



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale in Biologia Marina

Morfologia e analisi dei contenuti stomacali di due specie di Cidaridae (Echinodermata: Echinoidea) del Mar Mediterraneo

Morphology and analysis of the gut contents of two species of Cidaridae (Echinodermata: Echinoidea) from the Mediterranean Sea

Tesi di Laurea Magistrale di:

Adele Basho

Relatore:

Chiar.mo Prof.

Cristina Gioia Di Camillo

Correlatore:

Chiar.mo Prof.

Carlo Cerrano

Sessione estiva di Luglio

Anno Accademico 2021 - 2022

1. INTRODUZIONE.....	5
1.1. Echinodermata: Echinoidea.....	5
1.1.1. Morfologia.....	8
- Lanterna di Aristotele.....	8
- Pedicellariae.....	11
1.1.2. Ecologia.....	18
- Distribuzione.....	18
- Distribuzione in Mediterraneo.....	19
- Fibre sintetiche nei contenuti stomacali di echinodermi.....	22
1.2. Cidaridae.....	25
1.2.1. Parte morfologica.....	25
- <i>Cidaris Cidaris</i>	27
- <i>Stylocidaris affinis</i>	28
1.2.2. Parte ecologica.....	29
- Habitat.....	29
- Alimentazione.....	30
- Riproduzione.....	34
- Organismi associati ai Cidaridae	35
1.3. Scopo della tesi.....	37
2. MATERIALI E METODI.....	38
2.1. Area di studio.....	38
2.2. Fissazione e labelling dei campioni.....	39
2.3. Analisi di laboratorio.....	39
- Analisi contenuti stomacali.....	39
- Analisi morfologica.....	41
3. RISULTATI.....	44
3.1. Analisi morfologica.....	45
3.2. Ecologia.....	50
4. DISCUSSIONI.....	55
5. CONCLUSIONI.....	63
6. BIBLIOGRAFIA.....	65

SUMMARY

The family Cidaridae Gray, 1825 is a family of echinoderms in the order Cidaroida, belonging to the phylum Echinodermata. There are about 120 species of Cidaridae living in the circalittoral of the Indian and Pacific oceans. In the Mediterranean they are mostly found beyond 50 m depth and are often very abundant, so that they characterize cidarid bottoms such as those in the Gulf of Naples. No fewer than 600 species of cidarids are known to occur in Europe, particularly in Mesozoic soils. Morphologically, Cidaridae are characterized by a subspherical body, depressed at the poles and thick shell. In the Mediterranean there are only two genera belonging to the family Cidaridae: *Cidaris* with globiferous pedicellaria valves equipped with a terminal tooth and *Stylocidaris* with globiferous pedicellaria valves lacking a terminal tooth. Each genus in the Mediterranean is represented by only one species: *Cidaris cidaris* (Linnaeus, 1758) and *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845). The two very similar Cidaridae were long regarded as a single species under the name *Dorocidaris papillata* (Leske) until Mortensen described them in detail. *Stylocidaris affinis* and *Cidaris cidaris* have different bathymetric distributions, although the two depth ranges partially overlap; *S. affinis* is more commonly found in shallower waters than *C. cidaris*; however, different authors indicate different depth ranges. For example, Tortonese (1965) indicates a bathymetric range of 30-1000 m and 50-2000 m, while, Koehler (1922) 30-150 m and 50-400 m and Koukouras et al., (2007), 5-180 m and 20-250 m for *S. affinis* and *C. cidaris*, respectively.

Information on *Cidaris cidaris* and *Stylocidaris affinis*, particularly on ecological aspects including their distribution in the Mediterranean, habitat, feeding, reproduction and associated organisms is relatively scarce. Bottom trawling has been contributing to the degradation of deep-water habitats and decline of megafauna, and Cidaridae are one of the taxa belonging to fishing catch and discard (Kalogirou et al. 2022, FAO 2018). A deeper knowledge about cidarids

from the Mediterranean Sea is essential to assess IUCN vulnerability status of these sea urchins and to relate their abundance to level of overexploitation of habitats. The purpose of this work is to make a contribution to the taxonomic, morphological and ecological knowledge of these two species. Analyses were based on the observation of 16 samples of the family Cidaridae sampled in March 2021 in the Ligurian Sea, around 90 m, on rocky seabed with coarse sediment, and in the central Adriatic Sea at a bathymetry of about 130 m and on sandy, detrital and muddy seabed through trawling, and Cidaridae are part of the bycatch. Our study also draws attention to the presence of synthetic fibers found in the gut contents of the urchins examined likely acquired through the ingestion of sediments that characterize the habitat of these species. The species, in this study, were observed and analyzed using the stereomicroscope and light microscope, which allowed examination of morphological characters, which are essential for species recognition. In addition, the stomach contents of the samples of *Cidaris cidaris* and *Stylocidaris affinis* were analyzed to increase knowledge of the feeding behavior of these species and to check, with the use of fluorescence microscope, the presence and amount of synthetic fibers. Two fundamental concepts that emerged from this study are: the importance of directly observing the specimen, analyzing the morphological aspect for proper taxonomic classification, along with the analysis of the ecological aspect that gives us information regarding feeding, habitat and reproduction.

1. INTRODUZIONE

1.1. Echinodermata: Echinoidea

È noto che i ricci di mare (Echinodermata: Echinoidea) esistono sin dal Medio Ordoviciano, circa 460 milioni di anni fa. Durante il Giurassico inferiore hanno subito un'intensa radiazione adattativa che ha portato a una varietà di forme e stili di vita adattati a diversi habitat marini. Gli echinoidei sono tradizionalmente suddivisi in due gruppi: regolari e irregolari, identificabili principalmente in base alla morfologia e allo stile di vita. Gli echinoidei regolari sono tipicamente di forma sferica, o subconica, con il peristoma (regione della bocca) sul lato orale centrale e il periprocto (regione anale) situato aboralmente (Clarke, 1907). I regolari si distinguono facilmente dall'altra sottoclasse per avere gli aculei più robusti e sviluppati e per la forma globosa e depressa soprattutto al polo aborale. La teca è formata da grosse piastre a stretto contatto fra loro; le sue dimensioni arrivano fino a 30 cm in qualche specie indopacifica. Il colore è vario ma sempre molto evidente. La teca è provvista di piccoli tubercoli visibili ad occhio nudo ai quali si articolano gli aculei; questi sono movibili attraverso una piccola muscolatura situata a livello dell'articolazione fra aculeo e tubercolo. Oltre ai tubercoli, la teca porta sulla sua superficie dei piccoli fori, che rappresentano il punto di inserzione delle pedicellarie; queste sono utilizzate negli Echinoidei per la recezione degli stimoli esterni, per la pulizia della superficie del corpo e, in alcune specie, per la difesa contro possibili predatori (Clarke, 1907). Le pedicellarie deputate a quest'ultimo scopo sono dotate di ghiandole del veleno, vengono dette globifere e producono una tossina paralizzante nei confronti di piccoli pesci. I regolari si caratterizzano per la teca suddivisa in cinque parti interambulacrali (o interradii) e cinque ambulacrali (o radii). In queste ultime sono presenti cinque doppie file di pedicelli provvisti di ventose disposti lungo i meridiani dalla superficie orale a quella aborale secondo la simmetria pentamera (Clarke,

1907). Questi pedicelli sono il sistema acquifero per il movimento. La velocità raggiungibile, si pensa, sia mediamente di 15 cm al minuto anche se specie hanno dimostrato di arrivare sino a 2 m al minuto. I regolari sono tipici di fondi duri e sono animali sciafili, tale caratteristica è facilmente evidenziabile nel tipico comportamento di ricoprirsì di qualunque "oggetto" che trovano (conchiglie, alghe, rifiuti di origine antropica, ecc.). Sono in gran parte erbivori brucatori, grattano dal substrato le alghe grazie alla lanterna di Aristotele. È stato dimostrato tuttavia, che possono assumere un feeding-behaviour da filtratore quando si trovano su fondali ad alto contenuto organico (Clarke, 1907). Al contrario, gli echinoidei irregolari sono per lo più quelli il cui esoscheletro ha forma ovale o a cuore. Il peristoma è localizzato oralmente, ma non necessariamente al centro della superficie orale. Il periprocto è migrato dal lato aborale centrale verso il lato orale, assumendo posizioni variabili. Gli echinoidei irregolari prediligono fondali sabbiosi e fangosi ove per lo più si infossano. Questi ultimi hanno cinque settori ben distinti ma i pedicelli ambulacrali formano una specie di fiore con cinque petali. Il polo orale, dove è situata la bocca, è rivolto verso il basso e in esso è contenuta la lanterna di Aristotele per la triturazione del cibo. La zona che circonda la bocca, detta membrana peristomale, è provvista di pedicelli modificati (podia boccali) e di cinque paia di branchie a struttura cespugliosa. Il polo aborale, dove è situato l'ano, è rivolto verso l'alto e si compone di cinque piastre che vanno a formare il periprocto; all'interno di esso si ha la madreporite (Clarke, 1907). Gli irregolari hanno aculei più piccoli e numerosi ed hanno una forma schiacciata, fortemente depressa; il contorno del corpo varia da ovale a circolare. La disposizione della bocca e dell'ano varia nei quattro ordini in cui si suddivide la sottoclasse: Spatangoida, Clypeastroida, Cassiduloida, Holoctypoida. Negli Spatangoidi la bocca è collocata anteriormente, mentre l'ano si pone in un interraddio posteriore (Clarke, 1907). Il polo aborale continua a collocarsi al centro della superficie superiore e le zone ambulacrali che si dipartono da esso

sono dette petaloidi per la loro forma a foglia. I pedicelli di tali zone sono modificati per l'assunzione dell'ossigeno, mentre quelli delle zone ambulacrali ventrali (dette filladi) sono atti alla cattura del cibo (particellato organico). Nei Clipeastroidi bocca ed ano si collocano lungo la superficie orale. Il sistema acquifero segue lo schema tipico degli Echinodermi (Clarke, 1907).

Il successo evolutivo degli echinoidi è senza dubbio dovuto all'impiego strategico del loro endoscheletro, macroscopicamente costituito da tre principali componenti funzionali: test, apparato dentale (la lanterna di Aristotele) e appendici accessorie (come spine e pedicellarie) (Clarke, 1907). Nel corso dell'evoluzione, le parti scheletriche degli echinoidi si sono trasformate morfologicamente e fisiologicamente adattandosi a nuove funzioni. Le spine proteggono l'animale resistendo a sollecitazioni meccaniche biotiche (ad es. attacchi dei predatori) e abiotiche (ad es. forte moto ondoso o impatto sul substrato durante lo scavo o la locomozione); le pedicellariae, forniscono un'ulteriore difesa e sono usate per pulire l'epidermide dell'echinoide. La lanterna di Aristotele svolge ruoli fondamentali come afferrare, raschiare, scavare ed è importante per la locomozione.

1.1.1. Morfologia

Lanterna di Aristotele

La maggior parte degli echinoidei regolari, esistenti o estinti, possiedono un complesso apparato dentale, importante fattore del successo evolutivo: la lanterna di Aristotele. L'apparato è un sistema biomeccanico e dinamico disposto secondo una simmetria perfettamente pentamera. È costituito da una parte intrinseca, la lanterna stessa, e da una parte estrinseca, la cintura perignatica. Queste due parti sono collegate da fasci muscolari e strutture legamentose. La lanterna è composta da quaranta elementi scheletrici anatomicamente distinti: dieci semipiramidi, dieci epifisi, cinque rotule, dieci bussole e cinque denti (Clarke, 1907). Sono tutti uniti tra loro da specifiche articolazioni (mobili, semimobili e rigide), interconnesse da legamenti articolari e movimentate da muscoli anatomicamente e funzionalmente ben definiti. Questi ultimi sono costituiti da cinque paia di fasci divaricatori, cinque massicci inter-muscoli piramidali e cinque muscoli elevatori della bussola. La componente muscolare della lanterna è rappresentata anche da altri elementi muscolari ovvero i miociti dell'epitelio celomico, che sono coinvolti nel movimento in misura minore (Clarke, 1907). Gli echinoidei irregolari generalmente non possiedono una lanterna, sebbene nei giovani di Cassiduloida e Spatangoida questo possa apparire come un tratto vestigiale, con l'eccezione di Hololectypoida e Clypeasteroida adulti. Tuttavia, queste lanterne persistenti nei ricci irregolari differiscono notevolmente dai modelli di lanterne di quelli regolari: sono appiattite e relativamente più grandi, non sporgenti e dotate di denti che si muovono orizzontalmente rispetto al substrato e progettati per frantumare i sedimenti piuttosto che per afferrarli. Inoltre, a differenza della lanterna degli echinoidi regolari, questa struttura appiattita sembra essere usata solo per l'alimentazione (Clarke, 1907).

La lanterna di Aristotele dei ricci di mare regolari, infatti, è impiegata anche in altre importanti attività come lo scavo, la locomozione, la respirazione e la circolazione del fluido celomico (Clarke, 1907). È stato valutato che la lanterna complessiva può mostrare resistenza a diverse sollecitazioni meccaniche legate all'attività motoria attraverso una serie di specifici adattamenti macro e microstrutturali. Da un punto di vista macrostrutturale, il primo vantaggio meccanico della lanterna risiede nella sua suddivisione strategica in parti complementari e pezzi correlati, a cominciare dalle cinque ganasce multipezzo, ciascuna costituita da elementi distinti suturati tra loro (due semipiramidi simmetriche e due semiepifisi simmetriche) fornendo un alveolo perfetto che contiene e protegge il lungo dente interno assicurandone la continua crescita. Il secondo vantaggio riguarda le mascelle unite tra loro mediante complesse articolazioni multivalenti dotate di elementi articolari specializzati, detti rotule (Clarke, 1907). Questi svolgono un ruolo nell'apertura e chiusura di base della mascella, modulandone l'inclinazione e l'oscillazione, e nei movimenti indipendenti dei compassi (sollevamento/abbassamento) sul lato aborale della lanterna. Si tratta di dispositivi sofisticati che consentono alla struttura di essere meccanicamente versatile, resistente e deformabile. Il design micromeccanico delle parti scheletriche della lanterna è stato studiato e descritto utilizzando il microscopio ottico a scansione (SEM Clarke, 1907) (Fig.1). I denti mostrano un'architettura microstrutturale unica composta da una combinazione di cristalli di calcite contenenti magnesio, elementi a piastra monocristallini, elementi fibrosi monocristallini e matrice policristallina, con una quantità variabile di macromolecole organiche (Clarke, 1907). I denti sono allungati, moderatamente curvi e di forma molto variabile, e possono essere classificati in quattro tipi (U, T, prisma e denti a forma di cuneo) in base al loro diverso profilo della sezione trasversale. Lungo l'asse longitudinale, ogni dente presenta tre parti principali ben differenziate: una porzione aborale

crescente (plumula), un'asta mediana e una porzione matura caratterizzata da una punta orale acuta (Clarke, 1907).

Per far fronte alla costante abrasione della punta dovuta all'interazione con il substrato, il dente cresce continuamente a livello della plumula per poi scendere lentamente lungo la mascella seguendo un solco piramidale interno. La parte matura è costituita da tre zone principali caratterizzate da strutture e funzioni ben differenziate:

- La zona della placca primaria, organizzata in lastre lamellari e prismi orientati obliquamente rispetto all'asse longitudinale del dente;
- La parte lapidea formata da aghi calcarei circondati da una matrice policristallina e collegati alle piastre primarie da lamelle;
- La chiglia costituita principalmente da prismi interni e da piastre secondarie esterne con peculiari prolungamenti (Clarke, 1907).

In termini di correlazione struttura-funzione, le componenti della piastra lamellare risultano essere una soluzione strutturale atta a rinforzare le zone soggette a massima sollecitazione di compressione (parte abassiale), mentre gli elementi fibrosi trovano impiego nelle zone di massima sollecitazione a trazione (parte adassiale: la chiglia) (Clarke, 1907). Sulla punta del dente, placche ed elementi fibrosi si staccano a causa delle forze di taglio creando di conseguenza una frattura allo strato organico circostante, generando un meccanismo di autoaffilatura (Clarke, 1907). In conclusione, il dente è atto a minimizzare e rispondere a sollecitazioni meccaniche multiple e combinate come taglio, flessione, torsione e deformazione prodotte da presa, raschiatura, scavo e locomozione. L'impiego strategico del materiale magnesio-calcitico unitamente alle sue proprietà meccaniche, in combinazione con l'orientamento di una disposizione a piastra e prisma, determinano un notevole aumento della durezza del dente (due volte quello della stessa calcite inorganica) permettendo agli echinoidi di scavare efficacemente e in profondità nelle rocce calcaree.

Pedicellariae

I ricci di mare possiedono una serie di appendici per la protezione: le spine primarie e secondarie, che ricoprono la superficie dell'animale e forniscono difesa contro i predatori più grandi (Coppard et al., 2012). Tra le spine vi sono una serie di appendici peduncolate: le pedicellarie, strutture a tenaglia utilizzate nella difesa e nella pulizia. Queste sono funzionalmente e strutturalmente molto evolute e si presentano in forme diverse. All'inizio del Mesozoico si era sviluppata una vasta gamma di tipi di pedicellarie, diretta conseguenza dell'aumento della minaccia da parte di predatori e parassiti. Dal Triassico gli echinoidei hanno migliorato la loro capacità difensiva sviluppando un rilascio più efficace del veleno attraverso le pedicellarie globifere, punte spatolate e lame curve per una presa più efficiente attraverso le pedicellarie tridentate e valve più robuste nelle pedicellarie oficefale per disabilitare e rimuovere gli ectoparassiti. A causa di questa variabilità le pedicellarie sono state ampiamente utilizzate nella tassonomia, soprattutto a livello di specie e genere. Le pedicellarie possono essere classificate in quattro tipi principali: globifere (gemmiforme), oficefale, trifille (trifoliate) e tridentate (tridattile) (Cavey e Markel 1994). Spesso tutti e quattro i tipi si possono trovare sullo stesso individuo. Tutte comprendono una testa, composta da due a cinque valve e un gambo almeno in parte sostenuto da un'asta scheletrica.

Ciascuna valva è formata da una lama distale il cui bordo è spesso denticolato e da una superficie articolare prossimale con regioni di inserzione dei muscoli adduttori. Le valve sono realizzate in calcite, quindi hanno una costruzione robusta ma leggera, e sono ricoperte da un epitelio pigmentato che spesso contiene spicole. I grandi muscoli adduttori sono presenti nella maggior parte dei tipi di pedicellarie e sono usati per chiudere le mascelle, mentre i muscoli abduttori e flessori aprono e manipolano le valve.

Il potere di presa delle pedicellarie non è tuttavia limitato ai muscoli che uniscono le valve, ma è implementato anche dalle fibre di collagene che legano lo stelo formato da bastoncelli di calcite alle stesse (Campbell 1983). Le pedicellarie globifere (Fig. 1-2) sono le più specializzate delle quattro forme, - con ghiandole velenifere e valve che terminano in zanne o denti progettati per perforare la pelle dei predatori e rilasciare il loro veleno. Reagiscono ad una stimolazione chimica appropriata e rispondono a quella tattile semplicemente aprendo più ampiamente le mascelle, esponendo così ulteriormente l'interno delle valve e la collinetta sensoriale. Ciò impedisce alle pedicellarie globifere di rilasciare prematuramente il loro veleno quando entrano in contatto con particolato o materiale organico non mirato. Si riteneva che le pedicellarie globifere fossero presenti nell'ultimo antenato comune di tutti gli echinoidi moderni. Le pedicellarie globifere fistolate senza zanne erano considerate primitive, presenti sia nei cidaroidi che negli echinoidi irregolari.

