

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA,
DELL'AMBIENTE E DELLA VITA (DISTAV)
Classe delle Lauree Magistrali in Biologia LM/6**

Corso di Laurea Magistrale in Biologia ed Ecologia Marina



**Università
di Genova**

**La comunità a Idrozoi del Promontorio di Portofino: variazione su
scala decennale in relazione ai cambiamenti climatici**

**Laureanda:
Simona Moglia**

**Relatore:
Prof./Dott Giorgio Bavestrello
Prof. Francesco Enrichetti**

**Correlatore:
Prof.ssa Marzia Bo**

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

RIASSUNTO

Gli idrozoi sono organismi marini interessati da fluttuazioni stagionali, influenzati da differenti parametri e sensibili ai cambiamenti climatici, che possono modificare il ciclo vitale. La comunità di idrozoi presso il Promontorio di Portofino è stata oggetto di numerosi studi nel passato, tra cui uno condotto nel 1980, che ha monitorato e analizzato la zonazione della biodiversità presente attraverso un transetto verticale. Gli idrozoi sono stati successivamente campionati nel 2004 e nel 2024 utilizzando la medesima tecnica e presso lo stesso sito. Da un confronto tra le serie storiche emerge che la biodiversità, rispetto al 1980, è diminuita, con il riscontro di specie mai registrate in precedenza. I cambiamenti si sono verificati in termini di presenza, stagionalità e di scomparsa di specie chiave. Le specie estive, rispetto ai periodi precedenti, sono diminuite, ma hanno ampliato il ciclo vitale; la metà delle specie invernali, invece, è scomparsa mentre altre mostrano un accorciamento della stagionalità. Parte delle specie superficiali si sono spostate a maggiore profondità, mentre altre di zone profonde sono scomparse. La fertilità ha subito una diminuzione di specie fertili e una posticipazione dei picchi di fertilità. L'analisi di questi dati indica come la comunità di idrozoi di Portofino sia fortemente influenzata dai cambiamenti climatici e di come questi organismi possano quindi essere ottimi indicatori biologici.

ABSTRACT

Hydrozoans are marine organisms affected by seasonal fluctuations, influenced by various parameters, and sensitive to climate change, which can alter their life cycle. The hydrozoan community at the Promontory of Portofino has been the subject of numerous studies in the past, including one conducted in 1980 that monitored and analyzed the zonation of the existing biodiversity through a vertical transect. Hydrozoans were subsequently sampled in 2004 and 2024 using the same technique and at the same site. A comparison of the historical series reveals that biodiversity, compared to 1980, has decreased, with the presence of species not previously recorded. Changes have occurred in terms of presence, seasonality, and the disappearance of key species. Summer species, compared to previous periods, have declined but expanded their life cycle; half of the winter species, on the other hand, have disappeared, while others show a shortening of their seasonality. Some surface species have moved to greater depths, while others from deep zones have disappeared. Fertility has decreased in terms of fertile species and the timing of fertility peaks has been delayed. The analysis of these data indicates that the hydrozoan community of Portofino is strongly influenced by climate change and that these organisms can therefore serve as excellent biological indicators.

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1. L'evoluzione geologica del Mar Mediterraneo.....	4
1.1.1. Circolazione del Mar Mediterraneo.....	5
1.1.2. Mar Ligure: Promontorio di Portofino.....	6
1.1.3. Global warming nel Mar Mediterraneo.....	7
1.2. Hydrozoa	9
1.2.1. Caratteri generali.....	9
1.2.2. Fluttuazioni stagionali	11
2. SCOPO DELLA TESI.....	14
3. MATERIALI E METODI	15
3.1. Tecniche di campionamento e analisi.....	15
3.2. SST del Mar Ligure	15
4. RISULTATI.....	16
4.1. Fertilità.....	23
4.2. Distribuzione stagionale e di profondità	25
4.3. Modificazioni delle comunità a idrozoi	28
4.4. Temperatura superficiale delle acque (SST).....	30
5. DISCUSSIONE.....	32
6. CONCLUSIONI.....	35
7. BIBLIOGRAFIA.....	36

1. INTRODUZIONE

1.1. L'evoluzione geologica del Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è un bacino semi-chiuso, compreso tra tre continenti (Europa, Asia e Africa), che può essere suddiviso in una porzione orientale ed una occidentale; si estende per 2.505.000 km², ha una profondità media di 1430 m e, ad oggi, rappresenta uno dei 25 hotspot a livello mondiale in termini di biodiversità (Coll et al., 2010).

La ricchezza in termini di specie è da ricollegarsi principalmente alla complessa evoluzione geologica che lo ha interessato: le fasi iniziali della sua formazione si possono datare intorno al tardo Oligocene, circa 25 milioni di anni fa, periodo durante il quale la chiusura dell'antico Oceano Tetide e i successivi fenomeni di consumo della crosta diedero origine al Proto-Mediterraneo, un bacino abitato da una fauna tipica di acque calde derivanti del suo collegamento con l'Indo-Pacifico (Picotti et al., 2013).

Nel tardo Miocene la chiusura del collegamento tra il proto-Mediterraneo e l'Oceano Indiano ha compromesso l'ingresso di fauna tropicale di origine Indo-pacifica e ha permesso la colonizzazione da parte di specie di origine Atlantica. Ma, in seguito alla chiusura dello Stretto di Gibilterra, il bacino del Mediterraneo rimase completamente isolato, raggiungendo un bilancio idrico negativo che, insieme a fasi cicliche di disseccamento e inondazioni, hanno portato al suo quasi totale disseccamento e a una forte riduzione della biodiversità (Bianchi et al, 2000). Alla fine del Miocene la crisi di salinità si concluse, si riaprì il collegamento con l'oceano Atlantico e il Mar Mediterraneo si ripopolò di specie atlantiche, riportando il regime idrologico ai livelli precedenti (Bianchi et al., 2012).

In epoca più recente, durante il Pleistocene, si sono susseguiti periodi caratterizzati da fasi di glaciazioni e fasi interglaciali che hanno causato la variazione del livello del mare, garantendo l'ingresso a specie con affinità boreo-artiche (durante i periodi glaciali), che poi regredirono a seguito dell'incremento di temperatura, e di specie tropicali (durante il periodo interglaciale) di origine atlantica (Picotti et al., 2013)

Possiamo quindi affermare come la complessa storia geomorfologica abbia contribuito alla formazione di un bioma ricco in termini di specie, vantandone di origine atlantiche subtropicali, specie atlantiche boreali, specie endemiche e specie di origine temperata (Bianchi et al., 2012).

1.1.1. Circolazione del Mar Mediterraneo

Il bacino del Mediterraneo è possibile suddividerlo in due porzioni, est e ovest, collegate tra di loro per mezzo dello stretto di Sicilia e caratterizzate dall'aver proprietà chimico-fisiche differenti; entrambe sono interessate dal rinnovamento delle acque garantito dalla corrente termoalina che genera l'up-take di ossigeno e nutrienti anche nelle porzioni più profonde.

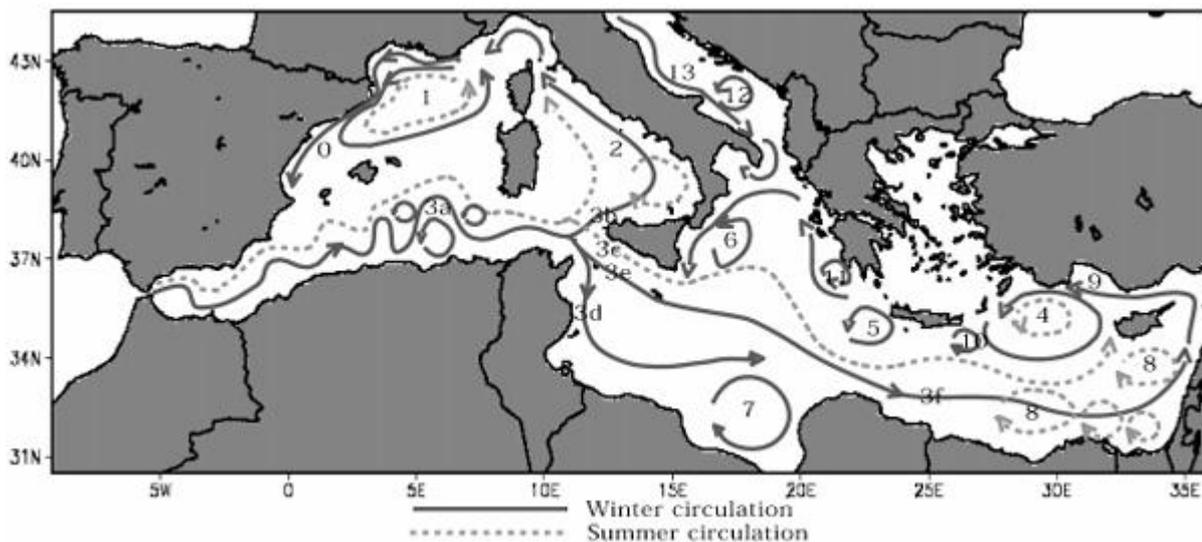


Figura 1 Schema di circolazione generale del Mar Mediterraneo in inverno ed estate (Pinardi et al, 2000)

Nel dettaglio, la corrente atlantica (AW) entra nel bacino del Mediterraneo (Figura 1) per mezzo dello Stretto di Gibilterra ed essendo maggiormente fredda e meno salata rispetto alle acque circostanti, penetra nei primi strati superficiali; questa si dirama poi in corrente orientale e occidentale, entrambe risalenti lungo la penisola. La corrente orientale prosegue costeggiando le coste africane, dando origine alla corrente algerina e formando poi un centro anticiclonico al centro del bacino meridionale; superato lo stretto di Sicilia, la corrente, definita ionico-atlantica, va a intensificare i vortici di Rodi e Lione nel bacino settentrionale (Roussenov et al., 1995). In quest'area si generano le acque intermedie e profonde, definite acque levantine, le quali, a seguito di una forte evaporazione che ne comporta un aumento in densità e salinità, si vanno a posizionare nello strato intermedio della colonna d'acqua. Queste proseguono poi nel Mar Adriatico dove subiscono un ulteriore sprofondamento a seguito dell'interazione con la topografia del fondale e con il fronte di massa d'acqua più fredda e dolce d'origine fluviale (Soto-Navarro et al., 2020).

La corrente occidentale invece, per mezzo dello stretto di Sicilia, risale lungo la penisola e raggiunge il Golfo di Leone, dove i venti maestrali sottraggono calore alle acque rendendole più fredde, innescando moti convettivi verso il basso che consentono un suo sprofondamento e l'ossigenazione delle acque profonde.

Da un punto di vista biogeochimico, il bacino del Mediterraneo è considerato oligotrofico, con bassi gradienti di produzione di direzione est-ovest derivanti da fattori come la pompa biologica, la circolazione estuarina inversa e la diversa distribuzione di fosfati e nitrati (Bethoux et al., 1998). A livello del bacino sono anche presenti delle zone di hotspot con elevata produzione primaria, in prossimità di zone costiere o di foci dei fiumi, dove si possono verificare bloom di fitoplancton. In definitiva, la porzione nord-ovest del bacino risulta essere quella maggiormente fredda e salata, in cui si concentra anche una maggior quantità di nutrimento, mentre la porzione nord-est al contrario è caratterizzata da acque tendenzialmente calde, meno salate e con una minor quantità di nutrienti (Reale et al., 2021).

Questo schema semplificato della circolazione termoalina del Mar Mediterraneo è ulteriormente influenzato da altre componenti e subisce delle modificazioni a seconda della stagione in cui la osserviamo.

1.1.2. Mar Ligure: Promontorio di Portofino

Il Mar Ligure è identificato come una delle aree maggiormente dinamiche del Mediterraneo: si estende per 400 km², con una profondità massima di 2850 m a livello della piana batiale ligure, e presenta molti canyon sottomarini che mostrano un ruolo nel mantenimento di produttività a livello locale (Cattaneo Vietti et al., 2010).

Il bacino ligure rappresenta un importante risorsa di acqua e di calore per l'intero Mediterraneo e gioca un ruolo importante ruolo sulla formazione della ciclogenesi nel campo atmosferico. È interessato da una circolazione antioraria che alimenta due correnti: la Corrente Tirrenica, che penetra d'inverno attraverso il canale della Corsica fino al Mar Ligure, e la corrente del Mediterraneo Occidentale che scorre lungo le coste occidentali della Corsica. Queste sono suddivisibili in una massa d'acqua superficiale, una profonda e una intermedia: quest'ultima, definita anche levantina, investe la scarpata continentale e la rete di canyon sottomarini di acqua fredda e ricca in nutrienti, diventando, grazie al rimescolamento stagionale, fonte di alimento, ossigeno e carbonato per le comunità più profonde (Robinson et al., 1992).

Allo stesso modo la forte circolazione antioraria determina l'upwelling delle acque profonde che vanno a supportare la produzione primaria, generando una condizione mesotrofica durante il periodo primaverile e in minor modo durante quello estivo ed invernale (Cattaneo Vietti et al., 2010).

L'area di studio, il Promontorio di Portofino, è situata lungo le coste orientali del Mar Ligure presenta una forma quadrangolare, con scogliere ripide sommerse, ed è caratterizzato da una stretta piattaforma continentale, con pendii molto ripidi che degradano dai 50 ai 500 m in pochi chilometri. Il

Promontorio è interessato dalla circolazione ciclonica generale del Mar Mediterraneo, con una corrente di direzione nord-ovest altamente persistente nel tempo, ma durante il periodo invernale è possibile osservare la formazione di vortici anticiclonici associati ad una controcorrente verso sud-ovest, che presentano importanti implicazioni per la dispersione e il trasporto dei sedimenti (Doglioli et al., 2004).

In generale, le caratteristiche geomorfologiche e le condizioni idrodinamiche hanno favorito lo sviluppo di un ambiente ricco molto diversificato in termini di biodiversità.

