

L'invasione di una medusa aliena in un porto turistico italiano

**QUADERNI
RICERCA MARINA**

18/2022



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

L'invasione di una medusa aliena in un porto turistico italiano

**QUADERNI
RICERCA MARINA**

18/2022

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), insieme alle 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA) per la protezione dell'ambiente, a partire dal 14 gennaio 2017 fa parte del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), istituito con la Legge 28 giugno 2016, n.132.

Le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Quaderni – Ricerca marina 18/2022
ISBN 978-88-448-1143-3

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Grafica di copertina: Sonia Poponessi - ISPRA – Area Comunicazione Ufficio Grafica

Foto di copertina: "Riflessi alla Cala" di Tiziana Cillari

ISPRA – Area per la conservazione, la gestione e l'uso sostenibile del patrimonio ittico e delle risorse acquatiche marine nazionali (BIO-CIT)

Coordinamento pubblicazione online:

Daria Mazzella

ISPRA – Area Comunicazione

Autori

Tiziana Cillari (ISPRA, BIO-CIT)

Daniela Berto (ISPRA, BIO-ACAM)

Manuela Falautano (ISPRA, BIO-CIT)

Malgorzata Formalewicz (ISPRA, BIO-ACAM)

Claudia Gion (ISPRA, BIO-ACAM)

Teresa Maggio (ISPRA, BIO-CIT)

Patrizia Perzia (ISPRA, BIO-CIT)

Federico Rampazzo (ISPRA, BIO-ACAM)

Luca Castriota (ISPRA, BIO-CIT)

Ringraziamenti

La ricerca è stata condotta in collaborazione con il dott. Mauro Sinopoli e il dott. Giacomo Milisenda della Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Dipartimento di Ecologia Marina Integrata (EMI) - Sicily Marine Centre, la dott.ssa Mar Bosch-Belmar dell'Università di Palermo (Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare) e il dott. Alessandro Allegra.

Si ringrazia la Lega Navale Italiana Palermo per il supporto fornito nel campionamento.

Citazione:

Cillari T., Berto D., Falautano M., Formalewicz M., Gion C., Maggio T., Perzia P., Rampazzo F., Castriota L., (2022). L'invasione di una medusa aliena in un porto turistico italiano. ISPRA, Quaderni – Ricerca marina 18/2022

Sommario

Presentazione	4
Introduzione	5
1. Area di studio	10
2. Metodologia	11
2.1. Studio della distribuzione di <i>C. andromeda</i>	12
2.1.1. Visual census con MUV	12
2.1.2. Analisi della distribuzione spaziale e temporale	15
2.2. Studio del comportamento trofico	18
3. Risultati	21
3.1. Distribuzione e densità di <i>C. andromeda</i>	21
3.2. Caratteristiche chiave della distribuzione, modello di aggregazione e struttura spaziale	24
3.3. Comportamento trofico di <i>C. andromeda</i>	28
4. Conclusioni	30
5. Bibliografia	31

Presentazione

di Erika Magaletti (ISPRA, BIO-ACAM)

Le specie non indigene (NIS – non indigenous species) o specie aliene sono organismi animali e vegetali introdotti accidentalmente o intenzionalmente dall'uomo al di fuori della loro area di origine.

La presenza di specie aliene può rappresentare una seria minaccia per la biodiversità, la salute umana, le attività economiche. Il trasferimento di specie ha ricevuto sempre più attenzione negli ultimi decenni in quanto il tasso annuo di nuove segnalazioni di NIS sembra essere notevolmente aumentato. Tale aumento può essere associato sia ad una maggiore consapevolezza del fenomeno e ad un incremento nello sforzo di ricerca e monitoraggio (che porta a più segnalazioni di nuove specie), sia all'intensificarsi dei traffici marittimi e delle attività di acquacoltura. Questi ultimi, infatti, sono i principali vettori noti per le introduzioni di NIS a livello globale. I traffici marittimi possono determinare il trasferimento di specie associate alle acque di zavorra delle navi e ai sedimenti presenti nelle cisterne delle acque di zavorra, nonché il rilascio di specie che costituiscono il 'fouling', ovvero organismi adesi agli scafi e ad altre parti delle imbarcazioni. Per quanto riguarda l'acquacoltura, le attività di mitilicoltura possono determinare l'importazione di organismi associati ai bivalvi stessi.

Oltre al traffico marittimo e alla mitilicoltura, in Mediterraneo rivestono un importante ruolo le cosiddette 'migrazioni lessepsiane', specie che provengono dal Mar Rosso e fanno il loro ingresso nel Mar Mediterraneo attraverso il canale di Suez. Le specie lessepsiane stanno progressivamente divenendo preponderanti nel Mediterraneo, in particolare nei paesi del sud e dell'est del bacino, con importanti sviluppi anche a livello dei mari italiani, come dimostra l'esempio riportato nel presente Quaderno. La diffusione delle specie lessepsiane è stata verosimilmente facilitata dagli effetti dei cambiamenti climatici, che hanno consentito e consentono a specie tropicali e subtropicali di espandere la loro distribuzione ad altri habitat.

Gli effetti negativi che le NIS possono esercitare nei nuovi ambienti che colonizzano sono difficilmente prevedibili e la prevenzione dei nuovi ingressi, nonché misure di minimizzazione dei potenziali impatti, sono gli strumenti da mettere in campo. A tal fine, la conoscenza di distribuzione e abbondanza, ciclo vitale, potenziale riproduttivo, strategie nutrizionali e relazioni ecologiche di una singola specie sono informazioni utili ed imprescindibili per una corretta gestione delle introduzioni di specie aliene e potenzialmente invasive.

Introduzione

Molte specie aliene sono identificabili per i loro evidenti caratteri distintivi ma il processo di invasione coinvolge anche specie criptiche che ancora necessitano di approfondimento. Una di queste è *Cassiopea andromeda* Péron & Lesueur, 1810 (Cnidaria, Rhizostomeae) (Fig. 1 e 2), nota come medusa capovolta comunemente presente nelle zone tropicali e subtropicali (BOX 1).

BOX 1 - *Cassiopea andromeda* (Forskål, 1775)

Tassonomia: Phylum Cnidaria, Classe Scyphozoa, Ordine Rhizostomeae, Famiglia Cassiopeidae

Nome comune: medusa capovolta

Cassiopea andromeda è una medusa caratterizzata da un'ombrella discoidale che le consente di aderire al substrato con i tentacoli rivolti verso l'alto (Fig. 1-a), da cui il nome comune di "medusa capovolta".

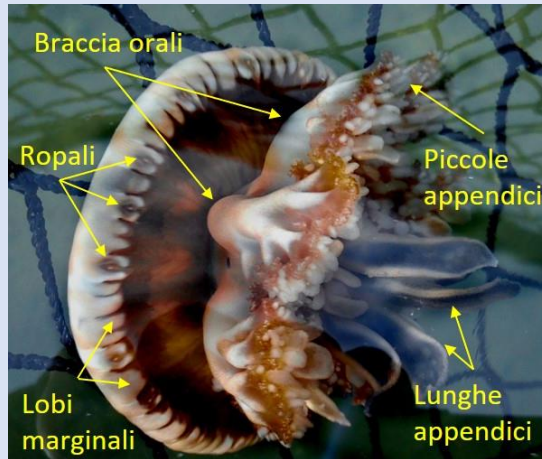
Fig 1 – Visione orale (a) e aborale (b) di *Cassiopea andromeda*



È una specie originaria dell'Indo-Pacifico, attualmente distribuita anche in Mediterraneo e Atlantico occidentale dove è considerata aliena. È ampiamente distribuita in acque tropicali e subtropicali; vive in lagune poco profonde, su fondali fangosi e sabbiosi e tra le mangrovie.

L'ombrella presenta lobi marginali corti e arrotondati, in numero variabile. Ogni individuo presenta 8 braccia orali, ognuna provvista di 4-6 ramificazioni, a loro volta provviste di numerose piccole appendici e 5 o più lunghe appendici a forma di mazza. La specie è provvista di organi sensoriali (i ropali) in numero variabile, usualmente 16, localizzati nei lobi marginali (Fig. 2).

Fig 2 – Caratteristiche anatomiche di *Cassiopea andromeda*



Può raggiungere un diametro dell'ombrella di 30 cm, ma è più comunemente rinvenuta entro i 20 cm.

Il suo ciclo metagenetico include le seguenti fasi: planula, polipo bentonico, efira e medusa adulta. La specie è a sessi separati, si riproduce sia sessualmente attraverso la produzione di uova e spermatozoi nello stadio medusoide, sia asessualmente nello stadio polipoide.

Gli individui di *Cassiopea andromeda* vivono in relazione simbiotica con microalghe fotosintetiche dinoflagellate del genere *Symbiodinium* che sono responsabili della colorazione altamente variabile, tendenzialmente giallo-bruna, e con cui condividono lo scambio di nutrienti.

Leggermente urticante.

Questa medusa, come altre specie appartenenti alla famiglia Cassiopeidae, vive in simbiosi con alcune specie di dinoflagellati; la relazione simbiotica con i dinoflagellati consente alle meduse di questa famiglia di alimentarsi sia tramite predazione diretta, sia attraverso la fotosintesi da parte delle zooxantelle (Kremer, 2005; Welsh et al., 2009); questa alimentazione mista è chiamata mixotrofia (autotrofia ed eterotrofia). In questa interazione simbiotica, il carbonio necessario per il metabolismo basale della medusa è fornito dal processo fotosintetico (Kremer et al., 1990; Kikinger, 1992; McCloskey et al., 1994; Verde e McCloskey, 1998), mentre l'azoto è assorbito dall'ambiente attraverso i processi digestivi (Kremer, 2005; Welsh et al., 2009). Tuttavia, questa assunzione di nutrienti non è fissa, ma dipende dalla specie a cui appartiene la medusa e dagli ambienti in cui cresce (vedi, ad esempio, Sugiura, 1969; McCloskey et al., 1994; Verde e McCloskey, 1998; Bolton e Graham, 2004; Djeghri et al., 2020).

Come altri cnidari simbiotici, le meduse del genere *Cassiopea* possono acquisire nutrienti disciolti dall'ambiente circostante per soddisfare i bisogni energetici dei loro partner fotosintetici (Todd e Thornhill, 2006), mentre le zooxantelle possono fornire gran parte del fabbisogno di carbonio alla medusa, che è fondamentale per la metamorfosi delle efire e la sopravvivenza della specie (Stoner et al., 2011).

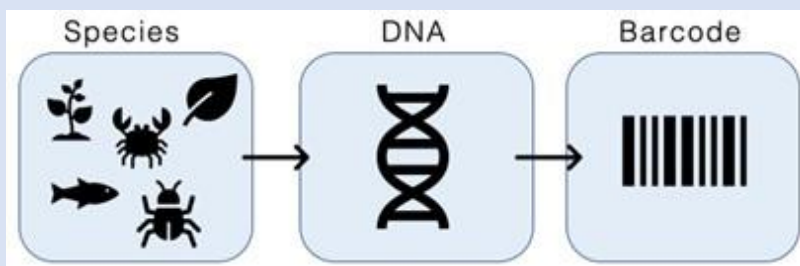
Alcuni autori hanno osservato che le popolazioni di *Cassiopea* spp. erano significativamente più dense e con individui di dimensioni maggiori nelle aree con un'elevata densità di popolazione umana e un conseguente arricchimento di nutrienti (Stoner et al., 2011). Allo stesso modo, The et al. (2020) hanno riportato alte densità di meduse *Cassiopea* all'interno di allevamenti di gamberetti dove le condizioni ambientali erano stabili e le concentrazioni di nutrienti e materia organica erano elevate.

Le segnalazioni di meduse appartenenti a questo genere in mar Mediterraneo sono state attribuite alla specie *Cassiopea andromeda*, inizialmente sulla base del suo presunto percorso di invasione a partire dal Mar Rosso, e poi confermate sulla base di indagini molecolari (Maggio et al., 2019) (BOX 2).

