03 | 14,13 |
| 2021 | 40 | 19,09 | 4,12 | 27,28 | 13,79 |

| 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 |

| TEMPERATURE MEDIE MENSILI | | | | |
|---------------------------|------------|--------|----------|----------|
| 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 |

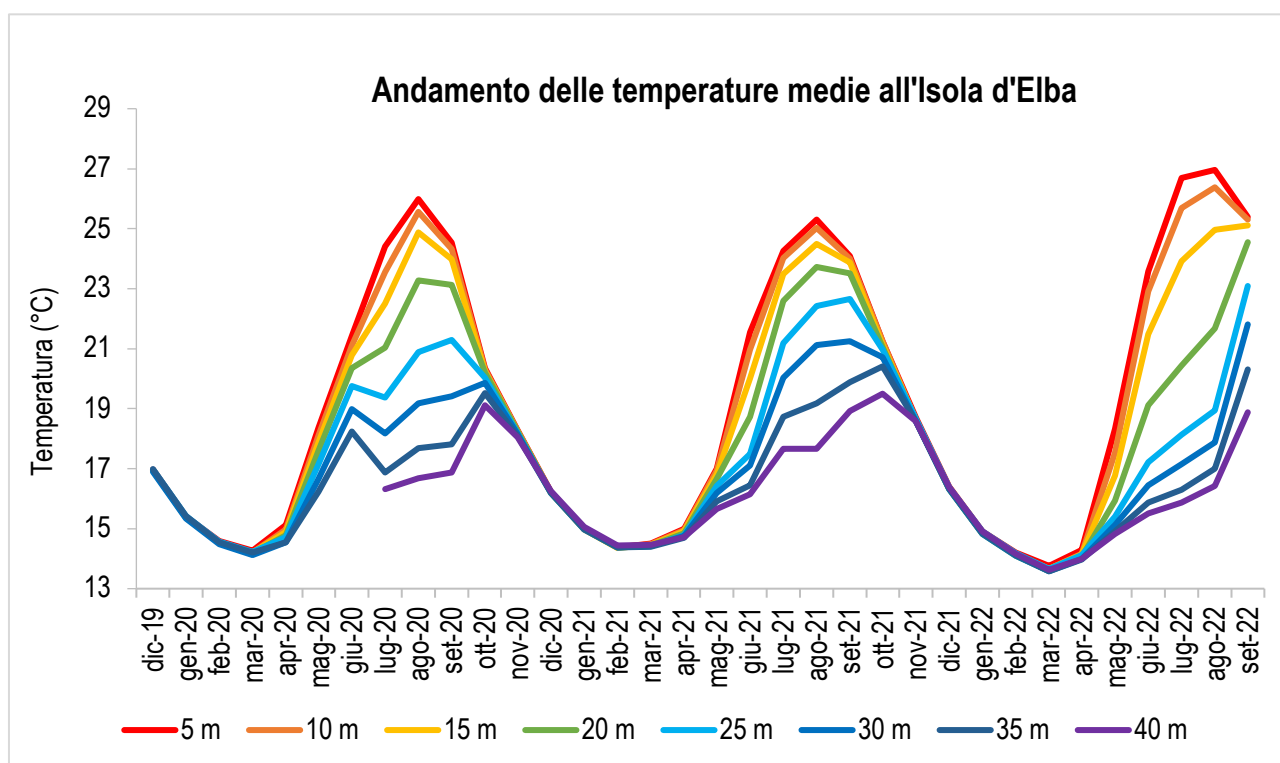


Figura 18. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra dicembre 2019 e settembre 2022 nell'area dell'Isola d'Elba. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

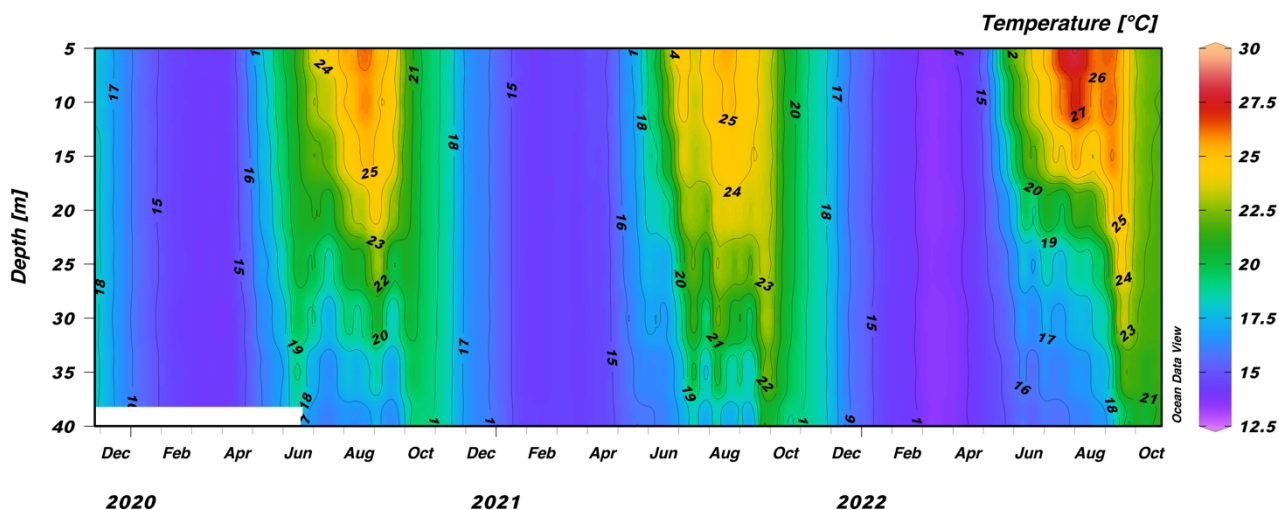


Figura 19. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'area dell'Isola d'Elba per il periodo compreso tra il 26 novembre 2019 e il 22 ottobre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

AMP Isola dell'Asinara

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

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a settembre 2022. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua nell'area dell'AMP Asinara la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2021 è stata di ~19°C con massime di ~24°C e minime di ~14°C. Per la stagione invernale del 2021 la temperatura media è stata di ~14°C, con massime di ~15°C e minime di ~13°C. Per la stagione primaverile del 2022 la temperatura media è stata di ~16°C, con massime di ~25°C e minime di ~13°C. Per l'estate 2022 la temperatura media registrata è stata di ~20°C con massime di ~29°C a 5 m e minime di ~14°C (Tab. 5).

Nell'estate 2022, nei mesi da luglio a settembre, a 5 m è stato possibile evidenziare temperature di 1-2°C in più rispetto all'estate precedente. Come per le precedenti aree di studio (i.e. AMP Portofino e Isola d'Elba) questo riscaldamento repentino delle acque sembra aver creato un tremolino tale per cui le acque più profonde si sono mantenute più fredde (Fig. 20, 21).

Tabella 5. 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 |

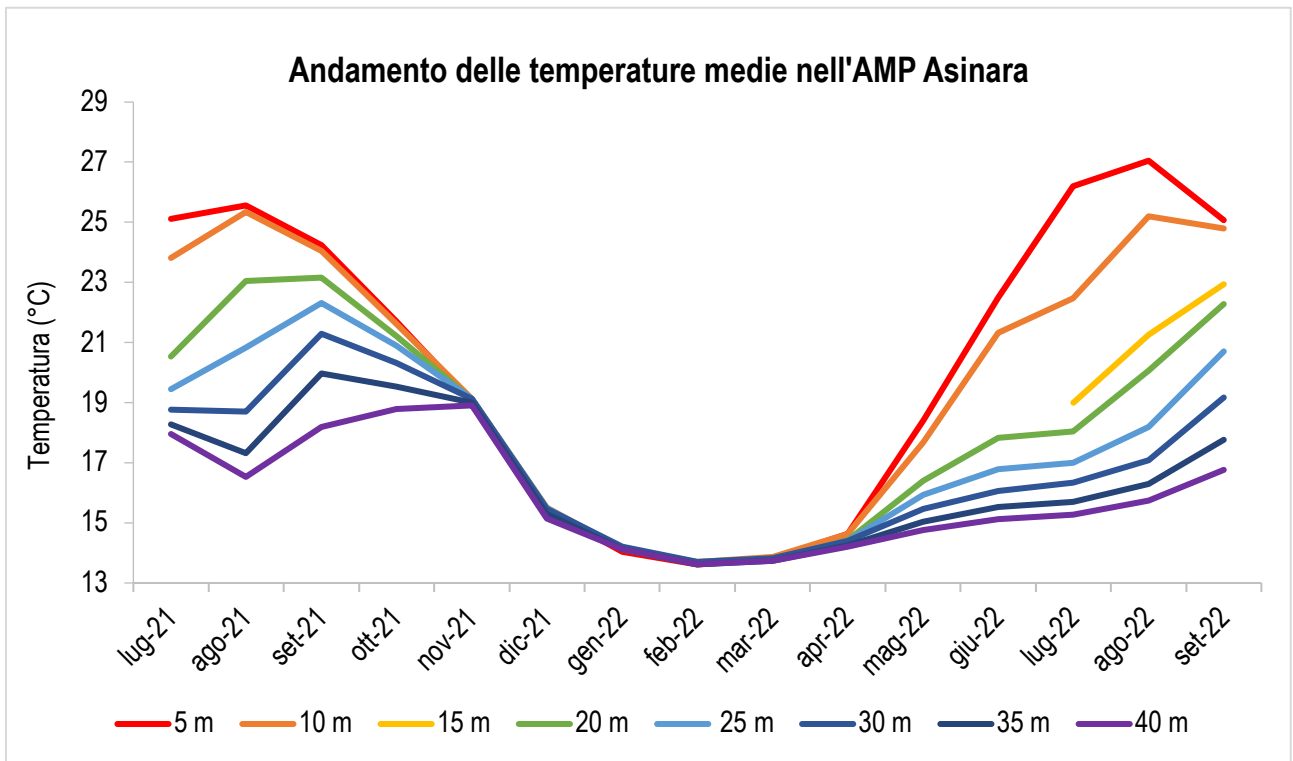


Figura 20. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 15, 10, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra luglio 2021 e settembre 2022 nell'AMP Isola dell'Asinara. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

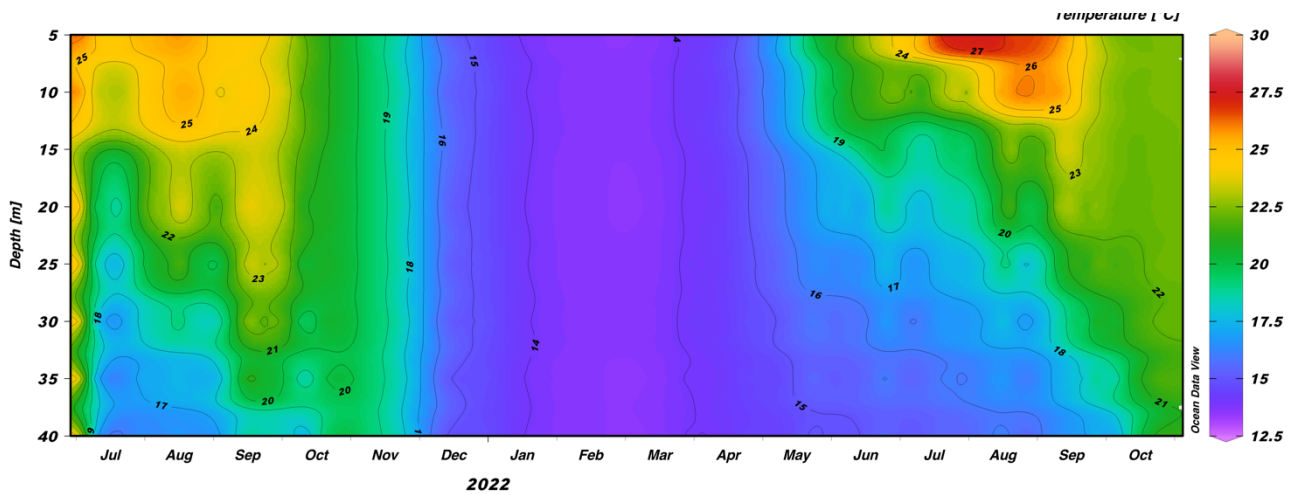


Figura 21. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Isola dell'Asinara per il periodo compreso tra il 30 giugno 2021 e il 26 ottobre 2022.

AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano

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

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a settembre 2022. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2021 è stata di ~19°C con massime di ~25°C e minime di ~14°C. Per la stagione invernale del 2021 la temperatura media è stata di ~15°C, con massime di ~17°C e minime di ~14°C. Per la stagione primaverile del 2022 la temperatura media è stata di ~16°C, con massime di ~25°C e minime di ~14°C. Per l'estate 2022 la temperatura media registrata è stata di ~21°C con massime di ~29°C a 5 m e minime di ~15°C (Tab. 6).

Dal confronto delle medie mensili disponibili nei due anni non sono emerse significative differenze nell'andamento di temperatura, tuttavia nei mesi di giugno, luglio e agosto 2022 sono stati registrati valori di temperatura di ~1-2°C in più rispetto all'anno precedente fino a 15-20 m di profondità (Fig. 22, 23).

Tabella 6. 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 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 | 20,24 | 3,91 | 29,75 | 14,95 |
| Autunno-21 | 18,8 | 2,2 | 25,5 | 14,0 |
| Inverno-21 | 15,0 | 0,7 | 17,3 | 14,0 |
| Primavera-22 | 15,8 | 2,1 | 25,4 | 14,0 |
| Estate-22 | 21,2 | 4,5 | 29,4 | 14,6 |

| 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 |

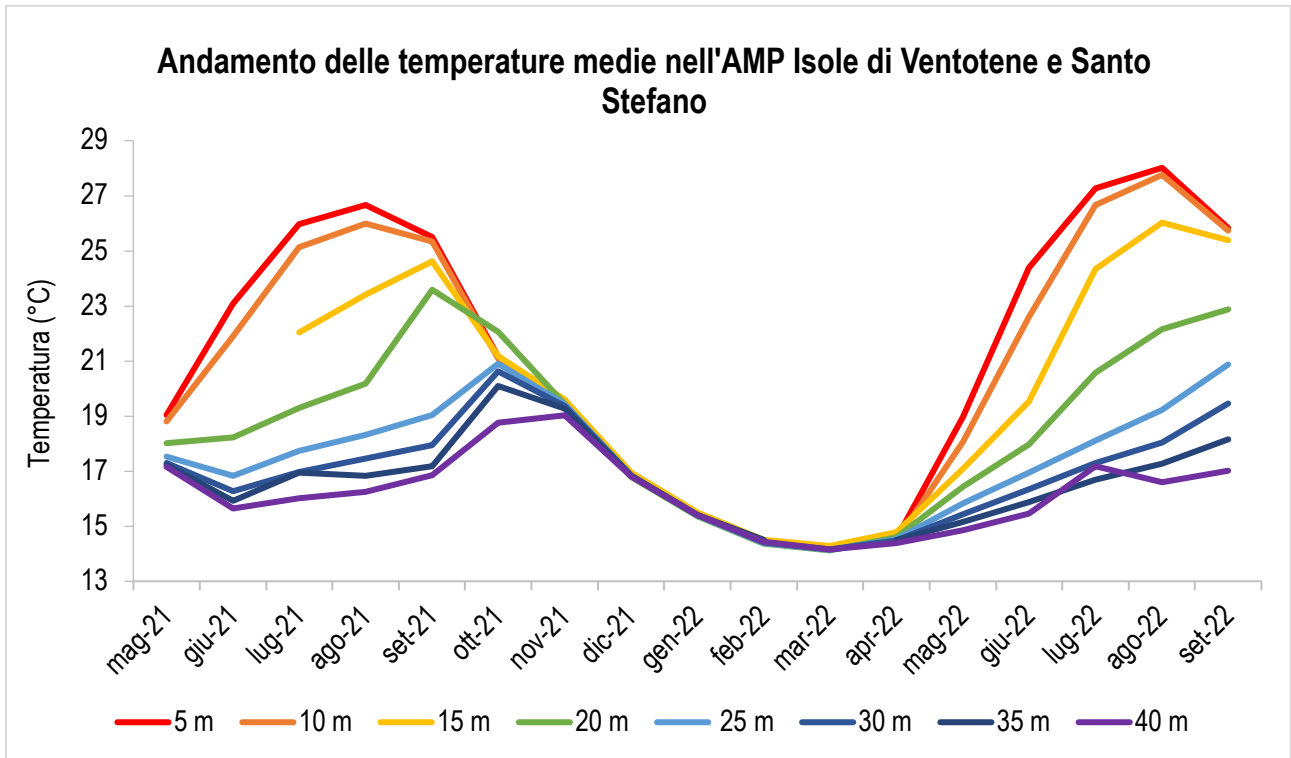


Figura 22. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra luglio 2021 e settembre 2022 nell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

