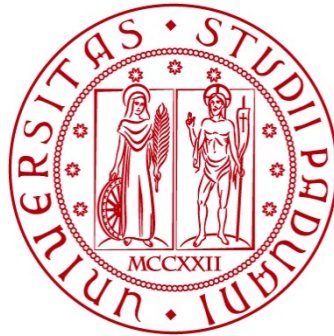


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA**

**Corso di Laurea in Biologia**



**ELABORATO DI LAUREA**

**Cambiamenti climatici e specie a rischio  
nel Mar Mediterraneo**

**Tutor: Prof.ssa Maria Gabriella Marin**

**Dipartimento di Biologia**

**Laureanda: Martina Chiementin**

**ANNO ACCADEMICO 2023/2024**

# INDICE

INTRODUZIONE

IL MEDITERRANEO

L'ANALISI DEL RISCHIO DELLE SPECIE MARINE

-LA RACCOLTA DEI DATI

-LA STIMA DELLA VULNERABILITÀ CLIMATICA

-LA STIMA DELL'ESPOSIZIONE ALL' INCREMENTO DELLE  
TEMPERATURE

-RISULTATI OTTENUTI

CONSEGUENZE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEGLI ANTOZOI

-ONDATE DI CALORE: ANOMALIE TERMICHE NEL MEDITERRANEO

-EFFETTI DEL RISCALDAMENTO SU *PARAMURICEA CLAVATA* E SU  
*CLADOCORA CAESPITOSA*

CONSEGUENZE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEI CETACEI E NEI  
PESCI

-IL CASO DI *SARDINELLA AURITA* NEL MEDITERRANEO NORD-  
OCCIDENTALE

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

## INTRODUZIONE

I rapidi cambiamenti climatici causati dall'uomo stanno progressivamente riducendo la biodiversità dei mari. È un dato di fatto che purtroppo negli ultimi anni sta trovando sempre più spesso conferme; tutti ne sono al corrente: questo crea consapevolezza ed è già un buon punto di partenza. Non esiste però una valutazione del rischio ben realizzata sulle specie marine più in pericolo e questa è una grande falla del sistema: si parla di salvare i mari, di svolgere ogni giorno piccole azioni che aiutano il pianeta, di rispettare i 17 obiettivi dell'agenda 2030 (stabiliti nel settembre del 2015 durante il vertice delle Nazioni Unite), di prendere coscienza grazie alle giornate mondiali dedicate, di partecipare alle proteste come quelle dei "fridays for future"... tante belle premesse, ma non si conoscono dettagliatamente quali siano gli animali più a rischio di cui preoccuparsi prima di tutto.

Nell'articolo "Are Mediterranean marine threatened species at high risk by climate change?" di A. Chatzimentor e Colleghi (2022) e si evidenzia come novanta specie marine del Mediterraneo siano minacciate dai cambiamenti climatici.

Gli organismi che sono risultati correre il maggior rischio sono le tartarughe marine, i mammiferi marini, gli Antozoi e i Condritti.

Grazie a questo studio è stato delineata in modo oggettivo la necessità di disporre al più presto di una strategia di conservazione per fronteggiare i cambiamenti climatici, che va pianificata e poi opportunamente applicata. Questo approccio inoltre ha lo scopo di offrire nuove consapevolezze e conoscenze per mettere in atto una strategia sistematica e localizzata che dia la priorità agli organismi marini più vulnerabili vista la grande accelerazione dei cambiamenti climatici.

Attualmente più di 1500 vertebrati e invertebrati marini, includendo squali, razze, coralli dei reef e crostacei sono considerati come animali in pericolo e a serio rischio di estinzione per due principali fattori: declino delle popolazioni e perdita di habitat (IUCN, 2022).

Questi due aspetti purtroppo sono la punta dell'iceberg delle drastiche conseguenze dei cambiamenti climatici che minacciano ogni giorno di più la presenza di tante specie nei nostri mari. Purtroppo, tutti questi organismi che sono stati indicati come in pericolo devono combattere contro un costante aumento delle temperature delle acque e dell'acidificazione dei mari, un continuo aumento del livello del mare e una maggiore frequenza di eventi climatici estremi.

## IL MEDITERRANEO

Il Mediterraneo è una tra le aree marine di maggior importanza per i livelli particolarmente elevati di biodiversità (Coll et al., 2010), dove la valutazione dei rischi per gli organismi dovuti al cambiamento climatico è necessaria ma ancora assente.

Il Mediterraneo occupa solo lo 0,7% della superficie oceanica totale mondiale e lo 0,3% del volume d'acqua totale della Terra; seppure così piccolo è considerato da molti scienziati un oceano in miniatura dove poter studiare aspetti, evoluzione e conseguenze del cambiamento climatico (Bethoux et al., 1999).

Questa regione marina per la sua morfologia semichiusa è fortemente minacciata da una forte alterazione delle condizioni climatiche con un ritmo che è il più elevato al mondo, da eventi climatici estremi (Marbà et al., 2015) e da un continuo aumento del livello del mare (Frihy & El-Sayed, 2013).

I cambiamenti climatici in corso hanno determinato un grave impatto per la biodiversità del Mar Mediterraneo (Garrabou et al., 2022; Marbà et al., 2015) e, combinati con una forte e articolata pressione antropica, hanno causato un'allarmante perdita di biodiversità, portando a una tendenza di declino per novantatré su centoquattro popolazioni analizzate di specie marine in pericolo (IUCN, 2022).

Ma quanto è preoccupante l'impatto dei cambiamenti climatici nel Mediterraneo?

L'articolo "How warmer and drier will the Mediterranean region be at the end of the twenty-first century?" si riferisce al Mediterraneo come "climate change hot spot", infatti questo bacino è stato identificato come una delle regioni più sensibili e vulnerabili al mondo al manifestarsi dei cambiamenti climatici (Giorgi, 2006).

Dai rilevamenti riportati in questo articolo si è visto infatti che il Mar Mediterraneo tenderà a diventare molto più caldo e secco nei prossimi cinquant'anni. Infatti, è stato stimato che nel periodo che va dal 1960 al 2005, la tendenza delle precipitazioni annuali abbia mostrato una riduzione di 22 mm ogni dieci anni e la media annuale della temperatura superficiale dell'acqua sia aumentata di 0,19-0,25°C per ogni decennio (Mariotti et al., 2015).

Questo andamento è sicuramente preoccupante ma non quanto le stime che sono state fatte per indagare il futuro del Mediterraneo: ci si aspetta che la temperatura dell'acqua diventi il 20% più calda rispetto alla media globale stimata (Lionello & Scarascia, 2018) soprattutto se le tendenze continueranno ad essere quelle rilevate sinora.

Un forte riscaldamento, quindi, è pronto a colpire nel Mediterraneo come si nota in questo grafico.