BOX 2 - DNA barcoding: l'identificazione molecolare delle specie

Il Barcoding è una metodica molecolare, proposta nel 2003 da Paul Herbert come procedura standard per l'identificazione tassonomica delle specie. Il DNA barcode è una piccola sequenza del DNA, Citocromo Ossidasi I, presente nel genoma mitocondriale di tutti gli esseri viventi, che varia tra le specie in maniera tale da discriminare in modo univoco una specie dalle altre proprio come il codice a barre di un prodotto (Fig. 3).

Fig 3 – Schema del DNA Barcoding



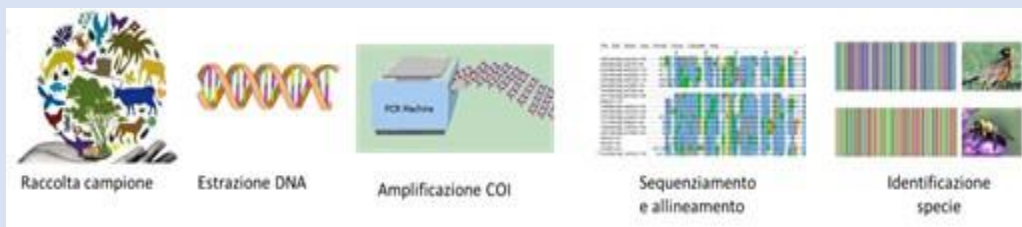
Negli ultimi vent'anni questa metodologia molecolare ha permesso ai ricercatori di tutto il mondo di costruire un catalogo di barcode per tutte le specie viventi (Bold System Barcode of Life Data Systems). Questo database viene utilizzato dai ricercatori per identificare tassonomicamente in modo univoco e semplice una specie partendo da una piccola porzione di tessuto.

La metodica prevede le seguenti fasi di analisi (Fig. 4):

- **Raccolta dei campioni.** Il campionamento delle specie prevede il prelievo di una porzione di tessuto in condizioni di sterilità e la conservazione di quest'ultimo in Etanolo 70-90% o a -20 °C.

- **Estrazione del DNA.** Il campione viene utilizzato per estrarre il DNA totale che può essere conservato a 4 °C ovvero utilizzato direttamente per la fase successiva.
- **Amplificazione COI tramite PCR.** Questo step prevede l'amplificazione del gene target del barcode, la Citocromo Ossidasi I tramite la PCR (Polimerase Chain Reaction).
- **Sequenziamento e allineamento e identificazione della specie.** Questo step consiste nell'analisi della sequenza del prodotto dell'amplificazione e nel successivo confronto della sequenza ottenuta con le altre sequenze presenti nei DataBase (Boldsystem, NCBI-GeneBank); questo confronto permette di assegnare in modo univoco "nome e cognome" al nostro campione in uso per l'identificazione della specie corrispondente.

Fig 4 – Sequenza delle fasi di analisi nel DNA Barcoding

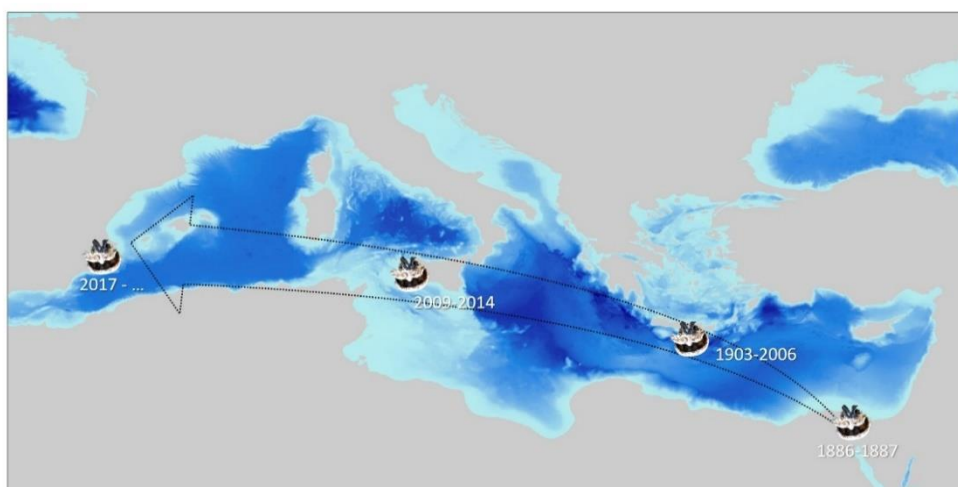


Il DNA barcoding ha permesso negli ultimi anni di supportare la tassonomia classica basata sull'identificazione di caratteri morfologici non sempre distinguibili con facilità dai ricercatori e non sempre univoci soprattutto nei casi di specie vicine tra loro. I vantaggi dell'utilizzo di questa metodica si possono riassumere come segue:

1. Lavorare con frammenti di tessuto fornisce la possibilità di discriminare individui, qualora il riconoscimento con la tassonomia classica non riesca per l'insufficienza materiale di caratteri distintivi.
2. Lavorare su individui a diversi stadi di sviluppo. Il barcoding, infatti, basa la sua potenzialità applicativa su una molecola (il DNA) presente in ogni singola cellula; esso potrà quindi identificare una specie nei suoi molteplici stadi di sviluppo, sia in forme adulte che giovanili, da uova o seme di animali o piante fino ai tessuti morti.
3. Smascherare i "simili". La metodologia permette di poter evidenziare anche differenze "minime" tra individui (mutazioni singole), spesso non immediatamente rintracciabili a livello morfologico o ecologico; essa sarà quindi in grado di distinguere anche le specie fortemente somiglianti, consentendo una visione più precisa della biodiversità.
4. Ridurre le ambiguità. Il barcode è infatti espresso come una sequenza di quattro nucleotidi discreti - ACTG - appartenente ad una regione uniforme sul genoma che potrebbe fornire un'identificazione digitale per ogni specie.
5. Potenziare le conoscenze sulla biodiversità degli esseri viventi.

Cassiopea andromeda è stata definita la prima medusa lessepsiana in circolazione nel Mar Mediterraneo (Galil et al., 1990). La specie è entrata nel Mediterraneo dal Mar Rosso attraverso il Canale di Suez (Maggio et al., 2019; Maas, 1903) e ha colonizzato diverse aree del bacino. In Mediterraneo i primi ritrovamenti di *C. andromeda* risalgono al 1886-1887 nel Canale di Suez, seguiti da quelli riportati da Maas (1903) nelle acque di Cipro nel 1903; nel 1955 la specie è apparsa nel Mar Egeo vicino a Santorini (Schäfer, 1955); Goy et al. (1988) e Spanier (1989) l'hanno riportata, rispettivamente, in Libano e Israele nel 1988 e, successivamente, Çevik et al. (2006) lungo la costa levantina della Turchia; Schembri et al. (2010) l'hanno registrata nelle acque maltesi nel 2009 e Ounifi-Ben Amor et al. (2015) nel nord della Tunisia nel 2013. Nelle acque italiane la presenza occasionale di *Cassiopea* è stata segnalata dal 2010, ma senza riferimenti documentati e dettagliati fino al 2014, quando in un porto turistico di Palermo, denominato "Cala", viene riportato il primo record documentato di questa specie in Italia (Cillari et al., 2018). Più recentemente, la specie ha raggiunto le coste spagnole (Mar Menor, Murcia) del Mediterraneo occidentale dove è stata segnalata nel 2017 (Rubio, 2017) (Fig. 5).

Fig 5 – Evoluzione dell'invasione di *Cassiopea andromeda* in Mediterraneo



Le popolazioni mediterranee di *C. andromeda* sono state segnalate in sistemi costieri semichiusi antropizzati, con acque eutrofiche e basso idrodinamismo e con valori di densità elevati (fino a 20 individui/m²) (Maggio et al., 2019).

Le sue caratteristiche biologiche, come l'elevata tolleranza a variazione dei parametri ambientali (Lambert, 2016) e la capacità di riprodursi velocemente per via asessuata, ne fanno un potenziale invasore di successo in un'ampia varietà di ecosistemi costieri, e quindi, una potenziale minaccia alla biodiversità del Mar Mediterraneo (Schariti et al., 2014; Morandini et al., 2017; Maas, 1903; Schäfer, 1955; Schembri et al., 2010; Cillari et al., 2018).

Sebbene siano disponibili conoscenze sulla biologia e l'ecologia di *C. andromeda* nelle sue aree di distribuzione nativa, poco si conosce sul suo comportamento invasivo nel Mar Mediterraneo (Mammone et al., 2021). Dato il crescente interesse per le specie aliene invasive e la loro gestione nel Mediterraneo, di recente è stata studiata la capacità di *C. andromeda* di tollerare ambienti stressanti/mutevoli (come le aree portuali) (Mammone et al., 2021). Gli autori hanno dimostrato che questa specie, grazie alla capacità di adattarsi a condizioni molto variabili di esposizione alla luce, può colonizzare un'ampia gamma di ambienti di acque poco profonde, confermando il suo potenziale come invasore di successo nel Mar Mediterraneo.

Lo studio dei ricercatori dell'ISPRA di Palermo e Chioggia, in collaborazione con la Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN)-Sicily Marine Centre e l'Università di Palermo (Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare), si è concentrato su una popolazione di *C. andromeda* presente all'interno del porto turistico della Cala di Palermo (Sicilia). Qui la specie, dopo la sua prima segnalazione, ha mostrato un comportamento invasivo e la popolazione ivi insediata ha alternato periodi di abbondanza a periodi di apparente quiescenza.

Considerata la rapida diffusione delle specie invasive, lo studio della loro distribuzione e delle dinamiche di invasione rappresenta il primo passo per intraprendere processi di prevenzione e/o di gestione del fenomeno, allo scopo di mitigare i potenziali impatti sulla biodiversità e prevenire ulteriori espansioni (Lipej et al. 2013; Falautano et al. 2020, Castriota et al. 2022; Perzia et al. 2022).

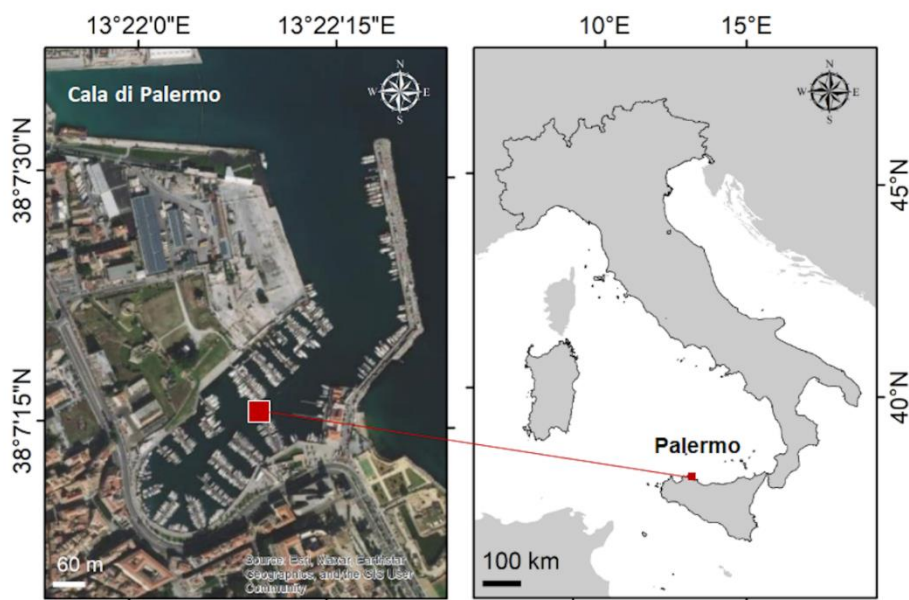
A tale scopo è stata analizzata la distribuzione della specie aliena *C. andromeda* all'interno della Cala, sia in relazione alle diverse classi di taglia che alla profondità di ritrovamento e sono state studiate le caratteristiche chiave della sua distribuzione, per data di campionamento e classi di taglia, ed i modelli di aggregazione e la struttura spaziale in funzione dei parametri ambientali registrati durante il campionamento.