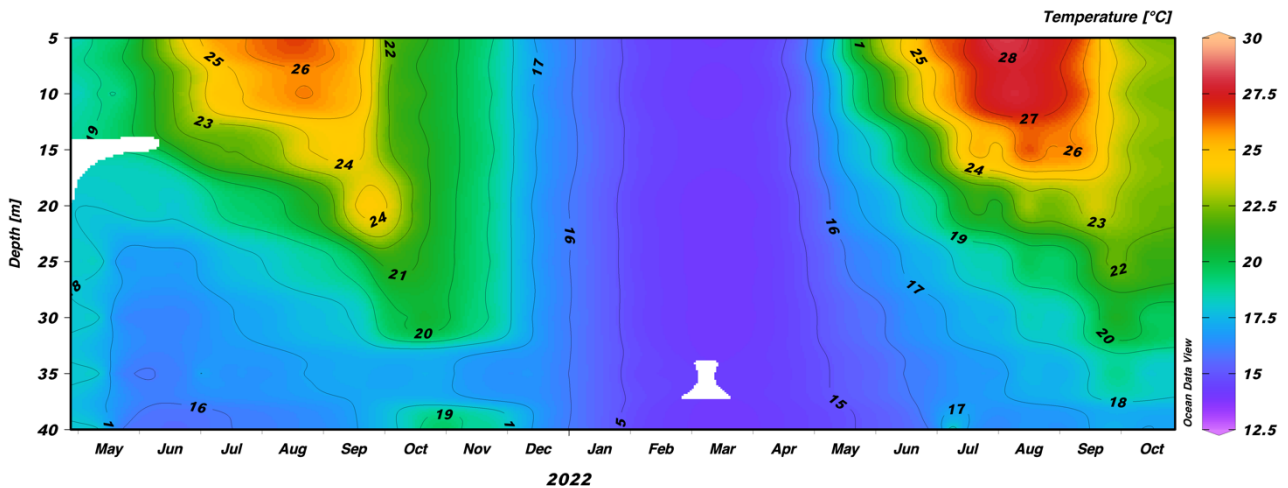


Figura 23. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano per il periodo compreso tra il 29 aprile 2021 e il 19 ottobre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

AMP Tavolara Punta Coda Cavallo

Nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo sono stati analizzati i dati di temperatura per il periodo tra giugno 2022 e ottobre 2022 (Tab. 7).

Dall'analisi grafica tramite il software ODV si osserva l'alternanza di periodi particolarmente caldi a periodi più freddi dal mese di giugno al mese di agosto che potrebbero rappresentare anomalie termiche. Solo tramite l'analisi dei dati futuri sarà possibile determinare se questo sia il normale andamento stagionale o se queste possano essere considerate anomalie termiche (Fig. 24, 25).

Tabella 7. 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 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-22 | 22,13 | 4,11 | 28,92 | 15,08 |

| 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 |

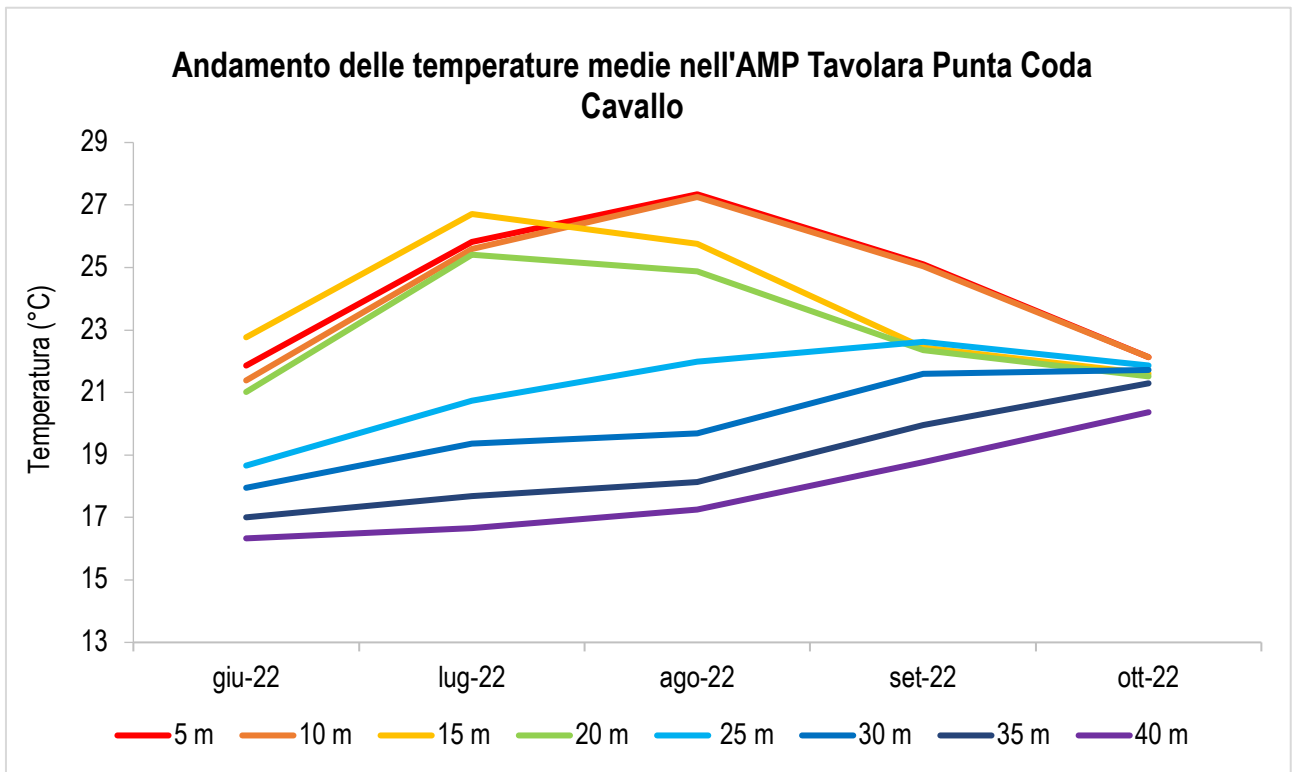


Figura 24. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra giugno 2022 e ottobre 2022 nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo.

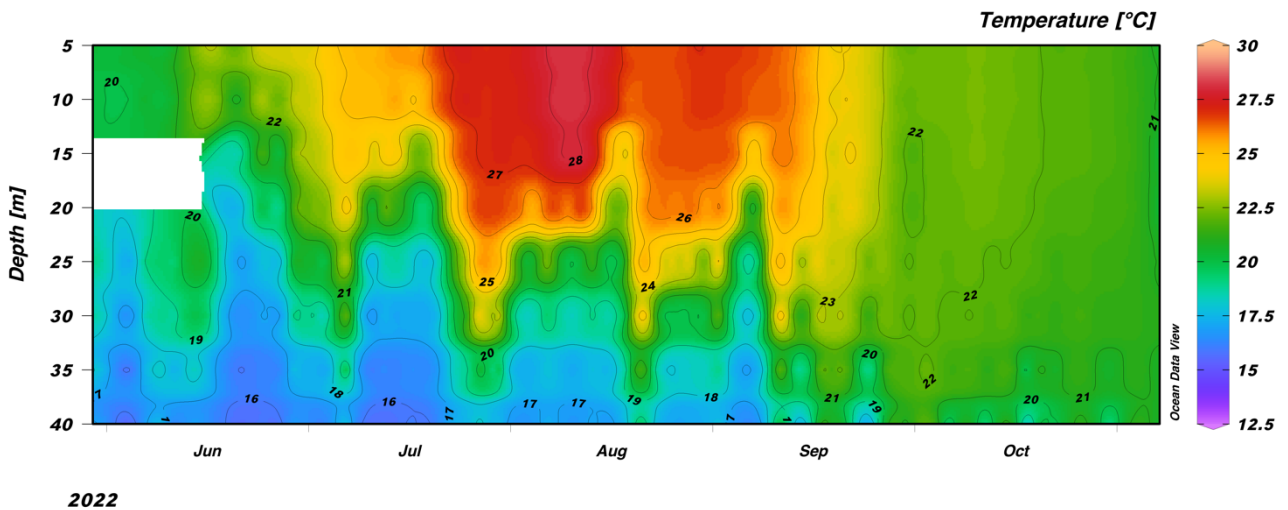


Figura 25. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo per il periodo compreso tra il 19 ottobre 2021 e l'8 novembre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

AMP Torre Guaceto

Per l'AMP Torre Guaceto, nel secondo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data loggers* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra aprile 2021 e settembre 2021. I risultati sono riportati nella relazione del secondo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2021).

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a ottobre 2022. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2021 è stata di ~19°C con massime di ~28°C e minime di ~10°C. Per la stagione invernale del 2021 la temperatura media è stata di ~12°C, con massime di ~15°C e minime di ~10°C. Per la stagione primaverile del 2022 la temperatura media è stata di ~16°C, con massime di ~26°C e minime di ~12°C. Per l'estate 2022 la temperatura media registrata è stata di ~24°C con massime di ~29°C a 5 m e minime di ~15°C (Tab. 8).

Dal confronto delle medie mensili disponibili nei due anni non sono emerse significative differenze nell'andamento di temperatura, tuttavia nei mesi di giugno e luglio 2022 sono stati registrati valori di temperatura di ~1-2°C in più rispetto all'anno precedente (Fig. 26, 27).

Tabella 8. 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-21 | 21,06 | 1,99 | 22,67 | 17,90 |

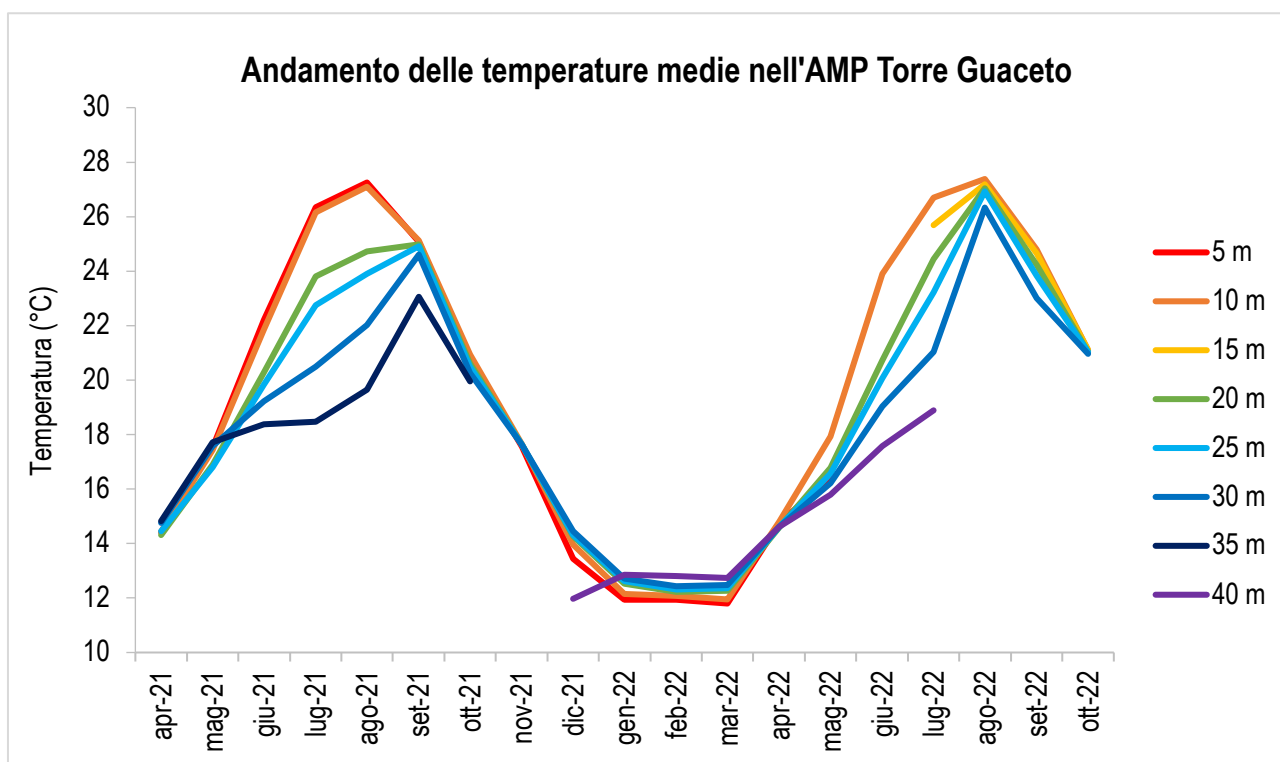


Figura 26. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra aprile 2021 e ottobre 2022 nell'AMP Torre Guaceto. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

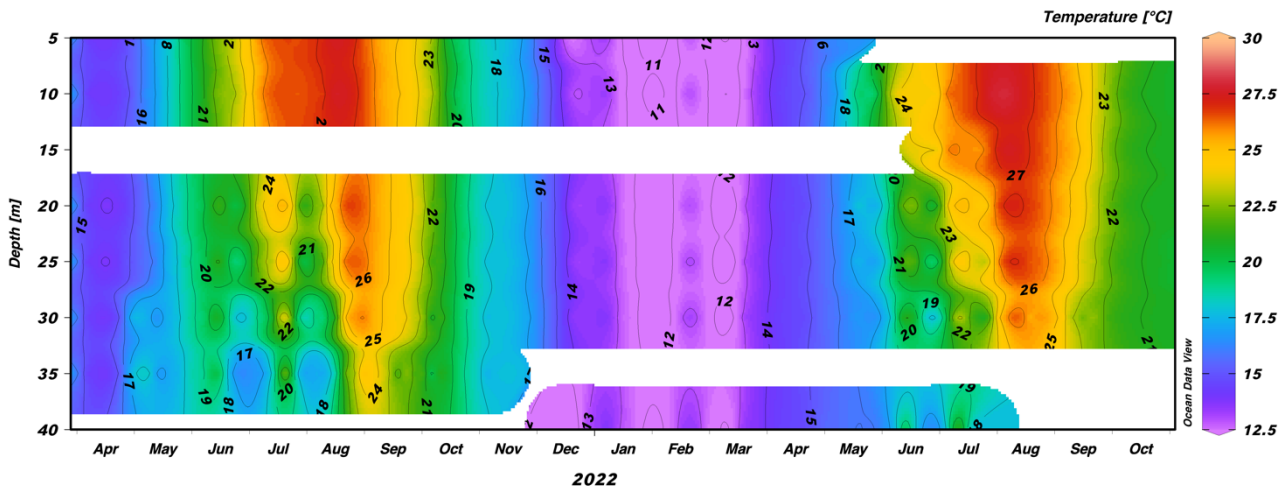


Figura 27. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Torre Guaceto per il periodo compreso tra il 30 marzo 2021 e il 4 novembre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

AMP Capo Carbonara

Per l'AMP Capo Carbonara, nel secondo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data loggers* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra ottobre 2020 e settembre 2021, a eccezione dei mesi di aprile, maggio e giugno 2021 per problemi tecnici ai sensori. I risultati sono riportati nella relazione del secondo anno di progetto (Montefalcone & Azzola, 2021).

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a settembre 2022. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione autunnale del 2021 è stata di ~20°C con massime di ~26°C e minime di ~15°C. Per la stagione invernale del 2021 la temperatura media è stata di ~15°C, con massime di ~16°C e minime di ~14°C. Per la stagione primaverile del 2022 la temperatura media è stata di ~18°C, con massime di ~25°C e minime di ~14°C. Per l'estate 2022 la temperatura media registrata è stata di ~21°C con massime di ~29°C a 5 m e minime di ~15°C (Tab. 9).

Analizzando l'andamento delle temperature è stato possibile osservare come nei mesi autunnali e invernali 2022, in particolare da ottobre a marzo, i valori di temperatura fossero significativamente più bassi rispetto al 2021. Un'inversione di tendenza è stata invece osservata per il mese di agosto in cui nel 2022 sono stati registrati valori di temperatura di ~1,5°C in più rispetto all'anno precedente fino a 15 m. Al di sotto di questa profondità i valori di temperatura nel 2022 sono invece risultati più bassi evidenziando anche in quest'area un netto termocline probabilmente dovuto ad un surriscaldamento repentino delle acque superficiali come quanto osservato nell'AMP Portofino e all'Isola d'Elba (Fig. 28, 29).

