



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

**Corso di Laurea Magistrale**

**BIOLOGIA MARINA**

**IMPATTO ANTROPICO E NATURALE SUL  
MACROZOOBENTHOS DI FONDO MOBILE: CASI  
STUDIO DA UNA PIATTAFORMA OFFSHORE E DA UN  
SISTEMA IDROTERMALE COSTIERO**

**ANTHROPOGENIC AND NATURAL IMPACT ON SOFT  
BOTTOM MACROBENTHIC COMMUNITIES: CASE  
STUDIES FROM AN OFFSHORE PLATFORM AND  
FROM A SHALLOW HYDROTHERMAL SYSTEM**

Tesi di Laurea Magistrale di:

**Simone Di Giacomo**

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa  
**Emanuela Fanelli**

Sessione straordinaria Febbraio 2021  
Anno accademico 2019/2020

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	3
<b>1.1. OBIETTIVI</b> .....	7
<b>1.2. BIODIVERSITÀ ED ECOLOGIA DEL BENTHOS</b> .....	9
<i>1.2.1. L'utilizzo del macrozoobenthos come indicatore della qualità ecologica degli ecosistemi marini</i> .....	13
<b>1.3. PIATTAFORME OFFSHORE IN ADRIATICO</b> .....	16
<i>1.3.1. Problematiche del decommissioning</i> .....	19
<i>1.3.2. Il progetto PON PlaCE</i> .....	24
<b>1.4. ECOLOGIA DEGLI HYDROTHERMAL VENTS</b> .....	25
<i>1.4.1. Hydrothermal vents delle Isole Eolie</i> .....	30
<b>2. MATERIALI E METODI</b> .....	32
<b>2.1. PROGETTO PON PlaCE (2019)</b> .....	32
<i>2.1.1. Area di studio</i> .....	32
<i>2.1.2. Strategia e metodi di campionamento</i> .....	33
<i>2.1.3. Trattamento dei campioni in laboratorio e analisi dei dati</i> .....	34
<b>2.2. HYDROTHERMAL VENTS PANAREA (2015)</b> .....	39
<i>2.2.1. Area di studio</i> .....	39
<i>2.2.2. Strategia e metodi di campionamento</i> .....	43
<i>2.2.3. Trattamento dei campioni in laboratorio e analisi dei dati</i> .....	45
<b>3. RISULTATI</b> .....	47
<b>3.1. PROGETTO PON PlaCE (2019)</b> .....	47
<i>3.1.1. Composizione tassonomica della macrofauna</i> .....	47
<i>3.1.2. Analisi sull'abbondanza, biomassa e diversità della macrofauna</i> .....	55
<i>3.1.3. Analisi della macrofauna in relazione ai dati ambientali della materia organica e della meiofauna (nematodi e copepodi totali)</i> .....	65
<b>3.2. HYDROTHERMAL VENTS PANAREA (2015)</b> .....	70
<i>3.2.1. Composizione tassonomica della macrofauna</i> .....	70
<i>3.2.2. Analisi sull'abbondanza, biomassa e diversità della macrofauna</i> .....	81
<i>3.2.3. Analisi della macrofauna in relazione al pH</i> .....	89
<b>4. DISCUSSIONE</b> .....	92
<i>4.1. Impatto delle piattaforme offshore in Adriatico centrale sulle comunità bentoniche di fondo mobile</i> .....	92
<i>4.2. Impatto delle sorgenti idrotermali costiere delle Isole Eolie sulle comunità bentoniche di fondo mobile</i> .....	96
<b>5. CONCLUSIONI</b> .....	99
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	100
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	102
<b>ANNESI</b> .....	106

## 1. INTRODUZIONE

L'ambiente marino è caratterizzato da una forte variabilità naturale, dovuta a cambiamenti stagionali nelle caratteristiche fisico-chimiche delle acque (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, disponibilità dei nutrienti), che generano variazioni anche nelle componenti biologiche (Brown et al., 2014). Unitamente a tale variabilità naturale, vi sono poi delle aree che sono sottoposte ad impatti “naturali”, come ad esempio gli effetti delle mareggiate o la presenza di sorgenti idrotermali, e ormai con frequenza crescente, ad impatti di origine antropica. In entrambi i casi si possono riscontrare importanti conseguenze sulle comunità biologiche, sulla litologia del sedimento e sulle caratteristiche della colonna d'acqua, con ripercussioni sia locali che a livello globale (Danovaro, 2013). Tuttavia, questi diversi tipi di impatto, che riguardano determinate zone del globo, possono rappresentare un cruciale punto di sviluppo di studi scientifici per analizzare e mitigare gli effetti di tali impatti, come vedremo più avanti. Diverse sono le attività antropiche che hanno un impatto sugli ecosistemi marini, *in primis* quelle volte all'estrazione di risorse, sia biotiche, come la pesca, che abiotiche, come l'esplorazione del fondo marino per la ricerca di idrocarburi ed il loro successivo sfruttamento, la ricaduta industriale (Bigot et al., 2006), l'arricchimento organico (Saunders et al., 2007) o più recentemente il “deep-sea mining”, ovvero l'estrazione mineraria dai fondali marini (Sweetman et al., 2017). Le **piattaforme offshore** per l'estrazione di idrocarburi rappresentano una potenziale fonte di impatto antropico per le comunità bentoniche e l'intero ecosistema marino. È noto che le operazioni di perforazione generano fluidi di scarto e detriti che potrebbero causare forti cambiamenti ambientali (Terlizzi et al., 2008). Inoltre, la struttura fisica della piattaforma può modificare il flusso d'acqua locale e alterare i sedimenti influenzando la composizione della comunità bentonica (Wilson-Ormond et al., 2000). Quando il pozzo estrattivo è

esaurito, la piattaforma viene chiusa e dovrebbe essere dismessa. Tale attività di rimozione (**decommissioning**) rappresenta una problematica seria per la salute e la conservazione dell'ambiente marino. Tutte le opzioni di decommissioning comportano un disturbo fisico al biota e agli habitat marini interessati. Infatti, lo smantellamento parziale o la rimozione totale della struttura dal fondo marino richiede l'uso di utensili da taglio o persino di esplosivi che impongono delle trasformazioni profonde nell'ambiente naturale e, talvolta, danneggiano quest'ultimo in modo irreversibile (Jeremy et al., 2015). In più, dal momento che le strutture possono fornire connettività in aree in cui le scogliere naturali sono scarse, agendo come "trampolini di lancio" (*rigs-to-reefs*) per consentire alle specie di passare da un'area all'altra di quel tipo di habitat, la loro perdita può anche avere effetti su un più ampio ecosistema marino (Sommer et al., 2019). Da ciò l'iniziativa di sviluppare modelli eco-sostenibili all'avanguardia per far fronte a queste problematiche, attraverso un monitoraggio delle condizioni impattanti ed una riconversione delle strutture, dove è possibile. È necessario un approccio ecosistemico alla disattivazione delle piattaforme offshore che prenda in considerazione l'intero spettro di benefici ambientali e i rischi legati alle diverse opzioni, oltre che i livelli della biodiversità. Valutare, quindi, dove è possibile togliere del tutto o parzialmente la struttura e dove lasciarla e adottare metodiche di riconversione di quest'ultima (Sommer et al., 2019). Anche sistemi naturali, come gli *hydrothermal vents*, possono essere fonte di impatto e alterare in modo significativo la struttura e il funzionamento degli ecosistemi marini. I composti presenti nelle sorgenti idrotermali alterano il pH marino, determinando locali fenomeni di acidificazione (Hall-Spencer et al., 2008). L'acidificazione dell'acqua marina, associata al rilascio di anidride carbonica in sistemi idrotermali, può influenzare la composizione del sedimento mediante la dissoluzione dei sedimenti carbonatici (Burdige e

Zimmerman, 2002) e compromettere l'incorporazione di carbonati di calcio negli organismi che formano gusci (Green et al., 1993). Lo scarico di gas vulcanici nell'ambiente marino può portare a fluttuazioni locali dell'acidità delle acque con conseguenze non solo per le comunità biologiche, ma anche cambiamenti nella litologia dei sedimenti e potenziali rischi legati alla depressurizzazione e rilascio di gas tossici e fluidi ad alta temperatura in superficie (Carey et al., 2013). Questi siti offrono importanti opportunità per studiare la composizione dei gas rilasciati nell'oceano, il loro contributo al flusso globale di carbonio e i loro potenziali impatti ambientali (Embley et al., 2007; Lupton et al., 2008). In particolare, possono servire per lo sviluppo di esperimenti naturali sull'acidificazione oceanica globale (Hall-Spencer et al., 2008; Tunnicliffe et al., 2009). In questo contesto, l'analisi della risposta delle comunità bentoniche a queste variazioni, siano esse di origine antropica (es. piattaforme off-shore), che naturale (es. *hydrothermal vents* costieri), può essere un utile strumento per la valutazione di cambiamenti negli ecosistemi marini. Le comunità bentoniche rivestono una grande importanza in quanto svolgono un ruolo fondamentale nel rifornimento alimentare e nell'influenzare i cicli biogeochimici, ed inoltre sono più facilmente soggette a diversi tipi di impatto, sia antropici che naturali (Ellis et al., 2000). Per questo motivo le **comunità macrobentoniche** sono diventate uno dei più importanti e comuni oggetti di studio per valutare gli effetti degli impatti ambientali di diversa natura (Gray, 1981). Gli indicatori bentonici forniscono indicazioni sullo stato dell'ecosistema, dando informazioni su eventuali cambiamenti nella struttura e nel funzionamento di quest'ultimo (Reiss et al., 2015; Borja et al., 2016). La necessità di nuovi strumenti per valutare il buono stato ambientale (*Good Environmental Status*) delle acque marine per soddisfare i requisiti della *Marine Strategy Framework Directive* (MSFD 2008/56/CE), ha rafforzato l'interesse per le comunità bentoniche. Gli

invertebrati macrobentonici, infatti, erano stati identificati già dalla *Water Framework Directive* (WFD 2000/60/CE) come componenti biologiche chiave per valutare lo stato ecologico degli ecosistemi marini, a causa del loro ruolo importante all'interno dell'ecosistema e il loro coinvolgimento nella rete alimentare e riciclaggio dei nutrienti (Spagnolo et al., 2017). Il macrozoobenthos di fondo mobile, data la stretta associazione con il fondale marino e la ridotta vagilità, è direttamente esposto alle variazioni dei parametri ambientali e di conseguenza anche a sorgenti di impatto, rappresentando, in tal senso, la memoria biologica degli ecosistemi marini (Bianchi, 1994).

## **1.1. OBIETTIVI**

La seguente tesi prende in considerazione due diversi casi di studio, con l'obiettivo finale di valutare come due diversi tipi di impatto, quello antropico, determinato dalla presenza di piattaforme offshore, e quello naturale, causato dalle emissioni gassose presso le sorgenti idrotermali costiere, agiscano modificando la struttura e il funzionamento delle comunità macrobentoniche locali. Il primo caso di studio si inserisce nell'ambito del progetto **PON** Ricerca e innovazione 2014-2020, area di specializzazione Blue Growth, dal titolo “*Conversione di Piattaforme Off-shore per usi multipli eco-sostenibili*” (**PlaCE**). Uno degli scopi di questo progetto, in cui si inserisce la presente tesi, è quello di fornire un'analisi di impatto riguardo i popolamenti macrobentonici in prossimità della piattaforma off-shore “*Viviana*”, situata in Adriatico centrale, al largo delle coste abruzzesi (campagna di campionamento 2019). Il secondo caso di studio si basa sulla valutazione dell'impatto naturale degli *hydrothermal vents* sul macrobenthos, prendendo in analisi una campagna di campionamento effettuata nel 2015 presso le Isole Eolie, tra Panarea e la piccola Isola di Basiluzzo. Qui è presente un sistema idrotermale che risulta essere unico nel Mediterraneo, chiamato “**Smoking Land**”. L'analisi è stata effettuata tenendo conto dei descrittori della *Marine Strategy Framework Directive* (**Fig. 1**) per la valutazione del *Good Environmental Status* e degli indicatori ecologici per le comunità bentoniche. In particolar modo si è fatto riferimento ai descrittori: D1-Biodiversità (“La biodiversità è mantenuta. La qualità e la presenza di habitat nonché la distribuzione e l'abbondanza delle specie sono in linea con le prevalenti condizioni fisiografiche, geografiche e climatiche”); D4-Reti trofiche (“Tutti gli elementi della rete trofica marina, nella misura in cui siano noti, sono presenti con normale abbondanza e diversità e con livelli in grado di assicurare l'abbondanza a lungo termine delle specie e la conservazione

della loro piena capacità riproduttiva”); D5-Eutrofizzazione (“È ridotta al minimo l’eutrofizzazione di origine umana”); D9-Contaminanti nel biota (“Le concentrazioni dei contaminanti presentano livelli che non danno origine a effetti inquinanti”).

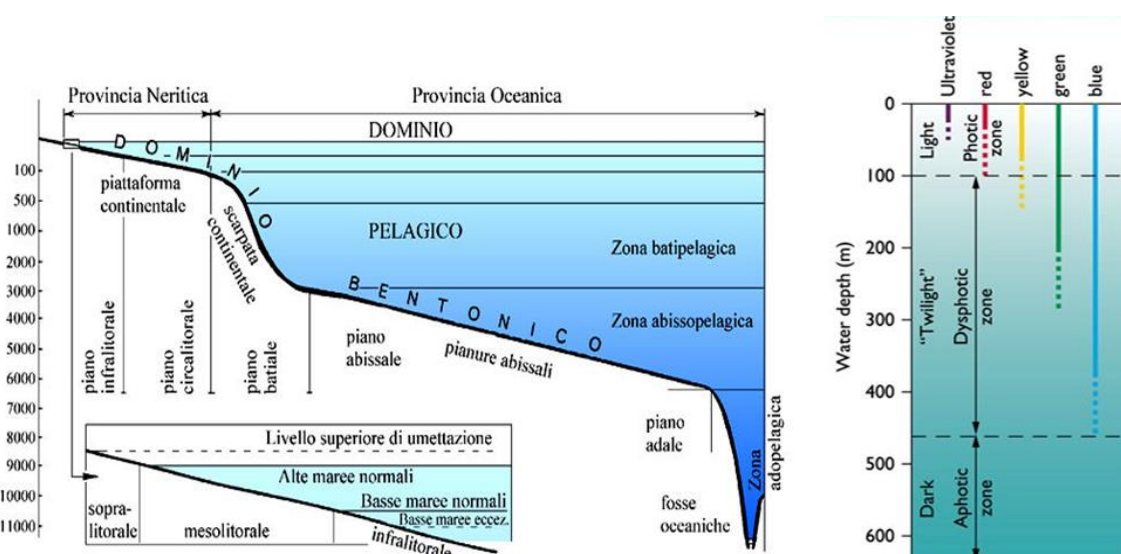


*Figura 1. Descrittori della Marine Strategy Framework Directive (MSFD).  
(Fonte OSPAR).*



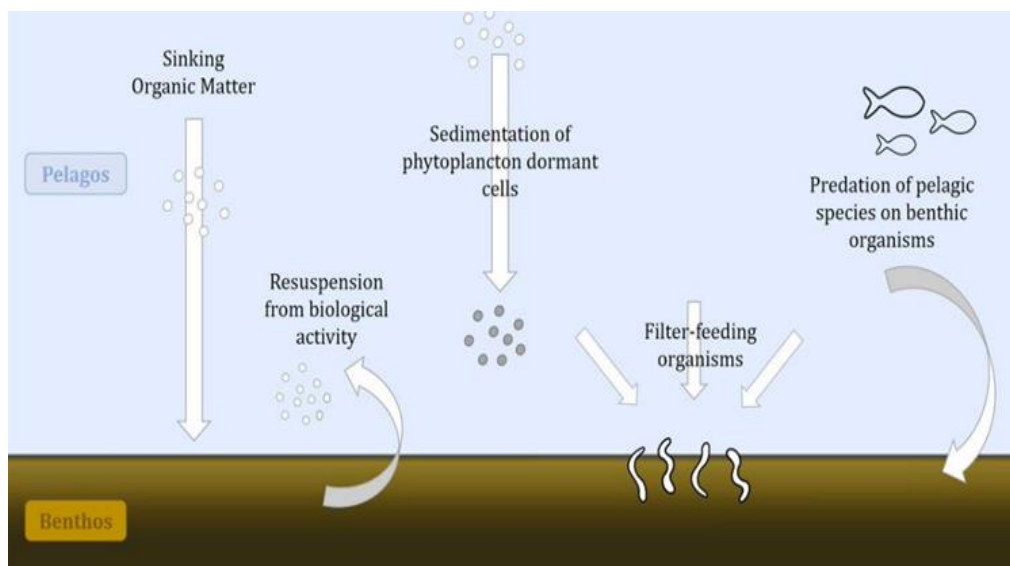
## 1.2. BIODIVERSITÀ ED ECOLOGIA DEL BENTHOS

Il benthos è costituito dal complesso di organismi vegetali (*Fitobenthos*) ed animali (*Zoobenthos*) che vivono nel dominio bentonico, in una più o meno stretta relazione con il fondale marino (Danovaro, 2013). La diversità e l'abbondanza del benthos variano con la latitudine, la profondità, la temperatura e la salinità dell'acqua, nonché con la natura del substrato e le interazioni ecologiche come la predazione e la competizione (Castelli et al., 2003). Gli organismi bentonici sono abbondanti nei sedimenti superficiali della piattaforma continentale e nelle acque più profonde. In acque poco profonde i letti di alghe forniscono un ricco habitat per policheti, molluschi, crostacei, echinodermi e pesci. Sulla superficie e all'interno dei sedimenti intertidali la maggior parte delle attività degli animali sono fortemente influenzate dalle variazioni delle maree. In molti sedimenti della zona fotica, tuttavia, gli unici organismi fotosintetici che si possono riscontrare sono microscopiche diatomee bentoniche. Caratteristica del benthos è quella di essere un sistema deficitario in termini energetici. Questo deficit è dovuto al fatto che nella maggior parte dei fondali marini non arriva una radiazione luminosa sufficiente (zona afotica) per far sì che avvenga il



**Figura 2.** Zonazione verticale del dominio pelagico e bentonico con relativo schema della penetrazione della radiazione solare, a destra.

processo di fotosintesi (Danovaro, 2013). La produzione autoctona è presente solo in una zona limitata, ovvero quella che si inserisce nel sistema fitale fino a circa 50 m di profondità (limite inferiore del piano infralitorale) (**Fig. 2**). Le principali fonti alimentari per il benthos sono di tipo alloctono, derivate soprattutto dalla produzione primaria che avviene nella zona fotica (*Pelagic-Benthic Coupling*) (**Fig. 3**). Gli input alloctoni sono rappresentati per la maggior parte dall'export di macrofite e materia organica provenienti dalla zona costiera, dalle migrazioni verticali del plancton e produzione di fecal pellets in profondità. Questa pioggia di particelle al fondo è di fondamentale importanza per il sostentamento di tutte le componenti del benthos. In uno scambio inverso (*Benthic-Pelagic Coupling*), è importante il contributo di organismi che dal benthos vengono rilasciati in colonna d'acqua, come le forme di resistenza, portando alla formazione di veri e propri bloom planctonici (Danovaro, 2013).

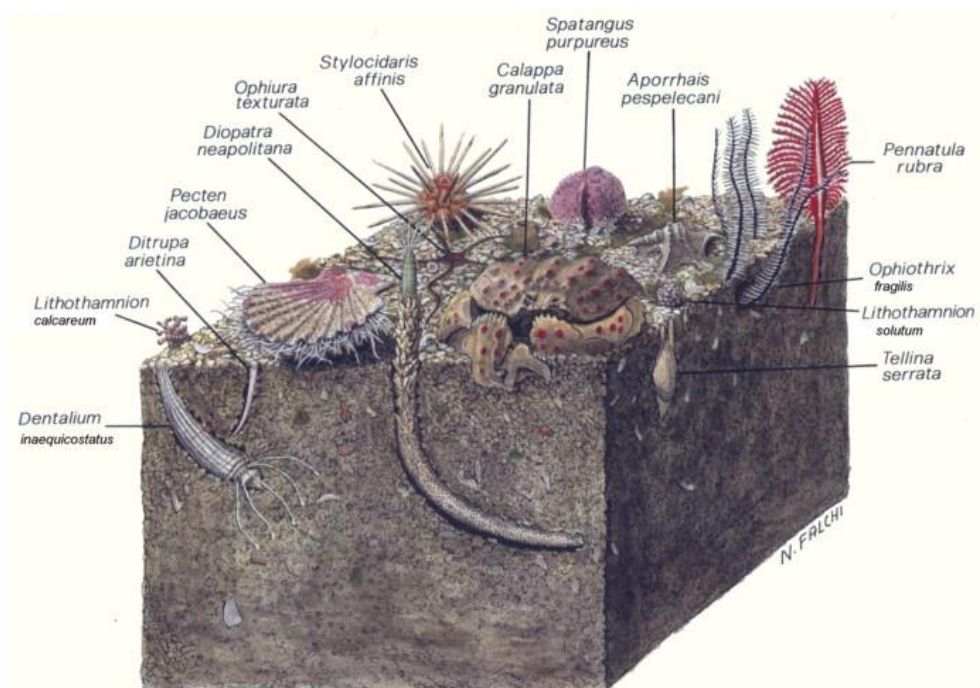


**Figura 3.** Accoppiamento tra il dominio bentonico e il dominio pelagico. (fonte, Stockholm University, 2017).

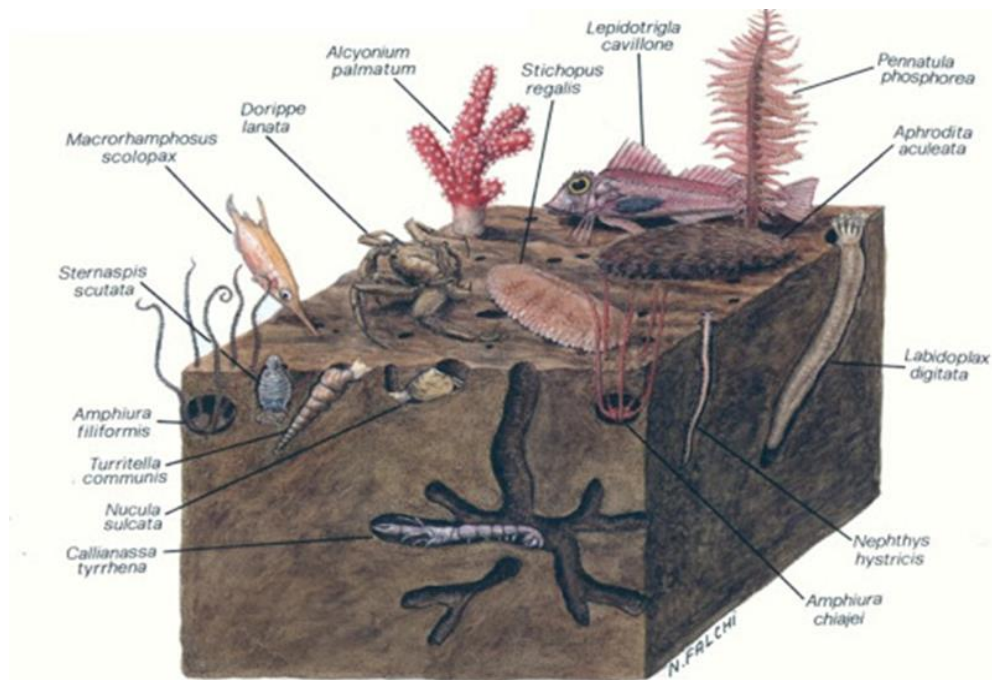
La taglia degli organismi bentonici varia dai decimi di micron dei virus (0,02 - 0,2  $\mu\text{m}$ ) fino ad alcuni metri della megafauna (> 1 - 2 cm). Per quanto riguarda la **macrofauna**, oggetto della tesi, la taglia varia a partire da dimensioni superiori a 0,35 - 0,5 mm fino a circa 2 cm (Danovaro,

2013). Alcuni autori identificano gli organismi della macrofauna in un range dimensionale tale da essere in grado di essere trattenuti da setacci con maglie di dimensioni di 0,5 mm (Holme e McIntyre, 1984; Gray, 1981); il limite minimo di 0,5 mm per il *macrobenthos* è comunque generalizzato, ed altri autori ritengono più adatto un valore di 1 mm (Cognetti et al., 2000; Castelli et al., 2003). Gli organismi della macrofauna vivono in tutti gli ambienti marini, mobili e rocciosi, a tutte le latitudini e profondità. In ambiente costiero le comunità sono dominate, in termini di abbondanza, dalla macrofauna; i policheti risultano essere il gruppo più abbondante e diversificato, andando a costituire oltre il 50% del popolamento bentonico, seguito da molluschi (bivalvi e gasteropodi), crostacei ed echinodermi. La loro distribuzione spaziale è influenzata dalla granulometria, da luce, temperatura, salinità, profondità, idrodinamismo e produzione primaria. Le abbondanze delle comunità bentoniche, espresse per m<sup>2</sup>, variano da poche unità per il *megabenthos* a migliaia di organismi per il *macrobenthos*, milioni per la meiofauna con un aumento esponenziale per quanto riguarda virus (*femtobenthos*) e batteri (*picobenthos*). La macrofauna include 18 Phyla animali ed una biodiversità superiore a 500.000 specie (Danovaro, 2013). Gli organismi bentonici che popolano i substrati duri sono in prevalenza organismi sessili, sia unitari che coloniali, con un reclutamento che può avvenire mediante larve o per frammentazione/clonazione. I substrati mobili, invece, sono popolati prevalentemente da organismi vagili unitari con un reclutamento che avviene per spostamento degli adulti. Essi, in base al rapporto con il substrato, si suddividono in *iperbenthos* (organismi che vivono in prossimità del substrato), *endobenthos* (organismi che vivono all'interno del sedimento) ed *epibenthos* (organismi che vivono sulla superficie del sedimento). Gli habitat di fondo molle (es. **Fig. 4 - Fig. 5**) sono i più comuni nei mari e negli oceani, costituendo circa il 75% delle coste globali

(Danovaro, 2013). I fondi mobili costituiscono, quindi, sistemi di estremo interesse per la loro ampia distribuzione e per l'importanza e la varietà dei popolamenti bentonici che li colonizzano (Gray, 1997; Snelgrove, 1997). Essi sono colonizzati, come visto in precedenza, da organismi di diverse specie che sono in grado di penetrare più o meno in profondità all'interno del substrato, favorendone l'ossigenazione, ad esempio, con la costruzione di gallerie (Castelli et al., 2003). Rivestono, quindi, una grande importanza in quanto svolgono un ruolo fondamentale nel rifornimento alimentare e nell'influenzare i cicli biogeochimici, ed inoltre sono più facilmente soggetti all'impatto ambientale (Ellis et al., 2000). Per questo motivo, le comunità macrobentoniche, sono diventate uno dei più importanti e comuni oggetti di studio per valutare gli effetti degli impatti ambientali (Gray et al., 1981).