1.1.3. Global warming nel Mar Mediterraneo

L'equilibrio del Mar Mediterraneo, a partire dalla seconda metà del secolo scorso, ha subito dei cambiamenti sia da un punto di vista biogeochimico che ecosistemico: serie storiche incentrate sulla temperatura delle acque profonde (1959-1989) hanno infatti evidenziato un costante e crescente aumento delle temperature, di 0.004°C ogni anno, imputabili al riscaldamento globale (Lejeune et al., 2010).

Studi effettuati nei decenni successivi a quest'ultimo, hanno confermato questa tendenza di crescita, non più esclusiva delle acque profonde, ma in grado di interessare l'intera colonna d'acqua. In uno studio condotto nel 2022 si sono monitorati, per mezzo di satelliti, i valori della temperatura superficiale delle acque (SST), i quali evidenziando lo scambio di calore tra il mare e l'atmosfera; l'analisi dei valori ottenuti ha confermato la presenza di una tendenza di crescita positiva della temperatura, con una media stagionale 2003-2019 di $19,1^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}$ (García-Monteiro et al., 2022). Il tasso di riscaldamento non è però distribuito in modo omogeneo su tutta la regione: risulta infatti che la porzione orientale sia quella che registra valori anomali stagionali rispetto alla porzione più a nord, dove le variazioni di SST sono presenti ma rimangono più contenute. (Pisano et al., 2020).

Le variazioni delle temperature superficiali appena descritte risultano essere influenzate, oltre che dalla radiazione solare, anche dall'atmosfera e dalle masse d'acqua: i climatologi per studiare il rapporto tra i due parametri si avvalgono di un indice, in modo da quantificarne la variabilità e di comprendere come esercitino un'influenza sulla circolazione del Mediterraneo. Tra quelli maggiormente utilizzati nell'emisfero nord, in uso per il Mar Mediterraneo, vi è MAO (Atlantic Multidecadal Oscillation) e il NAO (North Atlantic Oscillation), il quale rappresenta il pattern dipolare del SLP (sea level pressure) caratteristico del Nord regione atlantico-europea. Gli indici inoltre mostrano le variabilità interannuali che oscillano tra valori positivi a negativi che si ricollegano a rilevanti cambiamenti nelle precipitazioni (Criado-Aldeanueva et al., 2020).

Le SST non risultano essere l'unico parametro anomalo ad oggi osservato: negli ultimi decenni si sono verificati fenomeni di maggior intensità definiti Marine heat waves (MHW), ovvero degli eventi in cui si verificano incrementi della temperatura superficiale delle acque che perdura un periodo prolungato di tempo. Questo fenomeno, a livello del bacino del Mediterraneo, si ipotizza che possa accelerare in relazione all'incremento medio delle SST, raggiungendo entro la fine del XXI secolo un aumento tra gli 1.5 e 3°C, e alla fluttuazione annuale della stagione. Da previsioni future, effettuate mediante l'utilizzo di un software (Darmaki et al., 2019), è possibile evidenziare come la frequenza della MHW sia destinata a diventare un elemento costante, presente ogni anno, e la loro durata si prolungherà per periodi temporali compresi tra giugno e fine ottobre (2071-2100).

In relazione a questa previsione, in futuro dovremo aspettarci impatti importanti sia sulle specie marine che sulla struttura dell'ecosistema, portando a danni come il bleaching dei coralli o il declino delle foreste di kelp, ad un'elevata mortalità tra gli organismi marini e cambiamenti delle comunità a livello bentonico (Wernberg et al., 2013). Essendo la temperatura una delle cause scatenanti, è molto probabile che in futuro questi cambiamenti non si limiteranno in modo esclusivo agli strati superficiali delle acque, ma si propagheranno lungo la colonna d'acqua, impattando ulteriormente gli ecosistemi dell'ambiente mesopelagico.

Il Mar Mediterraneo essendo un bacino semichiuso e avendo uno scarso collegamento con l'Oceano Atlantico è ad oggi definito un hotspot per i cambiamenti climatici: la porzione ovest del Mediterraneo è stata tra le prime a mostrare una tendenza positiva all'incremento delle temperature, ricollegabile ai cambiamenti climatici (Bethoux et al., 1990). Essendo quindi una regione molto vulnerabile al global warming è possibile considerare come i cambiamenti si verificheranno dalla superficie fino alle porzioni più profonde.

Da un'analisi effettuata mediante raccolta e confronto di profili idrografici verticali, per studiare la propagazione delle MHW lungo la profondità, si è osservato come la quantità di calore assorbita dalla massa d'acqua possa influenzare direttamente le proprietà verticali, la circolazione oceanica e la stratificazione, causando cambiamenti a livello ecosistemico. (Juza et al., 2022).

La stratificazione oceanica superiore si identifica ad una profondità di 150m, zona in cui la colonna d'acqua al di sopra di questo valore interagisce maggiormente con l'atmosfera e la produzione primaria, mentre la porzione inferiore rappresenta il contatto con gli ambienti più profondi. I parametri misurati in quest'intervallo di profondità rappresentano degli ottimi indicatori di modificazione nella porzione superiore come conseguenza del riscaldamento globale. Per effettuare un'analisi completa vengono spesso utilizzati gli indici di stratificazione (Somot et al., 2018), la resistenza al

rimescolamento e, in questo studio, la differenza dei gradienti verticali di temperatura, salinità e densità delle acque strati (Fu et al., 2016)

Da un loro confronto è possibile concludere come sia nella porzione est che nella porzione ovest del bacino si stiano sperimentando delle forti diminuzioni di densità delle acque, in seguito alla modificazione dei parametri di temperatura e di salinità, comportando un rafforzamento della stratificazione. Questa, agendo da barriera tra le acque superficiali e quelle profonde, modifica la circolazione e la ventilazione oceanica, influenzando il trasporto dei nutrienti lungo la colonna d'acqua (Juza et al., 2022)

In conclusione, è possibile aggiungere come a seguito del riscaldamento delle acque e del cambiamento della stratificazione (con modificazione dei parametri chimico-fisici), il biota marino del Mar Mediterraneo, dagli anni 80' ad oggi, sta subendo un'omogenizzazione delle specie: originariamente la biodiversità marina era suddivisibile in tre differenti province, in cui erano presenti specie sub-tropicali, stenoterme e polari di origine Atlantica. In tempi più recenti, questa diversità in specie si è andata a ridurre a causa della sempre più frequente ingresso e adattamento delle specie termotolleranti, agevolate dall'incremento delle temperature che causano la scomparsa di nicchie/hotspot e le specie ad esso annesse. (Lejeusne et al., 2009)

1.2. Hydrozoa

1.2.1. Caratteri generali

Gli idrozoi sono organismi celenterati a simmetria raggiata facenti parte del phylum degli Cnidaria, suddiviso a sua volta in cinque classi: Anthozoa, Cubozoa, Scyphozoa, Staurozoa e Hydrozoa; quest'ultimo è diviso in Hydroidolina (Anthomedusae e Leptomedusae) e Trachylinae, secondo una revisione della nomenclatura da parte di Bouillon et al. (1992).

In termini generali gli idrozoi possono presentare stili di vita e adattamenti che differiscono a seconda della specie: è possibile trovarli in forma stolonale, incrostante, eretta o epizoica, adesi a substrato roccioso oppure a vegetali.

L'unità individuale dell'idrozo, il polipo, può esistere come singolo organismo (ad esempio *Hydra*) o può formare una colonia: quest'ultima si origina a partire da uno stolone incrostante, da cui si generano dei polipi eretti con accrescimenti differenti (simpoidale o monopoidale), conferendo alla colonia un aspetto tridimensionale (Carwright et al., 2019).

Generalmente le comunità sono formate da singoli polipi, ognuno presentante tentacoli con funzione alimentare, ma in alcuni ordini le colonie possono essere polimorfiche, come nel caso di *Halecium*

Halecium (Gravier-Bonnet, 2008): i polipi della comunità presentano differenziamenti in termini di morfologia e di funzione, possono servire al nutrimento (gastrozoidi), alla difesa (dattilozoidi) e durante la riproduzione (gonozoidi).

All'interno di una colonia idroide i tre strati (epiderma, gastroderma e mesoglea) e le cavità gastrovascolari, sono continue tra loro e i polipi risultano essere interconnessi, facilitando il trasporto delle sostanze nutritive. Ognuno è costituito da un idrante, posto al di sopra di un pedicello flessibile, in cui si distingue l'ipostoma o proboscide, che rappresenta l'apice attorno al quale sono presenti i tentacoli, (disposti in uno o più anelli) mediante i quali l'idrozo si nutre. Possono essere o meno provvisti di nematocisti, sacchette contenenti veleno in grado di svolgere differenti funzioni, la cui morfologia consente il riconoscimento a livello di specie. L'ultima componente della colonia di idrozoi è l'idrorizza, composta da stoloni che crescono aderenti al substrato aumentando la superficie e rigenerando le colonie (Bouillon et al., 2004).

I polipi sono inoltre protetti esternamente da un esoscheletro, definito perisarco, composto da uno strato di polisaccaridi, inclusa la chitina, che costituiscono lo componente rigida, e da uno strato interno di proteine, in cui a volte possono essere associati anche degli elementi calcarei.

Il perisarco è presente negli idroidi tecati (Figura 2), mentre gli atecati ne sono privi o lo mostrano ridotto alla base. Questo si estende avvolgendo l'idrante e formando una teca, la quale può presentare un opercolo, composto o meno da diverse valve, che consente di regolare il contatto con l'ambiente esterno e di regolare l'emissione dell'ipostoma.

In alcune specie, sono presenti le nematoteche a protezione dei nematofori, piccoli polipi modificati contenenti nematocisti, localizzate molto vicine all'idrante, capaci di estensione e retrazione; svolgono un ruolo di difesa contro i predatori e di predazione (Gili et al., 1995)

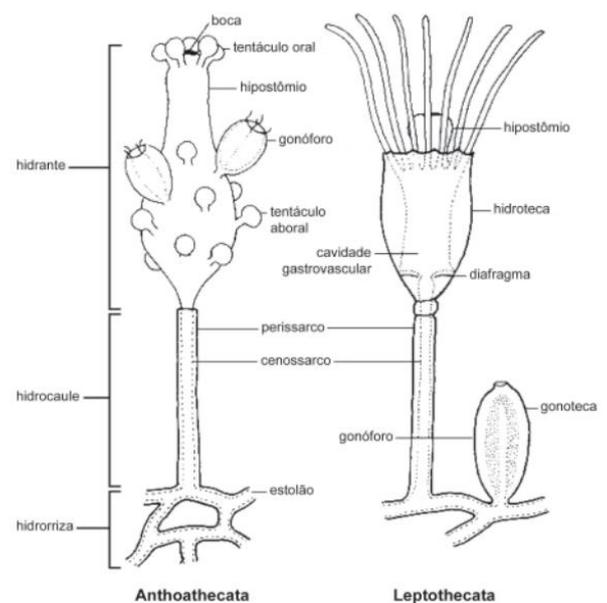


Figura 2 Morfologia di un polipo atecato e di un polipo tecato (Oliveira et al, 2006)

In generale, il ciclo vitale degli idrozoi è ascrivibile a quello generale degli Cnidari: presentano una riproduzione sessuata che comporta fecondazione di gameti liberati dallo stadio diploide di meduse, che danno origine prima allo zigote e poi successivamente alla planula. Durante questa fase la larva è in grado di scegliere il substrato al quale fissarsi, rendendo gli idrozoi i primi organismi in grado di

colonizzare un substrato vergine. La planula si fissa al substrato e metamorfosa nella fase aploide di polipo ed il ciclo si conclude con la generazione di una seconda fase diploide per mezzo di gemmazione.

La capacità di colonizzare l'ambiente circostante dipende molto dalla tipologia di larva che viene generata a partire dalla gamia: nel caso di *Eudendrium* si generano delle larve avvolte dal muco che precipitano lungo la colonna d'acqua e vanno a posizionarsi in prossimità della colonia madre (distribuzione zonata). Altre sono dotate di ciglia oppure strisciano sul substrato e per mezzo di questa metodica sono in grado di effettuare degli spostamenti, consentendo una maggior distribuzione degli individui (Boero, 1984).

Oltre alla riproduzione sessuata, gli idrozoi effettuano anche la riproduzione asessuata che può avvenire secondo differenti metodiche come la fissione, la produzione di propaguli o la formazione di cisti di resistenza.

1.2.2. Fluttuazioni stagionali

Gli idrozoi, così come la maggior parte degli Cnidari, non hanno un ciclo vitale costante e presentano delle variazioni in termini di presenza, non risultando attivi durante l'intero anno, ma solo in periodi ben precisi (Bavestrello et al., 2015). La stagionalità delle specie, come osservato nel caso studio di *Nemertesia antennina* (Hughes, 1977), è caratterizzata da una fase di regressione, in cui gli idranti e il cenosarco si ritirano negli stoloni, lasciando la porzione di perisarco vuota; segue un periodo di crescita, una successiva fase riproduttiva e la formazione di cisti di resistenza. Queste cisti hanno la capacità di persistere nell'ambiente per un anno o per un periodo più lunghi, germinando poi quando le condizioni ambientali diventano favorevoli per la costituzione di una nuova colonia (Gili et al, 1995).

È possibile distinguere le comunità di idrozoi in due diverse stagioni a seconda del ciclo stagionale: individui che si sviluppano e si riproducono esclusivamente durante il periodo estivo, individui prettamente invernali e individui presenti durante l'anno. Questa variazione di stagionalità è stata riscontrata in uno studio condotto presso il Promontorio di Portofino, in cui sono state evidenziate il 45% di specie presenti in inverno, il 30% presenti in estate e il 25% presenti tutto l'anno (Boero et al, 1986). Un andamento simile si è registrato anche nelle comunità di idrozoi dell'intertidale e del subitale presso il Mar del Plata, mostrando come la stagionalità non sia un fattore esclusivo di alcune fasce geografiche (Genzano et al., 2002).