Tabella 9. 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 |

| TEMPERATURE MEDIE STAGIONALI | | | | |
|-------------------------------------|------------|--------|----------|----------|
| 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 |

| TEMPERATURE MEDIE MENSILI | | | | |
|----------------------------------|------------|--------|----------|----------|
| 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 |

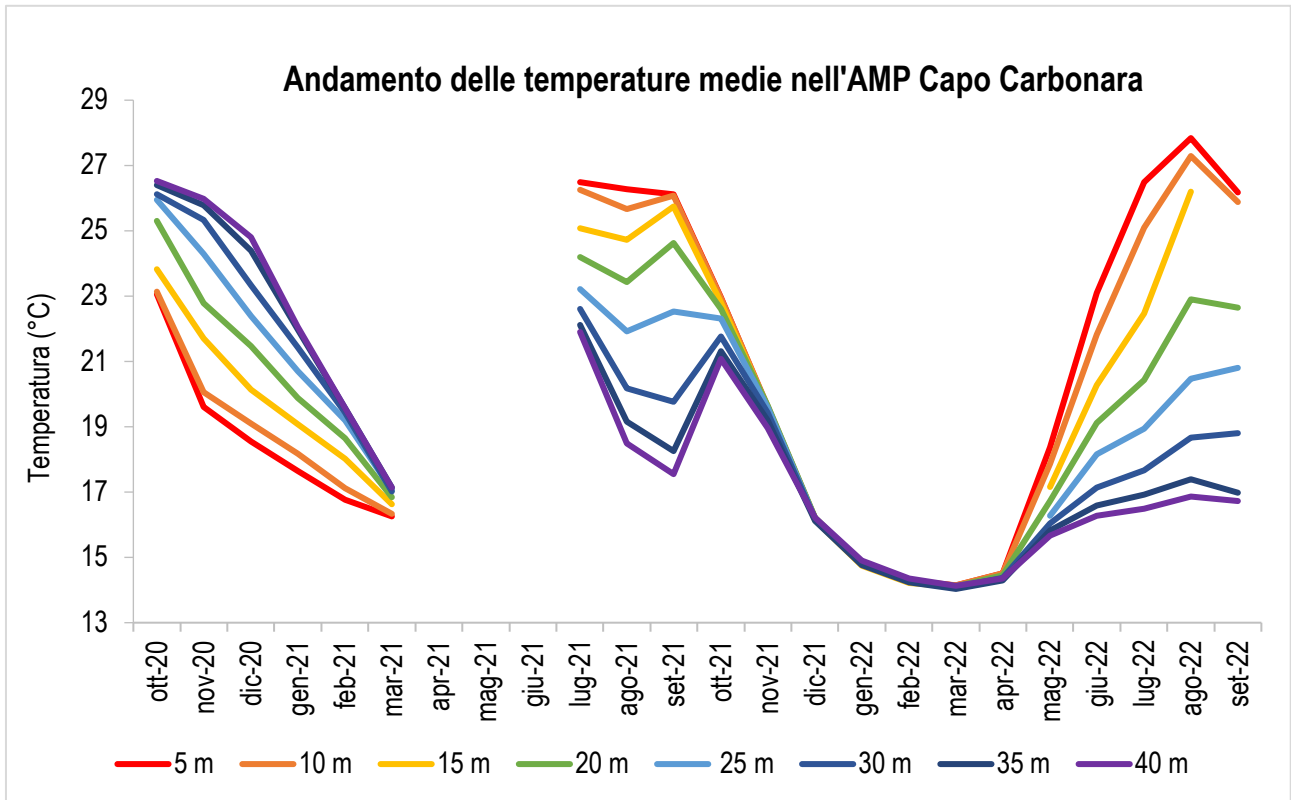


Figura 28. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra settembre 2020 e settembre 2022 nell'AMP Capo Carbonara. Le linee interrotte indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

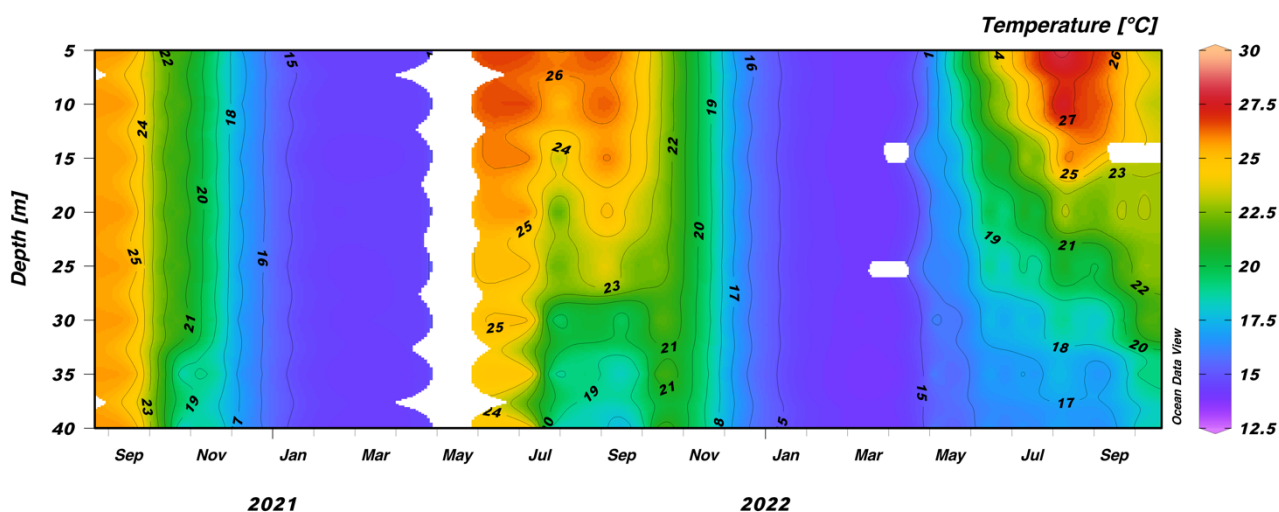


Figura 29. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Capo Carbonara per il periodo compreso tra l'8 settembre 2020 e il 19 ottobre 2022. Le aree bianche indicano i periodi per i quali i dati di temperatura non sono disponibili per problemi tecnici.

AMP Plemmirio

Per l'AMP Plemmirio, nel primo e nel secondo anno di progetto i dati forniti dai *temperature data loggers* avevano permesso di analizzare l'andamento delle temperature per il periodo compreso tra luglio 2020 e settembre 2021. I risultati sono riportati nella relazione del primo e del secondo anno di progetto (Montefalcone & Azzola 2020, 2021).

Nel terzo anno di progetto è stato analizzato l'andamento della temperatura sulla colonna d'acqua da ottobre 2021 a settembre 2022, a eccezione dei mesi tra ottobre 2021 e dicembre 2021 per problemi tecnici ai sensori. Dall'analisi dei dati di temperatura sulla colonna d'acqua la temperatura media registrata per la stagione primaverile del 2022 è stata di ~16°C con massime di ~25°C e minime di ~14°C. Per la stagione estiva del 2022 la temperatura media è stata di ~23°C, con massime di ~29°C e minime di ~16°C (Tab. 10).

Confrontando l'andamento delle temperature nei mesi dove fossero disponibili due anni di dati è stato possibile osservare come nei mesi di luglio e agosto del 2022 la temperatura sia risultata significativamente più alta a tutte le profondità (1-4°C) (Fig. 30, 31).

Tabella 10. 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 ottobre 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 | 20,28 | 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 |

| TEMPERATURE STAGIONALI | | | | |
|-------------------------------|------------|--------|----------|----------|
| 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 |

| TEMPERATURE MENSILI | | | | |
|----------------------------|------------|--------|----------|----------|
| 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 |

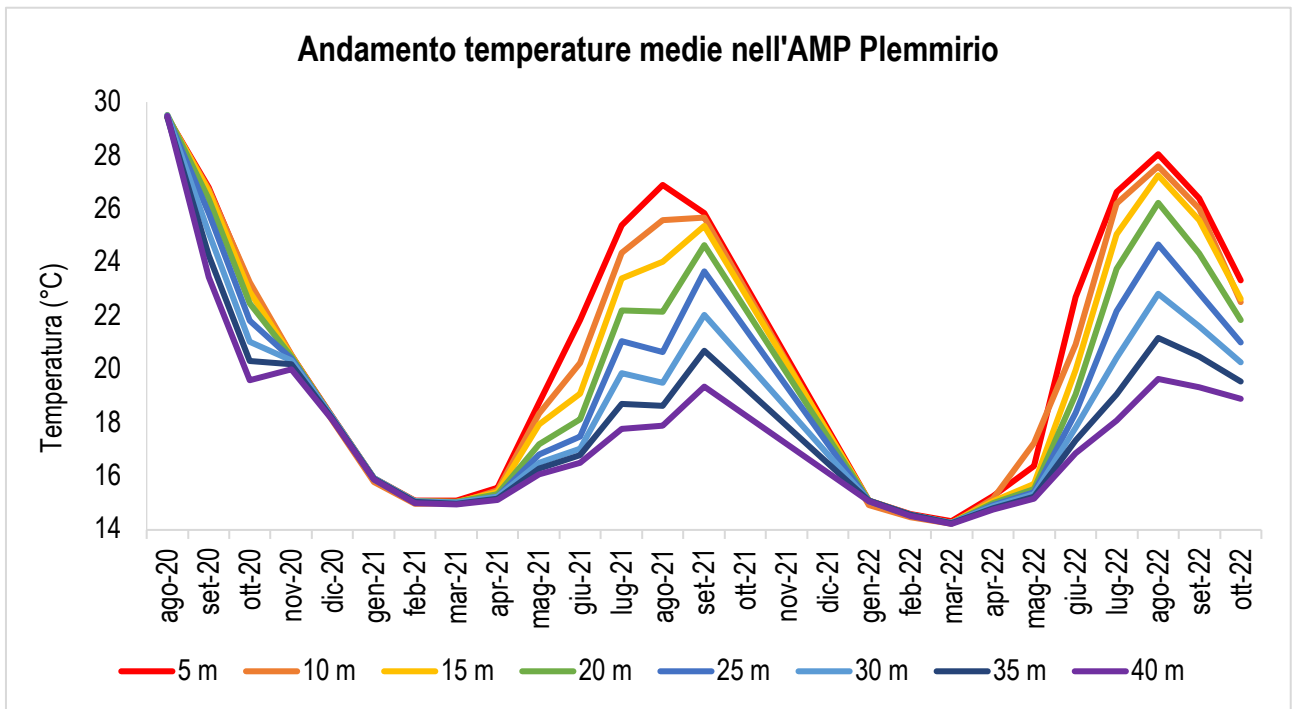


Figura 30. Valori medi mensili di temperatura (°C) a tutte le profondità indagate (i.e. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) per il periodo compreso tra agosto 2020 e ottobre 2022 nell'AMP Plemmirio.

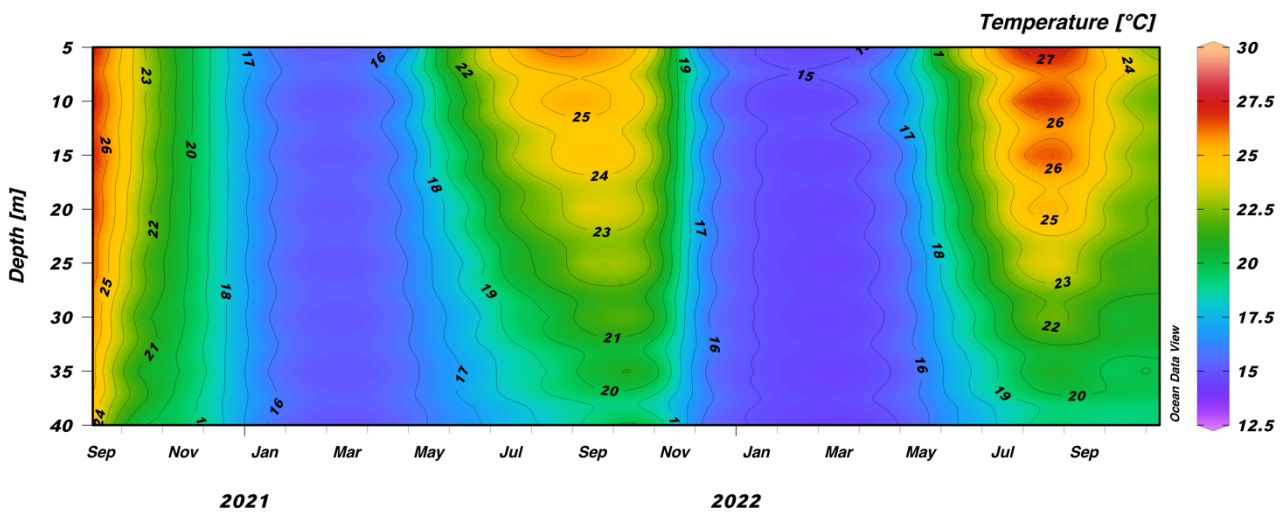


Figura 31. Andamento della temperatura (°C) sulla colonna d'acqua nell'AMP Plemmirio per il periodo compreso tra il 23 luglio 2020 e il 9 novembre 2022.

Confronto tra le diverse aree

Di seguito sono confrontati graficamente gli andamenti medi di temperatura tra le diverse aree di monitoraggio ad ogni profondità indagata (Fig. 32-39).

In generale, i maggiori valori di temperatura sono stati ovviamente registrati nelle aree più a sud secondo un gradiente longitudinale con i maggiori valori di temperatura, specialmente nei mesi invernali, nelle AMP Capo Carbonara e Plemmirio e con i minori valori di temperatura nell'AMP Miramare, Portofino e nell'area dell'Isola d'Elba. Bassi valori di temperatura si osservano anche nell'area più a sud di Torre Guaceto alle profondità di 5 e 10 m. Le maggiori differenze tra gli andamenti di temperatura nelle diverse aree di monitoraggio si riscontrano fino a 20 m nell'area di Miramare, particolarmente fredda in inverno, e dai 20 m di profondità in giù per l'AMP Plemmirio, Capo Carbonara e Torre Guaceto, dove i valori di temperatura nel periodo estivo risultano particolarmente più alti rispetto alle altre aree di monitoraggio.

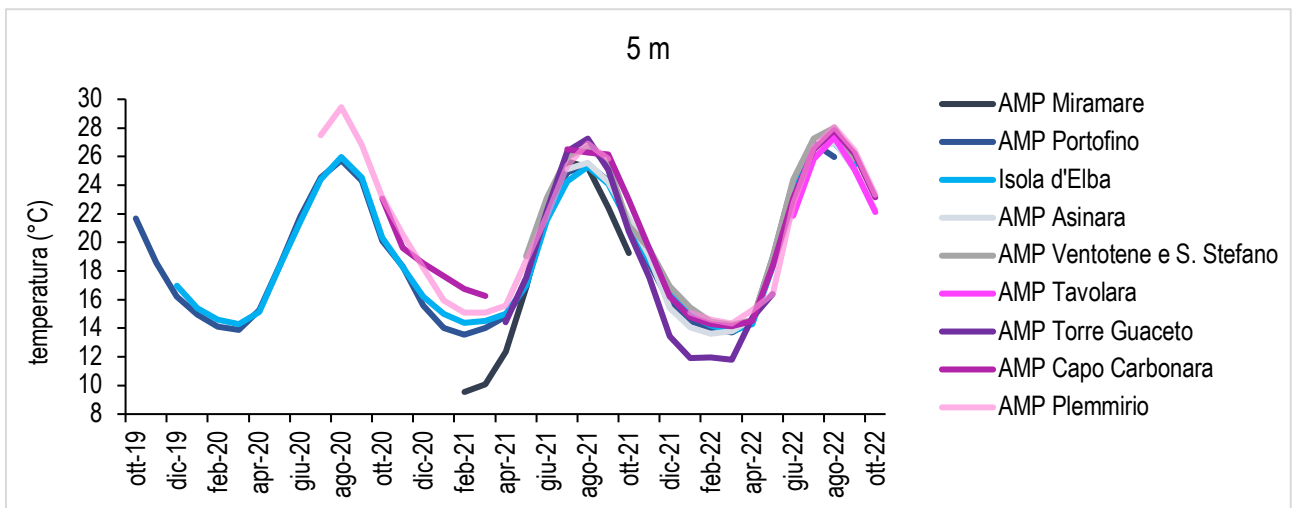


Figura 32. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 5 m per tutte le aree monitorate.