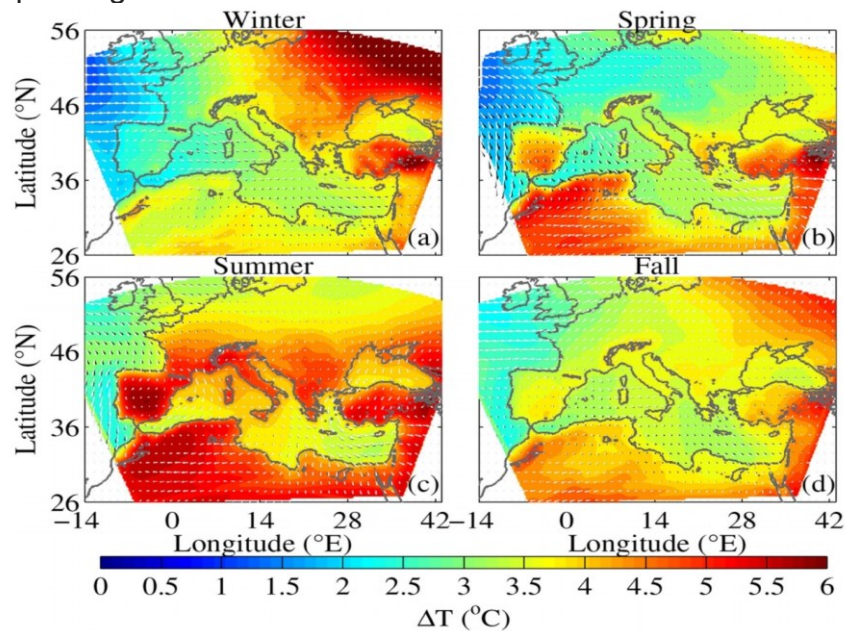


Figura 1. Cambiamento della temperatura nel 2070-2100 rispetto al periodo 1979-2005 per l'inverno (a), la primavera (b), l'estate (c) e l'autunno (d) (da Drobinski et al.,2020).

Quindi, quanto caldo diventerà il Mar Mediterraneo?

L'autore dell'articolo "How much warmer is the Mediterranean becoming?" (Lopez-Garcia, 2021) ha provato a rispondere a questa determinante domanda grazie ad immagini termiche ottenute dal sensore Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR) montato su un satellite della NOAA. Grazie a queste misurazioni si è potuto constatare che negli ultimi trent'anni il Mar Mediterraneo ha subito sulla sua intera superficie un innalzamento della temperatura di 0,6-1°C (Figura 2). Ma non solo, alcune previsioni basate su questi dati indicano che l'incremento della temperatura può arrivare fino a +5,8°C entro il 2100 (Sakalli, 2017).

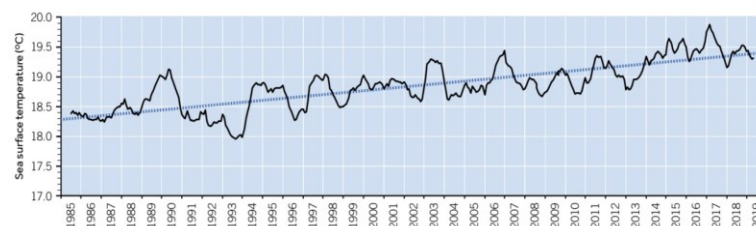


Figura 2. Evoluzione della temperatura della superficie del mare per il periodo 1985-2019, da immagini termiche dei satelliti NOAA e MODIS. Il tasso medio di riscaldamento è stato di 0,03 °C/anno (da Lòpez-García, 2021).

La citazione con cui è stato chiuso l'articolo è emblematica, in linea con i dati drammatici che sono stati rilevati: «C'è un crescente consenso sul fatto che il riscaldamento non è una proiezione futura, ma un'ovvia realtà».

## L'ANALISI DEL RISCHIO DELLE SPECIE MARINE

Il livello di rischio dovuto agli effetti dei cambiamenti climatici per le delle specie marine del Mar Mediterraneo è determinato da due componenti che tra loro interagiscono molto: la vulnerabilità della specie e la persistenza e la natura del pericolo a cui è esposta.

La vulnerabilità riflette le caratteristiche intrinseche biologiche ed ecologiche della specie che determinano in che misura l'organismo sia in grado di superare condizioni variabili nel suo habitat.

Per esempio, organismi con un limitato range di tolleranza termica saranno più suscettibili al riscaldamento delle acque (ad esempio i coralli) mentre gli organismi che usano meccanismi di calcificazione (per esempio i coralli costruttori o i molluschi dotati di conchiglia) saranno più esposti all'acidificazione dei mari.

C'è da dire anche che questa vulnerabilità può essere modulata in funzione delle abilità di movimento delle specie: organismi sessili sono i più svantaggiati; invece, chi ha buone capacità locomotorie può riuscire a spostarsi verso ambienti più favorevoli.

## LA RACCOLTA DEI DATI

Dalla IUCN Red List of Threatened Species (IUCN, 2022) sono state estrapolate tutte le specie del Mar Mediterraneo che sono in stato di pericolo critico, in pericolo e vulnerabili e sono state identificate novanta specie.

Sono stati delineati poi undici profili per misurare la vulnerabilità di tutte le specie analizzate tenendo conto delle loro caratteristiche, delle preferenze ecologiche e di tutte le informazioni riguardanti il loro ciclo biologico (Foden et al., 2019).

I primi tre profili sono basati sui primi tre tra i principali rischi a cui sono sottoposte le specie analizzate: innalzamento della temperatura, innalzamento del livello del mare e riduzione del pH delle acque dovuto all'acidificazione dei mari.

I successivi otto profili si riferiscono alle capacità adattative delle varie specie: necessità di habitat, esigenze di cibo, impatto dei pericoli non dovuti ai cambiamenti climatici (riferendosi alla salute della popolazione e alla capacità di superare altri pericoli e di adattarsi a nuove condizioni), capacità di dispersione (specie con poche abilità di dispersione sono state considerate come meno capaci di cambiare i loro areali), capacità di compiere migrazioni verticali (per evitare il riscaldamento delle acque superficiali), lunghezza e longevità delle generazioni (tempi di generazione lunghi e crescita lenta sono collegati a una maggiore possibilità di estinzione), dimensioni corporee (una taglia maggiore è spesso collegata a una posizione più alta nelle catene trofiche, ma allo stesso tempo è correlata ad una maggiore vulnerabilità al riscaldamento delle acque).

Per ognuno degli undici profili è stata associata successivamente una classificazione di vulnerabilità che può essere bassa, media o alta. Così facendo si sono generate grazie a una tabella a doppia entrata, trentatré situazioni di vulnerabilità ognuna con specifiche dettagliate. Per svolgere questo lavoro sono stati utilizzati dati dalla letteratura e informazioni ricavate da vari database (IUCN, Fishbase, SeaLifeBase, WORMS, e Aquamaps).

## LA STIMA DELLA VULNERABILITÀ CLIMATICA

La stima della vulnerabilità climatica è stata ottenuta combinando i risultati ottenuti con due diversi metodi, uno semi-quantitativo e uno quantitativo, per ridurre al minimo le incertezze dei profili proposti.

L'unione di questi due metodi ha permesso di ricavare un vero e proprio punteggio di vulnerabilità.

Il metodo semi-quantitativo ha lo scopo di selezionare le specie ritenute molto vulnerabili. Se una specie deve affrontare un determinato numero di pericoli può essere considerata più o meno vulnerabile.

È stato così calcolato il numero minimo di pericoli per considerare una specie molto vulnerabile; il numero ottenuto è 3, quindi specie con un numero minore di tre rischi sono considerate come abbastanza o poco vulnerabili.

Il metodo quantitativo, invece, ha permesso di attribuire dei veri e propri punteggi ai vari livelli di rischio (da 1 per quelli meno impattanti a 3 per i più gravi).

Grazie a ciò si è potuto stimare il punteggio di rischio per ogni specie associato alle tre classi di bassa, media e alta vulnerabilità.

La tabella usata per classificare ogni singola specie come molto, abbastanza o poco vulnerabile è riportata sotto (Figura 3).