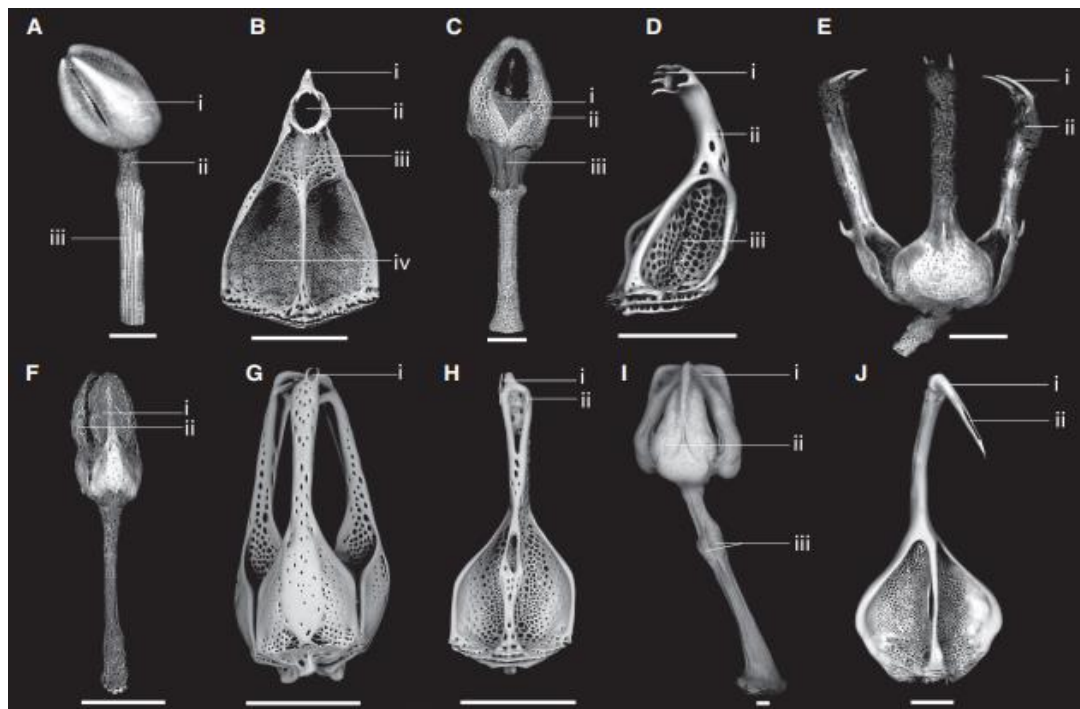


Figura 1. —A-B. I principali tipi di pedicellariae globifere. A: (*Eucidaris*), i, valva con cavità ghiandolare; ii, collo; iii, gambo; B: ossicolo valvare (*Calocidaris*). i, dente terminale; ii, forame dentellato; iii, lama aperta con cuscinetto sensoriale; iv, punto di inserimento del muscolo adduttore; C: (*Paraster*). i, muscoli adduttori; ii, cavità ghiandolare; iii, collo con muscoli abduttori; D: (*Brissalius*) ossicolo della valva, i, forame dentellato; ii, cavità ghiandolare; iii, punto di inserimento del muscolo adduttore. —E: (*Brissopsis*). i, zanne distali; ii, ghiandole delle valve. —F-H. (*Echinometra*) globifero con zanne asimmetriche con ghiandole velenifere esterne, F: i, ghiandole velenifere (doppie per valva); ii, spicole; G: testa intera sbiancata, i, dotto zanna primario; H: ossicolo valvare; i, zanna primaria con condotto; ii, zanna secondaria. —I-J. (*Toxopneustes*) globifero a zanne con ghiandole sia dello stelo che della valva, -I. i, condotto della valva; ii, ghiandole della valva del veleno (doppie per valva); iii, ghiandole staminali (x3); J: ossicolo valvare; i, zanna uncinata; ii, apertura distale nella zanna. Coppard et al., 2012

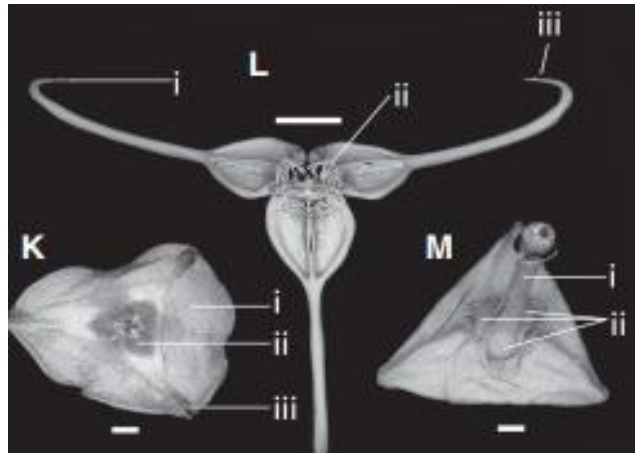


Figura 2. –K–M. (*Toxopneustes*) globifero con zanne con ghiandole a peduncolo: K: vista dorsale; i, pelle tra le valve; ii, collinetta sensoriale; iii, zanna distale; L: testa intera sbiancata; i, punta terminale sulla zanna; ii, collinetta sensoriale; iii, apertura distale nella zanna; M: vista ventrale; io, gambo; ii, ghiandole delle valve (x3 singoli). Coppard et al., 2012

Il veleno, chiamato peditossina, ha effetti paralizzanti su crostacei, gasteropodi, polpi e pesci con segnalazioni infondate di decessi negli esseri umani (Romanes 1883; Fujiwara 1935). Nelle specie epifaunali di echinoidei, le pedicellarie globifere si trovano prevalentemente sulla superficie aborale (Coppard, oss. pers.) a volte a densità molto elevate, fornendo una prima linea di difesa contro i macropredatori come le stelle marine (Dayton et al. 1977; Lawrence 1987, pag. 235).

Le pedicellarie oficefale (Fig.3) hanno tre valve dentellate tipicamente con lame corte e larghe, che raggiungono il loro punto di massima larghezza a due terzi della lunghezza. Le valve possono essere semplici o ristrette e sono caratterizzate da un ampio processo di proiezione verso l'interno, al di sotto della superficie di articolazione denominato "maniglie" da Mortensen (1928–1951). Si dice che questa struttura fornisca una maggiore presa e potrebbe consentire alle mascelle di trattenere oggetti per periodi più lunghi prima che i muscoli si affatichino.

Le pedicellarie oficefale vengono tenute abbassate fino a quando non captano lo stimolo, dopodiché gli steli vengono sollevati e le loro mascelle aperte. Questo tipo di pedicellarie viene utilizzato per intrappolare piccoli organismi in movimento, ad es. ectoparassiti.



Figura 3. -P. (*Clypeaster*) oficefale; i, testa intera; ii, ossicolo valvare 1; iii, ossicolo valvare 2; iv, ossicolo della valva 3; -Q. (*Coelopleurus*) opicefale. Coppard et al., 2012

Le pedicellarie trifille (Fig. 4) sono le più piccole delle quattro tipologie principali e sono attaccate da un collo muscoloso a un lungo peduncolo. Hanno tre piccole valve che si incontrano lungo i loro bordi laterali. Le valve sono generalmente arrotondate e hanno lame lisce o piccoli denti ad incastro. In alcuni gruppi, le lame hanno un aspetto bilobato creando una maggiore area di "morso". Le pedicellarie oficefale e quelle trifille sono assenti nei cidaridi. Coppard et al., (2012) hanno attribuito un ruolo difensivo alle pedicellarie oficefale e un ruolo purificante alle pedicellarie trifille. I Cidaridae, che non hanno nessuno dei due tipi, mancherebbero di questa capacità.

Le pedicellarie trifille possono essere osservate aprire e chiudere continuamente le mascelle per diverse, anche dopo che sono state staccate dal riccio di mare vivo (Coppard, pers. oss.). La loro funzione sembra essere quella di pulire la placca batterica e il piccolo particolato dall'epitelio che può essere molto dannoso per gli echinoidi (Tajima et al. 1997; Nagelkerken et al. 1999; Bauer e Young 2000).

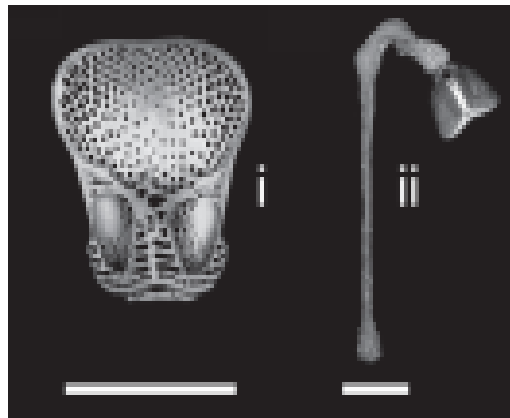


Figura 4. —(*Toxopneustes*) trifille: i, ossicolo valvare; ii, intero. Coppard et al., 2012

Le pedicellarie tridentate (Fig. 5) sono il tipo più grande e comune con tipicamente tre valve lunghe che hanno denti periferici. La testa della pedicellaria è spesso sostenuta da un collo muscoloso che consente il libero movimento delle mascelle in tutte le direzioni. Le lame possono essere strette, larghe o spatolate con vari gradi di dentatura ad incastro, possono essere simili a pinze che si incontrano solo in punta oppure avere un bordo di contatto completo. Le pedicellarie tridentate vengono tenute chiuse e abbassate in posizione di riposo fino a quando non vengono allertate dalla stimolazione tattile. Queste, inoltre, rimuovono il particolato più grande (Sladen 1880; Campbell 1973) e agiscono come deterrente contro piccoli parassiti, come i vermi policheti (Hamann 1887).

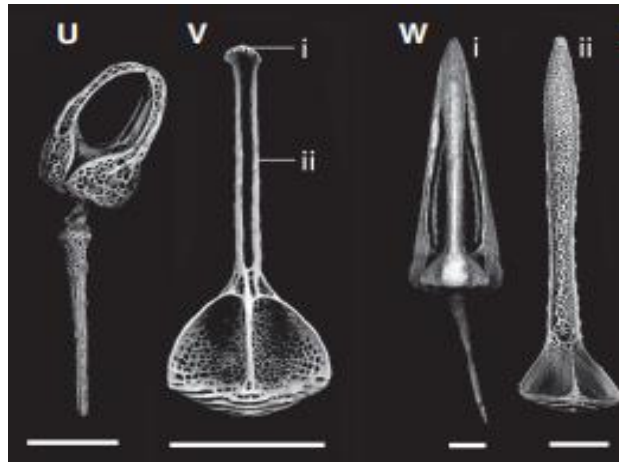


Figura 5. —U–V. (*Brissopsis*) tridentate; U: intero; V: ossicolo valvare; i, ventaglio di denti distali; ii, bordo arrotolato della valva. —W. (*Caenopedina*) tridentato: i, intero; ii, ossicolo valvare. Coppard et al., 2012

Le pedicellarie bidentate (Fig. 6) possono essere suddivise in due forme: quelle con lame lunghe e strette con grandi denti distali a forbice e quelle con lame più robuste a forma di becco che possono avere zanne distali. Le pedicellarie bidentate hanno un morso forte e un ampio bordo di chiusura consentendo una cattura rapida e ampia.

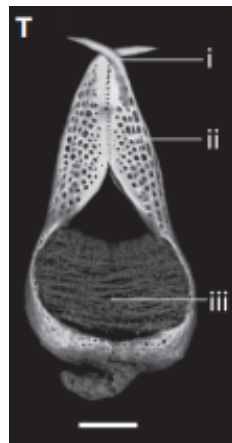


Figura 6. -T. (*Encope*) bidentato a forbice, il dente terminale, ii ossicolo valvare, iii fibre muscolari longitudinali. Coppard et al., 2012

1.1.2. Ecologia

Distribuzione

I ricci di mare coprono un ampio intervallo geografico e batimetrico dall'intertidale all'abisso, in tutti gli oceani e su un'ampia gamma di latitudini ma la maggior parte delle specie si trova a una profondità superiore a 50 m sulla piattaforma continentale (Serafy e Fell, 1985). Un esempio è quello dello studio di David e Sibuet (1985) che hanno raccolto oltre 1000 esemplari di ricci di mare tra i 2000 e i 4700 m nel Golfo di Biscaglia, in Francia. È stata osservata una chiara zonazione batimetrica: la densità è diminuita all'aumentare della profondità e i ricci di mare regolari sono stati trovati a una profondità inferiore a 3000 m mentre i ricci irregolari sono stati trovati fino a una profondità di 4000 m. È stato anche riscontrato che questo fattore è correlato in modo significativo allo sfruttamento dell'habitat da parte di diverse specie di ricci di mare profondo (Slevenson et al., 2018). Al di sotto di queste profondità, i ricci di mare scompaiono in quanto organismi calcificanti extracellulari, non tollerano i bassi livelli di saturazione di calcite (Lebrato et al., 2010) caratteristici della zona ultra-abissale o adale (tra 6000 e 11.000 m) (Wolff, 1970; Belyaev, 1989) che compromettono la formazione dello scheletro. Gli echinodermi di profondità bioerosori sono stati osservati maggiormente sulla barriera corallina morta/viva piuttosto che nelle aree con sedimenti più fini (Stevenson e Rocha, 2013). Ciò suggerisce che i ricci di mare sfruttano i coralli come fonte di cibo e, nel processo, causano la bioerosione delle barriere coralline. La distribuzione degli echinodermi nei diversi habitat è correlata a più variabili: la presenza di altre specie di ricci di mare, la profondità e la storia della pesca sono tra fattori più influenti (Stevenson et al., 2018). È possibile che l'uso differenziato dell'habitat da parte degli echinodermi possa contribuire a ridurre le interazioni competitive tra le specie. La cosa più sorprendente è la capacità delle attività di pesca di modellare la distribuzione della megafauna trovata a grandi profondità (Althaus et al., 2009; Williams et al., 2010;

Stevenson et al., 2018). L'attività di pesca a strascico può alterare fisicamente il terreno e rimuovere i coralli (Puig et al., 2012), ridurre la complessità architettonica dell'habitat e quindi modificare potenzialmente la disponibilità della risorsa per i ricci di mare profondo (Stevenson et al., 2018).

Distribuzione in Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è considerato un hotspot di biodiversità con un alto grado di endemicità (Danovaro et al., 2010) sebbene le stime di questa diversità siano ancora incomplete (Coll et al., 2010). Gli echinodermi nel Mediterraneo rappresentano il 2,2% della diversità globale; nel 2010 erano 154 le specie di echinodermi registrate nel Mediterraneo di cui cinque introdotte, ma era presente una lacuna di dati riguardo le aree meridionali e più profonde (Coll et al., 2010). Gli studi sugli echinodermi riportano una diversità inferiore nel Mediterraneo centrale (91 specie) rispetto all'Adriatico e all'Egeo, anche se questi ultimi sono entrambi più a est del Mediterraneo centrale (Koukouras et al., 2007; Evans et al., 2018). Ciò è probabilmente dovuto a studi limitati sulle specie del Mediterraneo centrale (Koukouras et al., 2007; Evans et al., 2018). Le isole maltesi si trovano al centro del Mar Mediterraneo, vicino al confine biogeografico tra le bioregioni del Mediterraneo occidentale e orientale (Bianchi 2007). Considerando questa posizione centrale, il biota maltese dovrebbe essere rappresentativo di quello che si trova nella più ampia regione del Mediterraneo centrale e quindi ci si aspetterebbe che la diversità delle specie bentoniche marine in questa zona sia sensibilmente diversa da quella delle aree adiacenti. Tuttavia, solo 72 specie di echinodermi sono state segnalate nelle acque maltesi fino ad oggi. Il primo inventario di queste acque, pubblicato nel 2006, comprendeva 65 specie (Tanti e Schembri 2006) e da allora sono state registrate altre sette specie. Quattro specie, *Odontaster mediterraneus* (von Marenzeller, 1893), *Ophiotreta valenciennesi rufescens* (Lyman, 1879), *Luidia*

sarsii (Düben & Koren in Düben 1844) e *Sclerasterias richardi* (Perrier in Milne-Edwards 1882), sono state raccolte nel 2007 durante la crociera di ricerca MARCOS (Mastrototaro et al., 2021; Mifsud 2008; Mifsud et al. 2009), mentre *Hymenodiscus coronata* (Sars, 1872) e *Ophiothrix quinquemaculata* (Delle Chiaje, 1828) sono state raccolte durante le indagini MEDITS effettuate nel 2009–2010 con reti a strascico (Terribile et al. 2015). Infine, *Coronaster briareus* (Verrill, 1882) è stata scoperta attraverso indagini con il ROV (Remotely operated vehicles, R.O.V.) effettuate nel 2015–2016. Con la loro posizione biogeografica chiave le isole maltesi sono un luogo ideale per monitorare l'evoluzione dei modelli di biodiversità nel Mar Mediterraneo (Terribile et al. 2015). A causa delle strette piattaforme continentali, gran parte del Mediterraneo si classifica come mare profondo ed è caratterizzato da elevata salinità e assenza di confini termici (Coll et al. 2010). Secondo Coll et al., (2010), rispetto ad altre aree, la distribuzione spaziale delle specie bentoniche nelle profondità marine del Mediterraneo è poco nota, principalmente a causa della difficoltà di campionamento (Mecho et al. 2014), e in molti casi sono disponibili solo stime approssimative (Coll et al. 2010). Danovaro et al., (2010) stimano che, nel complesso, il 66% delle specie di acque profonde del Mediterraneo siano ancora sconosciute, senza contare i procarioti. Nel Mediterraneo, la diversità delle specie e l'abbondanza di echinodermi sembrano essere inversamente correlate con la profondità dell'acqua (Terribile et al., 2015). Nel profondo Mediterraneo, gli echinodermi normalmente non sono dominanti in termini di biomassa e hanno una bassa diversità (Cartes et al., 2009). Fino a tempi recenti, la maggior parte delle informazioni sugli echinodermi di acque profonde provenivano da catture accidentali effettuate durante le indagini con reti da traino o durante le ricerche oceanografiche mediante reti a strascico, benne e draghe su fondali sedimentari mobili (Terribile et al., 2015). Questi studi hanno il vantaggio di aver raccolto campioni selvatici, che potrebbero essere utilizzati per identificare la specie e per misurare le dimensioni e il peso di ciascun

esemplare (Mecho et al., 2014). Tuttavia, questi strumenti di campionamento non sono adatti per rilievi rocciosi e altri tipi di fondali duri e possono solo fornire stime della densità effettiva di una specie; forniscono anche poche informazioni su aspetti che possono essere osservati solo in situ, come il microhabitat o il comportamento. Infatti, la maggior parte degli echinodermi di acque profonde sono noti da fondali fangosi, sabbiosi o detritici, poiché sono questi tipi di fondali che vengono campionati durante le indagini con reti a strascico, al contrario dei fondali rocciosi meno censiti a cui sono state associate pochissime specie (Koehler 1921; Tortonese 1965; Koukouras et al., 2007; Terribile e Schembri 2013).

Le aree rocciose di acque profonde non sono state adeguatamente campionate prima dell'arrivo dei veicoli subacquei controllati da remoto (Remotely operated vehicles, R.O.V.) (Taviani et al., 2017). Questo metodo consente ora ai biologi di osservare facilmente le profondità oceaniche senza disturbare la vita marina e di accedere a grotte sottomarine, ripide scarpate e canyon. Inoltre, le indagini ROV possono essere utilizzate per studiare il comportamento, il microhabitat e le associazioni di habitat delle specie di acque profonde. La profondità e il tipo di fondo sono fattori critici che influenzano la struttura delle comunità epibentoniche, ma gli studi sull'habitat degli echinodermi sono ancora rari (González-Irusta et al. 2012). Gli studi ROV possono migliorare la nostra comprensione dell'ecologia della macrofauna di acque profonde, in particolare se viene esaminata l'intera gamma di habitat. Uno svantaggio delle indagini ROV in acque profonde è che sono molto costose e richiedono tempo. Di conseguenza, la maggior parte dei lavori pubblicati si basa su un numero limitato di immersioni ROV, che potrebbe essere insufficiente per un quadro completo delle associazioni di habitat di taxa come gli echinodermi.