Analizzando il ciclo vitale di *Eudendrium glomeratum* (Figura 3), è possibile osservare una certa stagionalità: la specie inizia a comparire nei primi di settembre, aumentando progressivamente fino a raggiungere un massimo nel mese di gennaio, per poi decrescere in aprile e scomparire durante il periodo estivo. È possibile quindi concludere che *Eudendrium glomeratum* sia una specie esclusivamente invernale, che si riproduce tra novembre e dicembre (Boero et al., 1986).

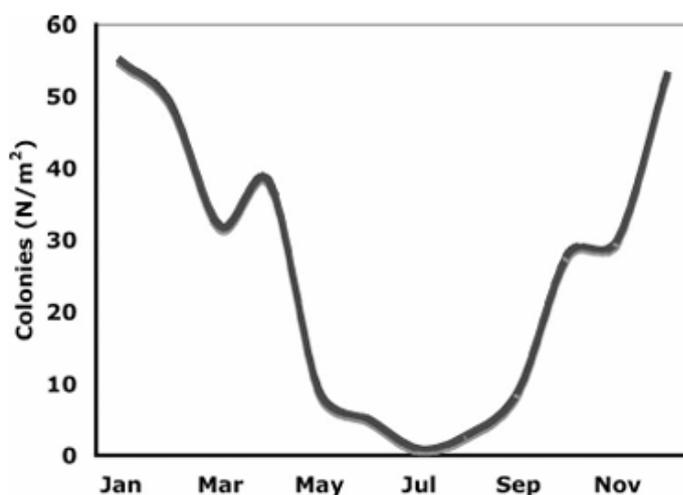


Figura 3 Andamento annuale di *Eudendrium glomeratum* nel il Mar Ligure (Bavestrello et al 2006)

Le variazioni sono presenti in qualsiasi fascia geografica, ma il ciclo stagionale muta a seconda dell'area di studio considerata: nelle acque fredde, la scomparsa degli idrozoi sembra essere ricollegabile alla temperatura delle acque e alla scarsità di cibo, mentre nelle aree tropicali la loro presenza è influenzata dalla disponibilità di cibo, dalla torbidità delle acque e dalla radiazione solare intensa (Boero, 1994).

La stagionalità si riscontra maggiormente negli idrozoi che si trovano nei primi metri d'acqua e tende a mostrarsi meno scendendo lungo la colonna d'acqua. Durante alcuni studi si è infatti osservato come il ciclo stagionale sia maggiormente pronunciato nelle acque basse, generando un alternarsi di specie che cambiano al variare delle stagioni. Questo è ricollegabile al fatto che in queste porzioni di acque superficiali le variazioni legate ai parametri ambientali sono più repentine e di maggiore entità. Al contrario, le specie di maggiore profondità, in particolare al di sotto dei 20 m, risentono meno di questi cambiamenti e presentano una maggiore costanza e un ciclo stagionale più stabile (Boero et al, 1986).

I fattori che condizionano la presenza/assenza degli idrozoi sono:

- Temperatura: differenti adattamenti a seconda dell'ecologia della specie

- Movimento delle acque: influenza la possibilità di distribuzione degli idrozoi, poiché devono sviluppare la capacità di resistenza alle correnti. Gli idrozoi in superficie, che presentano una struttura più esile, aumentano il numero di anelli dello stelo per essere maggiormente flessibili, mentre idrozoi di profondità sviluppano colonie di grandi dimensioni
- Sedimentazione: gli idrozoi in superficie non sono interessati da sedimentazione essendo che la corrente provvede alla sua eliminazione, mentre in specie un po' più profonde hanno adottato differenti strategie, come svilupparsi al di sopra di altri individui oppure sviluppare forme arborescenti, al fine di impedirne l'accumulo
- Luce: la presenza di zooxantelle, rende gli idrozoi particolarmente sensibili alle sue variazioni; inoltre, l'irradiazione solare lavora in modo sinergico con la temperatura, parametri necessari per la crescita di alcuni idrozoi, come dimostrato in uno studio condotto su *Eudendrium glomeratum* (Bavestrello et al., 1992).
- Esposizione all'aria: alcuni idrozoi sono in grado di colonizzare la porzione costiera periodicamente esposta all'aria, questo è reso possibile dalla conformazione a cespuglio che la colonia assume, che consente di trattenere l'acqua fino all'immersione successiva (Boero, 1984).

In parallelo alla stagionalità, la presenza e l'assenza degli idrozoi sono da ricollegarsi al variare delle condizioni a livello spaziale: le specie tendono a colonizzare aree differenti a seconda delle variazioni dei parametri ambientali, delle interazioni interspecifiche, della disponibilità del substrato e del potenziale intrinseco di colonizzazione. In generale, a scala spaziale ridotta, la distribuzione degli idrozoi tende ad essere frammentaria, a seguito della loro capacità dispersiva locale, che ne limita la distribuzione a livello spaziale. A scala spaziale più ampia è possibile osservare una maggior eterogeneità e ricchezza in specie, soprattutto nei primi metri di acqua, dovuto ad una maggior variabilità dei substrati e all'azione delle correnti (Gili et al, 1995).

La delicata stagionalità e l'equilibrio instauratosi tra le diverse comunità di idrozoi ha subito notevoli cambiamenti in concomitanza dei cambiamenti climatici. In particolare, con l'incremento delle SST, sono variati i cicli vitali e la riproduttività di alcune specie chiave del Mediterraneo (Puce et al 2009), rendendo necessaria una maggior indagine al fine di evidenziarne le prospettive future.

2. SCOPO DELLA TESI

Questo studio si è svolto al fine di monitorare la biodiversità della comunità a idrozoi presso il Promontorio di Portofino, registrando le specie presenti e monitorandone la diversità. In seguito, si effettueranno dei confronti con le serie storiche del 1980 e del 2004.

I dati saranno analizzati per valutare la presenza o l'assenza delle famiglie presenti e delle singole specie, in modo da osservare l'andamento e verificare la tendenza negativa di perdita in biodiversità già registrata nello studio di Puce et al. (2009). Si studieranno i cicli vitali per evidenziare eventuali cambiamenti nella stagionalità, come accorciamento o ampliamento del periodo di presenza, e nella profondità di residenza, con spostamenti verso zone più profonde o verso ambienti più superficiali.

Verrà effettuato un approfondimento riguardo all'andamento della specie fertili, per osservarne la tendenza alla diminuzione degli individui riproduttivi, sia in relazione alla stagionalità che alla profondità.

Infine, attraverso l'analisi delle SST superficiali presso il Promontorio di Portofino, si valuterà una correlazione tra le anomalie di temperatura registrate dal 1980 ad oggi e le modificazioni del ciclo vitale, per affermare come il cambiamento di questo parametro possa andare ad influire sulla vitalità degli individui e sulla loro presenza.

3. MATERIALI E METODI

3.1. Tecniche di campionamento e analisi

La tecnica di campionamento è analoga a quella utilizzata nello studio da Boero et Fresi (1986): i campioni sono stati raccolti mensilmente da maggio 2023 a maggio 2024, per mezzo di immersioni subacquee effettuate presso una scogliera rocciosa nella porzione nord del Promontorio di Portofino. La scogliera rocciosa, presso la quale sono stati effettuati i campionamenti, è denominata Transetto Aurora, presenta una pendenza verticale fino ad una profondità di circa 10 m oltre ai quali degrada dolcemente con una serie di ampi gradoni.

Durante un primo studio effettuato nel 1980, i campioni venivano raccolti attraverso raschiatura, utilizzando un quadrato 20x20; negli studi successivi questa tecnica non è stata più utilizzata poiché non garantiva una raccolta di campioni sufficientemente rappresentativa della diversità in specie.

I campioni sono quindi stati raccolti per mezzo del visually oriented sampling, prelevando gli idrozoi in modo randomico in ciascuna delle 5 zone di profondità (0-0.5, 0.5-5, 5-10, 10-15, 15-20). Una volta in laboratorio, i campioni sono stati conservati in appositi contenitori con etanolo assoluto al 100%. Successivamente è stata analizzata singolarmente ciascuna profondità attraverso l'utilizzo dello stereomicroscopio e del microscopio ottico. Inizialmente sono osservate le caratteristiche generali della colonia, effettuando una prima discriminazione volta al riconoscimento delle famiglie; successivamente si è proseguito con un'analisi più critica al microscopio ottico al fine di identificare la specie corretta. Il riconoscimento è stato possibile per mezzo dell'utilizzo di manuali (Bouillon J. Et al, 2004) che hanno contribuito al riconoscimento caratteristiche morfologiche discriminanti, come la presenza e la conformazione delle nematocisti

3.2. SST del Mar Ligure

I dati relativi alla temperatura superficiale delle acque (SST), nel periodo dal 1980 al 2023, sono stati ottenuti dalla US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Physical Sciences Laboratory.) per mezzo dell'utilizzo di un satellite. Le temperature sono state successivamente calibrate (Azzola et al, 2024) per mezzo di misurazioni discontinue rilevate sul campo (diving computer) presso il Promontorio di Portofino, attraverso l'utilizzo di una retta di regressione lineare ($y = 1.0916 x + 0.6432$; $R^2 = 0.9694$).

Infine, per osservare l'andamento generale delle SST tra il 1980 e il 2023, si sono fatte le medie per ogni anno, riportandole mediante un grafico di dispersione e identificando la linea di tendenza per osservare l'andamento generale di temperatura tra i diversi anni.

4. RISULTATI

Il numero totale degli Idrozoi riscontrati presso il Promontorio di Portofino è di 119 specie: negli studi effettuati lungo il transetto Aurora, quello condotto nel 1980 ha evidenziato la presenza di 82 specie durante l'anno di campionamento, mentre nel 2004 sono diminuite a 71. Nello studio condotto nel 2024 l'analisi dei campioni ha invece rilevato la presenza di 47 specie, un numero molto inferiore rispetto agli anni precedenti. Questo si evidenzia nei grafici Figura 4 e Figura 5, in cui, correlando la variazione del numero di specie nei tre differenti studi e la loro permanenza media nei mesi, si identifica una costante diminuzione sia numerica che di presenza, già osservata nello studio condotto nel 2004.

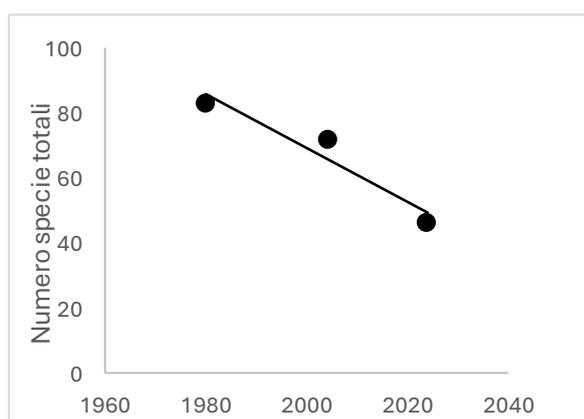


Figura 4 Confronto della variazione del numero di specie tra il 1980,2004, 2024

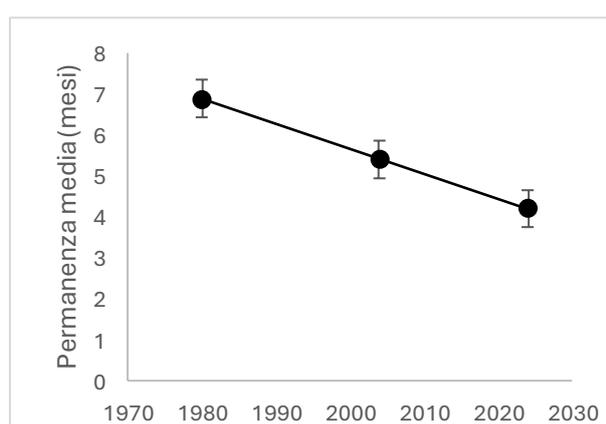


Figura 5 Confronto della permanenza media delle specie mensile tra il 1980,2004,2024

Effettuando un'analisi separata dei due ordini è possibile evidenziare come le Anthomedusae tra il 1980 e il 2004 presentino lo stesso numero di specie identificate (30), così come anche la composizione riscontrata, mentre nel 2024 invece l'eterogeneità si è numericamente molto ridotta (17), evidenziando la scomparsa di specie chiave del biota del Promontorio e la comparsa di nuove mai osservate. Un discorso simile si può effettuare per l'ordine delle Leptomedusae, se ne osserva una decrescita in numero di specie a partire dal 1980 (50) fino al 2024 (30).

Osservando l'andamento della eterogeneità in specie delle Anthomedusae (Tabella 1), è possibile concludere come alcune specie annuali riscontrate nello studio condotto nel 1980 abbiano progressivamente ridotto la loro stagionalità (*Eudendrium glomeratum*, *Coryne muscoides*), risultando assenti durante il periodo estivo; altre ne presentano la totale interruzione (*Boungainvillea muscus*, *Cladocorneflocosa*) o una variazione della loro presenza in termini di profondità, andando ad aumentare lungo la verticale.

Le specie prettamente invernali-primaverili, con un ciclo vitale compreso tra ottobre e maggio, mostrano un incremento in termini di presenza (*Bimeria vesita*), mentre in altri casi, relative a specie

più superficiali, se ne può osservare la scomparsa sia nel 2004 che nel 2024 (*Dipurena conferta*, *Dipurena ophiogaster*).