**Figura 4.** Esempio della biocenosi del Detritico Costiero (DC): *Dentalium inaequicostatus*, un mollusco scafopode; *Pecten jacobaeus*; *Diopatra neapolitana*, un polichete; *Ophiura texturata*; *Stylocidaris affinis* o riccio saetta; *Calappa granulata*, il comune granchio melograno; *Spatangus purpureus*, un comune riccio di mare; *Lithothamnion*, alga tipica dell'associazione a Mäerl. (da [Biologimarina.eu](http://Biologimarina.eu)).



**Figura 5.** Esempio della biocenosi dei Fanghi terrigeni Costieri (VTC): il bivalve *Nucula sulcata*; il gasteropode *Turritella communis*; *Amphiura filiformis*; *Sternaspis scutata*, un verme polichete; il decapode *Dorippe lanata*; *Oestergrenia digitata* (oloturia, ex *Labidoplax*). (da [Biologiamarina.eu](http://Biologiamarina.eu)).

### **1.2.1. L'utilizzo del macrozoobenthos come indicatore della qualità ecologica degli ecosistemi marini**

L'ecosistema marino è soggetto ad una combinazione di fattori chimici e biologici che influenzano direttamente la salute e l'integrità degli organismi e degli habitat marini (Brown et al., 2014). Gli *indicatori ecologici* forniscono informazioni sullo stato dell'ecosistema valutandone la struttura e il funzionamento attraverso la valutazione dei loro comparti ambientali (Reiss et al., 2015; Borja et al., 2016). La necessità di nuovi strumenti per valutare lo stato delle acque marine per soddisfare i requisiti della *Marine Strategy Framework Directive* ha rafforzato l'interesse per gli indicatori ecologici riguardo le comunità bentoniche. Gli indicatori bentonici, infatti, sembrano essere gli strumenti più adatti per raggiungere questi obiettivi. Gli invertebrati macrobentonici erano stati già identificati dal *Water Framework Directive* come componenti biologiche chiave per valutare lo stato ecologico degli ecosistemi marini, a causa del loro ruolo importante

all'interno dell'ecosistema e il loro coinvolgimento nella rete alimentare e riciclaggio dei nutrienti (Spagnolo et al., 2017). Esse, data la stretta associazione con il fondale marino e la ridotta vagilità, sono direttamente esposte alle variazioni dei parametri ambientali e di conseguenza anche all'insorgenza di fattori impattanti, rappresentando, in tal senso, la memoria biologica degli ecosistemi marini (Bianchi e Zurlini, 1994).

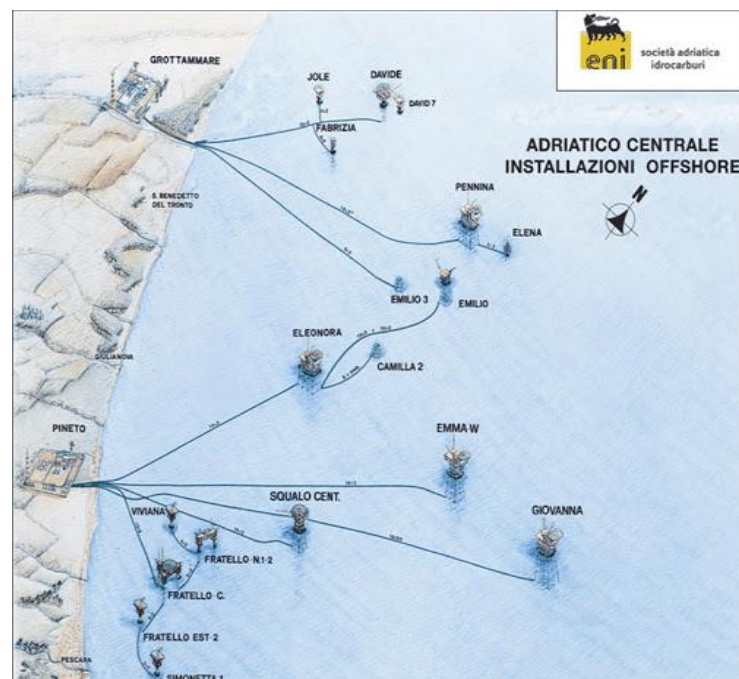
Alcuni inquinanti, che trovano la loro strada negli ambienti acquatici, si legano e vengono trasportati sul fondo, sedimentando insieme ad altre particelle. Tali sostanze tendono ad accumularsi nei sedimenti, dove possono raggiungere concentrazioni dannose per il comparto bentonico e rappresentano un rischio per l'ecosistema nel suo insieme (Chapman et al., 1998; Eggleton e Thomas, 2004). Cambiamenti nelle comunità bentoniche, che sono strettamente correlate ai sedimenti, sono quindi una misura preziosa dell'effetto di fattori di stress antropogenici e della qualità ecologica dell'ambiente (Simboura e Zenetos, 2002; Olsgard et al., 2003). Lo stile di vita relativamente sedentario di questi organismi, unitamente alla presenza di un ciclo vitale lungo, fa sì che siano soggetti agli effetti degli inquinanti nel tempo. Inoltre, le comunità bentoniche comprendono specie con diversa sensibilità o tolleranza agli stress (Dauvin e Ruellet, 2007; Borja e Dauer, 2008). Ad esempio, la distribuzione spaziale e temporale degli anfipodi è influenzata da variabili ambientali come temperatura, salinità, profondità, capacità di buffering, luce, essiccazione, presenza di ossigeno, disponibilità di cibo e composizione dei sedimenti (Conlan, 1994). Concentrazioni di metalli e idrocarburi possono influenzare la struttura e il funzionamento delle comunità bentoniche, inducendo cambiamenti nella diversità, nella biomassa e nell'abbondanza di specie sia tolleranti allo stress che sensibili, nonché alterazioni funzionali dell'ecosistema (Elliott e Quintino, 2007; Kröncke e Reiss, 2010). La relazione tra comunità marine e inquinamento è stata ampiamente indagata

valutando gli effetti del liquame (Terlizzi et al., 2005; Azzurro et al., 2010), dell'arricchimento organico (Saunders et al., 2007), della ricaduta industriale (Bigot et al., 2006), dell'inquinamento/disturbo causato dalle piattaforme offshore (es. Terlizzi et al., 2008; Manoukian et al., 2010; Gomiero et al., 2015; Spagnolo et al., 2014) e più recentemente del "Deep-sea mining", ovvero l'estrazione mineraria dai fondali marini (Sweetman et al., 2017). L'importanza degli organismi bentonici nella valutazione dello stress dell'ecosistema è correlata alla difficoltà di questi animali di sfuggire ai disturbi naturali e antropogenici e alla sensibilità di diverse specie ai cambiamenti ambientali. Le comunità bentoniche sono stabili in condizioni normali e hanno una grande reattività ai cambiamenti ambientali e alle trasformazioni indotte da attività antropiche. Quindi, queste specie sono comunemente considerate buoni indicatori di impatto ambientale (Simboura e Zenetos, 2002) e di cambiamenti a lungo termine nell'ecosistema (Kröncke, 1995).

Nel mare Adriatico, è stato dimostrato che la posizione geografica di una piattaforma offshore svolge un ruolo importante nel "timing" del recupero della comunità bentonica (Fabi et al., 2005; Manoukian et al., 2010). Nella parte occidentale del bacino, ad esempio, la risposta delle popolazioni dall'installazione appare accelerata in acque poco profonde (< 40 m; circa 2 anni dopo l'implementazione dell'impianto di perforazione) rispetto agli ambienti profondi (circa 3 anni). Ciò è dovuto alla peculiare fisiografia del Mare Adriatico, dove correnti e quantità di nutrienti, concentrazione di ossigeno, salinità, temperatura, torbidità e produzione primaria e secondaria sono fortemente influenzate dagli input dei grandi fiumi. A causa della variabilità di questi parametri, nelle zone costiere, la fauna bentonica è ben adattata ai cambiamenti, quindi la sua risposta allo stress ambientale o antropogenico è più rapida rispetto alle comunità bentoniche che vivono al largo (Marini et al., 2008).

### 1.3. PIATTAFORME OFFSHORE IN ADRIATICO

Negli ultimi 50 anni lo sfruttamento delle risorse non rinnovabili è fortemente aumentato per soddisfare la crescente domanda globale di energia. L'industria petrolifera e del gas offshore svolge un ruolo di primo piano nelle attività di estrazione nel campo marittimo, con una produzione superiore a 14 miliardi di tonnellate di petrolio (Pinder, 2001). Nel Mediterraneo, la produzione italiana di gas naturale è stata di 11,4 milioni di tonnellate di petrolio nel 2004, salendo di 0,2 nel 2005; la quarta più grande nell'UE. Circa l'80% dell'energia totale proviene da questo tipo di attività (Brighenti et al., 2003), e quasi la metà di essa è fornita da piattaforme offshore in Adriatico (OGP, 2005). Ad oggi, circa 120 piattaforme offshore sono state installate nel Mare Adriatico settentrionale e centrale (es. **Fig. 6**). Si parla di una produzione di circa l'86% (5.239 milioni di metri cubi standard) del gas naturale derivato dall'Italia (*Ministero dello Sviluppo Economico, 2013*), e rappresenta la più alta concentrazione di piattaforme di estrazione di combustibili fossili nell'area mediterranea.

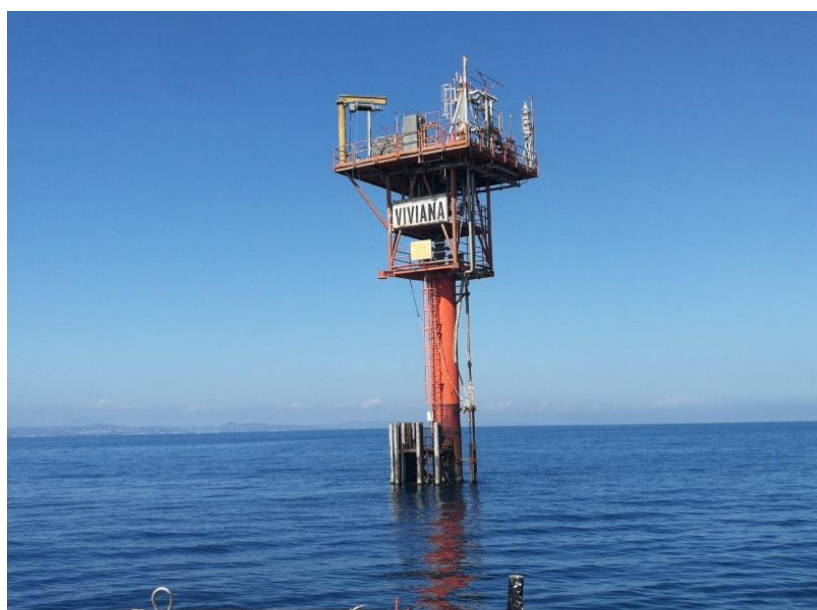


**Figura 6.** Installazioni piattaforme offshore (ENI) in Adriatico



Queste piattaforme sono installate in un'ampia varietà di ambienti, con diverse profondità (da 20 a 80 m) e tipi di sedimenti (da sabbioso a fangoso), e sono collegate tra loro e/o con la terra ferma attraverso circa 300 condotte, che si estendono per un totale di circa 2300 km, di diversa lunghezza (da poche decine di metri a circa 70 km) in relazione alla distanza tra le piattaforme o tra la piattaforma terminale di terra. Queste condotte sono posate o affondate nel sedimento e la loro implementazione richiede tempi diversi, a seconda della loro lunghezza e modalità di spiegamento. Negli anni sono stati condotti numerosi studi per valutare gli effetti dovuti all'installazione di piattaforme offshore per l'estrazione di gas e petrolio sulle comunità bentoniche a fondo morbido (es. Montagna e Harper, 1996; Currie e Isaacs, 2005; Fabi et al., 2007; Trabucco et al., 2008; Terlizzi et al., 2008; Manoukian et al., 2010; Spagnolo et al., 2014; Punzo et al., 2017). È noto che le operazioni di perforazione generano fluidi di scarto e detriti che potrebbero causare forti impatti ambientali (Terlizzi et al., 2008). Inoltre, la struttura fisica della piattaforma può modificare il flusso d'acqua locale e alterare i sedimenti influenzando la composizione della comunità bentonica (Wilson-Ormond et al., 2000). Generalmente, durante la fase di installazione e le operazioni di perforazione, le comunità bentoniche più vicine alle piattaforme mostrano una diminuzione della diversità e un cambiamento nelle abbondanze di specie mentre, più lontano, gli assemblaggi possono apparire più simili a quelli dell'area circostante non interessata dall'impatto (Grant e Briggs, 2002). Il raggio di impatto può variare a seconda del numero delle piattaforme posizionate in un'area, delle dimensioni delle strutture e fattori biogeografici/climatici. Ad esempio, nel Mare del Nord alcuni studi hanno riscontrato effetti fino a 3000 m, con impatti più gravi nel raggio di 500 m (Gray et al., 1999). Nel Golfo del Messico gli effetti a lungo termine del petrolio sul benthos erano evidenti fino a 200 m dalla sorgente e fino a 800

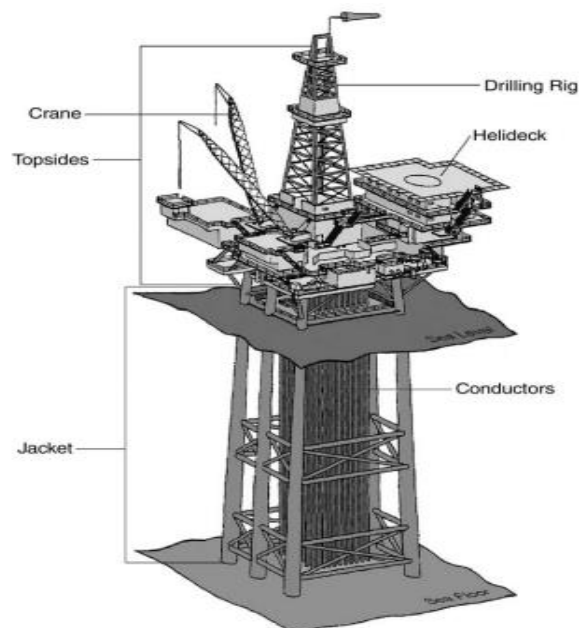
m dai punti di scarico (Arana et al., 2005). L'installazione di strutture, operazioni di perforazione e il trasporto navale può causare un aumento di metalli, idrocarburi e altri agenti chimici nell'ambiente causando potenziali impatti sia per la componente abiotica che biotica. Alcuni studi hanno evidenziato gli effetti delle piattaforme sulla comunità bentonica nel tempo. Tuttavia, ci sono ancora molte ricerche da intraprendere per comprendere i potenziali impatti delle piattaforme offshore sull'ambiente circostante e sullo zoobenthos nel Mare Adriatico. Queste piattaforme sono installate in un'ampia varietà di ambienti, con diversi tipi di sedimenti, che possono essere sotto l'influenza di fiumi, come il Po, che rappresenta la principale fonte di acqua dolce nel Mare Adriatico settentrionale. Questa situazione, associata all'alta attività di perforazione nel bacino adriatico, rende difficile sviluppare modelli generali per la previsione dell'impatto delle piattaforme offshore (Cattaneo et al., 2003; Marini et al., 2008). La seguente tesi, nello specifico, prende in considerazione il sito di campionamento intorno alla piattaforma "Viviana" (**Fig. 7**) situata al largo delle coste abruzzesi. L'Area di studio verrà descritta in dettaglio nei capitoli successivi.



**Figura 7.** Piattaforma "Viviana" (PON PlaCE 2019).

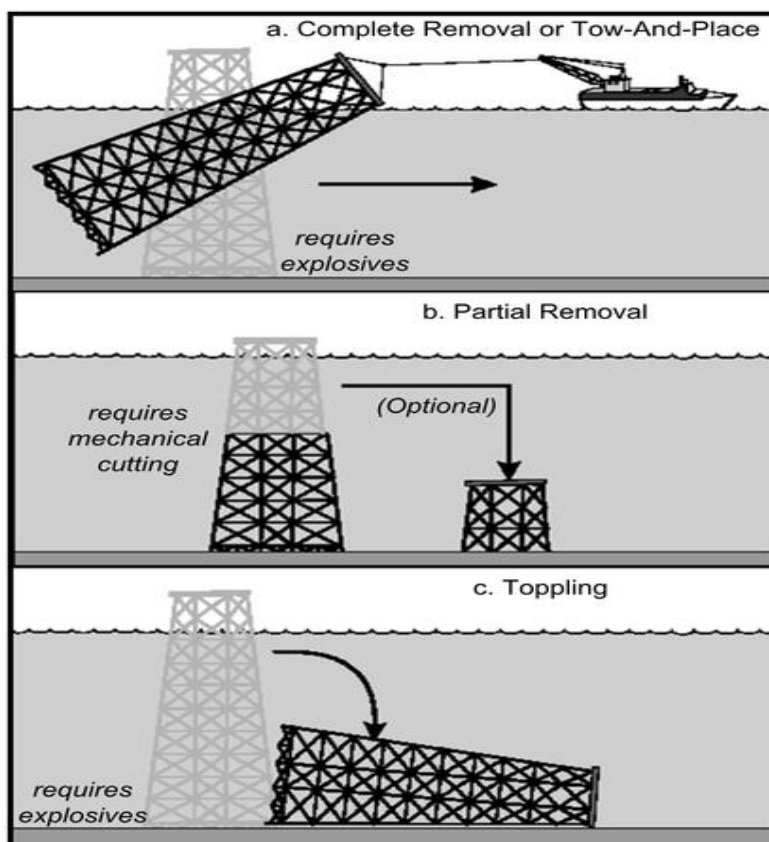
### 1.3.1. Problematiche del decommissioning

Conoscere la struttura di base delle piattaforme offshore è utile per comprendere le opzioni di decommissioning. Ogni piattaforma è composta da cinque sezioni principali, come mostrato nella **Fig. 8**: (1) Le strutture superiori del ponte sopra l'acqua che includono le apparecchiature e tubazioni per il trattamento di petrolio e gas (2), che devono essere trattate separatamente per far fronte a potenziali problemi di contaminazione. (3) Conduttori per pozzi, che sono tubi che dal ponte superiore giungono al pozzo (sul fondo del mare) per conduzione di trivellazioni, perforazione e raccolta di petrolio e gas. (4) “The jacket”, una struttura reticolare in acciaio che sostiene il ponte e lo fissa al fondo del mare e tumuli di conchiglie, talee di perforazione e detriti sul fondo del mare intorno alla piattaforma (5). Queste strutture comprendono resti caduti di molluschi e altri organismi marini che sono cresciuti su di essa, mescolati con frammenti di roccia e residui di fango derivanti dalle operazioni di perforazione.



**Figura 8.** Principali componenti di una delle più comuni piattaforme offshore. (da Manago and Williamson, 1998, workshop notes p.223)

Dopo che la piattaforma offshore ha concluso la propria fase estrattiva per esaurimento delle risorse, la disattivazione può comprendere una delle quattro alternative (**Fig. 9**): **a. Rimozione completa**: gli esplosivi vengono fatti esplodere per recidere i conduttori dei pozzetti, i pilastri e le gambe di supporto 5 m sotto il fondo del mare e la struttura viene rimorchiata a terra e demolita; **a. Tow-And-Place**: la struttura recisa viene rimorchiata in una posizione designata e posizionata sul fondo del mare; **b. Rimozione parziale**: i conduttori del pozzo, i pali e le gambe di supporto sono meccanicamente tagliate, di solito a 26 m di profondità, e poi facoltativamente riposizionate sul fondo del mare come habitat aggiuntivo; **c. Rovesciamento**: gli esplosivi vengono fatti esplodere per recidere i conduttori nel mezzo e le gambe di supporto su tre lati della piattaforma, l'intera struttura è piegata per rimanere in orientamento orizzontale sul fondale marino.



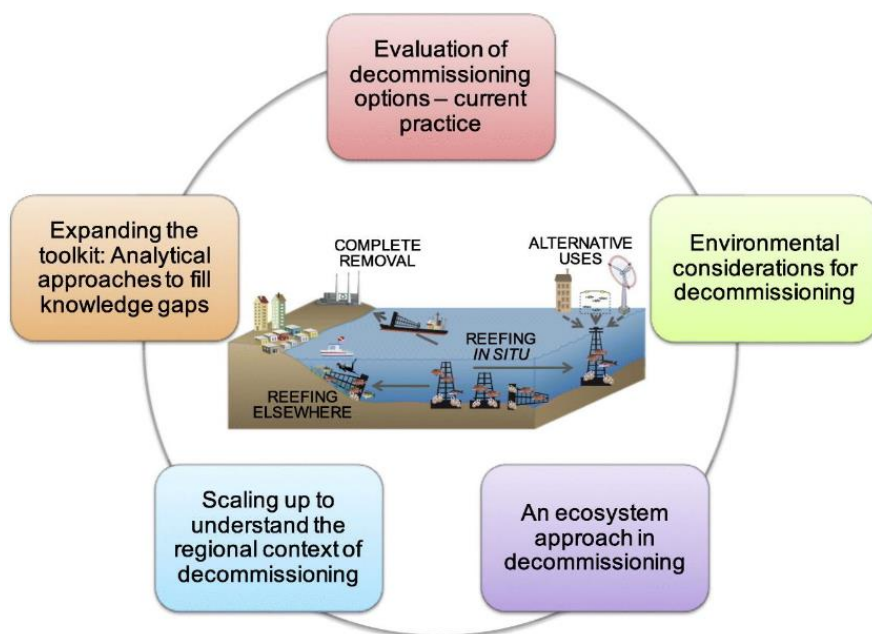
**Figura 9.** Le diverse alternative di decommissioning di una piattaforma offshore: **a.** Rimozione completa o Tow-And-Place; **b.** Rimozione parziale; **c.** Rovesciamento. (da Jeremy, 2015).