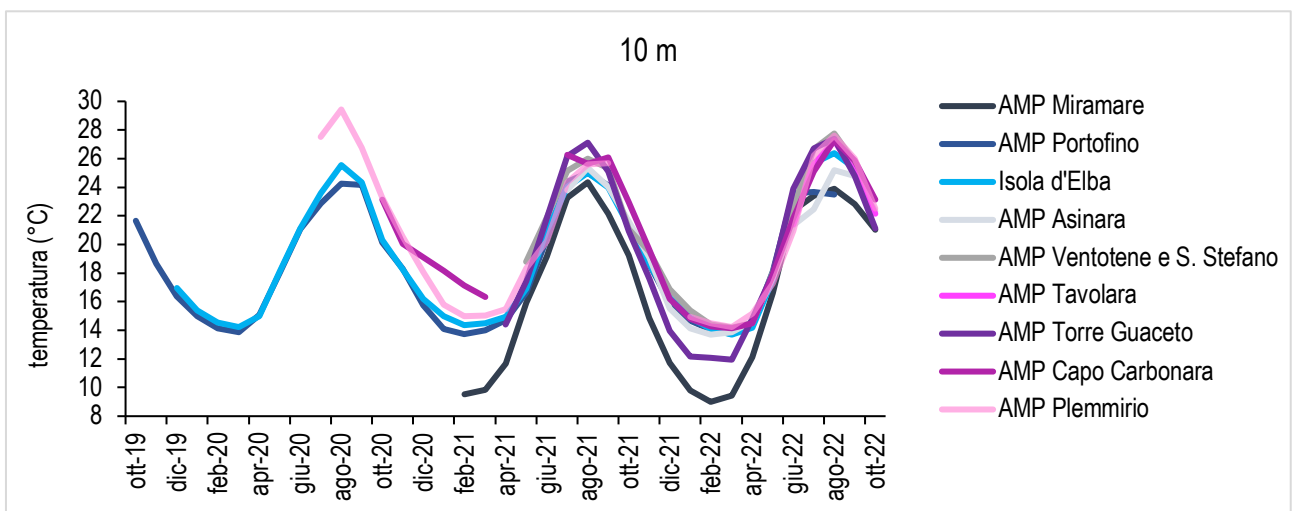


Figura 33. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 10 m per tutte le aree monitorate.

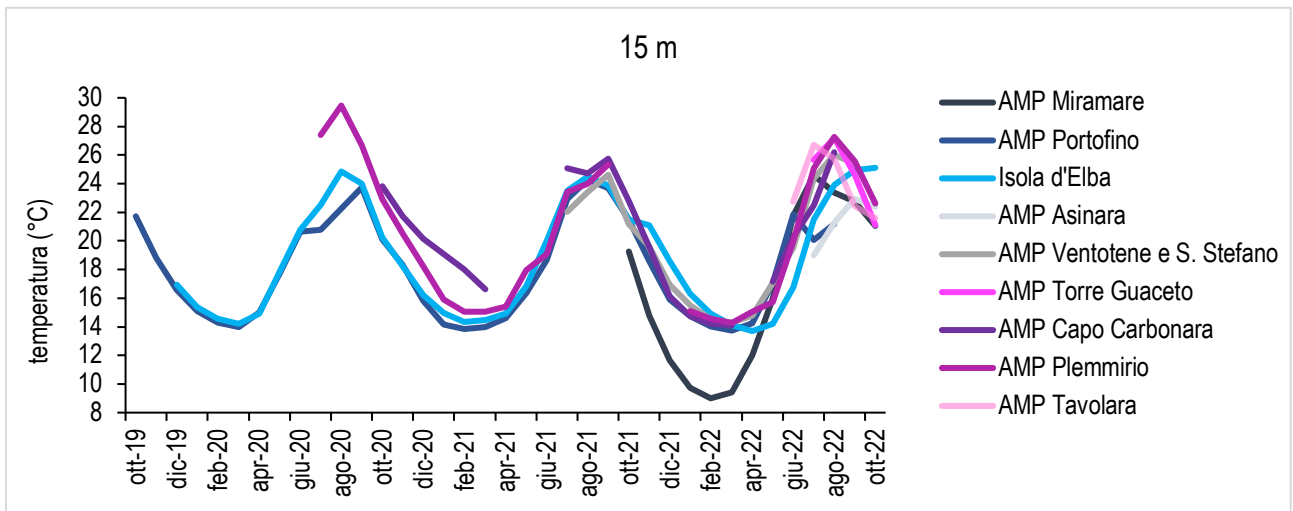


Figura 34. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 15 m per tutte le aree monitorate.

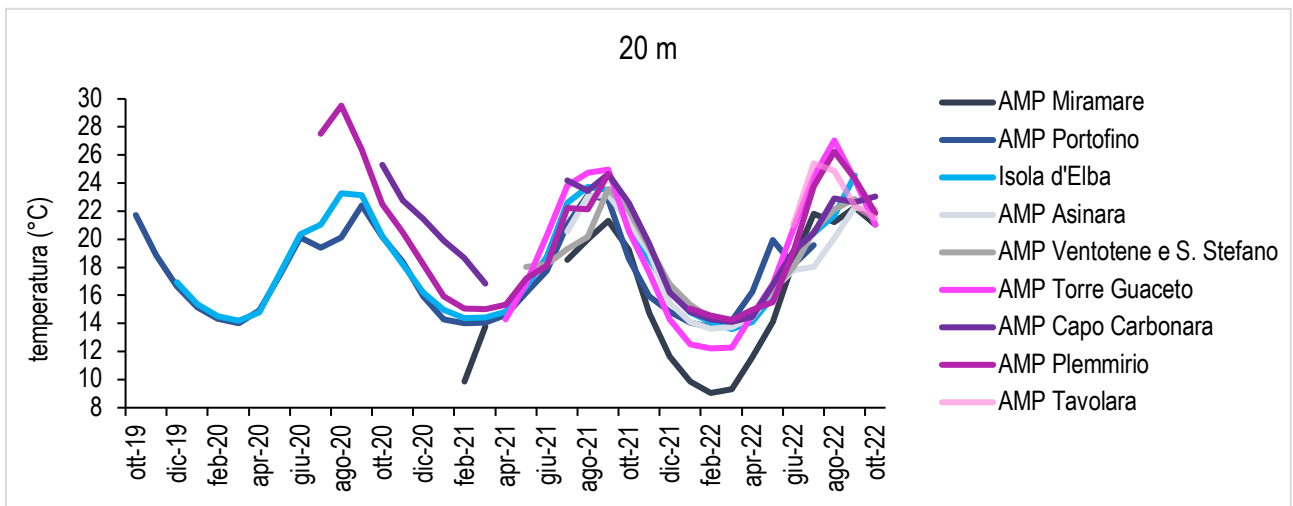


Figura 35. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 20 m per tutte le aree monitorate.

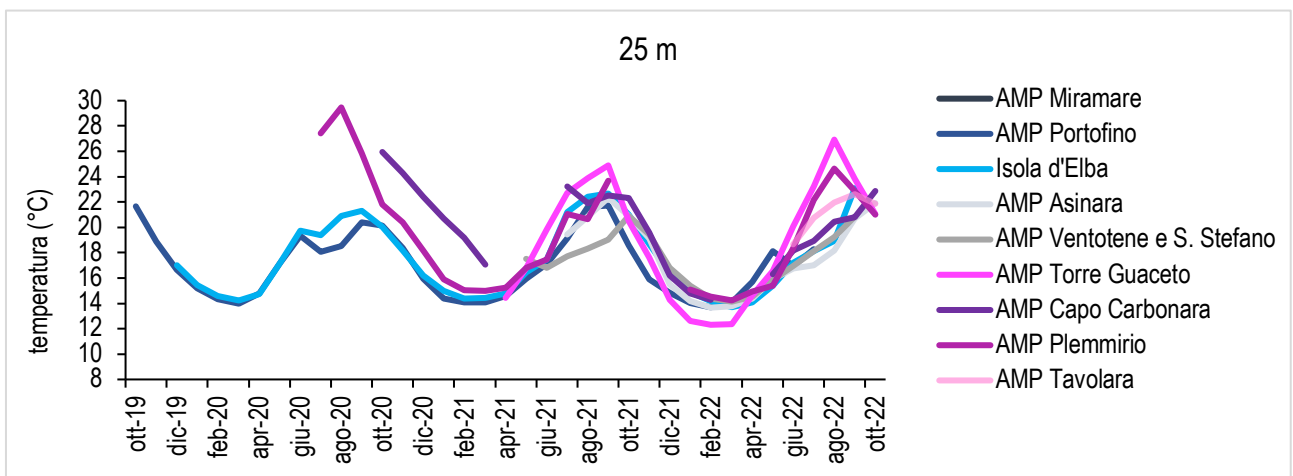


Figura 36. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 25 m per tutte le aree monitorate.

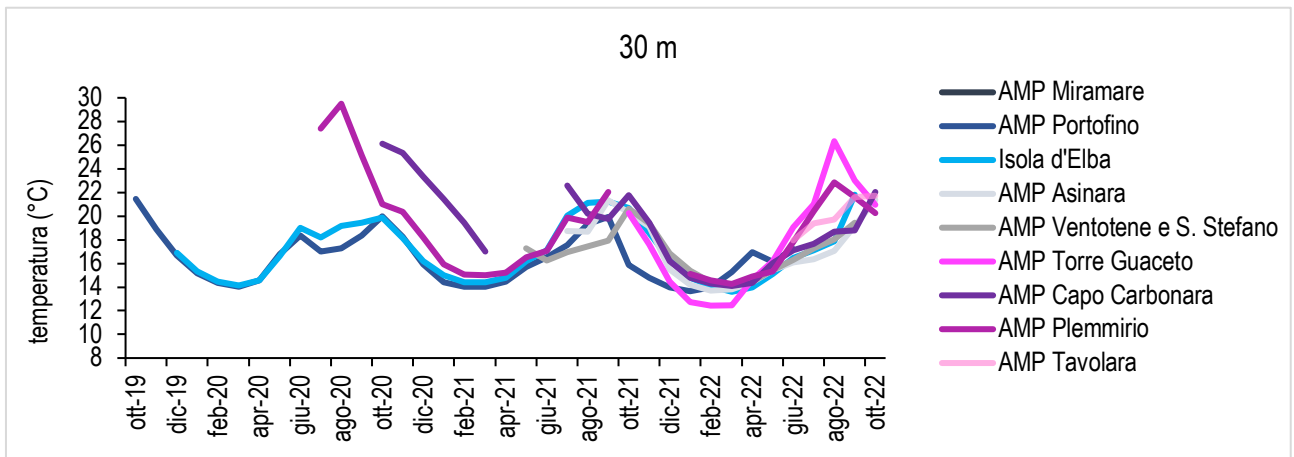


Figura 37. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 30 m per tutte le aree monitorate.

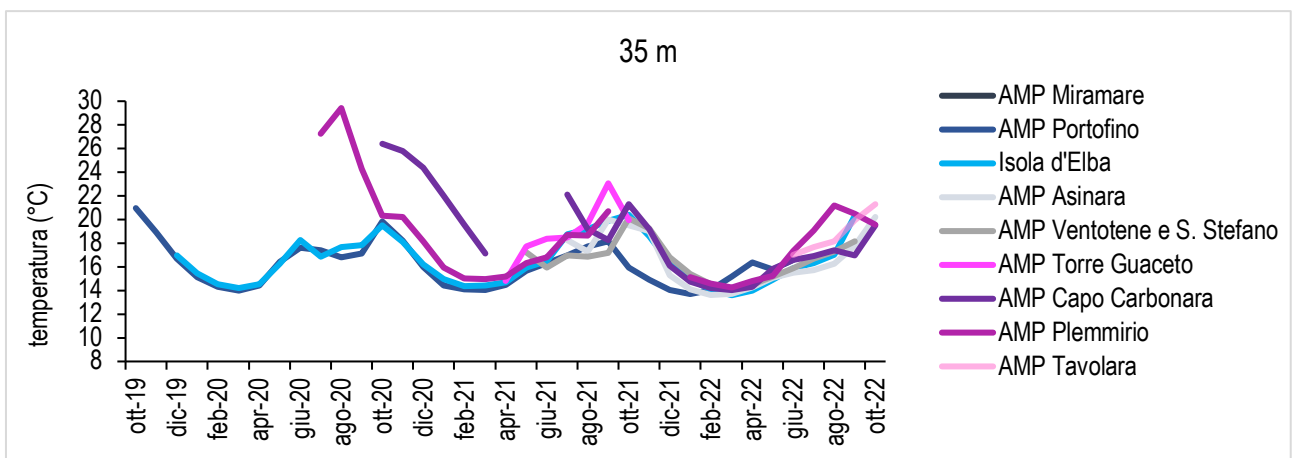


Figura 38. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 35 m per tutte le aree monitorate.

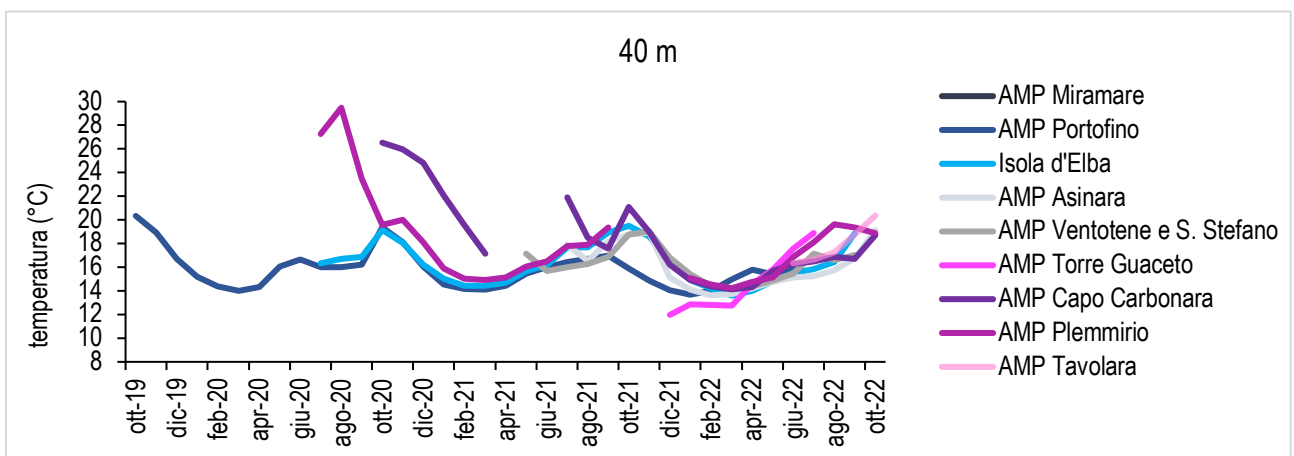


Figura 39. Valori medi mensili di temperatura (°C) a 40 m per tutte le aree monitorate.

STUTTURA E STATO ECOLOGICO DELLE COMUNITÀ

L'analisi della struttura e della composizione delle comunità bentoniche dell'AMP Miramare e dell'AMP Cinque Terre ha permesso una prima caratterizzazione degli ecosistemi di scogliera in queste 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 Miramare

Nell'ambito dei monitoraggi condotti a maggio 2022, per l'AMP Miramare sono state rilevate un totale di 49 specie bentoniche sessili tra le quali 10 specie vegetali e 39 specie animali. Di queste ultime il 48% (N=19) è rappresentato da poriferi, il 13% (N=5) da briozoi, il 10% (N=4) da molluschi, l'8% (N=3) da anellidi, l'8% (N=3) da cordati, l'8% (N=3) da cnidari, e il 2% (N=2) da echinodermi (Fig. 40).

I valori relativi alla diversità della comunità, misurata attraverso l'indice di Shannon (H'), risultano circa 3 a tutte le profondità indagate (i.e. 5 m: $H'=3,68$; 15 m: $H'=3,35$; 20 m: $H'=3,21$), evidenziando un buono stato ecologico delle comunità di scogliera nell'AMP Miramare (Fig. 41).

Per quanto riguarda la dominanza della comunità, i valori dell'indice di Dominanza (D') risultano bassi a tutte le profondità indagate (i.e. 5 m: $D'=0,02$; 15 m: $D'=0,03$; 20 m: $D'=0,03$), a indicare quindi una buona equitabilità tra le specie che compongono la comunità di scogliera dell'AMP Miramare (Fig. 42).