Specie		stagionalità											profondità					Substrato
		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	1	2	3	4	
ANTHOMEDUSE																		
Boungaiwillidae																		
<i>Bimeria vestita</i>	1980	r	r								r	r	r					alghe, spugne, idroidi, serpulidi, briozoi, rocce
	2004																	
	2024	r								r	r	r						
<i>Boungainvillia muscus</i>	1980				r													alghe, idroidi, tubi dei policheti, mitili, cirripedi, rocce
	2004																	
	2024																	
<i>Buongainvilla sp.</i>	1980																	alghe, idroidi, rocce
	2004																	
	2024																	
<i>Garveia grisea</i>	1980	r									r	r	r					alghe, idroidi, gorgonie morte, briozoi, rocce
	2004	r									r	r						
	2024																	
<i>Pachycordyle napolitana</i>	1980																	alghe, <i>Eudendrium sp.</i>
	2004																	
	2024																	
<i>Pachycordyle pusilla</i>	1980												r					foglie di <i>Posidonia oceanica</i>
	2004																	
	2024																	
Cladocorynidae																		
<i>Cladocoryne floccosa</i>	1980										r							alghe, cirripedi, briozoi, rocce
	2004																	
	2024																	
Cladonematidae																		
<i>Cladomena radiatum</i>	1980																	alghe
	2004																	
	2024																	
Corynidae																		
<i>Coryne eximia</i>	1980																	alghe, idroidi
	2004																	
	2024																	
<i>Coryne muscolides</i>	1980		r	r							r	r						alghe, cirripedi, briozoi, rocce
	2004		r	r	r	r												
	2024		r		r													
<i>Coryne pintneri</i>	1980																	foglie di <i>Posidonia oceanica</i>
	2004																	
	2024																	
<i>Corune producta</i>	1980																	cirripedi, rocce
	2004		r															
	2024																	
<i>Coryne pusilla</i>	1980																	alghe, rocce, idroidi
	2004																	
	2024																	
<i>Coryne sp.</i>	1980																	rocce
	2004																	
	2024																	
<i>Dicoryne conferta</i>	1980																	rocce
	2004																	
	2024																	
<i>Dypurena halterata</i>	1980				r	r	r											spugne
	2004																	
	2024																	
<i>Dipurena gemmifera</i>	1980																	spugne
	2004																	
	2024																	
<i>Dipurena ophiogaster</i>	1980	r	r															alghe, mitili, cirripedi, briozoi
	2004																	
	2024																	

Tabella 1 Specie riscontrate presso il transetto Aurora nel 1980, 2004 e 2024

Specie		stagionalità											profondità					Substrato
		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	1	2	3	4	
Tubulariidae																		
<i>Ectopleura larynx</i>	1980	r	r	r	r	r												alghe, <i>Eudendrium</i> spp, cirripedi, concrezioni
	2004	r																
	2024																	
<i>Ectopleura wrighti</i>	1980					r												alghe, spugne, idroidi, cirripedi, concrezioni
	2004																	
	2024																	
<i>Tubularia sp.</i>	1980																	
	2004				r													cirripedi, concrezioni, rocce
	2024																	
Zanclidae																		
<i>Zanclia costata</i>	1980							r										alghe, <i>Eudendrium</i> , <i>Lithophaga</i> , briozoi, concrezioni
	2004																	
	2024																	
<i>Zanclia sessilis</i>	1980																	
	2004																	briozoi, rocce
	2024																	
LEPTOMEDUSAE																		
Aequoridae																		
<i>Aequorea forskalea</i>	1980																	concrezioni
	2004																	
	2024																	
Aglaopheniidae																		
<i>Aglaophenia elongata</i>	1980							r										rocce, concrezioni, pietre incastonate nel fango
	2004																	
	2024		r					r	r			r						
<i>Aglaophenia kirchenpaueri</i>	1980		r							r		r						spugne, cirripedi, concrezioni
	2004																	
	2024																	
<i>Aglaophenia octodonta</i>	1980			r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r				alghe, spugne, mitili, cirripedi, rocce
	2004							r		r								
	2024							r										
<i>Aglaophenia picardi</i>	1980	r	r	r						r	r	r	r					alghe, spugne, cirripedi, rocce
	2004		r															
	2024																	
<i>Aglaophenia tubiformis</i>	1980	r	r	r	r					r								alghe, spugne, cirripedi, briozoi, rocce
	2004																	
	2024																	
Campanulinidae																		
<i>Lafoeina tenuis</i>	1980																	alghe, <i>Posidonia</i> , idroidi, mitili
	2004																	
	2024																	
<i>Campanularia hincksii</i>	1980	r								r	r	r						alghe, spugne, idroidi, gorgonie morte, cirripedi, briozoi, ascidie, rocce
	2004	r		r	r	r	r			r								
	2024																	
<i>Campanularia raridentata</i>	1980																	idroidi
	2004																	
	2024																	
<i>Campanularia volubilis</i>	1980																	cirripedi, concrezioni, rocce
	2004																	
	2024																	
<i>Clytia gracilis</i>	1980																	alghe, cirripedi, briozoi
	2004									r								
	2024																	
<i>Clytia hemisphaerica</i>	1980	r	r	r						r	r	r	r	r				alghe, spugne, idroidi, gorgonie morte, mitili, briozoi, concrezioni
	2004	r	r	r	r	r				r	r	r	r	r				
	2024		r	r	r	r				r	r	r	r					
<i>Clytia linearis</i>	1980							r		r	r	r	r					alghe, <i>Posidonia</i> , briozoi,
	2004							r										
	2024									r	r	r						
<i>Clytia noliformis</i>	1980									r								alghe, idroidi, mitili
	2004	r																
	2024							r		r								
<i>Clytia paulensis</i>	1980																	alghe, idroidi, gorgonie morte, briozoi
	2004							r										
	2024																	
<i>Gastroblasta raffaelei</i>	1980																	spugne
	2004																	
	2024																	
<i>Laomedea calceolifera</i>	1980																	alghe, idroidi, gorgonie, briozoi
	2004																	
	2024																	
<i>Obelia bidentata</i>	1980							r										pietra, concrezioni
	2004																	
	2024																	

Specie		stagionalità											profondità					Substrato	
		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	1	2	3	4		5
<i>Obelia dichotoma</i>	1980	r	r	r	r	r						r	r						alghes, idroidi, gorgonie, briozoi, ascidie, rocce
	2004	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r						
	2024	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r						
<i>Obelia geniculata</i>	1980	r		r		r		r		r		r	r						alghes, mitili
	2004																		
	2024																		
<i>Orthopyxis crenata</i>	1980																		alghes, mitili
	2004																		
	2024																		
<i>Orthopyxis integra</i>	1980					r	r	r	r	r									alghes, idroidi, mitili, cirripedi, rocce
	2004																		
	2024																		
Cirrhothenidae																			
<i>Cirrhothenia tetranema</i>	1980																		alghes, idroidi, rocce
	2004																		
	2024																		
Haleciidae																			
<i>Halecium beanii</i>	1980						r				r	r							alghes, idroidi, cirripedi, concrezioni
	2004						r												
	2024																		
<i>Halecium conicum</i>	1980																		alghes, idroidi, briozoi
	2004																		
	2024																		
<i>Halecium delicatum</i>	1980							r	r	r	r	r	r						alghes, spugne, idroidi, gorgonie, mitili, cirripedi, briozoi, rocce
	2004	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r						
	2024	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r						
<i>Halecium halecinum</i>	1980						r				r	r	r						alghes, idroidi, concrezioni
	2004																		
	2024																		
<i>Halecium labrosum</i>	1980								r	r	r								idroidi, gorgonie morte, cirripedi, briozoi
	2004																		
	2024																		
<i>Halecium lankasteri</i>	1980																		alghes, cirripedi
	2004											r							
	2024																		
<i>Halecium liouvillei</i>	1980																		alghes, rocce
	2004																		
	2024																		
<i>Halecium nanum</i>	1980																		alghes, cirripedi
	2004																		
	2024																		
<i>Halecium petrosum</i>	1980																		alghes, idroidi
	2004																		
	2024					r	r												
<i>Halecium pusillum</i>	1980					r					r								alghes, <i>Posidonia</i> , idroidi, mitili, briozoi, concrezioni
	2004																		
	2024																		
<i>Halecium tenellum</i>	1980																		alghes, idroidi, briozoi
	2004	r																	
	2024					r													
<i>Hydrodendron mirabile</i>	1980																		alghes cirripedi, rocce
	2004																		
	2024																		
Halopterididae																			
<i>Antennella secundaria</i>	1980								r	r	r								alghes, idroidi, concrezioni
	2004						r												
	2024						r	r											
<i>Halopteris diaphana</i>	1980							r											alghes, concrezioni
	2004																		
	2024																		
Habellidae																			
<i>Anthobella parasitica</i>	1980						r	r	r	r									idroidi
	2004																		
	2024																		
<i>Hebella brochii</i>	1980																		<i>Syntheticum evansi</i>
	2004																		
	2024																		
<i>Hebella scandens</i>	1980																		alghes, idroidi, rocce
	2004																		
	2024																		
<i>Scandia gigas</i>	1980							r	r										alghes, spugne, idroidi, cirripedi, briozoi, concrezioni
	2004																		
	2024								r										

Specie		stagionalità												profondità					Substrato
		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	1	2	3	4	5	
Kirchenpaueriidae																			
<i>Kirkenpaueria pinnata</i>	1980																	alghe, <i>Posidonia</i> , idroidi, cirripedi	
	2004																		
	2024																		
<i>Ventromma halecioides</i>	1980																	alghe, mitili, cirripedi	
	2004																		
	2024																		
Lafoeidae																			
<i>Filellum serpens</i>	1980	r																alghe, idroidi, gorgonie morte, briozoi, rocce	
	2004																		
	2024	r																	
<i>Filellum serratum</i>	1980																	idroidi, briozoi	
	2004																		
	2024																		
<i>Zygophylax sp.</i>	1980																	alghe	
	2004																		
	2024																		
Laodiceidae																			
<i>Laodicea undulata</i>	1980																	alghe, gorgonie morte, concrezioni	
	2004																		
	2024																		
Lovenellidae																			
<i>Campalecium medusifera</i>	1980						r	r	r	r	r							alghe, idroidi, cirripedi	
	2004	r		r															
	2024																		
<i>Hydranthea margarica</i>	1980							r										briozoi	
	2004																		
	2024																		
Mitrocomidae																			
<i>Mitrocama annae</i>	1980	r																alghe, idroidi	
	2004																		
	2024																		
Plumulariidae																			
<i>Monothecha obliqua</i>	1980								r									<i>Posidonia</i>	
	2004																		
	2024																		
<i>Nemertesia ventriculiformis</i>	1980									r								alghe	
	2004																		
	2024																		
<i>Plumularia setacea</i>	1980																	alghe, idroidi, cirripedi, rocce	
	2004	r																	
	2024																		
Sertulariidae																			
<i>Dynamena disticha</i>	1980							r	r	r	r	r						alghe, idroidi, cirripedi, rocce, concrezioni	
	2004								r	r									
	2024									r	r	r							
<i>Salacia desmoides</i>	1980								r									alghe	
	2004																		
	2024																		
<i>Sertularella crassicularis</i>	1980	r								r	r	r						alghe, idroidi, gorgonie, briozoi	
	2004	r																	
	2024																		
<i>Sertularella ellisii</i>	1980	r	r					r	r	r	r	r						alghe, idroidi, gorgonie morte, mitili, cirripedi, rocce	
	2004																		
	2024									r									
<i>Sertularella mediterranea</i>	1980																	cirripedi, concrezioni, rocce	
	2004																		
	2024																		
<i>Sertularella polyzonias</i>	1980									r								alghe, idroidi, gorgonie morte, rocce	
	2004	r	r	r						r	r								
	2024	r	r	r						r	r								
<i>Sertularia distans</i>	1980																	cirripedi, concrezioni, rocce	
	2004																		
	2024																		
<i>Sertularia perpusilla</i>	1980								r									Foglie di <i>Posidonia oceanica</i>	
	2004																		
	2024																		
Syntheceidae																			
<i>Syntheceum evansi</i>	1980								r	r								spugne, concrezioni	
	2004																		
	2024																		

Sempre in riferimento alle Anthomedusae si può anche osservare (Figura 6) come la composizione in termini di diversità sia cambiata tra il 1980 e il 2024 e, come detto in precedenza alcune specie non siano state riscontrate, ma se ne siano evidenziate di nuove, fino ad ora non presenti nel record storico (*Dipurena gemmifera* e *Dicoryne conferta*).

Confrontando le curve di diversità, possiamo evidenziare un andamento piuttosto speculare del ciclo vitale tra il 1980 e 2024, tra cui variano il numero di specie riscontrate; il 2004 invece presenta un andamento molto differente rispetto allo studio precedente. In particolare, per i mesi di febbraio e marzo si è registrato un incremento di idroidi superiore al 1980, per poi mostrare una rapida diminuzione dal mese di aprile.

L'andamento delle specie presenti nel 2024 risulta essere omogeneo in termini di numerosità, rispetto invece al 2004 che mostra un andamento irregolare confrontato agli altri studi.

