



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*

**Ciclo vitale della sclerattinia *Cladocora caespitosa*  
(Linnaeus, 1767) nel Mar Ligure**

Candidato: Sara Gotta

Numero di matricola: 4652650

Relatori:

Prof.ssa Marzia Bo

Dott.ssa Alessandra Cosma

Correlatore:

Sara Ferrando

**ANNO ACCADEMICO 2025-2026**

## RIASSUNTO

Il presente studio si propone di analizzare il ciclo riproduttivo della sclerattinia coloniale *Cladocora caespitosa* nel Mar Ligure, un'area in cui finora non erano disponibili dati. La specie è stata monitorata per un anno, da luglio 2024 a giugno 2025, mediante campionamenti effettuati a Borgio Verezzi (SV) su banchi di *Cladocora* a circa 3 m di profondità. I risultati ottenuti confermano che *C. caespitosa* è una specie gonocorica nel bacino nord-occidentale e che il suo ciclo annuale prevede un'unica fase di maturazione, con un picco tardo estivo concomitante con un massimo di temperatura. Gli oociti compaiono a maggio, raggiungendo un picco a luglio ( $471 \pm 58$ ) e persistendo fino a ottobre. Analogamente, le cisti spermatiche compaiono a maggio, con un massimo registrato a luglio ( $495 \pm 177$ ), ma risultano presenti fino a settembre. Per quanto riguarda le dimensioni, gli oociti raggiungono il diametro medio massimo nel mese di agosto ( $132 \pm 8 \mu\text{m}$ ), così come le cisti spermatiche, che nello stesso mese raggiungono un diametro medio massimo di  $106 \pm 2 \mu\text{m}$ . Nel complesso, la popolazione ligure di *C. caespitosa* presenta un'ampia finestra riproduttiva (circa 6 mesi), in linea con quanto riportato in letteratura per altre popolazioni mediterranee. Tale caratteristica riflette la capacità della specie di modulare parzialmente il proprio ciclo vitale in funzione delle condizioni ambientali in cui si trova. Questo lavoro apporta un contributo significativo alle conoscenze sul ciclo vitale di *C. caespitosa* nel Mar Ligure con importanti risvolti conservazionistici. Questa sclerattinia zooxantellata, semi-endemica del Mediterraneo, è infatti un importante bioindicatore dei cambiamenti climatici in atto nel bacino, in particolare nel Mar Ligure, poiché è soggetta a fenomeni di sbiancamento e di moria. Le conoscenze relative alla sua storia vitale sono di estrema importanza per comprendere la sua resilienza ed adottare misure di conservazione corrette di una specie oggi classificata in pericolo di estinzione nel Mediterraneo.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the reproductive cycle of the colonial scleractinian *Cladocora caespitosa* in the Ligurian Sea, an area for which no data were previously available. The species was monitored for one year, from July 2024 to June 2025, through sampling in Borgio Verezzi (SV) on *Cladocora* grounds at approximately 3 m depth. The results obtained confirm that *C. caespitosa* is a gonochoric species in the

NW sector and that its annual cycle comprises a single maturation phase, with a late-summer peak concomitant with the maximum temperature. Oocytes appear in May, peak in July ( $471 \pm 58$ ), and persist until October. Similarly, sperm cysts appear in May, with a maximum recorded in July ( $495 \pm 177$ ), but are present until September. Regarding size, oocytes reach their maximum mean diameter in August ( $132 \pm 8 \mu\text{m}$ ), as do sperm cysts, which reach a maximum mean diameter of  $106 \pm 2 \mu\text{m}$  in the same month. Overall, the Ligurian population of *C. caespitosa* has a wide reproductive window (approximately 6 months), in line with previous reports for other Mediterranean populations. This characteristic reflects the species' ability to partially modulate its life cycle in response to environmental conditions. This work significantly contributes to the knowledge of the life cycle of *C. caespitosa* in the Ligurian Sea, with important conservation implications. This zooxanthellate scleractinian, semi-endemic to the Mediterranean Sea, is, in fact, an important bioindicator of climate change underway in the basin, particularly in the Ligurian Sea, as it is subject to bleaching and mass mortality events. Knowledge of its life history is of the utmost importance to understand its resilience and for the adoption of appropriate conservation measures for a species currently classified as endangered in the Mediterranean basin.

**Parole chiave:** *Cladocora caespitosa*, riproduzione, Mar Ligure

**Keywords:** *Cladocora caespitosa*, reproduction, Ligurian Sea

# Sommario

1. Introduzione .....	4
1.1 Descrizione e distribuzione geografica della specie .....	4
1.2 Storia evolutiva della specie .....	7
1.3 Morfologia e struttura.....	9
1.4 Habitat, ecologia e minacce.....	12
1.5 Biodiversità associata .....	15
1.6 Ciclo riproduttivo .....	17
1.8 Lo studio dei cicli vitali .....	20
2. Scopo della ricerca.....	22
3. Materiali e Metodi .....	23
3.1 Sito di campionamento .....	23
3.2 Analisi istologiche .....	24
3.3 Analisi statistiche .....	28
4. Risultati .....	29
4.1 Fertilità .....	29
4.2 Numero e diametro di cisti spermatiche e oociti.....	31
4.3 Pattern ambientali associati .....	37
5. Discussione.....	40
6. Conclusione .....	44
Bibliografia .....	45

# 1. Introduzione

## 1.1 Descrizione e distribuzione geografica della specie

Il phylum Cnidaria comprende circa 12.608 specie di invertebrati acquatici, prevalentemente marini, tra cui coralli, anemoni di mare, meduse e idrozoi (Technau & Steele, 2011; Ferrier-Pages, 2014), caratterizzati da simmetria radiale e da cellule urticanti specializzate, gli cnidociti, utilizzati per l'alimentazione e la difesa (Ferrier-Pages, 2014). Tra gli cnidari, il subphylum Anthozoa comprende circa 7.200 specie (organismi sessili con ciclo vitale privo della fase medusoide) divise relativamente equamente in due classi, Octocorallia e Hexacorallia. Gli esacoralli comprendono antozoi caratterizzati da forme solitarie o coloniali con polipi cospicui dotati di 6 o multipli di sei tentacoli semplici. Tra gli esacoralli, quelli caratterizzati da uno scheletro carbonatico sono raggruppati nell'ordine Scleractinia, che costituisce il taxon in cui si colloca *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) (Technau & Steele, 2011).

*Cladocora caespitosa* (Fig. 1), sclerattinia semi-endemica del Mar Mediterraneo, è riconosciuta come uno dei principali organismi biocostruttori di questo bacino, capace di produrre habitat strutturati dall'infralitorale al circalitorale superiore (Zibrowius, 1980). Studi tassonomici collocano la specie nella famiglia Cladocoridae (Henning, 1999).

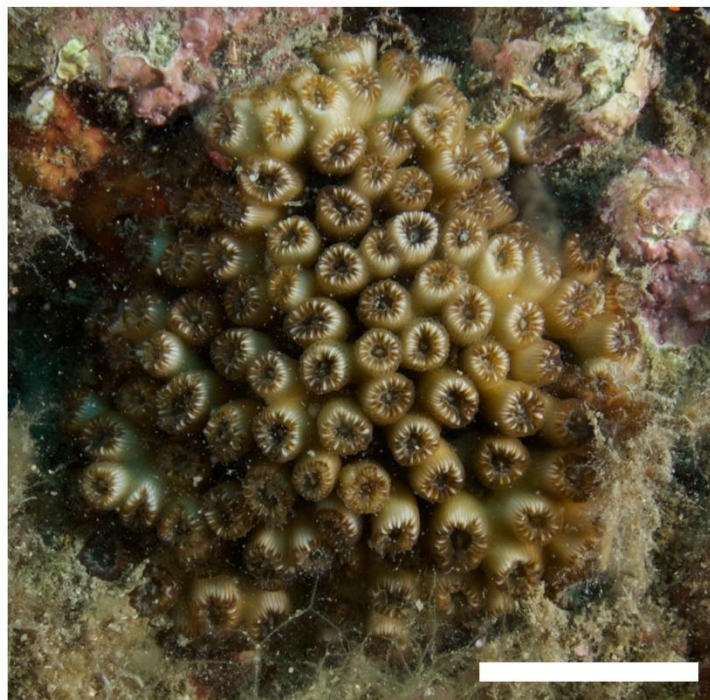


Fig.1 - Colonia di *Cladocora caespitosa* (scala: 5 cm).

*Cladocora caespitosa* è tipicamente distribuita nella zona eufotica, generalmente tra 5 e 40 m di profondità, con segnalazioni occasionali fino a 50 m (RAC/SPA, 2015; IUCN, 2015), laddove la disponibilità di luce consente alle zooxantelle simbionti (*Symbiodinium* spp.) presenti nei tessuti del corallo di svolgere la fotosintesi. Questa relazione mutualistica garantisce un apporto trofico essenziale alla specie, mentre le alghe beneficiano di protezione e dell'accesso ai composti metabolici prodotti dall'ospite (LaJeunesse et al., 2012; Kersting et al., 2017a). *Cladocora caespitosa* mostra una marcata plasticità ecologica, essendo in grado di colonizzare sia acque torbide che limpide, su fondali rocciosi, nudi o insabbiati, e di tollerare condizioni idrodinamiche variabili, da ambienti riparati a zone caratterizzate da correnti intense (Zibrowius, 1982; Morri et al., 1994; Kuhlmann, 1996; Peirano et al., 2005; Kružić & Benković, 2007; Kersting & Linares, 2012; Chimienti et al., 2025, 2026). Dal punto di vista termico, la crescita ottimale di *C. caespitosa* richiede temperature non inferiori a 15-16 °C, mentre esposizioni prolungate a temperature superiori a 24 °C possono già indurre stress fisiologico e necrosi, suggerendo che la specie vive vicino al suo limite superiore di tolleranza durante le estati più calde (Rodolfo-Metalpa et al., 2005; Montagna et al., 2007). Alcuni esperimenti indicano che temperature di circa 29 °C e oltre causano significative riduzioni dell'attività fotosintetica e della densità delle zooxantelle simbionti (Rodolfo-Metalpa et al., 2005; Kersting et al., 2013; Hadjioannou et al., 2019), e che picchi termici fino a 31 °C sono utilizzati come profili sub-letali in studi sperimentali di stress termico, con evidenze di *bleaching* e morte (Kersting et al., 2015; Kersting et al., 2017a; Hadjioannou et al., 2019). Questi risultati evidenziano come i limiti massimi di temperatura concorrano a definire la distribuzione stagionale della specie e la sua suscettibilità agli eventi di riscaldamento estremo, in funzione sia delle condizioni locali sia della durata dell'esposizione termica.

*Cladocora caespitosa* è distribuita in tutto il bacino del Mediterraneo (Fig. 2), comprendendo i settori occidentale, centrale e orientale, ed è presente anche in alcune aree adiacenti all'Oceano Atlantico. La specie è stata segnalata lungo le coste della Penisola Iberica, della Francia meridionale, dell'Italia e delle regioni adriatiche, ioniche ed egee, nonché lungo le coste nordafricane, con un'estensione che raggiunge il Mar di Marmara e limitate aree atlantiche, quali Olhão (Portogallo) e Agadir (Marocco) (Zibrowius, 1980; Zibrowius, 1983; Schiller, 1993; Kružić & Požar-Domac, 2007; Kersting et al., 2015; Chefaoui et al., 2017; Macic et al., 2019). La morfologia delle colonie e degli habitat da loro strutturati può variare

significativamente: letti e banchi differiscono per altezza, densità e struttura fisica, riflettendo la plasticità ecologica della specie alle condizioni locali (Kružić & Benković, 2008; Chefaoui et al., 2017; Ingrosso et al., 2018). Nonostante l'ampia distribuzione geografica, le colonie risultano generalmente disperse e si organizzano biocostruzioni ben sviluppate solo in un numero limitato di località, in forma di letti (costituiti da numerose colonie subsferiche distinte vicine, con diametri di circa 10-30 cm) o banchi (formazioni biogeniche di grandi dimensioni, che possono raggiungere diverse decine di centimetri di altezza e coprire superfici di vari metri quadrati) (Peirano et al., 1999; Macic et al., 2019; Kersting et al., 2023). Banchi e letti viventi di *C. caespitosa* sono stati documentati in Tunisia (Zibrowius, 1980), nel Golfo di Atalanti e in alcune aree del Mar Egeo (Laborel, 1987), nel Golfo di La Spezia e lungo le coste liguri (Balduzzi et al., 1994; Morri et al., 2000; Peirano et al., 2005; Rodolfo-Metalpa et al., 2005), in Sardegna (Bianchi et al., 2010), nell'area marina protetta (AMP) delle Isole Tremiti (Adriatico sud) (Chimienti et al., 2025, 2026) e in altre zone confinanti col Mar Adriatico, in particolare nel Parco Nazionale di Mljet e in altre località delle coste croate e slovene, inclusa la Baia di Pirano, e nel Montenegro (Schiller, 1993; Kružić & Požar-Domac, 2002; Kružić & Benković, 2008; Macic et al., 2019; Chimienti et al., 2025). In particolare, nelle Isole Tremiti sono stati osservati 3 diverse formazioni di *C. caespitosa*: i letti, costituiti da popolazioni dense non attaccate tra loro che si formano sia su fondali incoerenti che duri (Laborel, 1961; Chimienti et al., 2025; Kružić et al., 2025; Kersting et al., 2017b), le distese (grounds), cioè aggregati di colonie su fondali rocciosi (Kersting et al., 2023), ed infine i reef, in cui numerose grandi colonie, spesso a contatto tra loro o con poco spazio tra l'una e l'altra, creano grosse strutture carbonatiche (Peirano et al., 1994; Kružić & Benković, 2008); queste tre formazioni non sempre appaiono isolate, ma talvolta rappresentano un continuum di formazioni diverse distribuite per profondità oppure mescolate tra loro (Chimienti et al., 2026). Ulteriori popolazioni strutturate sono state segnalate nel Mediterraneo nord-occidentale, dalle Isole Columbretes alle Isole Medes e a Cap de Creus (Kersting & Linares, 2012), nel Mediterraneo orientale lungo le coste di Cipro (Jiménez et al., 2016), nel Mar di Marmara e nel Mar Egeo settentrionale, e lungo le coste della Turchia (Öztürk, 2004; Özalp & Alparslan, 2011). Banchi estesi sono stati inoltre individuati nelle Isole Baleari, in particolare a Minorca (Fayos, pers. comm., 2014), a Maiorca (Cap Blanc; Aguilar, pers. comm., 2014), a Banyuls-sur-Mer in Francia (Romans, pers. comm., 2014) (Casado de Amezúa et al., 2015), a Menorca (MBR,

Menorca Biosphere Reserve) (Kersting et al., 2023), e a Formentera (Kersting et al., 2017a; Pons-Fita et al., 2020). Alcune colonie isolate sono state osservate anche lungo le coste del Mediterraneo orientale e meridionale, tra cui il Libano, Israele settentrionale, la Libia (Baia di Bomba) e l'Egitto (Bitar & Zibrowius, 1997; Badalamenti et al., 2011; Pitacco et al., 2014). In linea generale, le popolazioni più dense e strutturate si concentrano nel Mediterraneo occidentale e centrale, in particolare nel Mar Ligure, nelle Isole Baleari e lungo le coste adriatiche, mentre nel Mediterraneo orientale la specie tende a presentarsi con colonie più isolate e sparse (Peirano et al., 1999; Kružić & Benković, 2008; Kersting & Linares, 2012). Recentemente, nelle acque di Formentera è stata inoltre descritta una nuova tipologia di formazione di *C. caespitosa*, costituita da noduli di coralliti mobili (*coraliths*), che rappresentano un'ulteriore espressione della plasticità morfologica ed ecologica della specie (Kersting et al., 2017a). Tale distribuzione geografica riflette sia la storia biogeografica della specie sia la forte influenza di fattori ambientali locali, tra cui la temperatura, la trasparenza delle acque e la disponibilità di substrati idonei.

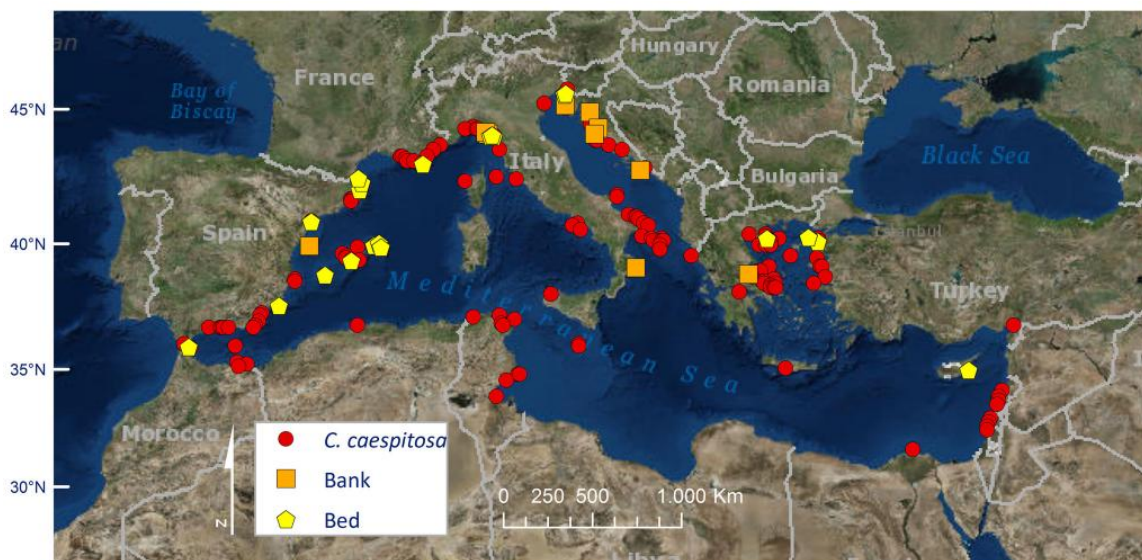


Fig.2 - Mappa della distribuzione di *Cladocora caespitosa* nel Mar Mediterraneo e delle due tipologie di strutture: letti e banchi (Chefaoui et al., 2017).

## 1.2 Storia evolutiva della specie

Gli cnidari rappresentano uno dei phyla più antichi tra i Metazoi, con testimonianze fossili che, secondo stime molecolari e paleontologiche, indicano un'origine di almeno 740 milioni di anni e una diversificazione dei principali taxa già prima del Cambriano (Cartwright et al., 2007; Stolarski et al., 2011). L'ordine

Scleractinia emerge improvvisamente nel record fossile nel Triassico medio-tardo (circa 240 Ma), ma analisi filogenetiche con orologi molecolari suggeriscono che linee ancestrali profonde, come le famiglie Gardineriidae e Micrabaciidae, si siano separate ben prima della divergenza dei principali cladi, spingendo l'origine evolutiva dell'ordine nel Paleozoico (Stolarski et al., 2011).