		Vulnerability factor 1		
		Low	Moderate	High
Vulnerability factor 2	Low	Low	Low	Moderate
	Moderate	Low	Moderate	High
	High	Moderate	High	High

Figura 3. Stima della vulnerabilità complessiva di una specie basata su una combinazione di approcci semi-quantitativi e quantitativi (Fattore di vulnerabilità 1 e 2) per le tre categorie di vulnerabilità (da Chatzimentor et al.,2022).

## LA STIMA DELL'ESPOSIZIONE ALL' INCREMENTO DELLE TEMPERATURE

Per questa stima sono state utilizzate una mappa delle distribuzioni attuali delle specie considerate e una previsione dei cambiamenti delle temperature delle acque. Grazie a questi due dati si è potuto ricavare la quota di range termico che verrà perso in futuro.

Sono state considerate molto esposte all'incremento delle temperature quelle specie che potranno disporre in futuro solo di una percentuale molto limitata o addirittura nulla del loro attuale range termico.

Oltre a ciò, è stata stimata la percentuale dell'attuale distribuzione che con l'innalzamento futuro delle temperature raggiungerebbe valori termici superiori ai limiti di tolleranza delle specie; quindi, specie che, secondo questa stima, hanno un'alta percentuale di riduzione del loro areale sono maggiormente esposte e in pericolo.

Per ottenere questi dati e stime è stato utilizzato "Aquamaps", un database della distribuzione attuale e futura delle specie marine.

Il database può generare un buon modello probabilistico di distribuzione costruito su variabili ambientali come temperatura, salinità e produzione primaria. La mappa di distribuzione viene suddivisa in celle con una risoluzione spaziale di 0.5°.

La distribuzione non è stata solamente indagata orizzontalmente ma anche verticalmente: grazie ai database Fishbase e SeaLifeBase è stato possibile ottenere i range di profondità nei quali vivono le specie analizzate e grazie al database Bio-ORACLE è stato possibile visualizzare le temperature dei diversi livelli di profondità in futuro.

La prima metrica di esposizione all'incremento delle temperature è stata calcolata come la proporzione dell'attuale intervallo termico che verrebbe persa in futuro.

L'esposizione è stata dunque stimata tramite l'equazione che definisce E1 come:

$$E_1 = 1 - \frac{\theta_{\max,p} - \theta_{\min,f}}{TR_p}$$

dove  $\theta_{\max,p}$  è la temperatura massima dell'attuale intervallo termico della specie;  $\theta_{\min,f}$  è la temperatura minima dell'intervallo termico futuro della specie;  $TR_p$  è l'attuale intervallo termico.

Per completare il quadro si è calcolato il numero di celle che saranno esposte a una temperatura futura superiore al limite termico superiore della specie.

Successivamente è stata stimata la percentuale della distribuzione attuale per la quale le temperature future supereranno l'intervallo termico riportato, grazie all'equazione che definisce E2 come:

$$E_2 = \frac{\text{Nb of cells } \theta_f \geq \theta_{\max,p}}{\text{total Nb of cells}}$$

dove total Nb of cells è il numero di tutte le celle della distribuzione attuale della specie; Nb of cells  $f \geq \theta_{\max,p}$  è il numero totale di celle (della distribuzione attuale) in cui la temperatura futura sarà superiore al limite termico superiore della specie.

Dal valore medio ottenuto da E1 ed E2 per ogni specie, si è ricavato un punteggio integrato di esposizione. Questo assume valori da 0 a 1: 0 indica specie che avranno l'intera distribuzione futura in aree che rimangono al di sotto degli attuali massimi termici, 1 indica specie che a contrario si verranno a trovare interamente in aree con temperature superiori ai massimi attualmente presenti.

Le specie sono state quindi assegnate a tre diverse categorie di rischio termico: basso (punteggio 0-0.33), medio (0.34-0.66) e alto (0.67-1).



## RISULTATI OTTENUTI

Il climate risk index delle varie specie è quindi stato calcolato tenendo conto dei vari punteggi assegnati: tasso di vulnerabilità e tasso di perdita di distribuzione orizzontale e verticale.

I risultati ottenuti evidenziano bene la situazione drammatica del Mar Mediterraneo:

- 25 delle 90 specie minacciate si prevede siano a livelli preoccupanti di rischio climatico (tra gli Antozoi sono 6 specie su 16, tra i Condroitti sono 12 su 45, tra le tartarughe marine 3 su 3, tra i mammiferi marini 3 su 6, tra gli Actinopterygii 1 su 18);

- 55 delle 90 specie minacciate sono caratterizzate da un'alta vulnerabilità ai cambiamenti climatici (tra gli Antozoi sono 13 specie su 16, tra i Condroitti sono 30 su 45, tra le tartarughe marine 2 su 3, tra i mammiferi marini 2 su 6, tra gli Actinopterygii 6 su 18) (Figura 4).

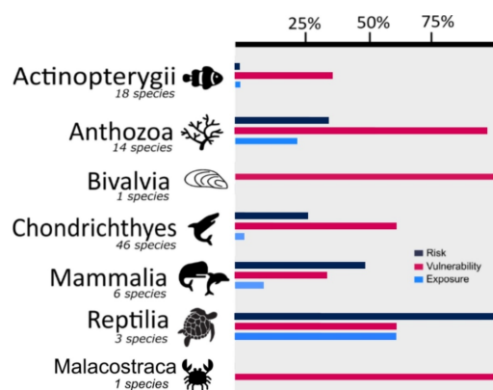


Figura 4. Percentuali di specie marine minacciate ad alto rischio climatico nel Mar Mediterraneo. Il rischio è rappresentato in blu scuro, la vulnerabilità in magenta e l'esposizione in azzurro. I gruppi tassonomici, riportati con il numero totale di specie considerate, appartengono alla categoria ad alto rischio climatico (da Chatzimentor et al., 2022).

- Un limitato numero di specie (12) dimostra di essere in condizioni di alta esposizione all'aumento delle temperature nel periodo tra il 2040 al 2050: 4 specie di Condroitti, 1 di Actinopterygii, 3 di Antozoi, 2 di mammiferi marini, 2 di tartarughe marine;

- solo il 20% delle distribuzioni totali orizzontali delle specie studiate sarà presente in futuro (quindi ci sarà in futuro una perdita di habitat dell'80% per il fatto che queste zone saranno al di sopra del limite termico superiore di tutte le specie considerate);

-il 15% delle specie perderanno più del 90% del loro range di distribuzione su base termica;

- in tutto il Mar Mediterraneo, le acque costiere presentano una concentrazione di specie ad alto rischio per i cambiamenti climatici più alta rispetto alle acque di mare aperto (in media 8 specie contro 4,5);

- tra le diverse ecoregioni del Mediterraneo, quelle che ospitano il maggior numero di specie ad alto rischio di impatto climatico sono il Mare di Alboran e il Mediterraneo occidentale, seguiti dall'Adriatico e dall'Egeo. Tali specie rappresentano dal 21 al 31% di tutte le specie riportate in ogni ecoregione.

Al rischio per queste specie minacciate contribuiscono sia la loro vulnerabilità, sia l'elevato grado di esposizione ad aumento delle temperature, come evidenziato in Figura 5.