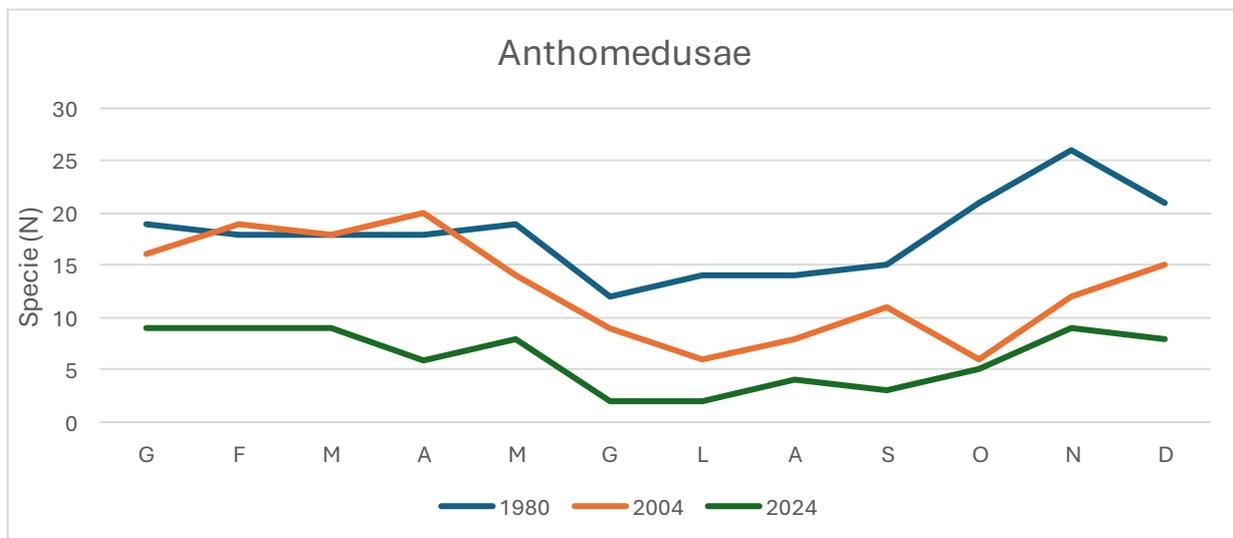


Figura 6 Curve di diversità Anthomedusae

L'ordine delle Lephthomedusae, in modo analogo alle Anthomedusae, presenta la maggior parte delle specie con un ciclo annuale nel 1980, frammentato nel 2024 (*Halecium pusillum*, *Anthobella parassitica*), ad eccezione di *Clytia hemisphaerica* e *Clytia linearis* che hanno invece mantenuto la loro presenza lungo le stagioni.

Le specie esclusivamente invernali presentano una generale diminuzione nei diversi mesi, con alcune eccezioni come *Obelia dichotoma* e *Sertularella polyzonias*, e uno spostamento della loro presenza lungo la verticale aumentando, in alcuni casi, la loro distribuzione in tutte le profondità osservate (*Filellum serpens*, *Obelia dichotoma*), in altri registrando uno spostamento a maggiori profondità (*Anthobella parassitica*).

Inoltre, analizzando la Tabella 1 è possibile osservare come alcune specie presenti sia nel 2004 e nel 1980 (*Aglaophenia kirchenpaurei*, *Clytia paulensis*), siano scomparse nel 2024 e ne siano invece state riscontrate delle altre che non erano invece presenti nel 2004 (*Aglaophenia aelongata*, *Mitrocoma annae*).

Confrontando le curve di diversità relative alle Leptomedusae (Figura 7) è possibile evidenziare come le specie rilevate nel 1980, a partire dal mese di giugno fino a novembre, mostrino un incremento progressivo in termini di diversità, raggiungendo un picco per poi decrescere a dicembre; le curve del 2004 e del 2024 invece non mostrano un incremento prima di agosto, che, a differenza del 1980, risulta essere più graduale e limitato in numero di specie.

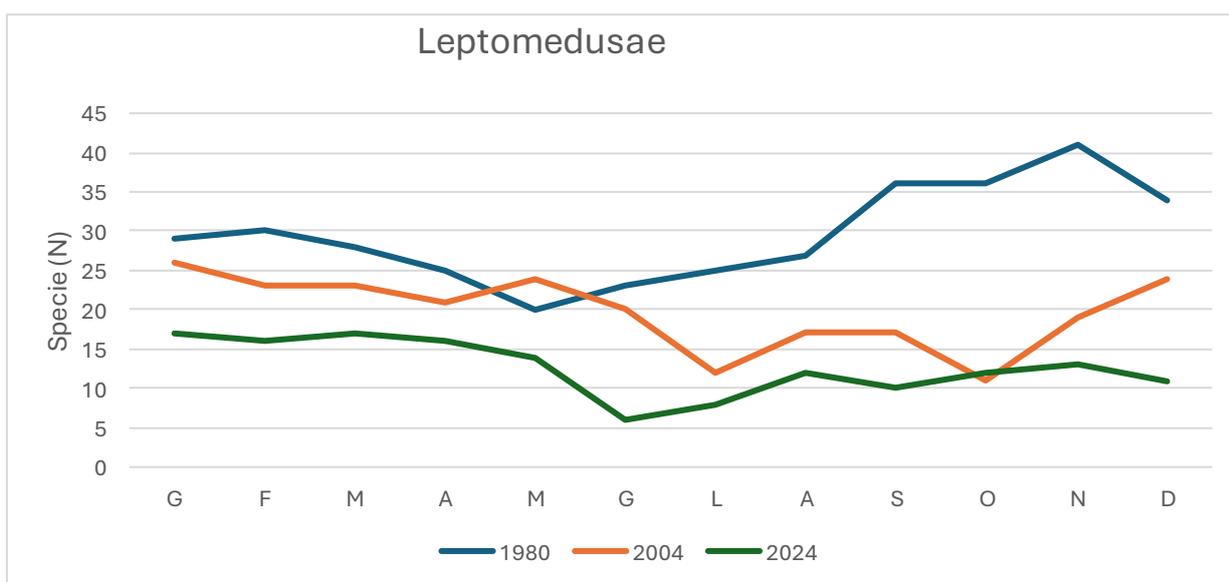


Figura 7 Curve di diversità Leptomedusae

È da osservare infine come la curva di diversità del 2004, risulta anomala rispetto agli altri due studi, presentando un picco di specie durante il periodo di maggio e una decrescita in due mesi differenti, a luglio e ottobre.

4.1. Fertilità

Le curve relative alla fertilità delle Anthomedusae evidenziano un cambiamento dell'andamento: le specie fertili rilevate nel 1980 risultano essere molto più numerose rispetto al 2004 e 2024 (Figura 8). Il picco di fertilità che si verificava durante i mesi di giugno lungo e agosto, relativo alle specie estive, è progressivamente diminuito fino al 2024, anno in cui ne risultano fertili esclusivamente 2 specie.

Il periodo invernale, in modo analogo a quello estivo, evidenzia una diminuzione di fertilità, con un picco di specie fertili nel mese di febbraio (1980), mentre il 2024, che presenta un andamento più

costante rispetto a quest'ultimo, ha registrato valori massimi inferiori e con una maggior presenza tra i mesi di dicembre e gennaio, evidenziando una possibile prolungamento del periodo riproduttivo.

Lo studio effettuato nel 2004 presenta una curva di fertilità anomala rispetto al 1980 e 2024: in particolare si evidenziano due differenti picchi di specie invernale nei mesi di novembre e aprile che poi subiscono una rapida diminuzione fino al mese di settembre.

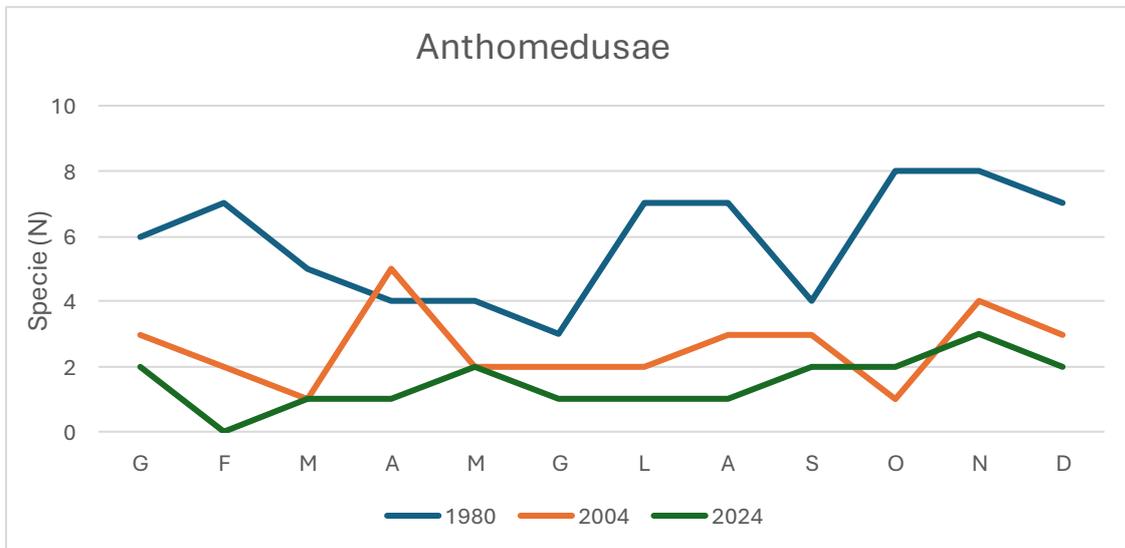


Figura 8 Curve di fertilità Anthomedusae

L'andamento delle Leptomedusae (Figura 9), evidenzia un discostamento tra il 1980 e 2004-2024: in particolare i picchi riscontrati a settembre e novembre risultano essersi molto ridotti negli studi successivi al 1980, mostrando andamenti irregolari e al tempo stesso una correlazione durante il periodo estivo. Infatti, confrontando gli andamenti del 2004 e del 2024, come già osservato per le Anthomedusae, è possibile evidenziare uno spostamento verso sinistra della curva di fertilità del 2024 durante il periodo estivo, con un'anticipazione del periodo fertili.

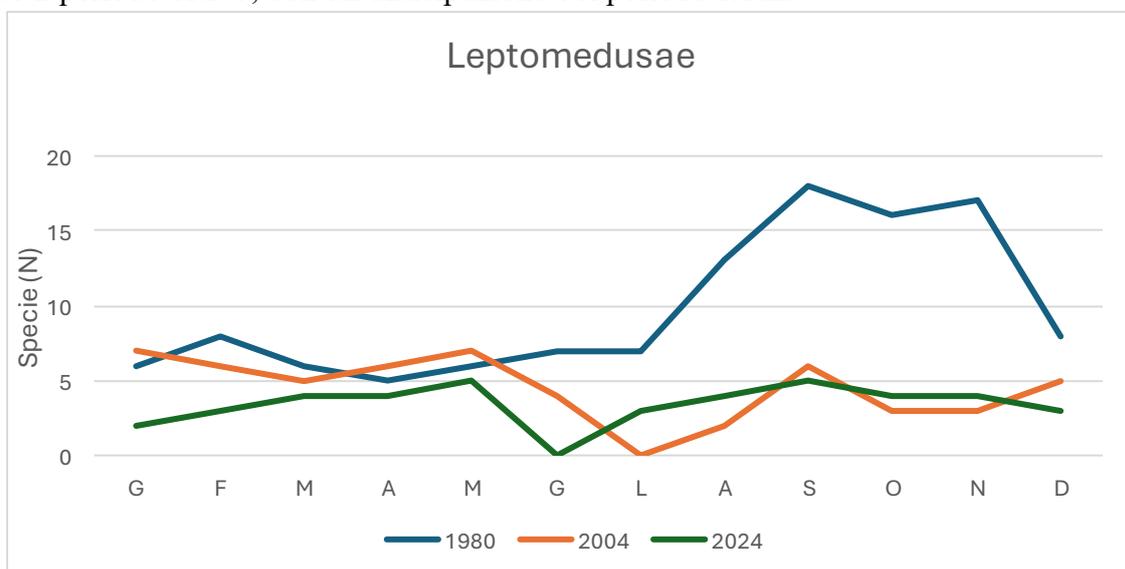


Figura 9 Andamento della fertilità delle Leptomedusae

La curva del 2024 delle specie invernali relative alle Leptomedusae presenta durante il periodo di dicembre-febbraio una quantità di specie fertili inferiore rispetto alle Anthomeduseae, mostrando invece un andamento di fertilità simile durante il periodo estivo, con minimi durante il mese di giugno. La curva del 1980 mostra una fertilità quasi due volte superiore (tra luglio e novembre) rispetto al 2004 e 2024, sottolineando la scomparsa della maggior parte delle specie estive.

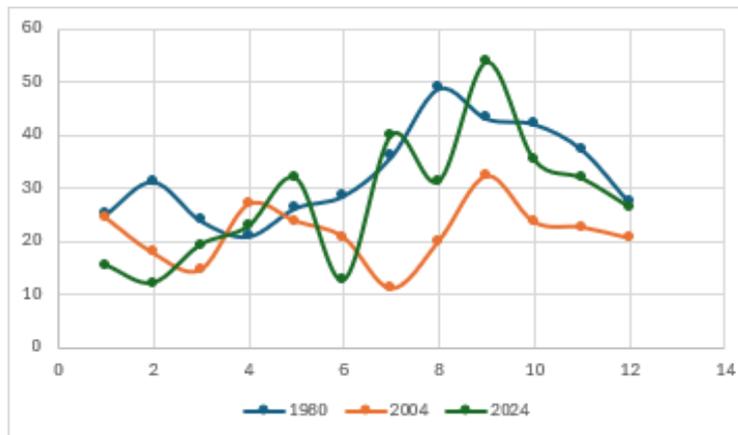


Figura 10 Confronto della percentuale di specie fertili dei relativi anni in relazione ai mesi dello studio

In ultimo, confrontando le percentuali di fertilità media mensile (Figura 10) nei tre diversi anni in relazione al numero di specie, si evidenzia come settembre risulti essere il periodo più fertile (2004 e 2024), con una posticipazione del periodo riproduttivo rispetto al 1980. È visibile anche come la percentuale di fertilità sia diminuita molto nel periodo invernale, con uno spostamento del picco dopo marzo, e in generale come le curve presentino una maggior oscillazione, identificando una minor continuità nella presenza di specie fertili (2004-2024).

4.2. Distribuzione stagionale e di profondità

Effettuando un'analisi sulla presenza di specie, in relazione alle differenti stagioni, è possibile osservare (Figura 11) come precedentemente il picco massimo nel 1980 avveniva durante il periodo autunnale (ottobre-dicembre), per poi assestarsi durante le altre stagioni, mentre nel 2024, com'era già stato osservato nel 2004, si riscontra una diminuzione di presenza di idrozoi durante questa stagione, aumentando nel periodo invernale (gennaio-marzo), con uno spostamento delle specie autunnali invernali verso mesi con un clima tendenzialmente più freddo.

