



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale

Biologia Marina

ANALISI DELLE COMUNITA' DELLA MEIOFAUNA NEI
CANYON PROFONDI DEL MAR IONIO

ANALYSIS OF THE MEIOFAUNA COMMUNITIES IN THE
DEEP CANYONS OF THE IONIAN SEA

Tesi di Laurea Magistrale di:

Jacopo Ugolini

Relatore Prof.ssa

Silvia Bianchelli

Sessione straordinaria

Anno Accademico 2019-2020

Indice

1.INTRODUZIONE	3
<i>1.1 Canyon sottomarini</i>	3
<i>1.2 I canyon sottomarini nel Mar Mediterraneo</i>	7
<i>1.3 La biodiversità nei canyon sottomarini profondi</i>	11
<i>1.4 La meiofauna nei canyon sottomarini profondi</i>	14
2. OBIETTIVI	20
3. MATERIALI E METODI	21
<i>3.1 Area di studio</i>	21
<i>3.2 Strategia e metodo di campionamento</i>	23
<i>3.3 Analisi in laboratorio</i>	25
<i>3.4 Analisi statistiche</i>	26
4. RISULTATI	28
<i>4.1 Abbondanza della meiofauna</i>	28
<i>4.2 Ricchezza di taxa della meiofauna</i>	29
<i>4.3 Struttura di comunità</i>	30
<i>4.4 Composizione tassonomica</i>	32
5. DISCUSSIONE	39
<i>5.1 Abbondanza della meiofauna nei canyon Squillace, Crotone e Tricase</i>	41
<i>5.2 Diversità della meiofauna nei canyon Squillace, Crotone e Tricase</i>	42
6. CONCLUSIONI	45
7. BIBLIOGRAFIA	47
8. ALLEGATI	49

1.INTRODUZIONE

1.1 Canyon sottomarini

Oltre il 50% della superficie degli oceani è al di sotto dei 3000 m di profondità. Soltanto il 5% dell'ambiente marino profondo è stato superficialmente studiato con l'utilizzo di strumenti remoti e meno dello 0.001% dei fondali al di sotto dei 3000 m di profondità è stato campionato e studiato in dettaglio per analizzarne le caratteristiche, tra le quali la biodiversità (Danovaro, 2013). Lo studio degli ambienti marini profondi, per la loro complessità ed inaccessibilità, è una delle ultime frontiere della ricerca scientifica e dell'esplorazione del nostro Pianeta (Danovaro, 2013). L'oceano profondo, che rappresenta l'ecosistema più esteso e remoto della Terra, ospita un'ampia diversità di strutture geologiche e centinaia di milioni di km² sono occupati dalle scarpate continentali e dalle piane abissali. Tuttavia in ambiente profondo si trovano diverse strutture geologiche, tra le quali: dorsali oceaniche, canyon, montagne sottomarine, barriere coralline profonde, oasi idrotermali e fosse oceaniche, che vanno a supportare comunità biotiche uniche (Danovaro, 2013).

In generale, la percezione degli ambienti profondi è radicalmente cambiata nell'ultimo secolo, infatti, mentre inizialmente si pensava a un sistema povero di specie, adesso le acque profonde sono proprio riconosciute come uno dei più importanti serbatoi di biodiversità sulla terra (Bianchelli et al., 2019). Quindi, ad un'elevata complessità spaziale si affianca un alto livello di biodiversità (Bianchelli et al., 2019).

Circa il 20% del fondale degli oceani su scala mondiale è coperto dai margini continentali, che si estendono da 200 a circa 4000 m di profondità. I margini continentali svolgono un ruolo chiave nei cicli biogeochimici globali e sono considerati come potenziali punti caldi della biodiversità delle profondità marine (Bianchelli et al., 2010). I margini continentali sono ambienti sedimentari altamente dinamici in cui la materia organica e inorganica può essere intrappolata o trasportata lungo il pendio verso la piana abissale. Tra le strutture morfologiche più spettacolari dei margini continentali ci sono i canyon sottomarini, che contribuiscono sostanzialmente alla canalizzazione delle masse d'acqua, dei sedimenti e della materia organica dalla riva ai bacini profondi (Bianchelli et al., 2010). I canyon sono infatti considerati dei corridoi veloci per il materiale trasportato dall'ambiente terrestre verso gli ambienti marini profondi (Danovaro, 2013).

I canyon (Figura 1.1) sono profonde incisioni della platea e della scarpata continentale, sezionano molti dei margini continentali e sono costituiti da sistemi superficiali di canali connessi a profonde e larghe valli. Sono formazioni praticamente ubiquitarie dei margini continentali che mostrano una notevole varietà in lunghezza, larghezza, altezza e complessità morfologica, al punto tale che ogni canyon può essere considerato unico nel suo genere. A tutt'oggi il numero complessivo dei canyon presenti lungo i margini continentali è ancora ignoto.

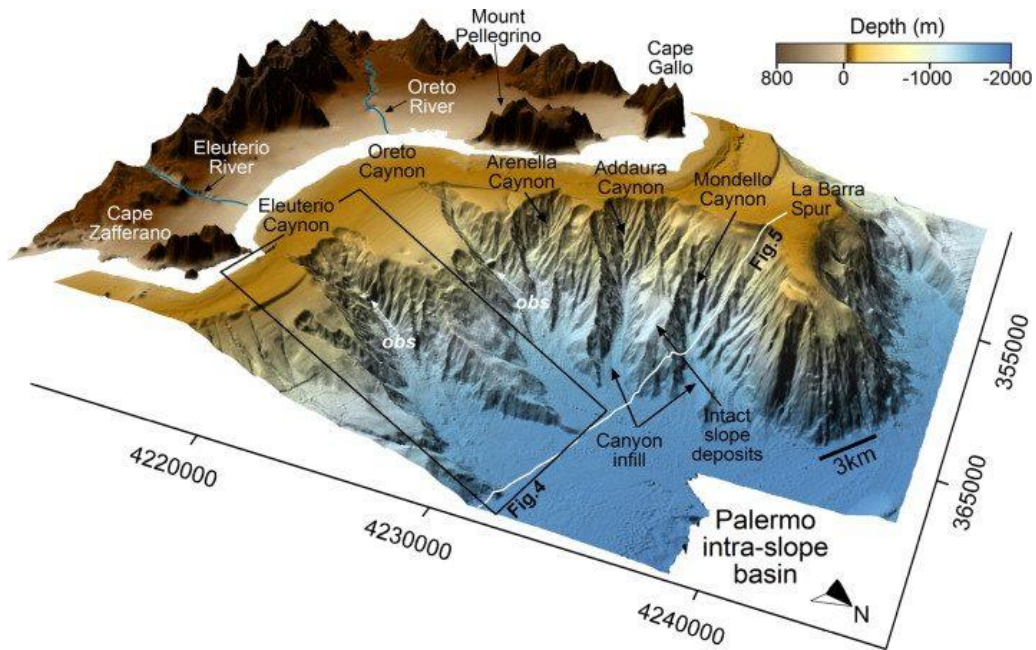


Figura 1.1. I canyon sottomarini lungo la scarpata del Golfo di Palermo (Mar Tirreno Meridionale, Mar Mediterraneo; Lo Iacono et al., 2014).

La genesi dei canyon sottomarini è avvenuta secondo due meccanismi:

- vengono scavati dall'erosione da terra che successivamente si è estesa al di sotto del livello del mare;
- vengono scavati dall'erosione *in situ*.

I canyon possono essere direttamente collegati ai sistemi fluviali (“canyon attivi”) ed essere quindi influenzati dalle loro dinamiche idro-sedimentarie; in questo caso, i canyon sono caratterizzati da importanti processi di trasporto e deposito di sedimenti terrigeni originati principalmente dalle aree continentali. Altri canyon sono invece scollegati dall'influenza del fiume (“canyon passivi”), quindi le particelle di sedimenti organici e inorganici sono in parte trasportate dalla piattaforma e/o dal pendio aperto

adiacente attraverso il canyon mediante vari processi idrodinamici verticali e/o orizzontali (Duros et al., 2011).

A causa delle loro caratteristiche topografiche, facilitano quindi gli scambi di acqua e materia tra piattaforma e ambienti profondi, incanalando grandi quantità di sedimento dalla scarpata continentale. Alcuni agiscono anche come depositi temporanei di sedimento e carbonio (Danovaro, 2013).

Intercettando e intrappolando gli apporti di sedimenti terrigeni e litoranei, i canyon sottomarini con le loro teste vicine alla linea di costa possono agire come motori principali del trasporto e della deposizione di sedimenti locali, incanalando così i materiali verso il mare profondo adiacente (Pusceddu et al., 2010). I canyon sottomarini sono più attivi nel trasferimento dei sedimenti e della materia organica rispetto alle scarpate continentali; tuttavia, lungo il trasporto dei sedimenti è un processo intermittente, che non avviene in maniera costante nel tempo (Pusceddu et al., 2010).

Inoltre, sono in grado anche d'influenzare le condizioni idrodinamiche locali e sono interessati spesso da processi di *upwelling* e *downwelling*, aumentando anche la produttività locale. (Lopez-Fernandez et al., 2013).

I canyon sono solitamente considerati siti di alta abbondanza e biomassa della fauna rispetto all'ambiente di scarpata. Le caratteristiche dei canyon come la sedimentazione, i flussi organici e inorganici, l'*upwelling* e il *downwelling*, aiutano a creare habitat peculiari, caratterizzati da una notevole densità e diversità di fauna bentonica (Danovaro, 2013). Le comunità bentoniche dei canyon mostrano notevoli

differenze rispetto a quelle presenti negli ambienti di scarpata, specialmente quando il canyon è interessato da imponenti processi di trasporto e di deposizione di materia organica (Danovaro, 2013). In questo caso, i flussi di ossigeno nel sedimento sono intensificati e si osservano maggiori abbondanze di organismi bentonici e più alti tassi di respirazione microbica (Danovaro, 2013). Inoltre, è stato accertato che gli eventi di discesa delle acque dense dalla superficie verso il fondo ovvero il “*dense shelf water cascading*”, influenzano in maniera diretta il funzionamento degli ecosistemi profondi attraverso il rifornimento di materia organica fresca e altamente nutritiva verso il fondo (Danovaro, 2013).

1.2 I canyon sottomarini nel Mar Mediterraneo

I canyon sottomarini sono stati ampiamente ignorati fino agli anni '70, dopodiché l'interesse per gli stessi, oltre che per le relative strutture del fondo marino, è stato guidato anche da ragioni economiche. Questo discorso è valido in particolar modo nel Mar Mediterraneo, dove i canyon supportano la pesca, attività di grande interesse economico (Bianchelli et al., 2019). In questo mare si stima la presenza di circa 500 canyon che sono tipicamente diversi da qualsiasi altra regione marina del Pianeta; infatti questi sono:

- più ravvicinati (14,9 km vs 33,0 km della media mondiale globale)
- più dendritici (12,9 vs 4,8 braccia per 100.000 km²)
- più brevi (lunghezza media di 26,5 km vs 43,4 km)

- più ripidi (pendenza media di 6,5 ° vs 5,1 °)
- più piccoli in profondità (profondità media: 1613 m vs 1992 m)

I canyon del Mediterraneo sono inoltre caratterizzati da un'elevata eterogeneità spaziale e da complessi sistemi idrografici, possono agire come condotti per larve, materia organica e sedimenti dalla piattaforma al mar profondo, favorendo l'abbondanza e la diversità faunistica. In alcuni canyon aumenta la produttività primaria locale, influenzando la catena alimentare fino ad uccelli e mammiferi; mentre le correnti discendenti, potenziando i flussi di particelle verso il mare profondo, rendono i canyon habitat favorevoli per diverse specie (Fanelli et al., 2018).