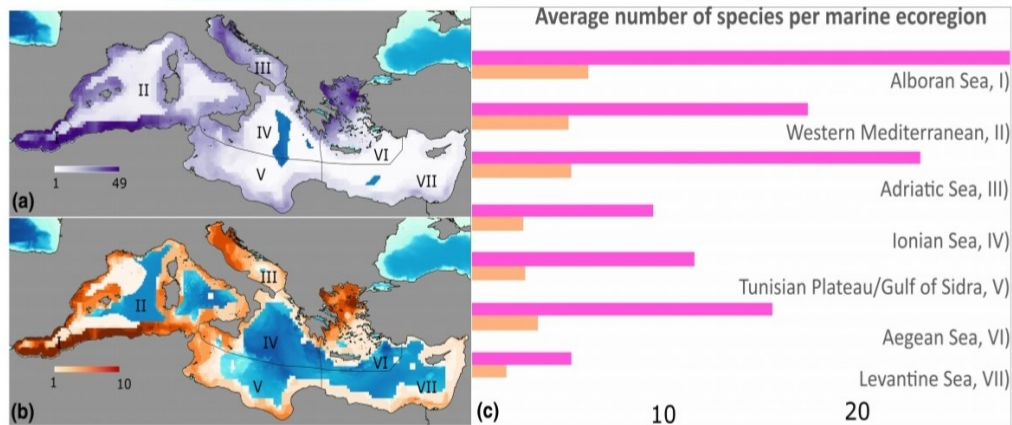


Figura 5. Aree hotspot con alte concentrazioni di specie marine minacciate con (a) alta vulnerabilità climatica e (b) alta esposizione al riscaldamento degli oceani nel Mar Mediterraneo. (c) Il numero medio di specie minacciate con alta vulnerabilità (viola) e alta esposizione (arancione) per ciascuna ecoregione marina del Mar Mediterraneo. Le ecoregioni marine del Mar Mediterraneo sono delimitate da linee nere (da Chatzimentor et al.,2022).

- Anche nelle aree marine protette del Mediterraneo (MPA) sono state identificate specie a rischio, almeno una per ogni MPA. In particolare, in oltre il 40% delle MPA, localizzate per la maggior parte nel bacino occidentale, sono presenti più di 10 specie ad alto rischio climatico (Figura 6).

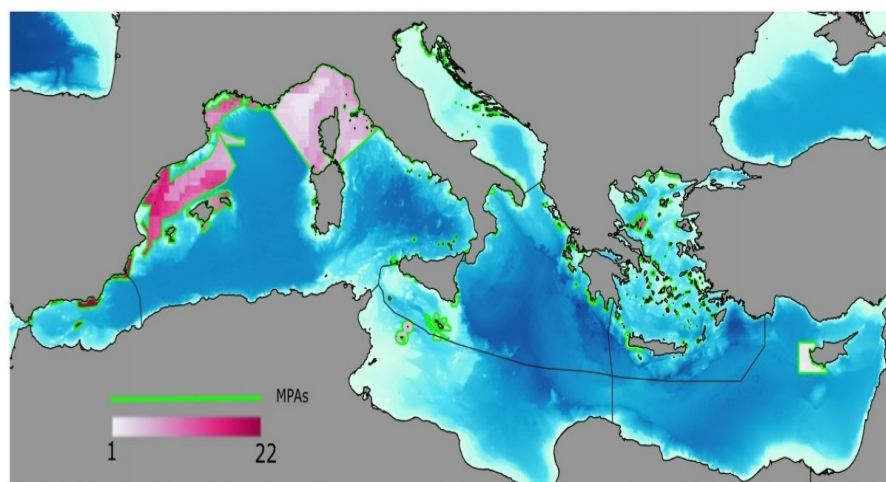


Figura 6. Numero di specie minacciate con alto rischio dovuto ai cambiamenti climatici all'interno delle aree marine protette del Mediterraneo. Le ecoregioni marine del Mar Mediterraneo sono delineate da linee nere. Le aree marine protette (MPA) sono evidenziate in verde (da Chatzimentor et al.,2022).

## CONSEGUENZE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEGLI ANTOZOI

Da quanto si evince dai risultati riportati, gli Antozoi in particolare sono proporzionalmente il gruppo tassonomico con il più alto livello di rischio; hanno basse capacità di dispersione e visto che sono specie sessili, sono stati colpiti molto duramente dalle passate ondate di calore che hanno portato a fenomeni di mortalità di massa nel 1999 e nel 2003 nella zona ovest del Mar Mediterraneo (Rivetti et al., 2014).

Proprio per il fatto che sono organismi sessili e il loro intervallo termico è ristretto e confinato alle acque superficiali, sono molto più esposti al riscaldamento e alle ondate di calore. Queste sono infatti le principali cause della frammentazione degli habitat degli Antozoi che a loro volta possono fornire nuovo spazio per l'espansione di specie non locali (Vezzulli et al., 2013), ma anche di specie invasive come i migranti termofili lessepsiani (Katsanevakis et al., 2020).

Il rischio derivante dal cambiamento climatico mette a repentaglio i preziosi servizi ecosistemici che gli Antozoi forniscono poiché formano dense aggregazioni che si estendono su vaste aree, favorendo i processi di insediamento larvale e reclutamento di diverse specie bentoniche (Angiolillo & Canese, 2018).

Una potenziale diminuzione delle foreste di gorgonie causata dal cambiamento climatico potrebbe portare a rapidi cambiamenti nella struttura della comunità e alla perdita di specie che traggono beneficio dalla complessità strutturale degli habitat coralligeni sani (Ponti et al., 2014).

## ONDATE DI CALORE: ANOMALIE TERMICHE NEL MEDITERRANEO

Un'ondata di calore o marine heat wave (MHW) è un evento prolungato di acqua calda anomala discretamente definito che può essere descritto nella sua durata, intensità, tasso di evoluzione ed estensione spaziale. Un evento termico anomalo è considerato una MHW se dura cinque o più giorni, con temperature più calde del 90° percentile basato su un periodo di riferimento storico di trent'anni (Hodby et al., 2016).

Nel Mediterraneo questo tipo di evento sembra essere sempre più frequente: dall'ultima metà degli anni '90 e sempre più intensamente negli anni 2000 (dove lo storico è abbastanza raccapricciante: 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2017, 2018, 2022) il fenomeno si caratterizza per una conseguente mortalità di massa delle specie bentoniche.

Non solo sono sempre più frequenti ma ogni nuova ondata di calore è quella che batte tutti i record precedenti per le sue caratteristiche dannose (Christidis et al. 2014; Russo et al. 2015).

Diversi studi si riferiscono già a "mega-ondate di calore" (Stegehuis et al. 2015; Bador et al. 2017).

La mega heat wave del 2022 è stata seguita attentamente da Marullo e Colleghi, autori dell'articolo "Record-breaking persistence of the 2022/23 marine heatwave in the Mediterranean Sea" (2023): dal maggio del 2022 il Mar Mediterraneo ha subito una heat wave di eccezionale durata che ha mantenuto la sua presenza nelle acque fino alla fine della primavera del 2023. La MHW del 2022 è stata la più lunga degli ultimi quarant'anni.

Ondate di calore più frequenti, più lunghe e più intense, insieme a periodi di siccità sono previsti nel futuro, sollevando serie preoccupazioni sull'impatto

che tali eventi estremi potrebbero avere sulle attività economiche, sulla biodiversità e sulla salute pubblica (Fouillet et al. 2006).

Le MHWs sono molto dannose e il cambiamento climatico le rende più frequenti e più intense rendendo ancora più disastrosa la loro principale conseguenza: le mortalità di massa (MMEs). Queste MMEs hanno interessato migliaia di chilometri di costa del Mediterraneo dalla superficie fino a 45 m di profondità, attraversando una gamma di habitat marini diversi e coinvolgendo numerosi taxa (50 taxa distribuiti in 8 phyla).

L'articolo "Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea" (Garrabou et al. 2022) rivela che il Mar Mediterraneo sta subendo un'accelerazione degli impatti ecologici delle MHWs, il che rappresenta una minaccia senza precedenti per la salute e il funzionamento dei suoi ecosistemi.