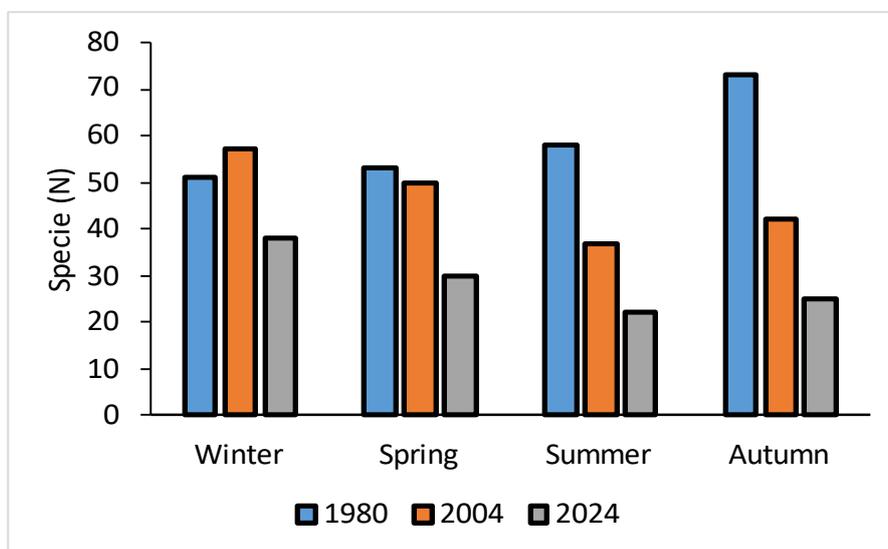


Figura 11 Distribuzione di specie nelle stagioni: inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre), autunno (ottobre-dicembre)

Le stagioni successive non presentano cambiamenti: durante la primavera (aprile-giugno) si può osservare un andamento continuo in termini di numero in specie, poiché non si rileva un grosso discostamento per tutti e tre gli studi; mentre in estate vi è un cambiamento per il 2024, ma soprattutto per il 2004, in cui si evidenzia una variazione evidente in numero di specie.

Inoltre, come si osserva in Figura 12, facendo un confronto tra le specie esclusive autunnali- invernali ed esclusive estive-primaverili, rispetto a quelle presenti nel 2004 si può concludere come: il 70% delle specie invernali registrate non è più presente nel 2024, l'8% si è ampliato o mantenuto e il 12% ha cambiato periodo. Le specie estive invece presentano un tasso di

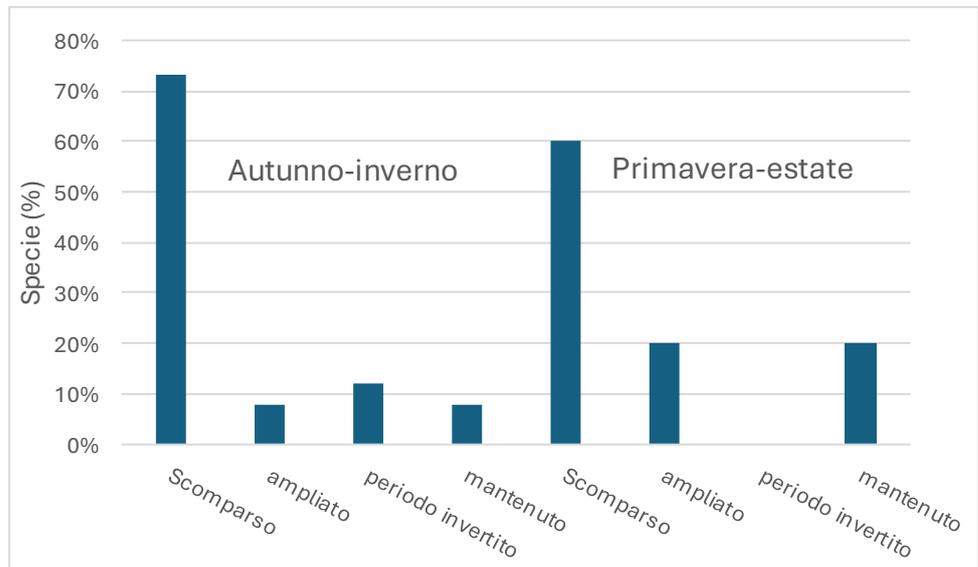


Figura 12 percentuale di specie che mostrano un periodo di distribuzione primavera-estate o autunno-inverno nel corso del 2004 scomparse, mantenute o che hanno cambiato la loro distribuzione temporale nel corso del 2024

scomparsa pari all'60%, il 20% ha mantenuto la propria distribuzione o l'ha ampliata e nessuna ha modificato il proprio periodo.

Effettuando un'analisi sulla presenza delle specie lungo la verticale, con campionamenti in 5 profondità differenti, si evidenzia come nel 1980 siano state riscontrate poche specie nella prima profondità, con un picco relativo alla seconda e una diminuzione progressiva in quelle successive.

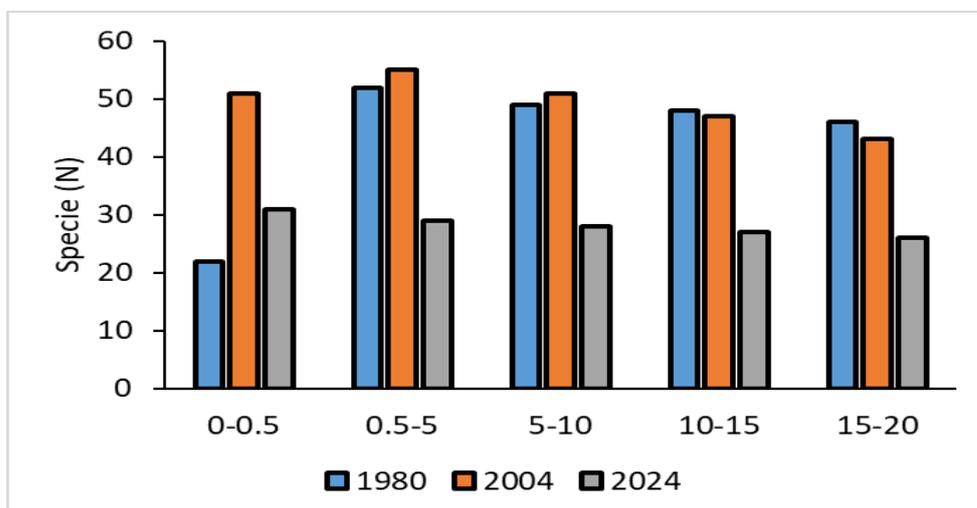


Figura 13 Confronto fertilità in relazione alle diverse profondità di campionamento

È possibile evidenziare nell'andamento del 2004 un valore anomalo relativo alla prima profondità, in cui si osservano un numero di specie che si discosta molto rispetto al 1980 e al 2024, e che successivamente, l'andamento lungo la verticale, diventa ascrivibile a quello precedentemente citato, con una numerosità in termini di specie che rimane superiore a quella registrata nel 1980 fino alla terza profondità (5-10m). In modo analogo, nel 2024 si registrano un numero maggiore di specie rilevate nella prima profondità che vanno poi a diminuire lungo la verticale, mantenendosi però sempre intorno ad un valore costante.

Attraverso l'analisi della variazione in percentuale (Figura 14) di specie esclusive di zone superficiali (0-5m) e zone profonde (5-20) rispetto al 1980, è possibile concludere come sia il 2004 che il 2024 presenti una percentuale di specie scomparse maggiore in profondità

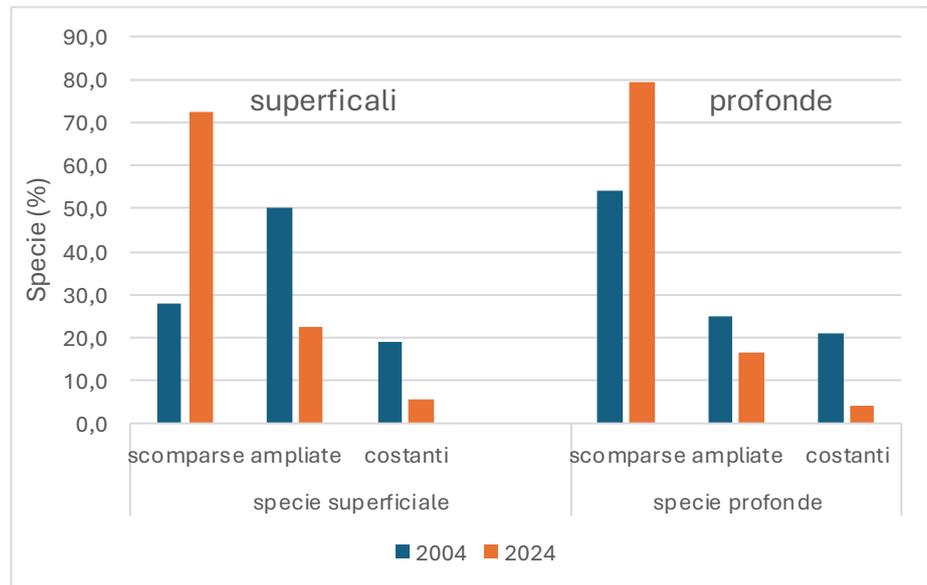


Figura 14 Percentuale di specie esclusive di zone profonde e zone superficiali rispetto al 1980

(rispettivamente 27% e

74%) rispetto alla superficie; in modo opposto le specie che risultano aver ampliato la propria profondità di residenza sono maggior in superfici, spostandosi probabilmente verso ambienti più profondi.

Per ultimo, effettuando un'analisi incrociata della percentuale di specie fertili in relazione con le profondità di campionamento si evidenzia che, dal 1980 ad oggi, si può osservare come il picco di fertilità si sia spostato dalla 3 terza profondità, agli ambienti più superficiali come nello studio

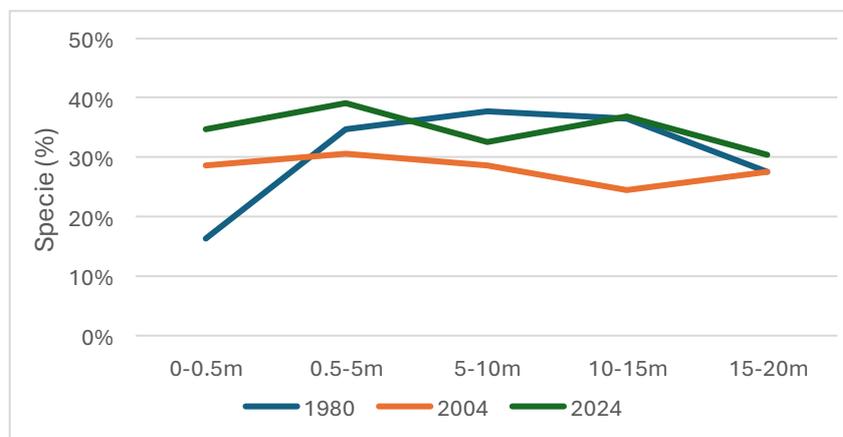


Figura 15 Andamento percentuale della fertilità in relazione alle profondità di campionamento

del 2024 e diminuisca progressivamente, ad eccezione del 2004 che mostra un aumento nell'ultima profondità.

4.3. Modificazioni delle comunità a idrozoi

La comunità a Idrozoi presente presso il promontorio di Portofino è caratterizzata dall'aver una composizione in specie piuttosto eterogenea, dominata da famiglie (Eudendridae, Halecidae, Corynidae) in grado di formare facies caratteristiche di precise profondità

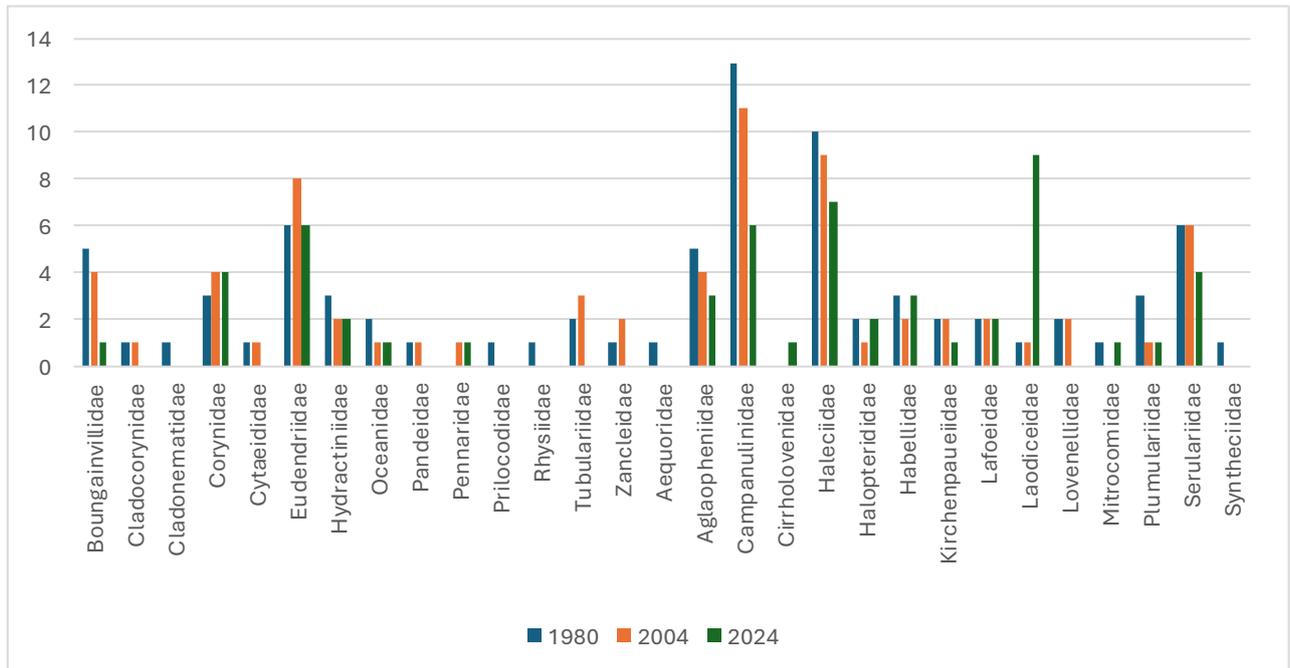


Figura 16 Variazioni delle famiglie della comunità a Idrozoi del Promontorio di Portofino

Ad oggi, come si può osservare dal grafico (Figura 16) la composizione in specie risulta essere modificata: rispetto al 1980', si sono registrate dei cambiamenti all'interno delle famiglie presenti nei record storici (Campanularidae, Boungavillidae, Halecidae, Sertularidae) così come se ne osserva anche l'incremento di altre (Corynidae) e la comparsa di nuove famiglie (Mitrocomidae).