Il Mar Mediterraneo è uno dei bacini marini del mondo con le più alte concentrazioni di canyon di acque profonde: dai canyon di Polcevera e Bisagno lungo il margine ligure (Mar Mediterraneo nord-occidentale) ai canyon di Gioia e Petrace nel Golfo di Gioia (Mar Ionio), ai canyon di Tremestieri e Messina nello Stretto di Messina, o al Canyon Dohrn nel Golfo di Napoli (Mar Tirreno), tra cui anche il Bari Canyon (Mare Adriatico meridionale) e il Canyon Cap de Creus (Golfo del Leone) (Figura 1.2). Dal momento che il Mar Mediterraneo rappresenta un hotspot di biodiversità, che ospita circa il 7,5% di tutte le specie marine negli oceani della Terra (Bianchelli et al., 2019), è di necessaria importanza lo studio approfondito anche dei canyon che ospita e della biodiversità ad essi associata.

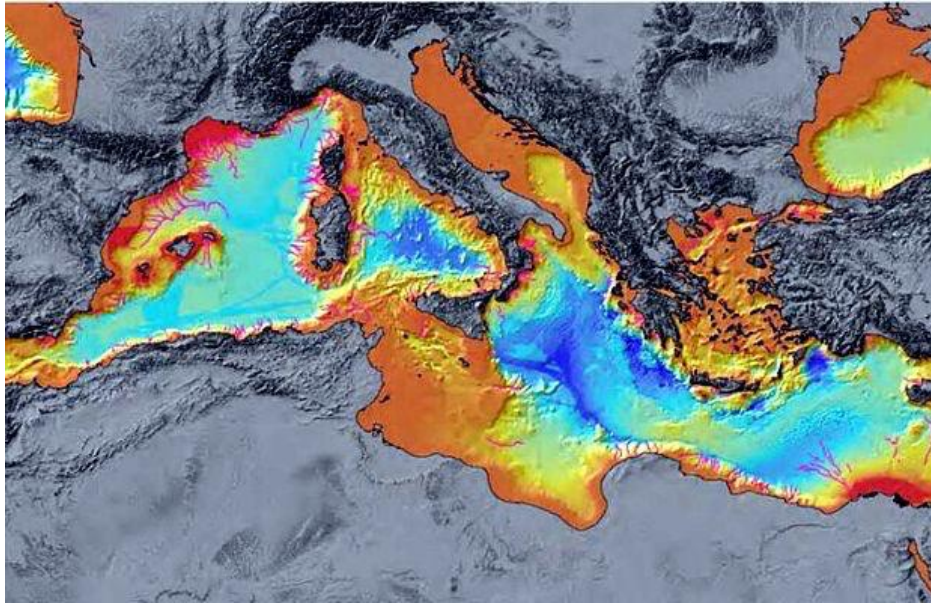


Figura 1.2. I canyon nel Mar Mediterraneo.

Nel Mar Mediterraneo le teste di alcuni canyon sottomarini mediterranei interagiscono direttamente con la circolazione costiera e i sistemi di trasporto di energia e materia (acqua, sedimenti ed organismi). Il ruolo dei canyon come condotti preferenziali che collegano le zone costiere poco profonde e l'ambiente profondo è della massima importanza per il funzionamento e lo stato degli habitat marini. Anche in Mediterraneo, i canyon sottomarini svolgono un ruolo importante nella strutturazione degli assemblaggi bentonici di acque profonde (Bianchelli et al., 2019). Comunità bentoniche uniche sono spesso associate a questi habitat, in particolare l'interno delle teste dei canyon, è caratterizzato da ripide esposizioni rocciose sulle quali è possibile trovare comunità altamente diversificate, come quelle dominate dai coralli di acqua fredda (Bianchelli et al., 2019).

L'accumulo di materia organica, causato dalle caratteristiche fisiche e geologiche di alcuni canyon sottomarini, può promuovere una maggiore abbondanza, biomassa e diversità di organismi rispetto all'adiacente scarpata continentale (Canals et al., 2019). Dunque, sono proprio le peculiari caratteristiche topografiche e idrodinamiche dei canyon di acque profonde che contribuiscono a creare habitat bentonici peculiari, che supportano alti tassi di consumo di ossigeno, alti valori di biomassa faunistica bentonica e diversità. Inoltre, questi sistemi mostrano un alto livello di endemismi, probabilmente collegati a condizioni che favoriscono la speciazione (Bianchelli et al., 2019).

È da sottolineare che una recente indagine condotta lungo il Mar Mediterraneo ha evidenziato che non tutti i canyon sottomarini sono attivi trasportatori di materiale al bacino adiacente profondo né sono caratterizzati da differenze significative nel contenuto di materia organica sedimentaria e nella composizione biochimica rispetto alle scarpate adiacenti a profondità simili (Lopez-Fernandez et al., 2013). Inoltre, la composizione chimica delle particelle organiche cambia durante l'affondamento a causa del consumo di organismi eterotrofi. È stato infatti stimato che circa il 10% della produzione primaria cade a una profondità di 400 m, mentre solo l'1% circa raggiunge i 5000 m (Lopez-Fernandez et al., 2013).

1.3 La biodiversità nei canyon sottomarini profondi

La diversità è un attributo di ogni sistema vivente, a qualsiasi livello di organizzazione, dalle molecole agli ecosistemi. Lo studio della biodiversità è importante sia per il suo significato intrinseco, in quanto l'uomo è parte integrante dell'ambiente, sia perché sostiene il funzionamento degli ecosistemi, sia perché fornisce benefici economici diretti ed indiretti, benefici estetici e ricreativi. Il concetto di hotspot di biodiversità è inteso ad indicare un'area di eccezionale ricchezza biotica rispetto alle zone circostanti di relativamente bassa diversità. Il Mar Mediterraneo, nonostante occupi lo 0.82% della superficie mondiale oceanica, è ritenuto proprio un hotspot di biodiversità. La ricchezza di specie rappresenta il 7.5% di tutte le specie marine descritte: il 67% delle specie del Mediterraneo sono state trovate nel Mediterraneo occidentale, il 38% nel Mar Adriatico, il 35% nel Mediterraneo centrale, il 44% nel Mar Egeo e il 28% nel Mar Levantino (Danovaro, 2013). Dunque, il Mar Mediterraneo è un'area di grande interesse biogeografico; infatti, è la più vasta zona marina temperata del pianeta. La sua flora e fauna marina sono concentrate nella parte centrale ed occidentale del bacino (Danovaro, 2013).

La diversità degli habitat all'interno dei canyon risulta spesso elevata se confrontata con quella delle scarpate continentali adiacenti. La diversità delle specie e la loro abbondanza differiscono da canyon a canyon e sembrano essere in relazione al flusso di particelle, alla topografia e alle caratteristiche idro geografiche di ogni singolo canyon. Le specie comprendono filtratori come coralli, spugne, idroidi, pennatulacei, sabellidi, oloturie e anemoni (Danovaro, 2013). I canyon ospitano anche numerose

specie di decapodi, crostacei micro-nectonici, zooplancton gelatinoso, comunità ittiche (Danovaro, 2013). I canyon sottomarini possono ospitare numerose specie bentoniche, tra cui numerose specie di oloturie non ancora descritte, e molte importanti specie commensali come aragoste, granchi, gamberi, naselli, platesse (Danovaro, 2013). L'attività produttiva dei canyon li rende importanti zone di alimentazione per molte specie pelagiche, e alcuni canyon sono ben conosciuti anche per l'alta varietà di cetacei che vengono ad alimentarsi in questi ambienti (Danovaro, 2013). Esiste anche un evidente zonazione che diversifica testa, parte mediana e parte terminale profonda del canyon (Danovaro, 2013). Chiaramente vicino alla testa del canyon la fauna è più diversificata e possono dominare le specie pelagiche e banchi di corallo bianco. Inoltre, nei canyon sono presenti individui di specie endemiche, la cui abbondanza aumenta progressivamente all'aumentare del flusso totale di materia organica all'interno dei canyon (Danovaro, 2013). Una delle più importanti componenti della biodiversità dei canyon è costituita dalla presenza di stadi bentonici di organismi planctonici, si tratta di cisti e stadi di resistenza di diversi morfotipi che si depositano sul fondo in concentrazioni molto alte (Danovaro, 2013). È chiaro dunque, che i canyon sottomarini hanno un effetto importante sull'intera catena trofica dell'ecosistema marino, dal fitoplancton ai mammiferi marini (Danovaro, 2013).

Sebbene le informazioni sulla biologia della fauna dei canyon sottomarini siano ancora scarse, sono le caratteristiche morfologiche ed oceanografiche dei canyon stessi ad essere considerate i principali fattori influenzanti le caratteristiche della

fauna stessa. Ad esempio, gli organismi che sfruttano l'alimentazione a sospensione possono trarre vantaggio dalle correnti accelerate e dall'esposizione di substrato duro in un sistema altrimenti di sedimenti; gli organismi planctivori demersali possono sfruttare densi strati di krill e zooplancton che si concentrano nei canyon durante le migrazioni verticali verso il basso; gli organismi detritivori sfruttano il fatto che l'accumulo di cibo può essere potenziato da alti tassi di sedimentazione e accumulo di detriti macrofitici (Danovaro et al., 2010). A causa delle loro caratteristiche, la biodiversità degli assemblaggi faunistici può essere notevolmente diversa da quella sui pendii aperti adiacenti, si parla quindi del cosiddetto "effetto canyon"; infatti, la loro biomassa e abbondanza possono essere da 2 a 15 volte superiori a quelle delle aree circostanti a profondità simili (Danovaro et al., 2010). Anche la composizione delle specie all'interno dei canyon è diversa da quella che si trova sui pendii circostanti (Danovaro et al., 2010).

Per quanto riguarda la componente della meiofauna, gli assemblaggi nei canyon mostrano generalmente una minore diversità per le componenti meiofaunali a causa dell'elevata dominanza di alcuni taxa e della minore uniformità (Danovaro et al., 2010). D'altra parte, alcuni canyon possono contenere una maggiore diversità di megafauna rispetto ai pendii e possono essere considerati hotspot di diversità in quanto possono mostrare alti tassi di endemismo (Danovaro et al., 2010). Ciò può essere particolarmente importante nelle aree oligotrofiche, che devono disporre di meccanismi per il riciclaggio efficiente dell'energia su scale diverse (Danovaro et al., 2010). Pertanto, alcuni canyon sono caratterizzati come aree di elevata diversità e

produzione, e come tali possono svolgere un ruolo importante nei processi legati al trasferimento di materia ed energia nel Mar Mediterraneo (Danovaro et al., 2010).