Inoltre, al fine di conoscere l'impatto della specie sulle funzioni dell'ecosistema, è stata condotta l'analisi degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto per analizzare il comportamento alimentare della specie e comprenderne il ruolo nella rete trofica.

1. Area di studio

La Cala di Palermo è un bacino curvilineo per imbarcazioni da diporto, protetto da una diga a due bracci banchinata internamente e raggiungibile dall'imboccatura del porto di Palermo (Fig. 6); ha una superficie di 49.000 m² e una profondità media di 7 m (<https://www.adspalermo.it/palermo-diporto>).

Fig 6 – Cala di Palermo



Il fondale è prevalentemente fangoso ed è soggetto a movimentazioni dovute al passaggio delle imbarcazioni ed a probabili apporti terrigeni (acque di dilavamento e vecchi canali sotterranei). Questa zona è caratterizzata dalla presenza di numerosi pontili galleggianti vicini tra loro che possono ospitare fino a 370 imbarcazioni (<https://www.adsppalermo.it/palermo-diporto>), soprattutto durante la stagione turistica. All'interno della Cala sono presenti anche diverse imbarcazioni da pesca professionale, la maggior parte delle quali motobarche afferenti alla piccola pesca. La presenza di tante imbarcazioni e di un gran numero di cime e funi di ancoraggio rendono il fondale difficilmente accessibile per il campionamento visivo degli organismi con le classiche tecniche di censimento visivo (*visual census*).

2. Metodologia

L'indagine sulla popolazione di *C. andromeda* nella Cala di Palermo è stata condotta tra il 2017 e il 2018, attraverso il campionamento visivo degli individui, la misurazione di dati ambientali e la raccolta diretta di individui in due siti (denominati Calamida e Canottieri). L'area di studio è stata suddivisa in tre subaree: interna, intermedia ed esterna (Fig. 7).

I dati sono stati organizzati ed elaborati per fornire informazioni preliminari sulla distribuzione e sul comportamento trofico di questa specie all'interno di questo porto turistico.

Fig 7 – Area di studio: siti di campionamento diretto degli individui di *Cassiopea andromeda* (Calamida e Canottieri) e suddivisione in subaree: interna, intermedia ed esterna



2.1. Studio della distribuzione di *C. andromeda*

2.1.1. Visual census con MUV

Per effettuare il campionamento visivo degli individui di *C. andromeda* nella Cala è stato utilizzato il Megabenthos Underwater Video (MUV), un nuovo strumento progettato per superare le difficoltà di campionamento nelle aree portuali (Cillari et al., 2021) (BOX 3).

BOX 3 - Megabenthos Underwater Video (MUV)

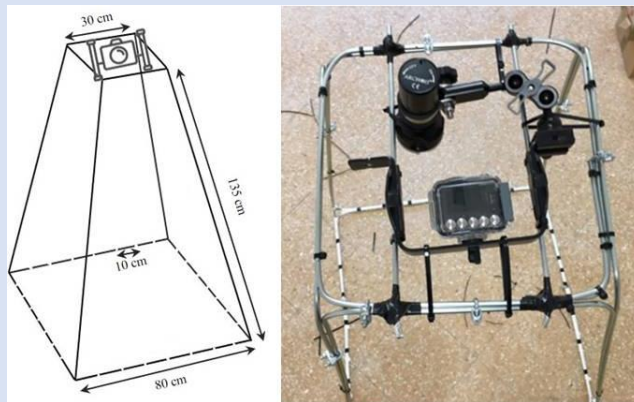
Per lo studio dell'abbondanza e della distribuzione in taglie delle comunità bentoniche vengono impiegate tecniche di *Visual Census*, che utilizzano diversi strumenti di registrazione (tavole subacquee, dispositivi audio e video, macchine fotografiche, etc.) e metodi per introdurre l'osservatore nell'ambiente marino (ad es. snorkeling, immersioni subacquee, ROV o sommergibili con equipaggio) (Goñi et al., 2000). Nel caso degli ambienti portuali, dove l'immersione è proibitiva e la presenza di cime, cavi di

ancoraggio e/o barche può rendere di difficile accesso il fondale, queste tecniche non sono applicabili.

Un nuovo dispositivo, il Megabenthos Underwater Video (MUV), è stato specificatamente progettato e realizzato da ISPRA e SZN per il conteggio e la stima delle dimensioni di organismi bentonici in aree di difficile accesso con le classiche metodiche di visual census (Cillari et al., 2021).

Il telaio del MUV è costituito da tubi in acciaio inox del diametro di 5 mm ed ha una forma tronco-piramidale con base quadrata di lato 80 cm (unità di area di campionamento = 0,64 m²) e un lato obliquo di 135 cm. Sulla sommità della struttura è collocata una videocamera subacquea che registra la presenza degli individui ricadenti all'interno dell'area di campionamento. I lati della base della struttura sono contrassegnati ad intervalli di 10 cm, in modo tale da avere uno strumento di misura utile per stimare le dimensioni degli individui registrati (Fig. 8).

Fig 8 – Struttura del MUV



Il dispositivo, grazie alle sue dimensioni e al peso, può essere utilizzato anche da piccole imbarcazioni e la presenza di zavorre in piombo sulla base consente il mantenimento della posizione eretta durante la fase di cala dello strumento sul fondo (Fig. 9).

Fig 9 – Fase di cala del MUV



Il MUV è uno strumento efficace nell'indagare la presenza/densità e le dimensioni di organismi megabentonici in aree difficili da raggiungere così come in aree naturali.

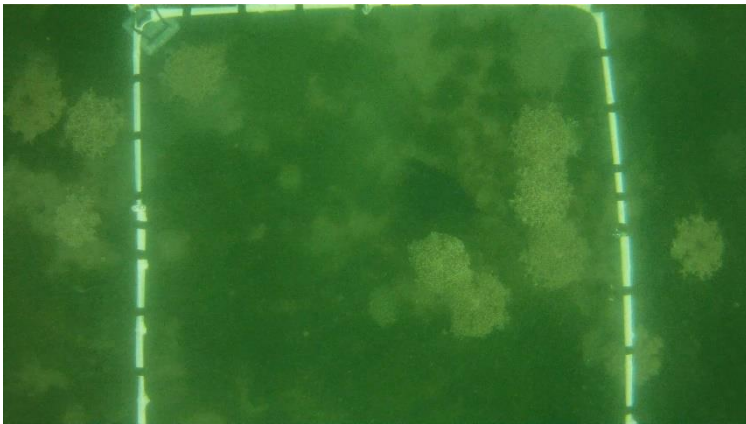
In caso di condizioni di scarsa illuminazione, si può prevedere l'installazione di un sistema di luci sulla parte superiore del dispositivo, al fine di migliorare la qualità dei video registrati.

La sua versatilità permette quindi di ottenere dati che, in associazione a variabili ambientali, consentirebbero una migliore comprensione della distribuzione delle specie bentoniche poco indagate.

Il MUV è stato utilizzato in quattro date (giugno 2017, novembre 2017, febbraio 2018, aprile 2018) e calato da una piccola imbarcazione in diversi punti di campionamento distribuiti all'interno della Cala, per ottenere dati sulla densità e le dimensioni degli individui di *C. andromeda*. In ogni punto di campionamento, oltre la profondità (m), sono state registrate la temperatura (°C) e la salinità (psu) lungo la colonna d'acqua, utilizzando una sonda portatile, e la trasparenza dell'acqua (m) con il disco di Secchi. Quest'ultimo parametro è stato riportato, per ciascun punto di campionamento, come rapporto percentuale tra trasparenza dell'acqua (m) e la profondità (m).

Per ogni stazione di campionamento, i video ottenuti sono stati analizzati visivamente ed è stato registrato il numero di individui di *C. andromeda* per unità di area del MUV (densità: ind/m²), considerando solo gli individui per i quali il centro dell'ombrella era situato all'interno dell'unità di area, ed è stato stimato il diametro dell'ombrella di ogni medusa registrata (Fig. 10).

Fig 10 – Un fotogramma del campionamento visivo di *C. andromeda* con MUV nella Cala



Sono state definite tre classi di taglia degli individui (5–10 cm, 10–15 cm e 15–20 cm) e quattro intervalli di profondità (0–3 m, 3–6 m, 6–9 m e 9–12 m). La densità media (\pm errore standard) di individui appartenenti a ciascuna classe di taglia è stata calcolata per ciascuna data di campionamento e intervallo di profondità.

2.1.2. Analisi della distribuzione spaziale e temporale

I dati ottenuti tramite il visual census con MUV sono stati analizzati ed elaborati con ArcGIS 10.3 ESRI e i suoi strumenti di statistica spaziale (misurazione delle distribuzioni geografiche, analisi degli schemi e mappatura dei cluster), allo scopo di studiare e descrivere le caratteristiche chiave della distribuzione di *Cassiopea andromeda*, i modelli di aggregazione e la sua struttura spaziale all'interno della Cala di Palermo (BOX 4).

BOX 4 - La statistica spaziale in ambiente GIS: analizzare i modelli, modellare le relazioni e comprendere i processi delle distribuzioni geografiche

Le aree di insediamento, i modelli di aggregazione, la struttura spaziale, i cambiamenti nel tempo della distribuzione (espansione/contrazione) di una specie, sono elementi essenziali per determinarne lo stato invasivo e per comprenderne i processi ecologici di invasione nell'area di insediamento.

Un importante strumento per tali studi è la geostatistica, o statistica spaziale, oggi integrata nei principali software GIS (Sistemi Informativi Geografici). La statistica spaziale, sviluppata specificamente per analizzare dati geografici, a differenza della statistica classica, incorpora nelle sue funzioni matematiche lo spazio e le relazioni topologiche che intercorrono fra gli oggetti ivi presenti (prossimità, area, connettività, inclusione e/o altre relazioni spaziali) (ESRI ArcGIS, 2011). In questo modo, consente di ottenere informazioni significative sul modello di distribuzione di una specie (raggruppato, disperso o casuale); sulle aree in cui si concentra maggiormente; sulla forma della distribuzione (dispersa, compatta o allungata); sulla direzione di diffusione e sulle aree di dispersione e di insediamento. Sebbene si possa avere un'idea qualitativa del modello generale di una distribuzione, visualizzandola nello spazio, la statistica spaziale è in grado di quantificare e descrivere le sue caratteristiche, evidenziando ciò che la semplice mappatura dei record non riuscirebbe a fare (ESRI ArcGIS, 2011).

Studio delle caratteristiche chiave della distribuzione di una specie attraverso gli indicatori di tendenza centrale, dispersione spaziale, dispersione direzionale e trend direzionale.

Questi indicatori tracciano e quantificano i cambiamenti di una distribuzione nel tempo e nello spazio, permettendo di effettuare, per esempio, un confronto tra date di campionamento o, per una stessa specie, fra classi di taglia, fornendo risposta alle seguenti domande:

- *Dove la specie si concentra di più? La posizione del baricentro della sua distribuzione cambia nel tempo?*

La tendenza centrale (baricentro) di una distribuzione geografica può essere calcolata come centro medio (media aritmetica delle coordinate latitudine e longitudine dei record) e/o come centro mediano (media pesata delle coordinate). I due centri, medio e mediano, visualizzati in una mappa GIS come punti, non sempre coincidono, poiché l'algoritmo utilizzato per il calcolo del centro mediano limita l'influenza che possono

avere record distanti e isolati (outlier spaziali) rispetto al centro medio (ESRI ArcGIS, 2011).

- La distribuzione è dispersa intorno al suo baricentro? La dispersione cambia nel tempo?

L'indicatore di dispersione spaziale, o distanza standard, indica se la distribuzione è compatta o dispersa attorno al suo baricentro: più piccola è la distanza standard, cioè la deviazione dal centro medio dei punti della distribuzione, più concentrata è la distribuzione nello spazio (ESRI ArcGIS, 2011). Il confronto fra più distanze standard, visualizzate in GIS come raggio delle circonferenze generate, permette di confrontare visivamente e quantitativamente, attraverso le loro aree, la dispersione degli esemplari campionati nelle diverse date o fra le diverse classi di taglia.