Sono stati considerati organismi coloniali e forme solitarie colpiti da MHW che hanno mostrato segni di mortalità recente come scheletri denudati in gorgonie, spugne e madrepore e valve vuote in bivalvi attaccati al substrato ed è stato quantificato il danno calcolando la differenza di percentuale di scheletro nudo e danneggiato e la percentuale di tessuti che sono andati incontro a necrosi.

Con l'intensificarsi del cambiamento climatico, un ulteriore aumento del numero di ondate di calore nei prossimi decenni è molto probabile (IPCC 2013). Molti altri studi e monitoraggi confermano anche che le MHWs avranno durate e intensità sempre più elevate.

La preoccupazione per questo tipo di fenomeni ha promosso in particolare T-MEDNet, un'iniziativa che ha lo scopo di creare una rete internazionale per osservare gli effetti dovuti ai cambiamenti climatici negli ecosistemi marini costieri. L'obiettivo è quello di diffondere, grazie a un database open access, un protocollo standard e numerosi dati di monitoraggio per questo tipo di eventi a larga scala spaziale e temporale ([www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)).

#### EFFETTI DEL RISCALDAMENTO SU *PARAMURICEA CLAVATA* E SU *CLADOCORA CAESPITOSA*

Alla fine dell'estate 2003, è stata osservata una vasta mortalità di massa di almeno 25 specie di macroinvertebrati bentonici di substrato roccioso (principalmente gorgonie e spugne) in tutta la regione del Mediterraneo nord-occidentale (NW), colpendo diverse migliaia di chilometri di costa.

Le aree più settentrionali e orientali (Golfo di Genova e Golfo di Napoli) hanno mostrato l'impatto più elevato, con quasi l'80% delle colonie di gorgonie colpite. L'ondata di calore del 2003 in Europa ha causato un riscaldamento anomalo dell'acqua di mare, che ha raggiunto le temperature più alte mai registrate nelle regioni studiate, tra 1 e 3°C sopra i valori medi nel periodo considerato.

Le indagini si sono concentrate sulle gorgonie perché erano abbondanti in tutte le aree di studio e sono considerate ingegneri ecosistemici nelle comunità mediterranee, gli effetti della mortalità sono facili da quantificare (infatti presentavano scheletri denudati per necrosi tissutale) e le popolazioni di gorgonie erano state monitorate in precedenza in diversi siti di studio per 15 anni, fornendo un'eccellente base di riferimento non disponibile per altre specie colpite (Linares et al., 2008).

La più rappresentativa in merito è proprio la gorgonia rossa *Paramuricea clavata*, che per il suo dataset enorme ha permesso una valutazione affidabile dell'impatto dell'evento di mortalità del 2003.

I segni di mortalità che si sono osservati per questa specie sono stati seguenti: parti della colonia, che stavano andando incontro a necrosi, cambiavano colore da rosso a grigio, a causa della decomposizione delle parti organiche del cortex, lasciando solo aggregazioni di scleriti e le restanti parti organiche e gli scleriti si staccavano progressivamente dall'asse della colonia, causando la denudazione parziale o totale degli scheletri (Figura 7) Come in eventi precedenti, questo processo poteva essere improvviso, con popolazioni che passavano da sane a gravemente danneggiate in pochi giorni, maggiormente a profondità comprese tra 1 e 10m (a queste profondità nell'estate del 2003 si registrarono valori di temperatura superiori da 0.7°C a 2.8°C rispetto ai valori medi) (da Garrabou et al.,2009). Una volta che le colonie perdevano il tessuto danneggiato, le porzioni dello scheletro denudato venivano colonizzate nelle settimane successive da varie specie pioniere come idroidi, briozoi e policheti serpulidi.

A 20m di profondità, invece, le temperature medie estive del 2003 erano simili o inferiori ai valori medi. Tuttavia, nella maggior parte delle aree dove si è osservata mortalità oltre i 20 m, le temperature massime erano sempre più di 1°C superiori alle temperature massime medie (da Garrabou et al.,2009).

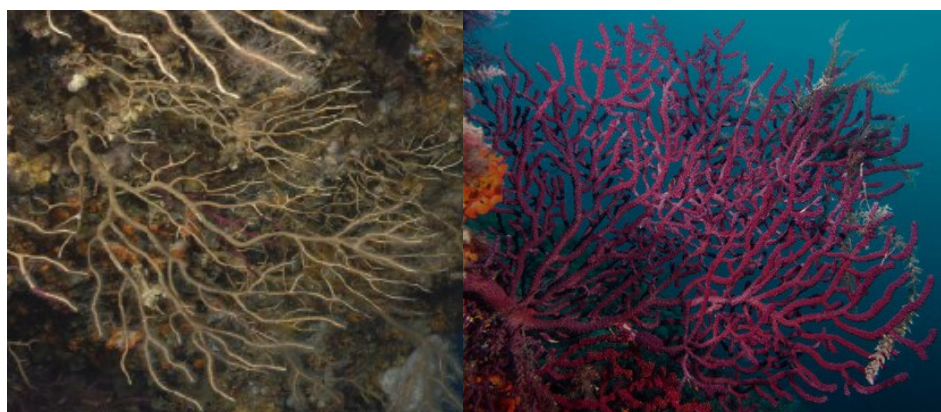


Figura 7. Colonie di *Paramuricea clavata* : a sinistra, la colonia mostra una perdita quasi completa del tessuto (asse denudato, aree marroni chiare), con solo le punte dei rami ancora vive (parti rosse) ; a destra, per confronto, una colonia in buone condizioni (da Garrabou et al.,2009).

Per mostrare al meglio gli effetti dei cambiamenti climatici nella classe degli Antozoa è stata presa in considerazione *Cladocora caespitosa* (Figura 8). *C. caespitosa* (chiamata anche corallo cuscino) come conseguenza delle temperature troppo elevate perde le sue zooxantelle fotosintetiche simbiotiche; di conseguenza tutto l'animale sbianca e diventa più suscettibile alle malattie (Crabbe, 2008).

Nella heatwave del 2003 ha subito una perdita estesa di tessuto attraverso necrosi tissutale o dopo aver sofferto di sbiancamento (da Garrabou et

al.,2009). In più *C. caespitosa* aveva precedentemente subito un grave sbiancamento durante il 1997-1999 (Perez et al., 2000).



Figura 8. Colonia del corallo costruttore *Cladocora caespitosa*

In Figura 9 si può osservare come la colonia sia stata danneggiata da un'ondata di calore.



Figura 9. Una colonia di *Cladocora caespitosa* con segni di mortalità parziale (scheletro nudo nelle aree bianche) a contrasto con il tessuto vivo (da Garrabou et al.,2022)

Oltre ad essere stata colpita intensamente dall' aumento delle temperature , *Cladocora caespitosa* ha subito (tra le profondità di 10m e 25m) un sostanzioso danno da una crescita massiva di mucillagine anomala susseguitasi dopo la heatwave del 2003: gli aggregati mucilluginosi affondano e si accumulano (raggiungendo uno spessore di 10cm) gravando maggiormente gli organismi che vivono sui substrati duri poiché i loro tessuti vengono facilmente soffocati (Schiaparelli et al.,2007; Giuliani et al. 2005). Le mucillagini sono comparse alla fine di maggio e hanno mantenuto la loro presenza fino alla prima settimana di luglio 2003 quando una violenta tempesta ha disperso i loro aggregati (Schiaparelli et al.,2007). L'effetto principale della persistenza di un tappeto di mucillagine è stato il diretto soffocamento di organismi simbiotici con le zooxantelle che ha causato ulteriore stress, aggravando maggiormente la situazione di sbiancamento dopo l'effetto della HW.