1.4 La meiofauna nei canyon sottomarini profondi

La taglia degli organismi bentonici può variare da quella di microscopici virus con dimensioni inferiori a un decimo di micron fino ad arrivare a taglie di alcuni metri. Nelle classificazioni classiche il microbenthos viene considerato principalmente per lo studio della componente fotoautotrofa, mentre la componente animale viene inclusa nella meiofauna, anche detta meiobenthos (Danovaro, 2013). Il termine meiobenthos fu introdotto nel 1942 per indicare organismi di taglia intermedia rispetto ai più piccoli organismi appartenenti al microbenthos e ai più grandi organismi del macrobenthos. Si sottolinea che mentre il termine meiobenthos include sia la componente animale che vegetale, con il termine meiofauna ci si riferisce soltanto agli organismi animali (Danovaro, 2013). Dal punto di vista dimensionale la meiofauna è costituita da tutti gli animali con dimensioni comprese tra i 20-30 μm e 0.5-1mm, invece dal punto di vista funzionale la meiofauna può essere definita come l'insieme di metazoi bentonici di piccole dimensioni, caratterizzati da biomasse comprese tra 0.01 e 50 μg ed aventi una storia evolutiva e delle caratteristiche alimentari che li individuano come un'unità ben distinta dai più grandi organismi appartenenti alla macrofauna (Danovaro, 2013). I taxa meiobentonici che includono sia interstiziali che infossanti (nematodi, copepodi, turbellari) mostrano grosse

differenze morfologiche tra specie fangose e sabulicole. Infatti, mentre le forme sabulicole tendono ad essere più sottili ed allungate per potersi muovere negli spazi compresi tra i granelli di sedimento, le forme fangose non sono ristrette ad una particolare morfologia e sono generalmente di maggiori dimensioni (Danovaro, 2013).

È possibile distinguere:

- una meiofauna permanente, costituita da individui pluricellulari che rimangono nella taglia della meiofauna per tutta la vita
- una meiofauna temporanea, costituita da individui che passano solo una parte della loro vita nella categoria dimensionale della meiofauna e poi, una volta divenuti adulti possono arrivare alla taglia della megafauna.

La meiofauna rappresenta il gruppo più abbondante di metazoi del benthos marino, con una densità mediamente compresa tra 10^5 e 10^6 individui per m^2 ed una biomassa di 1-2g DW (dry weight) in acque costiere al di sotto dei 100 m di profondità (Danovaro, 2013). Tali valori di abbondanza e biomassa variano in funzione della stagione, della latitudine, della profondità, delle maree e della granulometria del sedimento. I valori più elevati di abbondanza e biomassa meiobentonica sono stati riscontrati nelle aree fangose di estuario, mentre i valori più bassi sono generalmente riscontrati nei sedimenti di ambienti profondi. La distribuzione verticale dei taxa meiobentonici all'interno dei sedimenti marini è generalmente limitata dalla profondità di penetrazione di ossigeno nel sedimento. Infatti, la maggior parte delle specie meiobentoniche sono generalmente riscontrate nei primi 2 cm di sedimento

che, tipicamente, mostrano condizioni di ossigenazione con potenziale redox maggiore di +400mV (Danovaro, 2013). Invece, quando il potenziale redox scende al di sotto di +200 mV, l'abbondanza degli organismi decresce rapidamente. Si sottolinea che i copepodi sono uno dei taxa più sensibili alla diminuzione di ossigeno e sono quindi confinati nello strato ossigenato dei sedimenti, anche se una parte della meiofauna sembra tollerare condizioni ipossiche o addirittura anossiche, penetrando al di sotto dello strato ridotto (Danovaro, 2013).

Gli organismi della meiofauna hanno un ricorrente ciclo riproduttivo annuale, tuttavia, ci sono anche specie meiobentoniche con cicli riproduttivi della durata di oltre tre anni e in alcuni casi possono anche andare incontro a fenomeni di inattività temporanea (cisti) (Danovaro, 2013). Inoltre, molte specie sono caratterizzate da periodi di reclutamento sfasati rispetto ad altre, per risentire meno della competizione (Danovaro, 2013).

I nematodi sono il taxon numericamente dominante nella maggior parte dei popolamenti meiobentonici in ogni ambiente marino, costituendo fino ad oltre il 90% del totale in termini di abbondanza. I copepodi sono generalmente il secondo gruppo per abbondanza, seguiti da policheti, turbellari e gastrotrichi (Danovaro, 2013).

La meiofauna negli ultimi anni ha acquisito un ruolo importante come potenziale indicatore collettivo di alterazione del funzionamento dell'ecosistema marino (Danovaro, 2013). Le caratteristiche trofiche dei vari taxa all'interno di una stessa famiglia sono in genere conservative e quindi, dal punto di vista tassonomico, la suddivisione all'interno di generi o di famiglie sembra essere sufficiente per

analizzare la risposta del meiobenthos ai cambiamenti ambientali (Danovaro, 2013). Grazie alla forte sensibilità alle perturbazioni ambientali, all'elevato numero di individui, alla mancanza di forme larvali planctoniche ed al breve ciclo vitale, la meiofauna è divenuta un utile oggetto di studio per valutare i processi di disturbo e di ricolonizzazione dell'ambiente marino. Inoltre, la meiofauna può essere utilizzata per studiare la risposta bentonica a flussi di materiale della colonna d'acqua (Danovaro, 2013).

Nelle acque profonde i canyon sono delle strutture molto importanti per il trasporto di carbonio organico all'interno dell'oceano e quindi dei corridoi veloci per il materiale che viene trasportato rapidamente dalla terra al mare profondo (Danovaro et al., 2009). Sono proprio le peculiari caratteristiche topografiche e idrodinamiche dei canyon a creare degli habitat bentonici unici, tanto che i canyon sottomarini vengono considerati degli hotspot di biodiversità, anche per la meiofauna (Danovaro et al., 2009). La meiofauna è la componente di metazoi dominante del benthos delle acque profonde, anche nei canyon profondi (Danovaro et al., 2009). I nematodi (Figura 1.3) rappresentano generalmente più del 90% dell'abbondanza della meiofauna nelle profondità marine e sono caratterizzati da un'elevata ricchezza di specie e da tipi di alimentazione e strategie vitali ampiamente riconoscibili. È per questo motivo che i nematodi sono stati utilizzati come modello per testare che una perdita di biodiversità della fauna di acque profonde è associata a una diminuzione esponenziale del funzionamento dell'ecosistema (Pusceddu et al., 2014).



Fig. 1.3. Un nematode appartenente alla meiofauna.

Un'analisi comparativa dei nematodi a profondità simili in quattro canyon di acque profonde e su scarpate adiacenti nel Mediterraneo occidentale e centrale ha suggerito che la ricchezza di specie cambiava in modo significativo con l'aumento della profondità dell'acqua solo in circa la metà dei sistemi studiati (Danovaro et al., 2010). Sono stati osservati andamenti sia crescenti che decrescenti nella ricchezza di taxa, a seconda del canyon (Danovaro et al., 2010). Inoltre, studi pregressi hanno indicato che la quantità e la qualità della materia organica spiegava una parte importante della varianza della diversità, ma anche la temperatura e le condizioni fisico-chimiche hanno svolto un ruolo importante nel determinare i risultati osservati (Danovaro et al., 2010). Inoltre, l'analisi della biodiversità dei nematodi ha rivelato la presenza di differenze significative nella composizione delle specie a diverse profondità in tutti i sistemi studiati, indicando che, indipendentemente dalle differenze significative nella ricchezza delle specie e nel contenuto di materia organica, le differenze batimetriche

erano sempre associate a cambiamenti significativi nella composizione delle specie (Danovaro et al., 2010). Nel complesso, la biodiversità dei nematodi non era significativamente diversa quando sono stati confrontati canyon e scarpate adiacenti. Solo a 500 m di profondità nel Mar Mediterraneo centrale (canyon di Bari, nel Mar Adriatico meridionale) la diversità dei nematodi era significativamente inferiore nei canyon rispetto alle scarpate, forse in risposta a particolari condizioni idrodinamiche che limitano la colonizzazione delle specie. Tuttavia, le caratteristiche topografiche potrebbero anche contribuire alle differenze osservate; ad esempio, a 500 m di profondità nel Mar Mediterraneo centrale (margine dell'Adriatico meridionale), la minore ricchezza di specie di nematodi nei canyon potrebbe essere correlata alla presenza di substrati duri (Danovaro et al., 2010).

2. OBIETTIVI

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di analizzare le comunità della meiofauna, nei tre canyon profondi Squillace, Crotone e Tricase, localizzati nel Mar Ionio. L'analisi è stata incentrata sullo studio dell'abbondanza e della diversità, in termini di ricchezza di taxa e composizione tassonomica, della meiofauna, lungo un gradiente batimetrico nei 3 canyon. Questo studio è stato condotto nell'ambito del progetto RITMARE, uno dei Progetti Bandiera del Programma Nazionale della Ricerca finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca. I campioni sono stati raccolti nell'ambito della campagna oceanografica denominata "Risd-16".

3. MATERIALI E METODI

3.1 Area di studio

I campioni analizzati sono stati recuperati nei canyon localizzati nella zona del Mar Ionio, nel Mediterraneo orientale (Figura 3.1). Si tratta dei canyon profondi di Crotona e di Squillace in Calabria, e di Tricase in Puglia. Il perché della scelta di questa zona di campionamento deriva dal fatto che il Mar Ionio rappresenta il bacino più profondo del Mediterraneo: infatti, raggiunge una profondità di 4000 m in più punti, e tocca i 5'270 m nell'abisso Calipso, a sud ovest del Peloponneso; inoltre, il Mar Ionio si estende su una superficie di circa 616'000 km² dalle coste della Libia e della Tunisia fino all'Albania, Grecia e all'Italia meridionale. In questo mare si affacciano le regioni italiane di Puglia, Basilicata, Calabria e Sicilia con numerose insenature come quelle di Taranto, di Squillace, di Catania; infatti è una zona caratterizzata da molti sprofondamenti per via della batimetria della zona.

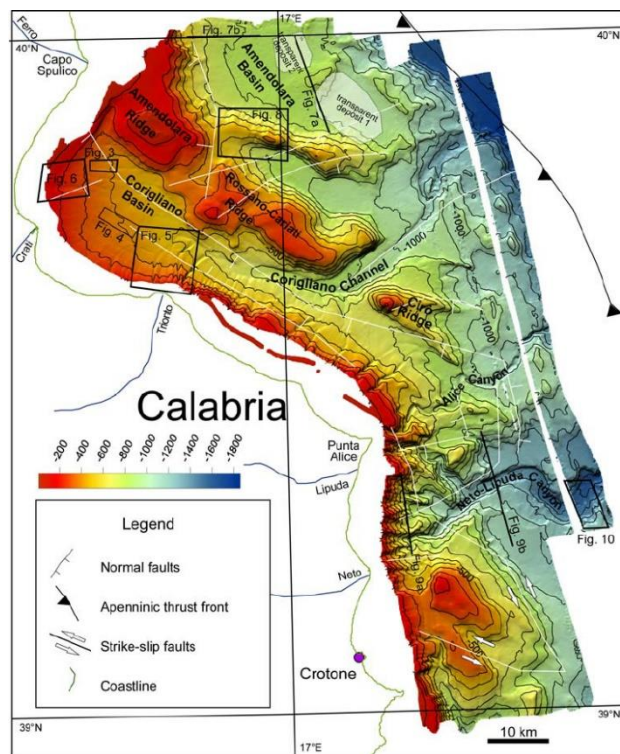
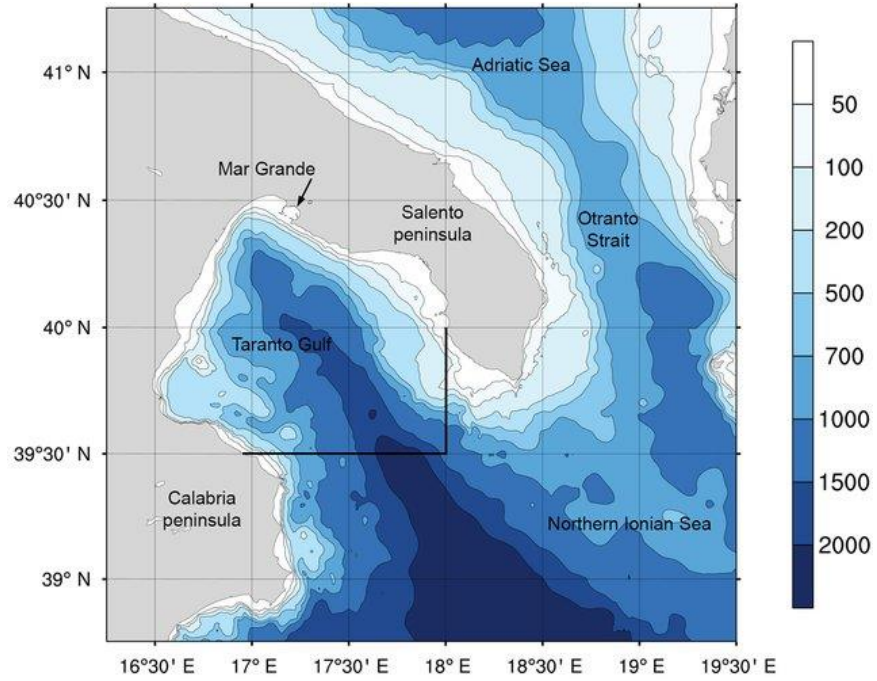


Figura 3.1. Batimetria del Mar Ionio e del margine Calabrese.