- La distribuzione varia nelle direzioni X e Y? È allungata? In che direzione si estende?

I due indicatori spaziali, dispersione direzionale e trend direzionale, consentono di visualizzare l'orientamento della distribuzione dei record e la sua forma nelle direzioni X e Y. Il primo è la distanza standard delle coordinate longitudine e latitudine, calcolate separatamente. L'ellisse di deviazione standard che si origina può presentare una forma schiacciata rispetto ad uno dei due assi, rivelando una dispersione spaziale preferenziale. Il trend direzionale, misurato come rotazione dell'asse maggiore dell'ellisse in senso orario, indica invece la direzione verso la quale la distribuzione si estende (ESRI ArcGIS, 2011). Anche in questo caso si può effettuare un confronto tra la dispersione e il trend direzionale degli esemplari campionati nelle diverse date o fra le diverse classi di taglia.

Identificazione del modello di aggregazione e della struttura spaziale di una distribuzione: indicatori di autocorrelazione spaziale globale, punti caldi (hot spot) e punti freddi (cold spot).

La distribuzione di una specie può essere influenzata da uno o più fattori ambientali, in ambiente acquatico per esempio dalla morfologia, batimetria, temperatura, salinità e trasparenza dell'acqua, ecc. I raggruppamenti fra record, dunque, possono non essere casuali, ma determinati dall'influenza "ecologica" che questi parametri possono avere sulla specie. Ciò può verificarsi sia per l'intera area di studio che localmente. La statistica spaziale ci aiuta allora ad analizzare i modelli della distribuzione su scala globale, può indicare cioè se i record, o i valori associati ai record (parametri ambientali), formano uno schema spaziale raggruppato, disperso o casuale. Su scala locale, invece, la mappatura dei cluster identifica i punti caldi (hot spot), i punti freddi (cold spot) o i valori anomali (outlier) spaziali statisticamente significativi.

- Il modello spaziale della distribuzione della specie cambia nel tempo? I dati sono correlati tra loro spazialmente?

La misura dell'autocorrelazione spaziale (Indice globale di Moran, GMI) di una distribuzione indica se i record sono correlati fra loro e quanto questa correlazione sia forte. Dato un insieme di record (la posizione degli individui di una specie) e un attributo

associato (il valore di un parametro ambientale), questo strumento valuta se il modello espresso è raggruppato, disperso o casuale. L'algoritmo restituisce cinque valori: l'indice GMI, l'indice atteso (il valore nel caso la distribuzione avesse un comportamento puramente casuale), la varianza, il punteggio z e il valore p . Il GMI può variare da -1 a +1 e se z o p indicano la significatività statistica, un indice di Moran positivo denota la tendenza al raggruppamento mentre negativo quella alla dispersione (ESRI ArcGIS, 2011).

- Dove sono i punti caldi (*hot spot*)? Dove sono i punti freddi (*cold spot*)? Quanto gli individui sono raggruppati localmente?

Gli strumenti statistici di mappatura dei cluster (Getis-Ord G_i^*) identificano la presenza di hot spot e cold spot rispetto ad un dato attributo (parametro ambientale) nell'area di studio. I punteggi z e i valori p sono le misure di significatività statistica punto per punto, e indicano se il raggruppamento spaziale osservato è più pronunciato di quanto ci si aspetterebbe in una distribuzione casuale. Per valori di $p < 0.05$, un punteggio z elevato indica un raggruppamento spaziale di valori elevati (hot spot). z negativo e basso indica invece un raggruppamento spaziale di valori bassi (cold spot). Più alto (o più basso) è il punteggio z , più intenso è il raggruppamento. z vicino allo zero indica l'assenza di raggruppamento spaziale (ESRI ArcGIS, 2011).

- Caratteristiche chiave della distribuzione

Le analisi sono state effettuate per data di campionamento e per classi di taglia. Sono stati calcolati gli indicatori di tendenza centrale (come centro mediano), di dispersione spaziale della specie, di dispersione direzionale e il trend direzionale. La dispersione spaziale, la dispersione direzionale e il trend sono stati calcolati con la precisione di una deviazione standard (il poligono risultante include circa il 68% delle osservazioni). È stato effettuato il confronto delle caratteristiche chiave della distribuzione di *C. andromeda* tra la subarea interna ed intermedia per le date di campionamento di giugno e novembre (date in cui sono state campionate entrambe le aree).

- Modello di aggregazione e struttura spaziale

Il modello di aggregazione complessivo e la struttura spaziale della distribuzione di *C. andromeda* nell'area sono stati elaborati in relazione ai parametri ambientali rilevati durante le fasi di campionamento: temperatura (°C), salinità (psu) e trasparenza (%). Per valutare se gli individui fossero concentrati, dispersi o distribuiti casualmente nell'area in studio, in funzione di tali variabili, è stata misurata l'autocorrelazione spaziale globale della distribuzione attraverso l'indice "Global Moran's I" (GMI). È stata inoltre eseguita la ricerca degli hot spot attraverso l'analisi Getis-Ord G_i^* (GOG), per valutare se la struttura spaziale presentasse, a scala locale, cluster (punti di aggregazione) statisticamente significativi. I dati del campionamento di aprile sono stati esclusi dall'analisi spaziale e non sono state effettuate elaborazioni per la classe di taglia 15–20 cm, poiché il numero di osservazioni non era statisticamente significativo (meno di trenta osservazioni).

Nella tabella 1 è riportato il riepilogo degli indicatori esaminati nel nostro studio, il loro significato ecologico, gli strumenti statistici GIS utilizzati e i parametri considerati per la loro elaborazione.

Tab 1 – Indicatori utilizzati per lo studio della distribuzione, dei modelli di aggregazione e della struttura spaziale di *C. andromeda* nella Cala di Palermo: significato ecologico, strumenti statistici e parametri considerati

Indicatore	Significato ecologico	Strumento	Parametro
Caratteristiche chiave della distribuzione			
Tendenza centrale	Variazione nel tempo e nello spazio del baricentro della distribuzione	Centro mediano	Data (giu 17; nov 17, feb 17) Classi di taglia (5-10 cm; 10-15 cm)
Dispersione spaziale	Variazione nel tempo e nello spazio della dispersione spaziale o compattezza della distribuzione attorno al centro medio	Distanza standard (1 deviazione standard)	Dispersione spaziale Classi di taglia (5-10 cm; 10-15 cm)
Dispersione direzionale	Variazione nel tempo e nello spazio della dispersione della specie nelle direzioni X e Y	Ellisse di deviazione standard (1 deviazione standard)	Dispersione direzionale Classi di taglia (5-10 cm; 10-15 cm)
Trend direzionale	Variazione nel tempo e nello spazio del trend direzionale della distribuzione	Ellisse di deviazione standard (1 deviazione standard)	Trend direzionale Classi di taglia (5-10 cm; 10-15 cm)
Modello di aggregazione e struttura spaziale			
Autocorrelazione spaziale globale	Modello di distribuzione: disperso vs. casuale vs. raggruppato (cluster). Cambiamento del modello spaziale nel tempo	Indice globale di Moran distanza di taglio = 60 m	T (°C) S (psu) Trasparenza (%)
Hot spot e cold spot	Individuazione delle aree di dispersione/insediamento	Analisi degli hot spot (Getis – Ord Gi*) distanza di taglio = 60 m	T (°C) S (psu) Trasparenza (%)
statisticamente significativi			

2.2. Studio del comportamento trofico

Per l'analisi degli isotopi stabili, dieci esemplari vivi di *C. andromeda* sono stati raccolti con un retino in due siti interni della Cala (cinque nel sito "Calamida" e cinque nel sito "Canottieri" — Fig. 7). I campioni sono stati conservati refrigerati fino al trasporto in laboratorio, dove le meduse sono state analizzate morfometricamente e morfologicamente. Per ciascun campione sono stati quindi prelevati e separati i tessuti gonadici, dell'ombrella e delle braccia orali e conservati singolarmente in azoto liquido, per le successive analisi dei biomarcatori trofici, e di seguito liofilizzati e congelati a -80 °C.

Per l'analisi isotopica della sostanza organica particolata (POM), 3 L di acqua di mare (campionata da ciascun sito a una profondità di 1 m) sono stati pre-filtrati (filtro da 200 µm)

e successivamente filtrati con filtri in fibra di vetro (diametro 47 mm, porosità 0,7 µm) pre-combusti (4 h a 500 °C).

Il sedimento è stato raccolto con trappole per sedimenti nei due siti di campionamento, per analizzare il suo ruolo nella rete trofica. Ciascuna trappola era costituita da due bottiglie di plastica con imbuto (15 cm di diametro), lasciate sul fondo dei siti di campionamento per 7 giorni. Dopo tale periodo, le trappole sono state chiuse, rimosse dal fondo e portate in laboratorio. L'acqua e i sedimenti contenuti nella trappola sono stati filtrati sottovuoto attraverso filtri in fibra di vetro pre-combusti (4 h a 500 °C) (diametro 47 mm, porosità 0,7 µm).

Oltre al campionamento di meduse, POM e sedimenti, sono stati prelevati altri organismi bentonici nei due siti di campionamento, per ottenere un riferimento più chiaro del posizionamento trofico delle meduse all'interno della Cala. Questi organismi sono stati conservati a -80 °C e successivamente liofilizzati e omogeneizzati fino a ottenere una polvere fine per la successiva analisi.

In particolare, sono stati valutati gli isotopi stabili del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) e dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) (BOX 5) e i rapporti C/N separatamente nelle braccia orali, nell'ombrella e nelle gonadi degli individui di medusa campionati, per chiarire meglio il diverso comportamento nutrizionale e i processi di crescita di *C. andromeda* nell'area di studio. Il $\delta^{13}\text{C}$ e il $\delta^{15}\text{N}$ sono stati determinati anche in POM, sedimenti e altri organismi prelevati.

BOX 5 - Isotopi stabili del carbonio e dell'azoto ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$)

Con il termine isotopi (dal greco *iso-tópos*, eguale posto), si intendono atomi dello stesso elemento chimico caratterizzati dallo stesso numero atomico, ma che possiedono un differente numero di massa atomica. Gli isotopi, infatti, hanno lo stesso numero di protoni ed elettroni (quindi uguali proprietà chimiche) ed un diverso numero di neutroni (che comporta diverse proprietà fisiche). Gli isotopi possono essere naturali o artificiali, stabili o instabili. Sono di particolare interesse gli isotopi stabili, cioè non artificiali. La tecnica che li determina si chiama Stable Isotope Ratio Analysis (SIRA).

La composizione isotopica di un campione è uguale al rapporto tra l'abbondanza della forma isotopica pesante rispetto a quella leggera (R) (ad esempio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e si esprime come deviazione, in parti per mille (‰), da un materiale standard di riferimento individuato a livello internazionale (per carbonio – Vienna Pee Dee Belemnite, per azoto – aria). Il rapporto degli isotopi stabili (l'abbondanza isotopica) viene espresso come delta (δ):

$$\delta = [(R_{\text{campione}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000,$$

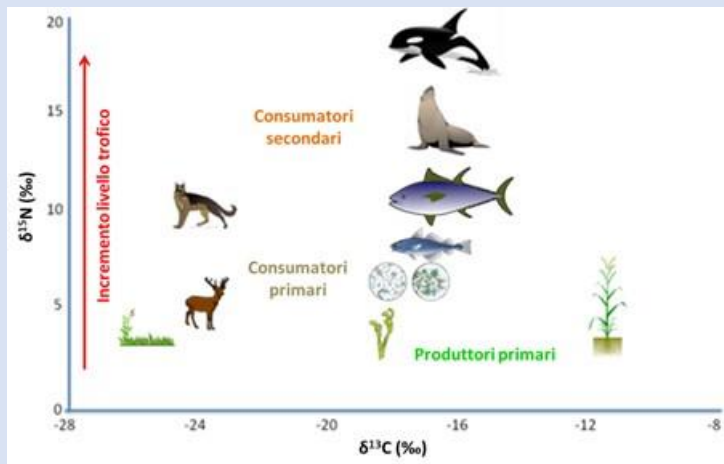
dove R_{campione} è il rapporto misurato nel campione e R_{standard} è quello misurato nello standard.