Le variazioni della composizione non sono da considerarsi in relazione esclusiva ai mesi di campionamento, ma si valuta anche in base alla distribuzione lungo la verticale: esaminando la famiglia degli Eudendridae è possibile osservare dalla Tabella 1 come la permanenza media nei mesi sia cambiata e si sia anche modificata la presenza lungo la verticale. In particolare, *Eudendrium racemosum*, nel 1980 risultava presente esclusivamente dal periodo tardo primaverile fino a dicembre, mentre nello studio condotto nel 2004 e nel 2024 è stato rilevato per tutto l'anno, ad ogni profondità e con uno spettro di fertilità ancora più ampio. *Eudendrium glomeratum* invece, rispetto al 1980, presenta un ampliamento del ciclo vitale e della profondità di campionamento, essendo stato riscontrato anche a 0-0.5, ma anche una diminuzione in termini di numerosità. Le caratteristiche

colonie di grandi dimensioni presenti nel 1980 non sono state riscontrate in questo studio se non in modo sporadico in laboratorio; per la maggior parte si sono evidenziati relativamente pochi esemplari e di grandezza ridotta. In egual modo la fertilità ha subito una diminuzione, passando dal periodo invernale al solo mese di novembre, come già evidenziato dallo studio del 2004.

La famiglia degli Eudendridae, oltre al cambiamento nel ciclo vitale delle specie sopra citate, risulta mostrare la scomparsa *Eudendrium fragile* e una riduzione di *Eudendrium capillare*: queste specie risultavano essere molto presenti sia nel 1980 che nel 2004, andando a formare delle facies piuttosto estese sia nell'ambiente superficiale (1980) che in profondità (2004).

Analogamente agli Eudendridae, i Sertularidea hanno subito una diminuzione sia in termini di specie che di numerosità dal 1980 al 2024. Questo è da evidenziarsi soprattutto nella scomparsa di *Sertularella crassicularis*, una specie caratteristica del Promontorio di Portofino e facilmente riconoscibile per la sua colorazione bianca. In entrambi gli studi condotti nel 2004 e nel 2024 è da osservarsi come si sia ridotta l'ampiezza del suo ciclo vitale, la sua distribuzione lungo la profondità, ma anche la diminuzione del numero di esemplari riscontrati durante l'analisi dei campioni. In modo differente *Sertularella polyzonias*, poco presente nel 1980 e limitata ad una profondità di 5-10m, negli studi del 2004 e 2024 ha registrato un accrescimento in termini di presenza durante l'anno e una distribuzione rilevante in tutte le profondità studiate.

In ultimo la famiglia dei Corynidae che, come le precedenti, formava delle facies di notevoli dimensioni, riconoscibile ad occhio nudo; nel 2024 la quantità di specie riconosciute appartenute a questa famiglia ha evidenziato un incremento in specie riconosciute, ma l'abbondanza degli individui riscontrati è stata minima. Ad oggi, rispetto al 1980, sono presenti pochi esemplari, limitati a delle comparse sporadiche lungo l'anno di campionamento ritirandosi nei primi metri della colonna d'acqua. Rispetto alle specie presenti nel 1980 però, sia nel 2004 che nel 2024 si sono riscontrati per la prima volta idrozoi come *Coryne eximia*, *Coryne producta* e *Coryne pusilla*, specie non riscontrate prima nel Mediterraneo e con un areale di distribuzione differente.

4.4. Temperatura superficiale delle acque (SST)

Il grafico (Figura 17) mostra l'andamento dei dati della temperatura superficiale delle acque, dal 1980 ad oggi, ricavati dal NOAA: l'andamento evidenzia un chiaro incremento tra le medie, con una differenza tra il 1980 e il 2023 di circa 1,4°C; questa modificazione è evidenziata anche dalla presenza di una linea di tendenza lineare positiva e di continua crescita.

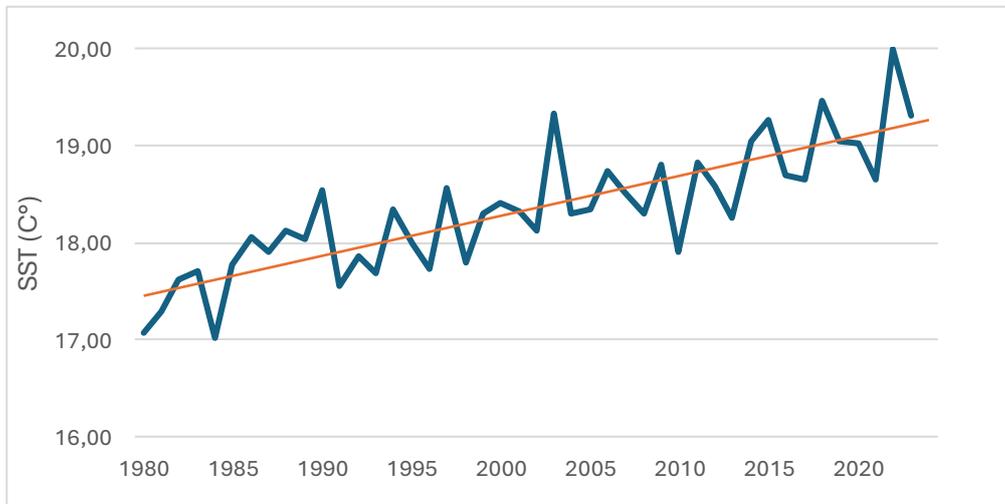


Figura 17 Andamento delle SST dal 1980 al 2023

Per verificare la presenza di una correlazione tra l'incremento delle temperature e le variazioni di abbondanza in specie, si sono creati dei grafici di dispersioni riferiti ai tre diversi studi, evidenziando, per mezzo della linea di tendenza, un possibile collegamento.

Come si osserva dalla Figura 18, è possibile stabilire come effettivamente sia presente una correlazione (con una linea di tendenza negativa) tra l'incremento di temperatura e la diminuzione di specie presenti; quest'ipotesi è ulteriormente validato dal coefficiente¹ di determinazione lineare, mezzo di un confronto, che ci permette di verificare la proporzione tra il variare delle due variabili.

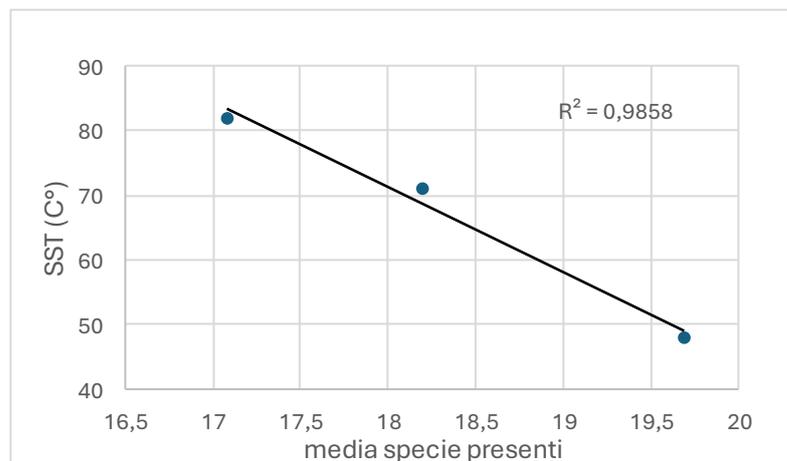


Figura 18 Grafico di confronto tra le medie delle SST e delle abbondanze in specie

¹ Coefficiente di determinazione lineare è compreso tra 0 e 1, indica la presenza o l'assenza di una relazione lineare tra il fenomeno analizzato e la sua retta di regressione

In egual modo il confronto tra le variazioni di temperatura e la presenza di specie fertile durante i tre studi (Figura 19), mostra una relazione abbastanza simile a quelle precedente, nonostante il coefficiente di determinazione più basso, di conseguenza anche la fertilità potrebbe essere influenzata dai cambiamenti delle SST.

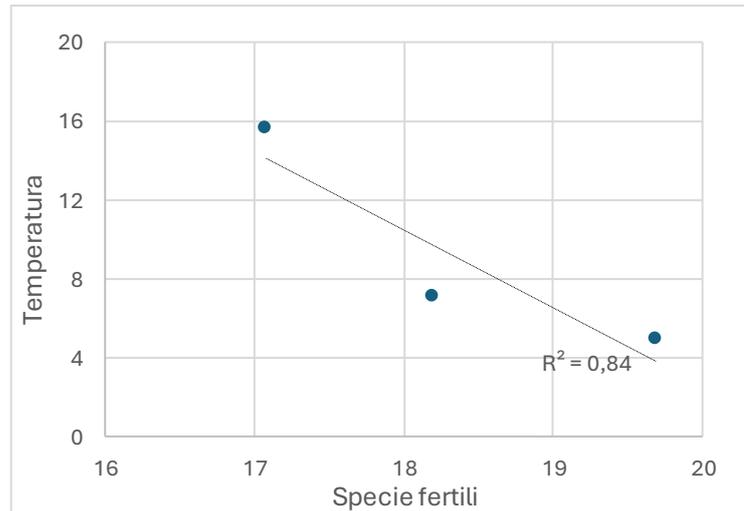


Figura 19 Grafico di confronto tra le medie delle SST e delle fertilità

Effettuando un'ulteriore analisi per mezzo del coefficiente di Pearson² risulta che, sia il confronto temperatura-diversità e temperatura-fertilità, presentino degli indici (rispettivamente $r=-0,933$ e $r=-0,917$) molto vicini a -1, interpretabile come una correlazione lineare negativa essendo i due valori inversamente proporzionale.

² indice di correlazione che indica la presenza di un eventuale relazione lineare tra due variabili attraverso che vanno tra -1 e 1

5. DISCUSSIONE

La comunità a idrozoi studiata nel corso del 2024 presenta un andamento in linea con quello descritto nel 2004: anche in questo studio si è osservata una progressiva perdita di biodiversità e di fertilità tra le specie prese in esame.

Il cambiamento delle comunità di idrozoi si evidenzia con una modificazione nella composizione: le specie rilevate nel 2024 rappresentano circa il 50% in meno di quelle presenti nel precedente studio del 1980, un valore che si mantiene in tendenza con quelli osservati nel 2004 dal lavoro di Puce et al (2009), dove oltre alla modificazione della numerosità presente, si è modificata anche la variazione in composizione. L'analisi effettuata separatamente per i due ordini Leptomedusae e Anthomedusae, volta ad individuare un eventuale discrepanza tra le due, non ha mostrato differenze: entrambe rivelano una diminuzione in numero di specie, con un cambiamento del ciclo vitale e una diminuzione della fertilità. Di conseguenza la loro differenza morfologica non implica una maggior sensibilità alla variazione dei parametri ambientali.

A livello stagionale la percentuale di specie presenti tra l'inverno e la primavera è quasi il doppio di quella presente in estate/autunno, questo si traduce in una progressiva scomparsa delle specie estive, molto presenti nello studio del 1980, con una riduzione del ciclo vitale ad una sporadica comparsa, come nel caso di *Eudendrium capillare*, e con un numero di individui ridotto. In contrapposizione, alcune specie (*Turritopsis dorhni*) hanno mostrato un ampliamento del proprio ciclo vitale, ampliando la propria presenza verso l'autunno, in generale mesi in cui inizialmente non era presente. In modo parallelo anche le specie invernali hanno evidenziato una modificazione del ciclo vitale, mostrando una maggior presenza durante i mesi di gennaio-marzo e una minor presenza durante il periodo autunnale, con un andamento opposto rispetto al 1980; è infatti ipotizzabile come il periodo abbia subito uno spostamento verso mesi più freddi, come nel caso di *Sertularella crassicularis*.

Approfondendo l'aspetto stagionale, in questo studio si è evidenziato ciò che era stato già stato riscontrato nel 2004: specie esclusive invernali ed esclusive estive hanno mostrato dei cambiamenti nella distribuzione e sono addirittura scomparsi. Nel 2004, il 70% delle specie invernali rispetto al 1980 è scomparso e una piccola parte ha mostrato un ciclo mantenuto oppure ampliato; allo stesso modo in estate il 40% delle specie esclusive estive è scomparso, ma soprattutto un 40% di specie ha cambiato periodo passando a quello invernale. Un'osservazione simile è possibile effettuarla per il 2023, anno in cui si è osservata per entrambi i periodi una diminuzione delle specie superiore al 50% e uno spostamento di alcune specie invernali verso l'ambiente estivo, con un ritorno alle distribuzioni con cui erano presenti ne 1980 (*Clytia noliformis*). Questo potrebbe essere spiegato in relazione

all'aumento delle SST e all'omogenizzazione delle medie mensili, le quali potrebbero favorire il ritorno di alcune specie (rispetto al 1980) alla propria stagione di distribuzione.