*Cladocora caespitosa* è una sclerattinia ermatipica temperata che, grazie alla sua lunga persistenza nel registro paleontologico mediterraneo, è considerata il "fossile vivente" del bacino (Aguirre & Jiménez, 1998; Peirano et al., 2004). La specie è parte della storia di questa regione ed è l'unica tra le madrepore mediterranee ad aver formato nel bacino, sin dal Pliocene, strutture monospecifiche simili a reef (Aguirre & Jiménez, 1998; Peirano et al., 1994). I più antichi record di banchi fossilizzati di *C. caespitosa* provengono dai depositi marini poco profondi dell'Almería-Níjar Basin (sud-est della Spagna) risalenti al tardo Pliocene (Aguirre & Jiménez, 1998). Nel Quaternario la specie divenne molto comune in alcuni bacini peri-mediterranei: sono stati descritti banchi fossili dell'Olocene e di varie fasi del Pleistocene in diverse aree del Mediterraneo (Cuerda et al., 1986; Bernasconi et al., 1997). Laborel (1987) segnalò l'esistenza di estesi banchi morti di *C. caespitosa*, datati tra 2.500 e 3.000 anni fa, lungo le coste della Tunisia e della Corsica, indicando la persistenza di grandi biocostruzioni anche nel periodo tardo-olocenico. In Italia, depositi fossili di *C. caespitosa* sono ben documentati; ad esempio, un giacimento fossile di *Cladocora caespitosa* si trova oggi nel Golfo di Taranto (Mar Piccolo) ed è datato circa 125.000 anni fa (Amorosi et al., 2014). L'associazione simbiotica con le alghe fotosintetiche, avvenuta alla fine del Triassico, ha giocato un ruolo chiave nell'espansione di questa e di altre specie ermatipiche nel corso del Mesozoico e del Cenozoico, consentendo lo sviluppo di biocostruzioni carbonatiche estese che coprivano chilometri di costa (Stanley Jr., 1981; Peirano et al., 2004; Kersting et al., 2023). Le biocostruzioni fossili di *C. caespitosa*, grazie alla loro persistenza e ai pattern di crescita registrati negli scheletri, sono utilizzate come proxy paleoambientali per ricostruire variazioni climatiche passate, evidenziando fasi climatiche più calde e cambiamenti ambientali su scale temporali plurisecolari e millenarie (Peirano et al., 2004).

### 1.3 Morfologia e struttura

Gli cnidari costituiscono un phylum di invertebrati prevalentemente acquatici, caratterizzati da una notevole efficienza predatoria (Dumont, 2009; Nitschke et al., 2022). I coralli, appartenenti al subphylum Anthozoa, presentano esclusivamente la forma di polipo, essendo privi dello stadio di medusa tipico del subphylum Medusozoa. Il polipo degli antozoi è dotato di una cavità gastrovascolare centrale (celenteron), accessibile attraverso un'unica apertura che funge sia da bocca sia da ano, attorno alla quale sono disposti i tentacoli. I tentacoli sono rivestiti di cnidociti, cellule specializzate che contengono nematocisti (o cnidocisti), organuli urticanti utilizzati sia per la cattura delle prede sia per la difesa dai predatori. Le nematocisti, attivate da stimoli meccanici o chimici, rilasciano rapidamente un filamento contenente sostanze tossiche in grado di immobilizzare o uccidere l'organismo bersaglio (Dumont, 2009) (Fig. 3).

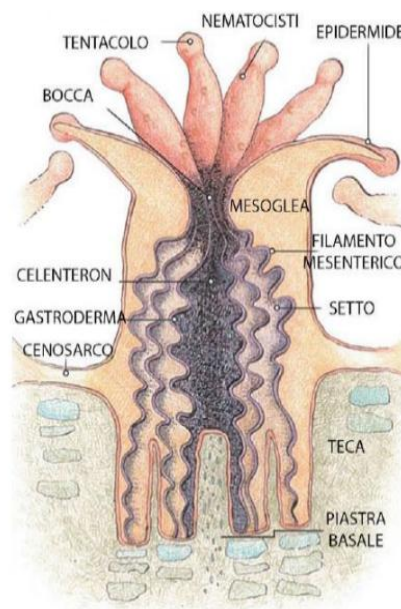


Fig.3 - Anatomia di un polipo di sclerattinia (A. Vigo, 2020).

Si tratta di organismi diblastici, organizzati secondo una simmetria radiale. Il loro corpo è costituito da due strati cellulari principali, l'epidermide (di origine ectodermica) e il gastroderma (di origine endodermica), separati da una matrice extracellulare gelatinosa, detta mesoglea, che svolge la funzione di sostegno strutturale. (Cabej, 2020) (Fig.4). La cavità gastrovascolare è concamerata dai mesenteri, che aumentano la superficie interna disponibile per la digestione,

contribuiscono al sostegno strutturale dell'organismo e svolgono funzioni riproduttive (Fig. 4). La cavità gastrovascolare rappresenta il compartimento funzionale deputato alla digestione. Nelle sclerattinie coloniali, come *C. caespitosa*, ciascun polipo mantiene una propria cavità gastrovascolare; tuttavia, le cavità dei singoli polipi sono interconnesse da canali gastrovascolari che consentono la distribuzione dei nutrienti all'interno della colonia (Li et al., 2023). La digestione avviene inizialmente in modo extracellulare, mediante il rilascio di enzimi digestivi che degradano le prede di grandi dimensioni, seguita da una fase intracellulare all'interno delle cellule del gastroderma (Cabej, 2020). Nelle madrepore, inoltre, il polipo è sostenuto da uno scheletro calcareo (il corallite), secreto dall'epidermide basale, che si fonde nel coenosteum nelle forme coloniali, costituendo la base strutturale delle colonie stesse e, più in grande, delle formazioni biogeniche. La crescita media di *C. caespitosa* è compresa tra  $1.36 \pm 0.58$  e  $4.42 \pm 1.61$  mm all'anno (Peirano et al., 1999).

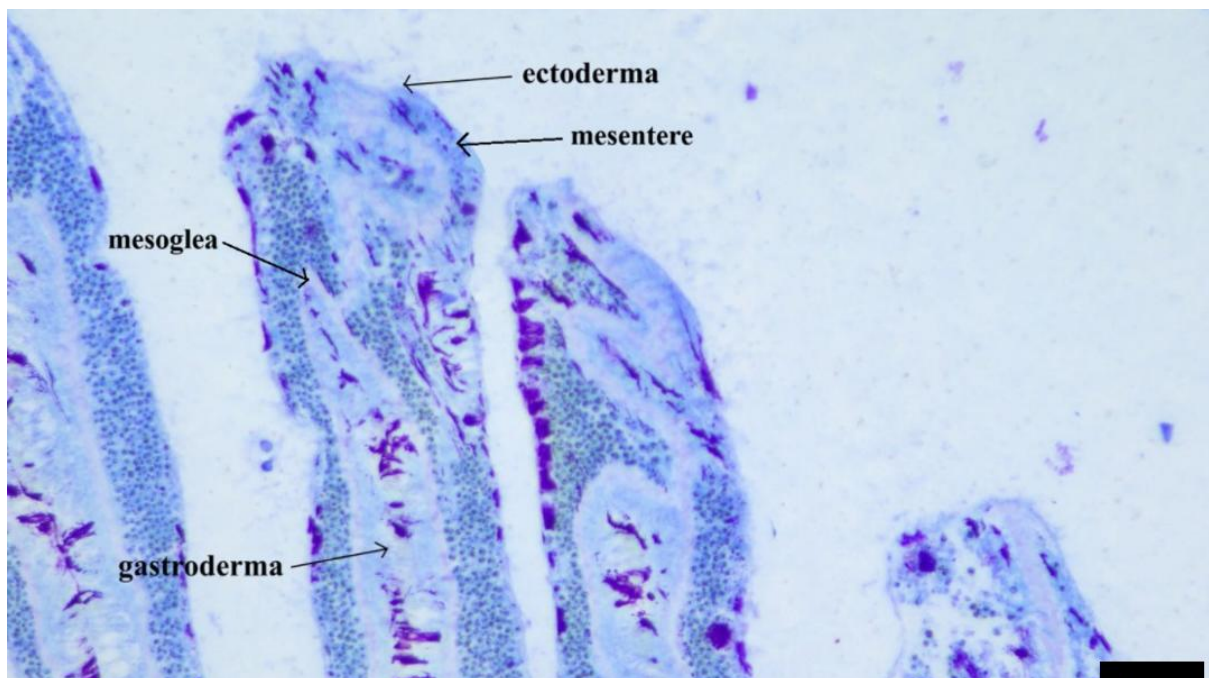


Fig.4 - Sezione di *C. caespitosa* (scala: 0,1 mm).

*Cladocora caespitosa* è una sclerattinia zooxantellata dal cenchima di colore giallo-bruno, che forma colonie generalmente a cuscino, costituite da coralliti tubulari. Le colonie possono presentare forme diverse, che riflettono strategie ecologiche diverse (Ingrosso et al., 2018). In alcuni casi, le colonie crescono in forma compatta e fusa, dando origine a strutture continue di tipo reef-like ("forme a banco"),

caratterizzate da elevata densità e capaci di fornire rifugio e risorse trofiche a numerosi organismi associati (Kersting et al., 2017a). In altri contesti, le colonie risultano più isolate o meno densamente aggregate (“forme a letto” o patch), contribuendo comunque alla creazione di microhabitat complessi per la fauna bentonica di piccole dimensioni (Kersting et al., 2017a; Fig. 5).

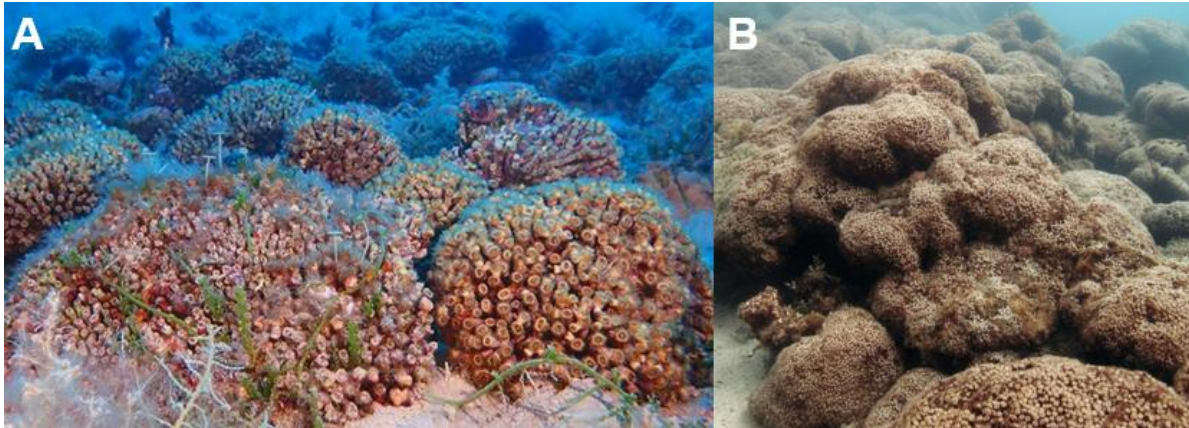


Fig.5 - (A) letti di *C. caespitosa* (Chimienti et al., 2025); (B) banchi di *C. caespitosa* nel Parco Nazionale di Mljet (Kružić et al., 2003).

Dal punto di vista scheletrico, ogni polipo è alloggiato all'interno di un corallite calcareo costituito da carbonato di calcio sotto forma di aragonite. La parte apicale di ciascun corallite, o calice, è suddivisa in sclerosetti radiali che si estendono verso il centro, dove confluiscono a formare la columella (Zibrowius 1980, Montagna et al., 2007). Le colonie, in particolare quelle a cuscino, possono raggiungere i 50 cm di diametro. I coralliti possono essere corti o superare i 10 cm di altezza; inoltre, quelli laterali tendono ad incurvarsi e a porsi parallelamente ai principali (Fig. 6A). Mediante osservazione allo stereomicroscopio è possibile distinguere chiaramente la bocca, i tentacoli retratti e l'organizzazione interna degli sclerosetti, evidenziando i principali elementi morfologici del polipo (Fig. 6B). I coralliti hanno una sezione circolare, ovale o con contorni irregolari quando sono molto serrati, e generalmente possiedono un diametro di circa 4-5 mm. Il numero di setti presenti all'interno di ciascun corallite è variabile: tendenzialmente è compreso tra 34 e 36, ma può arrivare anche a 40. Questi setti sono disposti in quattro ordini, alternati regolarmente, ma difficilmente distinguibili. Spesso i setti del primo ordine, più larghi e più lunghi, si uniscono alla columella centrale. A volte, è presente una corona di pali disposti attorno alla

columella, la quale risulta ben distinta e formata da piccole papille (Fig. 6C). I polipi sono giallastri, bruni o verdastri, con gli apici dei tentacoli bianchi (Zibrowius, 1980; Hofrichter, 2005; Trainito & Baldaconi, 2016; Betti, 2017). Questi elementi rappresentano importanti caratteri morfologici e tassonomici utilizzati per l'identificazione tassonomica di questa sclerattinia.

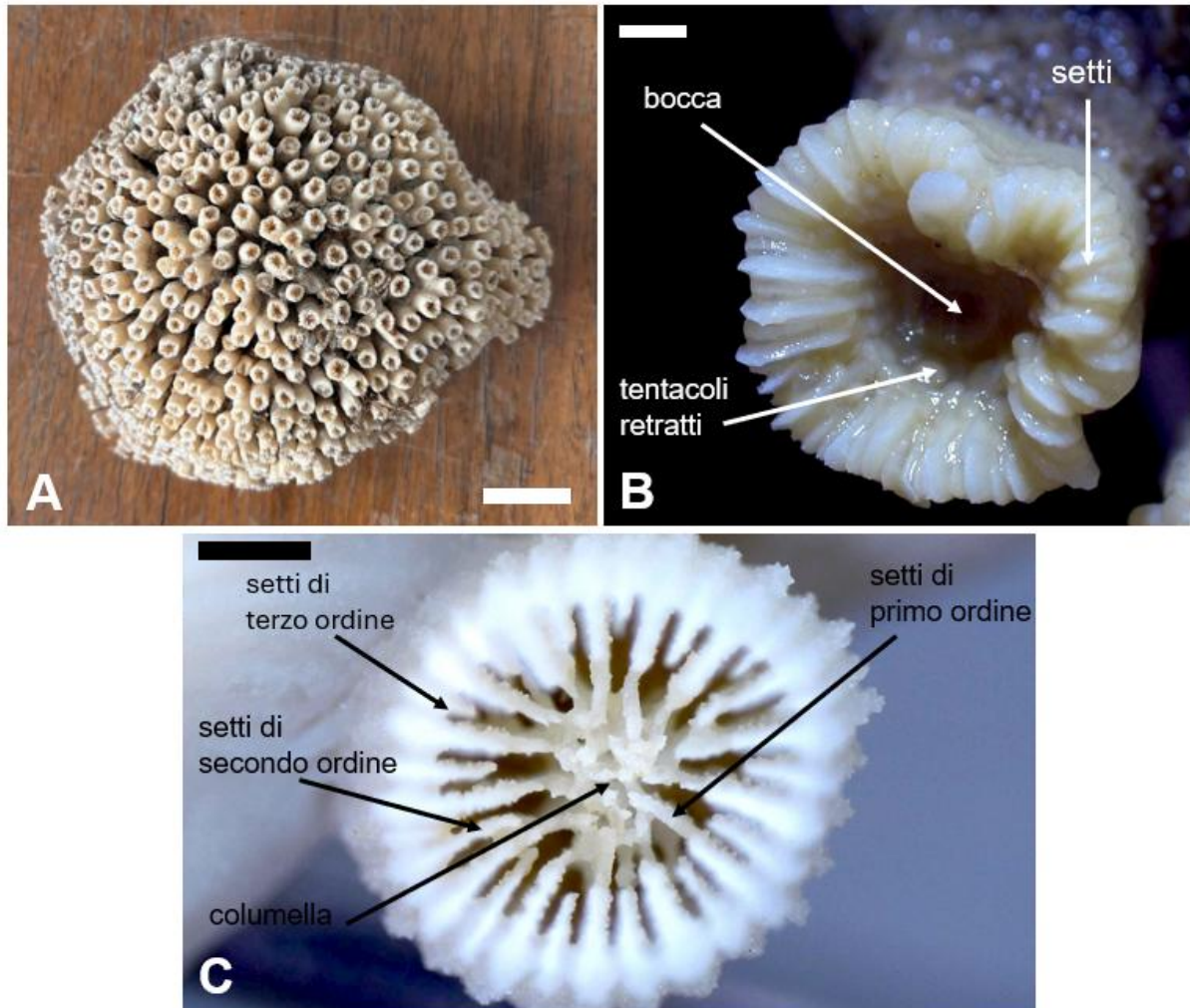


Fig.6 - (A) colonia di *Cladocora caespitosa* (scala: 2 cm); (B) corallite in cui sono indicati i setti, la bocca e i tentacoli retratti (scala: 1 mm); (C) corallite senza tessuto in cui sono indicati i setti di primo, secondo e terzo ordine e la columella (scala: 1 mm).

#### 1.4 Habitat, ecologia e minacce

*Cladocora caespitosa* riesce a vivere in un'ampia varietà di habitat, da comunità fotofile poco profonde fino ad ambienti circalitorali superficiali (Peirano et al., 1994). Si stabilisce inoltre con successo in località con elevata copertura algale, prosperando e stabilendo relazioni neutre e positive; un recente studio condotto a Formentera ha dimostrato che *C. caespitosa* è in grado di creare dense popolazioni all'interno delle

comunità algali di *Cystoseira* (Fig. 7) a profondità comprese tra 5 e 13 m, evidenziando la sua capacità di colonizzare habitat complessi e la sua plasticità ecologica (Kersting et al., 2017a). In alcune località del Mar Adriatico e del Mar di Marmara, invece, è stato osservato che la presenza di alghe invasive (*Caulerpa racemosa*) può influenzare negativamente lo sviluppo e la crescita della madrepora (Kružić & Požar-Domac, 2007).



Fig.7 - *Cladocora caespitosa* assieme a *Cystoseira spinosa* a S'Espardelló (Formentera) (scala: 5 cm) (Kersting et al., 2017a).

*Cladocora caespitosa*, oltre a essere influenzata dalla presenza di alghe invasive (Kružić, 2007; Kersting et al., 2014a, 2015) e dal cambiamento climatico (Laborel, 1987), è minacciata anche da fattori antropici (Chefaoui et al., 2017). Sono stati rinvenuti rifiuti in quantità abbondanti in alcune aree portuali altamente antropizzate, come a Port de Maó, e reti da pesca aggrovigliate attorno alle colonie (Kersting et al., 2023). Durante una spedizione del 2014 nel Golfo di Gabes, in Tunisia (El Kateb et al., 2016), è stato osservato che l'inquinamento causato dall'industria del fosfato ha determinato la moria di numerose colonie di *C. caespitosa* entro 20 km dall'area di scarico dei rifiuti, legato anche all'aumento della torbidità dell'acqua, che provoca una riduzione drastica della penetrazione della radiazione solare, con ripercussioni sulla crescita della madrepora (Veron, 2000).

*Cladocora caespitosa* vive entro uno specifico intervallo di tolleranza termica (definito "limite termico") e mostra una marcata sensibilità alle variazioni climatiche.