Un valore positivo di δ indica che il campione è arricchito dell'isotopo pesante rispetto allo standard mentre un valore negativo indica che il campione è impoverito dell'isotopo pesante (Michener e Lajtha, 2007).

Le tecniche isotopiche hanno avuto una grande applicazione in tutti i campi della ricerca scientifica. Questa tecnica di indagine risulta versatile ed innovativa con applicazione in tematiche molto vaste, spaziando dagli studi geologici ed idrogeologici, di carattere ambientale o legati alla valutazione di diversi tipi di inquinamento, fino alla individuazione delle sofisticazioni alimentari, alla salvaguardia del patrimonio artistico e alla diagnostica medica e forense.

I rapporti degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto permettono di indagare le relazioni trofiche e i flussi di carbonio ed azoto tra le principali componenti di un ecosistema (es. sostanza organica, produttori primari, consumatori primari e secondari; Post et al., 2002) (Fig. 11). La composizione chimica dei tessuti animali è infatti strettamente connessa alle risorse alimentari che essi assimilano riflettendo la composizione isotopica della dieta (De Niro & Epstein 1978; Vander Zanden & Rasmussen, 2001; ISPRA, 2018).

Fig 11 – Isotopi stabili del carbonio e dell'azoto e relazioni trofiche



Il valore isotopico rilevato nei tessuti di un organismo può essere utilizzato come indicatore della sua posizione trofica. I valori di $\delta^{13}\text{C}$ sono utilizzati principalmente per rintracciare la fonte primaria di carbonio assunta (Layman et al., 2012), mentre per stimare il livello trofico delle specie si utilizza la firma isotopica dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$, cioè $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$).

I rapporti degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto inoltre sono ampiamente utilizzati anche per determinare l'origine autoctona/alloctona ed i processi di trasformazione della sostanza organica nella colonna d'acqua e nel comparto abiotico (sedimenti) (Fry e Sherr, 1984). I modelli di mixing isotopico si sono dimostrati infatti essere un utile strumento per valutare quantitativamente, oltre che qualitativamente, il contributo delle diverse fonti al budget di sostanza organica presente in particolare in ambienti costieri e di transizione interessati da apporti di acque dolci (Matson e Brinson, 1990; Thornton e McManus, 1994).

Per queste analisi vengono pesate in capsule di stagno piccole quantità di campione liofilizzato, poi analizzato mediante uno spettrometro di massa ad alta risoluzione accoppiato con un analizzatore elementare. Materiali di riferimento e standard certificati, con rapporti isotopici noti, vengono utilizzati per il controllo di qualità del dato analitico.

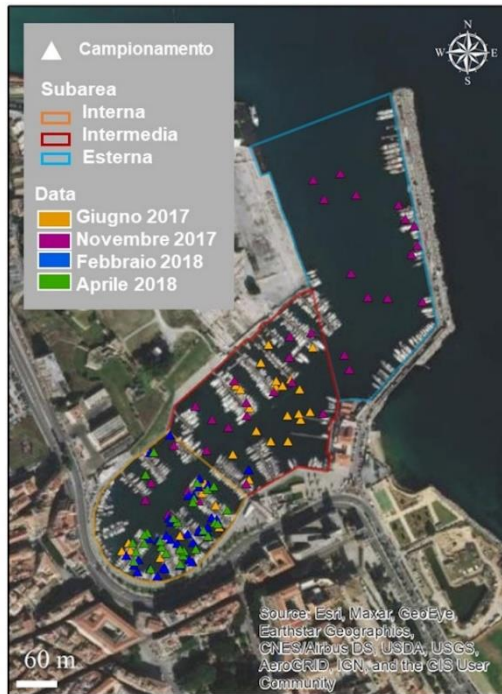
Nel presente studio, circa 0,2 mg di campione liofilizzato è stata pesata nella capsula di stagno per le analisi $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. L'analisi isotopica di carbonio e dell'azoto è stata effettuata utilizzando uno spettrometro di massa a rapporto isotopico, DeltaV Advantage (Thermo Fisher Scientific, Brema, Germania), accoppiato con un analizzatore elementare, CHN Analyzer Flash 2000 (Thermo Fisher Scientific, Brema, Germania). La precisione analitica delle misurazioni, sia per $\delta^{13}\text{C}$ che per $\delta^{15}\text{N}$, è stata dello 0,2%. Come materiali di riferimento certificati sono stati utilizzati saccarosio IAEA CH6 (Agenzia internazionale per l'energia atomica, Austria) e acido L-glutammico (RM 8574, National Institute of Standards and Technology, NIST, MA, USA).

3. Risultati

3.1. Distribuzione e densità di *C. andromeda*

In totale 146 punti sono stati campionati con MUV all'interno della Cala, di cui: 94 nella zona interna, 37 nella intermedia e 15 in quella esterna. 39 campionamenti sono stati condotti a giugno 2017, 38 a novembre 2017, 39 a febbraio 2018 e 30 ad aprile 2018 (Fig. 12).

Fig 12 – Punti di campionamento con il MUV per data nelle subaree della Cala di Palermo

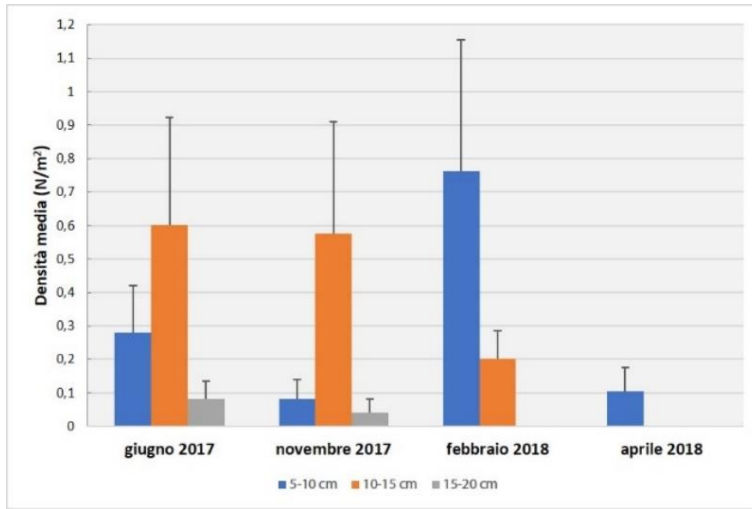


I valori di profondità registrati nei punti di campionamento sono risultati compresi tra 1,5 e 12 m. La trasparenza dell'acqua è risultata compresa tra il 34 e il 100%; per 109 punti di campionamento sono stati registrati valori superiori al 70%. La temperatura e la salinità hanno presentato valori compresi, rispettivamente, tra 13,9 °C e 24,1 °C, e tra 34,4 e 35,7 psu.

Il MUV ha permesso di registrare diversi esemplari di *C. andromeda* di diverse dimensioni nelle diverse zone della Cala. La loro abbondanza e densità è stata variabile nelle quattro date di campionamento. In particolare, sono stati registrati, in totale, 67 individui di *C. andromeda*, di cui 30 appartenenti alla classe di taglia 5–10 cm, 34 alla classe di taglia 10–15 cm e solo 3 individui alla classe di taglia 15–20 cm.

In tutte le date sono stati trovati individui della classe dimensionale 5–10 cm, con un picco di densità ($0,76 \pm 0,39$ ind/m²) nel febbraio 2018. L'elevato numero di individui di piccola taglia osservato in questo mese, rispetto a quello dei mesi precedenti, quando la taglia intermedia è stata la più abbondante, suggerisce un precedente evento riproduttivo e indica che la popolazione di meduse in questa area di studio è abbastanza consolidata. Gli individui della classe di taglia 10–15 cm sono stati infatti registrati a giugno 2017, novembre 2017 e febbraio 2018, con densità medie più elevate a giugno ($0,60 \pm 0,32$ ind/m²) e novembre ($0,57 \pm 0,33$ ind/m²). Gli individui più grandi (15–20 cm) sono stati osservati solo a giugno e novembre 2017, ma con bassi valori di densità ($0,08 \pm 0,05$ ind/m² e $0,04 \pm 0,04$ ind/m², rispettivamente) (Fig 13).

Fig 13 – Densità medie di *C. andromeda* per classe di taglia, per data di campionamento

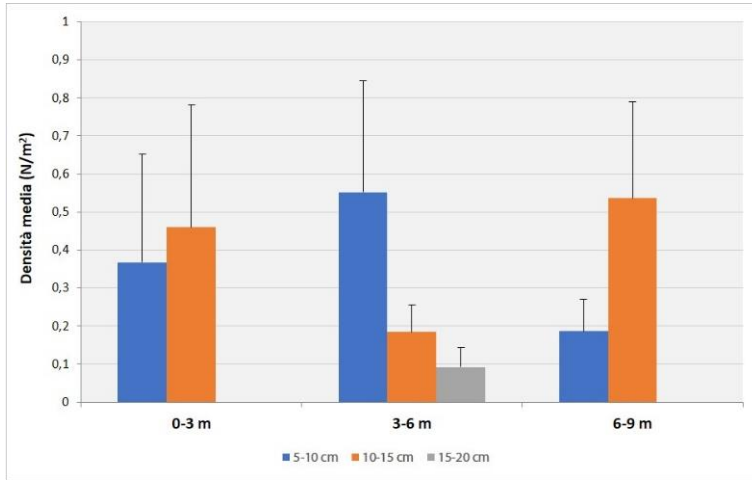


Valori bassi di abbondanza e densità di individui, unicamente di piccola taglia, si sono registrati nell'aprile 2018 (densità media di $0,10 \pm 0,07$ ind/m²), quando la popolazione allo stadio di medusa era in netto calo finché non è scomparsa del tutto per un periodo di due anni. Dopo tale periodo, alcuni esemplari di piccole e medie dimensioni di meduse sono stati nuovamente avvistati nell'ottobre 2020 e nel novembre 2021 (Cillari et al., 2022). Questo comportamento fa supporre che, durante il periodo di apparente assenza della specie in questo porto turistico, fosse presente la sua fase di polipo che non è macroscopicamente visibile. Dopo il periodo di due anni, in accordo con Ohdera et al. (2018), fattori esterni potrebbero aver innescato il passaggio dalla fase del polipo a quella di medusa (strobilazione), portando alla ricomparsa di una popolazione visibile.

Per quanto riguarda la profondità di ritrovamento della specie nell'area di studio, *C. andromeda* è stata riscontrata fino a 7,5 m di profondità, ed in particolare tra 1,5 e 7,5 m, probabilmente in relazione alla presenza dei simbionti fotosintetici della medusa che necessitano di luce.

Individui della taglia 5–10 cm e 10-15 cm sono stati trovati in tutti i range di profondità, con densità medie più elevate tra 3–6 m ($0,55 \pm 0,29$ ind/m²) e 6-9 m ($0,54 \pm 0,25$ ind/m²), rispettivamente. I pochi individui di taglia più grande sono stati registrati solo tra 3 e 6 m di profondità (Fig. 14).