È evidente che tutte queste pratiche hanno un effetto disastroso sull'integrità del fondale con impatti profondi sulle comunità bentoniche e la funzionalità ecosistemica in generale (Jeremy et al., 2015). Per tale motivo si va verso scelte e procedure ecologicamente sostenibili. Il decommissioning delle infrastrutture offshore di petrolio e gas comporta sfide ambientali, ma anche opportunità. Dopo decenni in mare, queste strutture sostengono la vita marina attirando sorprendenti concentrazioni di pesci e fornendo un sito dove si ancorano mitili, cirripedi e altri invertebrati, molti dei quali di interesse commerciale. Nel Mare del Nord, ad esempio, le creature marine attaccate alle piattaforme offshore possono aumentare il peso di queste strutture fino al 30% (Sommer et al., 2019). Da una prospettiva umana, rimuovere le piattaforme di trivellazione fa sembrare le cose più incontaminate. Ma vista da sotto la superficie dell'acqua la cosa potrebbe essere diversa. Lasciare le strutture sul posto può effettivamente avere dei benefici e rimuoverle può causare danni. Quando le piattaforme per estrarre petrolio e gas vengono portate via, con loro se ne va anche il biota che le ha colonizzate e, dal momento che le strutture possono fornire connettività in aree in cui le scogliere naturali sono scarse, agendo come "trampolini di lancio" per consentire alle specie di passare da un'area all'altra dell'habitat, la loro perdita può anche avere effetti su un più ampio ecosistema marino (Sommer et al., 2019). Paradossalmente, le piattaforme petrolifere e di gas attive diventano di fatto una sorta di aree marine protette perché le norme di sicurezza escludono i pescherecci dall'area attorno ad esse. Le strutture dismesse lasciate completamente o parzialmente sul posto possono mantenere alcuni di questi benefici perché impediscono la pesca a strascico. Ad esempio, rimuovere tutte le piattaforme petrolifere e di gas dal Mare del Nord libererebbe circa 400 Km<sup>2</sup> alla pesca a strascico (Sommer et al., 2019).

Nessun metodo di smantellamento è il migliore in tutte le situazioni. C'è bisogno di un approccio ecosistemico alla disattivazione che prenda in considerazione l'intero spettro di benefici ambientali e rischi legati alle diverse opzioni (*Fig. 10*). Questo, in alcune regioni, come il Sud-est asiatico e l'Africa occidentale, richiederà più ricerche sul valore dell'habitat delle piattaforme offshore e anche di pensare al decommissioning in maniera più flessibile. In alcune regioni, come nel Mare del Nord, la rimozione completa delle piattaforme a fine vita è l'approccio predefinito ma, limitando le opzioni in anticipo, i pianificatori potrebbero non riuscire a identificare l'approccio migliore per l'ambiente. Ad esempio, un grande impianto offshore, come la piattaforma "Murchison" nel Mare del Nord settentrionale, aveva attirato grandi concentrazioni di pesci e si era formato un habitat per i coralli di acqua fredda. Ma i progettisti hanno deciso che, dal momento che quelle specie non ci sarebbero state se non fosse stato per l'impianto, non dovevano prendere in considerazione gli effetti della rimozione della piattaforma sulla comunità marina che si era instaurata (Sommer et al., 2019).

Le funzioni e i servizi ecosistemici aumentano con l'età della struttura e variano in base alla posizione geografica, in modo tale che le decisioni sul decommissioning debbano adottare un approccio ecosistemico che prenda in considerazione il loro habitat più ampio e i livelli della biodiversità. L'allineamento delle priorità di valutazione del decommissioning tra le autorità di regolamentazione e il modo in cui vengono valutate ridurrà la probabilità di prendere decisioni sullo smantellamento variabili e non ottimali. In definitiva, la gamma di opzioni di decommissioning consentite deve essere ampliata per ottimizzare i risultati ambientali del decommissioning lungo tutta l'ampia gamma di ecosistemi in cui si trovano le piattaforme (Sommer et al., 2019).

C'è un crescente interesse per sviluppare utilizzi alternativi per le vecchie infrastrutture petrolifere e del gas. Le piattaforme dismesse potrebbero diventare hotel, siti per la pesca sportiva, punti di immersione, ospitare impianti eolici o per la produzione di energia con il moto ondoso, infrastrutture per la cattura e lo stoccaggio del carbonio, stazioni di ricerca o strutture per la maricoltura. Questo è il fulcro del progetto *PON PlaCE* che ha come obiettivo principale lo sviluppo di metodologie ecosostenibili di riconversione delle piattaforme offshore.



**Figura 10.** *Decommissioning of offshore oil and gas structures. Environmental opportunities and challenges. (da B. Sommer et al., 2019).*

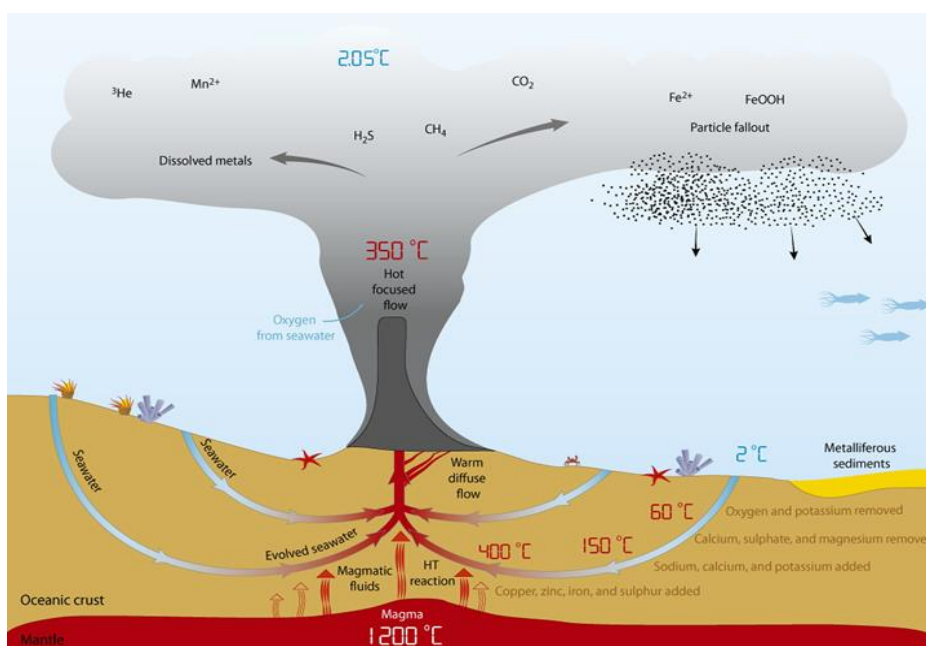
### ***1.3.2. Il progetto PON PlaCE***

Il progetto **PON** Ricerca e Innovazione 2014-2020 (Area di specializzazione: Blue Growth) dal titolo **“Conversione di Piattaforme Offshore per usi multipli eco-sostenibili (PlaCE)”** mira a testare, per la prima volta a livello nazionale, tecnologie d’avanguardia e soluzioni per il riutilizzo eco-sostenibile di piattaforme offshore, situate di fronte alla costa abruzzese, alla fine della loro fase produttiva. In particolare, sarà applicata la tecnologia di accrescimento minerale mediante elettrolisi a bassa tensione di acqua marina per proteggere le piattaforme dalla corrosione permettendone il loro riutilizzo per una nuova economia ecosostenibile. Le attività del *PlaCE* comprenderanno: applicazione di strategie ecosostenibili d’avanguardia di acquacoltura basata su allevamento integrato di molluschi e oloturie, progettazione e sviluppo di sistemi innovativi per la produzione di energia rinnovabile necessaria per l’attività della piattaforma, sviluppo di sistemi integrati per valutare la sostenibilità ecologica delle attività di piattaforme multifunzione e la loro manutenzione, analisi costi-benefici e scenari di business, considerando anche settori ricreativi. Il **PON PlaCE** rappresenta un'importante opportunità per modificare l'approccio al mare e allo sfruttamento delle sue risorse e contribuirà alla crescita blu dei settori coinvolti, promuovendo diversificazione e sinergie, migliorando attrattività, competitività e innovazione sia a livello regionale che a livello nazionale.



#### 1.4. ECOLOGIA DEGLI HYDROTHERMAL VENTS

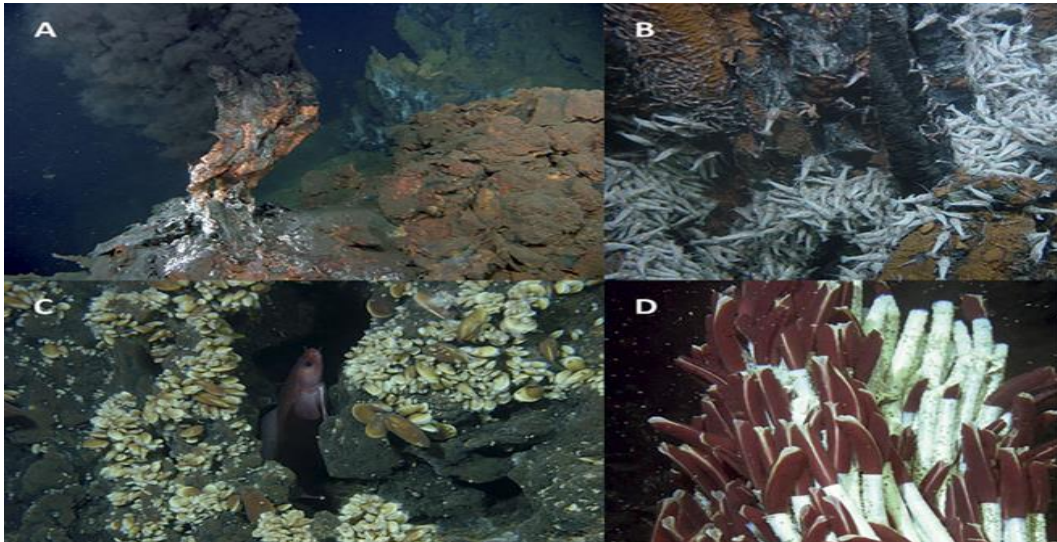
Il movimento delle placche tettoniche può creare delle spaccature nel fondale marino con fuoriuscita di magma. La lava a contatto con l'acqua profonda, che risulta essere più fredda, si solidifica formando dei pinnacoli di basalto dai quali si ha emissione di fumo grigio-nero. L'acqua fredda penetra nel sedimento e, raggiunte le massime temperature, fuoriesce mischiandosi con l'acqua ricca di ossigeno, portando così alla formazione di precipitati. Le emissioni formano una sorta di geysir sottomarini da cui fuoriesce acqua molto calda ricca di gas contenenti isotopi di elio, metano e idrogeno. Questi fluidi sono anche particolarmente ricchi di metalli come zinco, ferro, manganese, rame e metalli preziosi come argento, oro e platino. A questi si sommano elementi altamente tossici tra cui cadmio, mercurio e arsenico. Il meccanismo di mescolamento dei fluidi con l'acqua fredda profonda porta ad una rapida precipitazione di piccoli fiocchi di solfuro di ferro e lo sviluppo di fumo nero ricco di particelle che fuoriesce dai pinnacoli (Danovaro, 2013). (*Fig. 11*).



**Figura 11.** Rappresentazione schematica dei processi alla base delle fuoriuscite idrotermali (fonte GRID-Arendal, 2014).

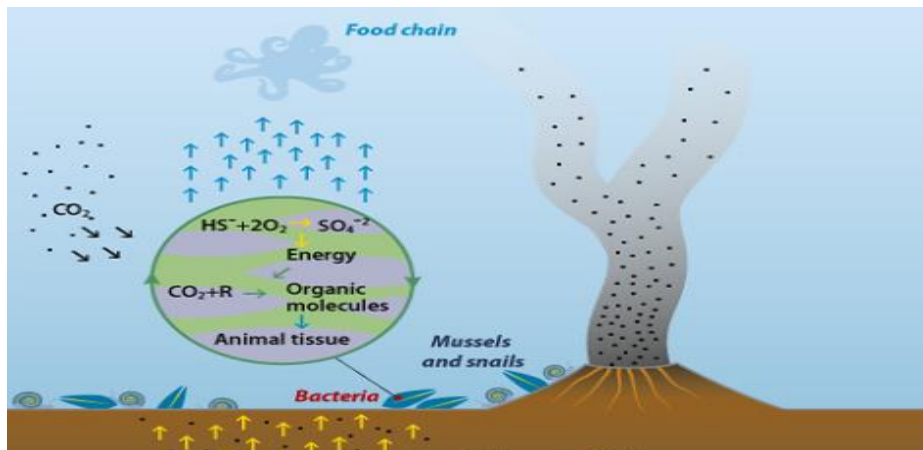
I pinnacoli dai quali fuoriesce il fluido possono elevarsi per centinaia di metri dal fondale marino e il diametro delle aperture è generalmente intorno ai 10 cm circa. Tale fluido, degli *hydrothermal vents*, fornisce l'energia necessaria per lo sviluppo di una ricca fauna associata, che però deve far fronte a notevoli fluttuazioni di temperatura e concentrazioni di ossigeno, oltre che alla presenza di una pioggia di precipitati inorganici. Per questo motivo gli organismi devono mettere in atto una serie di adattamenti e rapporti simbiotici per sopravvivere a tali condizioni estreme (Danovaro, 2013). Specie caratteristica, nelle *hydrothermal vents* profonde, è il bivalve *Calyptogena magnifica* che possiede batteri simbiotici che si alimentano di solfati e rilasciano essudati utilizzabili dal mitile. Oltre a questa simbiosi, *C. magnifica* possiede una proteina che lega i solfuri, proteggendo l'emoglobina dagli effetti tossici di questi ultimi. Altra specie tipica è il vestimentifero *Riftia pachyptila* a cui vivono associati anemoni e gamberetti del genere *Alvinocaris* che riescono a nutrirsi mediante batteri simbiotici situati nelle camere branchiali e sul carapace. In *R. pachyptila* l'emoglobina, oltre ad avere un'elevata affinità per l'ossigeno, lega lo zolfo, permettendo il trasporto simultaneo di entrambi i gas nel trofosoma, dove sono presenti batteri simbiotici, prevenendo così reazioni tossiche nel sangue. Una specie endemica dei vents profondi della dorsale pacifica è il polichete *Alvinella pompejana*, che mostra una straordinaria capacità di resistenza a temperature superiori ai 100°C. Oltre ad ospitare batteri simbiotici su chete e parapodi è dotato di meccanismi interni di raffreddamento che permettono la dispersione del calore (Danovaro, 2013). La distribuzione della fauna associata vede la presenza di vestimentiferi nella vicinanza dell'emissione, segue poi una fascia a bivalvi con batteri chemioautotrofi simbiotici che progressivamente lasciano spazio ai filtratori (**Fig. 12**). In periferia si sviluppano comunità sempre meno dipendenti da batteri simbiotici e meno sottoposte alle condizioni estreme che si

verificano in prossimità del pinnacolo. Le particolari condizioni delle fuoriuscite idrotermali fanno sì che ci sia una presenza cospicua di endemismi e una conseguente biodiversità elevata di tali ecosistemi.



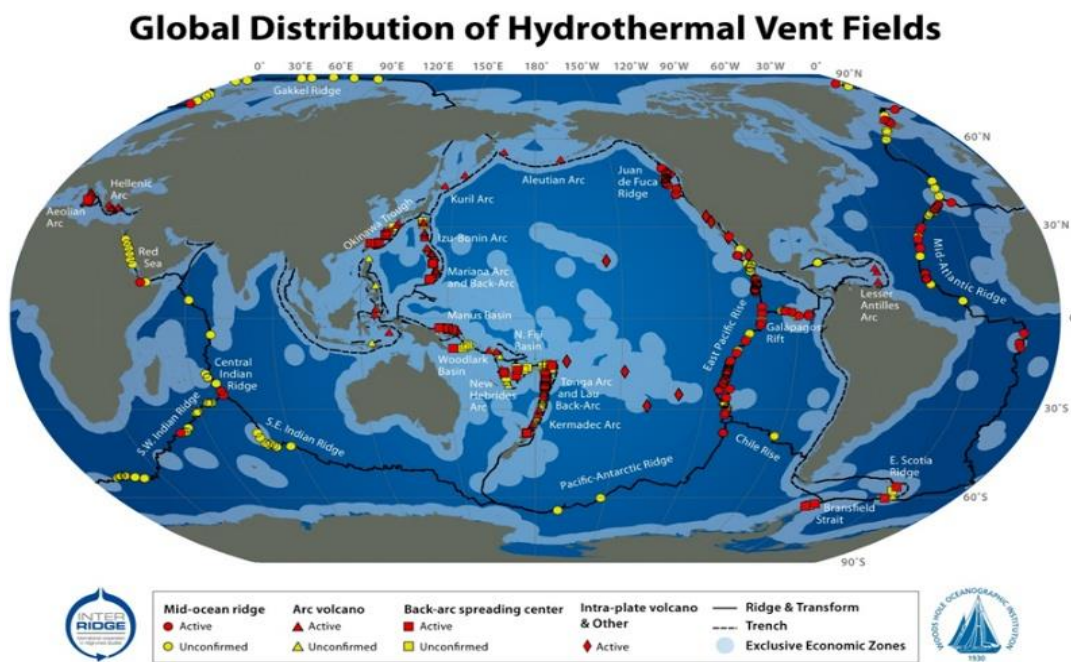
**Figura 12.** Esempi di ecosistemi idrotermali profondi. **A:** pinnacoli con emissione di fumo nero della cresta del Medio Atlantico; **B:** gamberetti *Rimicaris exoculata* (genere *Alvinocaris*) in Medio Atlantico; **C:** letto di mitili in Medio Atlantico; **D:** *Riftia pachyptila* nell'est Pacifico. (Foto A, B & C, Missao SEHAMA, 2002. Foto D, Van Dover, Duke University, USA).

Termofili riduttori di zolfo e solfati, metanogeni e ferro-ossidanti influiscono sulla produzione primaria con conseguente trasferimento di energia verso i livelli trofici superiori. Grazie alla produzione chemioautotrofa (**Fig. 13**) della comunità microbica i gas emessi vengono utilizzati come fonte di energia, convertiti in biomassa procariotica ed infine ritrasformati in energia. (Danovaro, 2013).



**Figura 13.** Produzione chemioautotrofa della comunità microbica alla base dei vents profondi. (fonte GRID-Arendal, 2014).

L'attività idrotermale sottomarina svolge un ruolo fondamentale nella vita dell'oceano poiché guida molti processi che si sviluppano sul fondo del mare. Le fuoriuscite idrotermali indicano la presenza di fonti di energia termica sotto il fondale marino, consentendo la circolazione dell'acqua di mare attraverso fratture delle rocce magmatiche calde. Questo processo, apparentemente semplice, è responsabile del riciclaggio di molti elementi chimici dalle rocce all'acqua di mare. La peculiare attività microbica che si sviluppa dentro e intorno alle fuoriuscite idrotermali è spesso, in particolare nei sistemi idrotermali oceanici profondi, l'unica forma vivente in grado di nutrirsi e crescere usando elementi chimici invece della materia organica (Esposito et al., 2018). Sebbene la presenza di *vents* ad alta temperatura e grandi camini fosse precedentemente indicata solo per l'oceano profondo, l'esistenza di sistemi idrotermali situati a basse profondità è stata documentata in diverse aree vulcaniche in tutto il mondo (Tarasov et al., 2005). Nel Mar Mediterraneo le sorgenti idrotermali attive si trovano al largo di alcune isole greche e lungo l'arco eoliano. Nella **Fig. 14** è riportata la distribuzione lungo le creste oceaniche degli *hydrothermal vents* presenti a livello globale.



**Figura 14.** Distribuzione globale delle sorgenti idrotermali (fonte PMEL).

Il pH dell'acqua delle fuoriuscite idrotermali è una variabile importante nei processi geochimici. Un basso pH può influenzare la composizione del sedimento mediante la dissoluzione dei sedimenti carbonatici (Burdige e Zimmerman, 2002) e compromettere l'incorporazione di carbonati di calcio negli organismi che formano gusci (Green et al., 1993). All'acidificazione dell'acqua marina, associata al rilascio di anidride carbonica in sistemi idrotermali poco profondi, consegue una riduzione della densità di alghe calcaree e invertebrati in prossimità dei siti a pH ridotto, con segni di dissoluzione dei gusci dei gasteropodi (Hall-Spencer et al., 2008). Lo scarico di gas vulcanici nell'ambiente marino può portare a fluttuazioni locali dell'acidità delle acque con conseguenze non solo per le comunità biologiche, ma anche cambiamenti nella litologia dei sedimenti e potenziali rischi legati alla depressurizzazione e rilascio di gas tossici e fluidi, fino a temperature di 220°C, in superficie (Carey et al., 2013). La dissoluzione dei gas probabilmente provoca aumenti locali della densità dell'acqua che si traducono in sequestri di CO<sub>2</sub> all'interno del cratere e in un accumulo di acido in acqua di mare. Le fuoriuscite possono assumere la composizione di goccioline liquide o bolle di gas, a seconda delle condizioni di pressione-temperatura del sito. I siti di acque poco profonde sono tipicamente caratterizzati da flussi di bolle di gas di CO<sub>2</sub> (McCarthy et al., 2005). Questi siti offrono importanti opportunità per studiare la composizione dei gas rilasciati nell'oceano, il loro contributo al flusso globale di carbonio e i loro potenziali impatti ambientali (Lupton et al., 2008; Embley et al., 2007). In particolare, possono servire per lo sviluppo di esperimenti naturali sull'acidificazione oceanica (Hall-Spencer et al., 2008; Tunnicliffe et al., 2009). Poiché i gas si raffreddano vicino al fondo del mare, il vapore si condensa e può significativamente diluire la salinità dell'acqua di sfiato. Questa diluizione si verifica anche nei sistemi idrotermali profondi ma è più importante nei sistemi di acque poco profonde in cui il punto di

ebollizione dell'acqua di mare è più basso, a causa della pressione idrostatica minore (Butterfield et al., 1990). Nella maggior parte delle analisi dei gas provenienti dalle fuoriuscite idrotermali sottomarine segnalate in Mediterraneo la principale componente dei gas è la CO<sub>2</sub>. (Dando et al., 1995; Italiano e Nuccio, 1991). Tra gli altri gas, è stato riportato l'acido solfidrico a concentrazioni, in volume, fino al 6,5% nell'arco calabrese (Italiano e Nuccio, 1991) e 8,1% nell'arco vulcanico ellenico (Dando et al., 1995). L'idrogeno e il metano sono altri componenti importanti che caratterizzano queste aree (Dando et al., 1995). I fluidi di sfiato idrotermali sono comunemente ricchi di composti di zolfo ridotti che sostengono la produzione dei batteri chemioautotrofi zolfo-ossidanti. Quelle del Mediterraneo ospitano anche alcuni batteri spettacolari che, ad oggi, non sono stati descritti in altri sistemi idrotermali. Ad esempio, il batterio zolfo-ossidante *Achromatium volutans* (Hinze, 1903). I sedimenti attorno ai vents delle Isole Kameni, nella Caldera di Santorini, sono colonizzati dal batterio microaerofilo ossidante del ferro *Gallionella ferruginea* (Holm, 1987; Puchelt et al., 1973). Diversi nuovi gruppi di termofili e ipertermofili sono stati isolati da zone ad alta temperatura in diverse fuoriuscite idrotermali sottomarine in acque poco profonde nel Mar Tirreno (Huber et al., 1986; Stetter et al., 1987). La maggioranza di questi procarioti appartengono ai Crenarchaeota e hanno un grande potenziale per future applicazioni biotecnologiche (Leuschner e Antranikian, 1995).

#### ***1.4.1. Hydrothermal vents delle Isole Eolie***

In prossimità delle Isole Eolie è presente un sistema idrotermale che risulta essere unico nel Mediterraneo, chiamato **“Smoking Land”** (*Terra Fumante*) a causa dell'intensa attività esalativa, caratterizzato da oltre 200 camini vulcanici. Questo sito, nello specifico l'area tra Panarea e la piccola isola di Basiluzzo, è oggetto di studio della seguente tesi e verrà meglio

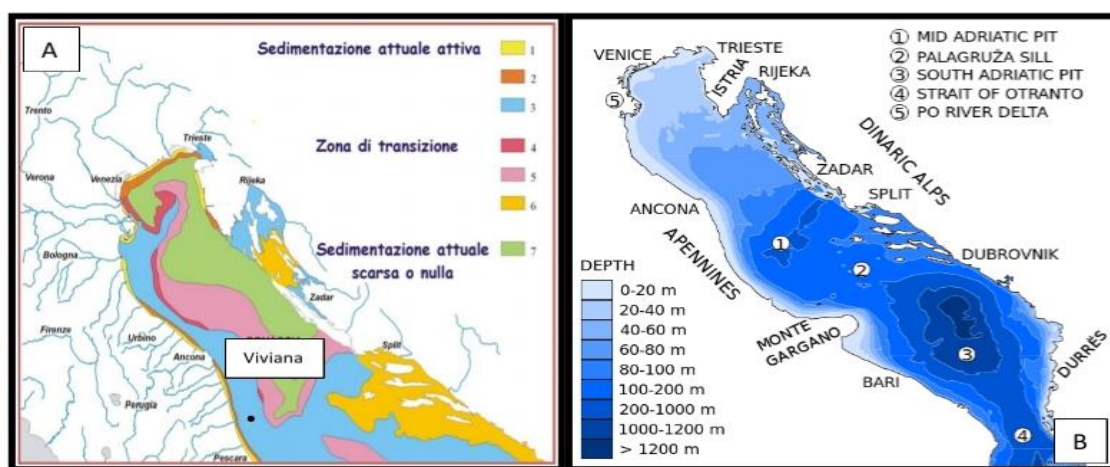
descritto nei capitoli successivi. La composizione geochimica ricca di metalli di queste strutture idrotermali, la presenza di batteri chemiosintetici e le emissioni di fluidi arricchiti di anidride carbonica e sostanze chimiche tossiche, rendono la Terra Fumante altamente interessante dal punto di vista scientifico (Esposito et al., 2018). Dopo l'intensa attività verificatasi nel 2002 sono state condotte numerose spedizioni da parte dell'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle ricerche (ISMAR-CNR), dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) con la collaborazione della Marina Militare che hanno portato alla luce un sito idrotermale con proprietà uniche nel Mediterraneo, riscontrabili soltanto in alcune aree oceaniche. Quest'area può essere considerata come un laboratorio naturale per testare ipotesi sull'effetto del cambiamento climatico locale e globale, sulla biodiversità marina e sul funzionamento dell'ecosistema (Beaubien et al., 2014). Ad oggi, la "Terra Fumante" sembra non essere particolarmente colpita dagli impatti antropici, sebbene la presenza di alcuni attrezzi da pesca persi sul fondo sia stata osservata attraverso diverse esplorazioni con il ROV. Dato che le Isole Eolie sono caratterizzate da un intenso turismo stagionale e dalla presenza di un'importante pesca artigianale, l'area dovrebbe essere preservata dai potenziali impatti generati da queste attività sulle fragili strutture idrotermali e sulla fauna associata. A tal fine, la futura istituzione di un'area marina protetta nell'arcipelago delle Eolie, secondo la legge italiana 979/82 art. 31, potrebbe tener conto della conservazione di quest'area durante il processo di pianificazione della zonazione (Battaglia et al., 2009).