Pur essendo in grado di sopportare oscillazioni abiotiche stagionali, quali la temperatura e l'intensità luminosa, la sua capacità di adattamento è strettamente correlata alla modulazione del bilancio tra autotrofia ed eterotrofia (mixotrofia), in funzione delle condizioni di luce ambientali (Peirano et al., 1999; Hoogenboom et al., 2010). Infatti, il corallo predilige un'alimentazione eterotrofa in condizioni di scarsa fotosintesi, sia quando si trova in un ambiente scarsamente illuminato, sia quando perde i dinoflagellati simbiotici (*Symbiodinium* spp.) dai suoi tessuti (Hoogenboom et al., 2010). Studi recenti hanno messo in evidenza le alterazioni istologiche e fisiologiche indotte dall'aumento della temperatura in *C. caespitosa*, delineando in modo più approfondito le risposte di questa specie a condizioni di stress termico (Ankon et al., 2025). Gli effetti dello stress termico in *C. caespitosa* sono stati analizzati confrontando campioni mantenuti in condizioni ambientali naturali (10 °C) con campioni sottoposti a un incremento termico controllato (20 °C e successivamente 30 °C). A 20 °C l'organizzazione cellulare risultava ancora complessivamente compatta e preservata, pur evidenziando lievi alterazioni negli strati più superficiali del tessuto. Al contrario, a 30 °C sono stati osservati danni marcati e diffusi a tutti i livelli tissutali, accompagnati da una significativa riduzione dell'attività metabolica (Ankon et al., 2025). Le alterazioni strutturali e metaboliche osservate a seguito dell'incremento termico si riflettono anche sui processi funzionali dell'organismo, in particolare sulla calcificazione. Variazioni della temperatura dell'acqua, così come l'aumento dei livelli atmosferici di CO<sub>2</sub>, esercitano infatti un impatto significativo sui tassi di deposizione del carbonato di calcio (Kleypas et al., 1999). Inoltre, il progressivo riscaldamento delle acque marine può compromettere ulteriormente l'efficienza calcificante, alterando l'equilibrio del sistema carbonatico e la disponibilità di ioni carbonato (Rodolfo-Metalpa et al., 2005; Garrabou et al., 2009; Kersting et al., 2013; Kružić et al., 2014; Jiménez et al., 2016). Il riscaldamento dell'acqua rappresenta pertanto un fattore determinante nel declino delle popolazioni di *C. caespitosa*, evidenziandone la limitata capacità di recupero in seguito a eventi di stress prolungati (anche definiti *Heat Waves*), in particolare nel periodo tardo-estivo concomitante con l'evento *di spawning* riproduttivo (Rodolfo-Metalpa et al., 2005; Kersting et al., 2014b). L'insieme di tali alterazioni può culminare nel fenomeno del *bleaching*, ovvero nella perdita dei simbionti fotosintetici da parte della madrepora (Taylor, 2005), con conseguente caratteristico sbiancamento dei tessuti (Brown, 1997). Un evento significativo si è verificato nell'estate del 2003 a Veliko Jezero (Croazia), dove *C. caespitosa* è stata esposta per

46 giorni a temperature superiori a 29 °C; in queste condizioni, la maggior parte delle colonie ha manifestato uno sbiancamento parziale, mentre una parte della popolazione è andata incontro a mortalità (Kružić et al., 2014). Ulteriori episodi rilevanti sono stati documentati nel 2012 a Cipro: nel mese di settembre circa il 24% delle colonie di *C. caespitosa* è risultato interessato da sbiancamento e necrosi (Aigner, 2002), mentre nel mese di ottobre il 26% delle colonie ha continuato a manifestare segni di *bleaching*, con progressivo deterioramento dei tessuti (Jimenez et al., 2016). Mortalità estese di questa specie sono state rilevate durante la moria del 1999 in Mar Ligure (Cerrano et al., 2000).

Nel complesso, *C. caespitosa* è considerata un ottimo indicatore di cambiamenti climatici (Morri et al., 2001; Bianchi & Morri, 2003; Bianchi, 2007; Rodolfp-Metalpa et al., 2006; Azzola et al., 2022).

## 1.5 Biodiversità associata

Le colonie di *Cladocora caespitosa* formano ambienti tridimensionali complessi capaci di generare microhabitat idonei a ospitare numerose specie, sia bentoniche sia demersali, contribuendo in modo significativo al mantenimento della biodiversità locale. All'interno di questi ambienti, gli organismi associati possono adottare strategie ecologiche diverse: alcune specie utilizzano l'habitat come rifugio o come sito di riproduzione e deposizione delle uova, mentre altre ne traggono beneficio a fini trofici (Lipej et al., 2024). Secondo uno studio condotto nei pressi di Gökçeada Island (Mar Egeo settentrionale), la macrofauna associata a *Cladocora caespitosa* è composta prevalentemente da vermi policheti, in particolare serpulidi, che rappresentano il 61% delle specie rilevate (Barraud & Öztürk, 2022). Seguono i crostacei (circa il 9%), tra cui gamberi e piccoli granchi, ai quali la madrepora fornisce substrato e protezione. Sono inoltre presenti spugne, briozoi, molluschi bivalvi, tra cui *Hiatella artica* (Linnaeus, 1767) e *Rocellaria dubia* (Pennant, 1777), e ricci di mare (16%), come *Psammechinus microtuberculatus* (Blainville, 1825; Fig. 8A), segnalato in associazione con *C. caespitosa* anche nel Golfo di Trieste (Pitacco et al., 2014). Su un totale di 68 taxa identificati, i seguenti sono i phyla più rappresentati: Annelida (inclusi i sipunculidi), Crustacea, Echinodermata, Mollusca, Nemertea e Pycnogonida (Barraud e Öztürk, 2022). Dall'analisi quantitativa riportata da Barraud e Öztürk (2022) sono stati complessivamente censiti, analizzando 12 colonie singole, in termini di

abbondanza, 1268 individui associati a *Cladocora caespitosa*. Di questi, il 61% appartiene agli anellidi; tra le specie più abbondanti sono state registrate *Syllis gracilis* Grube, 1840 (8%) (Fig. 8B), *Serpula vermicularis* Linnaeus, 1767 (4%) (Fig. 8C) e *Vermiliopsis striaticeps* (Grube, 1862) (4%) (Fig. 8D). I molluschi rappresentano il 16% degli individui osservati, mentre i crostacei costituiscono il 9%, tra cui *Alpheus dentipes* Guérin, 1832 (Fig. 8E) risulta tra le specie più frequenti. Gli echinodermi, infine, contribuiscono per meno del 14%, con *Ophiothrix fragilis* (Abildgaard in O.F. Müller, 1789) (Fig. 8F) frequentemente rilevato (Barraud & Öztürk, 2022). Tra le specie ittiche comunemente associate a *Cladocora caespitosa* sono state segnalate diverse specie erbivore, che contribuiscono al controllo della crescita algale sulla superficie della madrepora (Shaver & Silliman, 2017). Sono inoltre presenti bavose (Blenniidae) e ghiozzi (Gobiidae), entrambi definiti come criptobentonici residenti. Appartengono alla comunità associata anche specie delle famiglie Serranidae, Sparidae, Scorpaenidae e Labridae, per le quali le colonie di *C. caespitosa* fungono da nursery e come area di foraggiamento (Lipej et al., 2024). La componente ittica, nel complesso, è dominata da *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758) (Fig. 8G), *Coris julis* (Linnaeus, 1758) (Fig. 8H) e *Serranus scriba* (Linnaeus, 1758) (Fig. 8I) (Lipej et al., 2024).

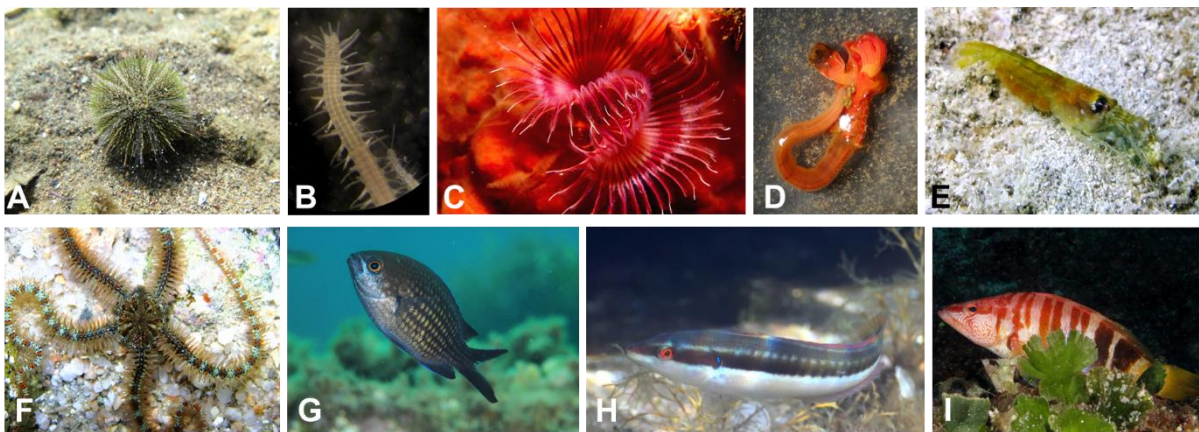


Fig.8 - (A) *Psammechinus microtuberculatus* (Roberto Pillon); (B) *Syllis gracilis* (Joachim Langeneck); (C) *Serpula vermicularis* (Parent Géry); (D) *Vermiliopsis striaticeps* (Joachim Lageneck); (E) *Alpheus dentipes* (Roberto Pillon); (F) *Ophiothrix fragilis* (Roberto Pillon); (G) *Chromis chromis* (Xavi Salvador Costa); (H) *Coris julis* (Benoit Chartrer); (I) *Serranus scriba* (Munaretto) (Lipej et al., 2024).

## 1.6 Ciclo riproduttivo

La riproduzione rappresenta un processo chiave per la comprensione dell'ecologia, della dinamica di popolazione e della resilienza delle sclerattinie (Harrison & Wallace, 1990; Airi et al., 2016). La riproduzione sessuale, in particolare, svolge un ruolo fondamentale nel mantenimento delle popolazioni naturali e nei processi evolutivi, poiché genera variabilità genetica, consentendo alle specie di adattarsi a condizioni ambientali variabili (Harrison & Wallace, 1990). Nonostante la loro importanza ecologica, gli aspetti riproduttivi sono stati descritti in dettaglio solo per una parte limitata delle sclerattinie, stimata intorno al 30% del totale (Airi et al., 2016), con una marcata prevalenza di studi condotti in ambienti tropicali. La maggior parte delle sclerattinie è ermafrodita, ossia possiede entrambi i sessi all'interno dello stesso polipo o della stessa colonia, mentre solo una minoranza delle specie è gonocorica, ossia caratterizzata da polipi o colonie a sessi separati (Harrison, 2011). Nel Mar Mediterraneo, le conoscenze sulla biologia riproduttiva delle madrepore sono relativamente scarse e spesso basate su studi puntuali o su dati raccolti in periodi storici passati; fattori ambientali quali la temperatura dell'acqua e l'irradiazione solare sembrano influenzare in modo significativo l'efficienza riproduttiva delle specie mediterranee (Airi et al., 2016). L'elevata temperatura dell'acqua, così come la disponibilità di nutrienti, rappresentano fattori favorevoli alla riproduzione, determinando sia un incremento del tasso di crescita di *Cladocora caespitosa* (Rodolfo-Metalpa et al., 2008) sia un aumento delle dimensioni dei gameti (Kersting et al., 2013). Come in tutti gli antozoi, il ciclo vitale delle madrepore è caratterizzato da una fase bentonica dominante, rappresentata dal polipo o dalla colonia, e da una fase larvale planctonica relativamente breve (Harrison, 2011). Nelle sclerattinie a fecondazione esterna, i polipi adulti rilasciano in acqua i gameti maschili e femminili; in seguito, alla fecondazione si forma lo zigote, che si sviluppa in una larva planula. La planula, dopo una fase di dispersione limitata, si insedia su un substrato idoneo, subendo la metamorfosi in un polipo primario sessualmente immaturo che, nel tempo, darà origine a una colonia mediante accrescimento scheletrico e gemmazione (Harrison, 2011). Vi sono tuttavia anche sclerattinie con fecondazione interna, in cui gli spermatozoi, liberati in acqua, fecondano le uova di colonie adiacenti e le larve trascorrono un periodo all'interno della colonia che le ha generate prima di essere liberate (Vermeij et al., 2004).

*Cladocora caespitosa* riveste un interesse particolare nel contesto mediterraneo, poiché è una delle poche sclerattinie a presentare una strategia riproduttiva prevalentemente gonocorica (bacino occidentale) (Kersting et al., 2013; Kružić et al., 2008). Durante il periodo riproduttivo, nei mesenteri si sviluppano, nei maschi, le cisti spermatiche, nelle femmine, gli oociti. I mesenteri, setti interni localizzati nella cavità gastrovascolare del polipo, sono le strutture deputate alla riproduzione sessuale (Harrison & Wallace, 1990). In *Cladocora caespitosa* sono stati descritti 24 mesenteri per polipo (Kružić, 2005). La fecondazione è esterna, mediante un evento di rilascio sincronizzato dei gameti, noto come *spawning*. Questo fenomeno è stato osservato per la prima volta in *C. caespitosa* da Schiller (1993) nel nord del Mar Adriatico e consiste nel rilascio di uova e spermatozoi dalla bocca del polipo, direttamente nella colonna d'acqua. Le uova (*Fig.9A*) e le cisti spermatiche (*Fig.9B*) sono di colore rispettivamente arancione e biancastro e sono spesso inglobate in una matrice mucosa protettiva, che potrebbe contribuire a limitare la dispersione delle larve nelle fasi iniziali dello sviluppo (Kružić et al., 2008). Numerosi studi hanno evidenziato una marcata variabilità geografica e stagionale nella riproduzione di *C. caespitosa*. Kersting et al. (2013), studiando popolazioni del Mediterraneo occidentale nell'arcipelago delle Columbretes (Spagna) tra il 2008 e il 2009, a circa 15 m di profondità, hanno osservato che lo sviluppo dei gameti avviene tra la primavera e l'estate, con dimensioni massime tra luglio e agosto, in concomitanza con l'aumento della temperatura dell'acqua, mentre lo *spawning* si verifica generalmente a fine estate (Kersting et al., 2013). Al contrario, studi condotti nel Mar Adriatico, in particolare nel Parco Nazionale di Mljet, indicano un periodo riproduttivo anticipato, con eventi di rilascio dei gameti all'inizio dell'estate (Kružić et al., 2008). Gli stessi autori hanno inoltre riportato la presenza di colonie ermafrodite nelle popolazioni adriatiche, suggerendo una certa plasticità riproduttiva a scala geografica (Kružić et al., 2008). Dopo la fecondazione, le larve mostrano una capacità di dispersione relativamente limitata, coerente con la distribuzione spaziale aggregata della specie.

Studi genetici condotti sulle popolazioni del Mediterraneo occidentale indicano infatti una forte dipendenza dall'auto-reclutamento, con una connettività genetica tra le popolazioni principalmente associata a eventi di dispersione sporadici (Casado de Amezúa et al., 2014). Questa strategia riproduttiva, se da un lato favorisce il mantenimento locale delle popolazioni, dall'altro comporta una ridotta resilienza a disturbi ambientali su larga scala (Kersting et al., 2013; Kružić et al., 2008). Un recente

studio di connettività genetica ha confermato la limitata capacità di dispersione di questa specie con eventi di inbreeding molto frequenti e una struttura genetica delle popolazioni confinata alle singole regioni geografiche (Repullès et al., 2022).

Non esistono dati sul ciclo vitale di *C. caespitosa* nel Mar Ligure. Le popolazioni studiate più prossime sono quelle francesi (Scandola, Corsica) e spagnole (Cap de Creus) (Kersting et al., 2013). Nei mari italiani, invece, non sono presenti studi al riguardo.

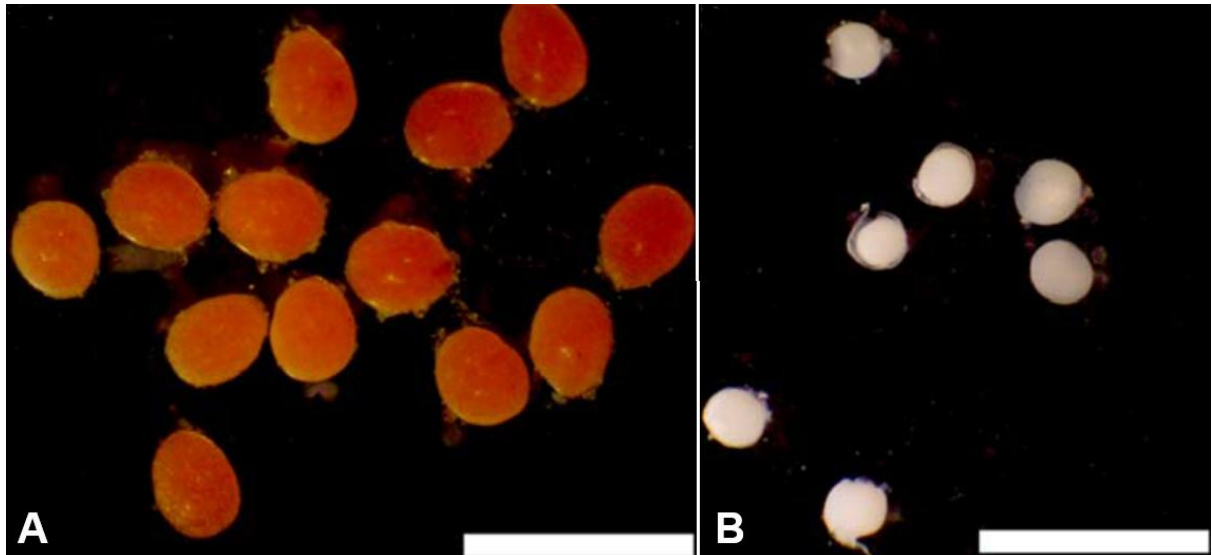


Fig. 9 - Gameti di *Cladocora caespitosa*: (A) gameti femminili; (B) gameti maschili (scala = 1 mm) (Kružić et al., 2007).

## 1.7 Conservazione

*Cladocora caespitosa* è classificata come *Endangered* (EN) nella Lista Rossa IUCN per il Mediterraneo, una categoria che indica un elevato rischio di estinzione in natura (Casado de Amezúa et al., 2015; Otero et al., 2017; Fig. 10).

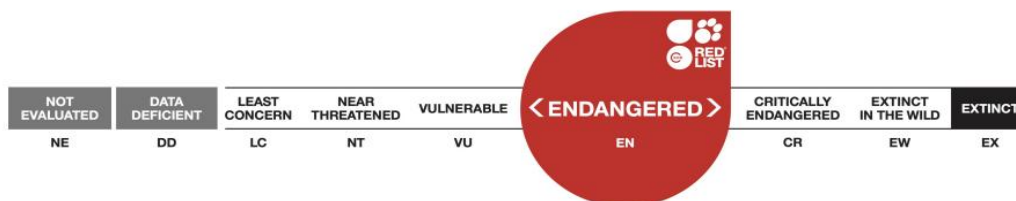


Fig. 10 - Classificazione IUCN di *Cladocora caespitosa* (Casado de Amezúa et al., 2015).

Questa classificazione evidenzia l'elevato rischio di estinzione della specie nei prossimi decenni, qualora non vengano adottate misure efficaci di conservazione e di gestione. Negli ultimi anni, le popolazioni più estese conosciute, come quelle del Mar

Adriatico e delle Isole Columbretes, hanno registrato un declino significativo, dovuto a una combinazione di fattori ambientali e antropici. Tra il 2003 e il 2012, la popolazione delle Columbretes è diminuita tra il 55% e l'80% (Casado de Amezúa et al., 2015). Altre popolazioni, tra cui quelle del Golfo di La Spezia, dei Dardanelli (Mar di Marmara, Turchia) e di Cipro, hanno anch'esse mostrato tendenze al declino, sebbene i dati quantitativi siano limitati (Casado de Amezúa et al., 2015). In circa 90 anni, si stima che la popolazione possa diminuire di almeno il 55%, fino a punte dell'80%, come osservato alle Columbretes (Casado de Amezúa et al., 2015). Data la vulnerabilità della specie, monitoraggi continui delle popolazioni sono altamente raccomandati, così come una rivalutazione periodica della classificazione IUCN, per includere nuove informazioni sugli effetti dei cambiamenti climatici e degli impatti antropici diretti.

## 1.8 Lo studio dei cicli vitali

Le radici dello studio delle storie vitali affondano nell'antichità ma solo in epoca moderna si è giunti alla definizione di ciclo vitale. O'Rand e Kreeker (1990) descrissero il ciclo vitale come "una sequenza ripetuta di fasi, stadi e transizioni biologiche naturali che portano alla maturazione dell'individuo". In ambito marino, lo studio dei cicli vitali è stato ed è tuttora molto difficile per via della difficoltà di mantenere vivi gli organismi, di campionarli periodicamente, nonché per la complessità dei cicli stessi; infatti, molte specie marine presentano forme larvali estremamente diverse o molto variabili nel tempo che inizialmente venivano scambiate per forme anomale o addirittura per taxa diversi. La svolta arrivò grazie a Michael Sars, il primo studioso che, documentandosi e osservando alcuni invertebrati, come cnidari e molluschi, spiegò come il ciclo vitale di un organismo fosse composto di due fasi: una larvale planctonica e una fase adulta bentonica (Young, 2025). Oggi si ritiene che più del 70% degli invertebrati acquatici presenti un ciclo meroplanctonico.