## CONSEGUENZE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEI CETACEI E NEI PESCI

I cetacei sono considerati bioindicatori dello stato di salute degli ecosistemi marini grazie alla loro ampia distribuzione, la notevole estensione del loro home range e al loro significativo ruolo di controllo dall'alto verso il basso nella catena alimentare, nonostante la loro bassa biomassa (Ingrosso et al., 2023)

Molti animali della megafauna, come i cetacei e le tartarughe marine, sono identificati a medio rischio per le modificazioni ambientali causate da cambiamenti climatici, anche se hanno delle eccellenti capacità di dispersione e una grande abilità nel raggiungere nuovi habitat.

Infatti, si prevede che l'ampiezza dell'areale (l'insieme di territori occupati da una popolazione di una determinata specie) subisca una vasta frammentazione, il che rappresenta un fattore potenzialmente aggravante. Ad esempio, nel Mar Mediterraneo, la distribuzione e l'abbondanza della piccola specie di eufausiaceo *Meganyctiphanes norvegica* sono correlate a specifici parametri idrologici come temperatura dell'acqua di mare, salinità e modelli di circolazione oceanica che sono stati alterati dal cambiamento climatico.

Situata al limite settentrionale della sua tolleranza ecologica, questa specie, ha un importante ruolo: costituisce l'unica nota fonte di cibo per le balenottere comuni (*Balaenoptera physalus*).

Le balenottere comuni residenti nel Mediterraneo sono delle nomadi opportuniste che si sono adattate a sfruttare hotspot localizzati di produttività che sono altamente variabili nello spazio e nel tempo. Ciò suggerisce una reinterpretazione del modello di movimento delle balenottere comuni residenti, basata su un'ipotesi di contrazione/dispersione causata dalla variabilità stagionale dell'habitat di alimentazione disponibile, diversamente dal modello di migrazioni lungo direzioni definite comune in altri Mysticeti.

Essendo i livelli trofici inferiori, quelli che comprendono la principale fonte di cibo delle balenottere, i più suscettibili ad alterazioni dovute ai cambiamenti climatici, costringono questi grandi cetacei ad avere habitat limitati e con aree di distribuzione sempre più ristrette, rendendoli così più vulnerabili alle conseguenze dei cambiamenti climatici (Simmonds & Isaac, 2007).

Nel Mar Mediterraneo, infatti, la diminuzione di diverse popolazioni di cetacei è stata associata alla riduzione delle risorse alimentari (Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006).

Cambiamenti nella disponibilità delle specie preda potrebbero costringere i cetacei conseguentemente a modificare le loro strategie alimentari e a dedicare più tempo ed energia alla ricerca del cibo, con conseguenze drastiche sulla loro salute e sul loro sistema immunitario (Bearzi, 2002).

Una situazione simile è probabile che si verifichi nel Mediterraneo proprio per il fatto che *Meganyctiphanes norvegica* in caso di condizioni ambientali inadatte, temperature sopra il limite termico di questa specie (18°C), non sarà in grado di spostarsi verso nord a causa della barriera fisica terrestre e sarà quindi costretta a condividere il suo ambiente con specie invasive più termofile in futuro (e andare quindi incontro a un rapido declino).

Anche molte specie pesci sono notevolmente in pericolo: la maggior parte dei pesci endemici sono specialisti, riguardo al substrato e alla dieta e per questo ci si aspetta una ridotta capacità di adattamento alle nicchie climatiche presenti in futuro. Nel complesso si prevede che il 25% della piattaforma continentale del Mar Mediterraneo subirà una modificazione totale delle relazioni tra le diverse specie endemiche entro la fine del XXI secolo. Questo tasso di cambiamento previsto potrebbe essere mitigato dalle aree marine protette o accelerato dalla pressione della pesca o dalla competizione con pesci esotici. Resta una sfida prevedere come queste modificazioni delle relazioni tra diverse componenti biotiche possano influenzare l'ecosistema.

Il Mar Mediterraneo si sta riscaldando più velocemente di qualsiasi altra regione marina del mondo, con conseguenze sempre più drastiche sugli ecosistemi marini e sui servizi che forniscono alle nostre società.

Questi cambiamenti possono essere particolarmente rapidi nelle specie ittiche, che stanno rispondendo globalmente con marcati spostamenti in latitudine o profondità o in entrambi (Chaikin et al., 2022).

Il cambiamento climatico sta infatti spostando gli areali delle specie temperate verso zone più a nord e aumentando i rischi di estinzione quando le capacità di dispersione sono limitate, come conseguenza di ciò specie temperate stanno rapidamente perdendo i loro habitat climatici preferiti e riducendo la loro distribuzione e abbondanza (Marras et al., 2015).

#### IL CASO DI *SARDINELLA AURITA* NEL MEDITERRANEO NORD-OCCIDENTALE

I piccoli pesci pelagici come l'alaccia (*Sardinella aurita*) sono uno strumento eccellente per studiare gli effetti del cambiamento climatico sugli ecosistemi marini. Hanno una breve durata di vita, si collocano ai primi livelli della catena alimentare nutrendosi di plancton e il loro reclutamento è controllato in larga misura dalla sopravvivenza delle uova e delle larve, che a loro volta dipendono dalla prevalenza di condizioni oceanografiche e atmosferiche adatte (Bakun, 1996). Pertanto, i cambiamenti nel clima globale o regionale probabilmente impatteranno sugli stock di pesci pelagici e di conseguenza sulle attività di pesca di cui sono target.

Nel bacino del Mediterraneo nord-occidentale, infatti, è stata trovata una significativa relazione positiva tra le catture di *S.aurita* e l'aumento della temperatura dell'acqua marina. Questo trova conferma nella comparsa delle larve nelle aree di studio più settentrionali, dove non erano presenti 20 anni prima e il successo riproduttivo nel nuovo areale settentrionale del Mediterraneo, dove la specie si è complessivamente espansa, stabilizzando la sua presenza.

Gli sbarcati sono rimasti infatti al di sotto delle 5000 tonnellate annuali fino agli inizi degli anni '80, per poi iniziare una tendenza crescente che è stato più evidente negli anni '90 (Figura 10).



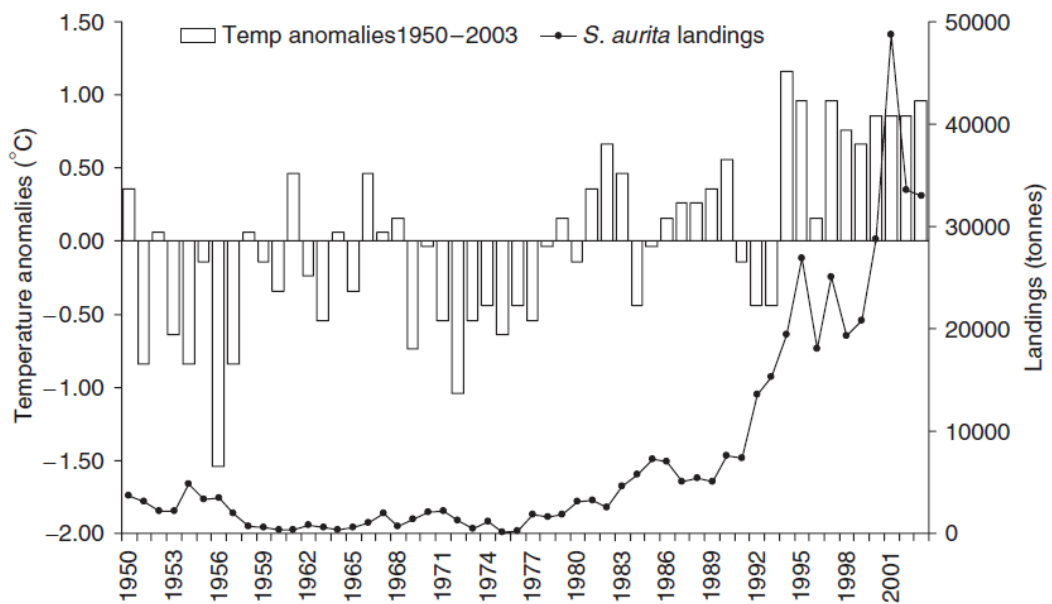


Figura 10. Gli sbarcati annuali di *S.aurita* nel Mediterraneo occidentale comparati con le anomalie delle temperature 1950-2001 (Sabatès et al.,2006).