Fibre sintetiche nei contenuti stomacali di echinodermi

L'invenzione e l'uso diffuso delle fibre sintetiche ha cambiato il nostro modo di vivere e ha rivoluzionato ogni aspetto del mercato commerciale, dai processi industriali ai prodotti di uso quotidiano. Tuttavia, gli svantaggi di queste fibre sintetiche stanno diventando sempre più allarmanti, a causa della loro persistenza nell'ambiente e degli effetti negativi per gli ecosistemi. Con l'espansione della produzione di plastica (Plastic Europe, 2019) e l'evidente mancanza di strategie di gestione efficienti per ridurre al minimo l'inquinamento da fibre sintetiche (Jambeck et al., 2015), la distribuzione di queste nell'ambiente marino è drammaticamente in aumento dalla prima valutazione nelle acque superficiali negli anni '70 (Carpenter et al., 1972). Le fibre sintetiche possono essere prodotte intenzionalmente come piccole particelle (microplastiche primarie) come quelle che si trovano nei cosmetici, oppure si formano come risultato della degradazione chimica, termica, fotolitica e/o meccanica delle macroplastiche esposte all'ambiente (microplastiche secondarie) (Andradi, 2011). Di conseguenza, esistono molteplici vie di ingresso delle fibre sintetiche nell'ambiente marino, da cui si disperdono ampiamente, attraverso gli ecosistemi marini e raggiungendo le aree più remote dell'oceano, comprese la fossa delle Marianne e le regioni polari (Lusher et al., 2015; Peeken et al., 2018; Peng et al., 2018; Taylor et al., 2016). Uno studio condotto da Hennicke et al., (2021) ha indagato su quanto *Paracentrotus lividus* sia influenzato dall'inquinamento da fibre sintetiche. I risultati di questo studio mostrano che il consumo alimentare di *P. lividus* comporta l'ingestione di fibre sintetiche da parte dell'uomo. Anche se si ritiene che il 90% delle microplastiche ingerite venga escreto dal corpo umano nel tempo (EFSA, 2016), l'effetto cumulativo delle particelle sintetiche trattenute potrebbe essere tossico (Brown et al., 2001; Forte et al., 2016). Si sa molto poco sul trasferimento di microplastiche e contaminanti dai frutti di mare all'uomo

e sulle implicazioni per la salute umana (Carbery et al., 2018). Crostacei, piccoli pesci, bivalvi ed echinodermi possono rappresentare un rischio maggiore per l'uomo perché di solito vengono ingeriti con il tratto gastrointestinale e/o le branchie che sono note per accumulare fibre sintetiche (Baechler et al., 2020; Smith et al., 2018). Tuttavia, il contributo complessivo dell'accumulo di fibre sintetiche nell'uomo in seguito all'ingestione di invertebrati marini rispetto ad altri prodotti alimentari può essere considerato moderato (Wright e Kelly, 2017). Si suggerisce che una persona media ingerisca più di 5800 particelle di detriti sintetici all'anno attraverso l'acqua del rubinetto, la birra e il sale marino (Kosuth et al., 2018). Sebbene l'esposizione dei ricci di mare alle fibre sintetiche possa essere inferiore a quella di altri alimenti/bevande, tuttavia non è trascurabile. A seconda del luogo da cui vengono raccolti i ricci di mare, le concentrazioni di microplastiche possono essere anche superiori a quelle stimate nello studio condotto da Hennicke et al., (2021) che ha considerato come siti di campionamento, habitat relativamente incontaminati (mar Egeo sud-orientale). In particolare il Mar Mediterraneo in quanto bacino semichiuso, è stato identificato come una zona ad alto accumulo di fibre sintetiche (Cózar et al., 2015). Tuttavia, ogni anno dal Mar Mediterraneo vengono prelevate 2,75 milioni di tonnellate di prodotti ittici (WWF, 2017), con molte delle specie raccolte che ingeriscono materiale sintetico (Bellas et al., 2016; Romeo et al., 2015; Nadal et al. al., 2016; Alomar e Deudero, 2017; Reguera et al., 2019; Cau et al., 2019). Queste sostanze che entrano nella catena alimentare possono quindi causare effetti fisici e chimici negativi negli organismi marini (Andrady, 2011; Carbery et al., 2018; Murano et al., 2020) e nell'uomo (Barboza et al., 2018; Carbery et al., 2018; Awara et al., 1998; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2019; Wright e Kelly, 2017; Smith et al., 2018; Andrady, 2011). La quantificazione dell'accumulo di fibre sintetiche negli organismi marini commerciali è essenziale per determinare i potenziali rischi del consumo di pesce per l'uomo. A differenza del pesce, gli studi che

analizzano l'inquinamento da fibre sintetiche negli invertebrati di valore commerciale sono attualmente sottorappresentati (De Sá et al., 2018), nonostante alcuni organismi come i ricci di mare siano una fonte tradizionale di cibo in molti paesi come Giappone, Cile e paesi dell'Europa (Stefánsson et al., 2017; Lawrence, 2013). Il consumo di ricci di mare non è trascurabile in quanto la domanda del mercato globale è stata stimata in 60.000-70.000 tonnellate all'anno, con 76.242 tonnellate raccolte ogni anno (FAO, 2016). Conoscenze di rilevanza ambientale sulle fibre sintetiche trovate nei ricci di mare sono necessarie. Ciò suggerisce che anche queste sostanze negli echinodermi potrebbero contribuire direttamente al numero di particelle nocive ingerite involontariamente dagli esseri umani. Inoltre, gli stessi ricci di mare sono vulnerabili all'inquinamento da fibre sintetiche poiché è stato dimostrato che queste danneggiano la loro allo stadio embrionale, larvale e adulto (Rendell Bhatti et al., 2020; Oliviero et al., 2019; Murano et al., 2020). Un recente studio dalla Cina ha trovato prove che i ricci di mare accumulano microfibre sintetiche anche nel loro habitat naturale (Feng et al., 2020). Sebbene questi studi contribuiscano alla conoscenza dell'assorbimento e dei potenziali impatti nei ricci di mare, l'abbondanza di fibre sintetiche negli individui selvatici non è ancora ben compresa. Alcuni studi hanno suggerito l'esistenza di un sistema fotosensibile negli echinodermi, poiché hanno mostrato sensibilità all'intensità della luce nonostante la mancanza di un organo visivo discreto (Menzel, 1979; Yerramilli e Johnsen, 2010; Blevins e Johnsen, 2004; Al Wahaibi e Claereboudt, 2017). Questo è stato confermato in uno studio sul *Paracentrotus lividus* che ha riportato come questo animale sia in grado di selezionare una certa dimensione e colore quando ingerisce fibre sintetiche (A. Hennicke et al., 2021). Ciò può essere di particolare importanza a causa della tossicità dipendente dalle dimensioni delle particelle sintetiche (Jeong et al., 2016; Choi et al., 2020) e inoltre, la dimensione enfatizza il rischio che gli animali le scambino per cibo. Ad esempio, *P. lividus* che è una specie

commerciale e qualsiasi particella rilevata nella specie ha il potenziale per entrare nella catena alimentare umana e rappresenta quindi un rischio per la salute dell'uomo (Stefánsson et al., 2017).

1.2. Cidaridae

Agassiz e Desor (1846) designarono con il termine Cidaridae tutti gli echinoidi regolari, in seguito tale termine passò ad indicare una ben definita famiglia sulla quale H. L. Clark (1907) pubblicò una monografia. Da allora la conoscenza dei cidaridi si approfondì molto, soprattutto per merito di Mortensen (1928). Nella sua grande opera sugli Echinoidi (Mortensen, 1928) annovera circa 120 specie, che vivono nel circalitorale degli oceani Indiano e Pacifico. Pochi sono abissali. Questi echinoidi conservano alcuni caratteri primitivi delle forme paleozoiche. Si dividono in 40 generi e circa 456 specie viventi sono note oggi nel mondo (WorldSpecies.org, 2020-2022). Nel Mediterraneo questa famiglia trova il suo habitat ideale oltre i 50 m di profondità e spesso sono molto abbondanti, così da caratterizzare fondi a cidaridi come quelli del Golfo di Napoli.

1.2.1. Parte morfologica

I Cidaridae sono caratterizzati da un corpo subsferico, depresso ai poli e guscio spesso. Zone ambulacrali strette, formate da molte piastre, piccole e semplici; zone interambulacrali con poche e grandi piastre. Apparato apicale grande. Aculei primari (detti radioli) (Fig. 7) sviluppati e poco numerosi; al di sopra del loro anello basale si trova una zona detta collare. I radioli sono dotati di una zona corticale che spesso porta fini appendici simili a peli, sono inseriti uno per piastra soltanto nelle zone interambulacrali e i corrispondenti tubercoli sono perforati.

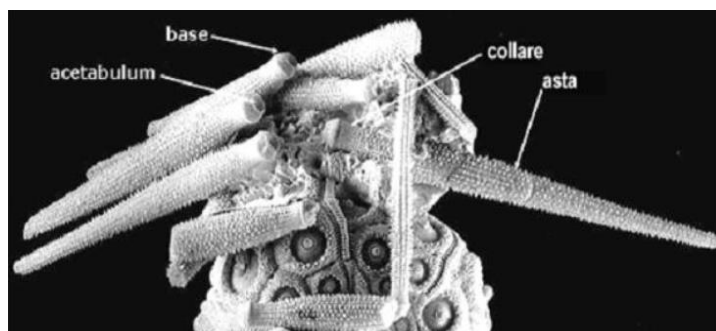


Figura 7. Immagine dei radioli

Gli aculei secondari sono molto più piccoli, numerosi e appiattiti e circondano i radioli alla base. Sono presenti pedicellarie tridattile e globifere, queste ultime con ghiandole contenute nelle cavità delle valve dal loro lato interno. Nel Mediterraneo esistono solo due generi appartenenti alla famiglia dei Cidaridae:

- Cidaris Leske, 1778 con valve delle pedicellarie globifere munite di un dente terminale;
- Stylocidaris Mortensen, 1909 con valve delle pedicellarie globifere prive di dente terminale.

Ciascun genere in Mediterraneo è rappresentato da una sola specie: *Cidaris cidaris* (Linnaeus, 1758) e *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845).

I due Cidaridae, molto simili tra loro, furono a lungo considerati come un'unica specie con il nome di *Dorocidaris papillata* (Leske). *Stylocidaris affinis* e *Cidaris cidaris* hanno diversa distribuzione batimetrica, anche se i due range di profondità sono parzialmente sovrapposti; *S. affinis* si trova più comunemente nelle acque meno profonde rispetto a *C. cidaris*; tuttavia, autori diversi indicano intervalli di profondità diverse. Ad esempio, Tortonese (1965) indica un range batimetrico di 30-1000 m e 50-2000 m, mentre, Koehler (1922) 30-150 m e 50-400 m e Koukouras et al., (2007), 5-180 m e 20-250 m rispettivamente per *S. affinis* e *C. cidaris*.

Cidaris Cidaris (Linnaeus, 1758)

Il genere *Cidaris* risale a Klein (1734) il quale descrisse poche specie che abitano l'Oceano Atlantico, una di esse *Cidaris cidaris* è presente anche in Mediterraneo. Il test è caratterizzato da un profilo variabile, elevato o depresso. L'apparato apicale, pari a circa metà del diametro del guscio, è coperto da minuti aculei. Il periprocto è pentagonale e alcune piastre terminali possono essere interne e il peristoma pentagonale è più piccolo dell'apparato apicale. I radioli sono più lunghi del diametro del corpo, le pedicellarie globifere presentano valve e al di sotto dell'uncino apicale è presente il foro ghiandolare fiancheggiato da dentelli. Sono presenti anche le pedicellarie tridattile con peduncolo lungo e valve strette. Il colore è giallognolo volgente al verdastro oppure al rossiccio, molto chiaro. Il suo diametro può arrivare fino a 65mm e i radioli sono lunghi circa 1,5-2,5 cm. La distribuzione di questa specie interessa il Mediterraneo e l'Atlantico orientale, dalla Norvegia alle Isole del Capo Verde, l'habitat è caratterizzato da fondali di varia natura, ma soprattutto fangosi. Sui radioli spesso troviamo insediati zoantidei, serpulidi, briozoi, cirripedi, bivalvi e al di sopra degli esemplari mediterranei è stato osservato il polichete *Phalacrostemma cidariophilum*. *C. Cidaris* si nutre di animali, forse con predilezione per spugne e gorgonie.

Stylocidaris affinis (Philippi, 1845)

Agassiz (1972) dichiarò che la specie *Stylocidaris affinis* era identica a *Cidaris cidaris* ma Mortensen (1903) la collocò in un genere diverso. Tra gli individui americani e quelli mediterranei è stata riscontrata qualche lieve differenza morfologica che richiede un'analisi più approfondita. *Stylocidaris affinis* differisce da *Cidaris cidaris* perché le valve delle grandi pedicellarie globifere, sono prive di uncino terminale. Si conoscono una ventina di specie, due sole si trovano nell'Oceano Atlantico e solo una di esse popola anche il Mediterraneo. La morfologia è caratterizzata da un apparato apicale pari a circa $1\frac{1}{2}$ del diametro del guscio, spesso prominente, coperto di minuti aculei e sono presenti piastre terminali interne. I radioli sono dotati di fini appendici piliformi più o meno sviluppate che possono occultare i rilievi longitudinali spinulosi. Le pedicellarie globifere presentano un lungo peduncolo e le valve di quelli più grandi non hanno un uncino terminale. Le pedicellarie tridattile possono mancare. I radioli appaiono giallastri con alcune bande trasversali brune più o meno distinte e con collare basale roseo. Gli aculei secondari si presentano rossi lungo la loro linea mediana. L'apparato apicale è di un rosso più scuro, spesso con una linea trasversale più marcata sulle piastre genitali. Il test denudato è bianco-giallastro e gli esemplari possono raggiungere un diametro di 48 mm. I radioli sono spesso poco più lunghi di questa misura. La distribuzione interessa il Mediterraneo e l'Atlantico sia orientale che occidentale ad una profondità variabile che va dai 30 ai 1000 m. *Stylocidaris affinis* è comune nei nostri mari su fondi a coralline e fangosi. Serpulidi e cirripedi sono frequenti epibionti, attaccati ai radioli. Nel tubo digerente possiamo trovare residui di briozoi e conchiglie. La maturità sessuale è raggiunta dopo due anni.

1.2.2. Parte ecologica

Habitat

Cidaris cidaris e *Stylocidaris affinis* sembrano non avere preferenze per un particolare tipo di habitat. In entrambe le specie circa la metà degli individui è stata osservata su superfici rocciose e circa il 25% su sedimenti fini, la restante parte su sedimenti grossolani, affioramenti rocciosi, sottoforma di epibionti e su marin litter. *Stylocidaris affinis* era stato osservato in acque maltesi dai 50 ai 550 m, ma prevalentemente tra 50 e 200 m, e *Cidaris cidaris* dai 50 ai 700 m (Terribile e Schembri 2013). Terribile e Schembri (2013) hanno anche suggerito che la distribuzione dei due Cidaridae è strettamente correlata al tipo di fondo: entrambe le specie risiedono su sedimenti grossolani. Tuttavia, *Stylocidaris affinis* è stato trovato solo in stazioni più profonde quando il sedimento aveva inclusioni grossolane, mentre *Cidaris cidaris* su sedimenti fini (Terribile e Schembri 2013). I risultati di altri studi evidenziano invece come le due specie di Cidaridae si trovino sia su sedimenti grossolani che fini. *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* sembrano essere specie generaliste. Sono stati registrati su vari tipi di substrato e in ogni tipo di habitat, il che concorda con la letteratura esistente (Tortonese 1965; Southward et al., 2006). Poiché sono noti per pascolare su spugne, coralli d'acqua fredda, gorgonie e crinoidi, si possono trovare in habitat dominati da queste specie, ma si trovano anche su fondali detritici, fangosi e sabbiosi (Koehler 1921; Tortonese 1965; Koukouras et al., 2007; Terribile e Schembri 2013; Stevenson et al., 2018; Rueda et al., 2019; Stevenson e Kroh 2020). *Stylocidaris affinis*, *Cidaris cidaris* sono stati tutti occasionalmente trovati anche su substrati antropogenici, ad esempio le lastre calcaree lasciate sul fondo del mare possono avere effetti negativi poiché schiacciano la fauna bentonica, ma possono anche aumentare la diversità fornendo isole di substrato duro colonizzabili per le specie bentoniche solitamente presenti in aree rocciose (Pace et al. 2007a, b; Bowser e Knittweis

2019). È stato anche osservato che gli attrezzi da pesca scartati hanno un impatto negativo sulla fauna degli echinodermi, infatti molti Cidaridae sono stati visti impigliati nelle lenze, nei FAD scartati e sui palangari di fondo.

Alimentazione

Le diete di molti animali di acque profonde sono in gran parte sconosciute. Le osservazioni del comportamento alimentare e gli esperimenti di alimentazione in situ richiedono l'uso di tecnologie sofisticate come veicoli telecomandati e sommergibili, il cui utilizzo risulta essere molto costoso. Inoltre, i metodi tradizionali di indagine sulla dieta, come l'analisi del contenuto stomacale, spesso non sono adatti per gli organismi di acque profonde (Feller et al. 1985, Hopkins 1985, Howell et al. 2003), in particolare quando il materiale detritico costituisce un'importante parte della nutrizione dell'organismo.

Nelle profondità marine quasi tutti gli organismi sono eterotrofi e, per i loro requisiti nutrizionali, si basano sulla produzione di carbonio derivato dalla produzione superficiale la quale raggiunge il fondo del mare in diverse forme. Tuttavia, particelle di dimensioni comprese tra 10 e 500 μm , costituite principalmente da aggregati e pellet fecali, forniscono il flusso principale di materiale al fondale marino (Fowler & Knauer 1986). Queste particelle, note generalmente come neve marina, sono aggregati di molte sostanze diverse tra cui una varietà di resti planctonici (fitodetriti). Gli esami del contenuto dello stomaco degli echinodermi al microscopio elettronico a scansione (SEM) e al microscopio ottico, hanno indicato che questi ingeriscono un'ampia varietà di materiale fitodetritico. Tuttavia, in molti animali il contenuto stomacale era irriconoscibile a causa della degradazione del materiale prima dell'ingestione e degli stessi processi digestivi degli animali (Tyler et al. 1992). La lanterna di Aristotele dei cidaridi è versatile nell'alimentazione, può raschiare su substrati duri e fungere da presa su substrati particolati. Poiché i Cidaridae si trovano

in una molteplicità di habitat, il loro cibo varia in base a ciò che è disponibile. Da uno studio di confronto del comportamento alimentare tra *Paracentrotus lividus* e *Stylocidaris affinis* è emersa una differenza nella mobilità della lanterna di Aristotele intesa come la capacità di spostamento verticale e di inclinazione laterale. È stata osservata una mobilità maggiore nel riccio comune commerciale, *P. lividus*, rispetto alla specie oggetto di questo studio (Andrietti et al., 1993; Candia Carnevali et al., 1993; Wilkie et al., 1996). In *Stylocidaris affinis*, infatti, la mobilità dell'articolazione è fortemente limitata dalle caratteristiche anatomiche, strutturali e fisiologiche dei muscoli (Andrietti et al. 1992). A causa della sua struttura placcata spessa, questa membrana peristomale è solo leggermente deformabile. Queste caratteristiche della lanterna di Aristotele hanno importanti implicazioni per la biologia alimentare dei cidaridi (Fig. 8).

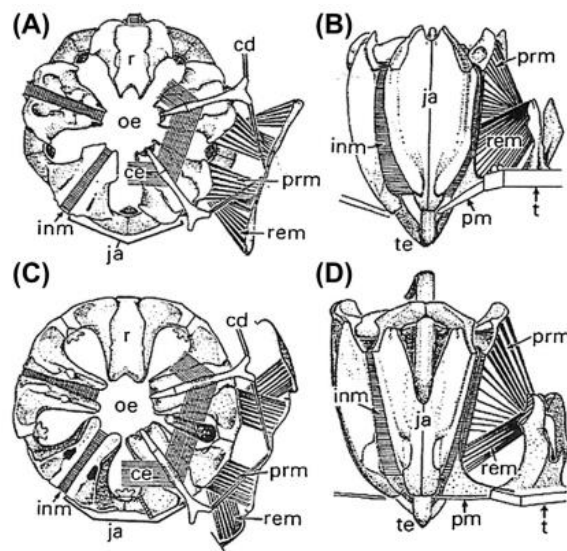


Figura 8. Vista dall'alto (A, C) e di lato (B, D) della lanterna di Aristotele del cidaroide *Stylocidaris affinis* (in alto) e dell'euechinoide *Paracentrotus lividus* (in basso). ce: muscolo elevatore, cd: legamento depressore, inm: muscoli interpiramidali, ja: mascella, oe: spazio occupato dall'esofago (non mostrato), prm: membrana peristomale, pr_m: muscolo goniometro, rem: muscolo retrattore, r: rotule, t: test, te: dente. Da Wilkie et al., 1998.

Mortensen (1928) ha scoperto che i cidaridi su sedimenti mobili consumavano principalmente materiale del fondo, foraminiferi tra cui *Globigerina*, briozoi, spugne e particelle. Tuttavia, i cidaridi si nutrono anche su substrati di superficie dura: Pearse (1969) infatti, pose l'attenzione su un'alimentazione a base di coralli vivi e morti individuando anche l'ingestione di epibionti, e considerando dunque queste specie onnivore. Il contenuto stomacale e le osservazioni dirette dei Cidaridae che si nutrono sul fondo del mare hanno sostenuto l'idea che siano generalisti e carnivori su organismi pigri o sessili. Tuttavia, le eccezioni rivelano una dieta potenzialmente più varia costituita da prede altamente mobili e materiale organico presente sui coralli delle acque profonde. Diversi cidaridi sono stati osservati anche nell'atto di consumare crinoidi (Bau miller et al., 2001; Stevenson et al., 2017) e nelle loro viscere sono stati trovati resti di frammenti scheletrici articolati (Baumiller et al., 2008). Intestini pieni di corallo morto sono stati trovati in *Araeosoma fenestratum*, *Gracilechinus alexandri*, *Gracilechinus elegans* e *Cidaris cidaris*, ma il tipo di materiale ingerito da ciascuna specie differiva (Stevenson e Rocha, 2013). *A. fenestratum* e *G. alexandri* avevano ingerito quantità simili di esemplari di corallo vivo e morto rispetto a *G. elegans* che aveva solo materiale di corallo vivo nelle viscere, mentre *C. cidaris* aveva solo tracce di corallo morto. Si ritiene che questi materiali forniscano un'alternativa nutriente e ricca di azoto organico alle particelle nel sedimento (Stevenson e Mitchell, 2016). Inoltre, è stato scoperto che i taxa coesistenti di echinodermi si estendono su tre livelli trofici bentonici, suggerendo che occupano diverse nicchie trofiche e quindi si nutrono di diversi tipi di cibo (Stevenson e Mitchell, 2016).