Lo studio del ciclo vitale delle sclerattinie ha conosciuto un'evoluzione significativa in parallelo allo sviluppo delle tecniche di decalcificazione, inclusione e colorazione, passando dall'impiego della paraffina, più semplice ed economica, a quello della resina, che consente una maggiore risoluzione dei tessuti. La prima procedura fu applicata alla madrepora *Balanophyllia (Balanophyllia) europaea* (Risso, 1827), i cui polipi vennero fissati in soluzione di Bouin, decalcificati in EDTA (etilendiamminotetraacetico) e, dopo la disidratazione in etanolo, inclusi in paraffina

(Goffredo et al., 2002). Nel 2004, nel sud dei Caraibi, furono studiate colonie di *Madracis*, i cui polipi vennero decalcificati in una soluzione 1:1 di HCl, quindi disidratati in una soluzione di etanolo 80-85% e di isopropanolo, per essere inclusi in paraffina (Vermeij et al., 2004). Waller e Tyler (2005) utilizzarono invece il propan-2-olo, l'inclusione in cera a 70 °C e la colorazione tricromica di Masson. Successivamente si provò la fissazione in formalina (10% di formaldeide e 90% di acqua di mare), seguita dalla decalcificazione in 10% di acido formico e formalina al 5%, per passare all'inclusione in paraffina ed alla colorazione in ematossilina-eosina (Goffredo et al., 2010, 2012; Pires et al., 2013). In uno studio del 2023, le sezioni istologiche furono colorate con la colorazione di Movat, che evidenzia mucopolisaccaridi, fibre e collagene in blu e nuclei e acidi nucleici in rosso (Chemel et al., 2023). Negli ultimi anni, la tecnica dell'inclusione in paraffina è stata, in alcuni casi, sostituita da quella in resina. In questi lavori, le larve planule di *Acropora tenuis* (Dana, 1846) furono incluse in resina Technovit 8100 per oltre 10 ore e conservate a 4 °C; dopo il taglio delle sezioni, è stata eseguita la colorazione con blu di toluidina allo 0,5% (Kawamura et al., 2021; 2025).

## 2. Scopo della ricerca

Il presente studio si propone di approfondire le conoscenze sul ciclo vitale della sclerattinia *Cladocora caespitosa* nel Mar Ligure, un'area in cui tale ciclo non era ancora stato investigato. Le analisi, condotte nell'arco di un anno, hanno consentito di valutare aspetti chiave della riproduzione, in particolare la stagionalità della fertilità e della gametogenesi in funzione della temperatura dell'acqua. Grazie a campionamenti mensili e indagini istologiche, sono state monitorate la presenza, il numero e le dimensioni di oociti e cisti spermatiche, individuando così i periodi di fertilità e i momenti di rilascio dei gameti (*spawning*). Questo lavoro contribuisce a colmare le lacune conoscitive su una specie di rilevante importanza ecologica nel Mediterraneo, in particolare nel Mar Ligure, considerato un bacino sentinella dei cambiamenti climatici fornendo informazioni utili per la conservazione di questa specie classificata in pericolo di estinzione.

## 3. Materiali e Metodi

### 3.1 Sito di campionamento

Lo studio è stato condotto su campioni di *Cladocora caespitosa* prelevati a Borgio Verezzi, in provincia di Savona (Mar Ligure) (Fig. 11A), in un'area caratterizzata dalla presenza di *beach rock* (Fig. 11B), formazioni rocciose sedimentarie originatesi nel corso di milioni di anni attraverso processi di cementazione di sabbia e detriti (Vousdoukas et al., 2007). Tali strutture si rinvencono a una profondità compresa tra 1 e 3 m (Molinari, 2024). Nell'area di studio sono state segnalate due specie di madrepora, *Cladocora caespitosa* e *Oculina patagonica* (De Angelis, 1908) (Molinari, 2024) (Fig. 11C). L'attività di campionamento si è svolta tramite immersione subacquea ad una profondità di 5 m. I campionamenti sono stati fatti nell'arco di un anno, da luglio 2024 a giugno 2025, con prelievi effettuati nei mesi di luglio, agosto, settembre e ottobre 2024, febbraio, maggio e giugno 2025. Nel mese di luglio 2024 sono state inizialmente marcate e campionate 10 colonie di *C. caespitosa* al fine di determinarne il sesso (femmine, maschi o ermafroditi) (Fig. 11D). Successivamente, lo studio è proseguito selezionando esclusivamente tre colonie femminili e tre colonie maschili. A causa di difficoltà logistiche, il campionamento invernale si è limitato al solo mese di febbraio.



Fig.11 - (A) costa ligure, il punto blu indicato dalla freccia mostra l'area di campionamento. (B) spiaggia di Borgio Verezzi (SV), in cui la freccia rosa indica la zona con presenza di beach rocks; (C) beach rock con colonie di *C. caespitosa* e *O. patagonica*; (D) due colonie di *C. caespitosa* incluse nello studio.

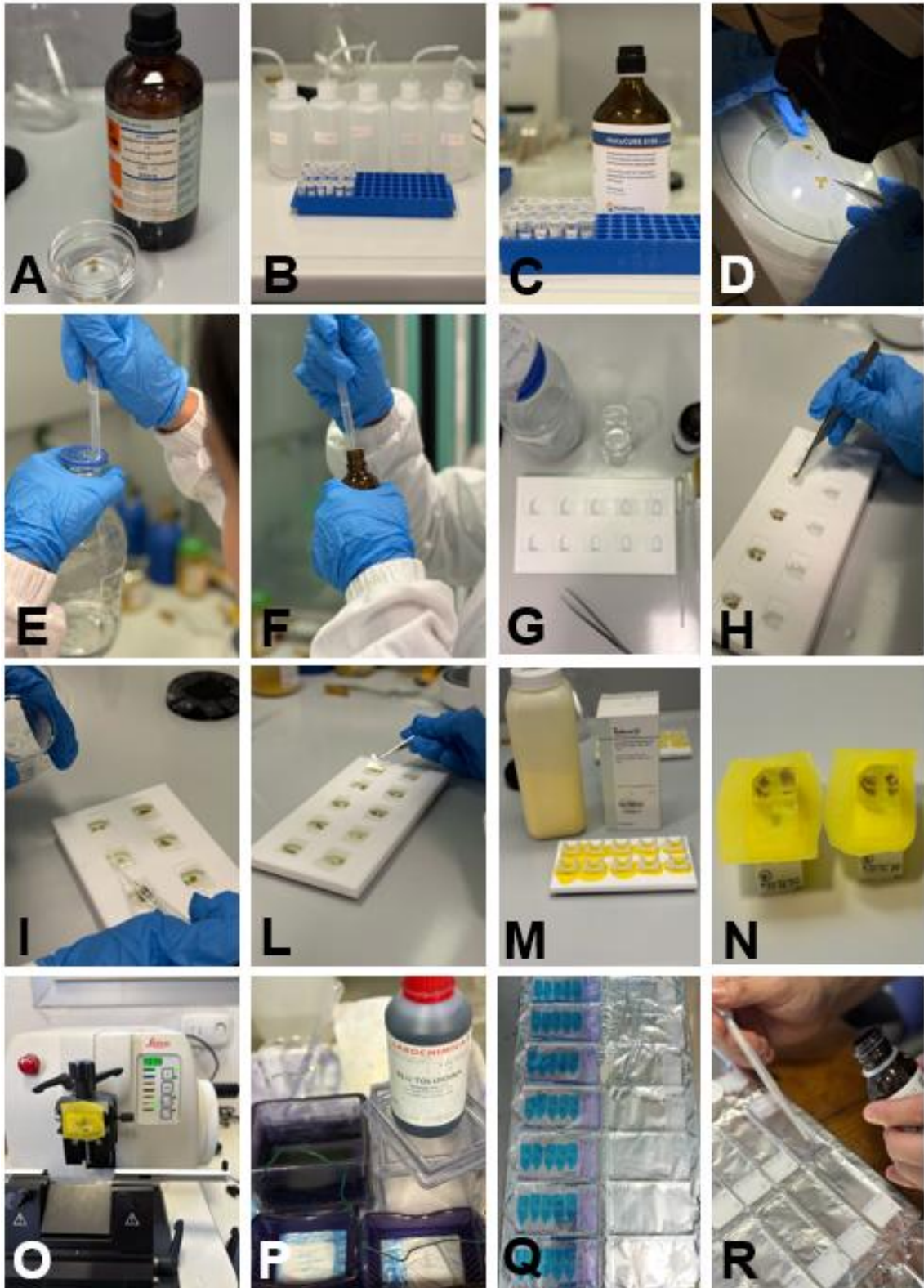
### 3.2 Analisi istologiche

I campioni raccolti sono stati trasportati in laboratorio in etanolo 95° per essere in primis osservati e fotografati allo stereomicroscopio (Leica Stereozoom PN: 10450816). Successivamente, sono stati sottoposti a decalcificazione mediante immersione in una soluzione di acido acetico al 5%, al fine di rimuovere lo scheletro calcareo (Fig. 12A). La durata di tale fase, variabile da 1 a 4 giorni, è dipesa dalla quantità di carbonato di calcio presente nei campioni. Completata la decalcificazione, i campioni sono stati disidratati attraverso una serie di immersioni in etanolo a concentrazioni crescenti (70%, 80%, 90%, 95% e 100%) (Fig. 12B).

È seguita una fase di pre-infiltrazione in una miscela 1:1 di etanolo assoluto e resina Technovit 8100, quindi due immersioni successive in resina Technovit 8100 pura, ciascuna della durata di 24 ore (Fig. 12C). Eventuali bolle d'aria residue sono state rimosse allo stereomicroscopio tramite ago montato. La resina di infiltrazione è stata preparata sotto cappa miscelando 100 cc di Technovit 8100 con una bustina di

Hardener I, mediante agitazione magnetica per 15 minuti. La soluzione ottenuta è stata trasferita in un contenitore di vetro etichettato con la data di preparazione e conservata a 4°C. I campioni selezionati (*Fig. 12D*) sono stati quindi inclusi in resina. Dopo la preparazione della miscela finale composta da resina di infiltrazione e Hardener II (*Fig. 12E–F*), un primo strato è stato distribuito nei pozzetti di una piastra in teflon (*Fig. 12G*); successivamente i campioni sono stati posizionati (*Fig. 12H*) e ricoperti con un secondo strato di resina (*Fig. 12I*). I campioni sono stati coperti con foglietti di plastica per bloccare l'ossigenazione e posizionati in frigo overnight a 4 °C per la polimerizzazione (*Fig. 12L*).

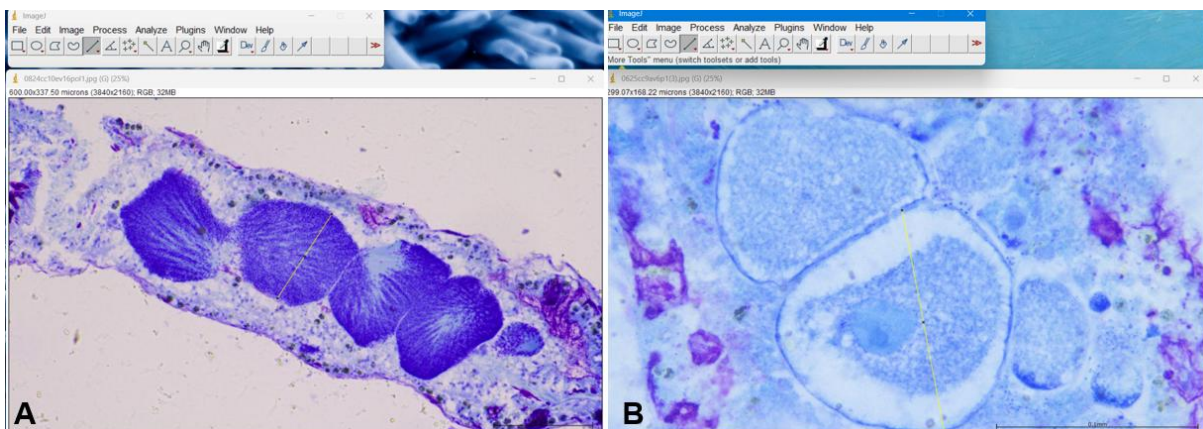
Per ciascun mese di campionamento sono stati inclusi cinque polipi per colonia (uno per pozzetto), orientati in modo da ottenere sezioni trasversali al momento del taglio. Una volta completata la polimerizzazione, sono stati applicati i supporti plastici ("cavalletti") per la manipolazione dei blocchetti attraverso una colla (*Fig. 12M*). Una volta separati dai pozzetti (*Fig. 12N*), le sezioni istologiche sono state ottenute mediante microtomo (Leica RM2155), con uno spessore di 9 µm (*Fig. 12O*). I campioni sono stati tagliati a partire dalla corona di tentacoli fino alla base della colonna polipare in corrispondenza della cavità gastrica e dei mesenterici. Su ogni vetrino portaoggetti è stato depositato un sottile strato d'acqua mediante pipetta; sono state quindi selezionate progressivamente cinque sezioni ogni quindici e trasferite sul vetrino (*Fig. 12P*), mantenendo un orientamento uniforme. I preparati sono stati posti su piastra termoriscaldante per favorirne l'adesione e l'asciugatura. La colorazione è stata effettuata con blu di toluidina all'1% (*Fig. 12Q*), immergendo i campioni nel colorante per circa 1 minuto; successivamente sono stati risciacquati, asciugati e nuovamente posti su piastra termoriscaldante. Dopo l'asciugatura completa, è stata applicata una sottile striscia di colla Biomount ed è stato posizionato il coprioggetto (*Fig. 12R*). Gli eventuali eccessi del mezzo di montaggio sono stati rimossi e i vetrini lasciati a riposo per una settimana, fino al completo indurimento. Al termine della procedura, i preparati risultavano pronti per l'osservazione al microscopio ottico a luce trasmessa (Leica Microsystems DM2000 LED).



*Fig.12 - (A) decalcificazione in acido acetico 5%; (B) salite in etanolo a concentrazioni crescenti; (C) resina Technovit 8100; (D) scelta dei polipi su piastra Petri; (E) preparazione resina (F) con indurente; (G) piastra per inclusione in resina; (H) inclusione dei polipi; (I) secondo strato di resina per ricoprire i polipi; (L) applicazione*

del foglietto di plastica; (M) colla e cavalletti; (N) pozzetti dopo distacco da piastra; (O) taglio al microtomo; (P) colorazione con blu di toluidina 1%; (Q) vetrini colorati; (R) copertura finale dei vetrini con colla Biomount e vetrini coprioggetto.

I polipi sono stati esaminati al microscopio ottico a luce trasmessa, verificando per ciascun polipo in ciascun mese esaminato i seguenti parametri: i) lo stato riproduttivo (fertile, non fertile) (n = 5 polipi per 3 colonie di ciascun sesso per 7 mesi investigati), ii) il sesso, determinato attraverso la presenza di cisti spermatiche e/o oociti (n = 5 polipi per 3 colonie di ciascun sesso per 7 mesi investigati), iii) il numero massimo di gameti per polipo cercando di evitare sovrastime dovute al doppio conteggio in sezioni consecutive (n = 5 polipi per 3 colonie di ciascun sesso per 7 mesi investigati), iv) il diametro massimo degli elementi riproduttivi (n = 10 misure per 5 polipi per 3 colonie di ciascun sesso per 7 mesi investigati). Cisti spermatiche (*Fig. 13A*) e oociti (*Fig. 13B*) sono stati documentati mediante acquisizione di immagini corredate da scala metrica e, per ciascun campione, è stato misurato il diametro massimo dei dieci elementi di maggiori dimensioni utilizzando il software ImageJ. I dati sono stati presentati come una composizione percentuale media o una media mensile ( $\pm$  SE) di tutti i polipi maschili e di quelli femminili separatamente. I pattern sono stati confrontati anche con l'andamento delle temperature medie mensili dell'acqua superficiale e con i dati di piovosità. I dati relativi alla temperatura sono stati ricavati dal sito *SeaTemperature.info*, mentre quelli relativi alla piovosità (mm) sono stati ottenuti dal sito dell'ARPAL, utilizzando come riferimento la stazione meteorologica più vicina, situata ad Albenga (SV).



*Fig. 13* - Diametri massimi misurati con ImageJ: (A) diametri massimi delle cisti spermatiche; (B) diametri massimi degli oociti.

### 3.3 Analisi statistiche

Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando il software Past5, al fine di confrontare il numero e le dimensioni (diametri) di oociti e cisti spermatiche nei diversi mesi di campionamento. L'obiettivo principale è stato determinare se le variazioni temporali osservate fossero statisticamente significative. In prima istanza, è stato applicato un test di normalità per verificare se i dati seguissero o meno una distribuzione gaussiana. Poiché i requisiti di normalità e omogeneità delle varianze, i due requisiti fondamentali dell'ANOVA (analisi della varianza), usata per confrontare le medie tra gruppi, non sono stati soddisfatti per tutto il set di dati, si è proseguito con approcci non parametrici. Nello specifico, è stato utilizzato il test di Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), per confrontare simultaneamente diversi gruppi (multiple-sample test) e poter determinare se tra questi fosse presente una differenza significativa. In presenza di una differenza significativa ( $p < 0,05$ ), è stato eseguito un test post-hoc di Mann-Whitney, con correzione di Bonferroni, per individuare quali coppie di mesi differissero significativamente tra loro. Nel caso specifico della fertilità invece, vista la poca numerosità del campione, si è optato per il test di Fischer in modo da osservare quali sono i mesi che differiscono tra loro.

## 4. Risultati

### 4.1 Fertilità

L'analisi dei dati relativi alla fertilità evidenzia un marcato andamento stagionale (*Fig. 14*). I valori massimi sono stati registrati nei mesi estivi di entrambi gli anni, con un picco del 100% di fertilità a luglio 24, e del 96% a giugno 25. La fertilità cala progressivamente verso l'autunno (ottobre 24, 10%) e culmina nel mese di febbraio 25, in cui la fertilità risulta assente (0%). Nel periodo primaverile si registra una ripresa dell'attività riproduttiva, con valori pari al 60% a maggio. L'analisi statistica svolta tramite il test di Fischer ha evidenziato differenze altamente significative tra i mesi considerati (*Tab. I*). Il periodo estivo (giugno-luglio-agosto) si distingue per i valori di fertilità più elevati rispetto ai restanti mesi dell'anno, senza tuttavia mostrare differenze significative tra loro ( $p = 1$ ). Maggio e settembre rappresentano una fase di transizione: in particolare, settembre differisce significativamente da luglio ( $p = 0,047619$ ) ma non da agosto e giugno. Al contrario, maggio, nonostante la fertilità del 60%, non mostra differenze statisticamente significative con gli altri mesi. I mesi di ottobre e febbraio hanno registrato valori più bassi e non differiscono tra loro ( $p = 1$ ). Entrambi, tuttavia, mostrano una differenza significativa rispetto ai mesi estivi di giugno, luglio e agosto. Inoltre, i confronti tra maggio, ottobre e febbraio non hanno rilevato differenze significative ( $p = 0,16667$ ), così come non si registrano discrepanze tra ottobre e settembre ( $p = 1$ ) e tra febbraio e settembre ( $p = 0,44444$ ).