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1. PROGETTO PON PlaCE (2019)

#### 2.1.1. Area di studio

Il mare Adriatico è un bacino allungato con orientamento NW-SE; esso è lungo circa 800 km e largo 200 km. L'area settentrionale è poco profonda, raramente supera una profondità di 46 m, mentre nella parte centrale la profondità raggiunge i 270 m. La scarpata continentale si trova a circa 500 km dal confine settentrionale del Mar Adriatico e ne separa la parte del bacino centrale da quello meridionale, dove la profondità raggiunge i 1200 m (Fossa Adriatica). La circolazione principale è dominata dalla Eastern Adriatic Current (EAC), che scorre in senso antiorario da SE a NW lungo il lato orientale, e dalla corrente Western Adriatic Current (WAC), che scorre da NW a SE lungo quello occidentale. Il lato occidentale è caratterizzato da fondali morbidi che cambiano gradualmente da fango costiero a sabbie relitte al largo (**Fig. 15**). Inoltre, l'area inshore è interessata da un grande afflusso fluviale che genera un abbondante input di nutrienti con aumento della produzione primaria vicino alla superficie e della domanda di ossigeno vicino al fondo con periodiche condizioni di ipossia e anossia, elevato apporto di materia organica e alti tassi di sedimentazione.



**Figura 15.** **A:** Schema della distribuzione dei sedimenti superficiali in Adriatico. 1: sabbie costiere; 2: sabbie siltose e silt sabbiosi; 3: silt argillosi e argille siltose; 4: loam; 5: sabbie argillose; 6: sabbie di piattaforma; 7: sabbie di piattaforma. **B:** Schema batimetrico del Mar Adriatico.

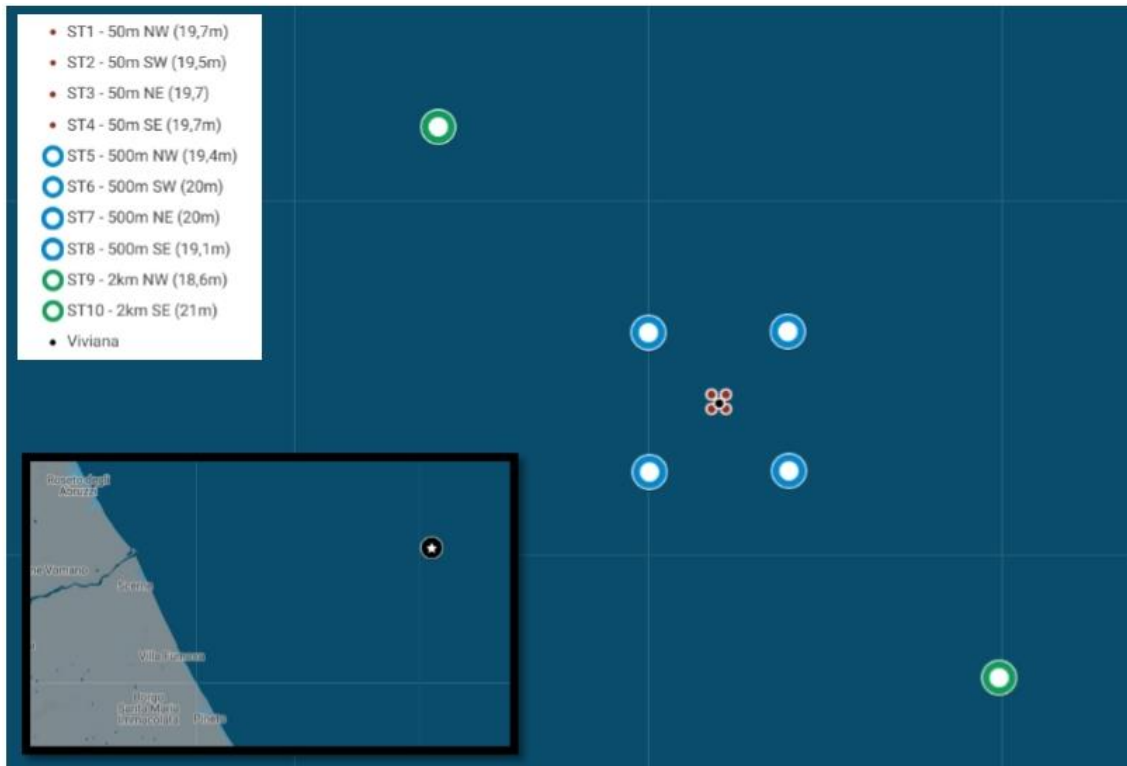


Al contrario, l'area offshore è caratterizzata da condizioni più stabili rispetto al litorale, essendo meno influenzata dalla circolazione ciclonica adriatica e dal contributo terrigeno dei fiumi. (Crema et al., 1991; Marini et al., 2008; Djakovac et al., 2015). L'area di studio si inserisce nel medio Adriatico, che si estende dalla congiungente Ancona-Zara fino alla congiungente Gargano-Lastovo, e prende in considerazione la piattaforma offshore “Viviana” (Operatore ENI). Quest'ultima è una piattaforma monotubolare, ex estrattiva di gas, installata nel 1998 e posta davanti alla costa abruzzese, tra Roseto e Pineto, ad una distanza dalla costa di circa 9 km. Essa è collegata alla centrale di Pineto e alla vicina piattaforma offshore Fratello Nord ed è caratterizzata da una profondità del fondale di 20 m.

### ***2.1.2. Strategia e metodi di campionamento***

La strategia di campionamento dei sedimenti è stata organizzata mediante attività di campionamento lungo due transetti centrati sulla piattaforma e perpendicolari tra loro, di cui uno orientato in direzione da NW a SE (direzione corrente dominante) e il secondo in direzione NE-SW. Le stazioni di campionamento (**ST**), in numero pari a otto, sono state poste a distanza crescente dalla piattaforma di cui le più esterne a 500 m e le più interne a 50m di distanza da questa. A queste sono state aggiunte due ulteriori stazioni di controllo (2 km NW e 2 km SE dalla piattaforma), per un totale di dieci stazioni (**Fig. 16**), e per ognuna di esse sono stati effettuati tre deployment (R) mediante *Benna Van Veen* da 50 kg della Ecotech System (40 litri). Per le analisi relative alla macrofauna il sedimento è stato filtrato con setaccio da 500  $\mu\text{m}$  e la componente superiore a tale range dimensionale è stata successivamente stoccata in barattoli da campionamento. Oltre a tale procedimento sono state effettuati

campionamenti per l'attuazione di indagini relative alla diversità e abbondanza della meiofauna con l'utilizzo di carote, più raccolta di materiale per l'analisi di carichi organici e presenza di metalli.



**Figura 16.** Strategia di campionamento PON PlaCE (2019). Sono rappresentate le diverse stazioni (ST) con i dati della relativa distanza dalla piattaforma Viviana, coordinate geografiche e profondità.

### 2.1.3. *Trattamento dei campioni in laboratorio e analisi dei dati*

In laboratorio, i campioni di macrofauna sono stati prima scongelati e poi setacciati mediante setaccio da 500  $\mu\text{m}$  per la rimozione dei residui del sedimento fangoso che caratterizza l'area di campionamento, facilitando così l'individuazione degli organismi al momento del *sorting* allo stereomicroscopio. Gli organismi estratti, conservati successivamente a -20°C in acqua di mare, sono quindi stati contati per le analisi di abbondanza, pesati per le analisi relative alla biomassa e riconosciuti a livello tassonomico fino al livello di specie, laddove è stato possibile. Per l'identificazione sono state utilizzate diverse chiavi dicotomiche:

- Arias A., Paxton H., 2015. Onuphis and Aponuphis from southwestern Europe, with the description of a new species. *Zootaxa* 3949 (3): 345-369.
- Brendan D.S. O'Connor, 1987. The Glyceridae of the North Atlantic and Mediterranean, with description of two new species. *Journal of Natural History*, 21: 167-189.
- Cantone G., 1993. Censimento dei Policheti dei mari italiani: Eunicidae Berthold, 1827. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Serie B*, 100.
- Costa F., Krapp T., Ruffo S., 2009. *Atlante degli Anfipodi mediterranei, guida illustrata a colori*. Ugo Mursia Editore.
- D'Alessandro M., Romeo T., Castriota L., Cosentino A., Perzia P., 2016. New records of Lumbrineridae in the Mediterranean biogeographic province, with an updated taxonomic key. *Italian Journal of Zoology*, Vol. 83: 233-243.
- Enrico Tortonese, 1996. *Fauna d'Italia: Echinodermata*. Edizioni Calderini Bologna.
- Fage L., 1951. Cumacès, Faune de France. *Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles*, Paris. Pp. 136.
- Falciai I., Minervini R., 1995. *Guida del los Crustaceos Decàpodos de Europa*. OMEGA.
- Fanelli C., Perna E., Squizzato E., *Simple Guide to the Mediterranean Sea Molluscs*. International Teaching Malacology Project, version 2.1.
- Gravina M.F., Somaschini A., 1990. Censimento dei Policheti dei mari italiani: Capitellidae Grube, 1862. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Serie B*, 97: 259-285.
- Holdich D.M., Jones J.A., 1983. *Tanaids. Keys and Notes for the Identification*, n°27. Cambridge University Press, Cambridge. London. New York, Melbourne, Sydney. Pp. 98

- John H., 1967. A Monography on the Polychaeta of Southern Africa. Vol. 1: 20-29.
- Naylor E., 1972. British Marine Isopods. Key and Notes for the Identification. Synopes of the British Fauna n°3. Accademic Press, London and New York. Pp. 80.
- Ruffo S., 1982. The Amphipoda of the Mediterranean, part 1: Gammaridea: Acanthonotozomatidae to Gammaridae. Memoires dell'Institute Oceanographique, Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco. Pp. 392.
- Ruffo S., 1982. The Amphipoda of the Mediterranean, part 2: Gammaridea: Hustoriidae to Lysianassidae. Memoires dell'Institute Oceanographique, Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco. Pp. 228.
- Ruffo S., 1982. The Amphipoda of the Mediterranean, part 3: Gammaridea: Melphidippidae to Talitridae, Ingolfiellidea, Caprellidea. Memoires dell'Institute Oceanographique, Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco. Pp. 252.
- Ruffo S., 1982. The Amphipoda of the Mediterranean, part 4: Localities and Maps, Addenda to Parts 1-3, Key to Families, Ecology, Faunistic and Zoogeography, Bibliography, Index. Memoires dell'Institute Oceanographique, Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco. Pp. 84.
- Worsfold T.M, Guillermo S.T., 2015. Guide and keys for the identification of Syllidae from the British Isles. ZooKeys 488: 1-29.

I dati delle comunità macrobentoniche sono stati analizzati mediante analisi univariate e analisi multivariate attraverso l'utilizzo di due diversi programmi di analisi statistica di dati ecologici: *PAST 4.04* (Hammer et al., 2001) e *PRIMER6&PERMANOVA+* (Anderson et al., 2008). Per analizzare

la struttura delle comunità sono state utilizzate tecniche statistiche multivariate che prendono in considerazione più variabili contemporaneamente. Queste operano un confronto tra tutti i campioni e permettono di evidenziare le somiglianze in termini di composizione e struttura. A partire dalla matrice originale dei dati vengono calcolati gli indici di similarità che operano dei confronti a coppie di campioni generando in tal senso una matrice di similarità triangolare. La similarità tra coppie di campioni è stata calcolata usando il coefficiente di dissimilarità di Bray-Curtis. La scelta ricade su questo indice perché fornisce i risultati più affidabili nello studio delle comunità bentoniche (Faith et al., 1987). Il disegno sperimentale ha previsto come fattore fisso di variazione il transetto (4 livelli: NW, SW, NE, SE) e come valore random la distanza dalla piattaforma (3 livelli: 50 m, 500 m, 2 km), gerarchizzati fra loro (nested). Per la rappresentazione grafica dei risultati di similarità è stata applicata la tecnica di ordinamento dell'**nMDS** (*non-metric Multi Dimensional Scaling, Unconstrained*) e l'analisi canonica delle coordinate principali (**CAP**, constrained) sui fattori significativi in base ai risultati della PERMANOVA. Le differenze tra i siti di campionamento sono state quindi analizzate attraverso l'analisi della varianza permutazionale (**PERMANOVA**). Per valutare la percentuale di dissimilarità nella composizione tassonomica della macrofauna e per identificare i taxa che descrivono le differenze osservate sono state effettuate analisi **SIMPER** (*similarity percentage*) in relazione alla distanza. Sono state condotte poi analisi in relazione all'abbondanza totale, biomassa totale e diversità totale misurata con l'indice di Shannon-Wiener (*Univariate Diversity indices*)  $H'(\log_e)$ . Per ogni variabile è stata condotta l'analisi univariata della varianza a due fattori (two-way **ANOVA**: Distanza, Transetto). Sono state poi effettuate le stesse analisi (nMDS, CAP e PERMANOVA) escludendo le stazioni poste a 2 km di distanza dalla piattaforma, in modo da ottenere

un disegno sempre a due fattori ma ortogonali tra loro e poter effettuare i *pair-wise test* per i fattori Distanza, Transetto e Transetto\*Distanza. Infine, è stato elaborato un modello lineare (*Distance-base Linear Model*, DISTLM) utilizzando l'*Aikake Information Criterion (AIC)* come selection criterion e Step-wise come selection procedure, per identificare le variabili ambientali (qualità e composizione della materia organica nei sedimenti) o biologiche (abbondanza di meiofauna totale, nematodi e copepodi) responsabili delle differenze nei campioni della macrofauna analizzati. I dati sulla composizione e qualità della materia organica e sulla meiofauna sono stati oggetto di studio di una diversa tesi sperimentale inerente allo stesso progetto (Amodio Simona, Tesi di Laurea Magistrale in Biologia Marina, UNIVPM, ottobre 2020). Prima di realizzare il modello è stata testata la collinearità tra le diverse variabili, attraverso i risultati ottenuti dalle correlazioni di **Draftsman** (e la loro rappresentazione grafica, Draftsman plot). Le variabili che presentavano valori di correlazione superiori a 0.7 sono state escluse dal modello, poiché ridondanti. La rappresentazione grafica della correlazione tra comunità biotica e le variabili sopracitate è stata ottenuta mediante *Distance-based redundancy analysis (dbRDA)*.

## **2.2. HYDROTHERMAL VENTS PANAREA (2015)**

### **2.2.1. Area di studio**

L'intero sistema idrotermale sottomarino dell'isola di Panarea è ampio 70 km<sup>2</sup> e include sfiati attivi caratterizzati da un intenso scarico di gas dominati da CO<sub>2</sub> e fluidi termici con temperature fino a 140°C (English e Nuccio, 2009). Questo sistema idrotermale ha subito un brusco aumento dell'attività di ventilazione nel novembre 2002 a causa dell'iniezione di fluidi magmatici nel corpo geotermico profondo, che ha causato un'esplosione sottomarina a bassa energia uccidendo quasi tutta la materia vivente in zona (Caracausi et al., 2005). È stato dimostrato inoltre che la sollevazione di nuovo magma nella vicina isola vulcanica di Stromboli ha permesso ai composti volatili magmatici caldi di migrare verso Panarea attraverso la normale faglia attiva che collega i due edifici vulcanici (Heinicke et al., 2009). Attorno all'isola di Basiluzzo sono stati segnalati anche processi idrotermici che producono depositi di solfuro e camini ricchi di Fe (Savelli et al., 1999). Nonostante le numerose e dettagliate informazioni esistenti sulle caratteristiche geomorfologiche del complesso vulcanico di Panarea, sono ancora in corso indagini su questo sistema idrotermale sottomarino. Recenti studi hanno messo in luce la presenza di nuove strutture con forme diverse rispetto a quelle precedentemente indagate, costituite da camini di varia dimensione con evacuazione diffusa di gas e fluidi termici. Tale presenza di un gran numero di camini attivi e di diversa conformazione ha fatto sì che l'area in questione sia stata denominata "**Smoking Land**" (Esposito et. al., 2018). Il complesso vulcanico di Panarea rappresenta la parte emergente di un vulcano composito sottomarino, appartenente all'Arco Eoliano nel Tirreno meridionale, in gran parte smantellato dall'erosione e dal regime neotettonico (Romagnoli et al., 2012). La storia eruttiva di questo ampio

sistema vulcanico si articola in sei successive epoche eruttive con periodi di attività vulcanica separati da stadi di quiescenza, l'ultimo dei quali ha contribuito alla collocazione della cupola endogena di Basiluzzo (Favalli et al., 2005). Gli isolotti di Panarea e Basiluzzo sono circondati da una piattaforma di abrasione, simile per dimensioni a quella delle altre Isole Eolie. Ad est di Panarea, gli isolotti di Basiluzzo, Dattilo, Panarelli, Lisca Bianca, Bottaro, Lisca Nera e Formiche formano un piccolo arcipelago che emerge dalla piattaforma sottomarina erosa alla sommità del vulcano. Resti delle strutture vulcaniche primarie, come centri eruttivi e cupole laviche, sono rintracciabili ad esempio alla Secca dei Pesci, all'area S e SW di Panarea e al NW e NE di Basiluzzo (Gabbianelli et al. 1993; Esposito et al. 2006). La struttura tettonica attiva più notevole dell'area è un graben con andamento NNE-SSO, NE-SW, situato a nord-est di Panarea. Il confine occidentale del graben, costituito da un array di faglie estensionale con andamento NNE-SSO, NE-SW, coincide con una serie di scarpate, lungo le quali affiorano rocce vulcaniche fresche. Lo sfiato del gas è frequente alla base e alla sommità di queste faglie. Nelle aree sedimentate prossime alle faglie l'idrotermalismo è testimoniato dalla presenza di macchie bianche di mineralizzazione solfidrica e accumuli di sedimenti color ocra ricchi di Fe e rossi contenenti frammenti di croste di ossido di Fe consolidate (Gamberi et al., 1997). Nell'area oggetto della tesi, in particolar modo tra l'isola di Panarea e quella più piccola di Basiluzzo (**Fig. 17**), la presenza di attività idrotermale è stata rilevata da diversi autori che hanno evidenziato la presenza di fuoriuscita di gas, macchie bianche, stuoie batteriche e precipitati di Fe-ossidrossidi rispetto all'attività idrotermale centrale. Inoltre, a sud dell'isolotto di Basiluzzo, lungo e in prossimità della faglia orientale, sono state segnalate massicce deposizioni di solfuro arricchito di Ba-Pb-Zn. (Marani et al., 1997). Circa 200 camini, differenti per forma e dimensione, sono stati descritti mediante ROV.

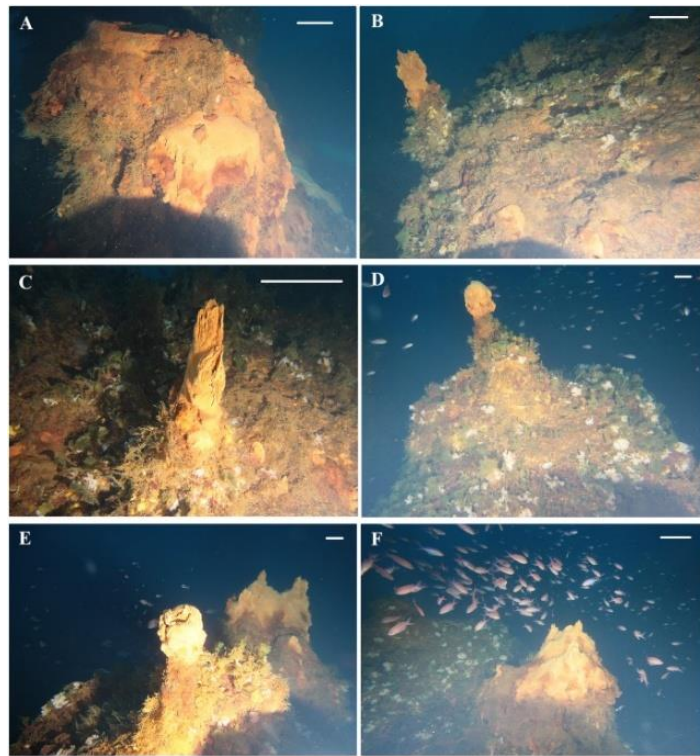




**Figura 17.** Mappa del complesso vulcanico di Panarea e Basiluzzo che mostra l'area di studio. (fonte ISMAR-CNR, 2013).

Nel complesso queste strutture sono caratterizzate da un'ampia colonizzazione biotica e dalla presenza di precipitati di colore da giallo e rosso composti da ossidrossidi di ferro, distribuiti lungo il corpo dei camini o in prossimità delle bocche superiori e laterali (**Fig. 18**). Tra tutti i camini osservati, alcuni mostrano una chiara attività effusiva con emissione di pennacchi di bolle o fluidi idrotermali, aventi densità visibilmente diversa rispetto all'acqua marina circostante (Esposito et al., 2018). L'area esplorata senza ventilazione, situata a ridosso dei margini nord e sud della *Smoking Land*, è rappresentata dalla zona occidentale della depressione ed è caratterizzata da una topografia relativamente piatta e da diverse condizioni del fondo marino, comprese sabbie grossolane e detritiche con rocce emergenti e crosta ricca di Fe ricoperta da sedimenti fini senza evidenza di emissioni idrotermali. A nord-ovest, la depressione è delimitata da un bordo in leggera pendenza costituito da lava, depositi di tufo e accumuli sovrapposti di rocce vulcaniche probabilmente affioranti dalle vicine faglie

lineari (Esposito et al., 2018). Indagini tramite CTD nella colonna d'acqua sovrastante la *Smoking Land* mostra un motivo a tre strati con un livello superficiale più caldo e meno ossigenato e uno strato inferiore caratterizzato da una generale diminuzione del pH e da un aumento della torbidità. Il sensore di pCO<sub>2</sub>, montato sul ROV, ha registrato valori di concentrazione di pCO<sub>2</sub> molto elevati nella colonna d'acqua in prossimità dei camini (da ~ 601 a ~ 1800 ppm) e valori fuori scala (2.000 ppm) nei fluidi in uscita dagli sfiati, mentre, in aree lontane dai siti di ventilazione i valori di pCO<sub>2</sub> sono compresi tra 390 e 460 ppm (Esposito et al., 2018).



**Figura 18.** Immagini subacquee di alcuni camini situati nella *Smoking Land* tramite ROV. (da Esposito et al., 2018).

L'origine della *Smoking Land*, con tutti i suoi numerosi e grandi camini, è da attribuire, quindi, alla presenza di una forte circolazione idrotermale lungo il piano di faglia del graben nord-occidentale. Fluidi acidi di origine marina, arricchiti in Carbonio Inorganico Disciolto (DIC) e oligoelementi per degassamento vulcanico, fuoriescono dal fondo attorno ai fianchi circostanti della depressione e dagli sfiati, accompagnati in alcuni casi

da bolle di CO<sub>2</sub> e in altri da apparente inattività. Come dimostrato dalle evidenze con CTD e dalle misurazioni del flusso bentonico, i fluidi emessi in prossimità dei camini di Basiluzzo non sono più salini o più caldi dell'acqua marina circostante, a differenza delle emissioni calde subaeree di Panarea. Ciò suggerisce un aumento di CO<sub>2</sub> da rocce vulcaniche profonde che innesca una circolazione dell'acqua di mare sotto il fondo e la dissoluzione del metallo roccioso causata dalle condizioni della soluzione acida (Capaccioni et al., 2007). La composizione geochemica ricca di metalli delle strutture idrotermali, la presunta presenza di batteri chemiosintetici e le emissioni di fluidi arricchiti in anidride carbonica e sostanze chimiche tossiche, rendono il sistema *Smoking Land* scientificamente interessante. In effetti, questo sistema, così come altri sistemi di questo tipo, può essere considerato come un laboratorio naturale per testare ipotesi sull'effetto del cambiamento globale sulla biodiversità marina e sul funzionamento dell'ecosistema (Beaubien et al., 2014).