Meccanismi di alimentazione specializzati e adattamenti consentono ai ricci di mare profondo di far fronte alle limitazioni alimentari in questi ambienti. È noto che alcuni si nutrono esclusivamente di fitodetrito (Stevenson e Krohc, 2020). Sebbene la conoscenza della ripartizione dei nutrienti sia limitata per i

ricci di mare profondo, la diversità di alimentazione di altri echinodermi è stata attribuita alla riduzione delle interazioni competitive nelle comunità di fondo attraverso adattamenti alimentari specializzati (Billen et al. 1988; Jumars et al. 1990; Iken et al. 2001; Hudson et al. 2003, 2004; Wigham et al. 2003). I ricci di mare e altri echinodermi sfruttano queste fonti effimere di fitodetrito (Tyler et al., 1982; Tyler and Gage, 1984; Billett et al., 1988; Tyler, 1988; Gooday e Turley, 1990; Campos-Creasey et al., 1994; Tyler et al., 1995). Le fasce di crescita stagionali dovute ai cambiamenti nella disponibilità di cibo e/o nell'intensità dell'alimentazione sono un fenomeno ben noto osservato nei ricci di mare di acque poco profonde (Demler, 1926; Durham, 1955; Smith, 1980). Ma il contributo di questo materiale allo spettro totale dei nutrienti assimilati nell'organismo è ancora oggetto di studio. Tuttavia, c'è una quantità sempre maggiore di ricerche che collegano questa stagionalità alla crescita e alla riproduzione dei ricci di mare di acque profonde in particolare per la vitellogenesi, costosa dal punto di vista energetico (Tyler et al., 1982; Tyler e Gage, 1984b; Tyler, 1988; Gooday e Turley, 1990; Stevenson e Mitchell, 2016). Il fitodetrito può essere assimilato e immagazzinato in modo diverso dai taxa di acque profonde. Campos-Creasey et al., (1994) hanno riscontrato un aumento di fitodetrito nei livelli delle viscere, nelle gonadi di *G. affinis* dopo la deposizione in ambiente, mostrando quindi la possibile ingestione e incorporazione di questo materiale sia nei tessuti riproduttivi che in quelli somatici di questo taxon. In sintesi, la maggior parte dei ricci di mare profondo sembra nutrirsi di detrito, ma alcune eccezioni indicano diete più sofisticate composte da predazione su coralli vivi e invertebrati altamente mobili. La nostra comprensione degli adattamenti per far fronte alle restrizioni alimentari e alle interazioni competitive nelle profondità marine è ancora limitata. Tuttavia, sappiamo che la crescita e la riproduzione possono essere accoppiate al flusso di fitodetrito di origine superficiale, che influenza pesantemente la crescita di tutti i taxa e la riproduzione. La riproduzione e la crescita stagionali

erano ritenute inconcepibili in un ambiente altamente stabile come il mare profondo, ma ora sappiamo che influenza gran parte della storia della vita di questa comunità. Le modalità di riproduzione aumentano la possibilità di prole vitali (ad esempio, la produzione di uova tutto l'anno) in un ambiente in cui gli incontri con altri membri del gruppo potrebbero essere rari. L'utilizzo differenziato dell'habitat da parte dei ricci di mare può essere una tattica utilizzata per ridurre le interazioni competitive tra le specie.

Riproduzione

Mortensen (1928) ha fornito una dimensione minima per la riproduzione di *Stylocidaris affinis* con un diametro da 8 a 12 mm all'apertura dei gonopori, ma non ha stabilito se fossero presenti gonadi. Le gonadi dei cidaridi sono organizzate in un doppio organo, contenente fagociti nutritivi e cellule gametogeniche. Le gonadi di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* hanno numerose ramificazioni (Prouho, 1888; Holland, 1967, rispettivamente) e contengono molte spicole calcaree (Prouho, 1888). Il colore degli ovuli è bianco-giallastro in *C. cidaris* (Prouho, 1888). Le uova di cidaridi planctotrofi hanno un diametro inferiore (circa 85–150 μm) rispetto alle uova lecitotrofiche (circa 500–2000 μm) (Emlet et al., 1987). Ciò riflette il grado di approvvigionamento materno di uova che producono larve che si nutrono rispetto a quelle che non lo fanno. Raff et al., (1990) hanno mostrato che la crescita di grandi uova sia nei cidaridi che negli echinoidi era accompagnata dall'evoluzione degli spermatozoi con teste allungate, in contrasto con le teste coniche degli spermatozoi che si trovano nelle specie con uova piccole. Raff et al., (1990) hanno suggerito che la testa allungata degli spermatozoi potrebbe essere associata alla maggiore distanza richiesta per penetrare nelle uova di grandi dimensioni.

Holland (1967) ha studiato *S. affinis* ad una profondità di ca. 70 m nel Mediterraneo. Qui, la crescita degli ovociti primari è iniziata in autunno ed è continuata per quasi un anno fino al raggiungimento della dimensione massima nell'agosto successivo. Questo ha suggerito che la produzione di uova da questi grandi ovociti fosse rapida. Allo stesso modo, gli spermatozoi si accumulavano durante l'inverno fino all'estate. Gli spermatozoi non sono comparsi fino a giugno e gli spermatozoi ad agosto. Tyler e Gage (1984) hanno studiato la riproduzione di *C. cidaris* e hanno scoperto che la gametogenesi tipica dei ricci di mare di acque poco profonde è caratterizzata da ovociti primari circondati da fagociti nutritivi. Nei cidaridi di acque poco profonde l'oogenesi è annuale (Barker,1985).

Organismi associati ai Cidaridae

I cidaridi sono noti per gli ectocommensali che si attaccano alla corteccia delle spine primarie o vivono tra di loro. Numerosi studi hanno documentato la presenza di commensali sulle spine primarie dei cidaridi esistenti (Prouho, 1888; Mortensen, 1928; Turner e Graham, 2003; Hopkins et al., 2004; Het erier et al., 2004, 2008; Linse et al., 2008; Cerrano et al., 2009; David et al., 2009; Hardy et al., 2011). Hardy et al., (2011) hanno suggerito che gli ectocommensali presenti sui cidaridi siano specie-specifici. Tuttavia, questi non sono onnipresenti, infatti non sono evidenti sulle spine primarie di molte specie illustrate da Mortensen (1928). Nel complesso, David et al., (2009) hanno riscontrato che non esisteva una chiara relazione tra lo sviluppo delle microstrutture e l'attaccamento degli ectocommensali, mentre esisteva una relazione tra lo sviluppo dell'ornamento e il loro attaccamento su di esso.

Non sono stati dimostrati effetti dannosi degli ectocommensali: Mortensen (1928) ha suggerito che una forte infestazione da parte degli ectocommensali   altamente scomoda per l'animale, Schneider (2003) ha proposto che questi

potrebbero aumentare la resistenza al flusso d'acqua sulle spine e l'esposizione ai pascolatori epibionti. Gli effetti positivi proposti per gli ectocommensali sono il camouflage (Smith, 1984; Schneider, 2008) e la protezione chimica (Schneider, 2008). Per quanto riguarda fenomeni di parassitosi, Prouho (1888) ha posto l'attenzione su specie di *Cidaris cidaris* che riparavano ferite sul test e ne ha dedotto fossero affetti dalla "malattia del riccio di mare calvo", riportata da Feaux (in Maes e Jangoux, 1984): malattia infettiva di origine batterica che comporta la caduta delle spine da aree del dorso dell'animale, seguita dalla morte. Si ritiene che l'aumento delle temperature possa favorire l'infezione. Prouho (1888) descrive la guarigione come un processo complesso che implica la riformazione dell'epidermide sotto la ferita e il distacco del tessuto danneggiato.

1.3. Scopo della tesi

Le informazioni su *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*, in particolare sugli aspetti ecologici che comprendono la loro distribuzione in Mediterraneo, l'habitat, l'alimentazione, la riproduzione e gli organismi ad essi associati sono relativamente scarse. Lo scopo di questo lavoro è quello di dare un contributo alla conoscenza tassonomica, morfologica ed ecologica di queste due specie. Le analisi sono state basate sull'osservazione di alcuni campioni della famiglia dei Cidaridae prelevati nel Mar Adriatico e nel Mar Ligure, con lo scopo di individuare tutti i caratteri per identificare correttamente le due specie molto simili. Le specie sono state osservate e analizzate utilizzando lo stereomicroscopio, il microscopio ottico e quello elettronico a scansione, che hanno permesso di esaminare i caratteri morfologici, fondamentali per il riconoscimento delle specie. Inoltre, sono stati analizzati i contenuti stomacali dei campioni di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* per aumentare le conoscenze sul comportamento alimentare di queste specie e per controllare, con l'utilizzo del microscopio a fluorescenza con filtro Filtri per UV DAPI LP, la presenza e la quantità di fibre sintetiche.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area di studio

I campionamenti sono stati condotti a marzo 2021 nel Mar Ligure (tra l'isola della Gallinara e Capo Mele), intorno ai 90 m, su fondale roccioso con sedimento grossolano, e nel Mar Adriatico centrale ad una batimetrica di circa 130 m e su fondale sabbioso, detritico e fangoso. Il metodo di raccolta nei due siti esaminati è stato quello della pesca a strascico e i Cidaridae fanno parte del bycatch.



Figura 9. A- sito di campionamento 1: Mar Adriatico centrale ad una batimetrica di circa 130 m; B- sito di campionamento 2: tra l'isola della Gallinara e Capo Mele, intorno ai 90 m, su fondale roccioso con sedimento grossolano

2.2. Fissazione e labelling dei campioni

Tutti i campioni sono stati raccolti, conservati in etanolo a 70°C, etichettati, accuratamente descritti, documentati fotograficamente e classificati. I campioni sono stati contrassegnati dalla sigla LS (Ligurian Sea) con i numeri (201, 202, 203, 204, 205) oppure AS (Adriatic Sea) con i campioni 1.1 (1.102); 1.2 (1.201, 1.202, 1.203); 3 (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7).

2.3. Analisi in laboratorio

Analisi dei contenuti stomacali

In tutti i campioni (Fig. 10.A), conservati in etanolo, è stato inciso il lato orale con bisturi (Fig. 10.B, C), prelevata meccanicamente la lanterna di Aristotele, raccolte tutte le parti molli e identificato e descritto il contenuto stomacale allo stereomicroscopio (Fig. 10.E).

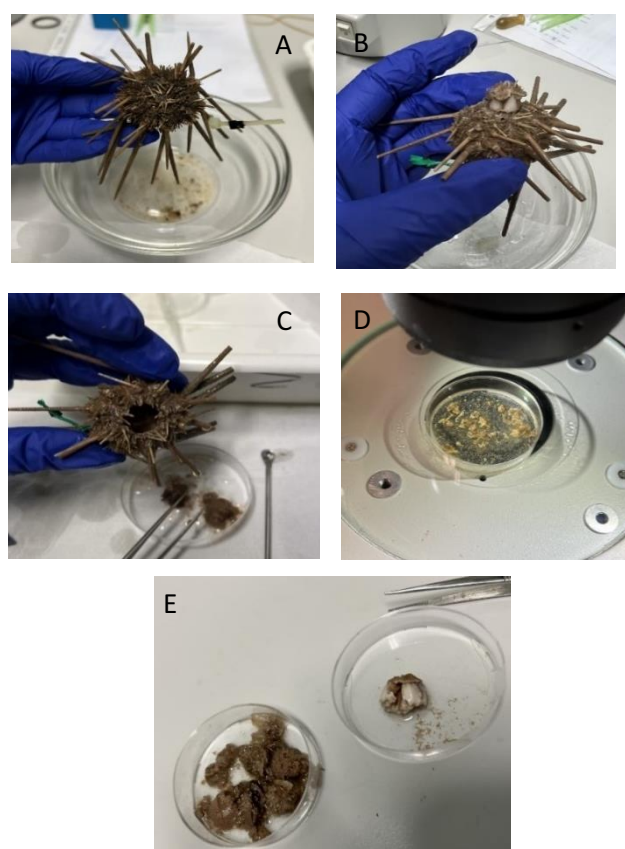


Figura 9. A. campione di Cidaridae 2. Ligurian Sea LS20; B- C. incisione e prelievo della lanterna di Aristotele, D. contenuti stomacali, E. identificazione dei contenuti stomacali allo stereomicroscopio

I contenuti stomacali (Fig. 10.D) sono stati sottoposti ad un'attenta analisi al microscopio ottico: una piccola porzione del campione per volta è stata prelevata e posta su un vetrino, è stata quindi aggiunta acqua distillata per distribuire meglio il contenuto. Con il microscopio a fluorescenza è stata, inoltre, esaminata la presenza di fibre sintetiche (Fig. 11.A-B), che sono state contate, prelevate e poste in piccole provette di plastica richiudibile. In molti casi queste fibre sintetiche non sono state rimosse poiché estremamente di piccole dimensioni.

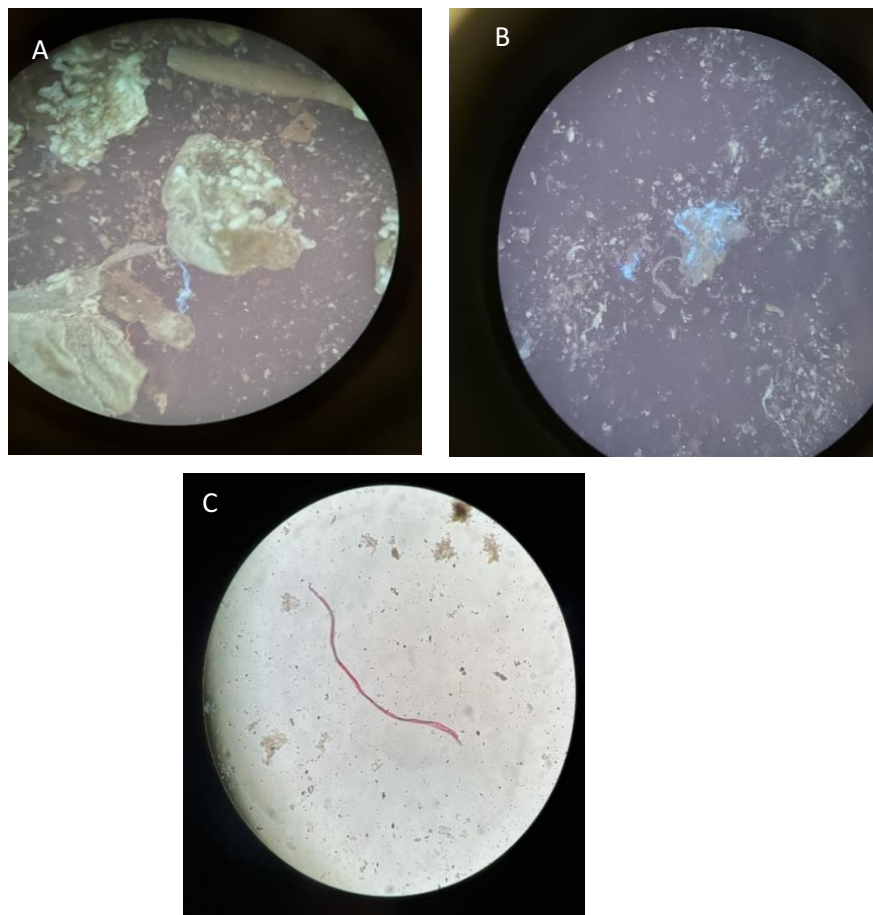


Figura 11. A-B. fibre sintetiche nei contenuti stomacali visibili al microscopio a fluorescenza;
C. fibre sintetiche nei contenuti stomacali visibili al microscopio ottico

Una volta esaminato, il contenuto stomacale dei diversi campioni e la lanterna di Aristotele sono stati riposti in provette contenenti etanolo per ulteriori analisi.

Analisi morfologica

Nel seguente studio sono stati, inoltre, valutati i caratteri morfologici generali dei Cidaridae al fine di condurre uno studio tassonomico. Sotto cappa aspirante sono state rimosse meccanicamente, con apposite pinzette, i radioli (Fig. 12 A) e gli aculei (Fig. 12 B) ed è stato osservato lo scheletro per l'identificazione delle due specie (*Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*) in base a caratteristiche morfologiche.



Figura 12. A. rimozione dei radioli, B. rimozione degli aculei

Lo scheletro ripulito di ogni individuo è stato osservato nel dettaglio (Fig. 13): nel lato aborale è stato visionato il disco apicale e l'ano; nel lato orale la placcatura peristomale e la bocca; nella parte laterale la cintura perignatica con la presenza di apofisi interambulacrali e le placche interambulacrali e ambulacrali sul peristoma. A parte sono state osservate le grandi spine primarie su ciascuna piastra e la corteccia presente su di esse.

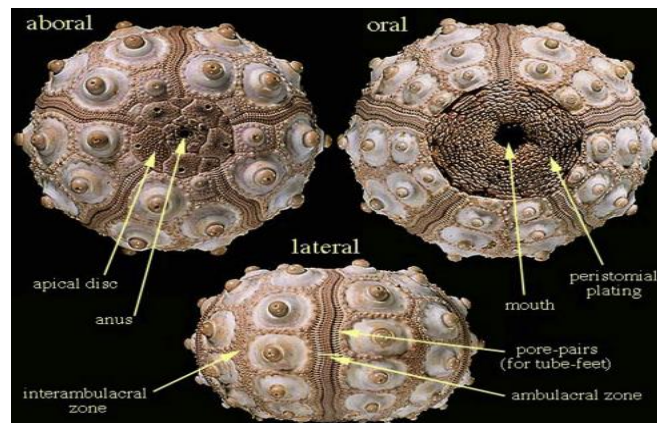


Figura 13. Oral, aboral and side view of *Cidaris cidaris*. From Smith and Kroh, 2011.

In seguito, lo scheletro nudo di ogni campione è stato fotografato e misurato tramite un calibro (Fig.14 e Fig.15). Dai dati sulle dimensioni è possibile stabilire la specie di Cidaridae (*Cidaris cidaris* o *Stylocidaris affinis*) in base alla lunghezza, larghezza, colore e grandezza dello scheletro dell'individuo sottoposto ad analisi.

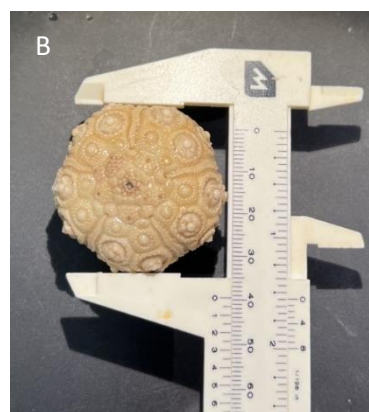


Figura 14. A. scheletro del campione 12 Adriatic Sea n. 1.202 visto al microscopio ottico, B. misurazione del lato aborale, C. misurazione della porzione laterale.

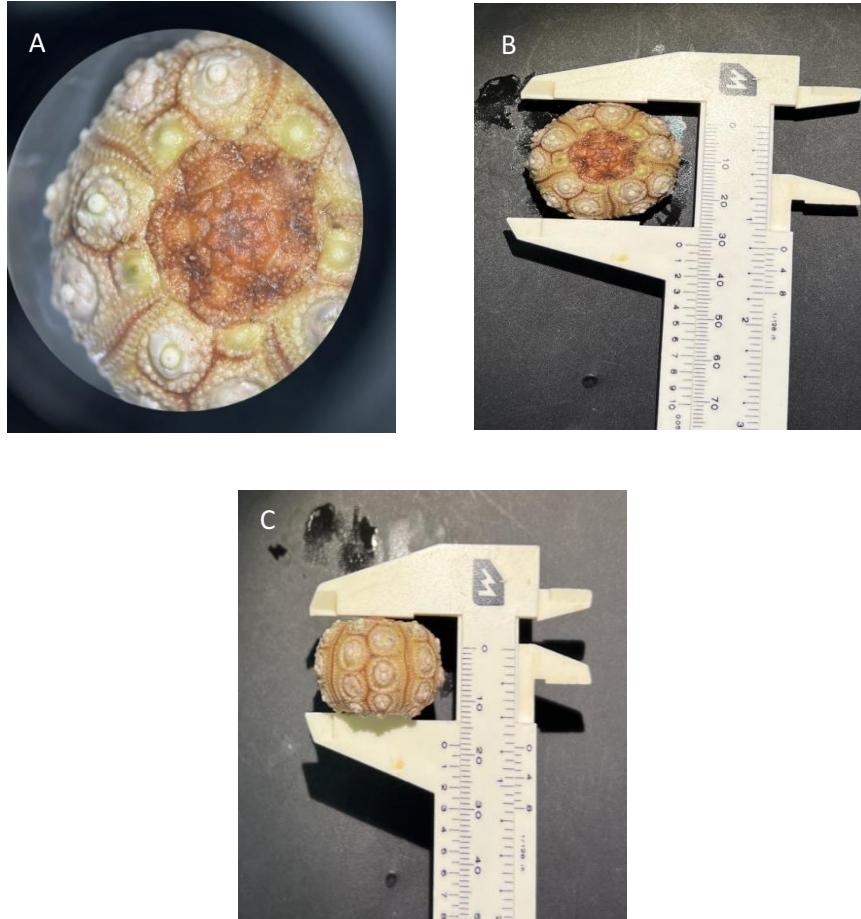


Figura 15. A. scheletro del campione S2 Ligurian Sea n. 204 al microscopio ottico, B. misurazione del lato aborale, C. misurazione della porzione laterale

3. RISULTATI

Su un totale di 9 campioni di Cidaridae in cui è stato analizzato sia l'aspetto morfologico (Tabella 1 e Tabella 2) che il contenuto stomacale (Tabella 3 e Tabella 4), sono state identificate 2 specie: *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845) con 5 individui provenienti dal Mar Ligure e *Cidaris cidaris* (Linneus, 1758) con 4 individui prelevati nel Mar Adriatico. Negli altri 7 campioni di *Cidaris cidaris* (Linneus, 1758) presenti nel Mar Adriatico sono stati analizzati solo i contenuti stomacali (Tabella 2).