3.2 Strategia e metodo di campionamento

I campioni di sedimento sono stati raccolti mediante l'utilizzo di "Box-corer" e "Multi corer". Il box corer (Figura 3.2) è uno strumento di campionamento per sedimenti oceanici incoerenti. Viene calato da una nave da ricerca con un filo e adatto a qualsiasi profondità d'acqua. È progettato per minimizzare il disturbo della superficie del sedimento, importante per indagini quantitative della micro-macrofauna bentonica, processi geochimici, campionamento di acque di fondo o sedimentologia. Il campione recuperato è completamente racchiuso dopo il campionamento, riducendo la perdita di materiali più fini durante il recupero.



Figura 3.2. Box Corer.

Il Multiple Corer (Figura 3.3) è universalmente riconosciuto come modo per raccogliere campioni di sedimenti indisturbati dal fondo del mare con la sua capacità di raccogliere fino a 12 campioni di alta qualità simultaneamente, inclusa l'interfaccia sedimento-acqua e la fauna bentonica.



Figura 3.3. Multiple Corer.

Il campionamento è stato effettuato dal 7 all'11 Maggio 2016, durante la campagna-RISD16, condotta nell'ambito del progetto RITMARE. Dagli strumenti utilizzati, i campioni di meiofauna venivano raccolti mediante carotatore manuale in plexiglass. Presso ciascuna stazione sono stati raccolti 3 repliche per ciascuna variabile. Da ciascun carotatore venivano prelevati 0-1 cm, 1-3 cm, 3-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm di sedimento. I campioni recuperati sono stati conservati in barattoli di plastica, mantenuti in congelatore a -20°C , fino al momento dell'estrazione e dell'analisi. Una volta prelevati i barattoli di plastica dal congelatore, i campioni sono stati estratti per l'analisi della meiofauna. i campioni prelevati da 0-1 cm e 1-3 cm di sedimento sono oggetto di questa tesi.

3.3 Analisi in laboratorio

Tutte le analisi sono state condotte seguendo i protocolli riportati in Danovaro (2010). La meiofauna è stata estratta mediante centrifugazione in gradiente di densità, in una soluzione di Ludox (Heip et al., 1985). Inizialmente i campioni sono stati sottoposti al trattamento con ultrasuoni e di filtrazione su maglia da 500 μm . Il materiale che passava veniva raccolto su un filtro di maglia 20 μm e trasferito in una provetta da 50 ml. Il materiale così raccolto veniva risospeso con il Ludox (rapporto sedimento: Ludox pari a 1:3; densità del Ludox=1.31 g cm^{-3}) e sottoposto a centrifugazione per 10 minuti a 3000 rpm. Tale operazione è stata ripetuta tre volte per ciascun campione per ottenere un'efficienza di estrazione superiore al 90%. Al termine di ogni centrifugazione il sovrantante veniva raccolto su un filtro da 20 μm e, dopo essere stato sciacquato con acqua per eliminare i residui di Ludox, è stato messo in una provetta con formalina al 4% e alcune gocce di Rosa Bengala. Al termine delle fasi di estrazione, il sedimento residuo è stato controllato per verificare l'assenza di organismi della meiofauna. I campioni di meiofauna sono stati fissati con formalina (soluzione al 4% in acqua di mare filtrata con un filtro di 20 μm) e colorati con alcune gocce di Rosa Bengala (0,5 g l^{-1}).

Dopodiché è stato effettuato il conteggio ed il riconoscimento degli organismi al livello tassonomico elevato (taxa superiori), effettuato al microscopio stereoscopico, dopo aver posto il campione in una cuvetta di Defluss. Questo tipo di cuvetta è suddivisa internamente in 200 "cellette" (5 x 5 mm) in modo da facilitare il conteggio. Sono stati utilizzati ingrandimenti di 25-32-40X ma in alcuni casi, ad esempio in

presenza di organismi non facilmente identificabili a basso ingrandimento, è stato necessario montarli su un vetrino per poterli osservare al microscopio ottico ad ingrandimento fino a 400X.

3.4 Analisi statistiche

Le variazioni spazio-temporali delle variabili oggetto di studio sono state analizzate mediante analisi della varianza permutazionale (PERMANOVA), sia nel contesto uni-variato sia in quello multi-variato. Nello specifico il disegno sperimentale ha previsto due fattori fissi di variazione: canyon e profondità, rispettivamente con $n=3$ e $n=$ diversi a seconda del canyon. Prima dell'analisi i dati, è stata preparata una matrice triangolare di similarità di Bray-Curtis, su dati non trasformati. Le analisi sono state condotte sia sulla comunità intera, sia escludendo nematodi e copepodi, che in ambiente profondo generalmente rappresentano i taxa maggioritari e che quindi mascherano le differenze tra diverse comunità. Successivamente, per individuare i *pattern* di variabilità tra canyon a profondità simile e lungo ciascun canyon a diverse profondità, sono stati effettuati dei test *pair wise* a posteriori. Per visualizzare in ambiente bidimensionale le differenze multivariate tra periodi e/o stazioni sono state infine effettuate delle analisi delle coordinate principali (CAP). Per ordinare i dati relativi alla composizione delle comunità meiobentoniche è stata utilizzata una analisi non parametrica di *Multi dimensional Scaling* (nMDS).

Al fine di quantificare la dissimilarità percentuale (turnover) nella composizione tassonomica tra profondità lungo ciascun canyon e tra canyon a profondità simile, sono stati effettuati anche test SIMPER.

Analisi di regressione multipla multivariata (DISTLM forward) sono state effettuate per testare se parametri ambientali e carichi organici al fondo (ricavati dalla letteratura scientifica, Barone et al, 2018) spiegassero in modo significativo le variazioni della abbondanza e composizione tassonomica meiofauna. Le analisi PERMANOVA, i test a posteriori, le analisi CAP, nMDS e DISTLM forward sono state effettuate mediante le omonime *routine* incluse nel software PRIMER 6+.

4. RISULTATI

4.1 Abbondanza della meiofauna

L'abbondanza totale della meiofauna nei tre canyon analizzati è riportata in Figura 4.1 (dati in Allegato 1). I valori osservati sono compresi tra 35.3 ± 4.5 e 820.9 ± 51.0 ind. 10cm^{-2} , nel canyon Squillace a 700 m e Tricase a 200 m di profondità, rispettivamente (Figura 4.1).

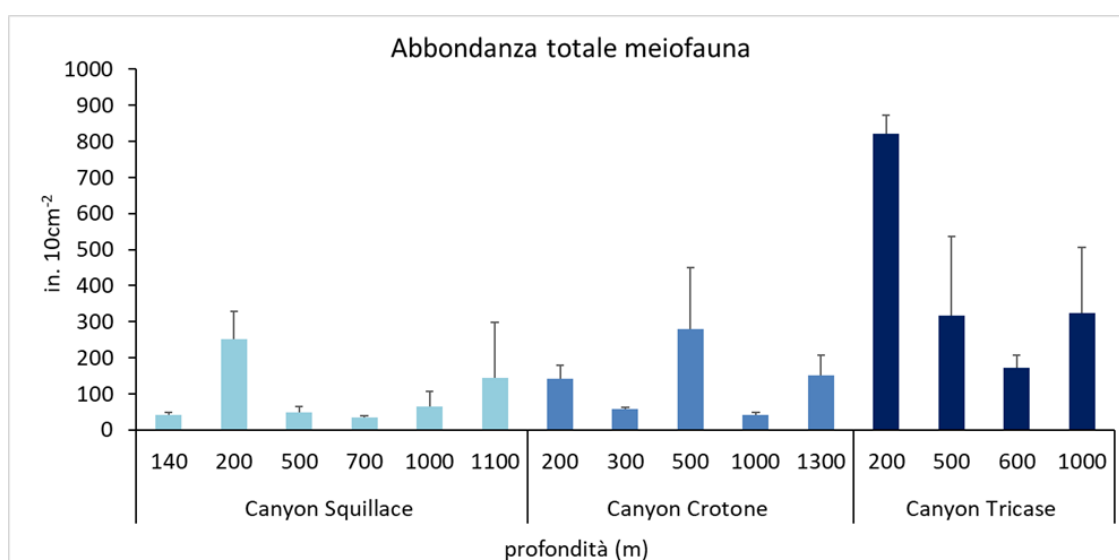


Figura 4.1. Abbondanza totale della meiofauna nei canyon di Squillace, Crotona e Tricase.

Le analisi PERMANOVA (Tabella 4.1) hanno evidenziato un effetto significativo dei fattori Canyon, Profondità e Canyon x Profondità.

I test pair wise (Allegato 2) hanno evidenziato differenze significative nell'abbondanza totale lungo ciascun canyon, con un picco massimo a 200 m nei canyon di Squillace e Tricase e con valori superiori a 200 m rispetto a 300 e 1000 m nel canyon di Crotona. Gli stessi test, condotti confrontando i diversi canyon alla

stessa profondità, hanno evidenziato differenze significative solo a 200 m, con valori significativamente superiori nel canyon di Tricase, rispetto a quelli di Squillace e Crotone.

Tabella 4.1. Output dell'analisi PERMANOVA condotta sull'abbondanza totale della meiofauna.

Source	df	MS	F	p
Canyon	2	369870.0	36.9	0.001
Profondità	8	75807.0	7.6	0.001
Canyon x Profondità	4	83574.0	8.3	0.001
Residui	30	10011.0		

4.2 Ricchezza di taxa della meiofauna

La ricchezza di taxa della meiofauna nei tre canyon analizzati è riportata in Figura 4.2 (dati in Allegato 1). I valori osservati sono compresi tra 4 e 11 taxa. I valori minimi sono stati osservati nel canyon Squillace a 700 m, e Crotone a 300 e 1000 m, mentre il valore massimo è stato osservato a Tricase a 200 m di profondità, rispettivamente (Figura 4.1).