### ***2.2.2. Strategia e metodi di campionamento***

La campagna, effettuata nel mese di giugno 2015, è stata eseguita attraverso l'organizzazione di tre diversi siti di campionamento (**SP – CB3 – BP1**). Il campionamento è stato effettuato con l'utilizzo di una *Benna Van Veen* dal volume di 25 litri. Per ogni sito sono state istituite quattro diverse stazioni con l'attuazione di tre deployment (Repliche, R) per ognuna di esse, ad eccezione del sito BP1 in cui è stata eseguita un'unica bennata. Durante il campionamento si sono riscontrate diverse difficoltà operative. La principale è correlata alla granulometria del sedimento (Detritico Costiero) che non ha consentito un ottimale filtraggio al setaccio (500 µm), quindi si è avuta una grande quantità di sedimento da stoccare all'interno di sacchi da campionamento, conservati successivamente a -

20°C. Altra difficoltà si è presentata durante le calate, con l'impossibilità di completare i tre deployment per quanto riguarda il sito SP, stazioni SP1 (assenza di R1) e SP4 (assenza di R3). Stesso problema è stato riscontrato anche per il sito BP1 dove, a causa della presenza di una superficie disturbata, la benna si è incastrata e non ha concesso la messa in atto dei tre deployment e che giustifica la presenza di una sola replica (R1). Oltre al campionamento tramite benna, per l'analisi della macrofauna, sono state condotte altre indagini, in particolar modo la campionatura attraverso carote del sedimento all'interno della benna per indagini sulla meiofauna e la raccolta di altro sedimento con lo scopo di effettuare in futuro analisi aggiuntive sulla meiofauna e sulla presenza di microplastiche. Il sito **SP** prende in considerazione due diverse zone, quella della Secca dei pesci e quella ad Ovest di Panarea, con la suddivisione di due stazioni per ogni zona. La stazione **SP1** (Secca dei pesci) è posta in prossimità di un'intensa attività idrotermale caratterizzata da forte emissione di CO<sub>2</sub> (ppm 1400) ad una profondità di 39 m; mentre le altre stazioni rappresentano il controllo rispetto a tale impatto in quanto non è stata segnalata attività di sfiato degna di nota: stazione **SP2** (Secca dei pesci, ad una profondità di 39 m), stazioni **SP3** e **SP4** (Ovest Panarea, rispettivamente ad una profondità di 41 m e 37 m). (*Fig. 19*). Il sito **CB3** riguarda invece l'area idrotermale presente tra l'isola di Panarea e l'isolotto di Basiluzzo. Qui, come visto in precedenza, vi è una grande concentrazione e diversità di camini di sfiato. Come per il precedente sito, sono state organizzate quattro diverse stazioni: **CB3-1** (vent a bassa emissione, 78 m), **CB3-2** (vent a media emissione, 74 m), **CB3-3** (vent a forte emissione, 75 m), **CB3-4** (controllo-nessuna evidenza di emissioni, 81 m). (*Fig. 19*). Il sito **BP1** (Black Point) è invece posto in un'area idrotermale ad emissione intensa ed è caratterizzato da un'unica stazione e un'unica replica ad una profondità di 16 m. In particolare, il sito in

questione è posto all'interno del piccolo arcipelago costituito dagli isolotti di Dattilo, Panarelle, Lisca Bianca, Bottaro e Lisca Nera. (*Fig. 19*).



*Figura 19. Strategia di campionamento adottata durante la campagna "Panarea 2015". Sono rappresentati i diversi siti e le diverse stazioni, secondo coordinate geografiche, con le rispettive caratteristiche di emissione e profondità.*

### **2.2.3. *Trattamento dei campioni in laboratorio e analisi dei dati***

In laboratorio i campioni di macrofauna, come nel precedente caso di studio, sono stati prima scongelati e poi setacciati mediante setaccio da 500  $\mu\text{m}$  per la rimozione di materiale detritico fine, facilitando così l'individuazione degli organismi al momento del *sorting* allo stereomicroscopio. Gli organismi estratti, conservati successivamente a  $-20^{\circ}\text{C}$  in acqua di mare, sono quindi stati contati per le analisi di

abbondanza, pesati per le analisi relative alla biomassa e riconosciuti a livello tassonomico fino al livello di specie, facendo riferimento ai manuali di identificazione riportati per il precedente caso di studio. I dati delle comunità macrobentoniche sono stati analizzati mediante analisi univariate e analisi multivariate attraverso l'utilizzo di due diversi programmi di analisi statistica di dati ecologici: *PAST 4.04* (Hammer et al., 2001) e *PRIMER6&PERMANOVA+* (Anderson et al., 2008). Il disegno sperimentale ha previsto come fattore fisso di variazione l'emissione (3 livelli: Control, Low-Medium, Strong) in relazione al sito di campionamento (i livelli di emissione Low e Medium non avendo tra loro differenze degne di nota sono stati raggruppati su un unico livello). Per la rappresentazione grafica dei risultati di similarità è stata applicata la tecnica di ordinamento dell'**nMDS**. Per visualizzare meglio quelle che sono le differenze nella composizione macrobentonica tra i siti di campionamento è stata effettuata l'analisi **CAP** (constrained) sui fattori significativi in base ai risultati della PERMANOVA. Le differenze tra i siti di campionamento (3 livelli di emissione) sono state quindi analizzate attraverso l'analisi della **PERMANOVA**, ed è stato inoltre effettuato il *pair-wise test* per accertare tra quali livelli di emissione si osservano maggiori differenze. Per valutare la percentuale di dissimilarità nella composizione tassonomica della macrofauna tra i diversi livelli di emissione e per identificare i taxa che descrivono le differenze osservate sono state effettuate analisi **SIMPER**. Sono state condotte poi analisi in relazione all'abbondanza totale, biomassa totale e diversità totale misurata con l'indice di Shannon-Wiener  $H'(\log_e)$ . Per ogni variabile è stata condotta l'analisi univariata **ANOVA** ad un fattore (emissione) sui tre livelli di emissione con i rispettivi *pair-wise test*. Sono state infine condotte analisi sull'abbondanza e sulla biomassa in relazione ai valori del pH delle diverse stazioni di campionamento per verificare se ci siano correlazioni significative tra le diverse variabili.

### 3. RISULTATI

#### 3.1. PROGETTO PON PlaCE (2019)

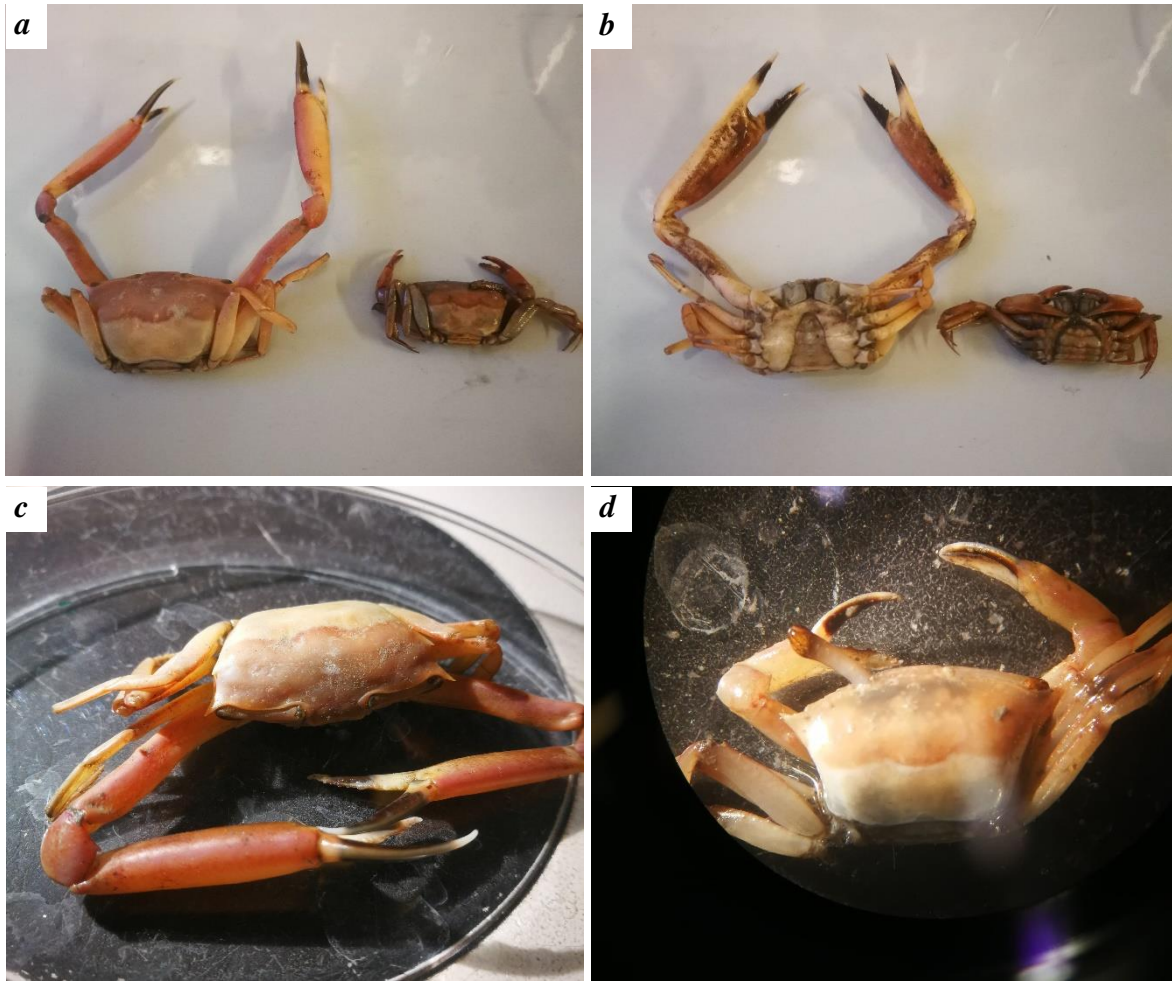
##### 3.1.1. Composizione tassonomica della macrofauna

Sono stati individuati una totalità di 3784 individui, appartenenti a 6 Phyla e 12 Taxa, che caratterizzano il sedimento costituito da argille siltose dell'area in esame. Di seguito i Phyla riscontrati: Annelida, Mollusca, Crustacea, Echinodermata, Chordata, Nemertea. Nello specifico, per quanto riguarda gli anellidi l'unica classe riscontrata è quella dei policheti (Polychaeta), mentre nei molluschi si evidenziano la classe dei gasteropodi (Gastropoda) e quella dei bivalvi (Bivalvia); da sottolineare come la comunità sia caratterizzata dalla presenza di una **tanatocenosi** a *Turritella communis*. Per quanto riguarda i crostacei si riscontrano quattro diversi ordini: Isopoda, Cumacea, Tanaidacea e Decapoda. Segue poi il gruppo degli echinodermi (classe Holothuroidea e Ophiuroidea), il Phylum Chordata (ordine Actinopterygii - famiglia Gobiidae) e un unico esemplare di nemertino non identificato (Phylum Nemertea).

In termini di abbondanza dominano i crostacei (68,31%), in particolare è stata riscontrata in tutte le stazioni un'elevata abbondanza di tanaidacei (65,59%) caratterizzati dalla presenza di una singola specie (*Apseudes spinosus* **Fig. 20**). Seguono poi i decapodi (es. *Goneplax rhomboides* **Fig. 21**, *Gebiacantha talismani*, *Alpheus glaber*, *Callinassa subterranea* **Fig. 22**), gli anfipodi (unica specie, *Leucothoe occulta* **Fig. 23**), i cumacei (unica specie, *Iphinoe serrata* **Fig. 24**) e gli isopodi (due specie, *Natatolana borealis* e *Anilocra frontalis* **Fig. 25**).



**Figura 20.** *Apseudes spinosus*.



**Figura 21.** *Goneplax rhomboides*. Visione dorsale (a) e ventrale (b) di un esemplare di sesso maschile e uno di sesso femminile (rispettivamente da sinistra a destra). Ingrandimento del maschio (c) e della femmina (d).



**Figura 22.** *Alpheus glaber* (a), *Gebiakantha talismani* (b), *Callianassa subterranea* (c).





**Figura 23.** *Leucothoe occulta*.



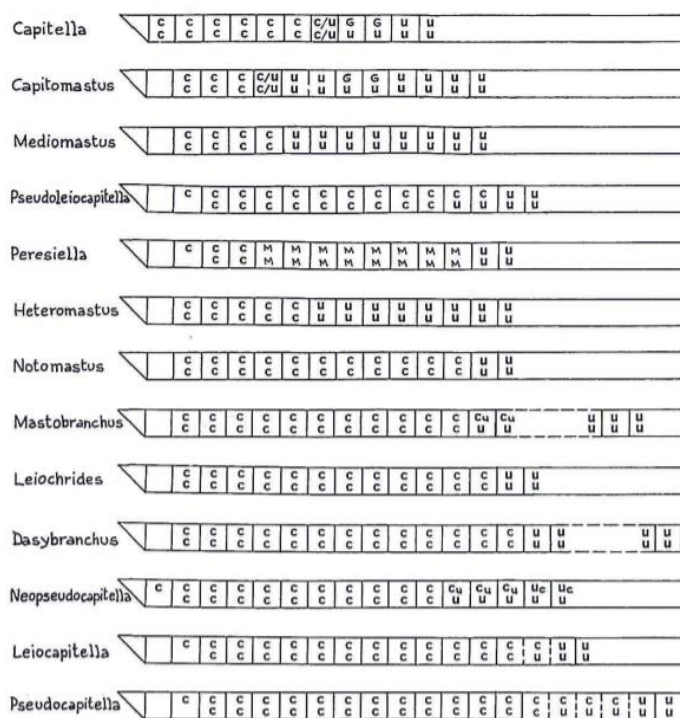
**Figura 24.** *Iphinoe serrata*.



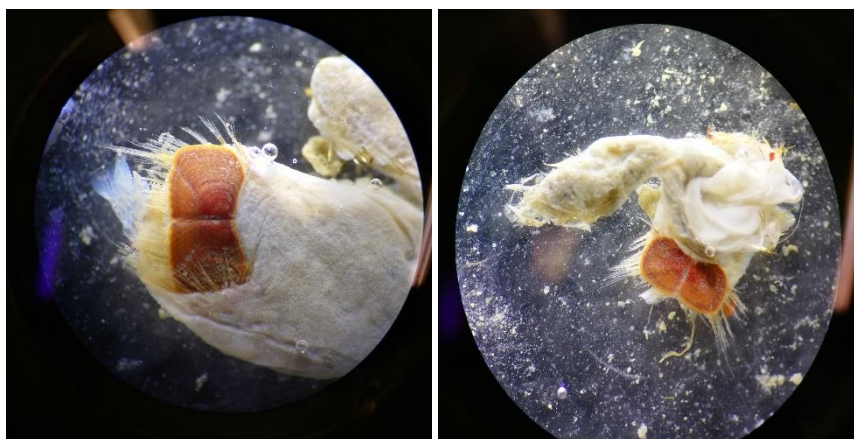
**Figura 25.** *Anilocra frontalis* (a, b), *Natatolana borealis* (c).

Secondi, in termini di abbondanza, sono i molluschi (12,66%), con una valenza maggiore dei bivalvi rispetto ai gasteropodi. Infatti, per quanto riguarda questi ultimi, sono stati identificati esclusivamente esemplari di *Turritella communis* e un solo esemplare di *Naticarius stercusmuscarum*. Da sottolineare, prendendo in considerazione i bivalvi, la forte presenza di *Varicorbula gibba*, specie a strategia r caratteristica di fondali fangosi ipossici (Diaz et al., 1995). Il terzo gruppo più abbondante è quello dei policheti (11,65%). Si riscontra la presenza di specie capaci di proliferare in condizioni di ipossia e presenza di inquinanti nei sedimenti come i capitellidi (Bellan et al., 1988) (generi *Pseudoleiocapitella*, *Dasybranchus*, *Notomastus*, *Heteromastus*, **Fig. 26**). Altre specie incontrate con frequenza

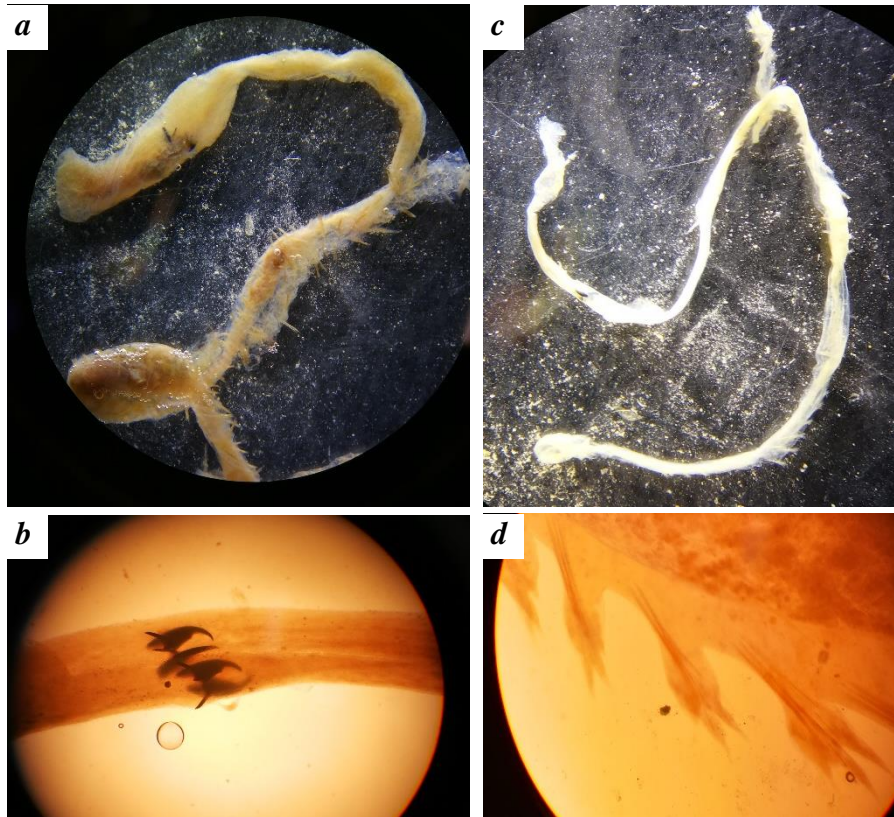
sono *Sternaspis scutata* (**Fig. 27**), *Glycera tridactyla* e *Glycera rouxii* (**Fig. 28**) e alcune specie di lumbrineridi (generi *Lumbrineris*, *Scoletoma*, *Abyssoninoe*, **Fig. 29**). Da sottolineare poi, tra gli altri, la presenza di esemplari appartenenti alla famiglia Nereididae come *Alitta* sp. (**Fig. 30**), al genere *Harmothoe* (famiglia Polynoidae, **Fig. 31**), al genere *Nephtys* (famiglia Nephtyidae) e del polichete tubicolo *Spiochaetopterus costarum* (famiglia Chaetopteridae) con la presenza nei campioni, per quanto riguarda quest'ultimo, di un gran numero di caratteristici tubi che costituisce all'interno del sedimento (*glassy tube*, **Fig. 32**).



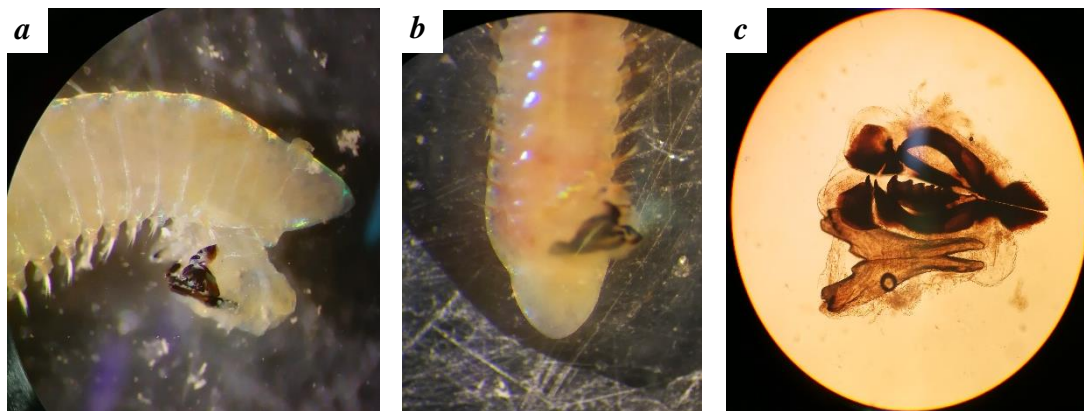
**Figura 26.** A sinistra elenco schematico dei principali generi di Capitellidi (U=uncini, C=sete capillari, Cu, Uc=uncini alternati a sete capillari). In alto a destra la caratteristica proboscide con papille presente in tutti i generi.



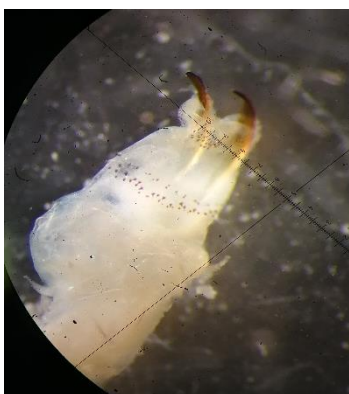
**Figura 27.** *Sternaspis scutata*



**Figura 28.** *Glycera rouxii* (a). *Mascelle Glycera* sp. (b). *Glycera tridactyla* (c, d).



**Figura 29.** *Abyssoninoe* sp. (a). *Scoletoma fragilis* (b, c).



**Figura 30.** *Alitta* sp.

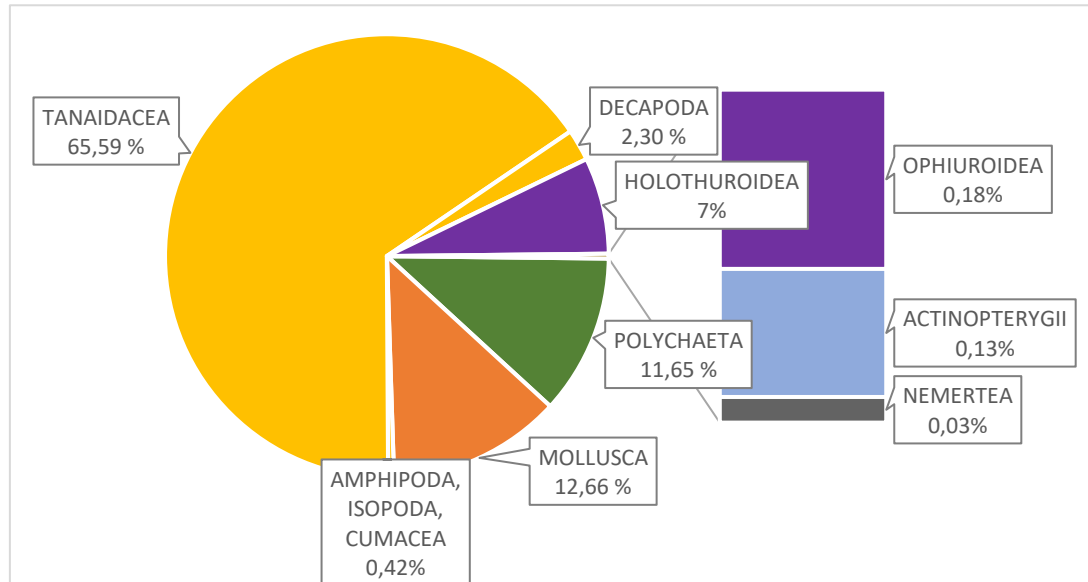


**Figura 31.** *Harmothoe* sp.



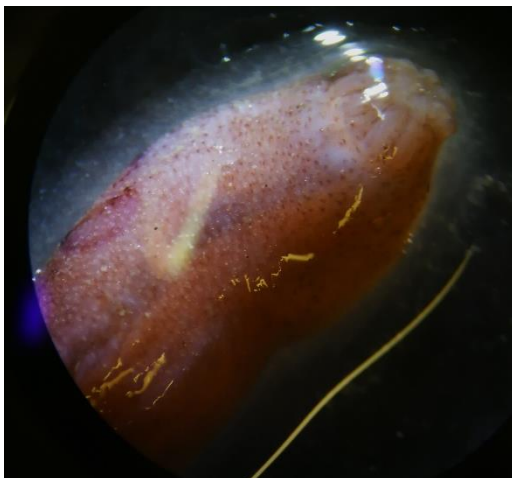
**Figura 32.** *Spiochaetopterus costarum* (glassy tube)

Ultime, in termini di abbondanza, sono le classi Holothuroidea (7%) e Ophiuroidea (0,18%), seguite dalla famiglia Gobiidae (0,13%) e dal Phylum Nemertea (0,03%).