Sistematica

Phylum Echinodermata Bruguière, 1791 [ex Klein, 1734]

Subphylum Eleutherozoa Bather, 1900

Classe Echinoidea Leske, 1778

Sottoclasse Cidaroidea Smith, 1984

Ordine Cidaroida Claus, 1880

Famiglia Cidaridae Gray, 1825

Genere *Cidaris* Leske, 1778

Secondo quanto riportato nel World Register of Marine Species (WoRMS), il genere *Cidaris* include 9 specie tra cui:

Specie *Cidaris cidaris* Linnaeus, 1758

Range di distribuzione batimetrica: 50-2000 m (Tortonese, 1965), 50-400 m (Koehler, 1922), 20-250 m (Koukouras et al., 2007), 50-500 m (Terribile e Schembri 2013).

Distribuzione geografica: Oceano Atlantico orientale, Mar Mediterraneo orientale e occidentale.

Habitat: fondali fangosi, sabbiosi e detritici.

Alimentazione: materiale fitodetritico, foraminiferi, globigerina, briozoi, spugne.

Genere *Stylocidaris* Mortensen, 1909

Secondo quanto riportato dal World Register of Marine Species (WoRMS), il genere *Stylocidaris* include 20 specie tra cui:

Specie *Stylocidaris affinis* Philippi, 1845

Range di distribuzione batimetrica: 30-1000 m (Tortonese, 1927); 30-150 m (Koehler, 1922) 5-180 m (Koukouras et al., 2007), 50-700 m (Terribile e Schembri 2013).

Distribuzione geografica: Oceano Atlantico orientale e occidentale, Mar Mediterraneo orientale e occidentale.

Habitat: coralligeno e fondale ghiaioso fango-sabbioso con rodoliti.

Alimentazione: materiale fitodetritico, briozoi, conchiglie, coralli vivi e morti, crinoidi e molluschi.

3.1. Analisi morfologica

I campioni di *Stylocidaris affinis* hanno un diametro di circa 24-36 mm e misurano 11-20 mm di altezza; mentre i campioni di *Cidaris cidaris* hanno un diametro di circa 19-35 mm e 11-24 mm di altezza (Tabella1).







































Tabella 1. Elenco degli esemplari osservati di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* con le rispettive misure e medie dei valori.

Sampling area	Species	Diameter			D	H	R
		(mm)	Height (mm)	ratio			
Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	24	11	2.2	29.2	14.8	2.0
Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	26	14	1.9			
Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	30	14	2.1			
Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	30	15	2.0			
Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	36	20	1.8			
Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	19	11	1.7	25.2	16.7	1.6
Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	35	24	1.5			
Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	20	12	1.7			
Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	27	20	1.4			

Analizzando i nostri campioni (Tabella 2) possiamo vedere come entrambe le specie, *Stylocidaris affinis* e *Cidaris cidaris* hanno un test subsferico, depresso ai poli e guscio spesso. La regione della bocca, o lato orale, chiamata peristoma in *Cidaris cidaris* è di forma pentagonale, posizionata centralmente ed è più piccola dell'apparato apicale; mentre il lato aborale, o periprocto, in entrambe le specie occupa circa la metà del diametro del test e in *Stylocidaris affinis* è abbastanza prominente. In *Stylocidaris affinis* il periprocto (regione dell'ano) ha una colorazione rossastra, spesso con una linea trasversale più marcata sulle piastre genitali. Gli aculei primari, o radioli, in *Stylocidaris affinis*, uno per piastra nelle zone interambulacrali, sono fini e poco più lunghi del diametro del corpo. Inoltre, in questa specie, hanno un colore giallastro con alcune bande trasversali brune e collare basale roseo; mentre, in *Cidaris cidaris* risultano essere robusti e molto più lunghi del diametro del test. Gli aculei secondari che circondano i radioli alla base, in entrambe le specie, sono piccoli, numerosi e appiattiti e, in *Stylocidaris affinis*, appaiono rossi lungo la loro linea mediana. La teca si divide, in entrambe le specie, in 5 parti ambulacrali, o radii, e 5 parti interambulacrali, o interadii. In *Stylocidaris affinis* le prime sono strette e formate da molte piccole piastre, mentre le seconde sono formate da poche e grandi piastre. In *Cidaris cidaris* le parti ambulacrali sono strette, mentre le parti interambulacrali sono larghe con un'unica grande spina dorsale per piastra (Fig. 16). Entrambe le specie sono caratterizzate dalla presenza sulla teca di cinque doppie file di pedicelli ambulacrali provvisti di ventose disposte lungo i meridiani dalla superficie orale a quella aborale secondo la simmetria pentamera. La teca, inoltre, in entrambe le specie esaminate, è provvista di piccoli tubercoli visibili ad occhio nudo ai quali si articolano gli aculei; questi sono movibili attraverso una piccola muscolatura situata a livello dell'articolazione fra aculeo e tubercolo. Un'altra importante caratteristica, presente in entrambe le specie, è lanterna di Aristotele che, con simmetria

pentamera, ha il compito di afferrare, raschiare e scavare. Questo apparato boccale serve anche per la locomozione, la respirazione e circolazione del fluido celomico. Altre importanti strutture analizzate nel presente studio sono le pedicellarie. Le pedicellarie globifere (o gemmiforme), presenti in entrambe le specie, hanno una funzione difensiva e infatti contengono una tossina chiamata peditossina per la difesa da predatori. *Stylocidaris affinis* differisce da *C. cidaris* perché le valve delle grandi pedicellarie globifere sono prive di uncino terminale. Anche le pedicellarie tridentate, o tridattile, le ritroviamo in entrambe le specie e hanno il compito di ricezione di stimoli esterni. *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*, però, mancherebbero della capacità di difesa da ectoparassiti poiché non hanno la presenza di pedicellarie trifille, o trifoliate, e di pedicellarie oficefale.

Tabella 2. Elenco delle caratteristiche morfologiche di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	<i>Stylocidaris affinis</i> (Philippi, 1845)	<i>Cidaris cidaris</i> (Linnaeus, 1758)	SA	CC
test	subsferico, depresso ai poli e guscio spesso	subsferico, elevato e depresso ai poli e guscio spesso		
colore test denudato	bianco-giallastro	giallognolo volgente al verdastro oppure al rossiccio chiaro		
diámetro	fino a 48mm	fino a 65mm		
peristoma, lato orale	centrale	centrale, pentagonale, più piccolo dell'apparato apicale		
periprocto, lato aborale	prominente, largo circa 1/2 del diametro del guscio	pentagonale, largo circa metà del diametro del test		
colore periprocto (regione ano) regione aborale	rossastro più scuro, spesso con una linea trasversale più marcata sulle piastre	-		
aculei primari/radioli	fini e poco più lunghi del diametro del corpo, uno per piastra nelle zone interradiali	robusti e più lunghi del diametro del corpo, uno per piastra nelle zone interradiali		
colore aculei primari/radioli	giallastro con alcune bande trasversali brune e con collare basale roseo	-		
aculei secondari	piccoli, numerosi e appiattiti (circondano i radioli alla base)	piccoli, numerosi e appiattiti (circondano i radioli alla base)		
colore aculei secondari	rossi lungo la loro linea mediana	-		
parti ambulacrali o radii sulla teca	5; strette, formate da molte piastre piccole	5, strette		
parti interambulacrali o interadii sulla teca	5; poche e grandi piastre	5, larghe con un'unica grande spina dorsale per piastra		
pedicelli ambulacrali con ventose	presente	presente		
tubercoli	presente	presente		
lanterna di Aristotele (simmetria pentamera)	afferrare, raschiare, scavare, locomozione, respirazione e circolazione del fluido celomico	afferrare, raschiare, scavare, locomozione, respirazione e circolazione del fluido celomico		
pedicellari globiferi (gemmiforme) con peditossina	assenza di dente o uncino terminale	presenza di dente o uncino terminale		
pedicellari tridentati o tridattile (ricezione di stimoli esterni)	possono essere assenti	presente con peduncolo lungo e valve strette		
pedicellari oficefali (difesa da ectoparassiti)	assenti	assenti		
pedicellari trifille o trifoliate (difesa da ectoparassiti)	assenti	assenti		

La specie *Cidaris cidaris* è tipica di fondi duri e sono animali sciafili; su alcuni radioli sono stati trovati insediati briozoi, cirripedi e bivalvi. Evolutivamente *Cidaris cidaris* ha una riduzione del numero di zone interambulacrali, un aumento delle dimensioni delle placche interambulacrali, un aumento delle dimensioni e della complessità dei tubercoli e un aumento delle dimensioni della spina primaria. Melville e Durham (1966) hanno suggerito che l'individuo con zone ambulacrali piccole e strette, dritte o leggermente sinuose, forma linee di debolezza nel test. Kier (1974) ha affermato che un test di echinoide morto si rompe lungo le suture, mentre negli individui vivi si rompe attraverso la placca, ma non ha fornito dati. Presumibilmente ciò è dovuto alla perdita di materia organica nella sutura. La singola grande spina primaria su ciascuna placca interambulacrale è la caratteristica esterna più evidente dei cidaridi. Una caratteristica importante delle spine primarie e secondarie dei cidaridi esistenti, è che l'asse è priva di epidermide e ha una corteccia esterna. La corteccia fornisce uno strato esterno, denso e protettivo per la spina. *Cidaris cidaris* utilizza le sue spine orali per la locomozione. Le spine primarie potrebbero essere utilizzate abilmente da per arrampicarsi sui tralicci. Questa agilità dovrebbe spiegare la loro capacità di muoversi su superfici irregolari e coralli. I cidaridi rigenerano i tessuti della spina primaria, se danneggiata, alla base dell'asse.

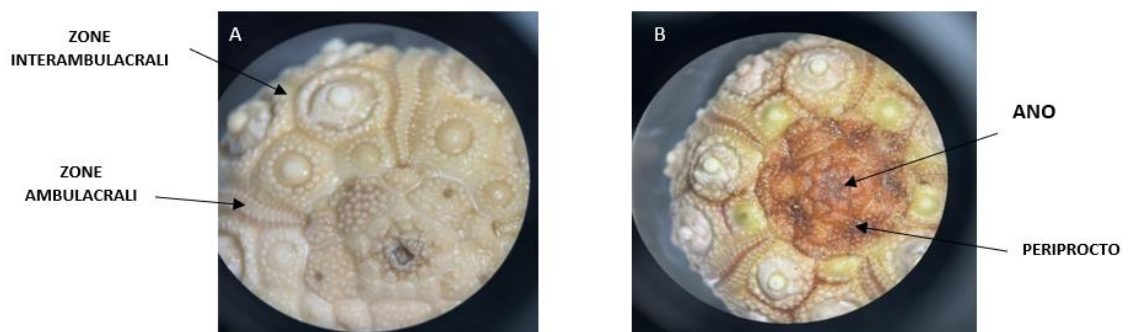


Figura 16. A. regione aborale di *Cidaris cidaris*; B. regione aborale di *Stylocidaris affinis*

Size

	Diameter	Height	Ratio
<i>Stylocidaris affinis</i>	29.2	14.8	2.0
<i>Cidaris cidaris</i>	25.25	16.75	1.6

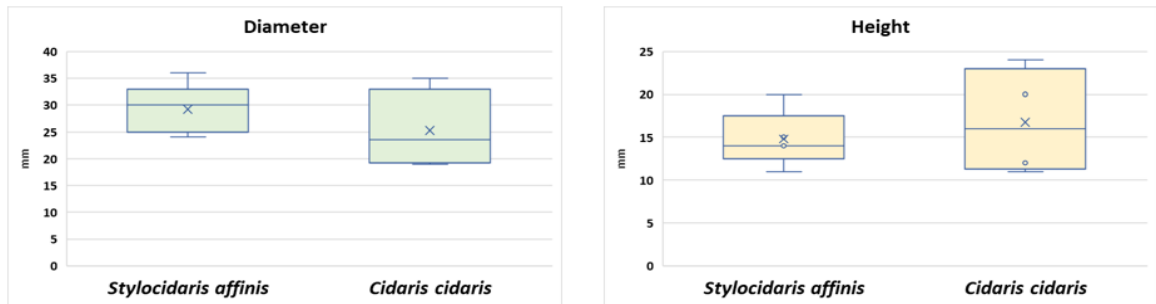


Figura 17. Diametro, altezza e rapporto dei campioni di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* analizzati

Come si vede nel Figura 17, sono state confrontate le grandezze dei 9 campioni delle due specie *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*. Il diametro degli esemplari osservati di *Stylocidaris affinis* è circa il doppio dell'altezza del test, mentre il rapporto diametro/altezza è 1.6, indicando che questi ultimi sono di forma più tondeggiante rispetto agli esemplari di *Cidaris cidaris* presenti nel Mar Adriatico.

3.2. Ecologia

Tabella 3. Elenco delle caratteristiche ecologiche di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*

CARATTERISTICHE ECOLOGICHE	<i>Stylocidaris affinis</i> (Philippi, 1845) 	<i>Cidaris cidaris</i> (Linnaeus, 1758) 
intervallo batimetrico	prevalenza circalitoranee inferiore	prevalenza circalitoranee superiore e batiale superiore
profondità	30-1000m (Tortonese, 1927); 30-150m (Koehler, 1922) 5-180m (Koukouras et al., 2007), 50-700m (Terribile e Schembri 2013)	50-2000m (Tortonese, 1965), 50-400m (Koehler, 1922), 20-250m (Koukouras et al., 2007), 50-500m (Terribile e Schembri 2013)
distribuzione	Atlantico orientale e occidentale	Atlantico orientale, dalla Norvegia alle Isole del Capo Verde
distribuzione in Mediterraneo	orientale e occidentale	orientale e occidentale
habitat	coralligeno e fondale ghiaioso fango-sabbioso con rodoliti	fondali fangosi, sabbiosi e detritici
epibionti	serpulidi e cirripedi	zoantidei, serpulidi, briozoi, cirripedi, bivalvi
alimentazione	fitodetrito, briozoi e conchiglie, coralli vivi e morti, crinoidi e molluschi	materiale fitodetritico, foraminiferi, globigerina, briozoi, spugne
crescita e riproduzione	stagionali, accoppiate al flusso di fitodetrito di origine superficiale	stagionali, accoppiate al flusso di fitodetrito di origine superficiale

Analisi contenuti stomacali

I campionamenti condotti a circa 90 m nel Mar Ligure hanno permesso di raccogliere campioni di *Stylocidaris affinis* che, una volta analizzati, presentavano nei contenuti stomacali frammenti calcarei, numerose spicole di spugna, frammenti di briozoi e di bivalvi.

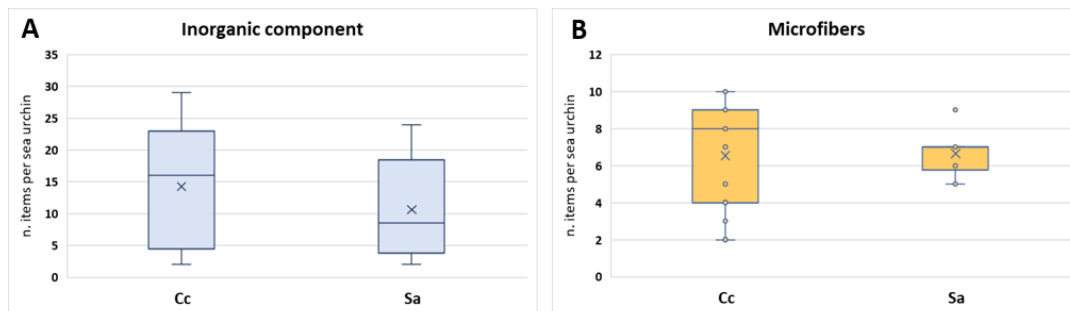
Anche i campioni di *Cidaris cidaris* provenienti dal Mar Adriatico, ad una profondità di 128 m, presentavano nei contenuti stomacali frammenti calcarei, spicole di spugna, frammenti di briozoi e inoltre numerosi granelli di sabbia, probabilmente perché la maggior parte dei campioni è stata raccolta su fondale sabbioso-fangoso e detritico.

Tabella 4. Campioni osservati di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* con rispettiva identificazione e numero dei gut contents trovati e numero di microfibre rintracciate.

Sample	Depth	Locality	Species	gut_contentTYPE	Ngut_Item	microfibers
AS 3 0.1	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	3	5
AS 3 0.1	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	5	5
AS 3 0.1	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	23	5
AS 3 0.2	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	6	2
AS 3 0.2	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	28	2
AS 3 0.2	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	25	2
AS 3 0.3	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	4	7
AS 3 0.3	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	29	7
AS 3 0.3	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	27	7
AS 3 0.4	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	27	3
AS 3 0.4	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	18	3
AS 3 0.5	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	2	4
AS 3 0.5	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	5	4
AS 3 0.5	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	20	4
AS 3 0.5	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	21	4
AS 3 0.6	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	3	4
AS 3 0.6	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	19	4
AS 3 0.6	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	19	4
AS 3 0.7	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	2	8
AS 3 0.7	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	5	8
AS 3 0.7	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	23	8
AS 3 0.7	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	28	8
1.1 AS 1.102	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	2	8
1.1 AS 1.102	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	6	8
1.1 AS 1.102	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	17	8
1.1 AS 1.102	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	26	8
1.2 AS 1.201	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	4	9
1.2 AS 1.201	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	6	9
1.2 AS 1.201	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	12	9
1.2 AS 1.201	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	23	9
1.2 AS 1.202	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	3	10
1.2 AS 1.202	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	14	10
1.2 AS 1.202	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	27	10
1.2 AS 1.203	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Bryozoan frag.	3	9
1.2 AS 1.203	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Carbonatic frag.	6	9
1.2 AS 1.203	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	sand	16	9
1.2 AS 1.203	128m	Adriatic Sea	<i>Cidaris cidaris</i>	Sponge spicules	20	9
2 LS201	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Bryozoan frag.	2	5
2 LS201	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Carbonatic frag.	13	5
2 LS201	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Sponge spicules	20	5
2 LS202	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Bryozoan frag.	5	7
2 LS202	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Carbonatic frag.	10	7
2 LS202	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Bivalves frag.	3	7
2 LS202	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Sponge spicules	24	7

2 LS203	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Carbonatic frag.	7	9
2 LS203	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Sponge spicules	15	9
2 LS204	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Bryozoan frag.	2	6
2 LS204	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Carbonatic frag.	6	6
2 LS204	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Sponge spicules	18	6
2 LS205	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Bryozoan frag.	4	7
2 LS205	90m	Ligurian Sea	<i>Stylocidaris affinis</i>	Sponge spicules	20	7

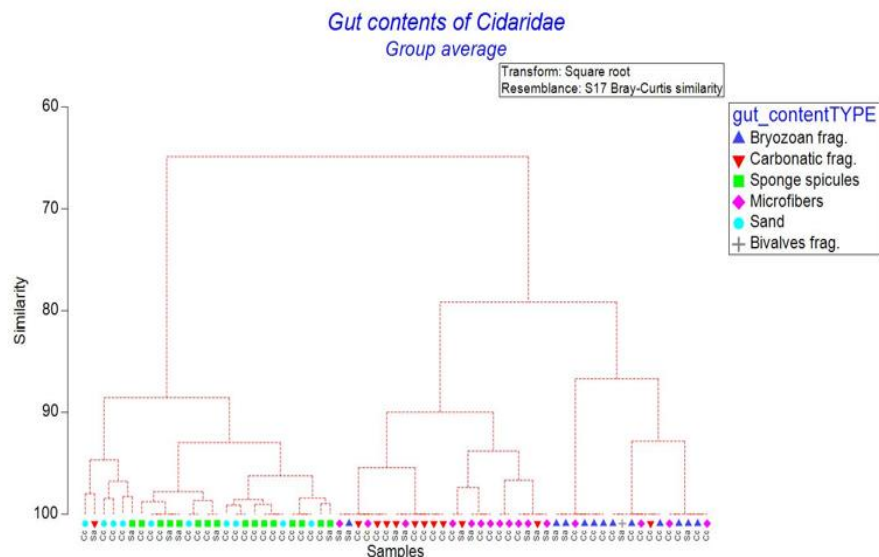
Gut contents



Species	Inorganic component	Microfibers	% of mFs
<i>Cidaris cidaris</i>	14.2 ± 9.8 SD	6.5 ± 2.6 SD	31
<i>Stylocidaris affinis</i>	10.6 ± 7.6 SD	6.6 ± 1.2 SD	38

Figure 18. I box plot mostrano la variazione della quantità della componente inorganica (A) e di microfibre sintetiche (B) nei campioni del mar Adriatico (*Cidaris cidaris*, Cc) e del mar Ligure (*Stylocidaris affinis*, Sa).

La percentuale di microfibre sintetiche è circa 31% in *C. cidaris* e 38% in *S. affinis*. I valori medi degli elementi inorganici di origine naturale e microfibre sono molto simili nelle due specie considerate e difatti non ci sono differenze significative tra i set di valori relativi alle due specie considerate (t-test).