Nel canyon Squillace, valori minimi sono stati osservati a 140, 500 e 700 m mentre valori massimi a 1100, 1000 e 200 m. Nel canyon di Crotone, valori minimi sono stati osservati a 300 e 1000 m, mentre i massimi a 200, 1300 e 500 m. Nel canyon di

Tricase, è stato osservato un andamento decrescente del numero di taxa all'aumentare della profondità. Confrontando i diversi canyon alla stessa profondità, i valori massimi sono stati osservati nel canyon di Tricase a 200 m, in quello di Crotone a 500 m e in quello di Squillace a 1000 m di profondità.

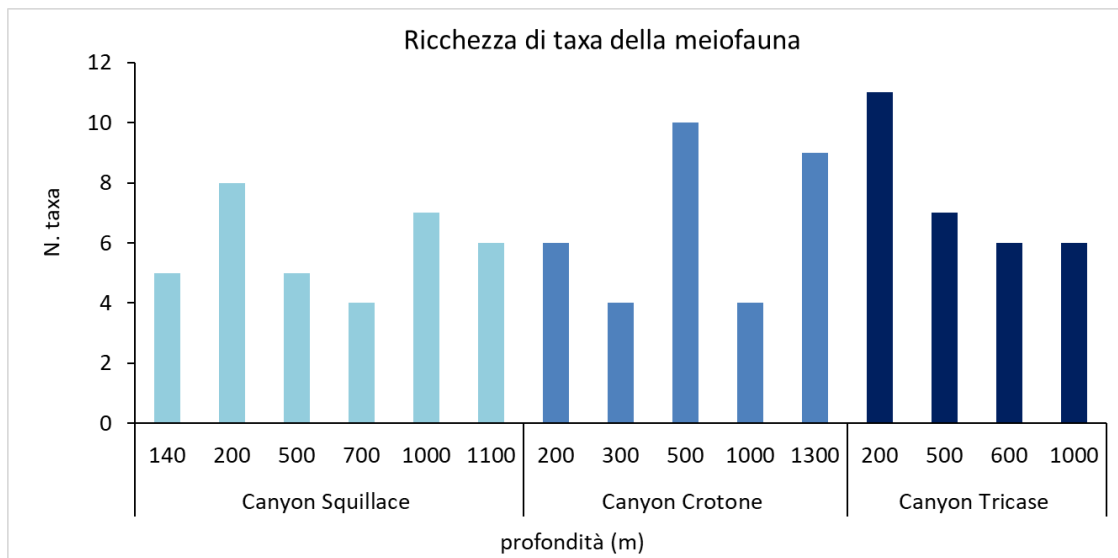


Figura 4.2. Ricchezza dei taxa della meiofauna.

4.3 Struttura di comunità

La struttura di comunità è stata analizzata sia considerando la comunità totale, sia considerando solo i taxa rari (dati in Allegato 3).

La comunità totale della meiofauna (Figura 4.3) era dominata dai nematodi, seguiti dai copepodi, in tutti canyon e a tutte le profondità. Nel canyon di Squillace, in nematodi costituivano dal 62 all'84% a 700 e 500 m, rispettivamente. Nei canyon di

Crotone e Tricase, il contributo % dei nematodi aumentava all'aumentare della profondità, con valori minimi nelle stazioni a 200 m, 46 e 73%, rispettivamente nel canyon di Crotone e Tricase.

Il secondo taxa più abbondante in percentuale era quello dei copepodi che mediamente rappresentavano il 17% circa, e non mostravano differenze consistenti, né con la profondità in ciascun canyon né tra canyon alla stessa profondità.

Gli altri taxa rappresentavano una percentuale minore, mediamente il 6%. Gli altri taxa diminuivano all'aumentare della profondità, dal 19 a 2%, solo nel canyon di Tricase. Gli altri taxa, in %, non mostravano differenze consistenti, né con la profondità a Squillace e Crotone, né tra canyon diversi alla stessa profondità.

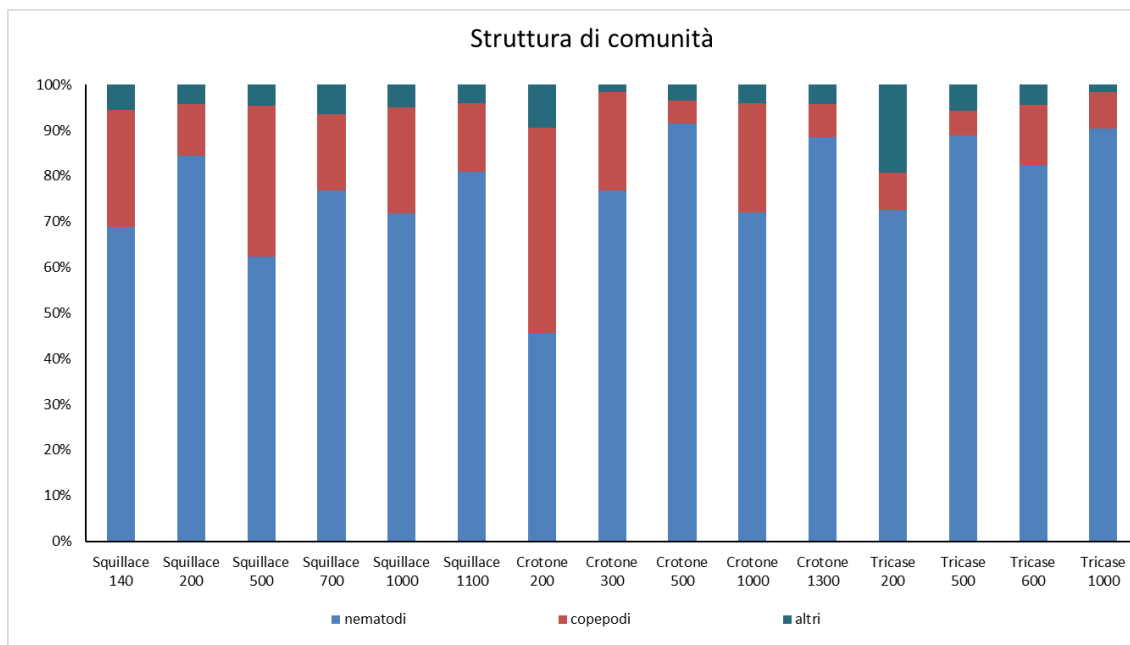


Figura 4.3. Struttura della comunità totale della meiofauna.

Escludendo i taxa principali nematodi e copepodi (Figura 4.4), la struttura di comunità era dominata da taxa diversi o in % diverse, a seconda della profondità in ciascun canyon. Non si sono osservate differenze consistenti, né con la profondità in ciascun canyon né tra canyon alla stessa profondità.

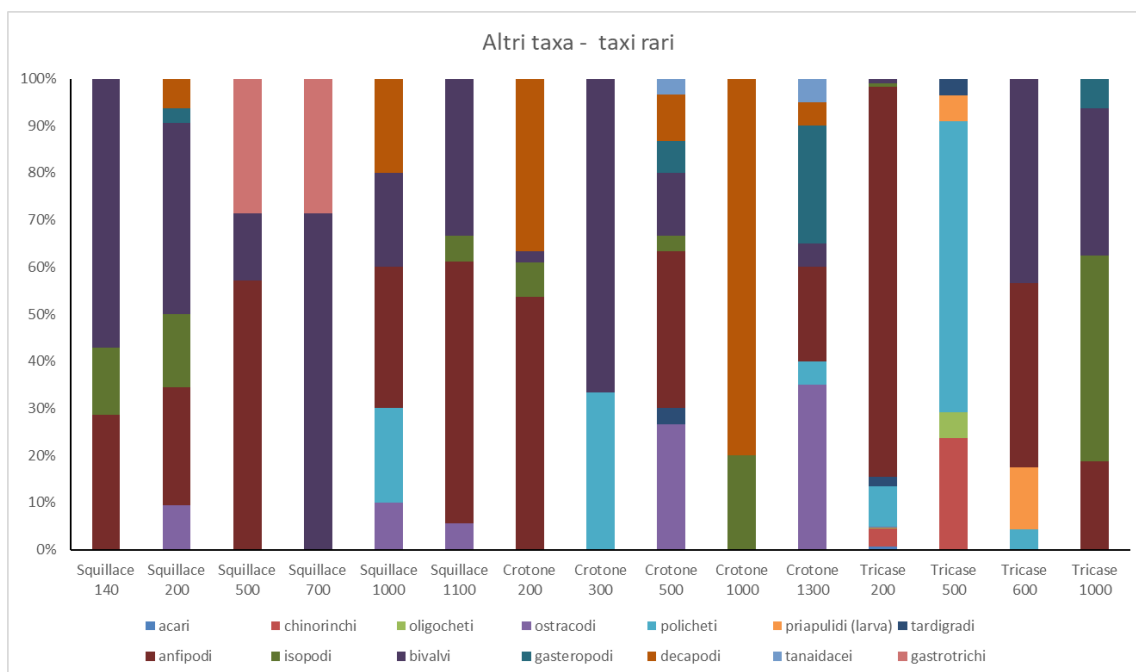


Figura 4.4. Struttura della comunità della meiofauna, escludendo i taxa principali nematodi e copepodi.

4.4 Composizione tassonomica

La struttura di comunità è stata analizzata sia considerando la comunità totale, sia considerando solo i taxa rari. L'analisi PERMANOVA condotta sulla composizione tassonomica della meiofauna totale (Tabella 4.2) ha evidenziato un effetto

significativo dei fattori Canyon, Profondità, Canyon x Profondità. I test pair wise (Allegato 2) hanno mostrato differenze significative nella composizione tassonomica della comunità totale della meiofauna tra quasi tutte le profondità lungo ciascun canyon. Gli stessi test condotti confrontando i diversi canyon alla stessa profondità, hanno evidenziato differenze significative tra i tre canyon a 200 m, tra Crotone, Tricase e Squillace a 500 m e tra Crotone e Tricase a 1000 m.

Tabella 4.1. Output dell'analisi PERMANOVA condotta sulla composizione tassonomica della comunità totale della meiofauna.

Source	df	MS	F	p
Canyon	2	6433.6	11.0	0.001
Profondità	8	2298.7	3.9	0.001
Canyon x Profondità	4	3478.4	5.9	0.002
Residui	30	586.7		

Le analisi CAP (Figura 4.5) ed MDS (Figura 4.6) hanno mostrato la segregazione delle comunità della meiofauna in base alla profondità e al canyon. Le comunità analizzate si segregano in modo più evidente in base ai canyon che rispetto alle profondità.