**Figura 33.** Composizione tassonomica (% delle abbondanze dei principali gruppi riscontrati) nell'area di studio del PON PlaCE.

In termini di biomassa invece domina la classe Holothuroidea (41,4%) seguita subito dopo dal Phylum Mollusca (39,3%). Nel primo caso si riscontra la presenza esclusiva di *Oostergrenia digitata* (ex *Labidoblax digitata* **Fig. 34**) con l'eccezione di un singolo esemplare di *Thyone fusus* (**Fig. 35**)



**Figura 34.** *Oostergrenia digitata*.

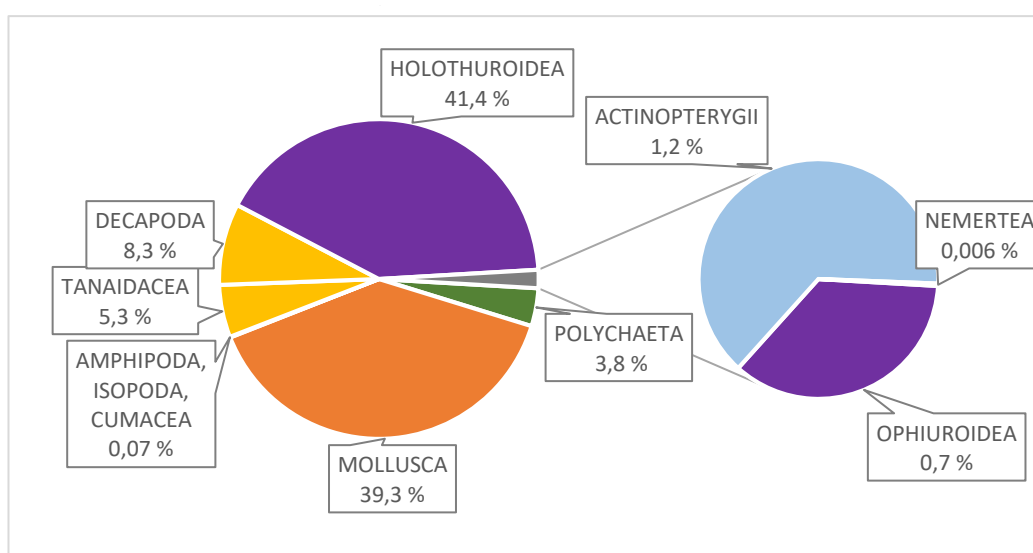


**Figura 35.** *Thyone fusus*.

Seguono poi i crostacei (13,6%), i policheti (3,8%), la famiglia Gobiidae (1,2%), la classe Ophiuroidea (0,7%) con una singola specie identificata (*Amphiura chiajei*, **Fig. 36**) e il Phylum Nemertea (0,006%).

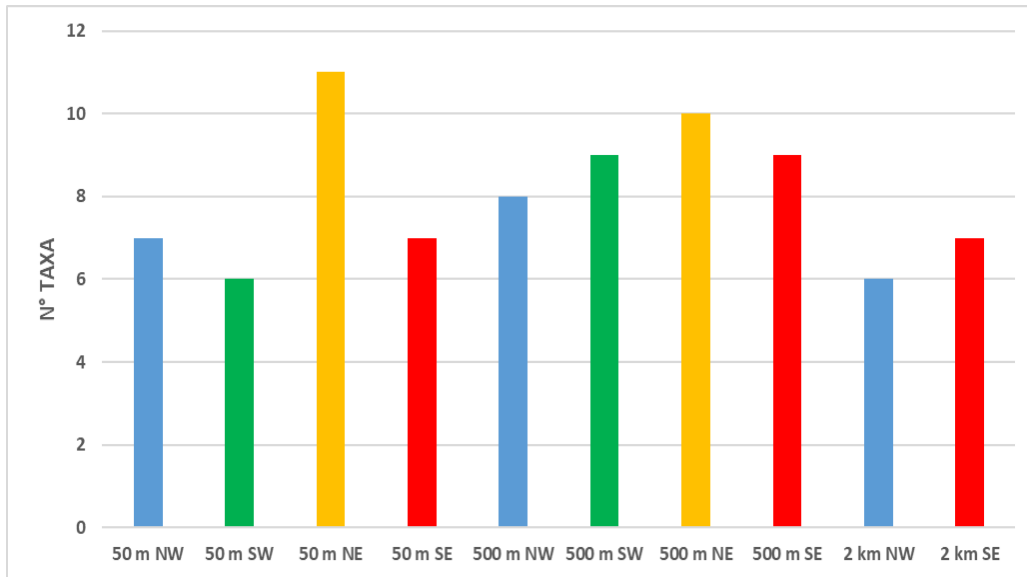


**Figura 36.** *Amphiura*



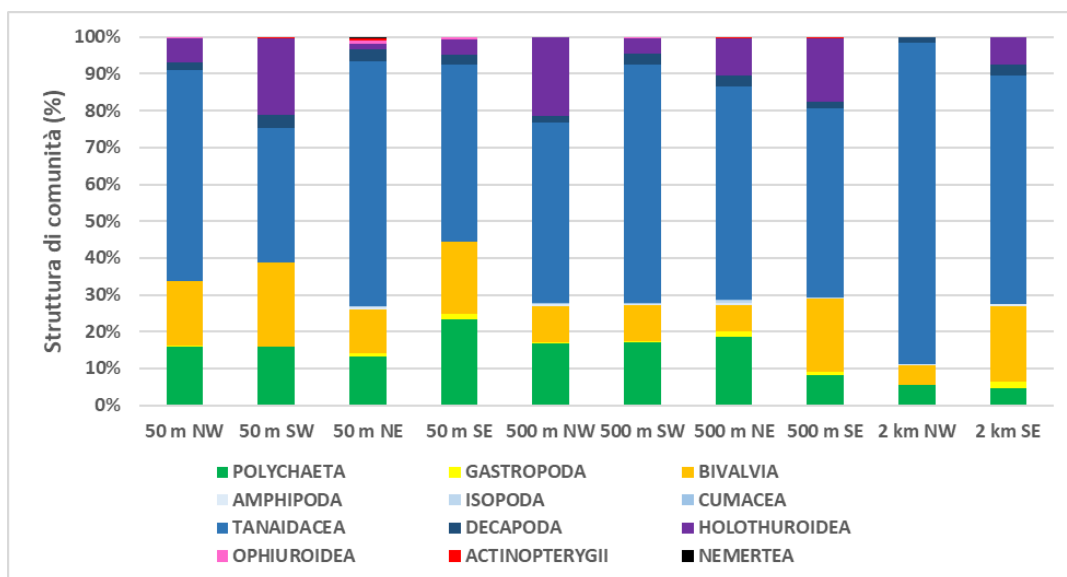
**Figura 37.** Composizione tassonomica (% delle biomasse dei principali gruppi riscontrati) nell'area di studio del PON PlaCE.

Per quanto riguarda la ricchezza in taxa questa risulta essere grossomodo omogenea in tutte le stazioni a differente distanza dalla piattaforma (**Fig. 38**). Nelle stazioni a 50 m si osserva la presenza di 6 – 7 taxa con un picco di 11 taxa nel transetto NE. La stazione di controllo a 2 km SE essendo in prossimità di un'altra piattaforma (Fratello Nord) non può essere considerata tale, presenta infatti una ricchezza in taxa in linea con le stazioni a 50 m (6 – 7 taxa). Le stazioni a 500 m, escludendo il picco della stazione a 50 m NE, risultano avere un maggior peso in termini di ricchezza in Taxa (8 – 10 taxa).



**Figura 38.** Grafico relativo alla ricchezza in Taxa delle diverse stazioni.

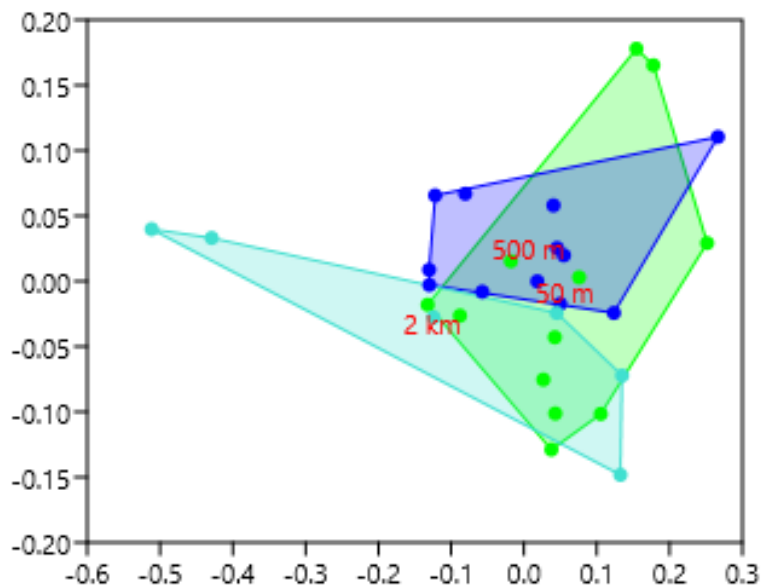
Anche per quanto riguarda la struttura della comunità macrobentonica nelle diverse stazioni (**Fig. 39**) sembra essere presente una situazione piuttosto omogenea. In tutte le stazioni spicca la presenza del tanaidaceo *Apseudes spinosus*. Nelle stazioni a 500 m sono meglio rappresentati i policheti, i decapodi e l'oloturia *Oestergrenia digitata*, mentre nelle stazioni a 50 m e 2 km SE hanno una maggiore incidenza, anche se lieve, i bivalvi, in particolar modo *Varicorbula gibba* e *Nucula nitidosa*. Seguono approfondimenti nei paragrafi successivi.



**Figura 39.** Struttura della comunità macrobentonica delle diverse stazioni.

### 3.1.2. Analisi sull'abbondanza, biomassa e diversità della macrofauna

È stata condotta l'analisi multivariata e univariata sui dati di abbondanza di tutta la comunità macrobentonica. L'analisi del plot nMDS (**Fig. 40**) non mostra una chiara separazione tra i punti-campione a 50 m, 500 m e 2 km: i campioni a 500 m sembrano separarsi leggermente da quelli a 2 km e, questi ultimi, sembrano essere maggiormente dispersi rispetto agli altri.



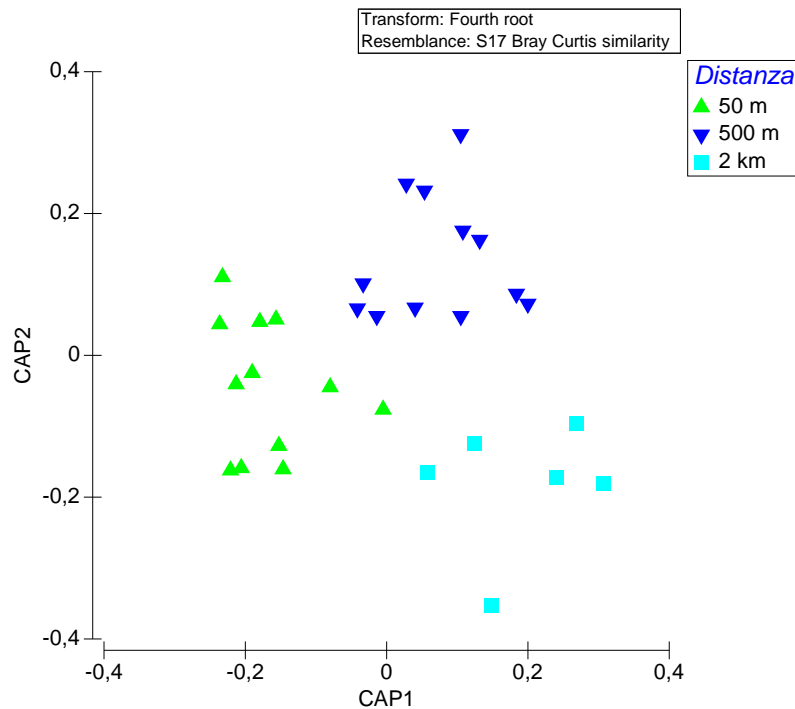
**Figura 40.** nMDS plot ottenuto attraverso l'indice di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna.

I risultati della PERMANOVA mostrano un'alta significatività rispetto al fattore distanza, mentre non vi sono risultati significativi rispetto al fattore transetto (**Tab. 1**).

**Tabella 1.** Risultati della PERMANOVA condotta sui dati di abbondanza della macrofauna per i fattori distanza e transetto.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Transetto	3	1749,3	0,83	0,7848
Distanza(Tr)	6	2104,3	28,54	0,0001
Res	20	737,28		
Total	29			

Successivamente è stata condotta la CAP (**Fig. 41**) rispetto al fattore distanza, ritenuto significativo in base alla PERMANOVA. Si può notare come i punti-campione, vincolati per il fattore distanza, mostrino una chiara separazione tra loro. I campioni a 500 m sembrano separarsi del tutto sia da quelli a 50 m che a 2 km, mentre questi ultimi sembrano essere più vicini tra loro e maggiormente dispersi.

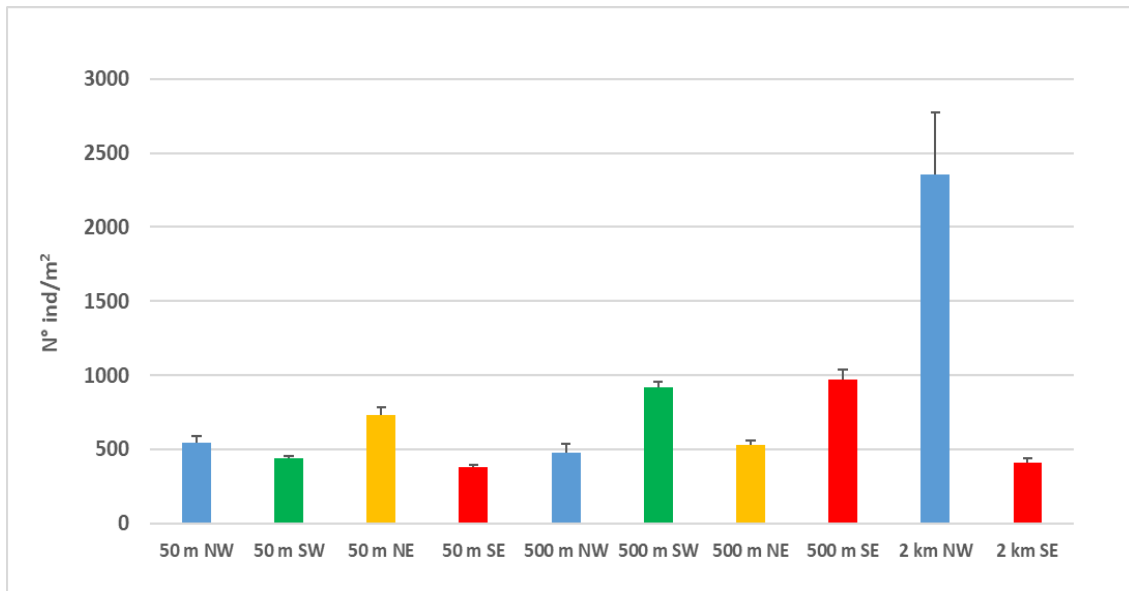


**Figura 41.** CAP plot ottenuto attraverso l'indice di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna.

L'analisi effettuata sulle abbondanze totali è stata condotta esprimendo le abbondanze assolute standardizzate di ogni campione come N° di individui / m<sup>2</sup>. Le stazioni a 50 m sono accomunate da livelli bassi di abbondanza, mentre nelle stazioni poste a 500 m dalla piattaforma si riscontrano valori di abbondanza della macrofauna superiori (**Fig. 42**). Nelle stazioni di controllo, poste a 2 km, si nota un picco di abbondanza nella stazione posta a NW, mentre livelli di abbondanza in linea con le stazioni a 50 m per quanto riguarda la stazione posta a SE. Quest'ultima stazione, infatti, pur essendo posta a 2 km dalla piattaforma Viviana si trova in prossimità di un'altra piattaforma (Fratello Nord) e quindi non può essere ritenuta una



vera e propria stazione di controllo. Ci aspettiamo in tal senso risultati simili a quelli delle stazioni poste a 50 m, così come già si denota dalle analisi in riferimento alle abbondanze totali.



**Figura 42.** Grafico relativo alle abbondanze della macrofauna ( $N^{\circ}$  individui /  $m^2$ ).

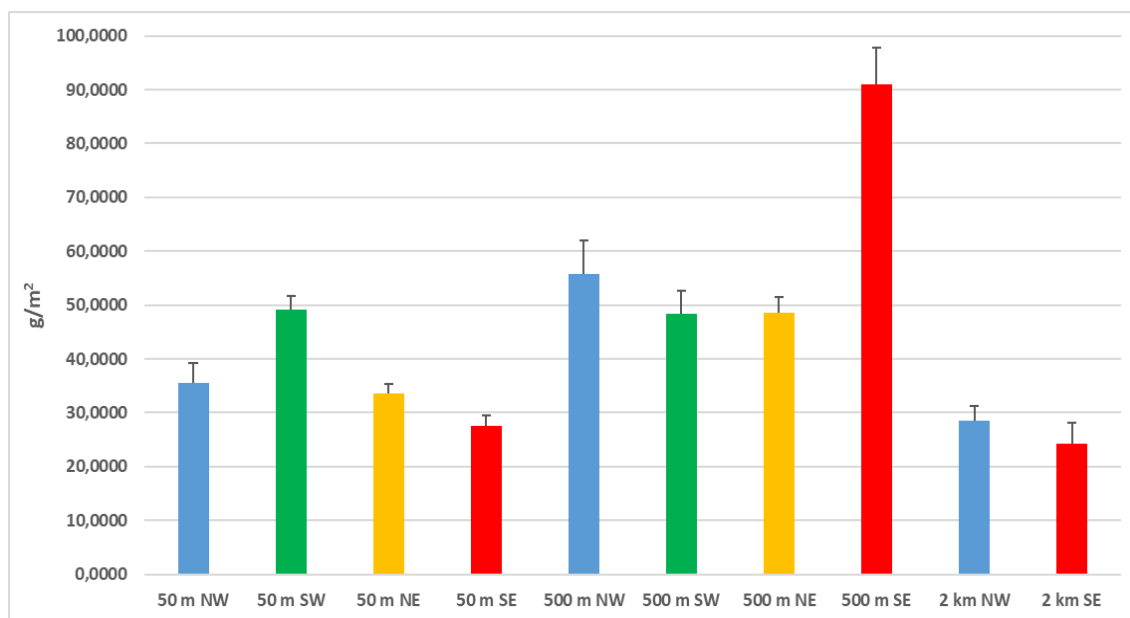
Anche il test ANOVA (**Tab. 2**) svolto sull'abbondanza totale della macrofauna rispetto ai fattori distanza e transetto mostra risultati significativi esclusivamente per il fattore distanza.

**Tabella 2.** Risultati dell'ANOVA (univariate) in base ai fattori distanza e transetto rispetto ai valori di abbondanza totale della macrofauna

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Transetto	3	5,35E+09	0,40	0,8800
Distanza(Transetto)	6	1,31E+10	6,52	0,0008
Res	20	2,01E+09		
Total	29			

Le analisi effettuate sulle biomasse totali ( $g / m^2$ ) mostrano risultati in linea con quelli delle abbondanze totali (**Fig. 43**). Si riscontrano livelli più alti di biomassa in tutte le stazioni a 500 m, con un picco nella stazione posta a SE, rispetto sia alle stazioni a 50 m che a quelle a 2 km. Queste stazioni mostrano livelli di biomassa della macrofauna simili tra di loro e in alcuni

casi le stazioni a 2 km risultano avere livelli di biomassa inferiori rispetto a quelli delle stazioni a 50 m. Anche in questo caso quest'anomalia sembra essere dovuta al fatto che la stazione posta a 2 km SE rispetto alla piattaforma Viviana si trovi in realtà nelle vicinanze di un'altra piattaforma.



**Figura 43.** Andamento delle biomasse totali della macrofauna ( $g / m^2$ ).

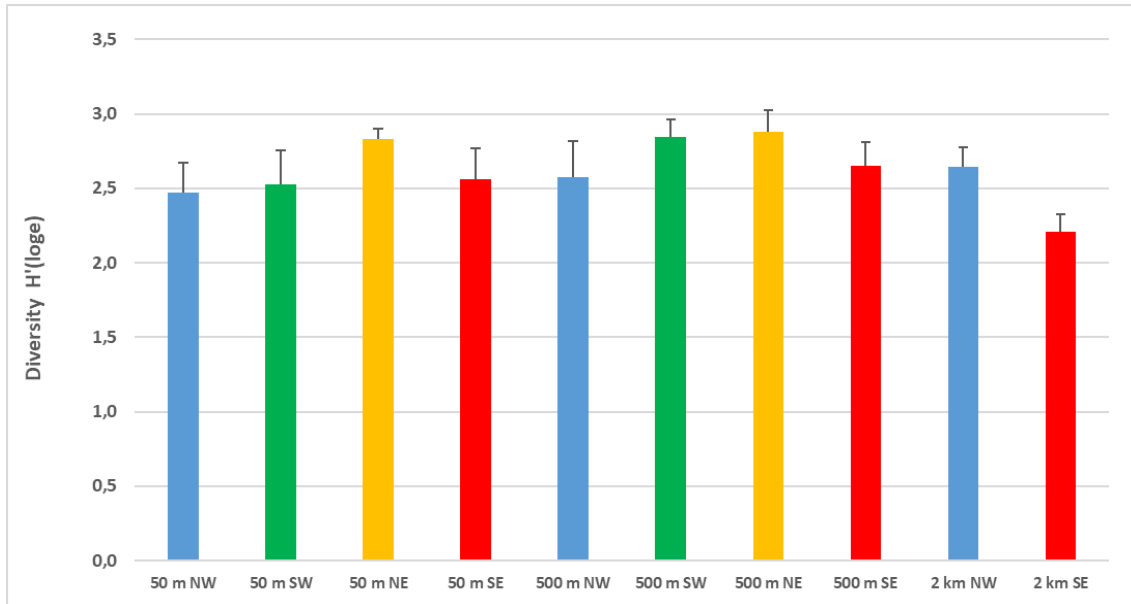
I risultati del test ANOVA (**Tab. 3**), effettuato sulla biomassa totale della macrofauna rispetto ai fattori distanza e transetto, mostrano risultati significativi esclusivamente per il fattore distanza.

**Tabella 3.** Risultati dell'ANOVA (univariate) in base ai fattori distanza e transetto rispetto ai valori di biomassa totale della macrofauna.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Transetto	3	0,71	0,08	0,9743
Distanza(Transetto)	6	8,44	4,98	0,0021
Res	20	1,69		
Total	29			

Le analisi effettuate sulla diversità totale, misurata con l'indice di Shannon-Wiener (*Univariate Diversity indices*)  $H'$ (loge), mostrano risultati piuttosto omogenei con livelli di diversità simili in tutte le stazioni a 50 m, 500 m e 2

km e i rispettivi transetti. I livelli più bassi di diversità si riscontrano nella stazione a 2 km SE (falso controllo) anche se, in linea di massima, si avvicinano comunque a quelli delle altre stazioni. (*Fig. 44*).



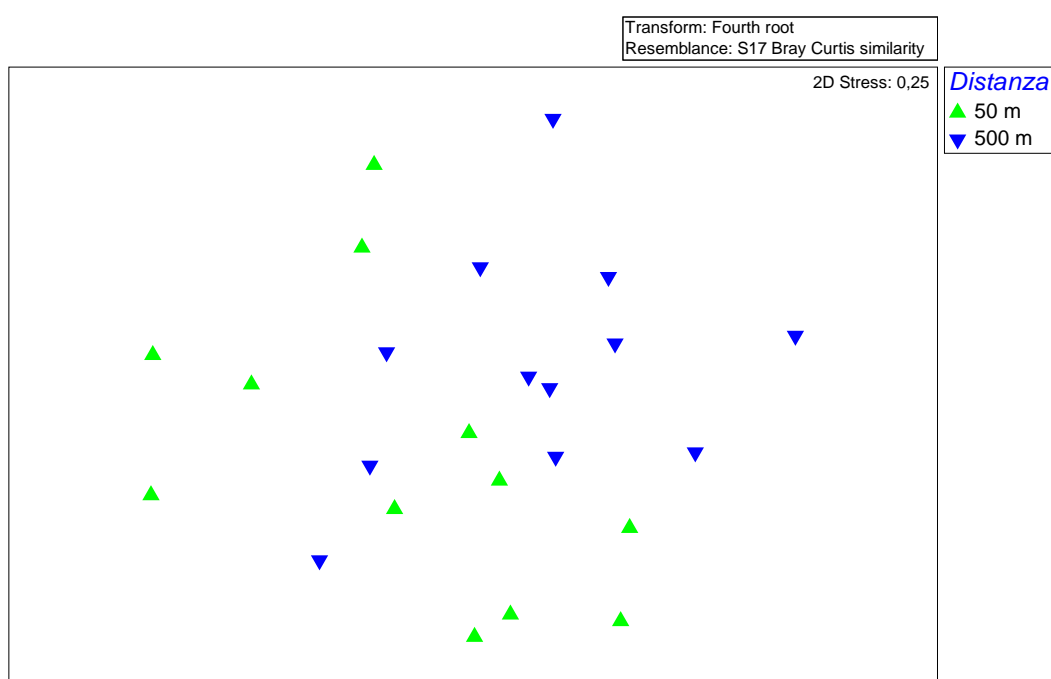
**Figura 44.** Andamento della diversità totale  $H'(\log_e)$  della macrofauna.