Simprof Parameters
Type 1 (Analyse: Samples - Permute within: Variables)
Number of permutations: 999
Significance level: 5%
Cophenetic correlation: 0.81228

Figura 19. Cluster analisi per verificare i possibili raggruppamenti tra i dati relativi ai contenuti stomacali. La permutazione basata sul test di similarità (SIMPROF) è stata applicata per verificare la significatività statistica ($p < 0.05$).

Il dendrogramma mette in evidenza due gruppi principali, uno rappresentato da Cidaridae con prevalenza di frammenti di spicole e sabbia all'interno del contenuto stomacale analizzato, l'altro di campioni di Cidaridae con microfibre, briozoi e frammenti carbonatici presenti.

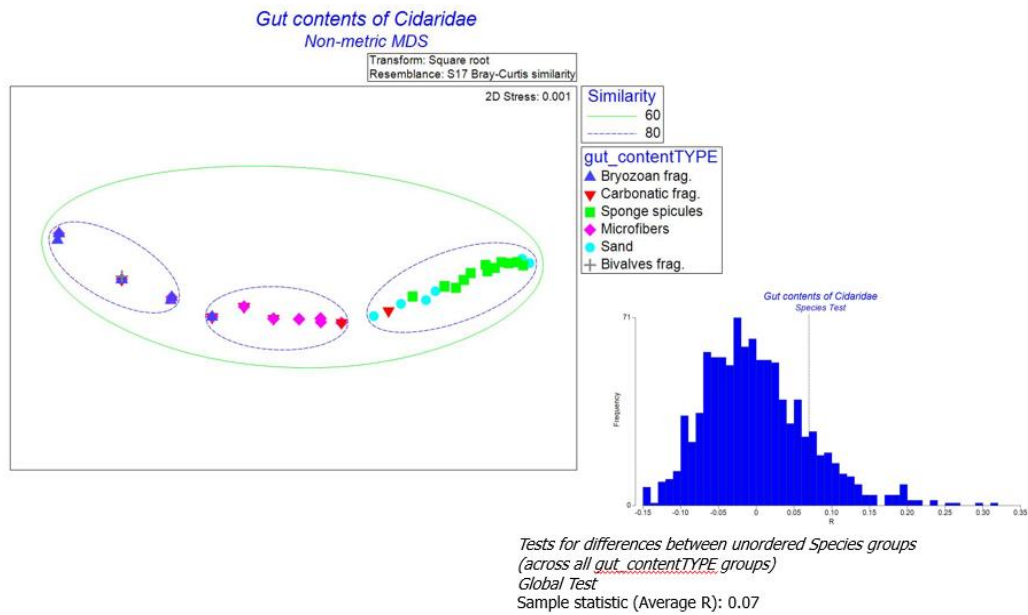


Figura 20. Test per le differenze tra gruppi di contenuti stomacali (gut_contentTYPE) (in tutti i gruppi Idspecies).

Nella Figura 20 si denota come non vi sono differenze significative tra le due specie di Cidaridae (*Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*) per quanto riguarda i contenuti stomacali.

4. DISCUSSIONI

I Cidaridae coprono un ampio intervallo geografico e batimetrico dal circalitorale all'abisso in tutti gli oceani e su un'ampia gamma di latitudini, ma la maggior parte delle specie si trova a una profondità superiore a 50 m sulla piattaforma continentale (Serafy e Fell, 1985). Al di sotto di queste profondità, i ricci di mare scompaiono in quanto organismi calcificanti extracellulari, non tollerano i bassi livelli di saturazione di calcite (Lebrato et al., 2010) caratteristici della zona ultra-abissale o adale (tra 6000 e 11.000 m) (Wolff, 1970; Belyaev, 1989) che compromettono la formazione dello scheletro. Da prendere in considerazione è l'effetto delle attività di pesca che modella la distribuzione della megafauna trovata a grandi profondità (Althaus et al., 2009; Williams et al., 2010; Stevenson et al., 2018). Dei siti esaminati nel Mar Adriatico e Mar Tirreno i Cidaridae erano associati a siti con reti a strascico. L'attività di pesca, in particolare la pesca a strascico, può alterare fisicamente il fondale e rimuovere i coralli (Puig et al., 2012), ridurre la complessità architettonica del substrato e quindi modificare potenzialmente la disponibilità dell'habitat per i ricci di mare profondo (Stevenson et al., 2018). Gli articoli esaminati riguardanti gli echinodermi in Mediterraneo riportano una diversità inferiore nel Mediterraneo centrale (91 specie) rispetto all'Adriatico e all'Egeo, anche se questi ultimi sono entrambi più a est del Mediterraneo centrale (Koukouras et al. 2007; Evans et al. 2018). Ciò è probabilmente dovuto a studi limitati sulle specie del Mediterraneo centrale (Koukouras et al. 2007; Evans et al. 2018). Le isole maltesi si trovano al centro del Mar Mediterraneo, vicino al confine biogeografico tra le bioregioni del Mediterraneo occidentale e orientale (Bianchi 2007). Considerando questa posizione, il biota maltese è generalmente rappresentativo di quello che si trova nella più ampia regione del Mediterraneo centrale, infatti, solo 72 specie di echinodermi sono state segnalate nelle acque maltesi fino ad oggi. Il primo inventario, pubblicato nel 2006, comprendeva 65 specie (Tanti e Schembri 2006) e da allora sono state

registrate altre 7 specie. Diversi articoli prendono in considerazione questa posizione biogeografica chiave, infatti, le isole maltesi sono un luogo ideale per monitorare l'evoluzione dei modelli di biodiversità nel Mar Mediterraneo (Terribile et al. 2015). Nello studio condotto da Terribile e Schembri (2013) nelle acque maltesi i due cidaridi (*Stylocidaris affinis* e *Cidaris cidaris*) hanno un'ampia distribuzione batimetrica, che si estende da ca. 50 m a ca. 700 m. L'abbondanza relativa a *S. affinis* è stata del 55% nell'intervallo 101-150 m, il che suggerisce un'affinità di questa specie per le profondità circalitoranee superiori dove il fondo è prevalentemente maerl, ghiaioso o fango-sabbioso con rodoliti. L'abbondanza relativa di *S. affinis* rispetto a *C. cidaris* diminuisce con la profondità in modo tale che tra 251 m e 550 m l'abbondanza di *S. affinis* varia dal 17% al 39%. Solo *C. cidaris* è presente a profondità superiori a 550 m dove il fondo è fangoso, il che implica un'affinità di questa specie per i sedimenti fini nel circalitorale inferiore e nel batiale superiore. Tutte le stazioni meno profonde in cui *C. cidaris* era l'unico Cidaridae (200-250 m e 300-350 m) hanno fondali di sedimenti fini. Al contrario, dove *S. affinis* si trovava a grandi profondità (400-450 m e 500-550 m) il sedimento superficiale era relativamente grossolano a causa di grandi quantità di gusci di molluschi vuoti e frammenti di conchiglie. Ciò mostra che la distribuzione dei due Cidaridae non è determinata dalla sola profondità, ma che la natura del fondo può essere più importante. Entrambe le specie coesistono sui fondali di rodoliti nella parte poco profonda del loro areale batimetrico, tuttavia, *S. affinis* può essere presente solo in acque profonde se ci sono inclusioni grossolane come frammenti di conchiglie nel sedimento. Terribile e Schembri (2013), in sintesi, hanno suggerito che la distribuzione dei due Cidaridae è strettamente correlata al tipo di fondo: entrambe le specie sono state ritrovate su sedimenti grossolani a basse profondità. Tuttavia, *Stylocidaris affinis* si trovava solo in stazioni più profonde quando il sedimento era grossolano, mentre *Cidaris cidaris* su sedimenti fini (Terribile e Schembri 2013).

I nostri risultati sono in linea con lo studio precedente, perché i campionamenti dei due Cidaridae sono stati condotti nel Mar Ligure intorno ai 90 m, su fondale roccioso con sedimento grossolano, e nel Mar Adriatico centrale ad una batimetria di circa 130 m e su fondale sabbioso, detritico e fangoso. Dai nostri risultati *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis* sembrano essere, in conclusione, specie generaliste in quanto sono stati registrati su vari tipi di substrato e habitat senza mostrare alcuna forte preferenza, il che concorda con la letteratura esistente (Tortonese 1965; Southward et al., 2006). Poiché è noto che pascolano su spugne, coralli di acqua fredda, gorgonie e crinoidi, si possono trovare in habitat dominati da queste specie di prede, ma sono presenti anche su fondali detritici, fangosi e sabbiosi (Koehler 1921; Tortonese 1965; Koukouras et al., 2007; Terribile e Schembri 2013; Stevenson et al., 2018; Rueda et al., 2019; Stevenson e Kroh 2020). Laddove entrambe le specie coesistono sullo stesso habitat è fondamentale, per un corretto riconoscimento delle specie, analizzare ciascun individuo anche in base ai caratteri morfologici poiché la colorazione, la posizione batimetrica e la caratteristica del fondale, non sono sufficienti per un'identificazione ottimale. Inoltre, rispetto ad altre aree marine, la distribuzione spaziale delle specie bentoniche nelle profondità del Mediterraneo è poco nota, principalmente a causa della difficoltà di campionamento (Mecho et al., 2014) e in molti casi sono disponibili solo stime approssimative (Coll et al., 2010). Nel Mediterraneo, la diversità delle specie e l'abbondanza di echinodermi sembrano essere inversamente correlate con la profondità dell'acqua (Terribile et al., 2015). Nel profondo Mediterraneo, gli echinodermi normalmente non sono dominanti in termini di biomassa e hanno una bassa diversità (Cartes et al., 2009). La maggior parte delle informazioni sugli echinodermi di acque profonde provengono da catture accidentali effettuate durante le indagini con reti da traino o durante le ricerche oceanografiche mediante reti a strascico, benne e draghe utilizzate su fondali con sedimenti mobili (Terribile et al., 2015). Anche il nostro studio si è servito

di questo tipo di indagine e ci ha permesso di prelevare i campioni che sono stati utilizzati per identificare le due specie di Cidaridae e valutarne le differenze morfologiche ed ecologiche. Tuttavia, l'aspetto negativo di questo tipo di indagine riguarda il fatto che si possono ottenere solo poche informazioni su aspetti che possono essere osservati esclusivamente in situ, come il microhabitat o il comportamento. Inoltre, è stato difficile reperire quantità maggiori di campioni, e questo non ha permesso di elaborare un dataset consistente di dati. La maggior parte degli echinodermi di acque profonde sono noti da fondali fangosi, sabbiosi o detritici, poiché sono questi tipi di fondali che vengono campionati durante le indagini con reti a strascico al contrario dei fondali rocciosi meno censiti a cui sono state associate pochissime specie. Il presente studio contribuisce alla conoscenza dei contenuti stomacali di *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*. I Cidaridae sono presenti in habitat diversificati, il loro cibo varia in base a ciò che è disponibile e grazie alla lanterna di Aristotele, l'apparato dentale specializzato, possono cibarsi raschiando sia su substrati duri che particolari.

I nostri esami al microscopio del contenuto stomacale dei Cidaridae hanno indicato che ingeriscono un'ampia varietà di materiale. In accordo con Mortensen (1928), i Cidaridae sui fondi molli consumano principalmente materiale del fondo: foraminiferi, briozoi, spugne e particelle. Su superficie dura in accordo con Pearse (1969), l'alimentazione include coralli vivi e morti oltre ad alghe e spugne, inoltre lo stesso autore considerò queste specie onnivore poiché ingerivano gli epibionti delle loro prede. Il contenuto intestinale dei Cidaridae che si nutrono sul fondo del mare ha avvalorato la tesi che siano generalisti e carnivori su organismi pigri o sessili. Le eccezioni rivelano una dieta potenzialmente più varia costituita da prede altamente mobili e materiale organico presente sui coralli delle acque profonde. Tuttavia, in alcuni degli esemplari analizzati durante questo lavoro, il contenuto stomacale era irriconoscibile a causa della degradazione del materiale prima

dell'ingestione e degli stessi processi digestivi successivi. L'analisi dei contenuti stomacali ha permesso inoltre di analizzare e contare le fibre sintetiche, nello specifico dalle 2 alle 10 particelle in ogni individuo di entrambe le specie. Esistono molteplici vie per l'ingresso delle fibre sintetiche nell'ambiente marino, da cui si disperdono ampiamente attraverso gli ecosistemi raggiungendo le aree più remote dell'oceano. In particolare il Mar Mediterraneo, in quanto bacino semichiuso, è stato identificato come una zona ad alto accumulo di detriti sintetici (Cózar et al., 2015). Uno studio condotto da Hennicke et al., (2021) ha indagato sul grado in cui *Paracentrotus lividus* è influenzato dall'inquinamento da fibre sintetiche. *Paracentrotus lividus* è una specie raccolta commercialmente e il suo consumo può contribuire all'aumento del numero di particelle sintetiche ingerite dall'uomo. Nello studio citato è stata testata la concentrazione di fibre sintetiche in questa specie, successivamente è stata messa in correlazione con la presenza di queste nel sedimento e si è studiata la probabilità che una certa dimensione e/o colore della particella sintetica venga più o meno assorbita. I risultati sottolineano come queste particelle sintetiche sono state trovate in ogni individuo di *P. lividus* e in ogni campione di sedimento. Nel complesso, il consumo di *P. lividus* da parte dell'uomo contribuisce al problema crescente della presenza di fibre sintetiche nella nostra vita quotidiana, poiché entra direttamente nella catena trofica. La maggior parte delle ricerche che analizzano l'assorbimento di fibre sintetiche negli invertebrati si limita a esperimenti di laboratorio controllati (Lusher et al., 2017a, b; Do Sul e Costa, 2014). Contrariamente, lo studio citato misura l'abbondanza di fibre sintetiche nel *P. lividus* selvatico, un erbivoro chiave in tutto il suo areale di distribuzione con valore commerciale.

Inoltre, gli stessi ricci di mare sono vulnerabili all'inquinamento da fibre sintetiche, poiché è stato dimostrato che queste danneggiano la salute dell'organismo allo stadio embrionale, larvale e adulto (Rendell Bhatti et al., 2020; Oliviero et al., 2019; Murano et al., 2020). La concentrazione di particelle

sintetiche nei ricci di mare può essere considerata da moderata ad alta, probabilmente causata dalla grande proporzione di liquido corporeo (fluido celomico) nei ricci di mare (Ruppert et al., 2004). Il liquido funge da ampio spazio in cui le microplastiche possono distribuirsi senza barriere una volta assorbite. Tuttavia, il confronto dei risultati è impegnativo poiché diversi organi sono presi di mira dalle fibre sintetiche e manca un protocollo standardizzato per la corretta analisi di questi materiali in relazione all'organismo stesso (Pinheiro. L et al., 2020; Hantoro et al., 2019). Un ulteriore studio di Sevillano- González et al., (2020) ha confermato la presenza di fibre sintetiche nelle gonadi e nel tratto digerente nei 33 ricci di mare *Diadema africanum* raccolti in due punti di campionamento a Tenerife (Isole Canarie, Spagna). *Diadema africanum* (Rodríguez et al., 2013) è, insieme a *P. lividus*, una delle specie di ricci di mare più frequenti nelle Isole Canarie (Spagna) (Hernández et al., 2013b). Il suo ruolo ecologico è di grande importanza nella struttura dell'habitat poiché controlla le popolazioni di macroalghe che si trovano nelle scogliere rocciose sub-litoranee delle Isole Canarie: un forte aumento di *D. africanum* riduce drasticamente il letto di macroalghe, limitando così la produzione primaria bentonica; al contrario, una diminuzione della popolazione di questi ricci di mare causerebbe la proliferazione delle macroalghe nelle barriere coralline. In entrambi i casi questa specie influenzerebbe la biodiversità dell'ecosistema (Hernández et al., 2013a). Nello studio sopracitato tutti i campioni analizzati contenevano microfibre cellulosiche, PP (microfibre derivate da indumenti sintetici) e PET (polietilene tereftalato) di colore blu e traslucido/bianco. Una possibile spiegazione potrebbe essere che i giovani individui accumulano relativamente più particelle rispetto a quelli adulti a causa della loro alimentazione più veloce e inoltre, l'analisi dei punti di scarico continuo dell'acqua, in cui non viene effettuata una filtrazione adeguata, suggerisce che potrebbero essere l'origine principale di tale contaminazione. Per avere un quadro completo della

massiccia presenza di fibre sintetiche nel Mediterraneo riportiamo un ulteriore studio che ha preso in considerazione le acque dell'Adriatico. Questo studio su cui vogliamo porre un'attenzione particolare è quello di Avio et al., (2020), i cui risultati complessivi hanno evidenziato che l'ingestione di fibre sintetiche è un fenomeno diffuso nelle reti alimentari dell'Adriatico, dove 21 delle 24 specie analizzate e il 26% di quasi 500 organismi contenevano almeno una particella. In generale, 1 o 2 particelle sono state estratte dalla maggior parte dei pesci e degli invertebrati, confermando un numero simile di frammenti sintetici estratti in organismi marini del Mar Mediterraneo (Anastasopoulou et al., 2013, 2018; Avio et al., 2015b, 2017; Romeo et al., 2015; Güven et al., 2017; Fossi et al., 2018; Giani et al., 2019; Gomiero et al., 2019; Pellini et al., 2018), o altre aree del mondo (Boerger et al., 2010; Davison e Asch, 2011; Lusher et al., 2013; Neves et al., 2015; Rummel et al., 2016; Tanaka e Takada, 2016). Anche la frequenza media di ingestione delle fibre sintetiche è stata rilevante: più frequente nelle specie del Mare Adriatico centrale e meridionale, rispetto a quelle settentrionali. Questo fa dedurre che sia il contributo dei deflussi fluviali, come il Po, sia le dinamiche oceanografiche locali, potrebbero spiegare la maggiore frequenza di ingestione di fibre sintetiche galleggianti e la diversa tipologia di particelle ritrovate negli organismi del Mediterraneo centrale e meridionale. Tra le forme di fibre sintetiche prese in considerazione, lo studio ha riportato che i frammenti sintetici predominavano in tutti gli habitat e in particolare in quelli legati al fondo, mentre particelle più leggere erano state rinvenute più frequentemente nelle specie pelagiche. Questi risultati confermano l'importanza della forma e dimensione delle fibre sintetiche grazie alle quali modulano il loro affondamento lungo la colonna d'acqua (Reisser et al., 2015), e quindi la loro biodisponibilità in diversi habitat. Studi recenti, ma ancora limitati, stanno evidenziando l'elevata presenza di fibre sintetiche a profondità più elevate e il loro impatto su reti trofiche sia pelagiche che di acque profonde (Choy et al.,

2019). Sicuramente, sono necessarie ulteriori ricerche sugli effetti dell'ingestione di fibre sintetiche e sulla determinazione delle concentrazioni nei tessuti di specie ittiche commerciali, combinate con una procedura di analisi standardizzata per valutare in modo completo il rischio che le particelle sintetiche nei frutti di mare può comportare per la salute umana e animale. A seconda del luogo e del sito di campionamento da cui vengono raccolti i ricci di mare, le concentrazioni di microplastiche possono essere superiori o inferiori a quelle stimate nei diversi studi citati, inoltre, è da valutare la diversa suscettibilità all'aumento dell'inquinamento da fibre sintetiche ambientale. Anche il presente studio pone l'attenzione sull'ubiquità delle particelle di fibre sintetiche, poiché sono state trovate in ogni individuo delle due specie considerate, *Cidaris cidaris* e *Stylocidaris affinis*, prelevate in due aree differenti con diversi habitat. Tuttavia, il confronto con altri studi è limitato, poiché le concentrazioni possono variare a seconda della zona costiera campionata, della stagione e della variabilità nelle metodologie utilizzate.

Le due specie di Cidaridae, inoltre, potrebbero anche fungere da bioindicatore o più specificamente come biomonitor per l'inquinamento da fibre sintetiche, poiché indicano quantitativamente il livello di inquinamento dell'ambiente (Pinheiro. L et al., 2020).

5. CONCLUSIONI

I risultati delle nostre indagini forniscono la descrizione di due specie di Cidaridae campionate nel Mar Ligure (*Stylocidaris affinis*) e nel Mar Adriatico (*Cidaris cidaris*).

Per quanto riguarda la specie *Cidaris cidaris*, in termini di diametro è risultata essere più piccola di *Stylocidaris affinis* mentre in termini di altezza leggermente più grande. Entrambe le specie hanno un test subsferico, depresso ai poli e guscio spesso ma in *Stylocidaris affinis* il periprocto (regione dell'ano) ha una colorazione rossastra, spesso con una linea trasversale più marcata sulle piastre genitali. Gli aculei primari, o radioli, in *Stylocidaris affinis* sono fini e poco più lunghi del diametro del corpo. Inoltre, in questa specie, hanno un colore giallastro con alcune bande trasversali brune e collare basale roseo mentre, in *Cidaris cidaris* risultano essere robusti e molto più lunghi del diametro del test. Gli aculei secondari in *Stylocidaris affinis*, appaiono rossi lungo la loro linea mediana, inoltre, questa specie differisce da *C. cidaris* perché le valve delle grandi pedicellarie globifere sono prive di uncino terminale. Si conferma inoltre l'alimentazione delle specie esaminate, in quanto all'interno dei contenuti stomacali sono stati identificati frammenti calcarei, spicole di spugne, frammenti di briozoi e, negli esemplari campionati in Adriatico, anche la presenza di granelli di sabbia. Il nostro studio pone inoltre l'attenzione sulla presenza di fibre sintetiche nell'ambiente profondo, microplastiche rinvenute nei gut contents dei ricci esaminati e, molto probabilmente, la presenza di questi anche nei sedimenti che caratterizzano l'habitat di queste specie.