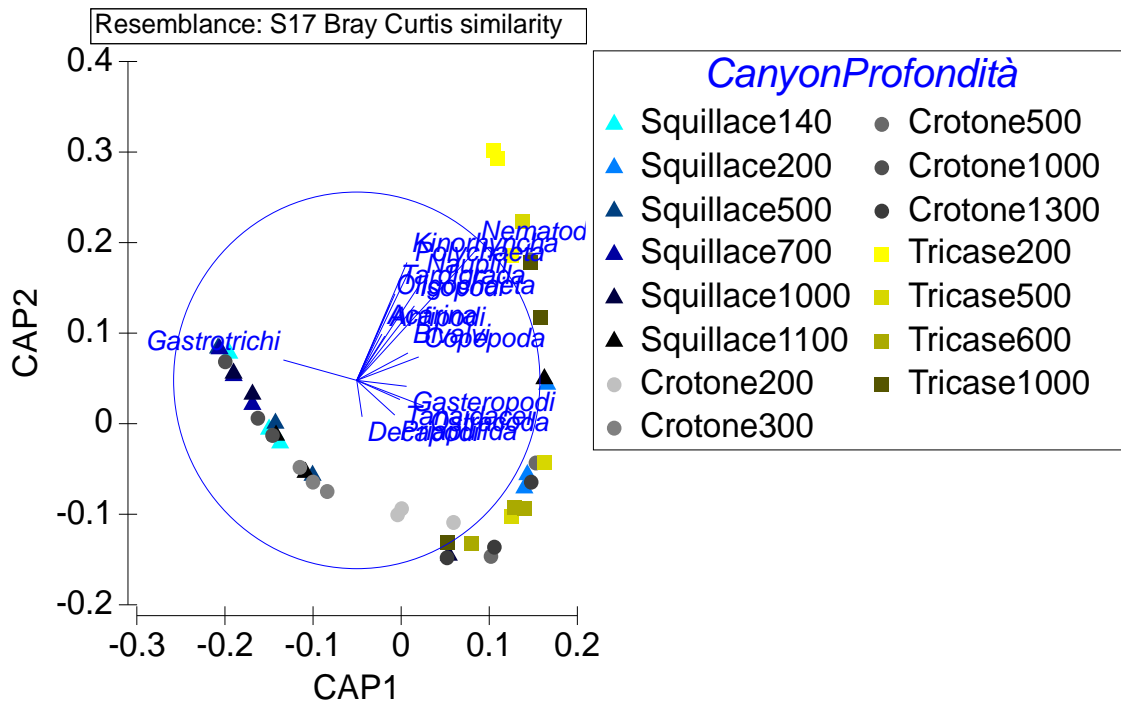


Figura 4.5. CAP analisi condotta sulla composizione tassonomica della comunità totale della meiofauna.

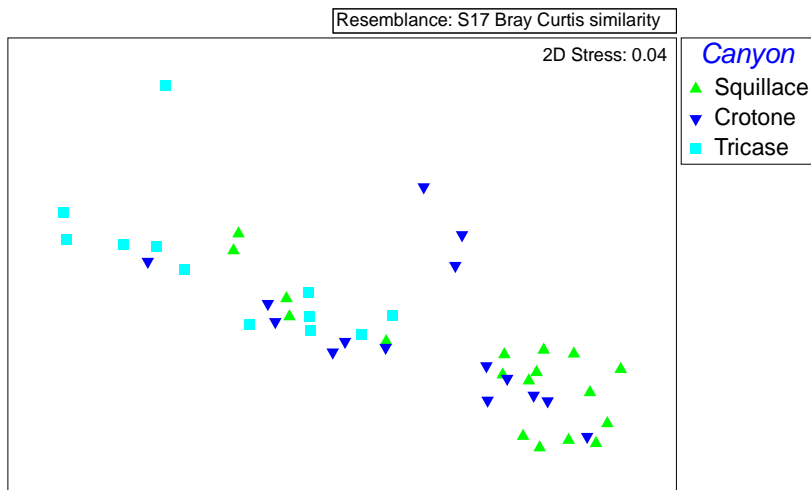


Figura 4.6. MDS analisi condotta sulla composizione tassonomica della comunità totale della meiofauna.

Le analisi SIMPER (Figura 4.7) hanno evidenziato dissimilarità percentuali medie tra le composizioni tassonomiche delle comunità alle diverse profondità pari a 44, 50 e 46%, nei canyon di Squillace, Crotone e Tricase, rispettivamente. Le stesse analisi condotte tra i diversi canyon alla stessa profondità hanno evidenziato dissimilarità percentuali medie pari a 60, 61 e 49% a 200, 500 e 1000 m di profondità, rispettivamente.

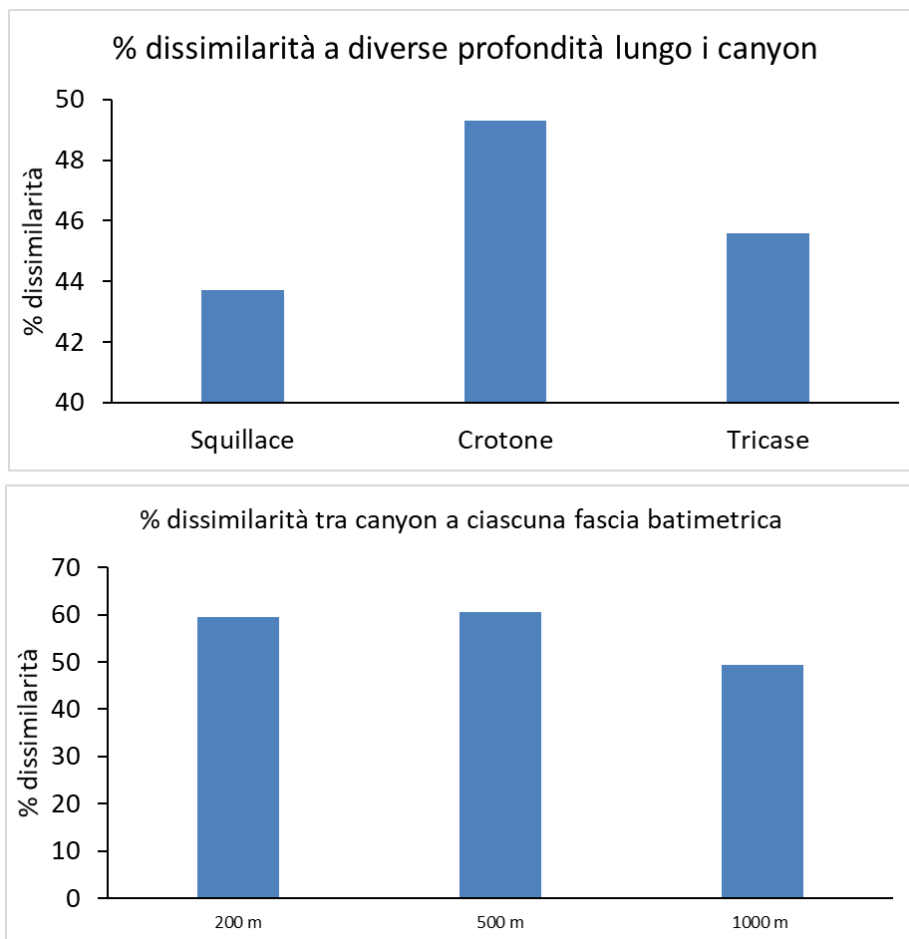


Figura 4.7. Dissimilarità % media osservata tra profondità diverse lungo ciascun canyon e tra canyon a profondità simile.

L'analisi PERMANOVA condotta sulla composizione tassonomica della meiofauna, considerando solo i taxa rari (Tabella 4.4) ha evidenziato un effetto significativo dei fattori Canyon, Profondità, Canyon x Profondità. I test pair wise (Allegato 2) hanno mostrato differenze significative nella composizione tassonomica della comunità totale della meiofauna tra quasi tutte le profondità lungo il canyon di Squillace, tra 300 contro 200 e 500 m in quello di Crotone e tra 500 e 1000 m in quello di Tricase. Gli stessi test condotti confrontando i diversi canyon alla stessa profondità, hanno evidenziato differenze significative tra il canyon di Tricase e gli altri due solo a 500 m di profondità.

Tabella 4.2. Output dell'analisi PERMANOVA condotta sulla composizione tassonomica della comunità considerando esclusivamente i taxa rari.

Source	df	MS	Pseudo-F	p
Canyon	2	8622.8	3.3	0.002
Profondità	8	4591.8	1.8	0.002
Canyon x Profondità	4	4972.8	1.9	0.007
Residui	29	2621.4		

Le analisi CAP (Figura 4.8) ed MDS (Figura 4.9) non hanno mostrato evidenti segregazioni delle comunità della meiofauna, sia in base alla profondità sia in base al canyon.

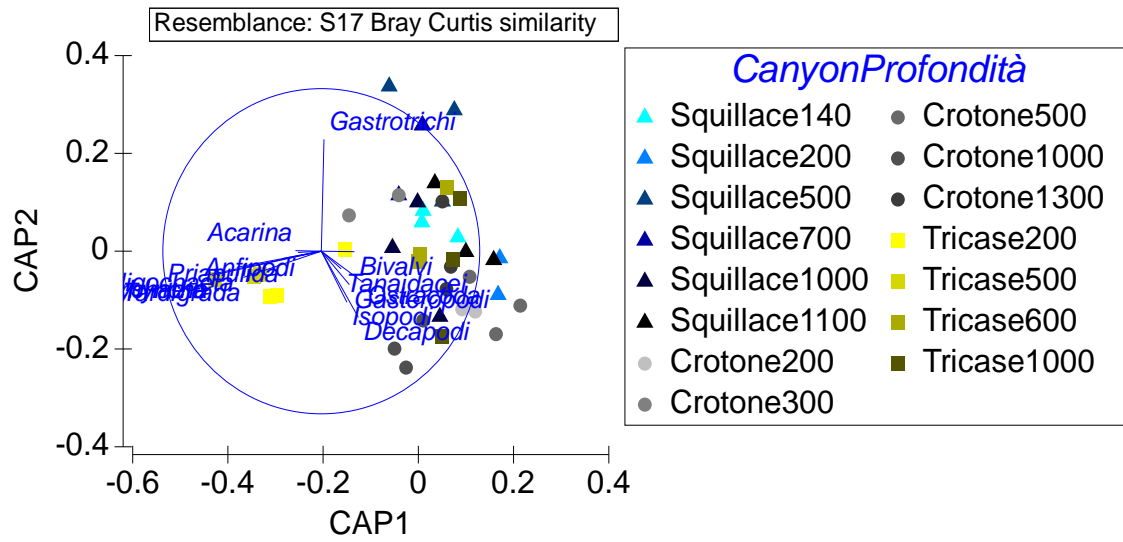


Figura 4.8. CAP analisi condotta sulla composizione tassonomica della comunità considerando esclusivamente i taxa rari della meiofauna.

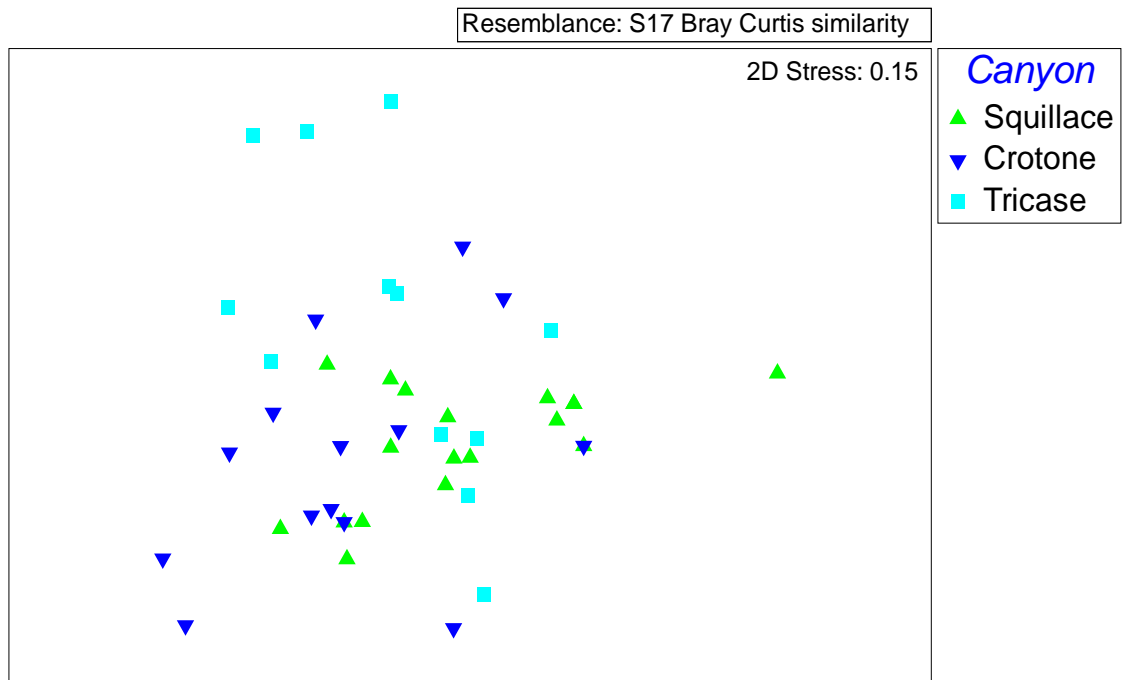


Figura 4.9. MDS analisi condotta sulla composizione tassonomica della comunità considerando esclusivamente i taxa rari della meiofauna.