Il clupeide era infatti assente in quest' area quando le temperature medie annuali delle acque superficiali scendevano al di sotto di 17.8 °C. L'isoterma superficiale 18 °C (valore medio annuo) era stata identificata settant'anni fa come limite di distribuzione della specie e corrispondeva ad una latitudine di circa 40°N, ma ora quelle condizioni termiche si ritrovano a 42°N, determinando così uno spostamento verso nord di circa 200km dell'areale di *S. aurita*). Considerando le dimensioni del Mediterraneo e il suo carattere semi-chiuso, lo spostamento del limite termico osservato sembra essere considerevole e potrebbe avere grandi effetti sull'intero ecosistema pelagico. L'espansione dell'alaccia ha infatti contribuito al declino delle altre specie di piccoli pelagici, dato che gli adulti competono per le risorse alimentari e/o lo spazio (Sabatès et al.,2006).

## CONCLUSIONI

L'uomo gioca un ruolo fondamentale all'apice di questa disastrosa catena di cause ed effetti del cambiamento climatico e proprio per questo motivo scienziati e ricercatori premono per avere al più presto delle linee guida da seguire per una pianificazione volta a contrastare gli effetti causati dall'uomo e dai cambiamenti climatici (Almpanidou et al., 2021; Doxa et al., 2022).

Le aree marine protette in primis dovrebbero sistematicamente monitorare le specie più a rischio e dovrebbero sviluppare nuove misure di controllo per le popolazioni che ospitano per tutelarle maggiormente (Soto-Navarro et al., 2021).

Inoltre, si dovrebbero applicare al più presto strategie utili per la conservazione di specie minacciate dal cambiamento climatico e monitorare la variazione di condizioni ambientali e di biodiversità (Katsanevakis et al., 2020).

Riconoscendo le sfide per la conservazione marina, il network multinazionale MarCons sta supportando sforzi collaborativi per colmare il divario tra scienza, gestione e politica, con l'obiettivo di contribuire a invertire le attuali tendenze negative.

Consolidando una vasta rete di oltre 100 scienziati provenienti da 26 paesi e conducendo una serie di workshop nel periodo 2016-2020, MarCons ha analizzato le sfide, le opportunità e gli ostacoli per progredire nella conservazione marina nei mari europei e contigui, stilando una lista di raccomandazioni chiave. In particolare, si sottolinea l'importanza di progettare reti coerenti di aree marine protette e rivalutare le zone di gestione esistenti, di sviluppare strategie di conservazione per affrontare gli impatti del cambiamento climatico (ad esempio identificando rifugi contro il cambiamento climatico come aree prioritarie per la conservazione), di monitorare le invasioni biologiche nelle acque di zavorra delle navi e nei porti turistici (Notarbartolo di Sciara et al., 2016).

Infine, per migliorare le pratiche attuali che potrebbero compromettere l'efficacia delle azioni di conservazione, si deve rafforzare la raccolta di dati di alta qualità, migliorare i meccanismi di partecipazione pubblica nella pianificazione e gestione delle AMP e prioritizzare gli obiettivi di conservazione in piena collaborazione con le parti interessate.

Gli ecosistemi marini stanno soffrendo e questo elaborato racchiude il forte grido d'allarme di tutti gli autori con l'intento di muovere qualcosa nei lettori e di richiamare l'attenzione pubblica e politica su una maggiore cura della conservazione di ecosistemi e specie marine, non solo di quelli più a rischio ma anche quelli meno vulnerabili.

Si sostiene infatti che proprio questi ultimi possono essere la chiave per comprendere e applicare delle manovre più efficaci di salvaguardia in vista del peggioramento del cambiamento climatico.

## BIBLIOGRAFIA

Almpanidou, V., Doxa, A., Mazaris, A. D. (2021). Combining a cumulative risk index and species distribution data to identify priority areas for marine biodiversity conservation in the Black Sea. *Ocean & Coastal Management*, 213:105877.

Angiolillo, M., Canese, S. (2018). Deep gorgonians and corals of the Mediterranean Sea. In C. D. Beltran & E. T. Camacho (Eds.), *Corals in a changing world*, INTECH.

Bador, M., Terray, L., Boé, J., Somot, S., Alias, A., Gibelin, A.L., Dubuisson, B. (2017). Future summer mega-heatwave and record-breaking temperatures in a warmer France climate. *Environmental Research Letters*, 12:074025.

Bakun, A., (1996). *Patterns in the Ocean. Ocean Processes and Marine Population Dynamics*. California Sea Grant College System.

Bearzi, G., (2002). Interactions between cetaceans and fisheries in the Mediterranean Sea. In Notarbartolo di Sciara G. (ed.) *Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies*, ACCOBAMS Secretariat, 20-24.

Bethoux, J. P., Gentili, B., Morin, P., Nicolas, E., Pierre, C., Ruiz-Pino, D. (1999). The Mediterranean Sea: A miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 44(1–3), 131–146.

Chaikin, S., Dubiner, S., Belmaker, J. (2022). Cold-Water Species Deepen to Escape Warm Water Temperatures. *Global Ecology and Biogeography*, 31, 75–88.

Chatzimentor, A., Doxa, A., Katsanevakis, S., Mazaris, A. D. (2023). Are Mediterranean marine threatened species at high risk by climate change? *Global Change Biology*, 29, 1809–1821.

Christidis, N., Jones, G.S., Stott, P.A. (2014). Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Climate Change*, 5, 46–50.

Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Ben Rais Lasram, F., Aguzzi, J., Ballesteros, ... (2010). The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLOS ONE*, 5(8):e11842.

Crabbe, M. J. C. (2008). Climate change, global warming and coral reefs: Modelling the effects of temperature. *Computational Biology and Chemistry*, 32, 311–314.

Doxa, A., Almpnidou, V., Katsanevakis, S., Queirós, A. M., Kaschner, K., Garilao, C., Kesner-Reyes, K., & Mazaris, A. D. (2022). 4D marine conservation networks: Combining 3D prioritization of present and future biodiversity with climatic refugia. *Global Change Biology*, 28, 4577–4588.

Drobinski, P., Da Silva, N., Bastin, S., Mailler, S., Muller, C., Ahrens, B., Christensen, Ole B., Lionello, P. (2020). How warmer and drier will the Mediterranean region be at the end of the twenty-first century? *Regional Environmental Change*, 20(3):78.

Foden, W. B., Young, B. E., Akçakaya, H. R., Garcia, R. A., Hoffmann, A. A., Stein, B. A., .... (2019). Climate change vulnerability assessment of species. *WIREs Climate Change*, 10:e551.

Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyau, C., Clavel, J., Jouglu, E., Hémon, D. (2006) Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80, 16–24.

Frihy, O. E., El-Sayed, M. K. (2013). Vulnerability risk assessment and adaptation to climate change induced sea level rise along the Mediterranean coast of Egypt. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 1215–1237.

Gambaiani, D. D., Mayol, P., Isaac, S. J., Simmonds, M. P. (2008). Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89, 179–201.

Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Medrano, A., Cerrano, C., Ponti, M., Schlegel, R., Bensoussan, N., Turicchia, E., Sini, M., Gerovasileiou, V., Teixido, N., Mirasole, A., Tamburello, L., Harmelin, J. (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*, 28, 5708–5725.

Garrabou, J., Coma, R., Bensoussan, N., Bally, M., Chevaldonnée, P., Cigliano, M., Diaz, D., Harmelin, J.G., Gambi, M.C., Kersting, D.K., Ledoux, J.B., Lejeusne, C., Linares, C., Marschal, C., Pérez, T., Ribes, M., Romano, J.C., Serrano, E., Teixido, N., Torrents, O., Zabala, M., Zuberer, F., Cerrano, C. (2009). Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic

communities: effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15, 1090–1103.

Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8):L08707.

Giuliani, S., Lamberti, V.C., Sonni, C., Pellegrini, D. (2005) Mucilage impact on gorgonians in the Tyrrhenian Sea. *Science of the Total Environment*, 353, 340–349.

Hobday, A.J., Alexander, L.V., Perkins, S.E., Smale, D.A., Straub, S.C., Oliver, E.J., Benthuyssen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Feng, M., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Scannell, H.A., Sen Gupta, A., Wernberg, T. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 141, 227–38.

Ingrosso, M., Tintoré, B., Cipriano, G., Ricci, P., Grandjean, T., Tsimpidis, T., Nomikou, P., Carlucci, R., Miliou, A. (2024). Environmental variables influencing occurrence and distribution of *Delphinus delphis* in the eastern Aegean Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 34(1):e4031.

IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 29pp.

Katsanevakis, S., Coll, M., Fraschetti, S., Giakoumi, S., Goldsborough, D., Mačić, V., Mackelworth, P., Rilov, G., Stelzenmüller, V., Albano, P. G., Bates, A. E., Bevilacqua, S., Gissi, E., Hermoso, V., ... (2020). Twelve recommendations for advancing marine conservation in European and contiguous seas. *Frontiers in Marine Science*, 7:565968.

Katsanevakis, S., Zenetos, A., Corsini-Foka, M., & Tsiamis, K. (2020). Biological invasions in the Aegean Sea: Temporal trends, pathways, and impacts. In *The handbook of environmental chemistry*. Springer.

Linares, C., Coma, R., Garrabou, J., Diaz, D., Zabala, M. (2008). Size distribution, density, and disturbance of two Mediterranean gorgonians: *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis*. *Journal of Applied Ecology*, 45, 688–699.

Lionello, P., Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18, 1481-1493.

López García, M.J. (2021). How much warmer is the Mediterranean becoming? *Mètode Science Studies Journal*, 11, 193-199.

Marbà, N., Jordà, G., Agustí, S., Girard, C., & Duarte, C. M. (2015). Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers in Marine Science*, 2, 1–11.

Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N., Alessandri, A. (2015). Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability. *Climate Dynamics*, 44, 1437–1456.

Marras, S., Cucco, A., Antognarelli, F., Azzurro, E., Milazzo, M., Bariche, M., Butenschon, M., Kay, S., Di Bitetto, M., Quattrocchi, G., Sinerchia, M., Domenici, P. (2015). Predicting Future Thermal Habitat Suitability of Competing Native and Invasive Fish Species: From Metabolic Scope to Oceanographic Modelling. *Conservation Physiology*, 3(1):cou059.

Marullo, S., Serva, F., Iacono, R., Napolitano, E., di Sarra, A., Meloni, D., Monteleone, F., Sferlazzo, D., De Silvestri, L., de Toma, V., Pisano, A., Bellacicco, M., Landolfi, A., Organelli, E., Yang, C., Santoleri, R. (2023). Record-breaking persistence of the 2022/23 marine heatwave in the Mediterranean Sea. *Environmental Research Letters*, 18:114041.

Notarbartolo di Sciara, G., Castellote, M., Druon, J.N., Panigada, S. (2016). Chapter 3-Fin Whales, *Balaenoptera physalus*: At Home in a Changing Mediterranean Sea? *Advances in Marine Biology*, 75, 75-101.

Perez, T., Garrabou, J., Sartoretto, S., Harmelin, J.G., Francour, P., Vacelet, J. (2000). Mass mortality of marine invertebrates: an unprecedented event in the Northwestern Mediterranean. *Comptes Rendus de l'Académie des Science Paris*, 323, 853–865.

Ponti, M., Perlini, R. A., Ventra, V., Grech, D., Abbiati, M., & Cerrano, C. (2014). Ecological shifts in Mediterranean Coralligenous assemblages related to Gorgonian Forest loss. *PLOS One*, 9(7):e102782.

Reeves, R.R., Notarbartolo di Sciara, G. (2006). The status and distribution of cetaceans in the Black Sea and Mediterranean Sea. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain. 137 pp.

Rivetti, I., Frascchetti, S., Lionello, P., Zambianchi, E., Boero, F. (2014). Global warming and mass mortalities of benthic invertebrates in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE*, 9(12):e115655.

Russo, S., Sillmann, J., Fischer, E.M. (2015). Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters*, 10:124003.

Sabatès, A., Martín, P., Lloret, J., Raya, V. (2006). Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global Change Biology*, 12, 2209–2219.

Sakalli, A. (2017). Sea surface temperature change in the Mediterranean Sea under climate change: A linear model for simulation of the sea surface temperature up to 2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15, 707–716.

Schiaparelli, S., Castellano, M., Povero, P., Sartoni, G., Cattaneo, R. (2007). A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky. *Assemblages Marine Ecology*, 28, 341-353.

Simmonds, M.P., Isaac, S.J. (2007) The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems. *Oryx*, 41, 19–26.

Soto-Navarro, J., Jordá, G., Compa, M., Alomar, C., Fossi, M. C., & Deudero, S. (2021). Impact of the marine litter pollution on the Mediterranean biodiversity: A risk assessment study with focus on the marine protected areas. *Marine Pollution Bulletin*, 165:112169.

Stegehuis, A.I., Vautard, R., Ciais, P., Teuling, A.J., Miralles, D.G., Wild, M. (2015). An observation-constrained multi-physics WRF ensemble for simulating European mega heat waves. *Geoscientific Model Development* 8, 2285–2298.

Vella, A., Murphy, S., Giménez, J., de Stephanis, R., Mussi, B., Vella, J.G., Doukara, K.L., Pace, D.S. (2021). The conservation of the endangered Mediterranean common dolphin (*Delphinus delphis*): Current knowledge and research priorities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31, 110–136.

Vezzulli, L., Pezzati, E., Huete-Stauffer, C., Pruzzo, C., Cerrano, C. (2013). 16SrDNA pyrosequencing of the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata* reveals a Link among alterations in bacterial holobiont members, anthropogenic influence and disease outbreaks. *PLOS ONE*, 8(6):e67745.

#### SITOGRAFIA

IUCN- Lista Rossa dei vertebrati italiani (2022) - [www.iucn.it/liste-rosse-italiane.php](http://www.iucn.it/liste-rosse-italiane.php)

IUCN- The IUCN Red List of Threatened Species (2022) - <https://www.iucnredlist.org>