Due concetti fondamentali emersi da questo studio sono: l'importanza di osservare direttamente il campione, analizzando l'aspetto morfologico per una corretta classificazione tassonomica, insieme all'analisi dell'aspetto ecologico che ci dà informazioni riguardanti l'alimentazione, l'habitat e la riproduzione.

Il presente studio riassume le principali differenze morfologiche delle due specie considerate e mostra che *S. affinis* e *C. cidaris* potrebbero avere una distribuzione geografica differente nel *Mare Nostrum*.

6. BIBLIOGRAFIA

- A. Anastasopoulou, C. Mytilineou, C.J. Smith, K.N. Papadopoulou Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (eastern mediterranean) *Deep Sea Res. Pt. I*, 74 (2013), pp. 11-13
- A. Anastasopoulou, M.K. Viršek, D.B. Varezić, N. Digka, T. Fortibuoni, S. Koren, M. Mandić, C. Mytilineou, A. Pešić, F. Ronchi, J. Šiljić, M. Torre, C. Tsangaris, P. Tutman Assessment on marine litter ingested by fish in the Adriatic and NE Ionian Sea macro-region (Mediterranean) *Mar. Pollut. Bull.*, 133 (2018), pp. 841-851
- A. Gomiero, P. Strafella, K.B. Øysæd, G. Fabi First occurrence and composition assessment of microplastics in native mussels collected from coastal and offshore areas of the northern and central Adriatic Sea *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* (2019)
- A. Rodríguez, J.C. Hernández, S. Clemente, S.E. Coppard A new species of *Diadema* (Echinodermata: echinoidea: Diadematidae) from the eastern Atlantic Ocean and a neotype designation of *Diadema antillarum* (Philippi, 1845) *Zootaxa*, 3636 (2013), pp. 144-170
- A.L. Lusher, M. Mchugh, R.C. Thompson Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel *Mar. Pollut. Bull.*, 67 (2013), pp. 94-99
- Agassiz A., Revision of Echini. "III. Cat. Mus. Comp. Zool. Harvard Coll.", 7, 1872-74
- Agassiz, A. 1872. Revision of the Echini. Part I. illustrated Catalogue of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College 7(1): 1-242.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2019. Toxicological profile for styrene. (Accessed 13 April 2020).
- Alomar, C., Deudero, S., 2017. Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus rafinesque*, 1810 in the continental shelf off the western mediterranean sea. *Environ. Pollut.* 223, 223–229.

- Althaus, F., Williams, A., Schlacher, T., et al.. 2009. Impacts of bottom trawling on deep-coral ecosystems of seamounts are long-lasting. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 397, 279--294.
- Al-Wahaibi, M.K., Claereboudt, M.R., 2017. Extraocular vision in the sea urchin *diadema setosum*. *Mar. Freshwater Behav. Physiol.* 50, 31–40.
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62 (8), 1596–1605.
- Andrietti F, Candia Carnevali MD, Wilkie IC (1992) Mechanical analysis of lantern movement in the cidarid sea-urchin *Stylocidaris affinis* (Phil.) : comparison with a typical camarodont lantern. In: Scalera-Liaci L, Canicatti' C (eds) *Echinoderm research 1991*. Balkema, Rotterdam, pp 95-98
- Andrietti F, Candia Carnevali MD, Wilkie IC, Lanzavecchia G, Melone G, Celentano FC (1990) Mechanical analysis of the sea-urchin lantern: the overall system in *Paracentrotus lividus*. *J Zool London* 220:345-366
- Andrietti, F., Candia Carnevali, M.C., Wilkie, I.C., 1993. A biomechanical comparison of the lantern of the cidarid sea-urchin *Stylocidaris affinis* with the typical camarodont lantern. *J. Zool.* 321, 59–610.
- Angela Stevenson and Andreas Krohc (2020). Deep-sea sea urchins. *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Fourth Edition, Vol. 43. Editor: John M. Lawrence
- Antonia Hennicke, Laura Macrina, Alice Malcolm-Mckay, Anastasia Miliou, 2021. Assessment of microplastic accumulation in wild *Paracentrotus lividus*, a commercially important sea urchin species, in the Eastern Aegean Sea, Greece. *Regional Studies in Marine Science*, Volume 45, 101855
- Awara, W.M., El-Nabi, S.H., El-Gohary, M., 1998. Assessment of vinyl chloride induced dna damage in lymphocytes of plastic industry workers using a single-cell gel electrophoresis technique. *Toxicology* 128 (1), 9–16.
- Baechler B.R., Stienbarger C.D., Horn D.A., Joseph J., Taylor A.R., Granek E.F., Brand S.M. Microplastic occurrence and effects in commercially harvested north

american finfish and shellfish: Current knowledge and future directions *Limnol. Oceanogr. Lett.*, 5 (1) (2020), pp. 113-136

- Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B.R., Lundebye, A.K., Guilhermino, L., 2018. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 336–348.
- Barker, M.F., 1985. Reproduction and development in *Goniocidaris umbraculum*, a brooding echinoid. In: Keegan, B.F., O'Connor, B.D.S. (Eds.), *Echinodermata*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 207–214.
- Bauer, J. C. and Young, C. M. 2000. Epidermal lesions and mortality caused by vibriosis in deep-sea Bahamian echinoids: a laboratory study. – *Diseases of Aquatic Organisms* 39: 193–199.
- Baumiller, T.K., Mooi, R., Messing, C.G., 2001. Cidaroid-crinoid interactions as observed from a submersible. In: Barker, M. (Ed.), *Echinoderms 2000: Proceedings of the 10th International Echinoderm Conference, Dunedin, 31 January-4 February 2000*. A.A. Balkema Publishers (Swets & Zeitlinger B.V.), Lisse/Abingdon/Exton (PA)/Tokyo, p. 3.
- Baumiller, T.K., Mooi, R., Messing, C.G., 2008. Urchins in the meadow: paleobiological and evolutionary implications of cidaroid predation on crinoids. *Paleobiology* 34, 22-34.
- Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V., MartínezGómez, C., 2016. Ingestion of microplastics by demersal fish from the spanish atlantic and mediterranean coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 109 (1), 55–60.
- Belyaev, G.M., 1989. *Deep Sea Ocean Trenches and Their Fauna*. Nauka Publishing House, Moscow, Russia.
- Bianchi CN (2007) Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Biodivers Enclosed Seas Artif Mar Habitats* 580:7–21.
- Billett, D.S.M., Llewellyn, C., Watson, J., 1988. Are deep-sea holothurians selective feeders. In: Burke, R.D., Mladenov, P.V., Lambert, P. et al., (Eds.), *Echinoderm Biology*. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 421-429.

- Blevins, E., Johnsen, S., 2004. Spatial vision in the echinoid genus *Echinometra*. *J. Exp. Biol.* 207 (24), 4249–4253.
- Bottom trawling has been contributing to the degradation of deep-water habitats and decline of megafauna, and Cidaridae are one of the taxa belonging to fishing bycatch (Kalogirou et al. 2022).
- Bowser P, Knittweis L (2019) Litter from dolphinfish fish aggregation devices (FADs): management perspectives based on a Maltese case study. *Rapp Comm int Mer Médit* 42:276
- Brosseau, Olivier & Eléaume, Marc. (2003). Morphometric analysis of pedicellariae in *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845) (Echinodermata, Echinoidea, Cidaridae) using Scanning Electron Micrography.
- Brown D.M., Wilson M.R., MacNee W., Stone V., Donaldson K. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: a role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 175 (3) (2001), pp.191-199
- Browne M.A., Crump P., Niven S.J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T., Thompson R. L'accumulo di microplastica sulle coste sarebbe ampio: fonti e pozzi Circondare. *Sci. Technol.*, 45 (21) (2011), pp. 9175-9179
- C.A. Choy, B.H. Robison, T.O. Gagne, B. Erwin, E. Firl, R.U. Halden, J.A. Hamilton, K. Katia, S.E. Lisin, C. Rolsky, K. Van Houtan The vertical distribution and biological transport of marine microplastics across the epipelagic and mesopelagic water column *Sci. Rep.*, 9 (2019), p. 7843
- C.D. Rummel, M.G.J. Löder, N.F. Fricke, T. Lang, E. M. Griebeler, M. Janke, G. Gerds Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the north sea and baltic sea *Mar. Pollut. Bull.*, 102 (2016), pp. 134-141
- C.G. Avio, L.R. Cardelli, S. Gorbi, D. Pellegrini, F. Regoli Microplastics pollution after the removal of the Costa Concordia wreck: first evidences from a biomonitoring case study *Environ. Pollut.*, 227 (2017), pp. 207-214

- C.G. Avio, S. Gorbi, F. Regoli Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea Mar. Environ. Res., 111 (2015), pp. 18-26
- C.M. Boerger, G.L. Lattin, S.L. Moore, C.J. Moore Plastic ingestion by planktivorous fishes in the north pacific central gyre Mar. Pollut. Bull., 60 (12) (2010), pp. 2275-2278
- Campbell, A. C. 1973. Observations on the activity of echinoid pedicellariae: I. Stem responses and their significance. – Marine and Freshwater Behavioural Physiology 2: 33–61.
- Campbell, A. C. 1983. Form and function of pedicellariae. – Echinoderm Studies 1: 139–167.
- Campos-Creasey, L.S., Tyler, P.A., Gage, J.D., et al., 1994. Evidence for coupling the vertical flux of phytodetritus to the diet and seasonal life history of the deep-sea echinoid *Echinus affinis*. Deep Sea Res., Part I 41, 369-388.
- Candia, Daniela & Wilkie, Iain & Lucca, E. & Andrietti, Francesco & Melone, Giulio. (1993). The Aristotle's lantern of the sea-urchin *Stylocidaris affinis* (Echinoida, Cidaridae): functional morphology of the musculo-skeletal system. Zoomorphology. 113. 173-189. 10.1007/BF00394858.
- Carbery, M., O'Connor, W., Palanisami, T., 2018. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. Environ. Int. 115, 400–409.
- Carlo Giacomo Avio, Lucia Pittura, Giuseppe d'Errico, Serena Abel, Sonia Amorello, Gianmarco Marino, Stefania Gorbi, Francesco Regoli, Distribution and characterization of microplastic particles and textile microfibers in Adriatic food webs: General insights for biomonitoring strategies, Environmental Pollution, Volume 258, 2020, 113766, ISSN 0269-7491
- Carpenter, E.J., Anderson, S.J., Harvey, G.R., Miklas, H.P., Peck, B.B., 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. Science 178 (4062), 749–750.

- Cartes JE, Maynou F, Fanelli E et al (2009) The distribution of megabenthic, invertebrate epifauna in the Balearic Basin (western Mediterranean) between 400 and 2300 m: environmental gradients influencing assemblages composition and biomass trends. *J Sea Res* 61:244–257.
- Cau, A., Avio, C.G., Dessí, C., Follesa, M.C., Moccia, D., Regoli, F., Pusceddu, A., 2019. Microplastics in the crustaceans *nephrops norvegicus* and *aristeus antennatus*: Flagship species for deep-sea environments? *Environ. Pollut.* 255, 113107.
- Cavey, M. J. and Markel, K. 1994. Echinoidea. In: Harrison, F. W. and Chia, F.-C. (Eds): *Microscopic anatomy of invertebrates Volume 14: Echinodermata*, pp. 345–400. Wiley-Liss, New York.
- Cerrano, C., Bertolino, M., Valisano, L., Bavestrello, G., Calcinai, B., 2009. Epibiotic demosponges on the Antarctic scallop *Adamussium colbecki* (Smith, 1902) and the cidaroid urchins *Ctenocidaris perrieri* Koehler, 1912 in the nearshore habitats of the Victoria Land, Ross Sea, Antarctica. *Polar Biol.* 32. 1607–1076.
- Choi, J.S., Hong, S.H., Park, J.W., 2020. Evaluation of microplastic toxicity in accordance with different sizes and exposure times in the marine copepod *tigriopus japonicus*. *Mar. Environ. Res.* 153, 104838.
- Coll M, Piroddi C, Steenbeek J et al (2010) The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS One* 5.
- Coppard, S. E. 2008. A comparative analysis of the spatangoid echinoid genera *Brissopsis* and *Metalia*: a new species and genus of spatangoid (Echinodermata: Echinoidea: Brissopsidae) from the Philippines and the reassignment of *Brissopsis persica* to *Metalia*. *-Zootaxa* 1760: 1–23.
- Coppard, S. E. and Campbell, A. C. 2006. Systematic significance of tridentate pedicellariae in the echinoid genera *Diadema* and *Echinothrix*. – *Invertebrate Biology* 125: 363–378.

- Coppard, Simon & Kroh, Andreas & Smith, Andrew. (2010). The evolution of pedicellariae in echinoids: An arms race against pests and parasites. *Acta Zoologica*. 93. 125-148. 10.1111/j.1463-6395.2010.00487.x.
- Cózar, A., Sanz-Martin, M., Marti, E., González-Gordillo, J.I., Ubeda, B., Gálvez, J.Á., Irigoien, X., Duarte, C.M., 2015. Plastic accumulation in the mediterranean sea. *PLoS One* 10 (4).
- D. Giani, M. Baini, M. Galli, S. Casini, M.C. Fossi Microplastics occurrence inedible fish species (*Mullus barbatus* and *Merluccius merluccius*) collected in three different geographical sub-areas of the Mediterranean Sea *Mar. Pollut. Bull.*, 140 (2019), pp. 129-137
- D. Neves, P. Sobral, J.L. Ferreira, T. Pereira Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast *Mar. Pollut. Bull.*, 101 (1) (2015), pp. 119-126
- Danovaro R, Company JB, Corinaldesi C et al (2010) Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: the known, the unknown, and the unknowable. *PLoS One* 5:1–25.
- David, B., Sibuet, M., 1985. Distribution et diversité des échinides. In: Laubier, L., Monniot. C. (Eds.), *Peuplements Profonds du Golfe de Gascogne*. IFREMER, pp. 509-534.
- David, B., Stock, S.R., De Carlo, F., Hétériér, V., De Ridder, C., 2009. Microstructures of Antarctic cidaroid spines: diversity of shapes and ectosymbiont attachments. *Mar. Biol. (Heidelberg, Ger.)* 156, 1559–1572.
- David, B., Stock, S.R., De Carlo, F., Hétériér, V., De Ridder, C., 2009. Microstructures of Antarctic cidaroid spines: diversity of shapes and ectosymbiont attachments. *Mar. Biol. (Heidelberg, Ger.)* 156, 1559–1572.
- Dayton, P. K., Rosenthal, R. J., Mahen, L. C. and Antezana, T. 1977. Population structure and foraging biology of the predaceous Chilean asteroid *Meyenaster gelatinosus* and the escape biology of its prey. – *Marine Biology* 39: 361–370.

- De Sá, L.C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T.L., Futter, M.N., 2018. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? *Sci. Total Environ.* 645, 1029–1039.
- Delle Chiaje (1828) *Memorie sulla storia e notomia degli animali senza vertebre del regno di Napoli*. Napoli Frat Fernandes (vol 1), Soc Tipogr (vol 2–4).
- Deutler, F., 1926. *Über das Wachstum des Seeigelskeletts*. *Zool. Jahrb. Abt. Anat. Ontog. Tiere* 48, 119-200.
- Düben MW (1844) *Norriges Hafs-fauna*. In: *Öfversigt af Kongl Vetenskaps-akademiens Forh*, pp 110–116
- Durham, J.W., 1955. *Classification of Clypeasteroid Echinoids*. vol. 31. University of California Publ. Geol. Sci. 73-198.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), 2016. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA J.* 14 (6), e04501
- Emlet, R.B., McEdward, L.R., Strathmann, R.R., 1987. Echinoderm larval ecology viewed from the egg. In: Jangoux, M., Lawrence, J.M. (Eds.), *Echinoderm Studies*, vol. 2. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 55–136.
- European Commission, 2019. *Natura 2000 - standard data*. (Accessed 09 December 2020).
- Evans J, Knittweis L, Aguilar R et al (2018) On the occurrence of *Coronaster briareus* (Echinodermata, Forcipulatida, Asteroiidae) in the Mediterranean Sea. *Mar Biodivers* 48:1381–1390.
- FAO. *The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean*; FAO: Rome, Italy, 2018; 172p.
- Feller RJ, Zagursky G, Day EA (1985) Deep sea food web analysis using cross reacting antisera. *Deep-Sea Res Part I* 32:485–497
- Feng, Z., Wang, R., Zhang, T., Wang, J., Huang, W., Li, J., Xu, J., Gao, G., 2020. Microplastics in specific tissues of wild sea urchins along the coastal areas of northern China. *Sci. Total Environ.* 728, 138660.

- Forte M., Iachetta G., Tussellino M., Carotenuto R., Prisco M., De Falco M., Laforgia V., Valiante S. Polystyrene nanoparticles internalization in human gastric adenocarcinoma cells *Toxicol. Vitro.*, 31 (2016), pp. 126-136
- Fowler SW, Knauer GA (1986) Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. *Prog Oceanogr* 16:147–194
- Fujiwara, T. 1935. On the poisonous pedicellariae of *Toxopneustes pileolus*. – *Annotationes Zoologicae Japonenses* 15: 62–69.
- G. Pellini, A. Gomiero, T. Fortibuoni, C. Ferrà, F. Grati, N. Tasseti, P. Polidori, G. Fabi, G. Scarcella Characterization of microplastic litter in the gastrointestinal tract of *Solea solea* from the Adriatic Sea . *Pollut.*, 234 (2018), pp. 943-95
- González-Irusta PA, Serrano A (2012) Environmental and fisheries effects on *Gracilechinus acutus* (Echinodermata: Echinoidea) distribution: is it a suitable bioindicator of trawling disturbance? *ICES J Mar Sci* 69:1457–1465.
- Gooday, A.J., Turley, C.M., 1990. Responses by benthic organisms to inputs of organic material to the ocean floor: a review. *Phil. Trans. R. Soc. A* 331, 119---138.
- Hamann, O. 1887. Beiträge zur Histologie der Echinodermen. Heft 3. Anatomie und Histologie der Echiniden und Spatangiden. Gustav Fischer, Jena.
- Hardy, C., David, B., Rigaud, T., De Ridder, C., Saucède, T., 2011. Ectosymbiosis associated with cidaroids (Echinodermata: Echinodermata) promotes benthic colonization of the seafloor in the Larsen Embayments, Western Antarctica. *Deep-Sea Res., Part II.* 58, 84–90
- Hétériér, V., David, B., De Ridder, C., Rigaud, T., 2008. Ectosymbiosis is a critical factor in the local benthic biodiversity of the Antarctic deep sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 34, 67–76.
- Hétériér, V., De Ridder, C., David, B., Rigaud, T., 2004. Comparative biodiversity of ectosymbionts in two Antarctic cidaroid echinoids, *Ctenocidris*

- spinosa and Rhynchocidaris triplopora. In: Heinzeller, T., Nebelsick, J.H. (Eds.), Echinoderms: München, Balkema Publishers, Leiden, pp. 201–205.
- Holland, N.D., 1967. Gametogenesis during the annual reproductive cycle in a cidaroid sea urchin (*Stylocidaris affinis*). Biol. Bull. (Woods Hole, MA, USA) 133, 578–590.
 - Hope, Julie & Coco, Giovanni & Thrush, Simon. (2020). The effects of polyester microfibers on microphytobenthos and sediment-dwelling infauna. Environmental Science & Technology. 10.1021/acs.est.0c00514.
 - Hopkins TL (1985) Food web of an Antarctic midwater ecosystem. Mar Biol 89:197–212
 - Hopkins, T.S., Thompson, L.E., Walker, J.M., Davis, M., 2004. A study of epibiont distribution on the spines of the cidaroid sea urchin, *Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816) from the shallow shelf of the eastern Gulf of Mexico. In: Heinzeller, T., Nebelsick, J.H. (Eds.), Echinoderms: München, A. A. Balkema, Leiden, pp. 207–211.
 - Howell KL, Pond DW, Billett DSM, Tyler PA (2003) Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty acid biomarker approach. Mar Ecol Prog Ser 255: 193–206
 - Howell, Kerry & Billett, & Tyler,. (2004). Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata : Asteroidea): a pigment biomarker approach. Marine Ecology Progress Series. 266. 103-110. 10.3354/meps266103.
 - Hudson, I., Wigham, B., Billett, D., et al., 2003. Seasonality and selectivity in the feeding ecology and reproductive biology of deep-sea bathyal holothurians. Prog. Oceanogr. 59, 381--407.
 - Iken, K., Brey, T., Wand, U., et al., 2001. Food web structure of the benthic community at the Porcupine Abyssal Plain (NE Atlantic): a stable isotope analysis. Prog. Oceanogr. 50, 383--405.
 - J. Reisser, B. Slat, K. Noble, K. du Plessis, M. Epp, M. Proietti, J. De Sonnevile, T. Becker, C. Pattiaratchi The vertical distribution of buoyant plastics at