Fig 14 – Densità medie di *C. andromeda* per classe di taglia, per range di profondità



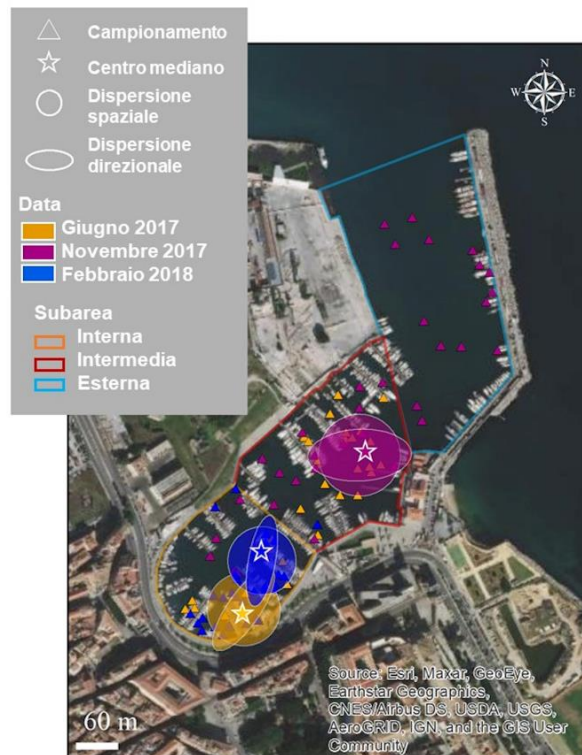
Infine, la presenza di *C. andromeda* è stata riscontrata nelle sole subaree interna ed intermedia della Cala, probabilmente per le condizioni ambientali più eutrofiche (Stoner et al., 2011). Inoltre, la concentrazione maggiore degli individui più piccoli è stata registrata nella zona interna del porto, le cui caratteristiche ambientali, ovvero la presenza di molti substrati artificiali e di un minor idrodinamismo, potrebbero favorire la possibile presenza di una popolazione di polipi. Allo stesso modo, la mancanza di individui di *C. andromeda* registrata in siti più profondi ed esterni al porto turistico (in prossimità dell'imboccatura), potrebbe anche essere dovuta al maggiore idrodinamismo determinato dal frequente passaggio delle imbarcazioni.

3.2. Caratteristiche chiave della distribuzione, modello di aggregazione e struttura spaziale

- Caratteristiche chiave della distribuzione

La dispersione spaziale e direzionale della distribuzione di *C. andromeda* all'interno dell'area di studio (Fig. 15) mostra un comportamento quantitativamente simile (grandezza della circonferenza e dell'ellisse risultanti paragonabile) in tutte le date di campionamento considerate, molto più evidente invece è la diversa localizzazione nello spazio della concentrazione degli individui nella Cala nei diversi periodi (tendenza centrale). Nel mese di giugno 2017 *C. andromeda* è presente prevalentemente nella subarea interna, mentre a novembre in quella intermedia. L'andamento direzionale varia da giugno e novembre, con angoli rispettivamente di 31° e 83°.

Fig 15 – Caratteristiche chiave della distribuzione di *C. andromeda* nell’area di studio: tendenza centrale, dispersione spaziale e dispersione direzionale - calcolate per giugno 2017, novembre 2018 e febbraio 2018. I triangoli indicano i punti di campionamento effettuati con il MUV per data

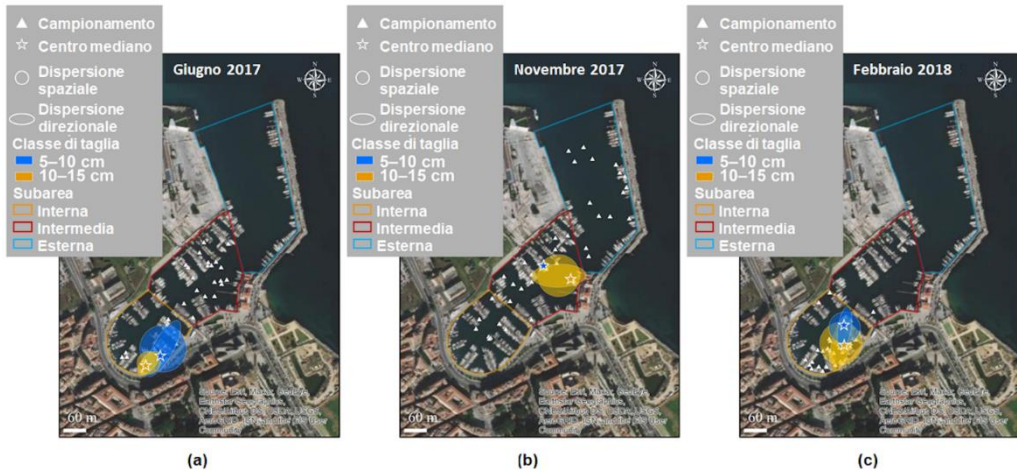


Le caratteristiche chiave della distribuzione delle classi di taglia 5–10 cm e 10–15 cm nei diversi periodi di campionamento (Fig. 16 a–c) mostrano differenze evidenti, sia nella dispersione spaziale delle osservazioni che nella localizzazione della tendenza centrale. A giugno il baricentro di entrambe le distribuzioni si trovava nella subarea interna e la distribuzione della classe di taglia 10–15 cm era più compatta rispetto alla 5–10 cm. Nel mese di novembre gli esemplari osservati appartenevano quasi esclusivamente alla classe di taglia 10–15 cm e la loro distribuzione era più dispersa rispetto a giugno, con baricentro nell’area intermedia. A febbraio il grado di dispersione fra le taglie era invertito rispetto a giugno e la classe di taglia 10–15 cm era più dispersa rispetto alla classe di taglia 5–10.

L'aggregazione di meduse osservata nei mesi di giugno e novembre in diverse zone e con diversi orientamenti suggerisce un insediamento diffuso della popolazione di *C. andromeda* in varie zone della Cala. Ciò è probabilmente dovuto alla grande variabilità ambientale che caratterizza il porto turistico, poiché fortemente influenzata da diversi fattori distribuiti in modo eterogeneo nell’area, come per esempio gli apporti terrigeni e di natura antropica, il traffico marittimo, ecc., che possono alterare, spesso in maniera

imprevedibile, le caratteristiche chimico fisiche dell'acqua (torbidità, temperatura, salinità, nutrienti, ecc.).

Fig 16 – Caratteristiche chiave della distribuzione di *C. andromeda* nell'area di studio in (a) giugno 2017, (b) novembre 2018 e (c) febbraio 2018, calcolate per ciascuna classe di taglia. I triangoli indicano i punti di campionamento effettuati con il MUV

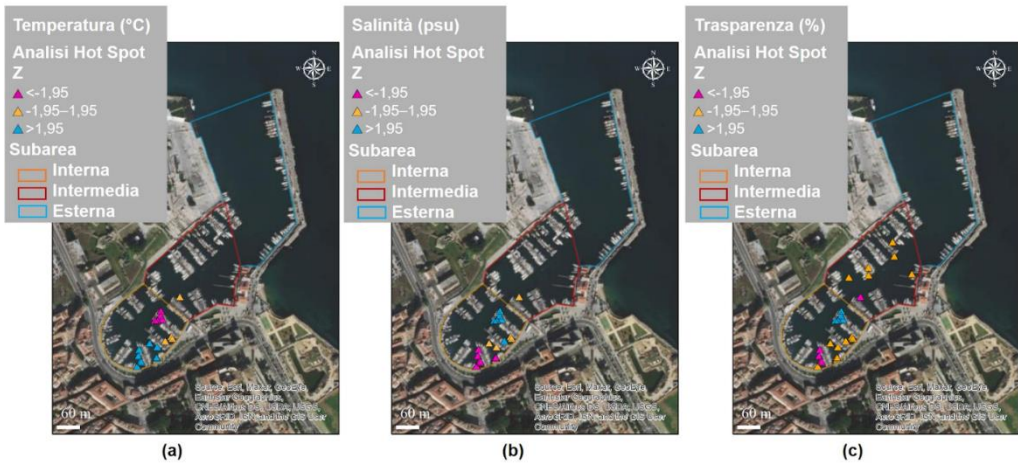


- Modello di aggregazione e struttura spaziale

I valori di autocorrelazione spaziale globale tra le osservazioni di *C. andromeda* all'interno della Cala suggeriscono che la distribuzione abbia un modello di aggregazione cluster rispetto ai parametri ambientali temperatura, salinità e trasparenza e che gli individui non si dispongano in maniera casuale (random) nell'area. Gli indici di Moran ottenuti sono stati di 0,89 (temperatura), 0,33 (salinità) e 0,71 (trasparenza), tutti e tre statisticamente significativi ($z > 2,58$, $p < 0,01$) e ben diversi dal risultato atteso di GMI di -0,02 se le distribuzioni avessero avuto un comportamento casuale.

L'analisi Getis-Ord G_i^* ha rivelato che, alla scala spaziale locale, erano presenti punti caldi (hot spot) e punti freddi (cold spot), cioè raggruppamenti statisticamente significativi, rispettivamente di valori alti e di valori bassi, in relazione ai parametri ambientali considerati (temperatura, salinità, trasparenza) (Fig. 17 a-c). Gli altri record (triangoli gialli) mostravano invece valori statisticamente non significativi.

Fig 17 – Risultati dell'analisi hot spot (Getis-Ord Gi*) sulle osservazioni di *C. andromeda* nell'area di studio in relazione ai parametri ambientali (a) temperatura, (b) salinità e (c) trasparenza: i triangoli blu e viola indicano gli hot spot (valori alti del parametro considerato) e i cold spot (valori bassi), rispettivamente; i triangoli gialli indicano i record con valori statisticamente non significativi



Nella tabella 2 sono riportati i valori medi \pm errore standard di temperatura, salinità e trasparenza, corrispondenti ai punti caldi e freddi.

Tab 2 – Valori medi ed errore standard della temperatura, salinità e trasparenza corrispondenti ai punti di hot spot e cold spot con indicazione della significatività (punteggio z e valore p)

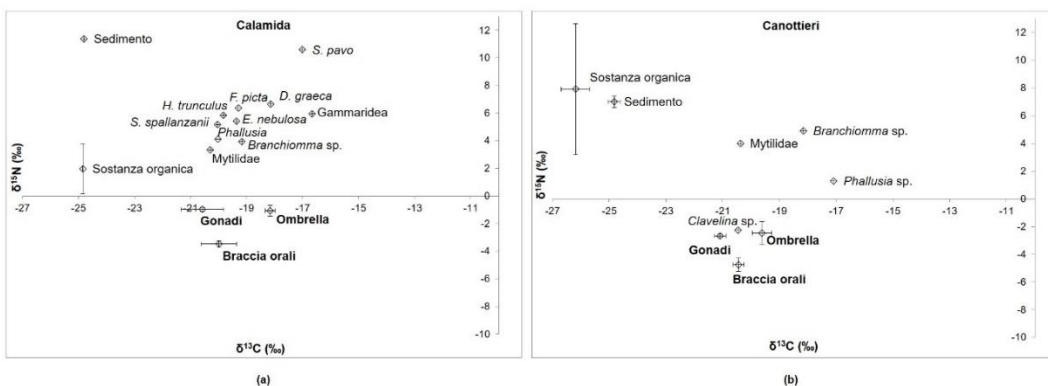
Parametro ambientale	Cold Spot	Hot Spot	z	p
Temperatura (°C)	14,86 \pm 1,96	21,52 \pm 3.30	>1,96	<0,01
Salinità (psu)	35,07 \pm 0,14	35,28 \pm 0,16	>1,96	<0,01
Trasparenza (%)	93 \pm 13	100 \pm 0	>1,96	<0,01

Gli intervalli dei parametri ambientali misurati nell'area di studio (temperatura, salinità e trasparenza) sono coerenti con quelli considerati idonei al mantenimento di una popolazione di *Cassiopea* (Thé et al., 2020) e sembrano non aver influenzato la struttura spaziale degli esemplari all'interno della Cala, che mostra un comportamento cluster sia per valori alti che bassi, soprattutto nel caso della temperatura. Studi su *Cassiopea* spp. hanno dimostrato, infatti, che la specie tollera valori di temperatura fino a circa 29 °C, salinità fino a 36 psu e livelli di esposizione alla luce da 200 a 500 μmol di fotoni $\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$ (Morandini et al., 2017; Mammone et al., 2021). La struttura spaziale di *C. andromeda* nella Cala potrebbe quindi dipendere da altri fattori, come un'elevata concentrazione di nutrienti o materia organica, che attirerebbe le meduse in aree specifiche, come ipotizzato da Thé et al., 2020.