In modo analogo anche la distribuzione delle specie lungo la verticale si è modificata rispetto allo studio condotto nel 2004: si osservata infatti la scomparsa del 70 % di specie che presentavano una distribuzione superficiale nel 1980 e un 79% di specie presenti in ambienti più profondi. L'ampliamento della profondità di distribuzione interessa, in entrambi gli anni, invece soprattutto le specie superficiali, probabilmente come conseguenza dell'incremento delle temperature delle acque che consentono uno spostamento verso zone più profonde.

In relazione a questo, si è riscontrato come, dal 1980 ad oggi, la presenza in specie si sia omogeneizzata in relazione alla profondità: il discostamento che precedentemente si osservava tra il primo e il secondo fondo, nello studio condotto nel 2004 si è ridotto molto scomparendo quasi del tutto nel 2023. Quest'evidenza è possibile ricollegarla allo spostamento e adattamento di specie superficiali verso ambienti profondi e viceversa.

Considerano inoltre i cambiamenti nella distribuzione delle specie in relazione alla fertilità si deduce come rispetto al 1980 le curve non presentino un andamento continuo: le specie invernali mostrano valori di fertilità pari al 20% (2004) e al 10% (2024), con una diminuzione nell'andamento, contrariamente a quello osservato nel 1980. Durante il periodo estivo le curve subiscono un'importante decrescita, arrivando ad un valore di fertilità del 10%, con un'anticipazione del picco minimo al mese di giugno nello studio del 2024.

La diminuzione delle curve di fertilità del periodo estivo è correlabile ad una minor presenza di specie riscontrate, mentre, per le specie invernali, la bassa percentuale di fertilità non è ricollegabile ad un ridotto numero di specie riscontrate, ma probabilmente dovuto ad una minor presenza di individui e a condizioni ambientali non idonee per il proprio sviluppo.

Le variazioni osservate, sia nello studio del 2024 che del 2004, è possibile ricollegarli al crescente range annuale delle SST: come già detto precedentemente, questo parametro è una delle possibili cause in grado di influenzare la presenza delle specie e la loro capacità di riprodursi. La correlazione lineare tra la variazione di temperatura e la diminuzione di specie mostra come nel corso degli studi questi due valori siano tra di loro proporzionali e come quindi questo giustifichi i cambiamenti osservati.

Le variazioni di temperatura influenzano probabilmente la presenza delle specie maggiormente sensibili, soprattutto negli ambienti superficiali, che sono maggiormente soggetti a stagionalità. Questo può comportare la scomparsa di alcune specie, come si evince dal confronto effettuato con il

2004, o la posticipazione del ciclo vitale, come si ipotizza possano essere avvenuto per alcune specie autunnali, riducendo la propria vitalità al solo periodo invernale. L'influenza di questo parametro ambientale si evidenzia maggiormente nella prima profondità in cui si evidenziano la maggior parte dei cambiamenti, causando, dal 1980 ad oggi un notevole impoverimento in specie (Betti et al, 2018). Al tempo stesso l'aumento stagionale ha favorito specie come *Eudendrium racemosum* e *Sertularella polyzonias* che hanno aumentato la stagionalità, diventando quasi annuali, e il periodo riproduttivo. Inoltre, ha probabilmente favorito anche la comparsa di specie non presenti nei record storici (*Coryne eximia*, *Coryne pusilla*, *Cirrhovenia tetranema*), ma che sono state favorite dai cambiamenti ambientali e al tempo stesso dalla scomparsa di biodiversità.

Il confronto della variazione delle SST in relazione alla fertilità evidenzia una certa influenza del parametro, comportando una riduzione della riproduttività nelle due diverse stagioni. Tuttavia, poiché il valore del coefficiente di determinazione lineare risulta più basso rispetto all'abbondanza in specie, è necessario indagare ulteriormente quali altri parametri possano influire sulla fertilità.

6. CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate volte a confrontare le variazioni temporali e spaziali nelle tre serie storiche, risulta come la comunità a Idrozoi sia mutata, con cambiamenti in termini di specie e in numero di individui presenti. Queste variazioni, già riscontrate nello studio di Puce et al. (2009), evidenziano un progressivo impoverimento in specie nelle fasce superficiali e un loro spostamento verso ambienti più profondi. Questo è ricollegabile ai cambiamenti della temperatura superficiale delle acque, la quale, dal 1980 ad oggi, mostra una tendenza all'aumento, influenzando la presenza e la stagionalità degli idrozoi.

Oltre all'andamento annuale della biodiversità, si sono evidenziati cambiamenti della comunità relativi alla riproduttività: sia specie invernali che estive mostrano uno spostamento del picco di fertilità, evidenziando una posticipazione del periodo fertile e anche una diminuzione in specie riproduttive.

Essendo gli idrozoi organismi dalla spiccata stagionalità, potrebbero rappresentare degli interessanti indicatori biologici (Betti et al., 2018). Pertanto, in futuro saranno necessari ulteriori studi al fine di monitorarne l'andamento e controllare questa continua tendenza alla diminuzione, valutando altri parametri, oltre all'incremento delle SST, che possano influenzarne il ciclo vitale (es. sedimentazione, nutrienti). Inoltre, sarebbe utile analizzare anche l'andamento lungo la verticale per osservare come cambia la fertilità delle specie al variare della curva di temperatura, al fine di identificare quale tra le comunità superficiali o in profondità sia maggiormente influenzata.

7. BIBLIOGRAFIA

Azzola A., Bianchi C.N., Merotto L., Nota A., Tiralongo F., Morri C. and Oprandi A. The Changing Biogeography of the Ligurian Sea: Seawater Warming and Further Records of Southern Species. *Diversity* (2024) 16(3), 159. Doi: <https://doi.org/10.3390/d16030159>

Bavestrello G. and Arilo A. Irradiance, temperature and circannual cycle of *Eudendrium glomeratum* Picard (Hydrozoa, Cnidaria). *Italian Journal of Zoology* (1992) 59: 45-48 Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/11250009209386646>

Bavestrello G., Puce S., Cerano C., Zocchi E. and Boero N. The problem of seasonality of benthic hydroids in temperate waters. *Chemistry and ecology* (2006) 22: S197-S205. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02757540600670810>

Bethoux, J., Gentili, B., Raunet, J. and Tailliez, D. Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature* (1990), 347: 660-662.

Bethoux J.P., Morin P., Chaumery C., Connan O. Gentili B., Ruiz -Pino D. Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine Chemistry* (1998) 63: 155–169. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4203\(98\)00059-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4203(98)00059-0)

Betti F., Bo M. Enrichetti F. and Bavestrello G. Hydrozoans, sentinell of climat changes on the Mediterranean rocky cliffs. *Biologia Marina del Mediterraneo*. (2019) 26: 228-230.

Bianchi N.B. and Morri C. Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research. *Marine Pollution Bulletin* (2000) 40 (5): 367-376

Bianchi N.B., Chiantore M., Montefalcone M. and Morri C. Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change. in *Life in the Mediterranean Sea: A Look at Habitat Change* (2012) Capitolo 1

Boero F. The Ecology of Marine Hydroids and Effects of Environmental factors: A Review. *Marine Ecology* (1984) 5: 93-118.

Boero F., Balduzzi A., Bavestrello G., Caffa B., and Cattaneo Vietti R. Population dynamics of *Eudendrium glomeratum* (Cnidaria: Anthomedusae) on the Portofino promontory (Ligurian Sea). *Marine biology* (1986) 91: 81-86. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00392749>

Boero F. and Fresi E. Zonation and evolution of a rocky bottom hydroid community. *Marine Ecology* (1986) 7: 123-150. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0485.1986.tb00152.x>

Boero F. (1994). Fluctuations and Variations in Coastal Marine Environments. *Marine Ecology* (1994) 15; 3-25. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0485.1994.tb00038.x>

Bouillon J., Medel M.D., Pagès F., Gili J., Boero F., Gravili C. (2004). Fauna of the Medierranean Hydrozoa. *Scientia Marina* (2004) 6: 5-438.

Cattaneo Vietti R., Albertelli G., Aliani S., Bava S., Bavestrello G., Benedetti Cecchi L. and al. The Ligurian Sea: present status, problems and perspectives. *Chemestry and Ecology* (2010) 26: 319-340. Doi: <https://doi.org/10.1080/02757541003689845>

Coll M., Pirrodi C., Steenbeek J., Kaschner K. and al (2010). The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011842>

- Criado-Aldeanueva F. and Soto-Navarro J. Climatic Indices over the Mediterranean Sea: A Review. *Applied Science* (2020) 10: 5790. *Applied Science*. Doi: <https://doi.org/10.3390/app10175790>
- Darmaraki, S., Somot, S., Sevault, F., Nabat, P. and al. Future evolution of Marine Heatwaves in the Mediterranean Sea. *Climate Dynamics* (2019) 53:1371-1392 Doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04661-z>
- Doglioli A. M., Griffa A. and Magaldi M.G. (2004). Numerical study of a coastal current on a step slope in presence of a cape: The case of the Promontorio di Potofino. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (2004) 109. Doi: <https://doi.org/10.1029/2004JC002422>
- Fu W., Randerson, J. T., and Moore J. K. Climate change impacts on net primary production (NPP) and export production (EP) regulated by increasing stratification and phytoplankton community structure in the CMIP5 models. *Biogeoscience* (2016) 13: 5151–5170
- Garcia-Monteiro S., Sobrino J.A., Julien Y. and Sòria G, Skokovic D. Surface Temperature trends in the Mediterranean Sea from MODIS data during years 2003–2019. *Regional Studies In Marine Science* (2022) 49. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102086>
- Genzano G.N., Zamponi M.O., xcoffon A.C. and Acua F.H. Hydroid population from sublittoral outcrops off Mar del Plata, Argentina: abundance, seasonality and reproductive periodicity. *Ophelia* (2002) 56. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00785236.2002.10409496>
- Gili J. And Hughes R.G. The ecology of marine benthic Hydroids. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* (1995) 33: 351-426
- Gravier-Bonnet N. Polymorphism in hydroids: the extensible polyp of *Halecium halecinum* (Cnidaria: Hydrozoa: Haleciidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* (2008) 88(8): 1731–1736. Doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S002531540800297X>
- Hughes R.G. Aspects of the biology and life-history of *Nemertesia antennina*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* (1977) 57(3): 641-657. Doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315400025091>
- Juza M., Fernandez-Mora A., Tintore J. Sub-Regional Marine Heat Waves in the Mediterranean Sea From Observations: Long-Term Surface Changes, Sub-Surface and Coastal Responses. *Sec. Ocean Observation* (2022) 9. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.785771>
- Lejeusne C., Chevaldonné P., Pergent-Martini C., Boudouresque C. F. and Pérez T. Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Ecology & Evolution* (2010) 25: 250-260. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.009>
- NOAA Physical Sciences Laboratory. Available online: <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>
- Picotti V., Negri A. and Capaccioni B. The Geological Origins and Paleoceanographic History of the Mediterranean Region: Tethys to Present. *The Mediterranean sea* (2013). Doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-6704-1_1
- Pisano A., Marullo S., Artale V., Falcini F., Yang C., and al. New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations. *Remote Sensing* (2020) 12. Doi: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12010132>
- Puce S., Bavestrello G, Di Camillo C.G., Boero F. Long-term changes in hydroid (Cnidaria, Hydrozoa) assemblages: effect of Mediterranean warming? *Marine Ecology* (2009) 30: 313–326. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00283.x>

- Reale M., Cossarini G., Lazzari P., Lovato T., Bolzon G. Masina S., Solidoro C. and Salon S. (2021). Acidification, deoxygenation, and nutrient and biomass declines in a warming Mediterranean Sea. Doi: <https://doi.org/10.5194/bg-19-4035-2022>
- Robinson A.R., Malanotte-Rizzoli P., Hecht A., Michelato A., Roether W., Theocharsi A., and al. General circulation of the Eastern Mediterranean. *Earth-Science Review* (1992) 32: 285-309. Doi: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(92\)90002-B](https://doi.org/10.1016/0012-8252(92)90002-B)
- Roussenov V., Stanev E., Artale V. and Pinardi N. A seasonal model of the Mediterranean Sea general circulation. *Journal of geophysical research* (1995) 100: 13,515-13,538
- Somot S., Houpert L., Sevault F., Testor P., Bosse A., Taupier-Letage I., Bouin, M.N., Waldman R.; Cassou C., Sanchez-Gomez E. an al. Characterizing, modelling and understanding the climate variability of the deep water formation in the North-Western Mediterranean Sea. *Climate Dynamics* (2018) 51: 1179–1210.
- Soto-Navarro J., Jorda G., Amores A., Cabos W., Somot S. and al. Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble. *Climate Dynamics* (2020) 54: 2135-2165. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-019-05105-4>
- Wernberg, T., Smale, D. A., Tuya, F., Thomsen, M. S., Langlois, T. J., De Bettignies, T., and al. (2013). An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. *Natural Climate Change* (2013) 3:78–82. Doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate1627>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio i miei relatori e tutto lo staff del laboratorio di Zoologia che mi hanno accompagnato durante questi mesi di tirocinio e grazie ai quali ho avuto l'opportunità di approfondire ancor di più un campo di mio interesse.

Ringrazio l'Università Politecnica delle Marche e la Prof.ssa Puce che ha contribuito all'analisi dei campioni e mi ha guidato durante l'esperienza presso il Laboratorio di Zoologia.

Un ringraziamento a Carlo Nike Bianchi per aver contribuito al recupero e all'elaborazione delle SST relative al Promontorio di Portofino.

Un ringraziamento speciale va ai miei compagni di corso, che mi hanno accompagnato durante questi due anni, dai quali ho appreso molto sia in materia scientifica che umana.

In ultimo ringrazio la mia famiglia e Alessandro, pilastri importanti di questo percorso e i miei più grandi sostenitori, che hanno creduto in me anche quando il coraggio di provare veniva meno.