Tale omogeneità risulta essere confermata dai risultati del test ANOVA (*Tab. 4*), svolti sulla diversità totale  $H'(\log_e)$  della macrofauna rispetto ai fattori distanza e transetto, da cui si evincono risultati non significativi per il fattore transetto e risultati al limite della non significatività per il fattore distanza.

**Tabella 4.** Risultati dell'ANOVA (univariate) in base ai fattori distanza e transetto rispetto alla diversità totale della macrofauna.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Transetto	3	0,19	21,91	0,2055
Distanza(Transetto)	6	8,77E+02	29,78	0,0327
Res	20	2,94E+02		
Total	29			

Visto che la stazione posta 2 km SE in realtà non può essere considerata una stazione di controllo poiché risulta essere in prossimità di un'altra piattaforma, e visto che il campionamento non risulta essere propriamente simmetrico in quanto per le distanze 50 m e 500 m vi sono quattro stazioni mentre quelle a 2 km ne comprendono solo due, sono state svolte altre analisi statistiche escludendo queste ultime. L'analisi del plot nMDS (*Fig. 45*) anche in questo caso non mostra una chiara separazione tra i punti-campione posti a 50 m e 500 m.



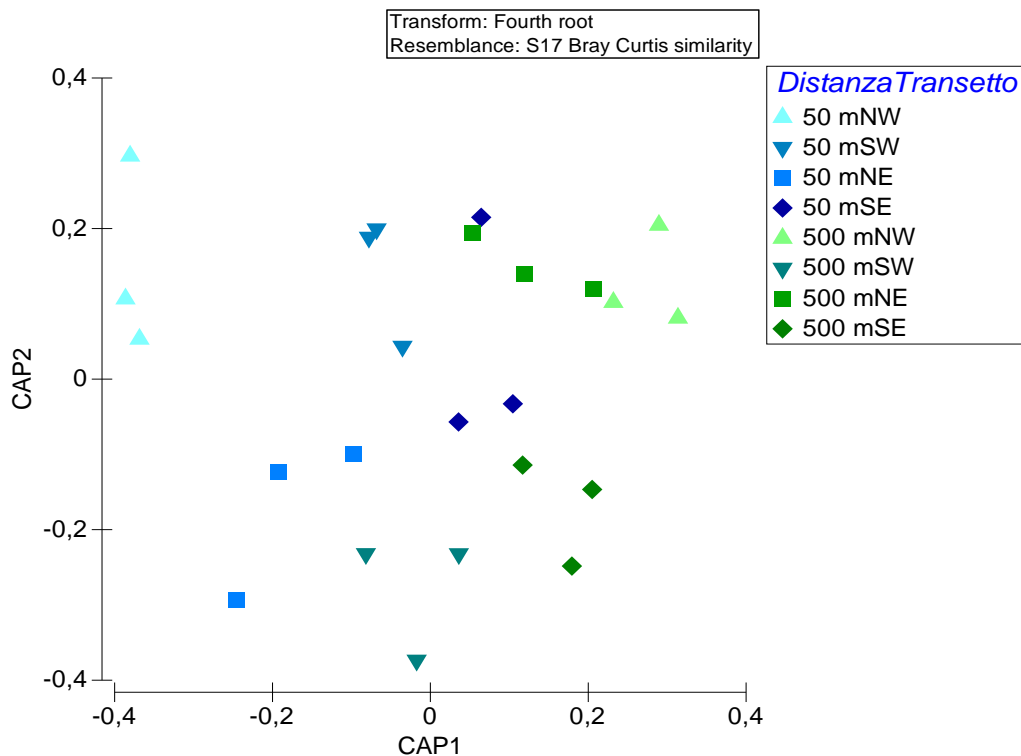
*Figura 45. nMDS plot ottenuto attraverso l'indice di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna considerando le stazioni a 50 m e 500 m.*

L'analisi PERMANOVA (*Tab. 5*) effettuata sul disegno ortogonale evidenzia differenze significative per tutti i fattori incluso il fattore di interazione distanza\*trasetto.

*Tabella 5. Risultati della PERMANOVA condotta sui dati di abbondanza della macrofauna per i fattori distanza, trasetto e distanza\*trasetto.*

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Trasetto	3	1537	20,67	0,0024
Distanza	1	2645,5	35,59	0,0007
Trasetto*Distanza	3	1526,2	20,53	0,0013
Res	16	743,25		
Total	23			

È stata, quindi, condotta la CAP (**Fig. 46**) sull'abbondanza della macrofauna sul fattore di interazione distanza\*trasetto ritenuto significativo in base alla PERMANOVA. Si può notare come le diverse stazioni siano grossomodo separate tra di loro per il fattore distanza\*trasetto e in particolare come le stazioni a 500 m differiscano da quelle a 50 m.



**Figura 46.** CAP plot ottenuto attraverso l'indice di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna in relazione al fattore distanza\*trasetto delle sole stazioni a 50 m e 500 m.

I risultati del *pair-wise test* mostrano una differenza significativa tra le stazioni a 50 m e 500 m (**Tab. 6**). Non sembrano esserci invece differenze significative in relazione al fattore trasetto con i gruppi NW-NE, NW-SW e NW-SE che differiscono reciprocamente tra di loro, anche se lievemente, rispetto agli altri (**Tab. 7**). Per quanto riguarda il fattore trasetto\*distanza non si riscontrano risultati significativi tra i diversi gruppi con le stazioni che differiscono lievemente per il trasetto SE e SW (**Tab. 8**).

**Tabella 6.** Risultati del *pair-wise test* condotto sui dati di abbondanza della macrofauna rispetto al fattore distanza.

Groups	t	P(perm)
50 m, 500 m	18,86	0,0005

**Tabella 7.** Risultati del *pair-wise test* condotto sui dati di abbondanza della macrofauna rispetto al fattore transetto.

Groups	t	P(perm)
NW, SW	14,93	0,0194
NW, NE	17,16	0,0126
NW, SE	15,77	0,0171
SW, NE	13,12	0,1264
SW, SE	10,99	0,3129
NE, SE	13,46	0,0925

**Tabella 8.** Risultati del *pair-wise test* condotto sui dati di abbondanza della macrofauna rispetto al fattore distanza\*transetto.

<b>Within level 'NW' of factor 'Transetto'</b>		
Groups	t	P(perm)
50 m, 500 m	1,76	0,1000
<b>Within level 'SW' of factor 'Transetto'</b>		
Groups	t	P(perm)
50 m, 500 m	15,23	0,0959
<b>Within level 'NE' of factor 'Transetto'</b>		
Groups	t	P(perm)
50 m, 500 m	14,08	0,2006
<b>Within level 'SE' of factor 'Transetto'</b>		
Groups	t	P(perm)
50 m, 500 m	15,14	0,0996

Per poter evidenziare i Taxa che caratterizzano maggiormente le comunità macrobentoniche rinvenute nelle diverse stazioni e per vedere quelle che sono le relative dissimilarità in tal senso è stata condotta l'analisi SIMPER per il fattore distanza. Dall'analisi di similarità (**Tab. 9**) si nota come tutte le stazioni, indipendentemente dalla distanza, siano caratterizzate da un alto numero del tanaidaceo *Apseudes spinosus*. Interessante è la presenza del

bivalve *Varicorbula gibba* che caratterizza in modo differente le diverse stazioni secondo la distanza dalla piattaforma. Innanzitutto, bisogna ricordare come le stazioni poste a 2 km non rappresentino un controllo, in quanto quella con transetto SE si trova nelle vicinanze di Fratello Nord.

**Tabella 9.** Risultati di similarità dell'analisi **SIMPER** che mette in evidenza quali taxa rappresentano maggiormente le diverse stazioni a 50 m, 500 m e 2 km.

<b>Group 50 m</b>					
Average similarity:					
54,95					
<b>Species</b>	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Aapseudes spinosus</i>	3,99	12,58	6,86	22,88	22,88
<i>Varicorbula gibba</i>	2,89	9,52	6,37	17,32	40,21
<i>Nucula nitidosa</i>	1,66	4,86	2,04	8,84	49,04
<i>Oestergrenia digitata</i>	1,96	4,61	1,32	8,38	57,43

<b>Group 500 m</b>					
Average similarity:					
59,01					
<b>Species</b>	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Aapseudes spinosus</i>	4,4	11,9	9,87	20,17	20,17
<i>Oestergrenia digitata</i>	2,99	8,08	5,19	13,7	33,87
<i>Sternaspis scutata</i>	1,83	4,75	2,09	8,04	41,92
<i>Varicorbula gibba</i>	1,88	4,42	1,36	7,49	56,92

<b>Group 2 km</b>					
Average similarity:					
51,56					
<b>Species</b>	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Aapseudes spinosus</i>	5,22	15,46	6,7	29,98	29,98
<i>Nucula nitidosa</i>	2,19	7,57	4,73	14,67	44,66
Donax sp.	2,01	5,71	1,21	11,07	55,72
<i>Varicorbula gibba</i>	2,14	4,76	1,33	9,23	64,95

*V. gibba*, così come il bivalve *Nucula nitidosa*, sembra rappresentare meglio le stazioni poste a 50 m e 2 km dalla piattaforma Viviana rispetto a quelle poste a 500 m, mentre per quanto riguarda queste ultime si nota una maggiore rappresentatività dell'oloturia *Oestergrenia digitata* e del polichete *Sternaspis scutata*.

Per quanto riguarda invece le dissimilarità l'analisi SIMPER mostra una percentuale di dissimilarità grossomodo bassa tra i vari gruppi analizzati. Nello specifico la percentuale di dissimilarità del gruppo 50 m & 500 m è del 46,25% (**Tab. 10**), mentre quella del gruppo 500 m & 2 km è del 49,28% (**Tab. 11**). Tali discostamenti sono dati in particolar modo, in entrambi i casi, da *O. digitata*, *S. scutata*, i policheti appartenenti al genere *Lumbrineris* (Lumbrineridae) e al genere *Nephtys* e da *V. gibba*.

**Tabella 10.** Risultati dell'analisi SIMPER rispetto al gruppo 500 m & 2 km.

<b>Groups 50 m &amp; 500 m</b>					
Average dissimilarity = 46,25					
	<b>Group 50 m</b>	<b>Group 500 m</b>			
<b>Species</b>	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Cum.%
<i>Nephtys</i> sp.	0,57	1,64	2,16	1,4	4,68
<i>Donax</i> sp.	0,99	1,87	1,95	1,34	8,9
<i>Oestergrenia digitata</i>	1,96	2,99	1,92	1,19	13,06
<i>Heteromastus</i> sp.	0,13	1,22	1,92	1,31	17,21
<i>Lumbrineris</i> spp.	1,45	1,89	1,64	1,14	35,47
<i>Varicorbula gibba</i>	2,89	1,88	1,57	0,95	38,86
Capitellidae spp.	1,03	1,05	1,52	1,1	42,14
<i>Sternaspis scutata</i>	1,33	1,83	1,45	0,98	45,28

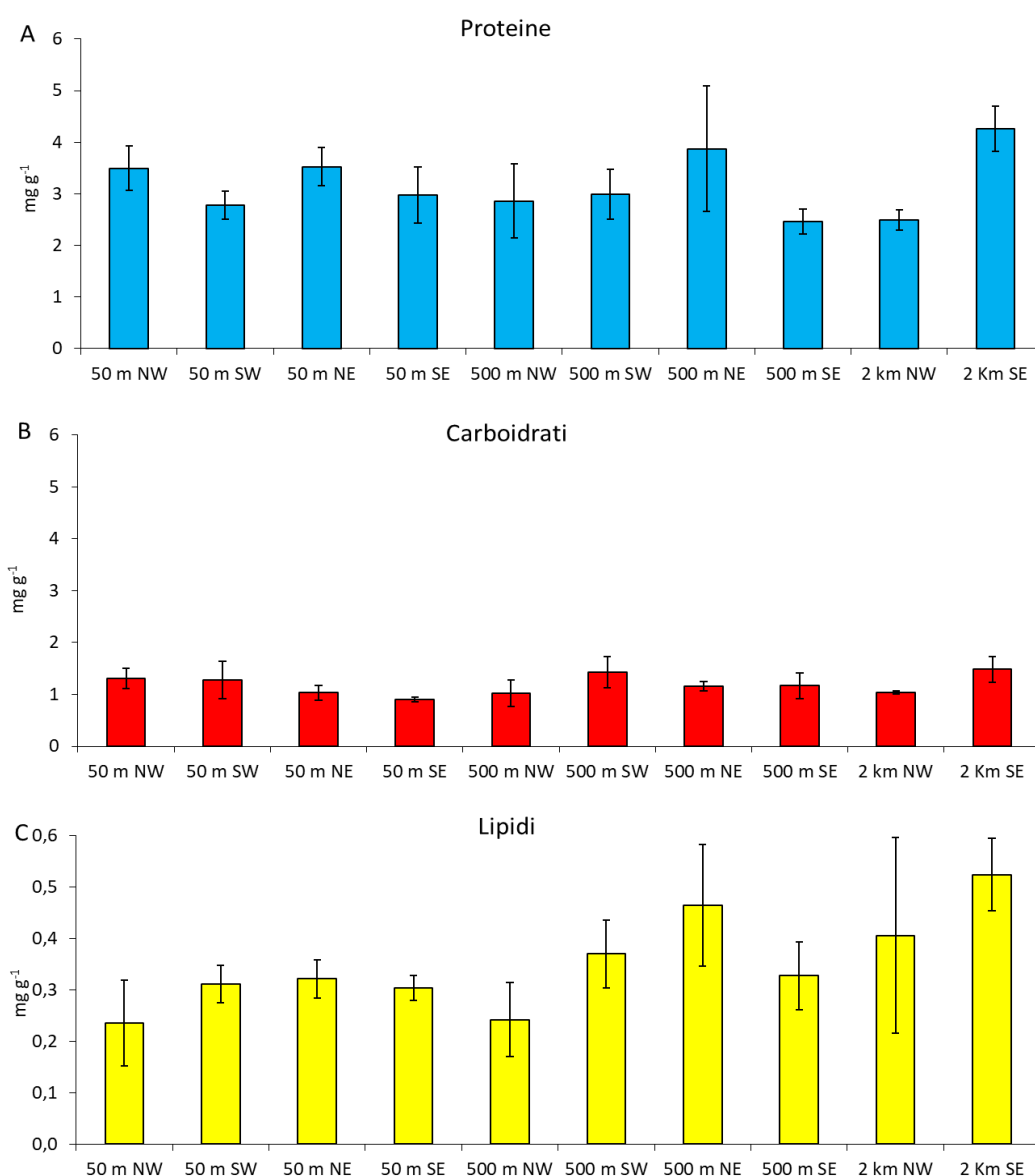
**Tabella 11.** Risultati dell'analisi SIMPER rispetto al gruppo 50 m & 500 m.

<b>Groups 500 m &amp; 2 km</b>					
Average dissimilarity = 49,28					
	<b>Group 500 m</b>	<b>Group 2 km</b>			
<b>Species</b>	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Cum.%
<i>Oestergrenia digitata</i>	2,99	0,87	3,41	1,63	6,93
<i>Lumbrineris</i> spp.	1,89	1,12	2,13	1,26	11,25
<i>Apseudes spinosus</i>	4,4	5,22	2,11	1,17	15,52
Ubogebiidae spp.	0,42	1,58	2,1	1,48	19,79
<i>Nephtys</i> sp.	1,64	1,03	2,09	1,18	24,03
<i>Heteromastus</i> sp.	1,22	0	2,05	1,33	28,19
<i>Varicorbula gibba</i>	1,88	2,14	2,05	1,14	32,34
<i>Sternaspis scutata</i>	1,83	1,05	1,96	1,2	36,32

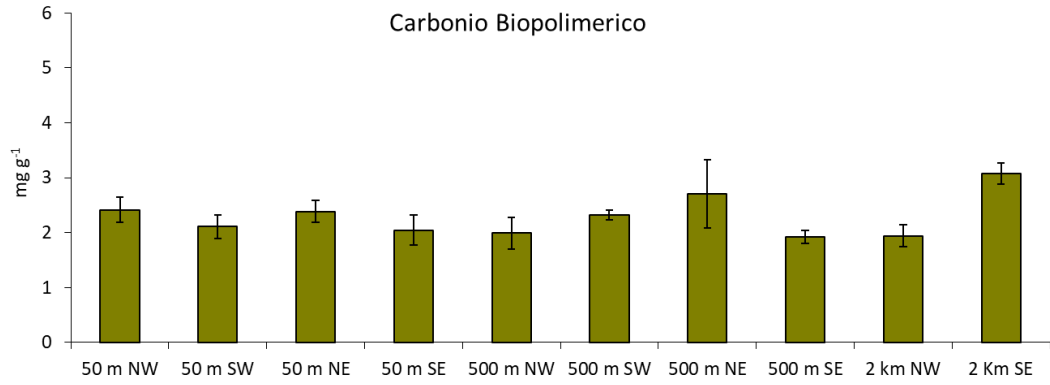


### 3.1.3. Analisi della macrofauna in relazione ai dati ambientali della materia organica e della meiofauna (nematodi e copepodi totali)

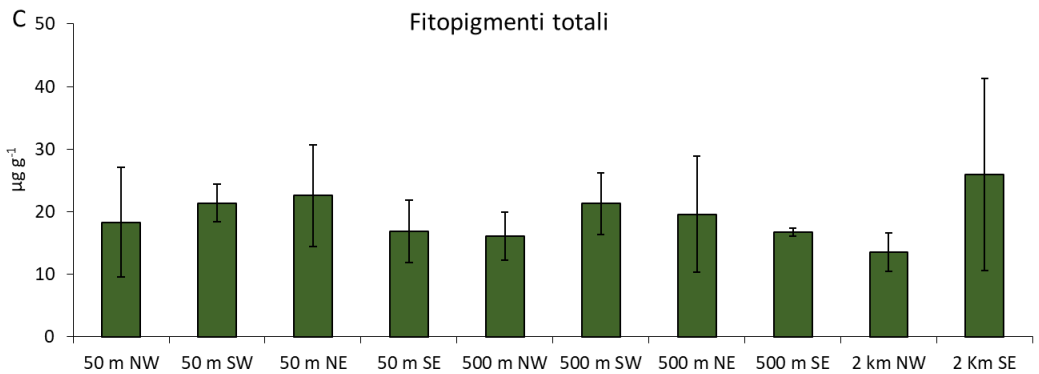
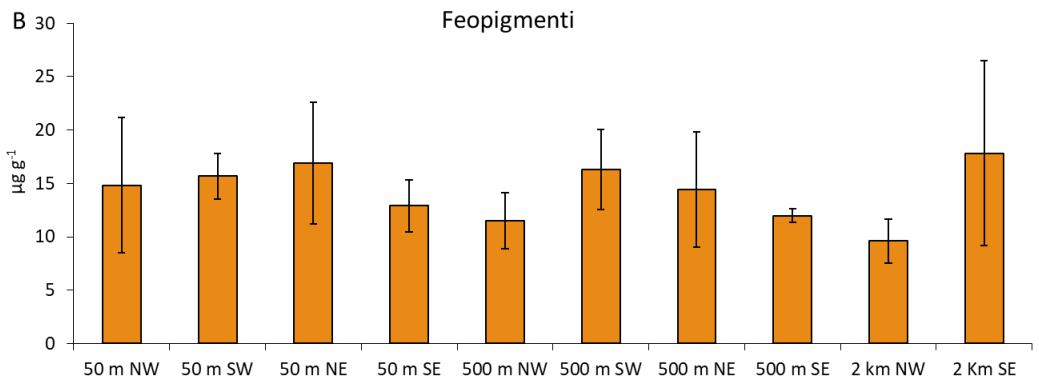
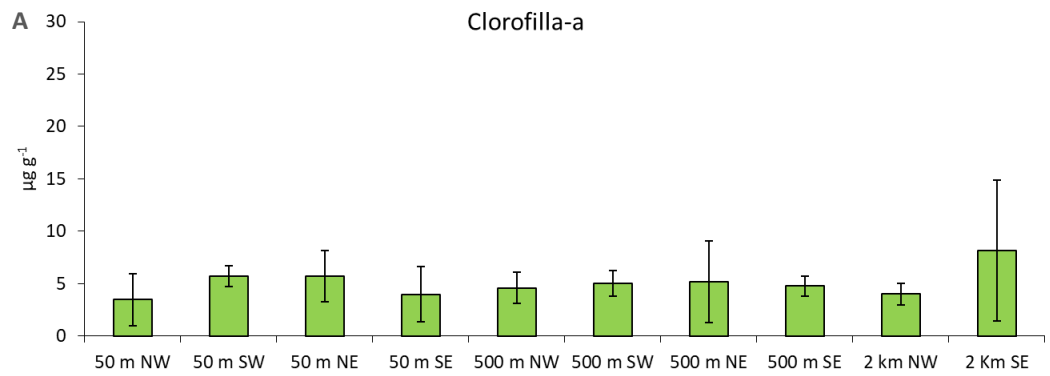
Innanzitutto, per avere un quadro completo sulle analisi in questione, vengono descritti di seguito i risultati relativi alla composizione biochimica del sedimento, oggetto di studio di un'altra tesi sperimentale inerente allo stesso progetto: concentrazione di Proteine, Carboidrati e Lipidi (**Fig. 47**), concentrazione di Carbonio Biopolimerico (**Fig. 48**), concentrazione della Clorofilla-a, di Feopigmenti e Fitopigmenti totali (**Fig. 49**) (Amodio Simona, UNIVPM, ottobre 2020).