3.3. Comportamento trofico di *C. andromeda*

La posizione trofica di *C. andromeda* e la strategia di assimilazione dell'energia possono variare a seconda della disponibilità di fonti alimentari, consentendo alla specie di sopravvivere in masse d'acqua che vanno da condizioni eutrofiche a condizioni oligotrofiche (Freeman et al., 2016; Freeman et al., 2017; Ferrier-Pagès e Leal, 2018). L'analisi dei valori dei due isotopi stabili $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ in *C. andromeda* della Cala di Palermo hanno mostrato andamenti simili per i due siti di campionamento (Calamida e Canottieri) (Fig. 18). Per quanto riguarda lo studio delle altre componenti della comunità, il sito di Calamida riflette probabilmente una situazione meno perturbata, mostrando valori prevalentemente più alti lungo la catena trofica per i due isotopi. In particolare, oltre alle tre parti del corpo della medusa e al sedimento, la Figura 18a mostra tre gruppi principali: (1) sostanza organica (POM), (2) filtratori/detritivori (*Branchiomma* sp., *Eupolymnia nebulosa*, Mytilidae, *Phallusia* sp., *Sabella spallanzanii*) e (3) predatori (*Diodora graeca*, *Felimare picta*, *Hexaplex trunculus*, Gammaridea, *Salaria pavo*). Diversa la situazione nel sito di Canottieri dove, anche se i filtratori/detritivori hanno presentato valori simili a quelli del sito di Calamida, i valori per la sostanza organica e i sedimenti sono risultati molto diversi rispetto alle altre componenti della comunità.

Fig 18 – Plot bidimensionale degli isotopi stabili $\delta^{15}\text{N}$ vs $\delta^{13}\text{C}$ (media \pm deviazione standard) nelle gonadi, braccia orali e ombrella degli individui di *Cassiopea andromeda*, sedimento, sostanza organica (POM) e altri organismi bentonici (*Branchiomma* sp.; *Clavelina* sp.; *Diodora graeca*; *Eupolymnia nebulosa*; *Felimare picta*; Gammaridea; *Hexaplex trunculus*; Mytilidae; *Phallusia* sp.; *Salaria pavo*; *Sabella spallanzanii*) campionati nei due siti di Cala: (a) Calamida e (b) Canottieri

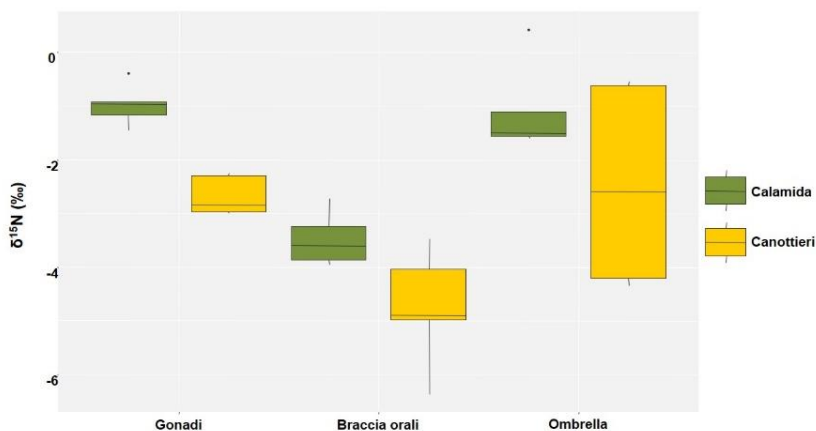


Le analisi degli isotopi stabili dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) condotte sui tessuti degli individui di *C. andromeda* della Cala, hanno evidenziato valori inaspettatamente bassi di $\delta^{15}\text{N}$ (Figg. 18 e 19), indicando un impoverimento di ^{15}N rispetto a ^{14}N , che potrebbe essere il risultato della disponibilità di fonti di azoto ricche di ^{14}N , come quelle derivanti da reflui urbani non trattati (Cravotta, 2002). Questi valori bassi potrebbero risentire maggiormente delle caratteristiche dei due siti di campionamento che sono confinati e caratterizzati da un basso idrodinamismo.

Inoltre i valori di $\delta^{15}\text{N}$ riscontrati in *C. andromeda* sono risultati costantemente inferiori a quelli degli altri organismi della comunità bentonica analizzati in entrambi i siti (Fig. 18), suggerendo la produzione di componenti organici basata sul metabolismo dei simbionti associati.

I valori di $\delta^{15}\text{N}$ più bassi osservati nelle braccia orali delle meduse suggeriscono un livello trofico più basso rispetto all'ombrella (Fig. 19), evidenziando la maggiore concentrazione di simbionti autotrofi in questi tessuti (Arai, 1997; Ohdera et al., 2018). Infatti, lo schema suggerito è che le zooxantelle, che colonizzano le braccia orali di *C. andromeda*, assorbono dall'ambiente l'azoto inorganico disciolto con un basso valore di $\delta^{15}\text{N}$ (Freeman et al., 2016; Freeman et al., 2017; Balderston e Claus, 1969), mentre l'ombrella è caratterizzata da valori di $\delta^{15}\text{N}$ più elevati, dovuti a un mix dell'assorbimento di azoto, proveniente, sia dal frazionamento lungo la rete alimentare attraverso la predazione (Ferrier-Pagès et al., 2011; Ferrier-Pagès e Leal, 2018; Post, 2002), sia dalla degradazione dei colonizzatori.

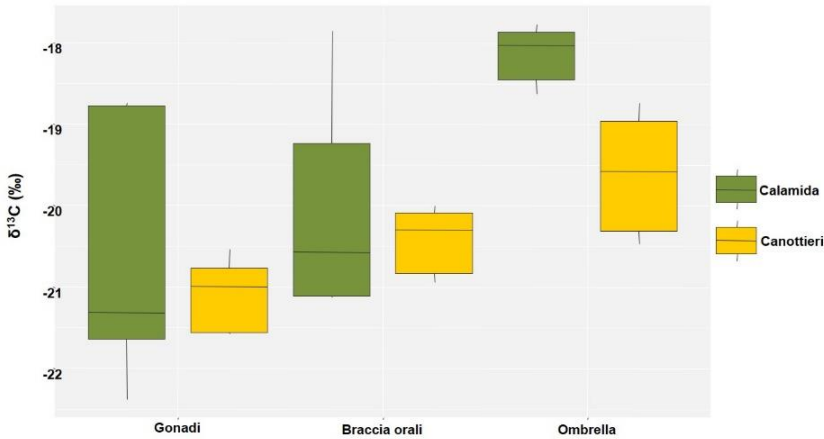
Fig 19 – Box plot degli isotopi stabili dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) nelle gonadi, braccia orali e ombrella degli individui di *Cassiopea andromeda* raccolti nei due siti della Cala (N=5 presso Calamida e N=5 presso Canottieri)



I valori degli isotopi stabili del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) ottenuti per l'ombrella di *C. andromeda* sono risultati meno negativi rispetto a quelli ottenuti per le braccia orali, in particolare nel sito di Calamida (Fig. 18 e 20), suggerendo un minore trasferimento dei metaboliti derivati dai simbionti e una maggiore dipendenza dal metabolismo eterotrofo della medusa (Freeman et al., 2016 e 2017). Inoltre i valori di $\delta^{13}\text{C}$ delle meduse sono risultati meno negativi della POM e del sedimento in entrambi i siti di campionamento (Fig. 18).

Valori di $\delta^{13}\text{C}$ meno negativi (tipicamente da -10‰ a -14‰) rispetto a quelli del POM e del plancton (ca. -20‰ Ferrier-Pagès e Leal, 2018) sono tipici dell'assorbimento di carbonio inorganico disciolto da parte di zooxantelle (Muscatine et al., 1989; Djeghri et al., 2020; Swart et al., 2005; Alamaru et al., 2009).

Fig 20 – Box plot degli isotopi stabili del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) nelle gonadi, braccia orali e ombrella degli individui di *Cassiopea andromeda* raccolti nei due siti di Cala (N=5 presso Calamida e N=5 presso Canottieri)



L'analisi isotopica ha quindi evidenziato che i metaboliti derivati dall'assorbimento dei nutrienti inorganici e dalla predazione vengono quindi scambiati e riciclati tra le zooxantelle e l'ospite (Reynaud et al., 2009). La fotosintesi che si verifica nelle braccia orali ad opera delle zooxantelle potrebbe svolgere la funzione di "fitodepurazione", sottraendo il pool di nutrienti disponibili, derivanti sia da scarichi civili non trattati, sia dalle precipitazioni, dall'ambiente.

4. Conclusioni

Nel porto turistico della Cala di Palermo, la popolazione di *Cassiopea andromeda* ha mostrato un'alternanza di periodi di abbondanza, prevalentemente allo stadio di medusa, e periodi di apparente quiescenza. Gli esemplari hanno mostrato adattamento alle temperature sia invernali che estive, e sono stati riscontrati nei fondali poco profondi delle zone più interne della Cala. Tuttavia, sono ancora necessarie ulteriori indagini sulla distribuzione delle specie, sull'influenza di altri parametri ambientali (come i nutrienti e l'esposizione alla luce) e delle differenze stagionali, per capire meglio come la specie si sia stabilizzata e sia distribuita nell'area di studio.

C. andromeda ha mostrato una doppia strategia nutrizionale (comportamento mixotrofico) con valori degli isotopi stabili dell'azoto costantemente inferiori a quelli degli altri organismi della comunità, probabilmente per la presenza di azoto derivato da fonti antropiche. Ad ogni modo, ulteriori studi sulla dinamica dei nutrienti in quest'area e sui valori isotopici di altri componenti della comunità (fito e zooplancton) aiuterebbero a chiarire il ruolo trofico di questa specie nell'ambiente.

Tutti i risultati preliminari hanno confermato che *C. andromeda* è in grado di vivere e riprodursi in aree fortemente antropizzate come i porti, consentendo alla specie di

stabilirsi una volta introdotta e di essere trasferita altrove tramite le imbarcazioni (Morandini et al., 2017). Inoltre, la specie sembra avere la capacità di far fronte ai cambiamenti ambientali. Questi tratti, insieme alla sua mixotrofia, rendono questa specie un perfetto invasore negli scenari attuali e futuri del cambiamento climatico. Pertanto sarebbero necessarie specifiche azioni di sorveglianza per il monitoraggio e il controllo di queste invasioni, che possono rappresentare una minaccia per la biodiversità e gli ecosistemi del Mediterraneo.

5. Bibliografia

Alamaru A., Loya Y., Brokovich E., Yam R., Shemesh A., 2009. Carbon and nitrogen utilization in two species of Red Sea corals along a depth gradient: Insights from stable isotope analysis of total organic material and lipids. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 5333–5342.

Arai M.N., 1997. *A functional biology of Scyphozoa*. Springer Science & Business Media.

Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Occidentale- Porti/Porto di Palermo/Diporto. Available online: <https://www.adspalermo.it/palermo-diporto> (aggiornamento al 30 November 2021).

Bolton T.F., Graham W.M., 2004. Morphological variation among populations of an invasive jellyfish. *Marine Ecology Progress Series* 278, 125–139.

Çevik C., Erkol I.L., Toklu B., 2006. A new record of an alien jellyfish from the Levantine coast of Turkey – *Cassiopea andromeda* (Forsskål, 1775) [Cnidaria: Scyphozoa: Rhizostomea]. *Aquatic Invasions* 1, 196-197.

Castriota L., Falautano M., Maggio T., Perzia P., 2022. The Blue Swimming Crab *Portunus segnis* in the Mediterranean Sea: Invasion Paths, Impacts and Management Measures. *Biology* 11(10),1473.

Cillari T., Andaloro F., Castriota L., 2018. First documented record of *Cassiopea* cfr *andromeda* (Cnidaria: Scyphozoa) in Italian waters. *Cahiers de Biologie Marine* 59(2), 193–195.

Cillari T., Allegra A., Bosch-Belmar M., Castriota L., Falautano M., Milisenda G., Maggio T., Perzia P., Sinopoli M., 2021. Megabenthos Underwater Video (MUV): a new device to evaluate species distribution in hard-to-reach marine areas. *International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea)*, 199-203.