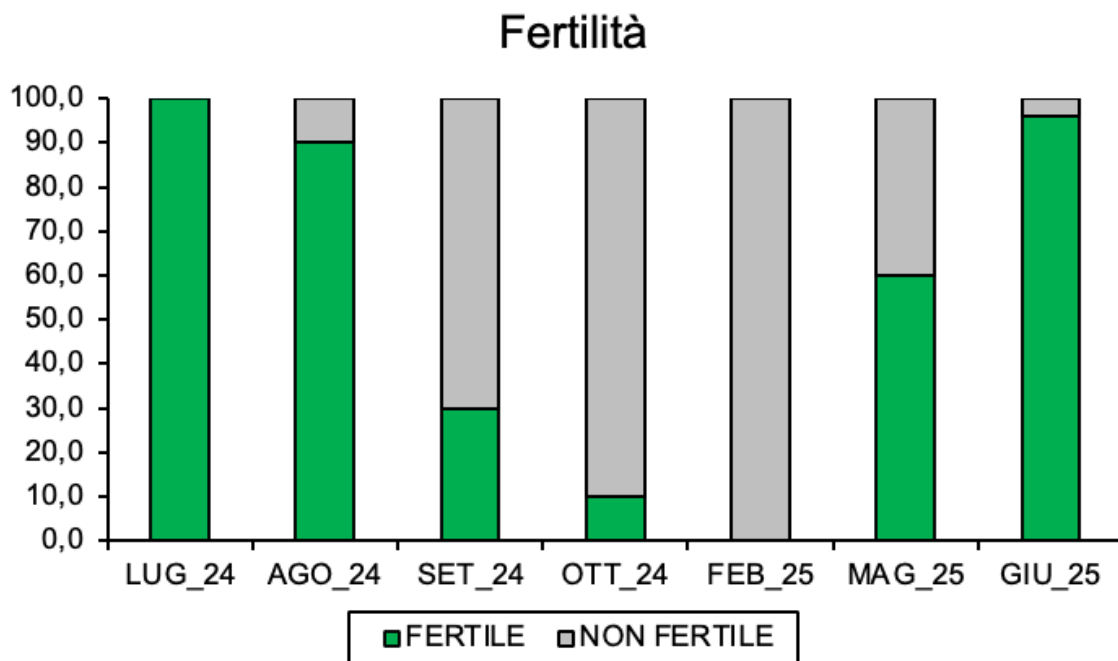


Fig.14 - Composizione % delle colonie di *C. caespitosa* analizzate in termini di fertilità.

FISCHER TEST	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	FEBBRAIO	MAGGIO	GIUGNO
LUGLIO		1	0,047619	0,0079365	0,0079365	0,44444	1
AGOSTO	1		0,14286	0,028571	0,0079365	0,44444	1
SETTEMBRE	0,047619	0,14286		1	0,44444	0,52381	0,14286
OTTOBRE	0,0079365	0,028571	1		1	0,16667	0,028571
FEBBRAIO	0,0079365	0,0079365	0,44444	1		0,16667	0,0079365
MAGGIO	0,44444	0,44444	0,52381	0,16667	0,16667		0,44444
GIUGNO	1	1	0,14286	0,028571	0,0079365	0,44444	

Tab. I - Tabella della statistica del t-Fischer sulla fertilità.

La distribuzione dei sessi nelle colonie monitorate ha evidenziato un marcato andamento stagionale (Fig. 15). Nel mese di luglio 24 tutti i polipi risultavano fertili, con una ripartizione equilibrata tra femmine e maschi (50% ciascuno). Ad agosto 24 si osserva la comparsa di una quota ridotta di polipi non fertili (10%), mentre le femmine e i maschi rappresentano rispettivamente il 40% e il 50%. A settembre 24 si registra un netto incremento della componente non fertile (70%), accompagnato da una riduzione sia dei maschi (16,7%) sia delle femmine (13,3%). In ottobre la popolazione risulta quasi interamente non fertile, con la sola presenza di una modesta percentuale di femmine (10%). Nel mese di febbraio tutti i polipi osservati si trovavano in condizione di infertilità. A maggio 25 si evidenzia una ripresa dell'attività riproduttiva:

sebbene la quota di polipi non fertili rimanga pari al 43,4%, la componente femminile risulta predominante (circa 43,3%), mentre i maschi si attestano al 13,3%. Infine, a giugno 25 la popolazione torna a essere quasi completamente fertile, con il 50% di femmine, il 40% di maschi e una minima percentuale di individui non fertili (10%).

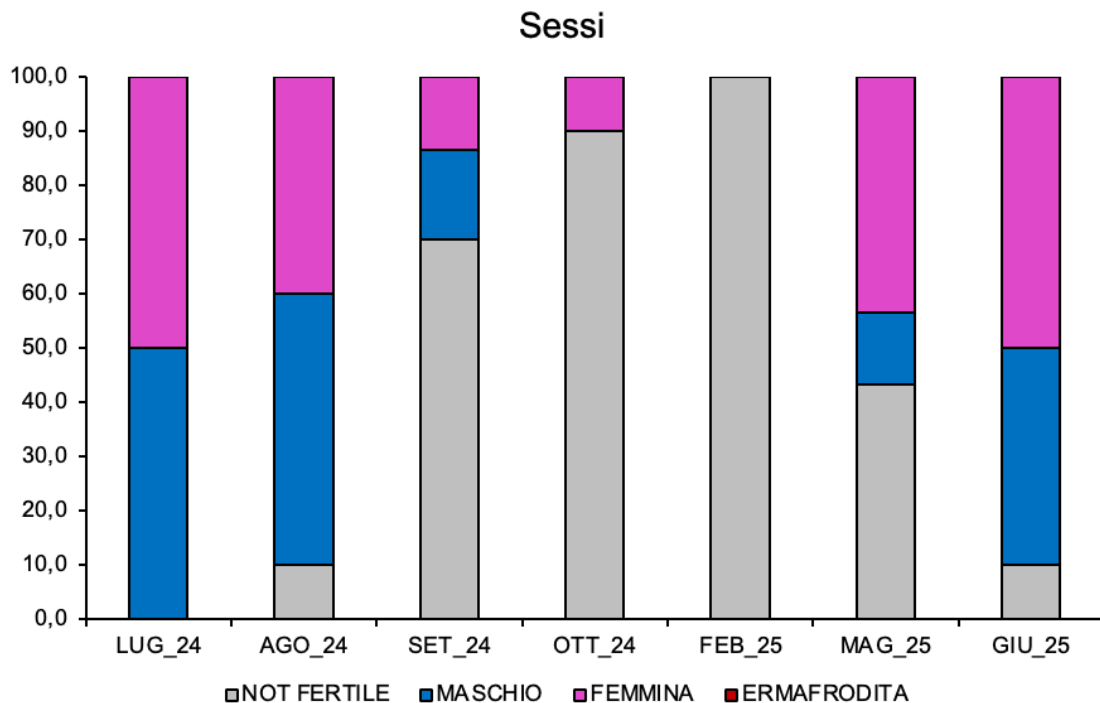
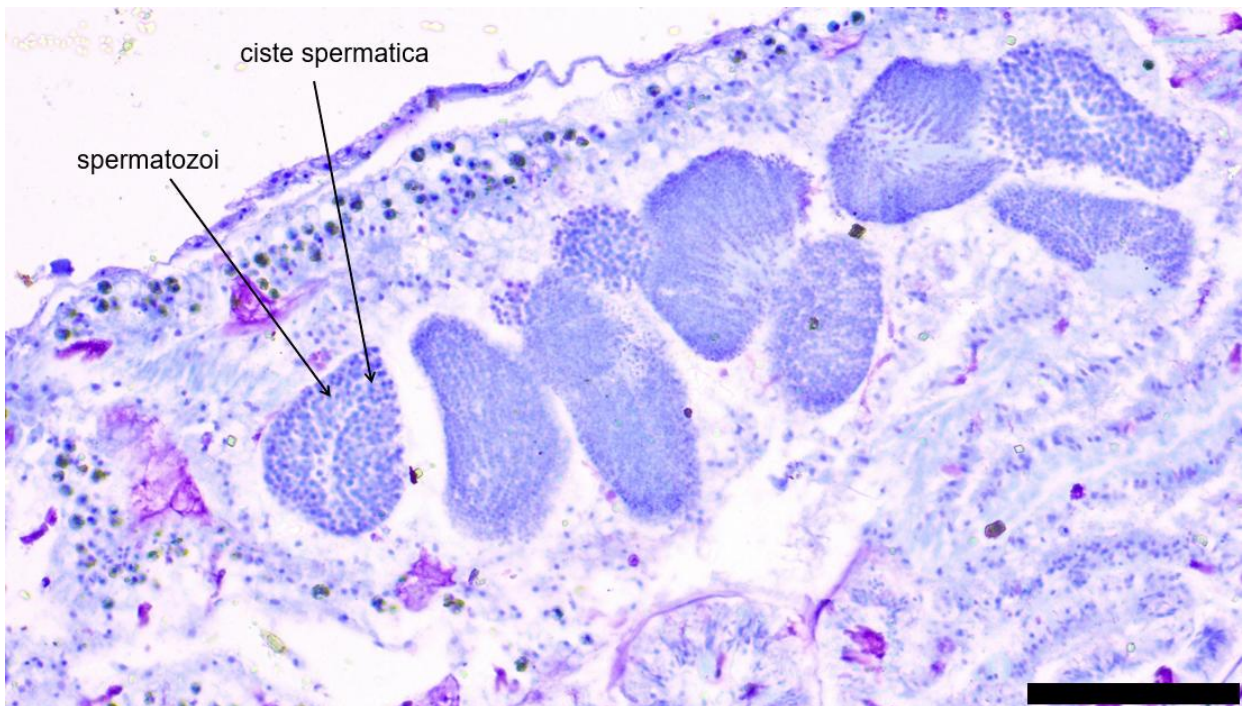


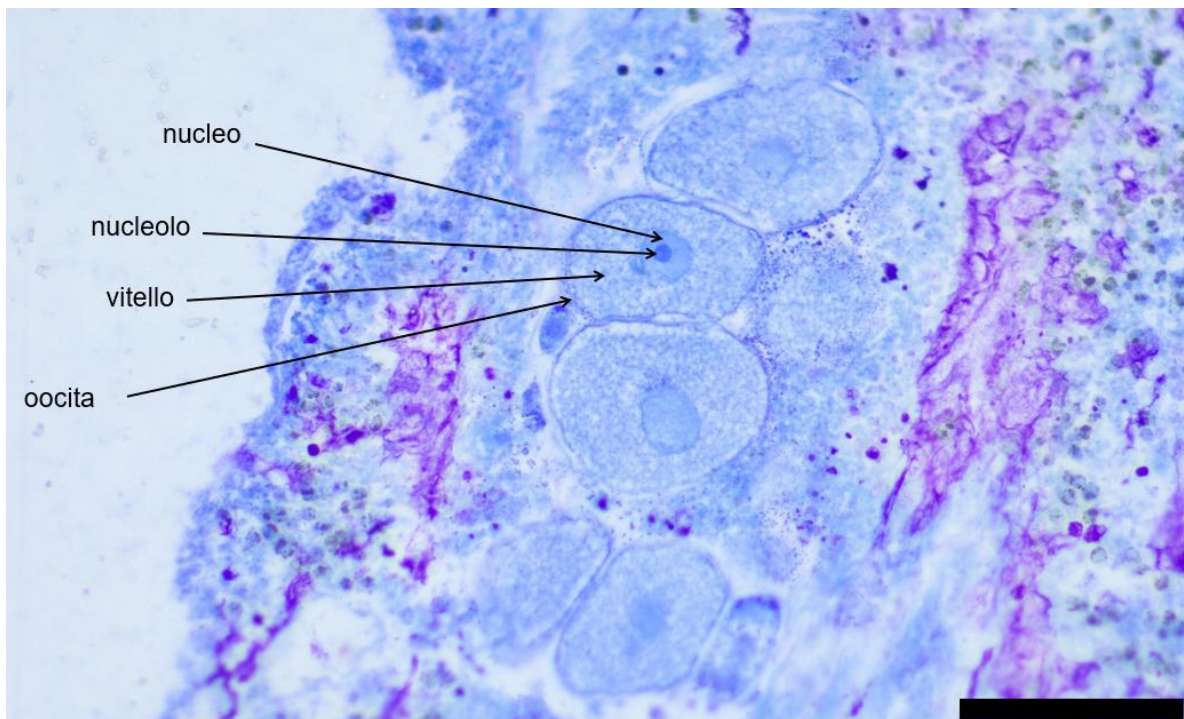
Fig.15 - Distribuzione dei sessi delle colonie di *C. caespitosa* analizzate.

## 4.2 Numero e diametro di cisti spermatiche e oociti

Per ciascun polipo analizzato è stato determinato il numero massimo di cisti spermatiche o oociti presenti. Le cisti spermatiche sono state riconosciute per la morfologia ovoidale, talvolta organizzata in strutture a “bouquet” (in fase pre-spawning), mentre gli oociti presentavano forma prevalentemente sferica. A elevati ingrandimenti, nelle cisti spermatiche in stadio avanzato di maturazione risultavano distinguibili gli spermatozoi, riconoscibili per la presenza di testa e flagello (Fig. 16); negli oociti maturi erano invece visibili il vitello, il nucleo e il nucleolo (Fig. 17).



*Fig.16* - Sezione istologica di cisti spermatiche in cui si vedono le teste degli spermatozoi (scala: 0,1 mm).



*Fig.17* - Sezione istologica di oociti cui si possono osservare il vitello, il nucleo e il nucleolo (scala: 0,1 mm).

Tra i parametri analizzati è stato considerato il numero di gameti per polipo, dal quale sono stati calcolati la media mensile e il relativo errore standard.

Nei polipi maschili, il numero massimo di cisti spermatiche è stato registrato nel mese di luglio 24 ( $495 \pm 177$  cisti per polipo), seguito da agosto 24 ( $478 \pm 90$  cisti per polipo). A partire da settembre 24 si osserva una marcata riduzione del numero medio di cisti, mentre nei mesi di ottobre 24 e febbraio 25 non sono state rilevate cisti spermatiche. Una ricomparsa è stata registrata a maggio 25 ( $18 \pm 11$  cisti per polipo), seguita da un incremento a giugno 25 ( $150 \pm 101$  cisti per polipo) (Fig. 18). L'analisi mediante test di Kruskal-Wallis ha evidenziato differenze significative tra i mesi ( $p < 0,05$ ). I confronti post hoc, effettuati con test di Mann-Whitney e correzione di Bonferroni, hanno mostrato l'assenza di differenze significative tra luglio e agosto ( $p = 1$ ), mentre giugno e luglio risultano significativamente differenti ( $p = 0,00617$ ). Maggio non differisce significativamente da settembre ( $p = 0,9574$ ), così come da giugno ( $p = 0,585$ ). Al contrario, luglio presenta differenze altamente significative rispetto a maggio ( $p = 3,11 \times 10^{-5}$ ) e settembre ( $p = 2,21 \times 10^{-5}$ ) (Tab. II).

### Numero di cisti spermatiche per polipo

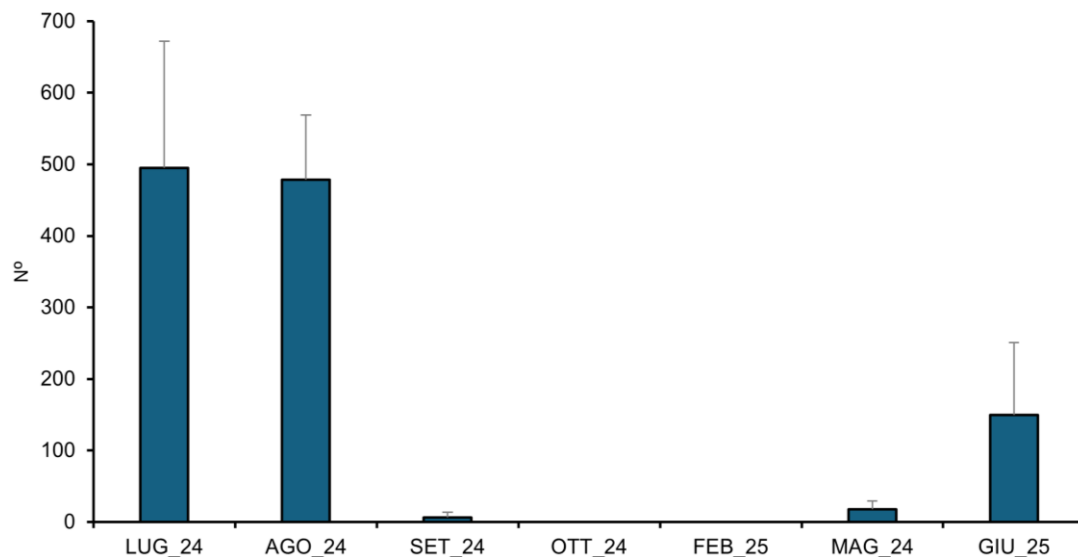


Fig. 18 - Numero medio di cisti spermatiche per polipo.

	Luglio	Agosto	Settembre	Maggio	Giugno
Luglio		1	2,21E-05	3,11E-05	0,006174
Agosto	1		2,21E-05	3,11E-05	0,005727
Settembre	2,21E-05	2,21E-05		0,9574	0,02832
Maggio	3,11E-05	3,11E-05	0,9574		0,585
Giugno	0,006174	0,005727	0,02832	0,585	

Tab. II - Tabella con i valori del p-value post test di Bonferroni riguardante il numero delle cisti spermatiche.

Per quanto riguarda i gameti femminili, il numero massimo di oociti è stato registrato nel mese di luglio 24 ( $471 \pm 58$  oociti per polipo). A differenza di quanto osservato per le cisti spermatiche, ad agosto 24 si evidenzia una marcata riduzione del numero medio di oociti ( $121 \pm 80$  oociti per polipo), seguita da un ulteriore calo nei mesi di settembre 24 ( $13 \pm 13$  oociti per polipo) e ottobre 24 (un unico oocita trovato). Nel mese di febbraio 25 non sono stati rilevati gameti femminili, mentre la produzione riprende a maggio 25 ( $65 \pm 55$  oociti per polipo), con un incremento più pronunciato a giugno 25 ( $289 \pm 78$  oociti per polipo) (Fig. 19). L'analisi mediante test di Kruskal-Wallis ha evidenziato differenze significative tra i mesi considerati ( $p < 0,05$ ). I confronti post hoc, effettuati con test di Mann-Whitney e correzione di Bonferroni, hanno mostrato l'assenza di differenze significative tra agosto e maggio, così come tra settembre e ottobre ( $p = 1$  in entrambi i casi). Anche giugno e luglio non differiscono significativamente ( $p = 0,216$ ). Al contrario, luglio risulta significativamente differente rispetto ad agosto ( $p = 0,001211$ ), settembre ( $p = 2,85 \times 10^{-5}$ ), ottobre ( $p = 2,37 \times 10^{-5}$ ) e maggio ( $p = 7,54 \times 10^{-5}$ ) (Tab. III).

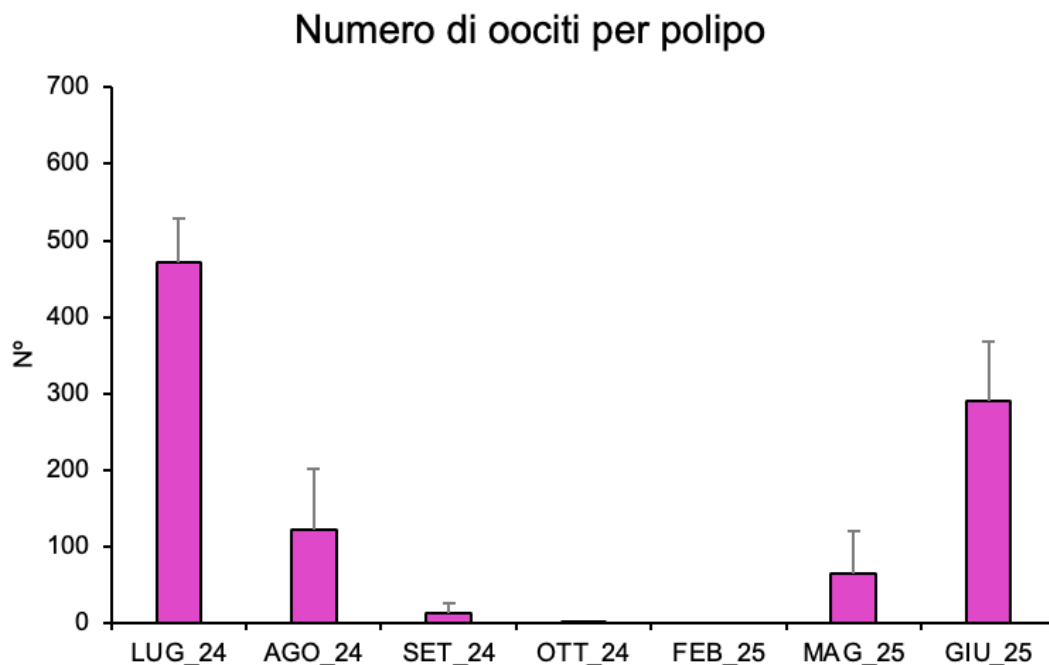


Fig.19 - Numero medio di oociti per polipo.