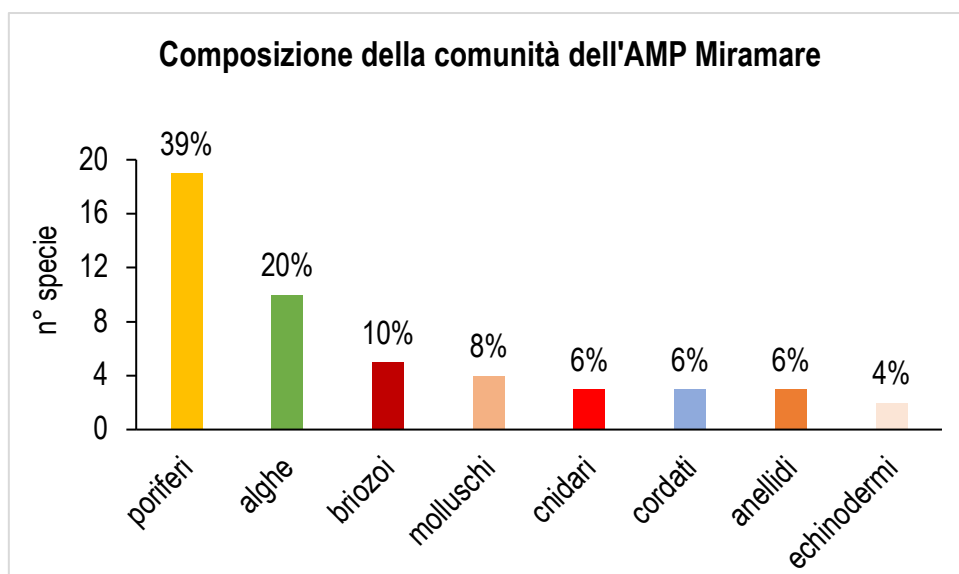


Figura 40. Numero di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità dell'AMP Miramare. Sono inoltre riportati i valori percentuali di ogni gruppo sull'intera comunità.

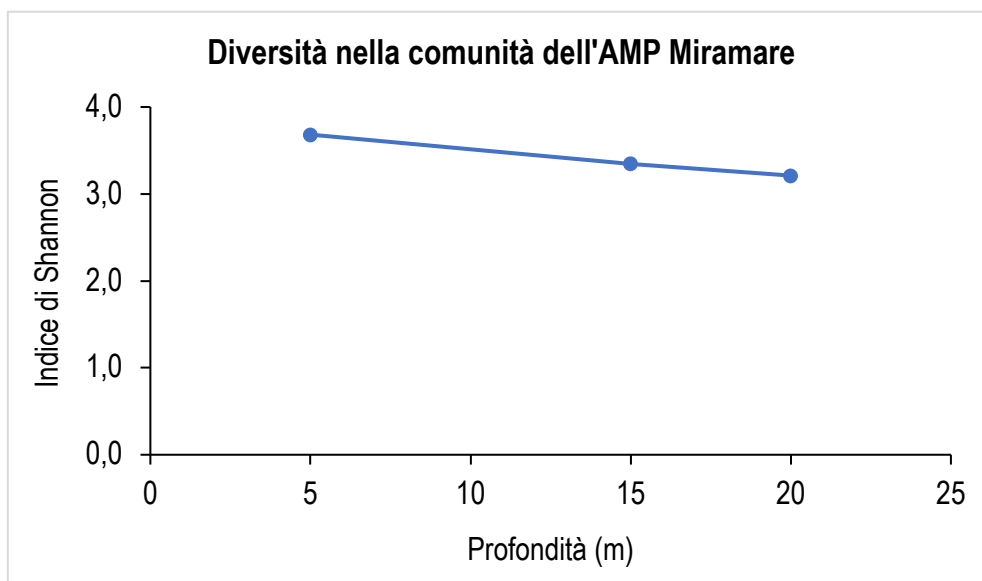


Figura 41. Andamento dell'indice di Shannon lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Miramare.

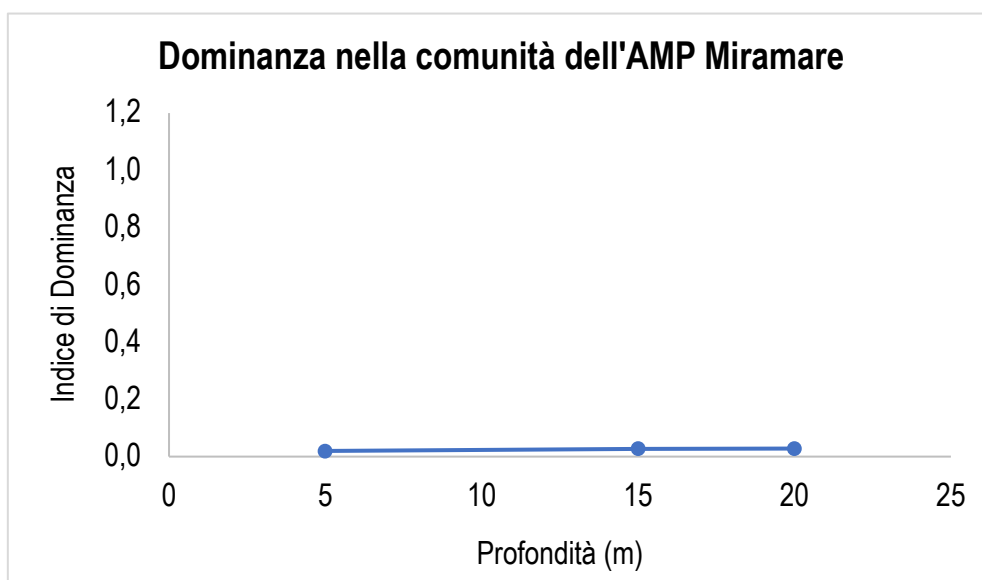


Figura 42. Andamento dell'indice di Dominanza lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Miramare.

AMP Cinque Terre

Nell'ambito dei monitoraggi preliminari (in due soli siti) condotti ad aprile 2022, per l'AMP Cinque Terre sono state rilevate un totale di 39 specie bentoniche sessili tra le quali 20 specie vegetali e 19 specie animali. Di queste ultime il 44% (N=8) è rappresentato da poriferi, il 22% (N=4) da briozoi, il 17% (N=3) da anellidi, e il 17% (N=3) da cnidari (Fig. 43).

I valori relativi alla diversità della comunità, misurata attraverso l'indice di Shannon (H'), risultano compresi tra 2 e 3 a tutte le profondità indagate (i.e. 10 m: $H'=2,13$; 20 m:

$H'=2,00$; 30 m: $H'=2,62$), evidenziando un moderato stato ecologico delle comunità di scogliera nell'AMP Cinque Terre (Fig. 44).

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: $D'=0,09$; 20 m: $D'=0,05$; 30 m: $D'=0,06$) a indicare quindi una buona equitabilità tra le specie che compongono la comunità di scogliera dell'AMP Cinque Terre (Fig. 45).

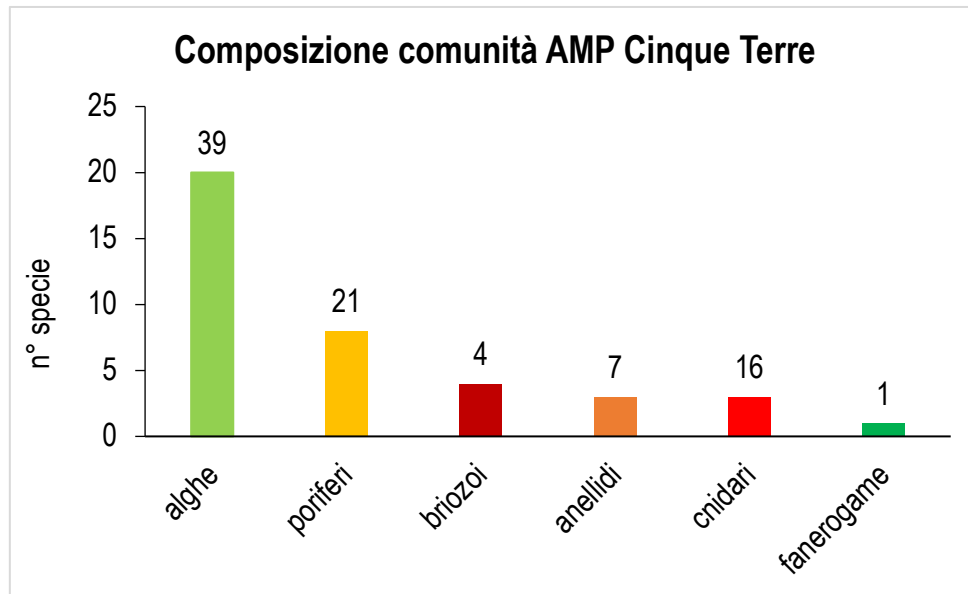


Figura 43. Numero di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità dell'AMP Cinque Terre. Sono inoltre riportati i valori percentuali di ogni gruppo sull'intera comunità.

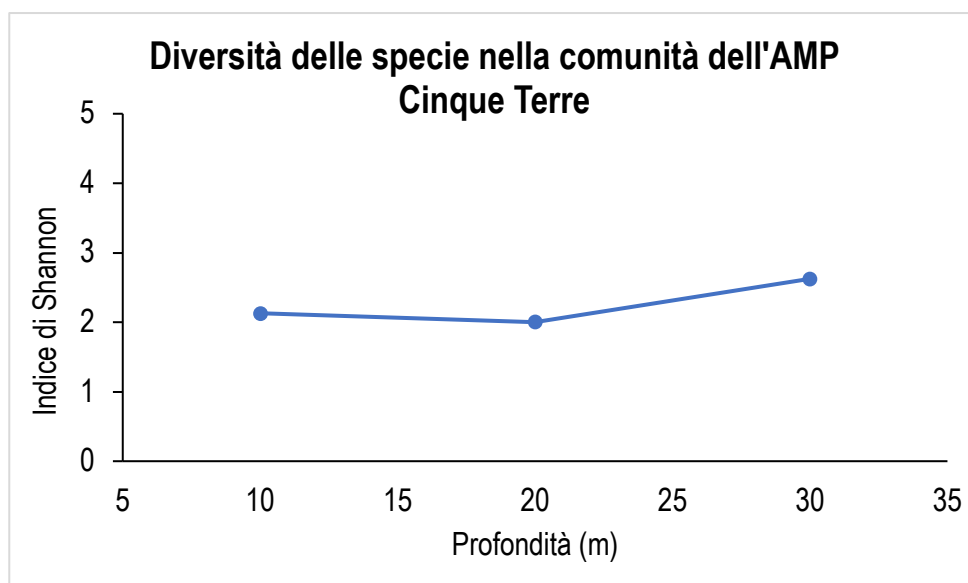


Figura 44. Andamento dell'indice di Shannon lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Cinque Terre.

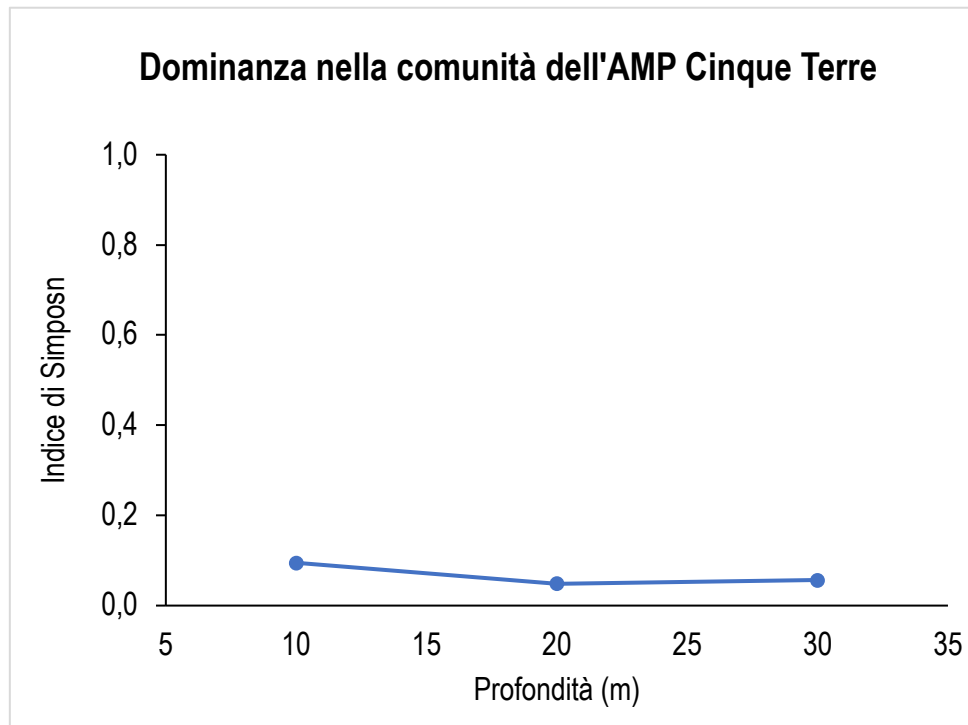


Figura 45. Andamento dell'indice di Dominanza lungo il gradiente batimetrico nell'AMP Cinque Terre.

Confronto della struttura e dello stato ecologico delle comunità bentoniche nelle sette aree monitorate

Il confronto della composizione e della struttura delle comunità bentoniche nelle sette aree di studio monitorate nell'ambito dei tre 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=101), seguita dall'AMP Torre Guaceto (N=82), dall'AMP Plemmirio (N=71), dall'Isola d'Elba (N=70), dall'AMP Miramare (N=49), 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. 46, 47).

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) e per l'Isola d'Elba (Fig. 48).

I valori dell'indice di Dominanza confermano un minor 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. 49). Viceversa a fronte di un impatto, le comunità delle altre aree di studio con 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).

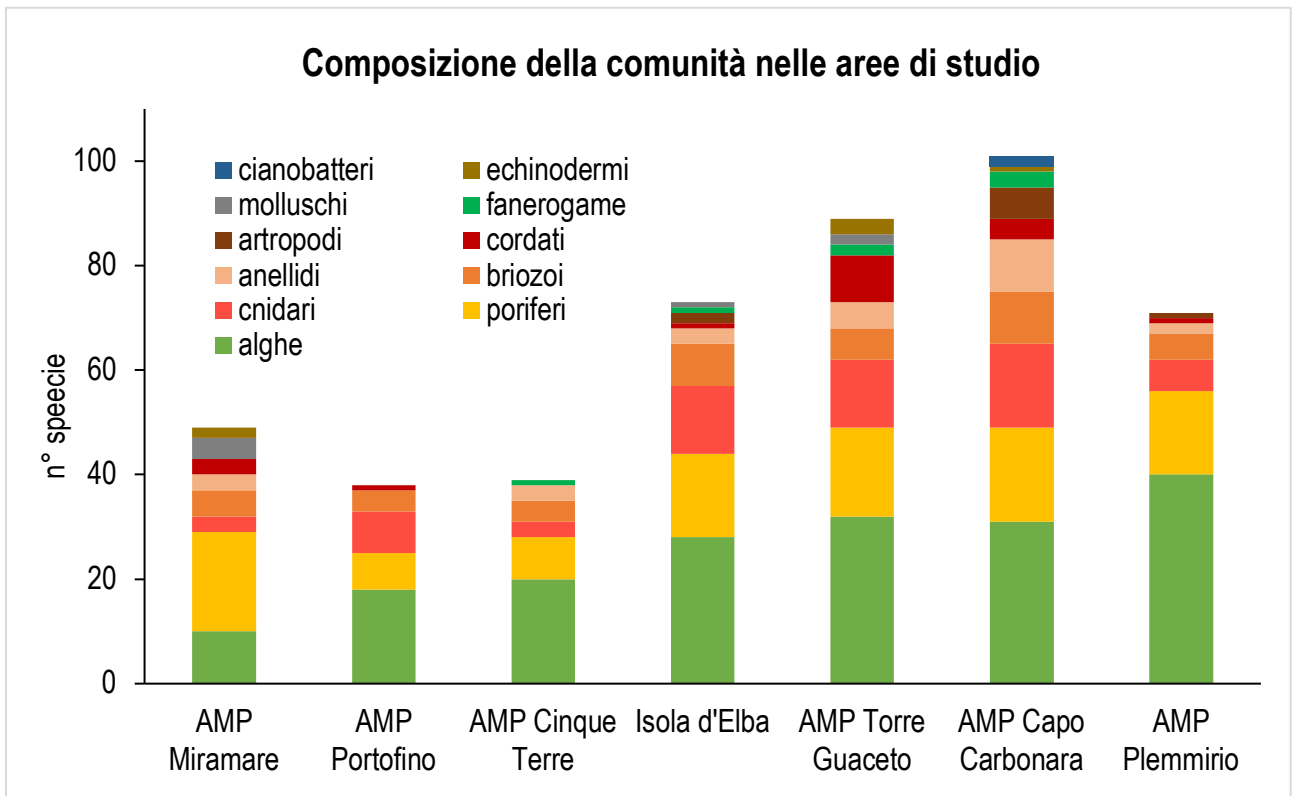


Figura 46. Numero di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità bentonica nelle sette aree di studio indagate nei tre anni di progetto mare caldo.