Cravotta C.A., 2002. *Use of Stable Isotopes of Carbon, Nitrogen, and Sulfur to Identify Sources of Nitrogen in Surface Waters in the Lower Susquehanna River Basin, Pennsylvania*. US Government Printing Office.

DeNiro M.J., Epstein S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 (5), 495-506.

-
- Djeghri N., Stibor H., Lebeau O., Pondaven P., 2020. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and C:N ratios as nutrition indicators of zooxanthellate jellyfishes: Insights from an experimental approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 522, 151257.
- Falautano M., Perzia P., Castriota L., 2020. First record of the Lessepsian fish *Parexocoetus mento* in Italian waters and GIS-based spatial and temporal distribution in Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 100(7), 1163–1169.
- Ferrier-Pagès C., Leal M.C., 2018. Stable isotopes as tracers of trophic interactions in marine mutualistic symbioses. *Ecology and evolution* 9, 723-740.
- Ferrier-Pagès C., Peirano A., Abbate M., Cocito S., Negri A., Rottier C., Riera P., Metalpa R., Reynaud S., 2011. Summer autotrophy and winter heterotrophy in the temperate symbiotic coral *Cladocora caespitosa*. *Limnology and Oceanography* 56, 1429–1438.
- Fry B., Sherr E.B., 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and fresh water ecosystems. *Contribution in Marine Science* 27, 13–47.
- Freeman C.J., Stoner E.W., Easson C.G., Matterson K.O., Baker D.M., 2016. Symbiont carbon and nitrogen assimilation in the *Cassiopea-Symbiodinium* mutualism. *Marine Ecology Progress Series* 544, 281–286.
- Freeman C.J., Stoner E.W., Easson C.G., Matterson K.O., Baker D.M., 2017. Variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values suggests a coupling of host and symbiont metabolism in the *Symbiodinium-Cassiopea* mutualism. *Marine Ecology Progress Series* 571, 245–251.
- Galil B. S., Spanier E., Ferguson, W.W., 1990. The Scyphomedusae of the Mediterranean coast of Israel, including two Lessepsian migrants new to the Mediterranean. *Zoologische mededelingen* 64(7), 95-105.
- Goñi R., Harmelin-Vivien M., Badalamenti F., Le Diréach L., Bernard G. edit., 2000. Introductory guide to methods for selected ecological studies in marine reserves. *Gis Posidonie*, 1-120.
- Goy J. Lakkis S.A.M.I., Zeidane R., 1989. Les Méduses de la Méditerranée orientale. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* 31, 299.
- Heins A., Glatzel T., Holst S., 2015. Revised descriptions of the nematocysts and the asexual reproduction modes of the scyphozoan jellyfish *Cassiopea andromeda* (Forsskål, 1775). *Zoomorphology* 134, 351–366.
- ISPRA, 2018. *Isotopi: dalla teoria alla pratica*. Quaderni – Laboratorio 2/2018, ISBN 978-88-448-0873-0.
- Kikinger R., 1992. *Cotylorhiza tuberculata* (Cnidaria: Scyphozoa)—Life history of a stationary population. *Marine ecology* 13, 333–362.

-
- Kremer P., 2005. Ingestion and elemental budgets for *Linuche unguiculata*, a scyphomedusa with zooxanthellae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85, 613–625.
- Kremer P., Costello J., Kremer J., Canino M., 1990. Significance of photosynthetic endosymbionts to the carbon budget of the scyphomedusa *Linuche unguiculata*. *Limnology and Oceanography* 35, 609–624.
- Lampert K.P., 2016. *Cassiopea* and its zooxanthellae. In *The Cnidaria, Past, Present and Future*, Springer: Cham, 415–423.
- Lasram B.F., Tomasini J.A., Guilhaumon F., Romdhane M.S., Do Chi T., Mouillot D., 2008. Ecological correlates of dispersal success of Lessepsian fishes. *Marine Ecology Progress Series* 363, 273–286.
- Layman C.A., Araujo M.S., Boucek R., Harrison E., Jud Z.R., Matich P., Hammerschlag-Peyer C.M., Rosenblatt A.E., Vaudo J.J., Yeager L.A., Post D., Bearhop S., 2012. Applying Stable Isotopes to Examine Food Web Structure: An Overview of Analytical Tools. *Biological Reviews* 87, 542–562.
- Maas O., 1903. *Die Scyphomedusen der Siboga-Expedition*. Buchhandlung und druckerei vormals EJ Brill.
- Maggio T., Allegra A., Bosch-Belmar M., Cillari T., Cuttitta A., Falautano M., Milisenda G., Nicosia A., Perzia P., Sinopoli M., Castriota L., 2019. Molecular identity of the non-indigenous species *Cassiopea* sp. from Palermo Harbour (central Mediterranean Sea). *Marine Biological Association of the United Kingdom* 99, 1765–1773.
- Mammone M., Ferrier-Pagés C., Lavorano S., Rizzo L., Piraino S., Rossi S., 2021. High photosynthetic plasticity may reinforce invasiveness of upside-down zooxanthellate jellyfish in Mediterranean coastal waters. *PLoS ONE* 16, e0248814.
- Mariottini G. L., Pane L., 2010. Mediterranean jellyfish venoms: A review on scyphomedusae. *Marine drugs* 8(4), 1122–1152.
- Matson E.A., Brinson M.M., 1990. Stable carbon isotopes and the C:N ratio in the estuaries of the Pamlico and Neuse Rivers, North Carolina. *Limnology and Oceanography* 35 (6), 1290–1300.
- McCloskey L.R., Muscatine L., Wilkerson F.P., 1994. Daily photosynthesis, respiration, and carbon budgets in a tropical marine jellyfish (*Mastigias* sp.). *Marine biology* 119, 13–22.
- Michener R., Lajtha K., 2007. *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. 2nd ed. Malden, MA, USA: Wiley-Blackwell Publishing Ltd. Print, ISBN:9781405126809, Online ISBN:9780470691854.
- Morandini A.C., Stampar S.N., Maronna M.M., Da Silveira F.L., 2017. All non-indigenous species were introduced recently? The case study of *Cassiopea* (Cnidaria: Scyphozoa) in Brazilian waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 97, 321–328.

-
- Muffett K. M., Aulgur J., Miglietta M. P., 2022. Impacts of light and food availability on early development of *Cassiopea* medusae. *Frontiers in Marine Science*, 1969.
- Muscatine L., Porter J.W., Kaplan I.R., 1989. Resource partitioning by reef corals as determined from stable isotope composition I. $\delta^{13}\text{C}$ of zooxanthellae and animal tissue versus depth. *Marine Biology* 100, 185–193.
- Muscatine, L., Kaplan, I.R. Resource partitioning by reef corals as determined from stable isotope composition II. $\delta^{15}\text{N}$ of zooxanthellae and animal tissue versus depth. *Pacific Science* 48, 304–312.
- Ohdera A.H., Abrams M.J., Ames C.L., Baker D.M., Suescún-Bolívar L.P., Collins A.G., Freeman C.J., Gamero-Mora E., Goulet T.L., Hofmann D.K., et al. 2018. Upside-down but headed in the right direction: Review of the highly versatile *Cassiopea xamachana* system. *Frontiers in Ecology and Evolution* 6, 1–15.
- Ounifi- Ben Amor K., Rifi M., Ghanem R., Draeif I., Zaouali J., Ben Souissi, J., 2015. Update of alien fauna and new records from Tunisian marine waters. *Mediterranean Marine Science* 17(1), 124–143.
- Öztürk B., İşinbilir M., 2010. An alien jellyfish *Rhopilema nomadica* and its impacts to the Eastern Mediterranean part of Turkey. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment* 16(2), 149-156.
- Perzia P., Spinelli A., Interdonato F., Castriota, L., 2022. Ecological indicators from spatial statistics to describe the Atlantic fangtooth moray distribution in the Mediterranean Sea. *Transactions in GIS*. <https://doi.org/10.1111/tgis.12981>.
- Post D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology* 83, 703–718.
- Reynaud S., Martinez P., Houlbrèque F., Billy I., Allemand D., Ferrier-Pagès C., 2009. Effect of light and feeding on the nitrogen isotopic composition of a zooxanthellate coral: Role of nitrogen recycling. *Marine Ecology Progress Series* 392, 103–110.
- Rubio M., 2017. Una medusa tropical, nueva amenaza para la biodiversidad del mar Menor. <https://elclickverde.com/reportajes/una-medusa-tropical-nueva-amenaza-para-la-biodiversidad-del-mar-menor>.
- Schäfer W., 1955. Eine Qualle aus dem Indischen Ozean in der Agais. *Natur Volk* 85, 241–245.
- Schembri, P.J., Deidun, A., Vella, P.J. First record of *Cassiopea andromeda* (Scyphozoa: Rhizostomeae: Cassiopeidae) from the central Mediterranean Sea. *Marine Biodiversity Records* 2010, 3, E6.
- Schiariti A., Morandini A.C., Jarms G., von Glehn Paes R., Franke S., Mianzan H., 2014. Asexual reproduction strategies and blooming potential in Scyphozoa. *Marine Ecology Progress Series* 510, 241-253.

Spanier E., 1989. Swarming of jellyfishes along the Mediterranean coast of Israel. *Israel Journal of Zoology* 36, 55-56.

Stoner E.W., Layman C.A., Yeager L.A., Hassett H.M., 2011. Effects of anthropogenic disturbance on the abundance and size of epibenthic jellyfish *Cassiopea* spp. *Marine Pollution Bulletin* 62, 1109–1114.

Sugiura, Y., 1969. On the life-history of Rhizostome medusae V. On the relation between zooxanthellae and the strobilation of *Cephea cephea*. *The bulletin of the Marine Biological Station of Asamushi* 13, 227–233.

Swart P.K., Saied A., Lamb K., 2005. Temporal and spatial variation in the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of coral tissue and zooxanthellae in *Montastraea faveolata* collected from the Florida reef tract. *Limnology and Oceanography* 50, 1049–1058.

Thé J., de Sousa Barroso H., Mammone M., Viana M., Melo C.S.B., Mies M., Banha T.N.S., Morandini A.C., Rossi S., de Oliveira Soares M., 2020. Aquaculture facilities promote populational stability throughout seasons and increase medusae size for the invasive jellyfish *Cassiopea andromeda*. *Marine environmental research* 162, 105161.

Thornton S.F., McManus J., 1994. Application of organic carbon and nitrogen stable isotopes and OC/TN ratios as a source indicator of OM provenance in estuarine system: evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 38, 219–233.

Todd B.D., Thornhill D.J., Fitt W.K., 2006. Patterns of inorganic phosphate uptake in *Cassiopea xamachana*: A bioindicator species. *Marine Pollution Bulletin* 52, 515–521.

Vander Zanden M.J., Rasmussen J.B., 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography* 46(8), 2061-2066.

Verde E.A., McCloskey L.R., 1998. Production, respiration, and photophysiology of the mangrove jellyfish *Cassiopea xamachana* symbiotic with zooxanthellae: Effect of jellyfish size and season. *Marine Ecology Progress Series* 168, 147–162.

Welsh D.T., Dunn R.J., Meziane T., 2009. Oxygen and nutrient dynamics of the upside down jellyfish (*Cassiopea* sp.) and its influence on benthic nutrient exchanges and primary production. *Hydrobiologia* 635, 351–362.

Fonti figure:

Figura 4: https://en.wikipedia.org/wiki/DNA_barcoding#/media/File:DNA_Barcoding.png

Figura 5: <https://www.eden.gov.uk/media/5478/biodiversity.jpg?width=323&height=314;&mode=max;> [https://it.wikipedia.org/wiki/DNA#/media/File:DNA_simple2_\(it\).svg;](https://it.wikipedia.org/wiki/DNA#/media/File:DNA_simple2_(it).svg) <https://www.slideshare.net/GullFatima/dna-barcoding-in-animals-71007134>

QUADERNI
RICERCA MARINA

18/2022