	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Maggio	Giugno
Luglio		0,001211	2,85E-05	2,37E-05	7,54E-05	0,216
Agosto	0,001211		0,02638	0,003816	1	0,0925
Settembre	2,85E-05	0,02638		1	0,02366	6,54E-05
Ottobre	2,37E-05	0,003816	1		0,001115	2,37E-05
Maggio	7,54E-05	1	0,02366	0,001115		0,001022
Giugno	0,216	0,0925	6,54E-05	2,37E-05	0,001022	

Tab. III-Tabella con i valori del p value post test di Bonferroni sul numero degli oociti.

Infine, sono stati analizzati i diametri dei gameti nelle diverse colonie. Per ciascun mese è stata calcolata la media dei diametri e il relativo errore standard.

Le cisti spermatiche hanno raggiunto il diametro massimo ad agosto 24 ( $105,77 \pm 1,47 \mu\text{m}$ ), per poi diminuire a partire da settembre 24 ( $71,9 \pm 3,2 \mu\text{m}$ ), fino a non essere più rilevabili nei mesi di ottobre e febbraio. I primi gameti della nuova stagione riproduttiva sono stati osservati a maggio 25, con un diametro medio di  $21,1 \pm 1,86 \mu\text{m}$ , che aumenta a giugno 25 fino a  $77,3 \pm 3,06 \mu\text{m}$  (Fig.20). L'analisi statistica mediante test di Kruskal-Wallis ha evidenziato differenze significative tra i mesi ( $p < 0,05$ ). I confronti post hoc con test di Mann-Whitney e correzione di Bonferroni hanno mostrato che maggio differisce significativamente da tutti gli altri mesi a causa dei suoi valori particolarmente bassi. Settembre è risultato diverso da tutti i mesi, ad eccezione di giugno, con cui non presenta differenze significative ( $p = 1$ ), indicando che in questi due mesi le cisti spermatiche raggiungono dimensioni medie comparabili. Inoltre, luglio e agosto, pur essendo entrambi mesi estivi con diametri elevati, risultano significativamente differenti tra loro ( $p = 0,006301$ ) (Tab. IV).

## Diametri medi di cisti spermatiche

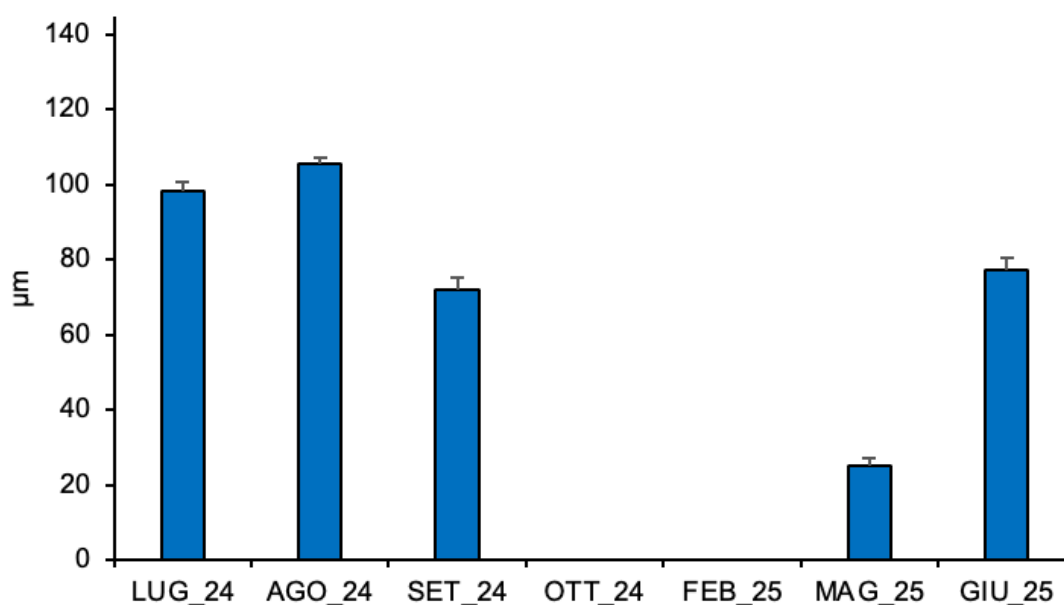


Fig. 20 - Diametro medio delle cisti spermatiche per polipo.

	luglio	agosto	settembre	maggio	giugno
luglio		0,006301	8,919 <sup>-06</sup>	1,169 <sup>-32</sup>	9,044 <sup>-07</sup>
agosto	0,006301		3,794 <sup>-14</sup>	2,672 <sup>-33</sup>	3,235 <sup>-17</sup>
settembre	8,919 <sup>-06</sup>	3,794 <sup>-14</sup>		1,076 <sup>-17</sup>	1
maggio	1,169 <sup>-32</sup>	2,672 <sup>-33</sup>	1,076 <sup>-17</sup>		7,325 <sup>-23</sup>
giugno	9,044 <sup>-07</sup>	3,235 <sup>-17</sup>	1	7,325 <sup>-23</sup>	

Tab. IV - Tabella con i valori del p-value post test di Bonferroni riguardante i diametri delle cisti spermatiche.

Gli oociti hanno raggiunto il diametro massimo ad agosto 24 ( $136,4 \pm 2,25 \mu\text{m}$ ), per poi diminuire a ottobre 24 ( $92,02 \pm 10,1 \mu\text{m}$ ) e risultare assenti a febbraio. All'inizio della stagione riproduttiva, i diametri medi registrati sono stati di  $45,8 \pm 2,09 \mu\text{m}$  a maggio 25 e di  $103,46 \pm 1,59 \mu\text{m}$  a giugno 25 (Fig. 21). L'analisi statistica mediante test di Kruskal-Wallis ha evidenziato differenze significative tra i mesi ( $p < 0,05$ ). I confronti post hoc con test di Mann-Whitney e correzione di Bonferroni hanno mostrato che settembre non differisce significativamente da luglio e agosto ( $p = 1$ ), indicando una stabilità delle dimensioni massime raggiunte. Settembre non mostra differenze significative rispetto a ottobre ( $p = 0,4842$ ), mentre ottobre risulta simile anche a luglio ( $p = 0,2547$ ) e identico a giugno ( $p = 1$ ). Maggio rappresenta il mese statisticamente differente da tutti gli altri, con diametri significativamente bassi. Agosto risulta

significativamente diverso da ottobre ( $p = 0,02665$ ), e giugno differisce da luglio, agosto e settembre ( $p = 6,98 \times 10^{-9}$ ,  $1,03 \times 10^{-21}$  e  $7,84 \times 10^{-4}$ , rispettivamente) (Tab. V).

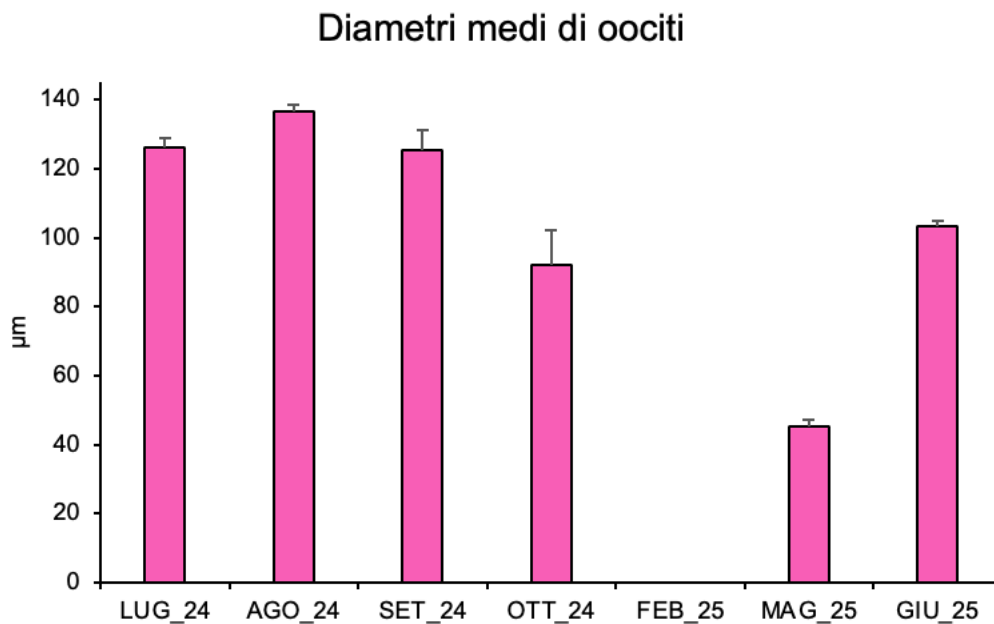


Fig. 21 - Diametro medio degli oociti per polipo.

	luglio	agosto	settembre	ottobre	maggio	giugno
luglio		0,0345	1	0,2547	$1,567 \times 10^{-38}$	$6,982 \times 10^{-9}$
agosto	0,0345		1	0,02665	$2,178 \times 10^{-35}$	$1,025 \times 10^{-21}$
settembre	1	1		0,4842	$2,006 \times 10^{-13}$	0,000784
ottobre	0,2547	0,02665	0,4842		0,033	1
maggio	$1,567 \times 10^{-38}$	$2,178 \times 10^{-35}$	$2,006 \times 10^{-13}$	0,033		$9,187 \times 10^{-39}$
giugno	$6,982 \times 10^{-9}$	$1,025 \times 10^{-21}$	0,0007839	1	$9,187 \times 10^{-39}$	

Tab. V - Tabella con i valori del p-value post test di Bonferroni riguardante i diametri degli oociti.

### 4.3 Pattern ambientali associati

L'inizio dello sviluppo dei gameti a maggio 25 coincide con una temperatura media dell'acqua di  $16,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (Tab. VI-Fig. 22). A questa fase segue un incremento termico nei mesi successivi: a giugno la temperatura registrata era tra  $18,8 \text{ }^\circ\text{C}$  nel 24 e  $20,1 \text{ }^\circ\text{C}$  nel 25, mentre a luglio si è mantenuta piuttosto stabile, tra  $23,2 \text{ }^\circ\text{C}$  nel 24 e  $23,1 \text{ }^\circ\text{C}$  nel 25. Il massimo termico si è raggiunto ad agosto (nel 24 si registrarono  $25,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ), quando si registrano i diametri medi massimi dei gameti. Lo *spawning* delle cisti spermatiche avviene tra fine agosto e settembre (nel 24 la temperatura era  $24,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ),

mentre il rilascio degli oociti si completa entro settembre. Il periodo autunnale-invernale (ottobre-febbraio) coincide con una fase di stasi riproduttiva, con temperature che raggiungono un minimo di 13,6 °C a febbraio 25.

MESI	TEMP. MEDIA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MASSIMA (°C)
giu-24	18,8	17,0	21,0
lug-24	23,2	20,0	26,0
ago-24	25,8	24,0	28,0
set-24	24,1	21,0	26,0
ott-24	19,4	18,0	21,0
feb-25	13,6	12,0	14,0
mag-25	16,0	15,0	18,0
giu-25	20,1	18,0	23,0
lug-25	23,1	22,0	25,0

Tab. VI - Tabella dei valori della temperatura dell'acqua a Borgio Verezzi (SeaTemperature).

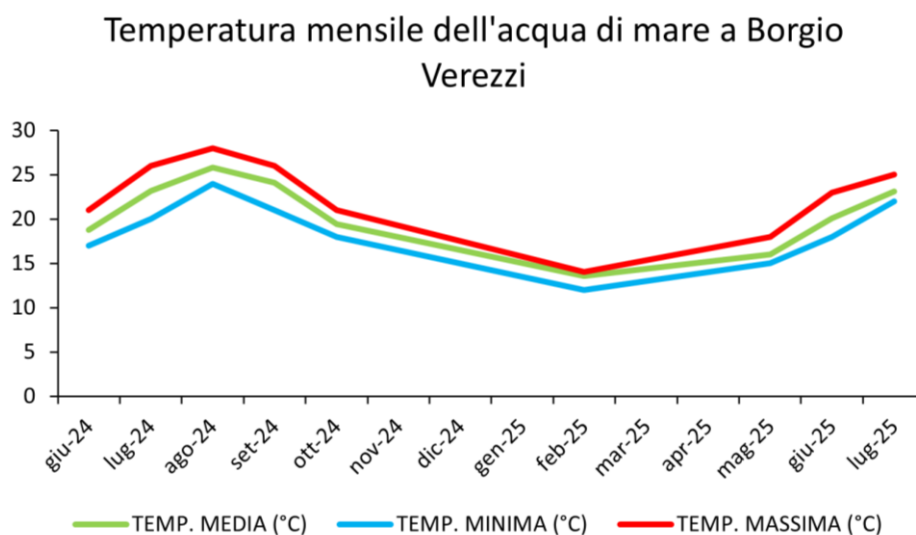


Fig. 22 - Andamento della temperatura dell'acqua a Borgio Verezzi.

I dati ambientali relativi alla piovosità (mm) sono stati utilizzati come misura indiretta della disponibilità trofica; le acque piovane, infatti, trasportano nutrienti che aumentano la produzione primaria (fitoplancton), il cui apporto energetico è destinato in gran parte alla gametogenesi.

I dati raccolti mostrano che a maggio 25 i mm di pioggia cumulata (59,2 mm) coincidono con l'inizio della gametogenesi e la comparsa di cisti spermatiche e oociti, sebbene siano di piccole dimensioni e in numero ridotto. A giugno 24, come accade

anche a giugno 25, la pioggia diminuisce drasticamente (rispettivamente 9,6 mm e 13,6 mm), come avviene anche a luglio 24 (1,0 mm). Ad agosto 24, rispetto ai due mesi precedenti, si osserva un lieve aumento della precipitazione (24,6 mm). La pioggia registrata a settembre 24 ha continuato ad essere molto abbondante (360,0 mm), in concomitanza con il termine del periodo di crescita e maturazione degli elementi riproduttivi. Nonostante ad ottobre ci sia ancora un'elevata piovosità (231,8 mm), il ciclo riproduttivo in questo periodo dell'anno è terminato, e a febbraio 25, durante il quale sono caduti solamente 8,0 mm di pioggia, si ha 100% di infertilità, con assenza di cisti spermatiche e oociti.

MESI	PRECIPITAZIONI CUMULATIVE (mm)
giu-24	9,6
lug-24	1,0
ago-24	24,6
set-24	360,0
ott-24	231,8
feb-25	8,0
mag-25	59,2
giu-25	13,6
lug-25	25,0

Tab. VII - Tabella relativa ai millimetri di pioggia caduti nell'area di Albenga.

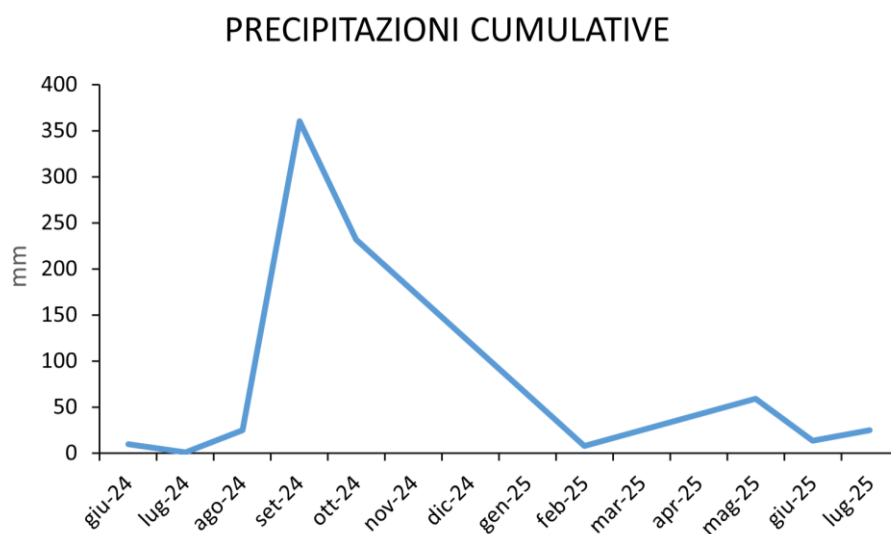


Fig. 23 - Quantità di pioggia (mm) precipitata ad Albenga.

## 5. Discussione

Lo studio condotto sulla popolazione di *Cladocora caespitosa* a Borgio Verezzi ha permesso di approfondire il ciclo riproduttivo di questa specie nel Mar Ligure e di confrontarlo con quanto riportato in altre aree del Mediterraneo.

*C. caespitosa* si presenta come una specie gonocorica, con sessi separati. Gli studi precedenti nel Mediterraneo occidentale indicano che gli elementi riproduttivi femminili e maschili iniziano a formarsi tra marzo e aprile, aumentando in numero e dimensioni nei mesi di maggio e giugno, fino alla maturazione completa tra luglio e agosto, mentre la fase di *spawning* si verifica tra la fine di agosto e settembre (Kersting et al., 2013). La popolazione ligure analizzata sembrerebbe trovarsi a una fase iniziale dello sviluppo a maggio, con numero medio e diametri ancora contenuti. I dati preliminari sugli stadi della gametogenesi riportati in letteratura (Kružić et al., 2008; Kersting et al., 2013) suggeriscono che l'oogenesi possa iniziare già nel mese di aprile, in accordo con le osservazioni del presente studio, nelle quali nel mese di maggio alcuni oociti risultano già nella seconda fase del loro sviluppo. Nei mesi successivi, giugno e luglio, si osserva un incremento significativo sia nel numero sia nel diametro degli elementi, con luglio che rappresenta il picco massimo di produzione per polipo. Ad agosto, mentre le cisti spermatiche rimangono numerose, gli oociti mostrano un calo numerico, pur raggiungendo entrambi il diametro massimo medio. La fase di *spawning* delle cisti spermatiche nel Mar Ligure si estende dalla fine di agosto e settembre, come indicato dalla quasi totale scomparsa delle cisti a settembre e a ottobre. Lo *spawning* degli oociti inizia ad agosto e si conclude a settembre, mentre ottobre e febbraio rappresentano un periodo di stasi riproduttiva, corrispondente a una pausa invernale prima dell'inizio della nuova stagione. Questi risultati delineano un ciclo riproduttivo stagionale che inizia verso maggio, con un picco di fertilità estivo, raggiunge il massimo accrescimento dimensionale ad agosto, quando culmina con il rilascio dei gameti, prima della fase di stasi invernale. Il ciclo è allineato all'andamento della temperatura media e lo *spawning* è associato a picchi di tale fattore. Questa osservazione si allinea ai dati disponibili per altre specie di sclerattinie temperate (tra cui *Oculina patagonica*, *Balanophyllia europea*, *Leptopsammia pruvoti*, *Caryophyllia inornata*, *Paracyathus pulchellus*, *Phyllangia americana mouchezii* e *Polycyathus muelleriae*) (Fine et al., 2001; Goffredo et al., 2002, 2006; Marchini et al., 2015, 2022; Shemesh et al., 2024; Semeraro et al., 2025). L'alta piovosità dell'inizio dell'autunno

e il conseguente incremento di fitoplancton potrebbe essere correlata ad una maggiore produzione di vitello in prossimità dello *spawning*. La correlazione tra aumento di produzione primaria e cicli riproduttivi è stata messa in luce in altre specie di sclerattinie, tra cui *Dendrophyllia ramea* (Orejas et al. 2023).