- sea: an observational study in the North Atlantic Gyre *Biogeosciences*, 12 (2015), pp. 1249-1256
- J.C. Hernández, C. Sangil, S. Clemente Sea urchins, natural events and benthic ecosystems functioning in the Canary Islands J.M. Fernández-Palacios, L. De Nascimento, J.C. Hernández, S. Clemente, A. González, J.P. Díaz González (Eds.), *Climate Change Perspectives from the Atlantic: Past, Present and Future*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna, Tenerife, islas Canarias, España (2013), pp. 487-512
 - J.C. Hernández, S. Clemente, F. Tuya, A. Pérez-Ruzafa, C. Sangil, L. Moro-Abad, J.J. Bacallado-Aránega J.J. Alvarado, F.A. Solis-Marin (Eds.), *Echinoderms of the Canary Islands, Spain BT - Echinoderm Research and Diversity in Latin America*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2013), pp. 471-510
 - Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223), 768–771
 - Jensen, M. 1982. Pedicellariae in classification of echinoids. In J.M. Lawrence (ed.), *International Echinoderms Conference*, Tampa Bay: 111-115. Rotterdam: Balkema.
 - Jeong, C.B., Won, E.J., Kang, H.M., Lee, M.C., Hwang, D.S., Hwang, U.K., Zhou, B., Souissi, S., Lee, J.S., 2016. Microplastic size-dependent toxicity, oxidative stress induction, and p-JNK and p-p38 activation in the monogonont rotifer (*Brachionus koreanus*). *Environm. Sci. Technol.* 50 (16), 8849–8857.
 - Jumars, P.A., Mayer, L.M., Deming, J.W., et al., 1990. Deep-sea deposit feeding strategies suggested by environmental and feeding constraints. *Phil. Trans. R. Soc. A* 331, 85-101.
 - Kaberi, H., Tsangaris, C., Zeri, C., Mousdis, G., Papadopoulos, A., Streftaris, N., 2013. Microplastiche lungo il litorale di un'isola greca (kea isl. mar Egeo): tipi e densità in relazione all'orientamento della spiaggia, alle caratteristiche e alla vicinanza alle sorgenti. In: *4th International Conference on Environmental Management*,

Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) e SECOTOX conference, Isola di Mykonos, Grecia, pp. 197-202

- Koehler R (1921) Faune de France: Échinodermes. In: Lechevalier
- Kosuth M., Mason S.A., Wattenberg E.V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt PLoS One, 13 (4) (2018), Article e0194970
- Koukouras A, Sinis AI, Bobori D et al (2007) The echinoderm (Deuterostomia) fauna of the Aegean Sea , and comparison with those of the neighbouring seas. J Biol Res 7:67–92
- Lawrence, J. 1987. A functional biology of echinoderms. Croom Helm, London & Sydney.
- Lawrence, J.M., 2013. Sea Urchins: Biology and Ecology. Academic Press.
- Lawrence, John & Jangoux, Michel. (2013). Cidaroids. 10.1016/B978-0-12-396491-5.00016-2.
- Lawrence, John & Lawrence, Addison & Watts, Stephen. (2020). Ingestion, digestion, and digestibility of regular sea urchins. 10.1016/B978-0-12-819570-3.00009-3.
- Lebrato, M., Iglesias-Rodriguez, D., Feely, R., et al., 2010. Global contribution of echinoderms to the marine carbon cycle: a re-assessment of the oceanic CaCO₃ budget and the benthic components. Ecol. Monogr. 80, 441–468.
- Leonard, C., Evans, J., Knittweis, L. *et al.* Diversity, distribution, and habitat associations of deep-water echinoderms in the Central Mediterranean. *Mar. Biodivers.* 50, 69 (2020).
- Linse, K., Walker, L.J., Barnes, D.K.A., 2008. Biodiversity of echinoids and their epibionts around the Scotia Arc, Antarctica. *Antarctic Sci.* 20, 227–244.
- Lusher, A., Hollman, P., Mendoza-Hill, J., 2017a. Microplastiche nella pesca e Acquacoltura: stato delle conoscenze sulla loro occorrenza e implicazioni per Organismi acquatici e sicurezza alimentare. FAO Pesca e Acquacoltura Tecnica Carta, p. 615.

- Lusher, A.L., Tirelli, V., O'Connor, I., Officer, R., 2015. Microplastics in arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Sci. Rep.* 5, 14947
- Lusher, A.L., Tirelli, V., O'Connor, I., Officer, R., 2015. Microplastics in arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Sci. Rep.* 5, 14947
- Lyman T (1879) Ophiuridae and Astrophytidae of the "Challenger" expedition. In: Part II. *Bull Museum Comp Zool Harvard Coll Cambridge, Mass*
- M.C. Fossi, C. Pedà, M. Compa, C. Tsangaris, C. Alomar, F. Claro, C. Ioakeimidis, F. Galgani, T. Hema, S. Deudero, T. Romeo, P. Battaglia, F. Andaloro, I. Caliani, S. Casini, C. Panti, M. Bainsi Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity *Environ. Pollut.*, 237 (2018), pp. 1023-1040
- Marta Sevillano-González, Javier González-Sálamo, Francisco J. Díaz-Peña, Cintia Hernández-Sánchez, Sergio Catalán Torralbo, Airán Ródenas Seguí, Javier Hernández-Borges, 2022. Assessment of microplastic content in *Diadema africanum* sea urchin from Tenerife (Canary Islands, Spain), *Marine Pollution Bulletin*, Volume 175, 2022, 113174, ISSN 0025-326X
- Mastrototaro F, Mifsud C (2008) Some observations on the morphology of *Sclerasterias richardi* a rarely encountered Mediterranean Sea star (Echinodermata: Asteroiidae). *Mediterr Mar Sci* 9:103–110
- Mecho A, Billett DSM, Ramirez-Llodra E et al (2014) First records, rediscovery and compilation of deep-sea echinoderms in the middle and lower continental slope of the Mediterranean Sea. *Sci Mar* 78: 281.
- Menzel, R., 1979. Spectral sensitivity and color vision in invertebrates. In: Autrum, H. (Ed.), *Comparative Physiology and Evolution of Vision in Invertebrates*. In: *Handbook of Sensory Physiology*, Springer, Berlin, Heidelberg.

- Mifsud C, Taviani M, Stöhr S (2009) Remarks on Echinodermata from the South Central Mediterranean Sea based upon collections made during the MARCOS cruise (10 to 20th April, 2007). *Mediterr Mar Sci* 10:63–72
- Mortensen, T. 1903. Den Drmske Ingolf Expedition. 1-Echinoidea: 1- 183. Copenhagen: H. Hagerup.
- Mortensen, T. 1910. On some west indian echinoids. Washington government printing office.
- Mortensen, T. I 928. A lvfonograph of the Echinoidea, 1-Cidaroidea. Copenhagen: Reitzel, C.A.
- Mortensen, T., 1928. A Monograph of the Echinoidea. I. Cidaroidea. C.A. Reitzel, Copenhagen, Denmark.
- Mortensen, T. 1928–1951. A Monograph of the Echinoidea. I. Cidaroidea. 551 pp. (1928); II. Bothriocidaroida, Melonechinoida, Lepidocentroida, and Stirodonta. 647 pp. (1935); III, 1. Aulodonta, with Additions to
- Murano, C., Agnisola, C., Caramiello, D., Castellano, I., Casotti, R., Corsi, I., Palumbo, A., 2020. How sea urchins face microplastics: Uptake, tissue distribution and immune system response. *Environ. Pollut.* 114685.
- Nadal, M., Alomar, C., Deudero, S., 2016. High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue boops boops (L.) around the balearic islands. *Environ. Pollut.* 214, 517–523.
- Nagelkerken, I., Smith, G. W., Snelders, E., Karel, M. and James, S. 1999. Sea urchin *Meoma ventricosa* die-off in Curacao (Netherlands Antilles) associated with a pathogenic bacterium.
- O. Güven, K. Gokdag, B. Jovanovic, A.E. Kideys Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish *Environ. Pollut.*, 223 (2017), pp. 286-294
- Oliviero, M., Tato, T., Schiavo, S., Fernández, V., Manzo, S., Beiras, R., 2019. Leachates of micronized plastic toys provoke embryotoxic effects upon sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Environ. Pollut.* 247, 706–715.

- P. Davison, R.G. Asch Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific subtropical gyre *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 432 (2011), pp. 173-180
- Pace R, Dimech M, Camilleri M, Cabalenas Mosteiro A (2007a) Distribution and density of discarded limestone slabs used in the traditional Maltese lampuki fishery. *Rapp Comm int Mer Médit* 38:568
- Pace R, Dimech M, Camilleri M, Schembri PJ (2007b) Litter as a source of habitat islands on deep water muddy bottoms. *Rapp Comm int Mer Médit* 38:567
- Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpfen, T., Bergmann, M., Hehemann, L., Gerdts, G., 2018. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nature Commun.* 9 (1), 1–12. Peng, X., Chen, M., Chen, S., Dasgupta, S., Xu, H., Ta, K., Du, M., Li, J., Guo, Z., Bai, S., 2018. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochem. Perspect. Lett.* 9, 1–5.
- Perrier E (1891) *Stellerides nouveaux provenant des campagnes du yacht l'Hirondelle. Mémoires la Société Zool Fr* 4:258–271
- Prouho, H., 1888. *Recherches sur le Dorocidaris papillata et quelques autres Échinides de la Méditerranée. Thesis. University of Paris, Paris.*
- Prouho, H., 1888. *Recherches sur le Dorocidaris papillata et quelques autres Échinides de la Méditerranée. Thesis. University of Paris, Paris.*
- Puig, P., Canals, M., Company, J.B., et al., 2012. Ploughing the deep sea Oor. *Nature* 489 (7415), 286.
- Raff, R.A., Herlands, L., Mooris, V.B., Healy, J., 1990. Evolutionary modification of echinoid sperm correlates with developmental mode. *Dev., Growth Diff.* 32, 283–291.
- Reguera, P., Viñas, L., Gago, J., 2019. Microplastics in wild mussels (*mytilus* spp.) from the north coast of Spain. *Sci. Mar.* 83 (4), 337–347.
- Rendell-Bhatti, F., Paganos, P., Pouch, A., Mitchell, C., D'Aniello, S., Godley, B.J., Pazdro, K., Arnone, M.I., Jimenez-Guri, E., 2020. Developmental toxicity

of plastic leachates on the sea urchin *paracentrotus lividus*. *Environ. Pollut.* 269, 115744.

- Romanes, G. J. 1883. Observations on the physiology of Echinodermata. – *Journal of The Linnean Society (Zoology)* 17: 131–137.
- Romeo, P.B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F., Fossi, M.C., 2015. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the mediterranean sea. *Mar. Pollut. Bull.* 95 (1), 358–361.
- Rueda JL, Urrea J, Aguilar R et al (2019) 29 cold-water coral associated fauna in the Mediterranean Sea and adjacent areas. Springer, Cham, pp 295–333
- Sars GO (1872) Nye Echinodermer fra den norske kyst. *Forh i Vidensk I Christ* 1871:1–31
- Schneider, C.L., 2003. Hitchhiking on Pennsylvanian echinoids: epibionts on *Archaeocidaris*. *Palaios* 18, 435–444.
- Schneider, C.L., 2008. The importance of echinoids in late Paleozoic ecosystems. In: Ausich, W.I., Webster, G.D. (Eds.), *Echinoderm Paleobiology*, Indiana University Press, Bloomington, pp. 71–90.
- Serafy, D.K., Fell, F.J., 1985. Marine Flora and Fauna of the Northeastern United States. Echinodermata: Echinoidea. NOAA Technical Report. NMFS27. 33.
- Sladen, W. P. 1880. On a remarkable form of pedicellaria and the functions performed thereby. – *Annals and Magazine of Natural History* 6: 101–114.
- Smith M., Love D.C., Rochman C.M., Neff R.A. Microplastics in seafood and the implications for human health *Current Environ. Health Rep.*, 5 (3) (2018), pp. 375-386
- Smith, A.B., 1980. Stereom microstructure of the echinoid test. *Spec. Pap. Palaeontol.* 25, 1-8 l.
- Smith, A.B., 1984. *Echinoid Paleobiology*. George Allen & Unwin, London.
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M., Neff, R.A., 2018. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environ. Health Rep.* 5 (3), 375–386.

- Southward EC, Campbell AC, London LS of, Association E and CS (2006) Echinoderms: keys and notes for the identification of British species. Linnean Society of London and the Estuarine and Coastal Sciences Association
- Stefánsson, G., Kristinsson, H., Ziemer, N., Hannon, C., James, P., 2017. Markets for sea urchins: A review of global supply and markets. *Skýrsla Matís* 45.
- Stevenson A, Davies JS, Williams A et al (2018) Echinoid associations with coral habitats differ with taxon in the deep sea and the influence of other echinoids, depth, and fishing history on their distribution. *Deep Res Part I Oceanogr Res Pap* 133:27–38.
- Stevenson A, Kroh A (2020) Deep-sea sea urchins. *Dev Aquac Fish Sci* 43:237–254.
- Stevenson, A. , Gahn, F.J., Baumiller, T.K., et al., 2017. Predation on feather slars by regular echinoids as evidenced by laboratory and field observations and its paleobiological implications. *Paleobiology* 43 (2), 274-285.
- Stevenson, A., Mitchell, F.J.G., 2016. Evidence of nutrient partitioning in coexisting deep-sea echinoids, and seasonal dietary shifts in seasonal breeders: perspectives from stable isotope analyses. *Prog. Oceanogr.* 141, 44--59.
- Stevenson, A., Rocha, C., 2013. Evidence for the bioerosion of deep-water corals by echinoids in the Northeast Atlantic. *Deep Sea Res., Part I* 71, 73-78.
- Strand, J., Lassen, P., Shashoua, Y., Andersen, J.H., 2013. Particelle di microplastica nei sedimenti delle acque danesi. In: Conferenza scientifica annuale del CIEM, pp. 23-27.
- T. Romeo, P. Battaglia, C. Pedà, P. Consoli, F. Andaloro, M.C. Fossi First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea *Mar. Pollut. Bull.*, 95 (2015), pp. 358-361
- Tajima, K., Hirano, T., Shimizu, M. and Ezura, Y. 1997. Isolation and pathogenicity of the causative bacterium of spotting disease of sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. – *Fisheries Science* 63: 249–252.

- Tanaka, H. Takada Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters *Sci. Rep.*, 6 (2016), p. 34351
- Tanti CM, Schembri PJ (2006) A synthesis of the echinoderm fauna of the Maltese islands. *J mar biol Ass UK* 86:163–165.
- Taviani M, Angeletti L, Canese S et al (2017) The “Sardinian cold-water coral province” in the context of the Mediterranean coral ecosystems. *Deep Res Part II Top Stud Oceanogr* 145:61–78.
- Taylor, M., Gwinnett, C., Robinson, L., Woodall, L., 2016. Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Sci. Rep.* 6 (1), 1–9.
- Terribile, Kimberly & Schembri, Patrick. (2013). Depth distribution of *Cidaris cidaris* (Linnaeus, 1758) and *Stylocidaris affinis* (Philippi, 1845) (Echinodermata, Echinoidea) around the Maltese Islands.. 10.13140/2.1.1246.6567.
- Th. Mortensen. (1907). Echinoidea (part II) The danish ingolf-expedition. VOLUME IV.
- Tortonese E (1965) ECHINODERMATA, Fauna d’Italia 6. Calderini, Bologna
- Turner, R.L., Graham, B.D., 2003. *Calocidaris micans* (Cidaridae) and *Pseudoboletia maculata* (Toxopneustidae): additions to the sea urchin fauna (Echinodermata: Echinoidea) of the Gulf of Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 116, 61–81.
- Tyler PA, Harvey R, Giles LA, Gage JD (1992a) Reproductive strategies and diet in deep-sea nuculanid protobranchs (*Bivalvia*, *Nuculoidea*) from the Rockall Trough. *Mar Biol* 114:571–580
- Tyler PA, Young CM, Billett DSM, Giles LA (1992b) Pairing behavior, reproduction and diet in the deep-sea holothurian genus *Paroriza* (Holothurioidea, Synallactidae). *J Mar Biol Assoc UK* 72:447–462
- Tyler, P.A., 1988. Seasonality in the deep sea. *Oceanogr. Mar. Biol.* 26, 227-258.

- Tyler, P.A., Gage, J.D., 1984. The reproductive biology of echinothurid and cidarid sea urchins from the deep sea (Rockall Trough, North east Atlantic Ocean). *Mar. Biol. (Heldelberg, Ger.)* 80, 63–74.
- Tyler, P.A., Gage, J.D., 1984b. Seasonal reproduction of *Echinus affinis* (Echinodermata: Echinoidea) in the Rockall Trough, northeast Atlantic Ocean. *Deep Sea Res., Part I* 31, 387-402.
- Tyler, P.A., Grant, A., Pain, S.L., et al .. 1982. Is annual reproduction in deep-sea echinoderms a response to variability in their environment? *Nature* 300, 747-750
- Tyler, P.A., Young, C.M., Serafy, K., 1995. Distribution, diet and reproduction in the genus *Echinus*: evidence for recent diversification? In: Emson, R., Smith, A., Campbell, A. (Eds.), *Echinoderm Research*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 29-36.
- Valentina Perricone, Tobias B Grun, Francesco Marmo, Carla Langella and Maria Daniela Candia Carnevali (2020). Constructional design of echinoid endoskeleton: main structural components and their potential for biomimetic applications. *Bioinspiration & Biomimetics*, Volume 16, Number 1
- Verrill AE (1882) Notice of the remarkable marine fauna occupying the outer banks off the southern coast of New England, No 4. *American J Sci* 3:216–225 Vol. II (Lepidocentroida and Stirodonta). 370 pp. (1940); III, 2. Camarodonta. I. Orthopsidæ, Glyphocyphidæ, Temnopleuridæ and Toxopneustidæ. vii+553 pp. (1943a); III, 3. Camarodonta. II. Echinidæ, Strongylocentrotidæ, Parasaleniidæ, Echinometridæ. 446 pp. (1943b); IV, 1 Holoctypoida, Cassiduloida. 371 pp. (1948a); IV, 2. Clypeasteroida. Clypeasteridæ, Arachnoidæ, Fibulariidæ, Laganidæ and Scutellidæ. 471 pp. (1948b); V, 1. Spatangoida I. Protosternata, Meridosternata, Amphisternata I. Palæopneustidæ, Palæostomatidæ, Aëropsidæ, Toxasteridæ, Micrasteridæ, Hemiasteridæ. 432 pp. (1950); V, 2. Spatangoida II. Amphisternata II.

Spatangidæ, Loveniidæ, Pericosmidæ, Schizasteridæ, Brissidæ. 593 pp. (1951). C.A. Reitzel, Copenhagen.

- Vianello A., Boldrin A., Guerriero P., Moschino V., Rella R., Sturaro A., Da Ros L. Particelle di microplastica nei sedimenti della laguna di Venezia: prime osservazioni su occorrenza, modelli spaziali e identificazione. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 130 (2013), pp. 54-61
- von Marenzeller E (1893) Berichte der Commission für Erforschung des östlichen Mittelmeeres. Zoologische Ergebnisse. In: 1. Echinodermen gesammelt 1890, 1891 und 1892. Denkschriften Kais Akad Wissenschaften, Wien
- Wigham, B.D., Hudson, I.R., Billett, D.S.M., et al., 2003. Is long-term change in the abyssal Northeast Atlantic driven by qualitative changes in export flux? Evidence from selective feeding in deep-sea holothurians. *Prog. Oceanogr.* 59, 409-441.
- Wilkie, I.E., Candia Carnevali, M.D., Andrietti, F., 1996. Mechanical properties of the peristomial membrane of the cidaroid sea-urchin *Stylocidaris affinis*. *J. Zool. (Lond.)* 238, 557-569.
- Wilkie, I.E., Candia Carnevali, M.D., Andrietti, F., 1998. Mechanical properties of sea-urchin lantern muscles: a comparative investigation of intact muscle groups in *Paracentrotus lividus* (Lam.) and *Stylocidaris affinis* (Phil.) (Echinodermata: Echinoidea). *J. Comp. Physiol. B.* 168, 204-212.
- Williams, A., Schlacher, T.A., Rowden, A.A., et al., 2010. Seamount megabenthic assemblages fail to recover from trawling impacts. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 31, 183-199.
- Wolff, T., 1970. The concept of hadal or ultra-abyssal fauna. *Deep-Sea Res.* 17, 983-1003.
- World Wide Fund For Nature, 2017. Seafood and the mediterranean: Local tastes, global market. (Accessed 13 May 2020).

- Wright, S.L., Kelly, F.J., 2017. Plastic and human health: a micro issue? *Environ. Sci. Technol.* 51 (12), 6634–6647.
- Yerramilli, D., Johnsen, S., 2010. Spatial vision in the purple sea urchin *strongylocentrotus purpuratus* (echinoidea). *J. Exp. Biol.* 213 (2), 249–255.