5. DISCUSSIONE

I margini continentali profondi, che si estendono da 200 a 4000 m di profondità circa, coprono circa il 20% della superficie dell'oceano mondiale, inoltre svolgono un ruolo chiave nei cicli biogeochimici globali e soprattutto sono considerati degli hotspot di diversità delle profondità marine (S. Bianchelli et al., 2010). I canyon sono tra le strutture più spettacolari e complesse dei margini continentali e contribuiscono alla canalizzazione delle masse d'acqua, dei sedimenti e della materia organica, dagli ambienti costieri ai bacini profondi (Bianchelli et al., 2010). Inoltre, l'elevata complessità ed eterogeneità topografica su piccola scala spaziale, li rende adatti ad ospitare elevati livelli di biodiversità (Bianchelli et al., 2010). Studi pregressi hanno dimostrato infatti che l'eterogeneità degli habitat, la profondità e la distribuzione delle risorse trofiche disponibili rappresentano fattori chiave che influenzano la struttura e la biodiversità delle comunità bentoniche delle acque profonde, comprese le comunità della meiofauna (Bianchelli et al., 2010). Anche nei canyon profondi, le comunità della meiofauna sembrano essere influenzate da questi fattori (Bianchelli et al., 2010).

In questo studio sono state analizzate le comunità della meiofauna in tre canyon profondi, del Mar Mediterraneo, precisamente nel Mar Ionio. Infatti, nonostante negli ultimi dieci anni siano aumentati gli studi condotti sui canyon profondi, lavori precedenti hanno sottolineato la necessità di aumentare lo sforzo di analisi di questi ecosistemi, quasi del tutto ignorati fino a qualche decennio fa. L'esigenza di ampliare le nostre conoscenze su questi sistemi nasce dal fatto che essi, ospitando elevati livelli

di biodiversità, forniscono beni e servizi ecosistemici necessari per il benessere umano, anche socio-economico, dal momento che ad esempio promuovono la presenza di stock di specie di interesse commerciale (Company et al., 2008; Pusceddu et al., 2014). Per questo motivo, in questo studio sono stati analizzati i canyon di Squillace, Crotone e Tricase, di cui si hanno pochissime informazioni in letteratura scientifica, utilizzando la meiofauna come proxy di biodiversità bentonica.

I canyon di Crotone e Squillace si trovano vicini alla costa e sono influenzati dagli input fluviali, mentre il canyon di Tricase si trova lontano dalla costa e senza estuari vicini. Studi contestuali al presente studio (Barone et al., 2018) hanno descritto che le condizioni termoaline delle acque di fondo dei sistemi esaminati nel presente studio cambiano con le profondità e tra i canyon analizzati. I valori più bassi di temperatura e salinità sono stati generalmente osservati alla massima profondità (1000 m, Barone et al., 2018). Inoltre, l'analisi della quantità di sostanza organica nei sedimenti ha rivelato differenze tra i canyon indagati, con concentrazioni di proteine e carboidrati significativamente più elevate nei canyon di Crotone e Squillace rispetto al canyon di Tricase (Barone et al., 2018).

Il più alto contenuto di materia organica nei sedimenti dei canyon di Crotone e Squillace è probabilmente dovuto alla loro vicinanza alla costa e alla presenza di input fluviali vicini che amplificano l'entità della materia organica esportata dalla colonna d'acqua e che si deposita sul fondo (Barone et al., 2018).

5.1 Abbondanza della meiofauna nei canyon Squillace, Crotone e Tricase

Per quanto concerne l'abbondanza totale della meiofauna, il disegno sperimentale applicato ha permesso di evidenziare una influenza significativa dei fattori "canyon" (testato confrontando i valori nei tre canyon a profondità confrontabili, cioè 200, 500 e 1000 m) e del fattore "profondità" (testato confrontando i valori a diverse profondità lungo ciascun canyon).

Gli studi scientifici disponibili sulla meiofauna nei canyon profondi, hanno suggerito inoltre che la profondità della colonna d'acqua può rappresentare una importante forzante che guida significativamente l'abbondanza della fauna del benthos (Bianchelli et al., 2010; Bianchelli e Danovaro, 2019). In accordo con gli studi pregressi, anche nel presente studio sono state osservate differenze significative nell'abbondanza della meiofauna all'aumentare della profondità. In particolare, nei canyon Squillace e Crotone, non è stato osservato un andamento consistente all'aumentare della profondità, mentre nel canyon di Tricase è evidente un decremento dell'abbondanza della meiofauna all'aumentare della profondità.

Confrontando i canyon a diverse simili (cioè a 200, 500 e 1000 m), si sono osservati valori mediamente superiori nel canyon di Tricase, evidenziando differenze significative a 200 metri. A questo proposito, anche studi precedenti incentrati sull'analisi di canyon e scarpate adiacenti lungo i margini continentali del Mar Mediterraneo, hanno evidenziato poche differenze tra canyon diversi nella abbondanza della meiofauna (Bianchelli et al., 2010; Bianchelli e Danovaro, 2019).

5.2 Diversità della meiofauna nei canyon Squillace, Crotone e Tricase

Per quanto riguarda la ricchezza di taxa della meiofauna, sono stati osservati valori minimi a 140, 500 e 700 metri e valori massimi a 200, 1000 e 1100 m nel canyon di Squillace; valori minimi a 300, 1000 metri e valori massimi a 200, 500 e 1300 m in quello di Crotone; mentre nel canyon di Tricase è stato osservato un andamento decrescente del numero di taxa all'aumentare della profondità. Dal confronto tra i tre canyon a profondità simile, sono stati riscontrati valori massimi più elevati nel canyon di Tricase a 200 m, in quello di Crotone a 500 metri e in quello di Squillace a 1000 m. Questi risultati suggeriscono che l'eterogeneità sia all'interno ciascun canyon sia tra canyon diversi anche lungo lo stesso margine del Mar Mediterraneo, possa influenzare anche la ricchezza di taxa, come riportato precedentemente in letteratura (Bianchelli e Danovaro, 2019). La diversificazione degli habitat lungo un margine continentale (cioè l'alternanza di canyon e scarpate) infatti favorisce la presenza di assemblaggi diversificati, aumentando la diversità a livello regionale, come indicato in Figura 5.1 (Bianchelli et al., 2010; Zeppilli et al., 2016). Tale incremento è dovuto alle elevate percentuali di dissimilarità riscontrate (dal 49 al 61%) nella composizione tassonomica a tutte le profondità simili (200, 500 e 1000 m), che sono indice a loro volta di un elevato turnover di taxa, tra i canyon diversi a profondità simile.

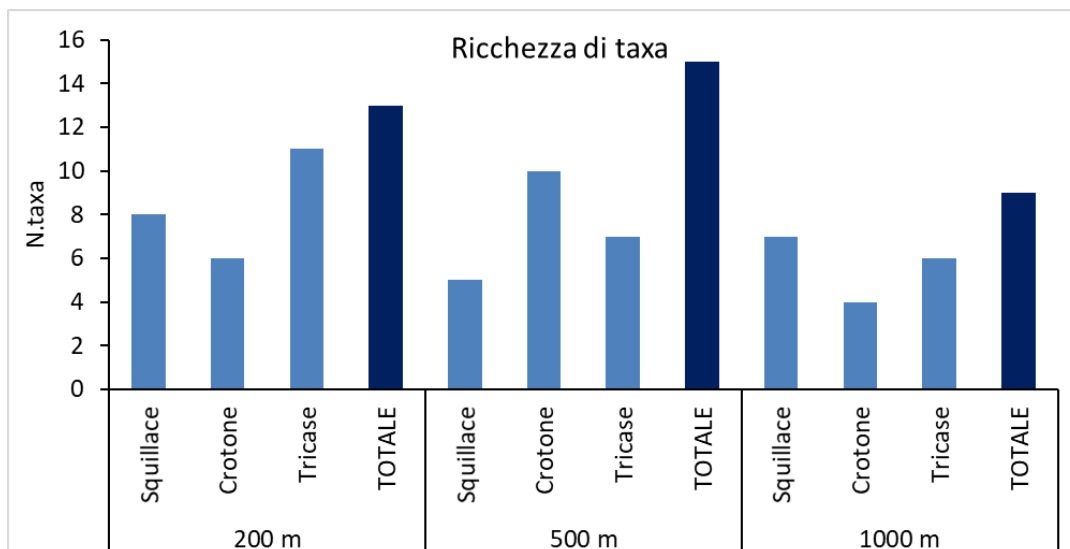


Figura 5.1. Ricchezza della meiofauna in ciascun canyon e complessiva alle profondità di 200, 500 e 1000 m.

Per quanto riguarda la struttura delle comunità analizzate, il taxon dei nematodi era quello più rappresentato in termini percentuali (46-91%), seguito da quello dei copepodi (5-45%), mentre gli altri taxa erano rappresentati in percentuali minori (0-16%). Solo nel canyon di Tricase è stato osservato un aumento progressivo della % dei nematodi all'aumentare della profondità. Le analisi multivariate condotte sulla composizione tassonomica hanno indicato che le comunità della meiofauna erano caratterizzati da differenze significative sia tra profondità diverse lungo ciascun canyon, sia tra i tre canyon a profondità simili. La grande dominanza dei nematodi e dei copepodi nei sedimenti di acque profonde può mascherare i cambiamenti nell'importanza relativa degli altri taxa della meiofauna e oscurare la presenza di taxa diversi in habitat diversi (Bianchelli et al., 2010). Per questo motivo, le analisi sulla

composizione tassonomica della meiofauna sono state condotte anche escludendo i taxa più abbondanti: nematodi e copepodi.

Considerando solo i taxa rari, differenze significative nella composizione tassonomica sono state osservate tra profondità lungo ciascun canyon e tra i tre canyon a profondità simile. In ciascun canyon sono stati trovati taxa esclusivi, come: gastrotrichi osservati esclusivamente nel canyon di Squillace e tanaidacei solamente in quello di Crotone e acari, chinorinchi, oligocheti, larve di priapulidi solamente in quello di Tricase. Inoltre, i tardigradi erano completamente assenti nel canyon di Squillace e i decapodi in quello di Tricase. Al contrario, ostracodi, anfipodi, isopodi, bivalvi e gasteropodi sono stati osservati in tutti i canyon, ma in % diverse a seconda della profondità e del canyon.