Un confronto con altre popolazioni mediterranee (*Tab. VIII*) evidenzia differenze significative nella fenologia riproduttiva, a indicazione della plasticità ecologica della specie. Nel Mar Ligure, i gameti si sviluppano attorno a maggio e maturano a giugno-luglio, mentre nelle Isole Columbretes (Spagna), secondo uno studio condotto nell'anno 2008-2009, lo sviluppo dei gameti inizia più tardi, a giugno, con maturazione tra luglio e agosto, e lo *spawning* avviene a fine estate o inizio autunno (Kersting et al., 2013). In questa popolazione è stato inoltre osservato che il diametro di cisti e oociti risulta inferiore rispetto a quello rilevato nel presente studio e rispetto ai valori riportati per il mese di giugno nelle popolazioni del Mar Adriatico. Nel Mar Adriatico, dove le colonie di *C. caespitosa* (studiate a giugno 2005) hanno mostrato ermafroditismo simultaneo, con gameti maschili e femminili che si sviluppano nello stesso polipo ma in mesenteri differenti, lo *spawning* si verifica all'inizio dell'estate (giugno), anticipato rispetto al Mar Ligure, probabilmente perché le temperature dell'acqua sono più elevate, accelerando lo sviluppo dei gameti (Kružić et al., 2008). Il periodo di stasi riproduttiva nel Mar Ligure coincide con i mesi autunnali e invernali (ottobre-febbraio), più lungo rispetto a quello delle popolazioni delle Isole Columbretes, dove le temperature miti posticipano la fine dell'attività, mentre nel Mar Adriatico la fase di stasi è più variabile, spesso iniziando già a settembre-ottobre.

	ANNO	2024-2025	2013	2008
MESE	PARAMETRO	MAR LIGURE	MEDIT.OCC.	MAR ADRIATICO
febbraio	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	0	nd	nd
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	0	nd	nd
	N° oociti/pol.	0	nd	nd
	N° cisti sp./pol.	0	nd	nd
maggio	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	40 $\pm$ 13	26 $\pm$ 8	nd
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	19 $\pm$ 12	nd	nd
	N° oociti/pol.	65 $\pm$ 55	5 $\pm$ 5	nd
	N° cisti sp./pol.	18 $\pm$ 11	6 $\pm$ 3	nd
giugno	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	69 $\pm$ 36	nd	416 $\pm$ 73
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	19 $\pm$ 12	nd	163 $\pm$ 47
	N° oociti/pol.	289 $\pm$ 78	nd	nd
	N° cisti sp./pol.	150 $\pm$ 101	6 $\pm$ 3	nd
luglio	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	126 $\pm$ 11	38 $\pm$ 14	nd
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	98 $\pm$ 11	nd	nd
	N° oociti/pol.	471 $\pm$ 58	>100	nd
	N° cisti sp./pol.	495 $\pm$ 177	70 $\pm$ 14	nd
agosto	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	132 $\pm$ 8	88 $\pm$ 22	nd
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	106 $\pm$ 2	nd	nd
	N° oociti/pol.	121 $\pm$ 80	>100	nd
	N° cisti sp./pol.	478 $\pm$ 90	>100	nd
settembre	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	42 $\pm$ 42	nd	nd
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	24 $\pm$ 24	nd	nd
	N° oociti/pol.	13 $\pm$ 13	nd	nd
	N° cisti sp./pol.	7 $\pm$ 7	nd	nd
ottobre	Diam.oociti ( $\mu\text{m}$ )	31 $\pm$ 31	88 $\pm$ 20	nd
	Diam.cisti sp. ( $\mu\text{m}$ )	0	nd	nd
	N° oociti/pol.	1 $\pm$ 1	5 $\pm$ 2	nd
	N° cisti sp./pol.	0	6 $\pm$ 3	nd

Tab. VII – Raffronto dei parametri indicati tra la popolazione ligure di *C. caespitosa* studiata negli anni 2024-2025 e quelle presenti nel Mediterraneo occidentale (Spagna) (Kersting et al., 2013) e nell'Adriatico (Kružić et al., 2008).

La Figura 24 illustra schematicamente il ciclo riproduttivo di *C. caespitosa*, dalla fase bentonica adulta, con rilascio di oociti e cisti spermatiche ("*gamete release*"), alla fecondazione e allo sviluppo dello zigote, fino alla formazione della larva planula e al suo insediamento sul substrato ("*settlement*"), con conseguente formazione del nuovo polipo.

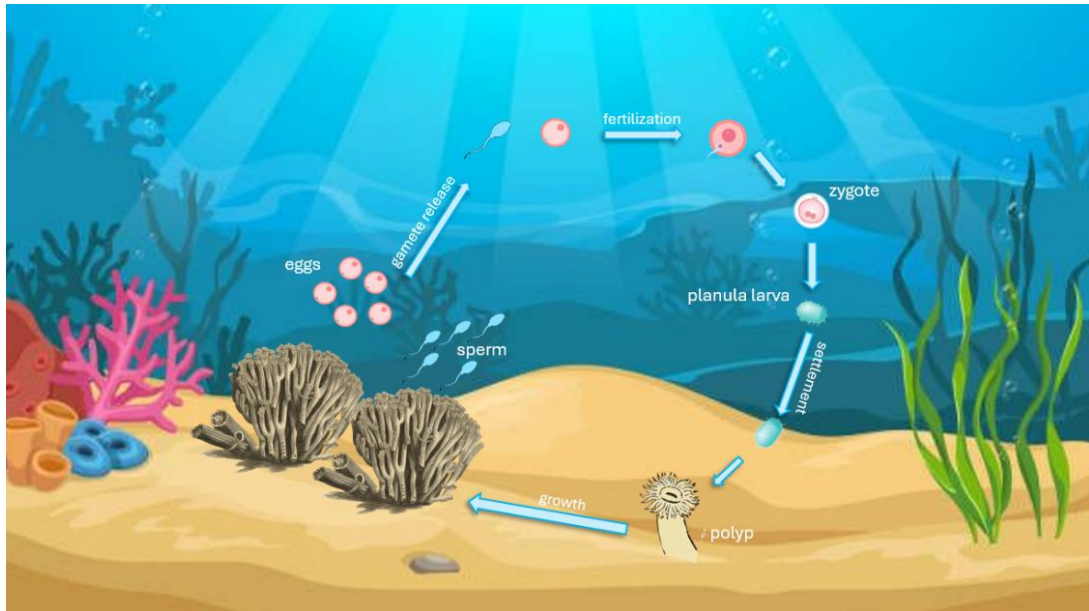


Fig.24 - Rappresentazione del ciclo vitale di *C. caespitosa*.

Il comportamento riproduttivo della popolazione ligure può essere influenzato dalle condizioni ambientali locali, quali la temperatura dell'acqua e la disponibilità di substrato duro. Studi recenti indicano che *C. caespitosa* può effettuare *spawning* multiplo, con il rilascio di gameti distribuito in più eventi a distanza di settimane, in base alla temperatura e alle fasi lunari (Kersting et al., 2013; Kružić et al., 2008).

Nonostante la presenza di numerose colonie vicine, l'automantenimento della popolazione non è garantito, poiché le larve possono essere soffocate dalle alghe o sepolte dal sedimento, riducendo la probabilità di successo dell'insediamento (Kersting & Linares, 2012; Peirano et al., 2001). La presenza della "beach rock" fornisce un substrato stabile in un contesto altrimenti sabbioso, offrendo protezione dall'erosione e dalle correnti e contribuendo alla regolazione dei nutrienti, favorendo così la sopravvivenza delle colonie (Molinari et al., 2018; Moore, 2010).

Questi risultati evidenziano che il ciclo riproduttivo femminile e maschile di *C. caespitosa* inizia simultaneamente, con un picco numerico a luglio e il rilascio tra agosto e settembre. Le analisi statistiche confermano differenze significative sia nel numero sia nel diametro degli elementi riproduttivi nei diversi mesi, evidenziando una marcata stagionalità.

## 6. Conclusione

La presente tesi ha consentito di delineare un profilo dettagliato di *Cladocora caespitosa*, sclerattinia biocostruttrice semi-endemica del Mar Mediterraneo, con particolare attenzione al ciclo riproduttivo nel Mar Ligure. Lo studio, condotto nell'arco di un anno mediante campionamenti mensili e analisi istologiche, ha evidenziato che *C. caespitosa* presenta un ciclo riproduttivo con caratteristiche peculiari rispetto ad altre popolazioni mediterranee, confermando la sua marcata plasticità riproduttiva. Questa adattabilità probabilmente contribuisce al successo ecologico della specie e alla sua capacità di colonizzare nuovi ambienti.

*C. caespitosa* risulta oggi estremamente vulnerabile: è minacciata da fenomeni di riscaldamento globale che possono provocare *bleaching*, dall'inquinamento e dall'antropizzazione delle coste, che danneggiano i substrati rocciosi su cui si insediano le colonie. La conservazione della specie appare quindi fondamentale per garantire la sua sopravvivenza e quella di tutte le specie che gravitano nell'ambiente da lei strutturato. Ricerche future dovranno approfondire la frequenza e le modalità di rilascio dei gameti, la correlazione tra variabili ambientali e maturazione gonadica, e il potenziale impatto di fattori di stress sulla capacità riproduttiva. Inoltre, sarà importante integrare lo studio con analisi sulla competizione per il substrato, in particolare nei confronti di *Oculina patagonica*, specie che a Borgio Verezzi cresce in stretta prossimità di *C. caespitosa*. L'approfondimento delle dinamiche competitive tra queste due sclerattinie potrà contribuire a chiarire i meccanismi di coesistenza e la distribuzione spaziale delle colonie, nonché il ruolo ecologico di *C. caespitosa* negli ecosistemi costieri locali. Questi approfondimenti potranno costituire basi solide per strategie di gestione e di monitoraggio della specie, soprattutto nelle aree più soggette all'impatto antropico.

## Bibliografia

AGUIRRE J., JIMENEZ A.P. (1998). *Fossil analogues of present-day Cladocora caespitosa coral banks: sedimentary setting, dwelling community, and taphonomy (Late Pliocene, W Mediterranean)*. *Coral Reefs*, Vol.17, pp. 203-213.

AIGNER T. (2002). *Apoptosis, necrosis, or whatever: how to find out what really happens?* *The Journal of Pathology, Understanding disease*, Vol.198, pp. 1-4.

AIRI V., GIZZI F., MARCHINI C., GOFFREDO S. (2016). *Sexual Reproduction of Mediterranean Scleractinian Corals*. In: Goffredo S., Dubinsky Z. (eds) *The Cnidaria, Past, Present and Future*. Springer, Cham.

ANKON P., BURIC V., DIKIC D., GRACAN R., JURCEVIC I.L., BELJAN S., KRUZIC P. (2025). *Effects of heat stress on Mediterranean endemic and endangered reef-building coral Cladocora caespitosa: study on physiological and histological markers*. *Hydrobiologia*, Vol.852, pp. 4279-4296.

AMOROSI A., ANTONIOLI F., BERTINI A., MARABINI S., MASTRONUZZI G., MONTAGNA P., NEGRI A., ROSSI V., SCARPONI D., TAVIANI M., ANGELETTI L., PIVA A., VAI G.B. (2014). *The Middle–Upper Pleistocene Fronte Section (Taranto, Italy): An exceptionally preserved marine record of the Last Interglacial*, Vol.119, pp. 23-38.

AZZOLA A., BIANCHI C. N., MORRI C., OPRANDI A., PEIRANO A., MONTEFALCONE M. (2022). *Population structure change in a temperate reef coral after a quarter of century*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.270.

BADALAMENTI F., BEN AMER I., DUPUY DE LA GRANDRIVE R., FOULQUIE M., MILAZZO M., SGHAIER Y.R., GOMEI M., LIMAM A. (2011). *Scientific field survey report for the development of Marine Protected Areas in Libya*, Vol.32.

BALDUZZI A., BIANCHI C.N., CATTANEO-VIETTI R., CERRANO C., COCITO S., COTTA S., TUNESI L., PANSINI M., SARA' M. (1994, 4-6 novembre, Alassio). *Primi lineamenti di bionomia bentica dell'Isola Gallinaria (Mar Ligure)*. *Atti del 10° Congresso dell'Associazione italiana di Oceanologia e Limnologia*. AIOL, Genova, pp. 603-617.

BARRAUD T., ÖZTÜRK B. (2022). *Macroinfaunal invertebrates associated to Cladocora caespitosa (Cnidaria: Anthozoa) in Gökçeada (northern Aegean Sea)*, Vol.28, pp. 17-62.

BERNASCONI M.P., CORSELLI C., CAROBENE L. (1997). *A bank of the scleractinian coral Cladocora caespitosa in the Pleistocene of the Crati valley (Calabria, Southern Italy): growth versus environmental conditions*. *Boll. Soc. Paleontol. Ital.*, Vol.36, pp. 53-61.

BETTI F. (2017). *Flowers underwater. The Anthozoans of the Marine Protected Area "Isola di Bergeggi"*. Second Edition. Sabatelli, Savona.

- BIANCHI C.N., MORRI C. (2003). *Global sea warming and “tropicalization” of the Mediterranean Sea: biogeographic and ecological aspects*. *Biogeographia-The Journal of Integrative Biogeography*, Vol.24.
- BIANCHI C.N. (2007). *Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea*. *Hydrobiologia*, Vol.580, pp. 7-21.
- BIANCHI C.N., MORRI C., NAVONE A., MARIANI M., ABBATE G., TIBERTI S., SCHIAPARELLI S., CATTANEO-VIETTI R., ROVERE A. (2010). *I popolamenti delle scogliere rocciose sommerse dell’Area Marina Protetta di Tavolara Punta Coda Cavallo (Sardegna nord-orientale)*. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, Vol.24, pp. 39-85.
- BITAR G., ZIBROWIUS H. (1997). *Scleractinian corals from Lebanon, Eastern Mediterranean, including a non-lessepsian invading species (Cnidaria: Scleractinia)*. *Scientia Marina*, Vol.61, pp. 227-231.
- BROWN B. (1997). *Coral bleaching: causes and consequences*. *Coral reefs*, Vol.16 (Suppl.1), S129-S138.
- CABEJ N.R. (2020). *Phanerozoic evolution-Ediacaran biota. Epigenetic mechanisms of the Cambrian explosion*, pp. 27-69.
- CARTWRIGHT P., HALGEDAHL S.L., HENDRICKS J.R., JARRARD R.D., MARQUES A.C., COLLINS A.G., LIEBERMAN B.S. (2007). *Exceptionally preserved jellyfishes from the Middle Cambrian*. *PLoS ONE*, Vol.2.
- CASADO DE AMEZÚA P., KERSTING D., TEMPLADO J., MACHORDOM A. (2014). *Regional genetic differentiation among populations of Cladocora caespitosa in the Western Mediterranean*, Vol.33, pp. 1031-1040.
- CASADO DE AMEZÚA P., KERSTING D., LINARES C.L., BO M., CAROSELLI E., GARRABOU J., CERRANO C., OZALP B., TERRÓN-SIGLER A., BETTI F. (2015). *Cladocora caespitosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species™*.
- CERRANO C., BAVESTRELLO G., BIANCHI C.N., CATTANEO-VIETTI R., BAVA S., MORGANTI C., MORRI C., PICCO P., SARA’ G., SCHIAPARELLI S., SICCARDI A., SPONGA F. (2000). *A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999*. *Ecology letters*, Vol.3, pp. 284-293.
- CHEFAOUI R.M., CASADO DE AMEZÚA P., TEMPLADO J. (2017). *Environmental drivers of distribution and reef development of the Mediterranean coral Cladocora caespitosa*. *Coral Reefs*, Vol.36, pp. 1195-1209.

- CHEMEL M., MEISTERTZHEIM A.L., MOUCHI V., LARTAUD F. (2023). *Reproductive biology of the two main reef-building cold-water corals species (Desmophyllum pertusum and Madrepora oculata) in the Mediterranean Sea. Deep-Sea Research I.*
- CHIMIANTI G., TURSI A., LOGRIECO A., NOTARANGELO S., MASTROTORATO F. (2025). *Corallith bed of the endangered coral Cladocora caespitosa in the South Adriatic Sea. Scientific Reports, Vol.15.*
- CHIMIANTI G., TURSI A., LOGRIECO A., DE GIOSA F., MASTROTOTARO F. (2026). *Grounds, Beds, and Reefs of the Endangered Coral Cladocora caespitosa With Description of the Tremeit Reef. Ecology and Evolution.*
- CUERDA J., ANTICH S., SOLER A. (1986). *Las formaciones Cuaternarias marinas de Cala Pi (Mallorca). Bolleti de la Societat d'Historia Natural de les Balears, Vol.30, pp. 95-104.*
- DUMONT H.J. (2009). *Cnidaria (Coelenterata). Encyclopedia of Inland Waters, pp. 360-270.*
- EL KATEB A., STALDER C., NEURURER C., PISAPIA C., SPEZZAFERRI S. (2016). *Correlation between pollution and decline of Scleractinian Cladocora caespitosa (Linnaeus, 1758) in the Gulf of Gabes.*
- FERRIER-PAGES C. (2014). *Les coraux scléactiniaux de Méditerranée. Institut océanographique, Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco.*
- FINE M., ZIBROWIUS H., LOYA Y. (2001). *Oculina patagonica: a non-lessepsian scleractinian coral invading the Mediterranean Sea. Marine Biology, Vol.138, pp. 1195-1203.*
- GARRABOU J., COMA R., BENSOUSSAN N., BALLY M., CHEVALDONNE' P. ET AL. (2009). *Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. Global Change Biology, Vol.15, pp. 1090-1103.*
- GOFFREDO S., AIRI V., RADETIĆ J., ZACCANTI F. (2006). *Sexual reproduction of the solitary sunset cup coral Leptosammia pruvoti (Scleractinia, Dendrophylliidae) in the Mediterranean. 2. Quantitative aspects of the annual reproductive cycle. Marine Biology, Vol. 148, pp. 923-931.*
- GOFFREDO S., ARNONE S., ZACCANTI F. (2002). *Sexual reproduction in the Mediterranean solitary coral Balanophyllia europaea (Scleractinia, Dendrophylliidae). Vol.229, pp. 83-84.*
- GOFFREDO S., GASPARINI G., MARCONI G., PUTIGNANO M.T., PAZZINI C., ZACCANTI F. (2010). *Gonochorism and planula brooding in the Mediterranean endemic orange coral Astroides calycularis (Scleractinia: Dendrophylliidae). Morphological aspects of gametogenesis and Ontogenesis. Marine Biology Research.*
- GOFFREDO S., MARCHINI C., ROCCHI M., AIRI V., CAROSELLI E., FALINI G., LEVY O., DUBINSKY Z., ZACCANTI F. (2012). *Unusual pattern of embryogenesis of Caryophyllia*

*inornata* (Scleractinia, Caryophylliidae) in the Mediterranean Sea: maybe agamic reproduction? *Journal of Morphology*, Vol.273, pp. 943-956.

HADJIOANNOU L., JIMENEZ C., HAYES F.E., SCHWARTZ J. (2019). *Effects of elevated seawater temperature on the physiology of the Mediterranean coral Cladocora caespitosa*, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol.516, pp. 43-50.

HARRISON P.L., (2011). *Sexual reproduction of Scleractinian corals*. In: Dubinsky, Z., Stambler, N. (eds) *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer, Dordrecht.

HARRISON P.L., WALLACE C.C. (1990). *Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals*. In Z. Dubinsky (ed.) *Ecosystems of the world: Coral Reefs*, Vol.25, pp. 133-207.

HENNING R.K. (1999). *The Cladocoridae: a new family of scleractinian corals (Cnidaria: Anthozoa)*. *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut*, Vol.96, pp. 3-11.

HOFRICHTER R. (2005). *El Mar Mediterráneo. Volumen II/1: Guía sistemática y de identificación, Fauna, Flora, Ecología*. Barcelona: Ediciones Omega.

HOOGENBOOM M., RODOLFO-METALPA R., FERRIER-PAGÈS C. (2010). *Co-variation between autotrophy and heterotrophy in the Mediterranean coral Cladocora caespitosa*. *Journal of Experimental Biology*, Vol.213, pp. 2399-2409.