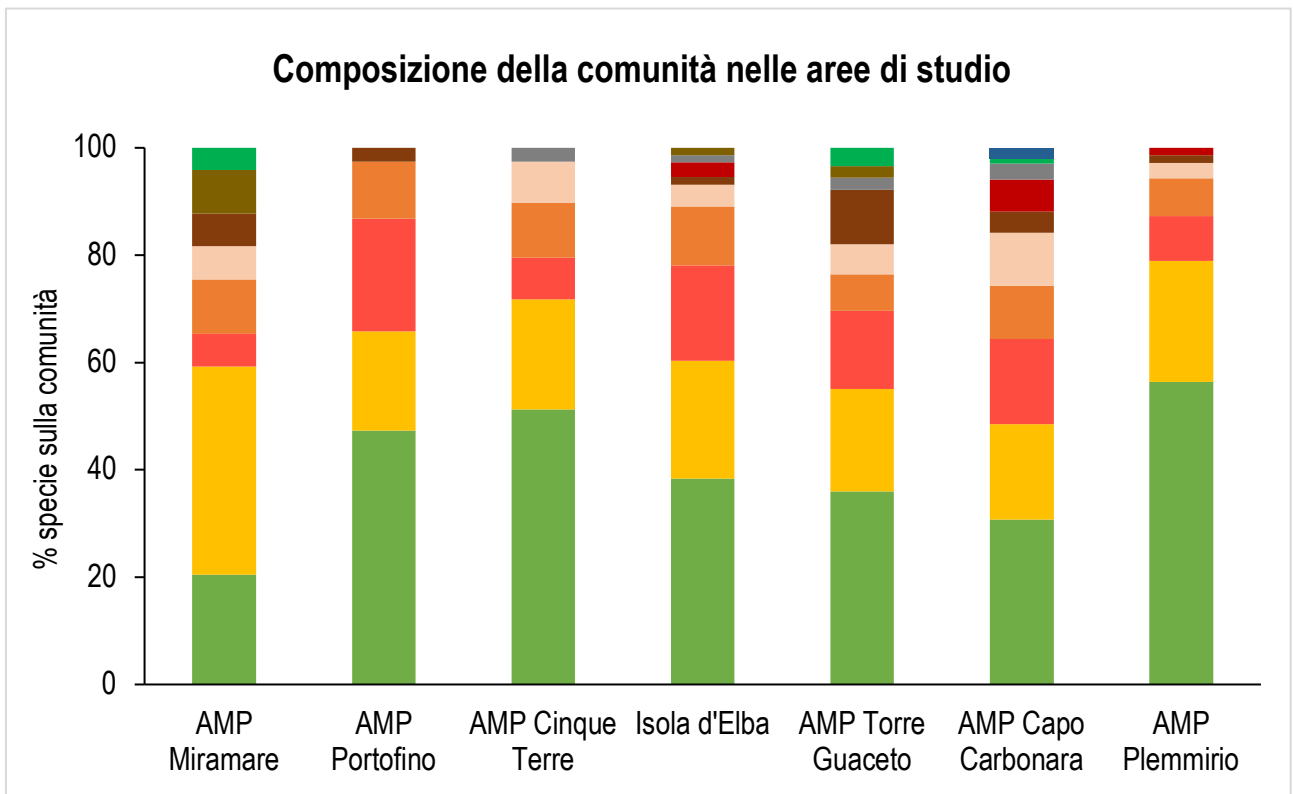


Figura 47. Percentuale di specie per ogni taxon vegetale e animale che compone la comunità bentonica nelle sette aree di studio indagate nei tre anni di progetto mare caldo.

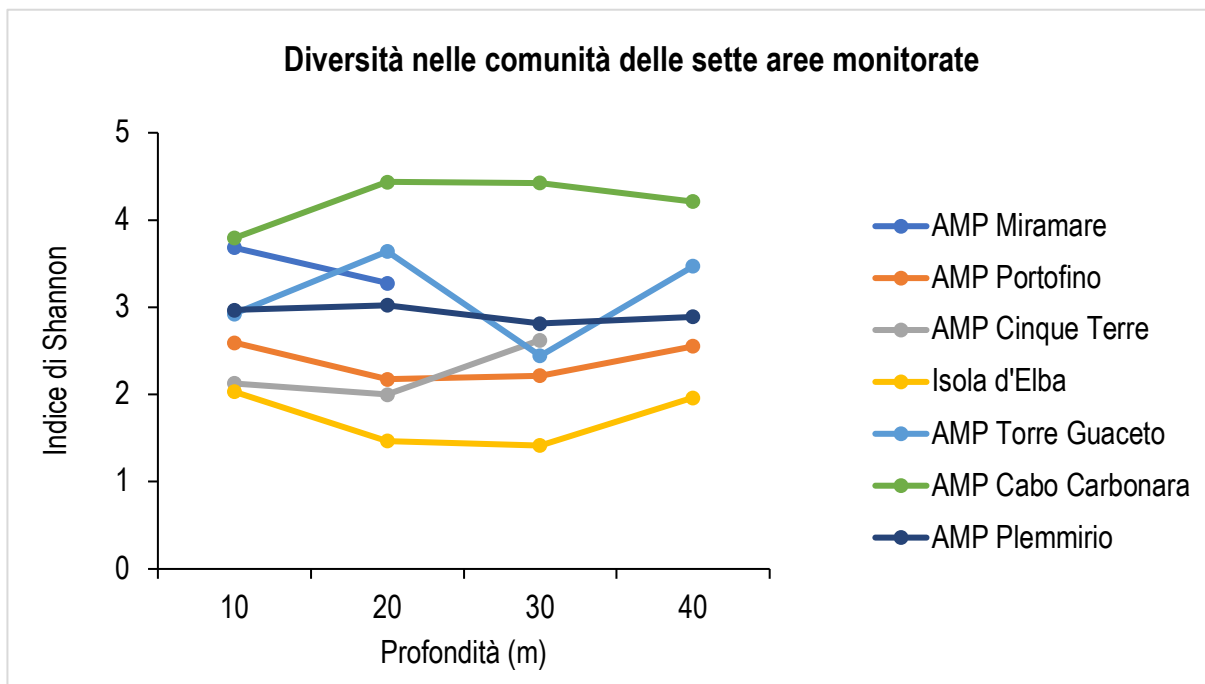


Figura 48. Grafico dell'andamento dell'Indice di Shannon lungo il gradiente batimetrico nelle sette aree monitorate.

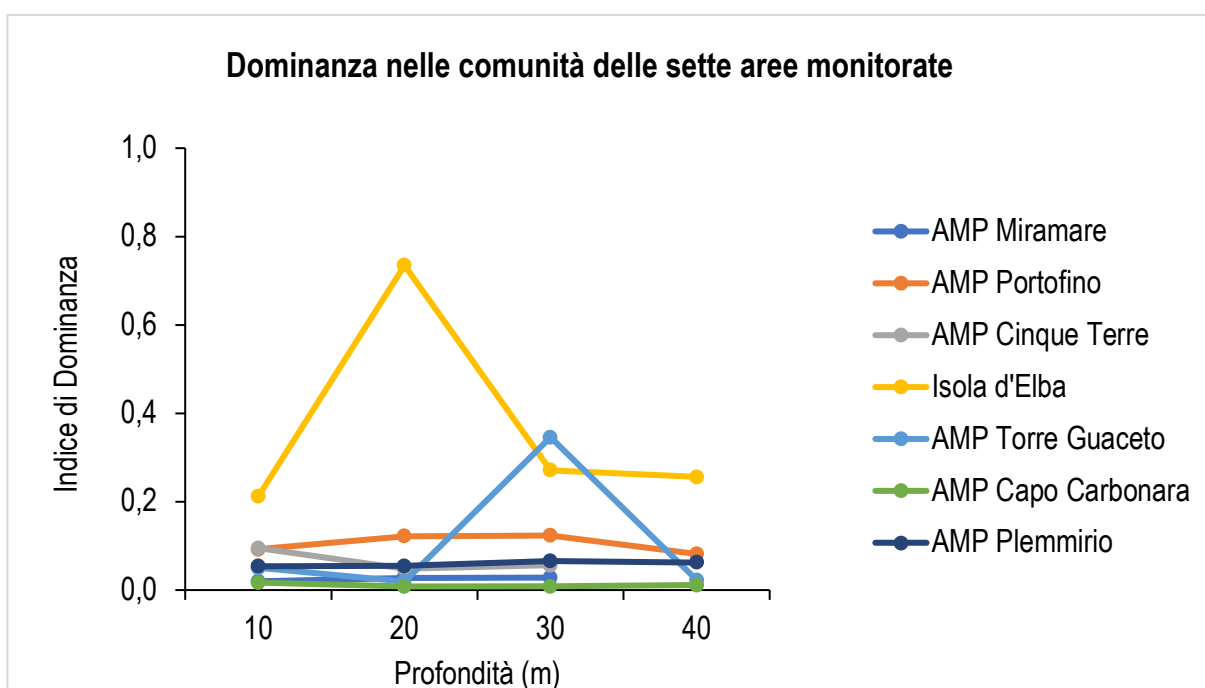


Figura 49. Grafico dell'andamento dell'Indice di Dominanza lungo il gradiente batimetrico nelle sette aree monitorate.

CAMBIAMENTO NEL TEMPO

La disponibilità di dati storici a partire dagli anni '90 all'Isola d'Elba aveva permesso, nell'ambito del primo anno di progetto, di valutare come le comunità bentoniche delle scogliere rocciose di quest'area siano cambiate nel tempo (Montefalcone & Azzola, 2020). I dati raccolti durante i monitoraggi negli anni successivi hanno confermato il generale trend di cambiamento.

Isola d'Elba

L'analisi multivariata (nMDS) applicata alla matrice dei dati della comunità bentonica dell'Isola d'Elba ha ordinato i punti lungo due gradienti perpendicolari: uno batimetrico lungo il 1° asse (orizzontale) e uno temporale lungo il 2° asse (verticale) (Fig. 50). Il gradiente batimetrico è espresso dalla profondità crescente da sinistra (10 m) a destra (40 m): lungo l'asse orizzontale è quindi possibile osservare come la principale forzante nella distinzione delle comunità sia la batimetria. Il gradiente temporale è invece espresso dal secondo asse, lungo il quale si osservano le traiettorie temporali (Fig. 50). Queste nell'ambito del primo anno di progetto, con i soli dati raccolti nel 2020 (Montefalcone & Azzola, 2020), avevano mostrato un cambiamento irreversibile negli ultimi 30 anni per le stazioni a 10 m, 20 m e 30 m e un chiaro segnale di ritorno alla condizione iniziale per la stazione a 40 m (Fig. 50a). Le analisi integrate con i dati raccolti nell'ambito del secondo anno e del terzo di progetto non hanno evidenziato differenze significative rispetto a quanto osservato nel 2020, confermando cambiamenti irreversibili in tutte le comunità indagate fatta eccezione per quella a 40 m. Tuttavia, a questa profondità, con l'integrazione dei dati più recenti sembrerebbe che la comunità non sia esattamente come quella degli anni 90' (Fig. 50b) e solo tramite futuri monitoraggi sarà possibile continuare a stabilirne il trend di cambiamento.

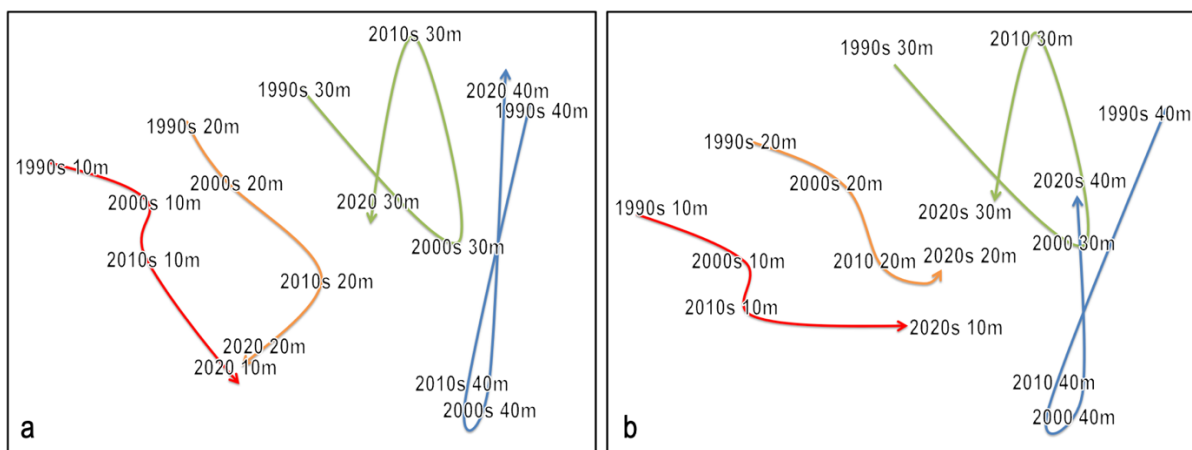


Figura 50. Grafico dell'analisi nMDS **a)** con i soli dati del primo anno di monitoraggio; e **b)** integrato con i dati raccolti nell'ambito del secondo e del terzo anno di progetto. Il primo asse (orizzontale) rappresenta il gradiente batimetrico mentre il secondo asse (verticale) rappresenta il gradiente temporale. Gli anni e le profondità riportati in nero rappresentano i centroidi per ogni periodo di studio a ogni differente fascia batimetrica, mentre le frecce rappresentano le traiettorie temporali per ogni fascia di profondità.

MONITORAGGIO MORIE DI MASSA

Nel corso dei monitoraggi condotti nei primi tre anni del progetto Mare Caldo in nessuna delle aree di studio sono stati rilevati eventi eccezionali di morie di massa riconducibili ad anomalie termiche verificatesi nel 2020, 2021 o 2022. Questo risultato è coerente con i dati resi disponibili dalla rete mediterranea T-MEDNet nella quale, negli anni dal 2020 al 2022, è stata segnalata solamente una moria della specie *Eunicella singularis* in Algeria tra i 15 m e i 25 m di profondità (Benabdi Mouloud, <https://t-mednet.org/mass-mortality/mass-mortality-events>) e solo basse o moderate percentuali di impatto per le altre specie target.

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 e il relativo grado di impatto (i.e. basso, moderato, severo).

AMP Miramare

I dati sul monitoraggio delle morie di massa delle specie target nell'AMP Miramare (Tab. 11) mostrano segnali di impatto su un numero esiguo di specie rispetto a quanto osservato nelle altre aree di studio. Tuttavia, nel sito Castello di Miramare sono stati osservati centinaia di individui morti del bivalve *Pinna nobilis* a fronte della moria di massa che ha interessato tutte le popolazioni mediterranee tra gli anni 2018 e 2020 a causa di un consorzio di patogeni.

Gli effetti del riscaldamento delle acque sono stati inoltre osservati per alcune colonie del madreporario mediterraneo *Cladocora caespitosa*, di cui circa il 40% delle colonie monitorate riportavano segni di sbiancamento.

Tabella 11. Risultati del monitoraggio delle morie di massa nell'AMP Miramare. 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%.

| Castello di Miramare | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------|
| Specie | Prof. (m) | Grado di impatto | % colonie impattate | N° colonie impattate | N° colonie non impattate | N° colonie monitorate | Note |
| <i>Cladocora caespitosa</i> | 5 | B | 13 | 8 | 55 | 63 | Sbiancamento |
| <i>Pinna nobilis</i> | 5 | S | 99% | 120 | 1 | 121 | Morie passate |

AMP Cinque Terre

Come per l'AMP Miramare, anche i dati sul monitoraggio delle morie di massa delle specie target nell'AMP Cinque Terre (Tab. 12) mostrano segnali di impatto su un numero esiguo di specie rispetto a quanto osservato nelle altre aree di studio. Tuttavia, bisogna considerare che in quest'area sono stati condotti solo monitoraggi preliminari e l'area è sotto campionata rispetto alle altre.

Effetti del riscaldamento delle acque sono stati comunque osservati per alcune colonie del madreporario mediterraneo *Cladocora caespitosa*, di cui circa il 16% delle colonie monitorate riportavano segni di sbiancamento, e sulle alghe corallinacee incrostanti, di cui il 17% circa risultavano sbiancate.