L'apparente preferenza di alcuni taxa rari per uno specifico habitat all'interno della stessa regione potrebbe essere responsabile dell'elevata dissimilarità % osservata, sia tra le profondità diverse di ciascun canyon sia tra i canyon analizzati in questo studio. Questi risultati suggeriscono che le caratteristiche dell'habitat potrebbero svolgere un ruolo chiave nella distribuzione, persistenza e reclutamento anche dei taxa della meiofauna temporanea, rappresentata da organismi che entrano a far parte della macrofauna una volta diventati adulti (Bianchelli et al., 2010). Purtroppo, la mancanza di informazioni contestuali sulle comunità macrobentoniche dei canyon di Squillace, Crotone e Tricase, non ci consente di stabilire se habitat con particolari taxa della meiofauna temporanea ospitano anche gli adulti corrispondenti. Questa

mancanza di conoscenza ostacola la nostra comprensione dei tratti vitali associati ai diversi habitat di acque profonde.

6. CONCLUSIONI

Questo studio ha evidenziato l'esistenza di numerose differenze di abbondanza e ricchezza dei taxa confrontando i canyon di Squillace, Crotona e Tricase a diverse profondità. Inoltre, ha dimostrato la presenza di differenze significative nella composizione tassonomica tra profondità e canyon, nonostante una netta abbondanza di alcuni taxa come nematodi, copepodi in tutte le stazioni analizzate. Nel complesso, questi risultati suggeriscono che le diverse caratteristiche dei canyon Squillace, Crotona e Tricase, alle diverse profondità, influenzano abbondanza totale e diversità delle comunità della meiofauna, sia in termini di ricchezza di taxa, sia di composizione tassonomica, nei sedimenti di diversi habitat profondi.

In conclusione, questo studio ha permesso di analizzare la biodiversità della meiofauna nei canyon profondi Squillace, Crotona e Tricase, che erano a tutt'oggi quasi completamente sconosciuti. I pochi dati disponibili in letteratura ed i risultati ottenuti dal presente studio, suggeriscono che i canyon di Squillace e Crotona possano essere dei canyon "attivi", essendo vicini a input di flussi di acqua fluviale, presentando maggiori carichi organici e mancanza di pattern consistenti lungo la profondità di abbondanza e ricchezza di taxa della meiofauna. Al contrario il canyon Tricase potesse essere un canyon "passivo". In generale, i risultati del presente studio

ed il loro confronto con la letteratura disponibile, suggeriscono la necessità di ulteriori studi approfonditi che permettano di analizzare e comprendere caratteristiche topografiche su piccola scala, dinamiche delle masse d'acqua, dinamiche dei flussi di energia e materia organica ed inorganica al fondo, nonché componenti biotiche che abitano questi sistemi profondi.

7. BIBLIOGRAFIA

- Bianchelli S., Gambi C., Zeppilli D., Danovaro R., 2010. Metazoan meiofauna in deep-sea canyons and adjacent open slopes: A large scale comparison with focus on the rare taxa. *Deep-Sea Research I* 57 420–433.
- Bianchelli S., Danovaro R., 2019. Meiofaunal biodiversity in submarine canyons of the Mediterranean Sea: A meta-analysis. *Progress in Oceanography* 170 69–80.
- Canals M., Danovaro R., Luna G.M., 2019. Recent advances in understanding the ecology and functioning of submarine canyons in the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography* 179 102-171.
- Company J.B., Puig P., Sardà F., Planques A., Latasa M., Scharek R., 2008. Climate influence on Deep-Sea Populations. *PLOS ONE* 3 (1): e1431.
- Danovaro R., 2010. Methods for the study of Deep-Sea Sediments. Their functioning and Biodiversity. *CRC Press*.
- Danovaro R., 2013. Biologia marina. Biodiversità e funzionamento degli ecosistemi. *CittàStudi* 1° edizione.
- Danovaro R., Bianchelli S., Gambi C., Mea D., Zeppilli D., 2009. α -, β -, γ -, δ - and ε -diversity of deep-sea nematodes in canyons and open slopes of Northeast Atlantic and Mediterranean margins. *Marine Ecology Progress Series* 396 197-209.
- Danovaro R., Company J.B., Corinaldesi C., D'Onghia G., Galil B., Gooday A., Lampadariou N., Luna G.M., Morigi C., Olu K., Polymenakou P., Raimerez-Llodra E., Sabbatini A., Sarda F., 2010. Deep-Sea Biodiversity in the Mediterranean Sea: The Known, the Unknown, and the Unknowable. *PLOS ONE* 5 (8) e11832.
- Duros P., Fontainer C., Metzger E., Pusceddu A., Cesbron F., de Stigter H.C., Bianchelli S., Danovaro R., Jorissen F.J., 2011. Live (stained) benthic foraminifera in the Whittard Canyon, Celtic margin (NE Atlantic). *Deep-Sea Research I* 58 128-146.
- Fanelli E., Bianchelli S., Danovaro R., 2018. Deep sea mobile megafauna of Mediterranean submarine canyons and open slopes: Analysis of spatial and bathymetric gradients. *Progress in Oceanography* 168 23-34.

- Heip C, Vincx M, Vranken G., 1985. The ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 23 399-489.
- Lo Iacono C., Succi A., Agata M., 2014. Variability in morphology, sedimentary processes and evolution on a tectonically active margin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 104 93-105.
- Lopez-Fernandez P., Bianchelli S., Pusceddu A., Calafat A., Danovaro R., Canals M., 2013. Bioavailable compounds in sinking particulate organic matter, Blanes Canyon, NW Mediterranean Sea: Effects of a large storm and sea surface biological processes. *Progress in Oceanography* 118 108–121.
- Lopez-Fernandez, Bianchelli S., Pusceddu A., Calafat A., Sanchez-Vidal A., Danovaro R., 2013. Bioavailability of sinking organic matter in the Blanes canyon and the adjacent open slope (NW Mediterranean Sea). *Biogeosciences* 10 3405–3420
- Pusceddu A., Bianchelli S., Canals M., Sanchez-Vidal A., Durrieu De Madron X., Heussner S., Lykousis V., de Stigter H., Trincardi F., Danovaro R., 2010. Organic matter in sediments of canyons and open slopes of the Portuguese, Catalan, Southern Adriatic and Cretan Sea margins. *Deep-Sea Research I* 57 441-457.
- Pusceddu A., Bianchelli S., Martín J., Puig P., Palangues A., Masquè P., Danovaro R., 2014. Chronic and intensive bottom trawling impairs deep-sea biodiversity and ecosystem functioning. *PNAS* 111 (24) 8861-8866.

8. ALLEGATI

Allegato 1. Abbondanza totale e ricchezza di taxa della meiofauna nei canyon analizzati.

Canyon	Profondità m	Total abundance		Ricchezza di taxa N. taxa
		ind. 10cm ⁻² avg	sd	
Canyon Squillace	140	41.8	7.9	5
	200	251.2	76.8	8
	500	48.7	16.1	5
	700	35.3	4.5	4
	1000	65.0	42.4	7
	1100	144.1	155.4	6
Canyon Crotone	200	141.1	38.4	6
	300	57.8	4.3	4
	500	279.3	171.6	10
	1000	40.8	8.9	4
	1300	152.6	53.8	9
Canyon Tricase	200	820.9	51.0	11
	500	318.2	217.5	7
	600	171.8	35.0	6
	1000	324.1	181.5	6

Allegato 2. Output dei test pair wise, dopo analisi PEMANOVA. Sono riportati solo i test significativi ($p < 0.05$).

	Canyon	Pair wise	t	P	Profondità	Pair wise	t	P	
Abbondanza totale	Canyon Squillace	140 vs 200	4.698	0.013	200 m	Squill vs Tric	10.704	0.001	
		200 vs 500	4.471	0.008		Crot vs Tric	18.448	0.001	
		200 vs 700	4.862	0.008	500 m	ns			
		200 vs 1000	3.677	0.013	1000 m	ns			
	Canyon Crotone	200 vs 1000	4.410	0.009					
		200 vs 300	3.737	0.026					
		1000 vs 300	2.982	0.052					
		1000 vs 1300	3.547	0.023					
	Canyon Tricase	300 vs 1300	3.039	0.034					
		200 vs 500	3.898	0.015					
		200 vs 1000	4.565	0.006					
			200 vs 600	18.174	0.001				
	Composizione tassonomica comunità totale	Canyon Squillace	140 vs 200	4.429	0.004	200 m	Squill vs Crot	4.273	0.003
200 vs 500			4.586	0.003	Squill vs Tric		2.367	0.028	
200 vs 700			7.002	0.002	Crot vs Tric		3.587	0.005	
200 vs 1000			2.850	0.022	500 m	Squill vs Crot	3.076	0.011	
Canyon Crotone		200 vs 500	2.746	0.015		Squill vs Tric	3.246	0.005	
		200 vs 1000	5.024	0.003	1000 m	Crot vs Tric	3.248	0.014	
		200 vs 300	4.623	0.003					
		200 vs 1300	3.277	0.009					
500 vs 1000		3.583	0.005						
500 vs 300		3.260	0.016						
1000 vs 300		2.550	0.030						
1000 vs 1300		4.437	0.003						
Canyon Tricase		300 vs 1300	3.941	0.012					
		200 vs 500	1.628	0.109					
		200 vs 1000	1.389	0.206					
		200 vs 600	3.068	0.007					
		500 vs 1000	0.534	0.748					
		500 vs 600	1.322	0.226					
		1000 vs 600	1.301	0.254					
Composizione tassonomica taxa rari	Canyon Squillace	200 vs 500	1.830	0.058	200 m	ns			
		200 vs 700	2.452	0.015	500 m	Squill vs Tric	1.839	0.044	
		700 vs 1100	1.951	0.050		Crot vs Tric	1.846	0.038	
	Canyon Crotone	200 vs 300	2.754	0.030	1000 m	ns			
		500 vs 300	2.240	0.051					
	Canyon Tricase	500 vs 1000	1.745	0.056					

Allegato 3. Abbondanza percentuale di ciascun taxon a tutte le profondità nei canyon analizzati.

	Canyon Squillace						Canyon Crotone					Canyon Tricase			
	140	200	500	700	1000	1100	200	300	500	1000	1300	200	500	600	1000
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Nematoda	68.8	84.4	62.4	76.9	71.9	81.0	45.6	76.8	91.5	72.0	88.4	72.6	88.8	82.3	90.4
Copepoda	25.8	11.4	32.9	16.7	23.1	15.0	44.9	21.5	5.0	24.0	7.3	8.0	5.5	13.3	8.0
Acarina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Kinorhyncha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.3	0.0	0.0
Oligochaeta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Ostracoda	0.0	0.4	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.9	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Polychaeta	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.2	1.6	3.5	0.2	0.0
Priapulida	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0
Tardigrada	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0
Amphipoda	1.6	1.0	2.7	0.0	1.5	2.3	5.1	0.0	1.2	0.0	0.9	16.0	0.0	1.7	0.3
Isopoda	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	0.0	0.1	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7
Bivalvia	3.1	1.7	0.7	4.6	1.0	1.4	0.2	1.1	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	1.9	0.5
Gasteropoda	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.1
Decapoda	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.0	3.5	0.0	0.4	3.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Tanaidacea	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Gastrotricha	0.0	0.0	1.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0