INGROSSO G., ABBIATI M., BADALAMENTI F., BAVESTRELLO G., BELMONTE G., CANNAS R., BENEDETTI-CECCHI L., BERTOLINO M., BEVILACQUA S., BIANCHI C.N., BO M., BOSCARI E., CARDONE F., CATTANEO-VIETTI R., CAU A., CERRANO C., CHEMELLO R., CHIMIENTI G., CONGIU L., CORRIERO G., COSTANTINI F., DE LEO F., DONNARUMMA L., FALACE A., FRASCHETTI S., GIANGRANDE A., GRAVINA M.F., GUARNIERI G., MASTROTOTARO F., MILAZZO M., MORRI C., MUSCO L., PEZZOLESI L., PIRAINO S., PRADA F., PONTI M., RINDI F., RUSSO G.F., SANDULLI R., VILLAMOR A., ZANE L., BOERO F. (2018). *Mediterranean bioconstructions along the Italian coast*. *Advances in marine biology*, Vol.79, pp. 61-136.

JIMENEZ C., HADJIOANNOU L., PETROU A., NIKOLAIDIS A., EVRIVIADOU M. ET AL. (2016). *Mortality of the scleractinian coral Cladocora caespitosa during a warming event in the Levantine Sea (Cyprus)*. *Regional Environmental Change*, Vol.16, pp. 1963-1973.

KAWAMURA K., NISHITSUJI K., SHOGUCHI E. (2021). *Establishing sustainable cell lines of a coral, Acropora tenuis*. *Mar. Biotechnol.*, Vol.23, pp. 373-388.

KAWAMURA K., SEKIDA S., NISHITSUJI K., SATOH N. (2025). *The property of larval cells of the scleractinian coral, Acropora tenuis, deduced from in vitro cultured cells*.

KERSTING D.K., LINARES C. (2012). *Cladocora caespitosa (L.), a long-lived reef-builder with low recruitment and high juvenile mortality*.

- KERSTING D.K., LINARES C. (2012). *Cladocora caespitosa* bioconstructions in the Columbretes Islands Marine Reserve (Spain, NW Mediterranean): distribution, size structure and growth. *Mar. Ecol., Vol.33*, pp. 427-436.
- KERSTING D.K., BENSOUSSAN N., LINARES C. (2013). Long-term responses of the endemic reef-builder *Cladocora caespitosa* to Mediterranean warming. *PLoS ONE, Vol.8*.
- KERSTING D.K., CASADO C., LOPEZ-LEGENTIL S., LINARES C. (2013). Unexpected patterns in the sexual reproduction of the Mediterranean scleractinian coral *Cladocora caespitosa*. *Marine Ecology Progress Series, Vol.486*, pp. 165-171.
- KERSTING D.K., BALLESTEROS E., DE CARALT S., LINARES C. (2014a). Invasive macrophytes in a marine reserve (Columbretes Islands, NW Mediterranean): spread dynamics and interactions with the endemic scleractinian coral *Cladocora caespitosa*. *Biol. Invasions, Vol.16*, pp. 1599-1610.
- KERSTING D.K., TEIXIDO N., LINARES C. (2014b). Recruitment and mortality of the temperate coral *Cladocora caespitosa*: implications for the recovery of endangered populations. *Coral Reefs, Vol.33*, pp. 403-407.
- KERSTING D.K., CEBRIAN E., CASADO C., TEIXIDO N., GARRABOU J., LINARES C. (2015). Experimental evidence of the synergistic effects of warming and invasive algae on a temperate reef-builder coral. *Sci. Rep., Vol.5*.
- KERSTING D., CEBRIAN E., VERDURA J., BALLESTEROS E. (2017). A new *Cladocora caespitosa* population with unique ecological traits. *Mediterranean Marine Science, Vol.18*, pp. 38-42.
- KERSTING D., CEBRIAN E., VERDURA J., BALLESTEROS E. (2017b). Rolling corals in the Mediterranean Sea. *Coral Reefs, Vol.36*. p. 245.
- KERSTING D.K., CEFALÌ M.E., MOVILLA J., VERGOTTI M.J., LINARES C. (2023). The endangered coral *Cladocora caespitosa* in the Menorca Biosphere Reserve: Distribution, demographic traits and threats. *Ocean and Coastal Management, Vol.240*.
- KLEYPAS J.A., BUDDEMEIER R.W., ARCHER D., GATTUSO J.-P., LANGDON C., OPDYKE B.N. (1999). Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science, Vol.284*, pp. 118-120.
- KRUSKAL W.H., WALLIS W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association, Vol.47*, pp. 583-621.
- KRUŽIĆ P. (2005). Ecology of the coral *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) and its banks in the Adriatic Sea. Ph.D. thesis, University of Zagreb, p. 198.
- KRUŽIĆ P. (2007). Anthozoan fauna of Telascica Nature Park (Adriatic Sea, Croatia). *Natura Croat., Vol.16*, pp. 233-266.

- KRUŽIĆ P., BENKOVIC L. (2007). *Bioconstructional features of the coral Cladocora caespitosa (Anthozoa, Scleractinia) in the Adriatic Sea (Croatia)*. *Mar. Ecol. Evol. Persp.*, Vol.29, pp. 125-139.
- KRUŽIĆ P., POŽAR-DOMAC A. (2003). *Banks of the coral Cladocora caespitosa (Anthozoa, Scleractinia) in the Adriatic Sea*. *Coral Reefs*, Vol.22, p. 536.
- KRUŽIĆ P., POZAR-DOMAC A. (2007). *Impact of tuna farming on the banks of the coral Cladocora caespitosa in the Adriatic Sea*. *Coral reefs*, Vol.26, p. 665.
- KRUŽIĆ P., ZULJEVIC A., NIKOLIC V. (2008). *Spawning of the colonial coral Cladocora caespitosa (Anthozoa, Scleractinia) in the Southern Adriatic Sea*. *Coral Reefs*, Vol.27, pp. 337-341.
- KRUŽIĆ P., LIPEJ L., MAVRIC B., RODIC P. (2014). *Impact of bleaching on the coral Cladocora caespitosa in the eastern Adriatic Sea*. *Marine Ecology Progress Series*, Vol.509, pp. 193-202.
- KRUŽIĆ P., GUIC R., LIPEJ L., MAVRIC B., GRACAN R., ANKON P. (2025). *A Cladocora caespitosa bank (National Park Mljet, Adriatic Sea) under climate and anthropogenic impacts: A 20-Year-Survey*. *Medit. Marine Science*, Vol.26, pp. 156-174.
- KUELHMAN D.H.H. (1996). *Preliminary report on Holocene submarine accumulation of Cladocora caespitosa (L., 1767) in the Mediterranean*. *Goettinger Arb Geol. Paelont.*, (Suppl.2), pp. 65-69.
- LABOREL J. (1961). *Sur un cas Particulier de Concrétionnement Animal: Concrétionnement à Cladocora caespitosa dans le Golfe de Talante*. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions/Conseil Permanent International Pour l'Exploration de la Mer*, Vol.16, pp. 430-432.
- LABOREL J. (1987). *Marine biogenic constructions in the Mediterranean, a review*. *Scientific reports of the Port-Cros National Park*, Vol.13, pp. 97-126.
- LAJEUNESSE T.C., PARKINSON J., REIMER J.D. (2012). *A genetic-based description of Symbiodinium minutum sp. nov. and S. psygmophilum sp. nov. (Dinophyceae), two dinoflagellates symbiotic with Cnidaria*. *J Phycol.*, Vol.48, pp. 1380-1391.
- LI Y., LIAO X., WANG X., LI Y., ZHAO H., ZHAO Y., CHEN J., HE C., LU Z. (2023). *Polyp-Canal Reconstruction Reveals Evolution Toward Complexity in Corals*, Vol.6.
- LIPEJ L., IVAJNŠIČ D., PITACCO V., MAVRIČ B., TRKOV D., KRUŽIĆ P. (2024). *The coastal ichthyofauna of the Mediterranean coral reef: the case of Mljet National Park (Croatia, southern Adriatic Sea)*. *Front. Mar. Sci., Sec. Marine Biology*, Vol.11.

- MACIC V., KRANJC J., KRUŽIĆ P. (2019). *Reef-like structure of the coral Cladocora caespitosa (Linnaeus, 1767) (Anthozoa, Scleractinia) in the south Adriatic Sea (Montenegro, Cape Jaz).*
- MARCHINI C., AIRI V., FONTANA R., TORTORELLI G., ROCCHI M., FALINI G., LEVY O., DUBINSKY Z., GOFFREDO S. (2015). *Annual reproductive cycle and unusual embryogenesis of a temperate coral in the Mediterranean Sea. PLoS One, Vol.10.*
- MARCHINI C., FOSSATI V., CERPELLONI M., CAROSELLI E., FALINI G., DUBINSKY Z., GOFFREDO S. (2022). *Sexual reproduction and biometry of the non-zooxanthellate papillose cup coral Paracyathus pulchellus.*
- MILNE EDWARDS H., HAIME J. (1857). *Histoire naturelle des coralliaires ou polypes proprement dits 2. Librairie Encyclopédique de Roret, Paris., p. 631.*
- MOLINARI A. (2024). *A new coral reef site in Ligurian Sea composed by the endangered species Cladocora caespitosa and the cryptogenic species Oculina patagonica: first assessment. In European Coral Reef Symposium 2024.*
- MOLINARI A., BERNAT P., BETTI F., BO M., BAVESTRELLO G. (2018). *Primo censimento delle madrepore Cladocora caespitosa e Oculina patagonica sulla beachrock di Biorgio Veruzzi (SV-Italia).*
- MONTAGNA P., MCCULLOCH M., MAZZOLI C., SILENZI S., ODORICO R. (2007). *The non-tropical coral Cladocora caespitosa as the new climate archive for the Mediterranean: high resolution (~weekly) trace element systematics. Quaternary Science Reviews, Vol.26, pp. 441-462.*
- MOORE W.S. (2010). *The effect of submarine groundwater discharge on the ocean. Annual Review of Marine Science, Vol.2, pp. 59-88.*
- MORRI C. (2000). *Cladocora caespitosa: a colonial zooxanthellate Mediterranean coral showing constructional ability. Reef Encounter.*
- MORRI C., PEIRANO A., BIANCHI C.N. (2001). *Is the Mediterranean coral Cladocora caespitosa an indicator of climatic change? Archivio di Oceanografia e Limnologia, Vol.22, pp. 139-144.*
- MORRI C., PEIRANO A., BIANCHI C.N., SASSARINI M. (1994). *Present day biocostructions of the hard coral, Cladocora caespitosa (L.) (Anthozoa, Scleractinia), in the eastern Ligurian Sea (NW Mediterranean). Biologia Marina Mediterranea, Vol.1, pp. 371-373.*
- NITSCHKE M.R., ROSSET S.L., OAKLEY C.A., GARDNER S.G., CAMP E.F., SUGGETT D.J., DAVY S.K. (2022). *The diversity and ecology of Symbiodiniaceae: A traits-based review. Advances in Marine Biology, Vol.92, pp. 55-127.*

O'RAND A.M., KRECKER M.L. (1990). *Concepts of the Life Cycle: Their History, Meanings, and Uses in the Social Sciences, Vol.16, pp. 241-262.*

OREJAS C., ANTON-SEMPERE S., TERRON-SIGLER A., GRAU A. (2023). *Reproductive characteristics and gametogenic cycle of the scleractinian coral Dendrophyllia ramea. Aquatic Biology.*

OTERO M., NUMA C., BO M., OREJAS C., GARRABOU J., CERRANO C., KRUŽIĆ P., ANTONIADOU C., AGUILAR R., KIPSON S., LINARES C., TERRÓN-SIGLER A., BROSSARD J., KERSTING D., CASADO-AMEZÚA P., GARCIA S., GOFFREDO S., OCAÑA O., CAROSELLI E., MALDONADO M., BAVESTRELLO G., CATTANEO.VIETTI R., ÖZALP B. (2017). *Overview of the conservation status of Mediterranean anthozoans. IUCN, Magala, Spagna.*

ÖZTÜRK B. (2004). *Marine Life of Turkey in the Aegean & Mediterranean Sea. Turkish Marine Research Foundation (Istanbul), Vol.48.*

ÖZALP H.B., ALPARSLAN M., (2011). *The first record of Cladocora caespitosa (Linnaeus, 1767) (Anthozoa, Scleractinia) from the Marmara Sea. Turkish Journal of Zoology, Vol.35, pp. 701-705.*

PEIRANO A., ABATE M., CERRATI G., DIFESCA V., PERONI C., RODOLFO-METALPA R. (2005). *Monthly variations in calix growth, polyp tissue and density banding of the Mediterranean scleractinian Cladocora caespitosa. Coral Reefs, Vol.24, pp. 404-409.*

PEIRANO A., MORRI C., BIANCHI C.N. (1999). *Skeleton growth and density patterns of the temperature, zooxanthellate scleractinian Cladocora caespitosa from the Ligurian Sea (NW Mediterranean). Marine Ecology Progress Series, Vol.185, pp. 195-201.*

PEIRANO A., MORRI C., BIANCHI C.N., AGUIRRE J., ANTONIOLI F., CALZETTA G., CAROBENE L., MASTRONUZZI G., ORRÙ P. (2004). *The Mediterranean coral Cladocora caespitosa: a proxy for past climate fluctuations? Global and Planetary Change, Vol.40, pp. 195-200.*

PEIRANO A., MORRI C., MASTRONUZZI G., BIANCHI C.N. (1994). *The coral Cladocora caespitosa (Anthozoa, Scleractinia) as a bioherm builder in the Mediterranean Sea. Mem. Descr. Della Carta Geol. Ital., Vol.52, pp. 59-74.*

PEIRANO A., RIETHDORF S., VAN WOESIK R., PIAZZI L., PANDOLFI I., ROSSI P.M., ABBATE M. (2001). *Past and present of the coral Cladocora caespitosa (L.) in the Ligurian Sea.*

PIRES D.O., SILVA J.C., BASTOS N.D. (2013). *Reproduction of deep-sea reef-building corals from the southwestern Atlantic. Deep-Sea Research II, Vol.99, pp. 51-63.*

PITACCO V., ORLANDO-BONACO M., MAVRIC B., LIPEJ L. (2014). *Macrofauna associated with a bank of Cladocora caespitosa (Anthozoa, Scleractinia) in the gulf of Trieste (N Atlantic)*. ANNALES · Ser. hist. nat., Vol.24.

PONS-FITA A., VERDURA J., SANTAMARIA J., KERSTING D.K., BALESTEROS E. (2020). *Coexistence of the reef-building coral Cladocora caespitosa and the canopy-forming alga Trept-acantha ballesterosii: Description of a new Mediterranean habitat*. Scientia Marina, Vol.84, pp. 263-271.

REPULLÉS M., LOPEZ-MARQUEZ V., TEMPLADO J., TAVIANI M., MACHORDOM A. (2022). *Genetic structure of the endangered coral Cladocora caespitosa matches the main bioregions of the Mediterranean Sea*. Frontiers in Genetics, Vol.13.

RINDI F., BERTOCCI I., PIAZZI L., BULLERI F., CINELLI F. (2003). *Recruitment of the azooxanthellate coral Cladocora caespitosa (Linnaeus, 1767) in the Tyrrhenian Sea*.

RODOLFO-METALPA R., BIANCHI C.N., PEIRANO A., MORRI C. (2005). *Tissue necrosis and mortality of the temperate coral Cladocora caespitosa*. Italian Journal of Zoology, Vol.72, pp. 271-276.

RODOLFO-METALPA R., PEIRANO A., HOULBRÈQUE F., ABBATE M., FERRIER-PAGÈS C. (2008). *Effects of temperature, light and heterotrophy on the growth rate and budding of the temperate coral Cladocora caespitosa*. Coral Reefs, Vol.27, pp. 17-25.

RODOLFO-METALPA R., REYNAUD S., ALLEMAND D., FERRIER-PAGES C. (2013). *Temporal and depth responses of two temperate corals, Cladocora caespitosa and Oculina patagonica, from the North Mediterranean Sea*. Mar. Ecol. Progr. Series, Vol.369, pp. 103-114.

RODOLFO-METALPA R., RICHARD C., ALLEMAND D., BIANCHI C. N., MORRI C., FERRIER-PAGES C. (2006). *Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals Cladocora caespitosa and Oculina patagonica to elevated temperatures*. Marine Biology, Vol.150, pp. 45-55.

SANDULLI R. (2012). *Biocostruzioni del Mar Mediterraneo: un patrimonio poco conosciuto*. Uomo e Natura, Vol.4, pp. 25-38.

SCHILLER C. (1993). *Ecology of the symbiotic coral Cladocora caespitosa (L.) (Faviidae, Scleractinia) in the Bay of Piran (Adriatic Sea): I. Distribution and biometry*. PSZNI. Mar. Ecol., Vol.14, pp. 205-219.

SCHUHMACHER H., ZIBROWIUS H. (1985). *What is hermatypic?* Coral Reefs, Vol.4, pp. 1-9.

SEMERARO D., MASTRODONATO M., GUGLIELMI M.V., MERCURIO M., PIERRI C., CORRIERO G., MARZANO C.N. (2025). *Reproductive cycle of reef-building scleractinian from a Mediterranean mesophotic coral reef*. Coral Reefs, Vol.45, pp. 3247-339.

- SHAVER E.C., SILLIMAN B.R. (2017). *Time to cash in on positive interactions for coral restoration*.
- SHEMESH T., LEVY S., EINBINDER A., KOLSKY I., BELLWORTHY J., MASS T. (2024). *The effects of elevated temperatures on the reproductive biology of a Mediterranean coral, *Oculina patagonica**. *Oceans*, Vol.5, pp. 758-769.
- STANLEY JR. G.D., (1981). *Early history of scleractinian corals and its geological consequences*. *Geology*, Vol.9, pp. 507-511.
- STOLARSKI J., KITAHARA M.V., MILLER D.J., CAIRNS S.D., MAZUR M., MEIBOM A. (2011). *The ancient evolutionary origins of Scleractinia revealed by azooxanthellate corals*, Vol.11.
- TAYLOR D.R. (2005). *Bleaching*.
- TECHNAU U., STEELE R.E., (2011). *Evolutionary crossroads in developmental biology: Cnidaria*, Vol.138, pp. 1447-1458.
- TRAINITO E., BALDACCONI R. (2016). *Coralli del Mediterraneo. Il Castello, Milano*.
- VERMEIJ M.J.A., SAMPAYO E., K. BRÖKER R. P. M. BAK (2004). *The reproductive biology of closely related coral species: gametogenesis in *Madracis* from the southern Caribbean*. *Coral Reefs*, Vol.23, pp. 206-214.
- VERON J.E.N. (2000). *Corals of the World Australian Institute of Marine Science, Townsville (Australia)*.
- VIGO A. (2020). *I colori della barriera corallina*.
- VOUSDOUKAS M.I., VELEGRAKIS A.F., PLOMARITIS T.A. (2007). *Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts*. *Earth-Science Reviews*, Vol.85, pp. 23-46.
- WALLER R.G., TYLER P.A. (2005). *The reproductive biology of two deep-water, reef-building scleractinians from the NE Atlantic Ocean*. *Coral Reefs*, Vol.24, pp. 514-522.
- YOUNG C.M. (2025). *The early discovery of larval forms. Atlas of Marine Invertebrate Larvae. Second Edition*, pp. 9-70.
- ZIBROWIUS H. (1980). *Les Scléactiniaires de la Méditerranée et de l'Atlantique nord-oriental. Memoires de l'Institut océanographique, foundation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco*.
- ZIBROWIUS H. (1982). *Taxonomy in ahermatypic scleractinian corals*. *Palaeontogr Am*, Vol.54, pp. 80-85.
- ZIBROWIUS H. (1983). *Nouvelles données sur la distribution de quelques scléactiniaires "méditerranéens" à l'est et à l'ouest du détroit de Gibraltar. Rapports et Procès-Verbaux des Reunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (Monaco)*, Vol.28.