Tabella 12. Risultati del monitoraggio delle morie di massa nell'AMP Cinque Terre. 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%.

| Scoglietto Gaggiato | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------|------------------------|--|--|---|
| Specie | Prof. (m) | Grado di impatto | % superficie impattata | Superficie impattata (m ²) | Superficie non impattata (m ²) | Superficie monitorata (m ²) |
| Alghe corallinacee incrostanti | 10 | B | 10% | 0,2 | 1,8 | 2 |
| Alghe corallinacee incrostanti | 20 | B | 23% | 0,7 | 2,3 | 3 |

| Prateria di Monterosso | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Specie | Prof. (m) | Grado di impatto | % colonie impattate | N° colonie impattate | N° colonie non impattate | N° colonie monitorate |
| <i>Cladocora caespitosa</i> | 6 | B | 22 | 4 | 14 | 18 |
| <i>Cladocora caespitosa</i> | 10 | B | 14 | 7 | 43 | 50 |

Isola d'Elba

I dati sul monitoraggio delle morie di massa delle specie target all'Isola d'Elba mostrano segnali di impatto su un maggior numero di specie rispetto alle altre aree monitorate nel 2022 (Tab. 13). Inoltre, confrontando i dati raccolti nei primi tre anni di progetto Mare Caldo è stato possibile osservare un aumento dei segnali di mortalità nelle specie target *Balanophyllia europea* e *Paramuricea clavata* (Fig. 51). Segnali positivi sono stati invece riportati dalle specie *Cladocora caespitosa*, *Eunicella singularis* e dalle corallinacee incrostanti la cui percentuale di necrosi è diminuita nei tre anni (Fig. 51). Per la specie *Eunicella cavolini* invece non sono state osservate variazioni significative (Fig. 51).

Tabella 13. Risultati del monitoraggio delle morie di massa all'Isola d'Elba, 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%.

| Cannelle | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------------|------------------------|--|--|---|---------------|
| Specie | Prof (m) | Grado di impatto | % colonie impattate | N° colonie impattate | N° colonie non impattate | N° colonie monitorate | Note |
| <i>Balanophyllia europea</i> | 40 | B | 21 | 21 | 80 | 101 | |
| <i>Cladocora caespitosa</i> | 11 | B | 13 | 1 | 7 | 8 | Sbiancamento |
| <i>Eunicella cavolini</i> | 30 | / | 0 | 0 | 13 | 13 | |
| <i>Eunicella singularis</i> | 40 | M | 38 | 6 | 10 | 16 | |
| <i>Eunicella singularis</i> | 30 | / | 0 | 0 | 5 | 5 | 10-15 cm |
| <i>Paramuricea clavata</i> | 30 | B | 30 | 35 | 80 | 115 | |
| <i>Paramuricea clavata</i> | 30 | M | 40 | 17 | 25 | 42 | |
| Formiche della Zanca | | | | | | | |
| Specie | Prof (m) | Grado di impatto | % colonie impattate | N° colonie impattate | N° colonie non impattate | N° colonie monitorate | Note |
| <i>Balanophyllia europea</i> | 25 | B | 23 | 63 | 19 | 82 | |
| <i>Eunicella cavolini</i> | 30 - 35 | B | 25 | 27 | 9 | 36 | |
| <i>Eunicella singularis</i> | 30 - 35 | B | 15 | 11 | 2 | 13 | |
| <i>Leptogorgia sarmentosa</i> | 30 - 35 | / | 0 | 8 | 0 | 8 | |
| <i>Paramuricea clavata</i> | 40 | M | 38 | 30 | 18 | 48 | |
| Specie | Prof, (m) | Grado di impatto | % superficie impattata | Superficie impattata (m ²) | Superficie non impattata (m ²) | Superficie monitorata (m ²) | Note |
| <i>Lithophyllum sp.</i> | 14 | S | 100 | 0,04 | 0 | 0,04 | |
| Scoglietto | | | | | | | |
| Specie | Prof (m) | Grado di impatto | % colonie impattate | N° colonie impattate | N° colonie non impattate | N° colonie monitorate | Note |
| <i>Eunicella cavolini</i> | 8 - 15 | B | 23 | 59 | 18 | 77 | |
| <i>Pinna nobilis</i> | 40 | S | 100 | 0 | 2 | 2 | Morie passate |
| <i>Pinna nobilis</i> | 40 | M | 34 | 45 | 23 | 68 | Morie passate |
| Picchi di Pablo | | | | | | | |
| Specie | Prof (m) | Grado di impatto | % colonie impattate | N° colonie impattate | N° colonie non impattate | N° colonie monitorate | Note |
| <i>Balanophyllia europea</i> | 10 - 20 | B | 27 | 45 | 17 | 62 | |
| <i>Cladocora caespitosa</i> | 6 - 15 | S | 40 | 3 | 2 | 5 | Sbiancamento |
| <i>Eunicella cavolini</i> | 30 - 35 | B | 22 | 18 | 5 | 23 | |
| <i>Eunicella cavolini</i> | 20 | / | 9 | 20 | 2 | 22 | |
| <i>Eunicella cavolini</i> | 13 | B | 11 | 17 | 2 | 19 | |
| <i>Eunicella singularis</i> | 3 - 15 | / | 0 | 2 | 0 | 2 | |
| <i>Ircinia oros</i> | 40 | S | 100 | 0 | 1 | 1 | |
| <i>Paramuricea clavata</i> | 30 - 35 | B | 11 | 80 | 10 | 90 | |
| <i>Paramuricea clavata</i> | 30 - 35 | / | 0 | 15 | 0 | 15 | |

| Specie | Prof, (m) | Grado di impatto | % superficie impattata | Superficie impattata (m ²) | Superficie non impattata (m ²) | Superficie monitorata (m ²) | Note |
|-------------------------|-----------|------------------|------------------------|--|--|---|------|
| <i>Lithophyllum</i> sp. | 15 | B | 10 | 0,1 | 0,09 | 1 | |

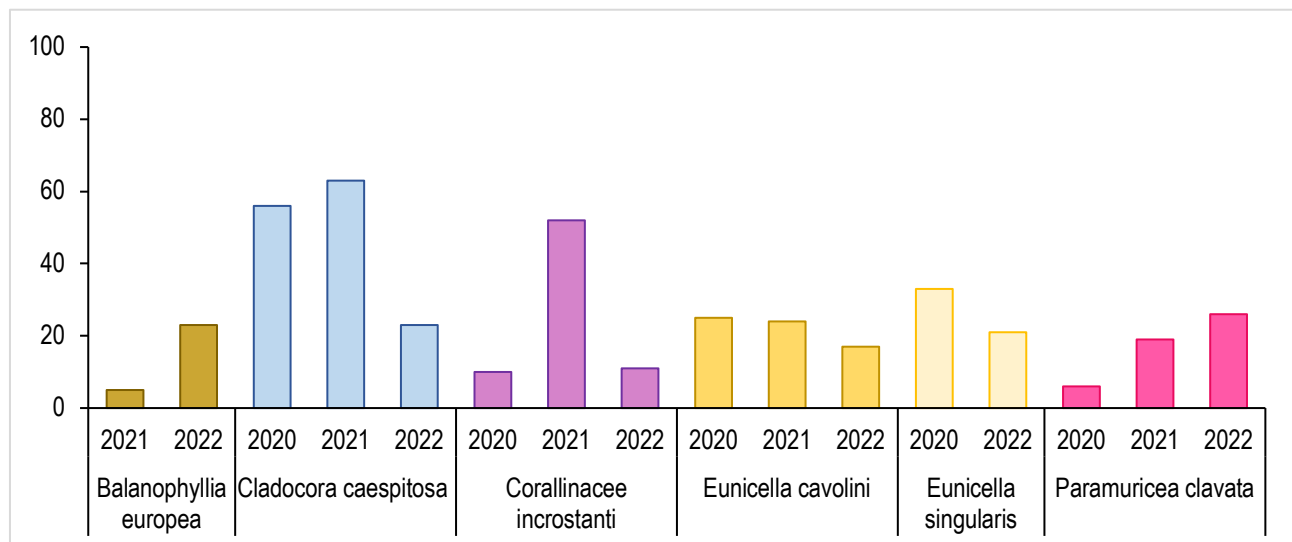


Figura 51. Percentuale (%) di specie target riportanti segni di necrosi o sbiancamento all'Isola d'Elba nei tre anni di monitoraggio.

Confronto delle aree monitorate nell'ambito dei due anni di progetto

Nell'ambito dei tre anni di progetto e considerando tutte le aree monitorate, indipendentemente dal diverso livello di protezione e dalla diversa latitudine, per tutte le aree di studio sono stati osservati fenomeni di morie su colonie animali e organismi vegetali. L'AMP Capo Carbonara è risultata l'area dove sono stati rilevati i maggiori segnali di sofferenza sulle colonie del madreporario *Cladocora caespitosa*, per il quale tutte le colonie riportavano segnali di sbiancamento o necrosi (Fig. 52). Allo stesso modo in quest'area sono stati rilevati i maggiori segnali di impatto per le colonie di gorgonie delle specie *Eunicella singularis* e *Paramuricea clavata* (Fig. 52). Per la specie *Eunicella cavolini*, invece, la maggior percentuale di impatto è stata osservata all'Isola d'Elba nel 2020 e 2021 e nell'AMP Capo Carbonara (Fig. 52). Per la specie *Balanophyllia europea* invece il maggior grado di impatto è stato registrato nell'AMP Torre Guaceto (Fig. 52).

Per quanto riguarda le alghe calcaree incrostanti, i maggiori impatti sono stati osservati nell'AMP Capo Carbonara, all'Isola d'Elba nel 2021 e nell'AMP Torre Guaceto (Fig. 53).

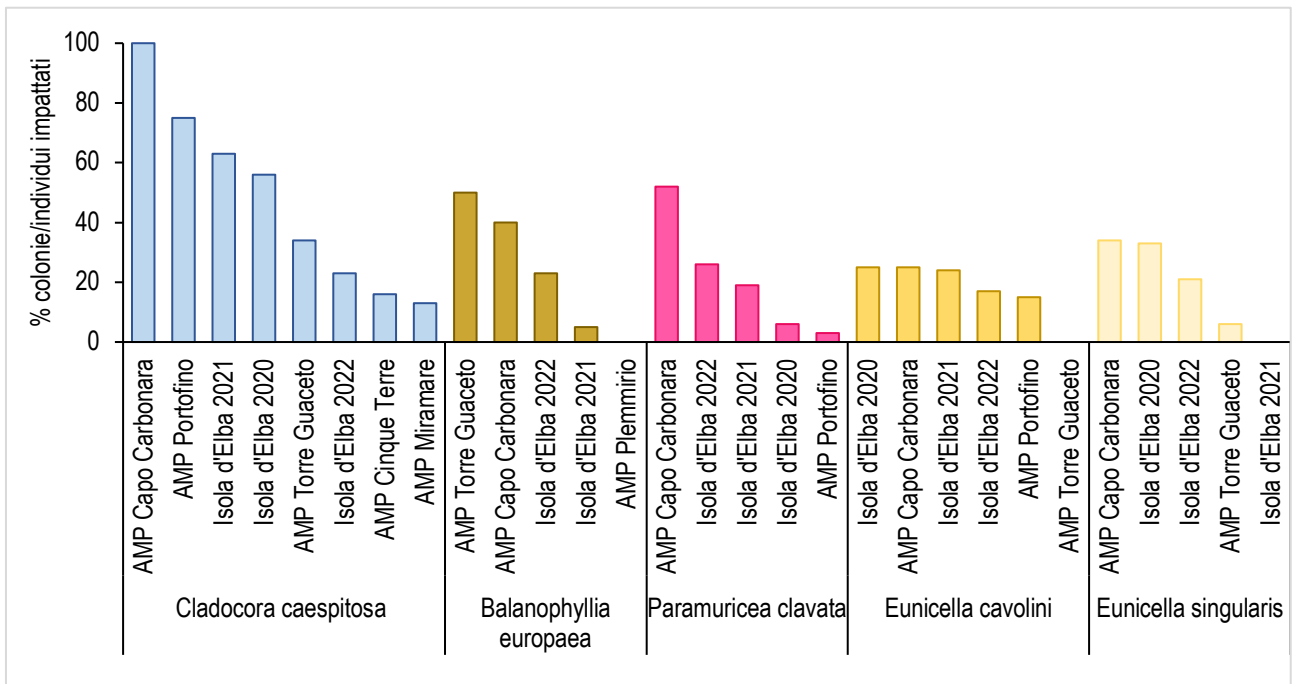


Figura 52. Percentuale (%) di colonie di Cnidari riportanti segni di necrosi o sbiancamento nelle sette aree di monitoraggio: AMP Miramare, AMP Portofino, AMP Cinque Terre, Isola d'Elba, AMP Torre Guaceto e AMP Capo Carbonara, AMP Plemmirio.

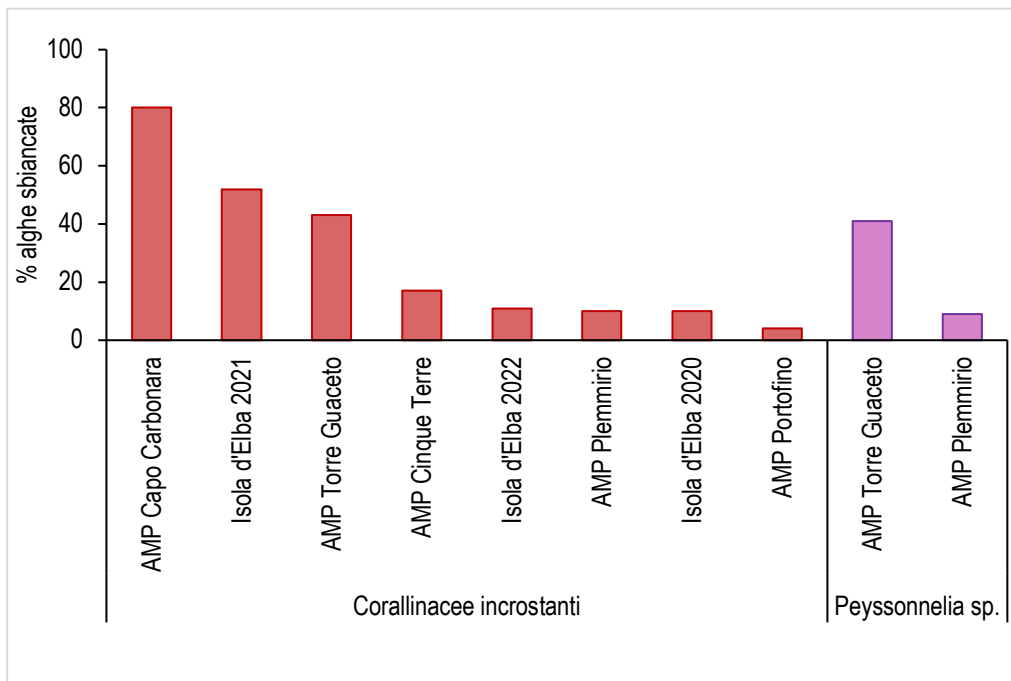


Figura 53. Percentuale (%) di alghe incrostanti sbiancate nelle aree di monitoraggio: AMP Portofino, AMP Cinque Terre, Isola d'Elba, AMP Torre Guaceto e AMP Capo Carbonara, AMP Plemmirio.

MONITORAGGIO SPECIE TERMOFILE

I dati relativi alle specie termofile mostrano un generale gradiente latitudinale con maggiori abbondanze da nord verso sud. Una maggiore presenza di specie termofile si osserva infatti nelle AMP Capo Carbonara e Plemmirio, dove naturalmente abbondano le specie native termofile ma sono anche diverse le specie aliene provenienti dal canale di Suez e dall'Atlantico. È tuttavia interessante notare che tra queste due aree l'AMP Capo Carbonara risulta quella più ricca di specie termofile. A queste due aree seguono l'AMP Torre Guaceto, l'Isola d'Elba e l'AMP Portofino e l'AMP Cinque Terre. Nell'AMP Miramare, area di studio più a nord, non sono state rilevate specie termofile (Fig. 54).

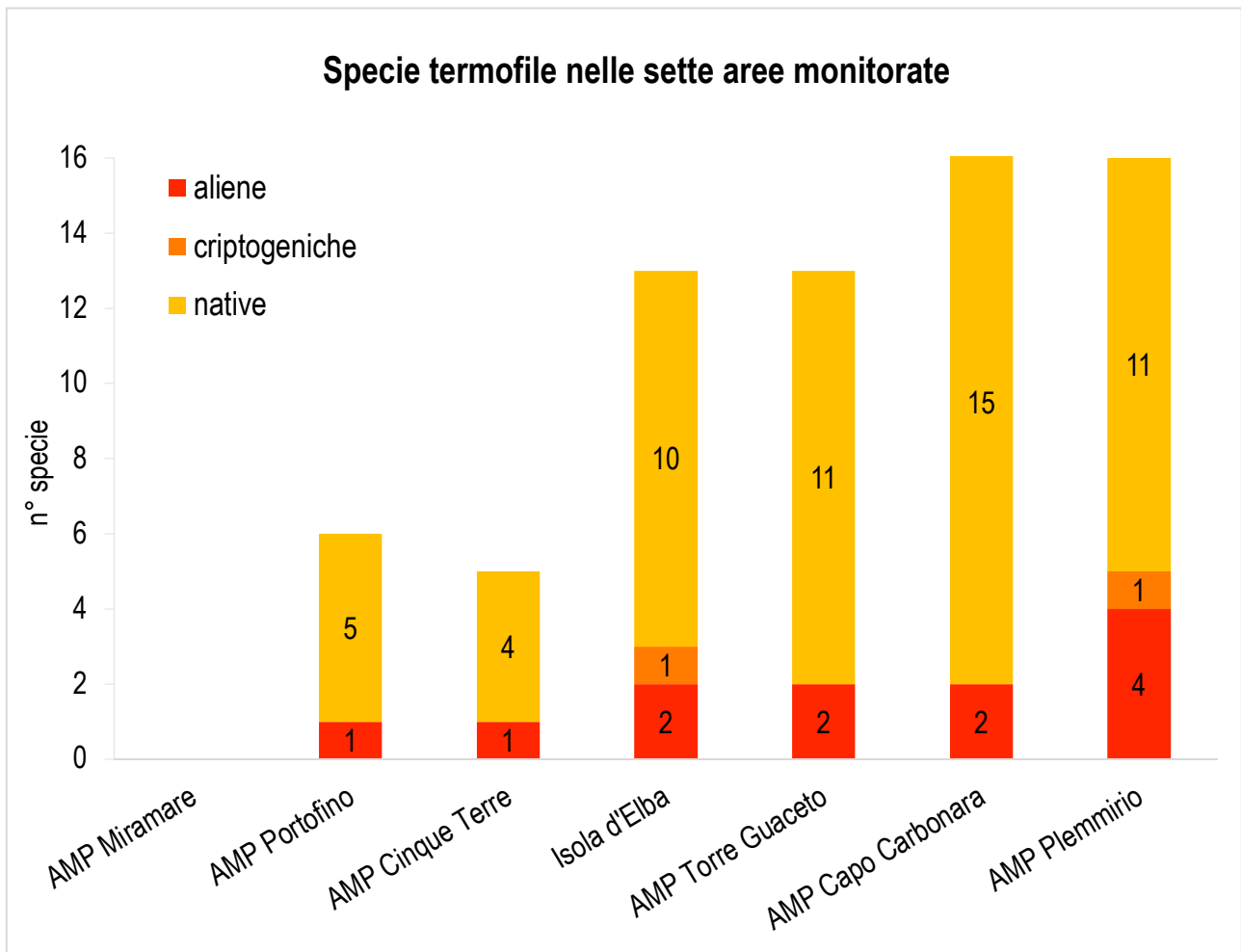


Figura 54. Numero di specie termofile aliene, criptogeniche e native in ogni area di studio.

AMP Cinque Terre

Per l'AMP Cinque Terre nell'ambito dei monitoraggi sono state rilevate un totale di 5 specie termofile, di cui una aliena (20%) e 4 native (80%). Tutte le specie termofile rilevate sono alghe, le 4 native sono *Acrosymphyton purpuriferum*, *Dasycladus vermicularis*, *Pseudochlorodesmis furcellata* e *Tricleocarpa fragilis*, mentre la specie aliena è *Caulerpa cylindracea* (Tab. 14). In generale, la comunità bentonica di scogliera dell'AMP Cinque Terre è costituita per l'87% da specie non termofile, per il 10% da specie termofile native e per il 3% da specie termofile aliene (Fig. 55).

Tabella 14. Dati relativi al monitoraggio sulle specie termofile nell'AMP Cinque Terre. Lo 'status' indica l'origine delle specie distinta in aliena (A), criptogenica (C), e nativa (N).

| Scoglietto Gaggiato | | | |
|--------------------------------------|----------|-------------------------------|--------|
| specie | prof (m) | indici di abbondanza (classe) | status |
| <i>Acrosymphyton purpuriferum</i> | 13 | 3 | N |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 20 | 1 | A |
| <i>Dasycladus vermicularis</i> | 20 | 1 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 25 | 1 | N |
| <i>Tricleocarpa fragilis</i> | 19 | 1 | N |
| Prateria di Monterosso | | | |
| specie | prof (m) | indici di abbondanza (classe) | status |
| <i>Acrosymphyton purpuriferum</i> | 10 | 2 | N |

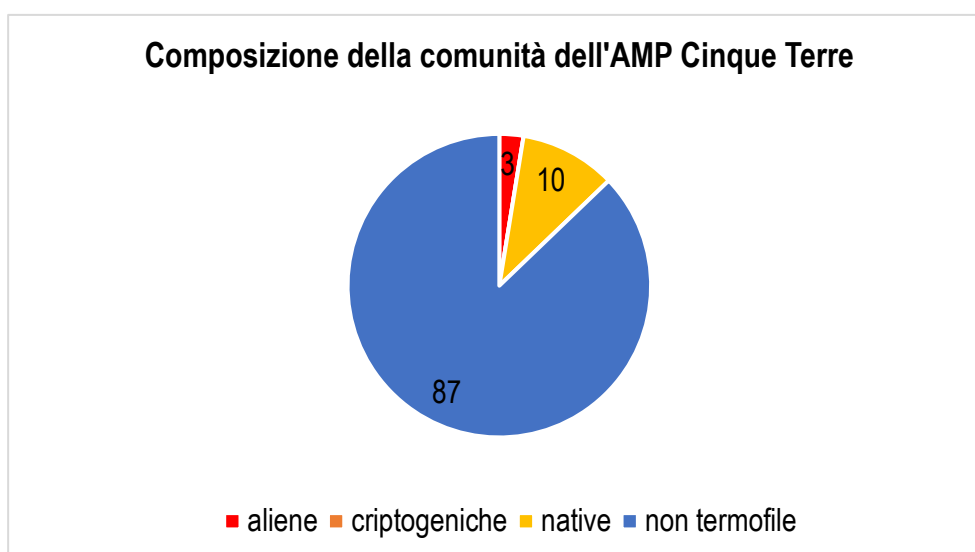


Figura 55. Composizione della comunità bentonica nell'AMP Cinque Terre.

Isola d'Elba

Nell'ambito dei monitoraggi condotti nel terzo di progetto le specie termofile osservate nell'area dell'Isola d'Elba sono state: *Caulerpa cylindracea*, *Caulerpa prolifera*, *Hacelia attenuata*, *Penicillus capitatus*, *Pseudochlorodesmis furcellata*, *Sphyraena viridensis* e *Thalassoma pavo* (Tab. 15). Tra queste, come già evidenziato nell'ambito dei primi due anni di monitoraggio, sono risultate particolarmente abbondanti *Caulerpa cylindracea*, *Caulerpa prolifera*, *Hacelia attenuata* e *Pseudochlorodesmis furcellata* (Montefalcone & Azzola 2020, 2021). I nuovi dati confermano che le specie termofile all'Isola d'Elba rappresentano il circa 15% della comunità bentonica, come negli anni precedenti (Fig. 56).

Tabella 15. 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).

| Cannelle | | | |
|--------------------------------------|----------|-------------------------------|--------|
| specie | prof (m) | indice di abbondanza (classe) | status |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 10 | 2 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 20 | 3 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 30 | 3 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 40 | 2 | A |
| <i>Caulerpa prolifera</i> | 20 | 1 | N |
| <i>Penicillus capitatus</i> | 10 | 1 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 10 | 1 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 20 | 2 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 30 | 2 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 40 | 1 | N |
| specie | prof (m) | abbondanza (N) | status |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 30 | 2 | N |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 40 | 1 | N |
| Formiche dello Zanca | | | |
| specie | prof (m) | indice di abbondanza (classe) | status |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 20 | 2 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 30 | 3 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 40 | 3 | A |
| <i>Penicillus capitatus</i> | 20 | 1 | N |

| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 10 | 1 | N |
|--------------------------------------|----------|-------------------------------|--------|
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 20 | 1 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 40 | 2 | N |
| specie | prof (m) | abbondanza (N) | status |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 20 | 3 | N |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 40 | 1 | N |
| <i>Sparisoma cretense</i> | 10 | 1 | N |
| <i>Sphyraena viridensis</i> | 30 | 12 | N |
| <i>Thalassoma pavo</i> | 10 | 7 | N |
| Scoglietto | | | |
| specie | prof (m) | indice di abbondanza (classe) | status |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 10 | 2 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 20 | 3 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 30 | 3 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 40 | 3 | A |
| <i>Caulerpa prolifera</i> | 10 | 3 | N |
| <i>Caulerpa prolifera</i> | 20 | 3 | N |
| <i>Caulerpa prolifera</i> | 30 | 2 | N |
| <i>Caulerpa prolifera</i> | 40 | 3 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 10 | 2 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 20 | 2 | N |
| specie | prof (m) | abbondanza (N) | status |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 20 | 3 | N |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 30 | 5 | N |
| <i>Sphyraena viridensis</i> | 20 | 20 | N |
| <i>Sphyraena viridensis</i> | 30 | 50 | N |
| <i>Thalassoma pavo</i> | 3 | 2 | N |
| Picchi di Pablo | | | |
| specie | prof (m) | indice di abbondanza (classe) | status |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 10 | 1 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 20 | 2 | A |
| <i>Caulerpa cylindracea</i> | 30 | 2 | A |

| | | | |
|--------------------------------------|----------|----------------|--------|
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 10 | 2 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 20 | 3 | N |
| <i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> | 30 | 2 | N |
| <i>Tricleocarpa fragilis</i> | 40 | 2 | N |
| specie | prof (m) | abbondanza (N) | status |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 20 | 5 | N |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 30 | 8 | N |
| <i>Hacelia attenuata</i> | 40 | 3 | N |
| <i>Sphyraena viridensis</i> | 10 | 8 | N |
| <i>Thalassoma pavo</i> | 6 | 1 | N |

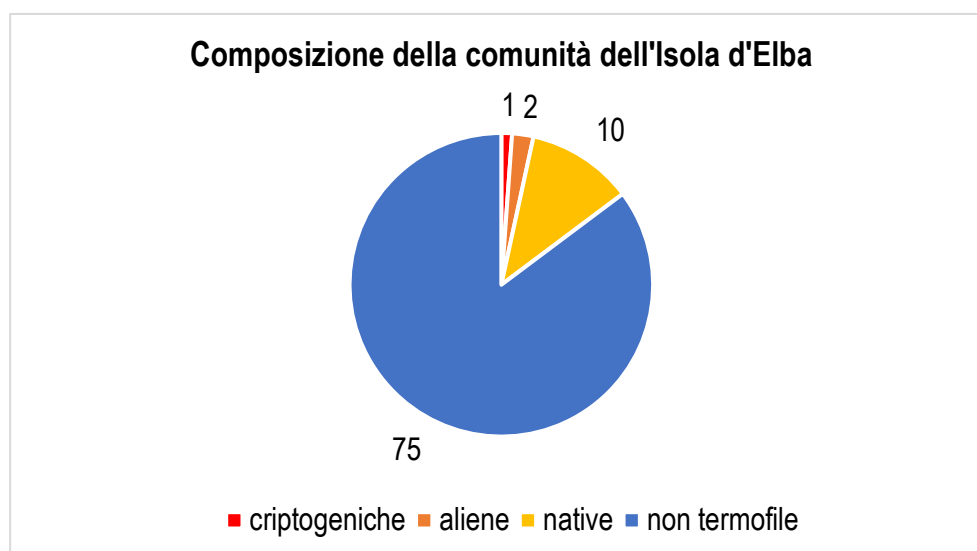


Figura 56. Composizione della comunità bentonica dell'Isola d'Elba aggiornata al 2022.

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 tre anni di progetto sono stati analizzati i dati di temperatura per nove aree di studio per le quali sono stati osservati diversi periodi particolarmente caldi. Perché questi possano essere definiti 'anomalie termiche', e non normali andamenti stagionali, sarà ovviamente necessario disporre di ulteriori anni di dati che permettano il confronto tra i valori di temperatura da un anno all'altro. Tuttavia, nelle aree AMP Portofino e Isola d'Elba, per cui si avevano a disposizione tre anni di dati, è stato possibile osservare un'ondata di calore nel giugno 2020 e una nell'estate 2022. I nostri dati sulle temperature, provenienti da soli tre anni di monitoraggio, non sono ovviamente rappresentativi del contesto mediterraneo. Tuttavia, gli elevati valori di temperatura rilevati durante le estati del 2020 e del 2022 in tutte le aree di studio forniscono ulteriori spunti per l'individuazione di anomalie termiche nel Mar Mediterraneo (www.t-mednet.org).

Al fine di valutare quali siano gli effetti dell'aumento delle temperature sugli ecosistemi di scogliera, nell'ambito dei primi tre anni del progetto Mare Caldo sono state condotte attività di monitoraggio biologico in sette aree di studio: AMP Miramare, AMP Portofino, AMP Cinque Terre, Isola d'Elba, AMP Torre Guaceto, AMP Capo Carbonara 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 (101 specie) e l'AMP Torre Guaceto (82 specie), seguite dall'AMP Plemmirio (71 specie), dall'Isola d'Elba (70 specie), dall'AMP Miramare, 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 Torre Guaceto e l'AMP Plemmirio ($H' \sim 3$), e un basso stato ecologico ($H' \sim 2,5$) per l'AMP Portofino, l'AMP Cinque Terre e l'Isola d'Elba. L'indice di Dominanza ha confermato il basso stato ecologico dell'Isola d'Elba rispetto alle altre aree, evidenziando una bassa resilienza al disturbo delle comunità bentoniche. 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 tre 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 aree di studio sono stati osservati segni di sbiancamento e necrosi delle specie target attribuibili all'effetto del riscaldamento delle acque. Sulle sette aree monitorate l'AMP Miramare, più a nord, è l'area dove sono stati registrati i minori valori di impatto, sia per quanto riguarda le specie di cnidari sia per le alghe calcaree. Tuttavia, in quest'area sono stati osservati i segnali di moria di massa del mollusco *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 sono risultate le aree dove si sono osservati i maggiori impatti sulle gorgonie. In particolare, per le specie *Eunicella cavolini* e *Eunicella singularis*, in entrambe le aree circa il 20-30% delle colonie osservate mostrano segni di necrosi. Per la specie *Paramuricea clavata*, invece, l'AMP Capo Carbonara è risultata l'area dove sono stati osservati i maggiori impatti, con il 50% delle colonie che mostrano 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, dove il 45% di superficie di alghe corallinacee incrostanti e di *Peyssonnelia* sp. sono risultate sbiancate e in necrosi. Nell'area dell'Isola d'Elba il monitoraggio nei tre anni di progetto Mare Caldo ha permesso di osservare un aumento dei segnali di mortalità sulle specie *Paramuricea clavata* e *Balanophyllia europea* dal 2020 al 2022.

Le analisi condotte sulle specie termofile hanno rivelato un gradiente latitudinale coerente con i dati sulla temperatura. Nelle AMP più meridionali di Capo Carbonara e del Plemmirio è stato registrato il maggior 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 potrebbero 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.

Le serie di dati storici sulle comunità bentoniche sono uno strumento prezioso per comprendere l'entità dell'impatto del riscaldamento globale sugli ecosistemi marini (Gatti et al. 2015). Il confronto con i dati storici disponibili a partire dagli anni '90 per l'area dell'Isola d'Elba aveva già permesso di valutare il cambiamento nel tempo della struttura e della composizione delle comunità bentoniche di scogliera a causa dell'aumento della temperatura verificatosi negli ultimi decenni; l'arricchimento della serie storica con i dati raccolti nell'ambito del secondo e del terzo anno di progetto ha confermato questo *trend*.

In conclusione, i risultati del terzo anno del progetto Mare Caldo confermano le osservazioni condotte nell'ambito dei primi due anni. 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 tre 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

- 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.