**Figura 47.** Concentrazione di Proteine (A), Carboidrati (B) e Lipidi (C).

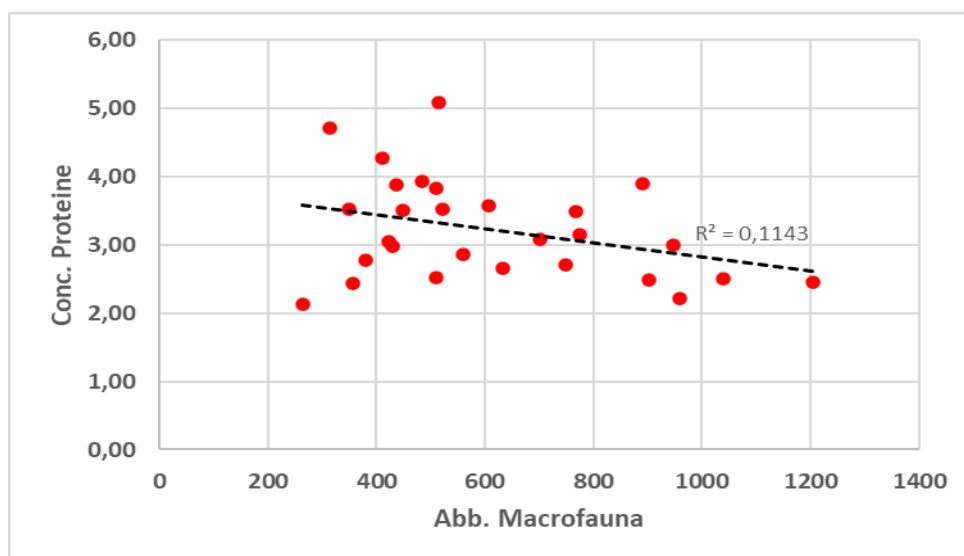


**Figura 48.** Concentrazione di Carbonio Biopolimerico.



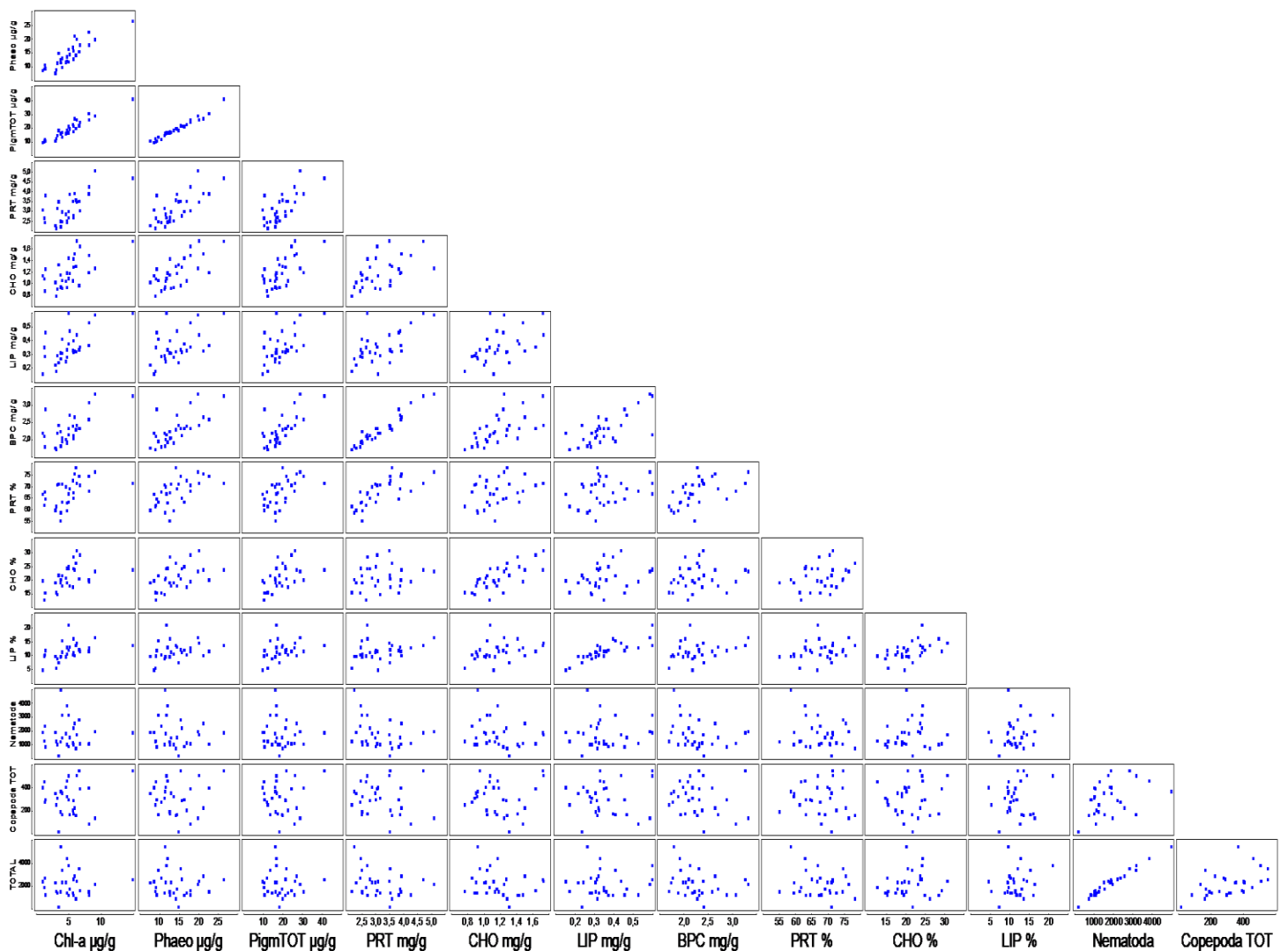
**Figura 49.** Concentrazione di Clorofilla a (A), Feopigmenti (B) e di Fitopigmenti totali (C).

I risultati della PERMANOVA hanno mostrato differenze significative per il fattore distanza in relazione alle variabili lipidi, carboidrati, proteine e C biopolimerico, per il fattore transetto in relazione alle variabili lipidi e C biopolimerico e per il fattore distanza\*transetto per le variabili carboidrati, proteine e C biopolimerico. Il *pair-wise test* però non mostra una tendenza riconoscibile rispetto ai risultati significativi della PERMANOVA. Per tutte le altre variabili non si riscontrano differenze significative (Amodio Simona, UNIVPM, ottobre 2020). Per quando riguarda la relazione tra le variabili ambientali della materia organica e i dati di abbondanza totale della comunità macrobentonica si segnala un'unica correlazione degna di nota, seppur debole (correlazione lineare negativa,  $R^2 = 0,11$ ), rispetto alla concentrazione delle proteine. Dal grafico a dispersione (**Fig. 50**) si può osservare infatti come al diminuire della concentrazione delle proteine aumenta l'abbondanza totale della macrofauna. Per tutte le altre variabili non si riscontrano correlazioni degne di nota e, per questo motivo, non verranno segnalate graficamente. Così come non si segnalano correlazioni degne di nota per quanto riguarda i dati della biomassa totale della macrofauna rispetto a tali variabili ambientali e per questo motivo, anche in questo caso, non sono state inserite graficamente nei risultati.



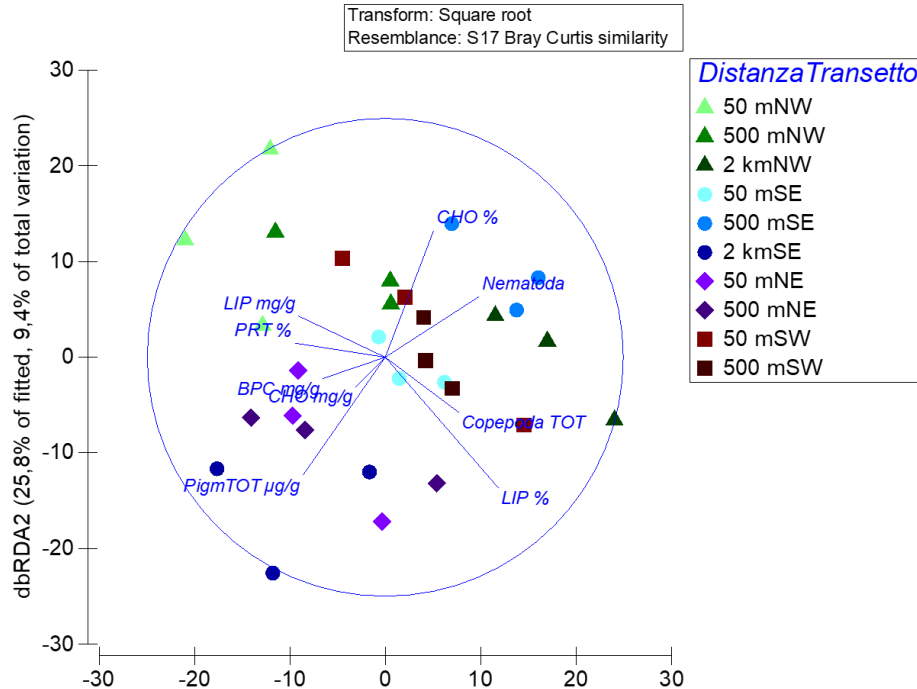
**Figura 50.** Grafico a dispersione che mostra la correlazione lineare negativa tra la concentrazione di proteine e l'abbondanza totale della macrofauna.

È stato eseguito successivamente il Draftsman plot (**Fig. 51**), inserendo i dati dei nematodi e copepodi totali della meiofauna oltre a quelli ambientali della materia organica, per vedere quali variabili siano autocorrelate tra di loro, ovvero quali di esse ci forniscono la medesima risposta, così da eliminare queste ultime con lo scopo di diminuire la variabilità, ovvero le variabili in gioco, e far girare meglio il modello statistico (valore scelto come soglia  $r = 0,75$ ). Si evince come la Clorofilla-a e i Feopigmenti siano autocorrelati con i Fitopigmenti totali, quindi le prime sono state escluse. Anche il Carbonio Biopolimerico e le Proteine risultano essere correlate tra di loro e queste ultime sono state eliminate, così come i nematodi con i copepodi totali con il mantenimento esclusivamente dei primi.



**Figura 51.** DRAFTSMAN plot eseguito sulle variabili ambientali della materia organica e sui dati dei nematodi e copepodi della meiofauna per valutare quali variabili siano autocorrelate tra di loro.

L'analisi del plot dbRDA (**Fig. 52**), condotta sui dati di abbondanza della macrofauna, mostra una certa variabilità dei campioni in base alle variazioni della materia organica e della meiofauna.



**Figura 52.** dbRDA plot condotto sui dati di abbondanza della macrofauna in relazione alle variabili ambientali della materia organica e ai dati dei nematodi e copepodi totali

Secondo i risultati del modello DISTLM (**Tab. 12**) le variabili che significativamente spiegano la variabilità nei campioni sono la disponibilità di C Biopolimerico, e quindi anche la concentrazione di Proteine poiché le due variabili sono autocorrelate, e la concentrazione di Lipidi (insieme spiegano quasi il 14% della varianza del sistema).

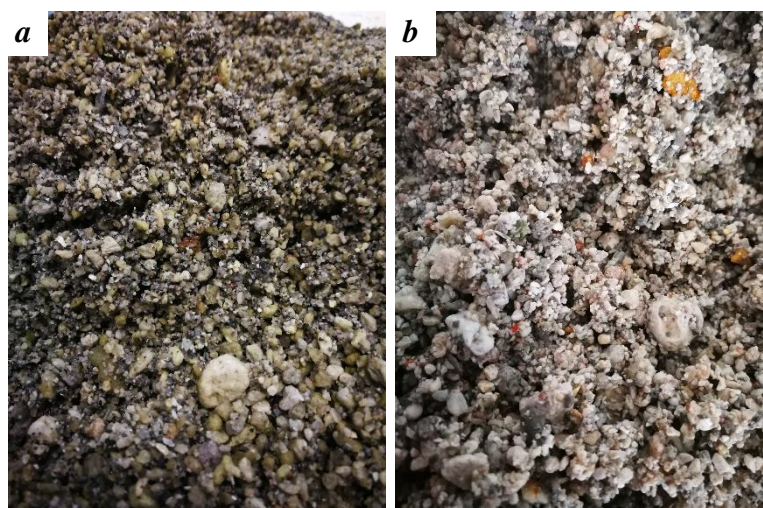
**Tabella 12.** Risultati del Sequential test e best solution del modello.

<b>SEQUENTIAL TESTS</b>							
Variable	AIC	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.	res.df
BPC							
mg/g	209,52	2437,5	2,41	0,006	0,07	<b>0,08</b>	28
LIP mg/g	209,48	1868	1,91	0,02	0,06	<b>0,14</b>	27
<b>Best solution</b>							
AIC	R <sup>2</sup>	RSS	No.Vars	Selections			
209,48	<b>0,14</b>	26472	2	6;7			

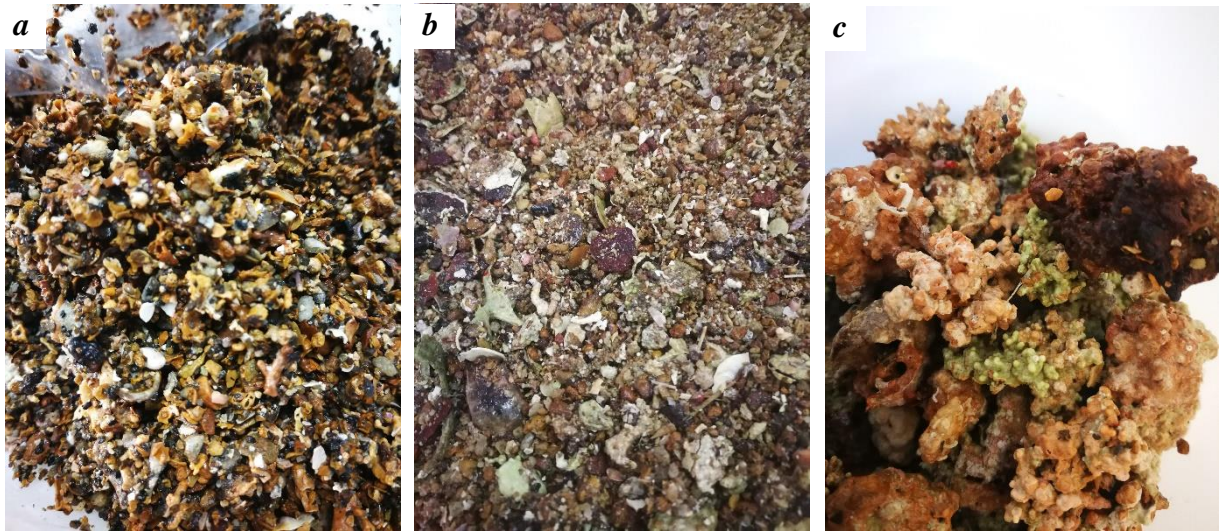
## 3.2. HYDROTHERMAL VENTS PANAREA (2015)

### 3.2.1. Composizione tassonomica della macrofauna

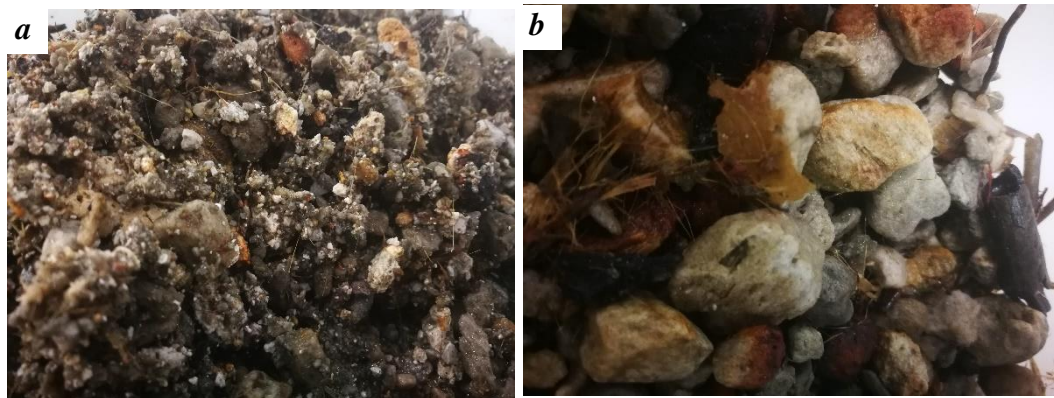
Sono stati individuati una totalità di 979 individui, appartenenti a 7 Phyla e 17 Taxa, che caratterizzano il sedimento detritico costiero dell'area in esame. Di seguito i Phyla riscontrati: Annelida, Crustacea, Mollusca, Sipuncula, Echinodermata, Chordata, Cnidaria. L'osservazione macroscopica dei campioni, effettuata previamente al sorting, ha permesso di evidenziare l'ampia variabilità del sedimento, sia per granulometria che per composizione, non solo tra i siti e quindi i diversi livelli di emissione, ma anche tra le stazioni accomunate dallo stesso livello di emissione. La granulometria del sedimento variava infatti da fine (sedimento quasi sabbioso) (**Fig. 53**), a medio-fine biogenico (**Fig. 54**) e medio-grossolano, a un sedimento grossolano con la presenza di detriti vegetali, plastici e presenza di residui di alluminio (**Fig. 55**). Interessante è poi il sedimento riscontrato nella stazione SP2 (Control) in cui si nota la presenza di sedimento biogenico caratterizzato da **Maërl** (**Fig. 54**).



**Figura 53.** Sedimento fine riscontrato in SP1 (strong emission) (a) e in BP1 (strong emission) (b), entrambi i siti caratterizzati da forte emissione.



**Figura 54.** Sedimento medio-fine riscontrato nelle stazioni di controllo (control) SP3 (a) e SP2, quest'ultimo associato a Maërl (b, c)



**Figura 55.** Sedimento medio-grossolano riscontrato nella stazione a low-medium emission CB3-2 (a) e grossolano nella stazione a strong emission CB3-3 (b). Entrambi i campioni sono caratterizzati da detriti vegetali, plastici e di altro tipo.



**Figura 56.** Sedimento grossolano riscontrato nella stazione di controllo SP4.

Per quanto concerne la composizione tassonomica della macrofauna sono state identificate due classi di anellidi (Polychaeta, Oligochaeta) e tre classi di molluschi (Bivalvia, Gastropoda, Polyplacophora). Una maggiore diversità tassonomica è stata invece osservata per i crostacei, per cui sono stati identificati diversi Taxa appartenenti ai seguenti ordini: Amphipoda, Decapoda, Cumacea, Isopoda, Tanaidacea e Ostracoda. Per quanto riguarda invece gli echinodermi sono presenti la classe Echinoidea e Ophiuroidea. Per quanto concerne il Phylum Chordata sono stati identificati organismi appartenenti al subphylum Cephalochordata e alla famiglia Gobiidae (un unico esemplare non identificato presente nei campioni). È stato inoltre osservato un unico esemplare del Phylum Cnidaria appartenente all'ordine Actiniaria).

In termini di abbondanza spiccano i policheti (38,3%) caratterizzati, tra le altre specie, da *Aponuphis bilineata* (**Fig. 57**) e *Onuphis eremita* (Onuphidae), *Lysidice ninetta* (**Fig. 58**) e *Lysidice unicornis* (**Fig. 59**) (Eunicidae), *Lumbrineris luciliae* (**Fig. 60**) (Lumbrineridae), *Euphrosine foliosa* (**Fig. 61**) e da una significativa presenza delle famiglie Syllidae (**Fig. 62**) e Nereididae.

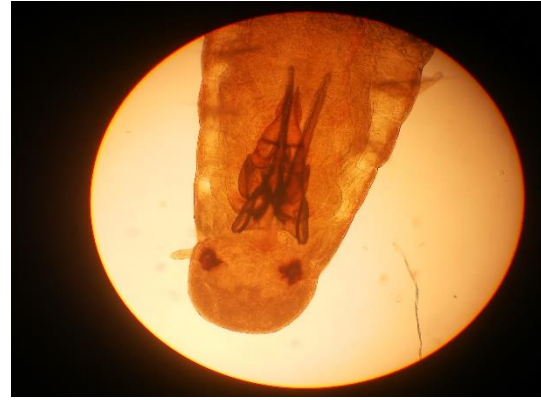


**Figura 57.** *Aponuphis bilineata*.



**Figura 58.** *Lysidice ninetta*.





*Figura 59. Lysidice unicornis.*



*Figura 60. Apparato mascellare di Lumbrineris luciliae.*

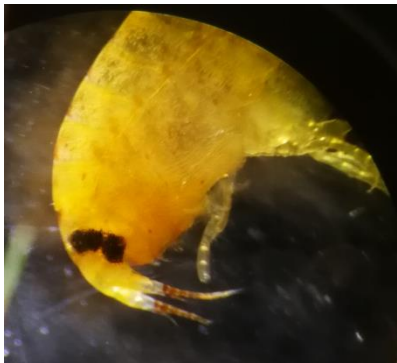


*Figura 61. Euprosine foliosa.*



*Figura 62. Famiglia Syllidae.*

Il secondo gruppo più abbondante è quello dei crostacei (21,5%). Si denota un'alta diversità e presenza di anfipodi (13,4%) delle famiglie Lysianassidae, ad esempio *Lysianassa costae* (**Fig. 63**) e *Hippomedon massiliensis* (**Fig. 64**), Leucothoidae, come *Leucothoe spinicarpa* (**Fig. 65**), Phoxocephalidae, come *Metaphoxus fultoni* (**Fig. 66**), Ischyroceridae (**Fig. 67**), del genere *Leptocheirus* (**Fig. 68**) e dell'unica specie mediterranea del genere *Pereionotus*, *P. testudo* (**Fig. 69**).



**Figura 63.** *Lysianassa costae*.



**Figura 64.** *Hippomedon massiliensis*



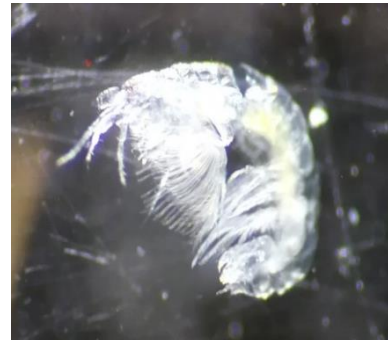
**Figura 65.** *Leucothoe spinicarpa*.



**Figura 66.** *Metaphoxus fultoni*.



**Figura 67.** *Ischyroceridae ind.*



**Figura 68.** *Leptocheirus sp.*



**Figura 69.** *Pereionotus testudo*.

In termini di abbondanza, numerosi sono a seguire i crostacei decapodi (4%) quali *Xantho pilipes* (**Fig. 70**), *Achaeus cranchii* (**Fig. 71**), *Alpheus macrocheles* (**Fig. 72**), *Galathea strigosa* (**Fig. 73**) e *Liocarcinus corrugatus* (**Fig. 74**). Gli altri ordini rappresentano i restanti 4,1% in termini di abbondanza: Isopoda (es. *Eurydice affinis* **Fig. 75**, *Eurycope* sp., *Munnopsurus* sp.), Cumacea (es. *Iphinoe tenella* **Fig. 76**, *Leucon siphonatus* **Fig. 77**, *Cumella pygmaea*), Tanaidacea (es. *Apseudopsis latreilli*, *Leptognathia* sp., *Araphura filiformis*) e Ostracoda (unico esemplare non identificato).



**Figura 70.** *Xantho pilipes*.



**Figura 71.** *Achaeus cranchii*.



**Figura 72.** *Alpheus macrocheles*.



**Figura 73.** *Galathea strigosa*.



**Figura 74.** *Liocarcinus corrugatus*.



**Figura 75.** *Eurydice affinis*.



**Figura 76.** *Iphinoe tenella*.

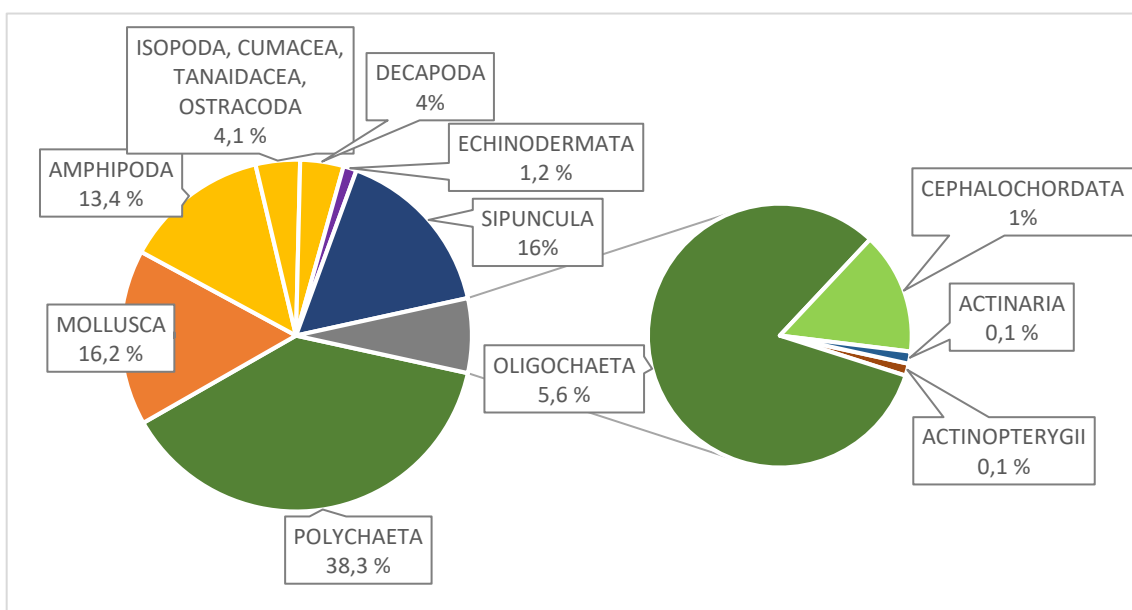


**Figura 77.** *Leucon siphonatus*.

Seguono in termini di abbondanza i molluschi (16,2%) i sipunculidi (16%), gli oligocheti (5,6%), gli echinodermi (1,2%) e il subphylum Cephalochordata (1%) in cui si riscontra una singola specie (*Branchiostoma lanceolatum* **Fig. 78**). Ultimi per abbondanza sono la famiglia Gobiidae (0,1%) e l'ordine Actiniaria (0,1%).



**Figura 78.** *Branchiostoma lanceolatum*.



**Figura 79.** Composizione tassonomica (% delle abbondanze dei principali gruppi riscontrati) nell'area di studio di Panarea.

In termini di biomassa dominano i molluschi (39,7%) seguiti dai policheti (39%). Tra i molluschi dominano i gasteropodi rispetto ai bivalvi e ai Polyplacophora (es. *Acanthochitona crinita* **Fig. 80**, *Rhyssoplax corallina* **Fig. 81**), in particolare *Bittium reticulatum* (**Fig. 82**). Altri gasteropodi presenti sono *Euspira nitida* (**Fig. 83**) e *Tectonatica rizzae* (**Fig. 84**) con agglomerati di uova attribuibili a quest'ultima (**Fig. 85**).



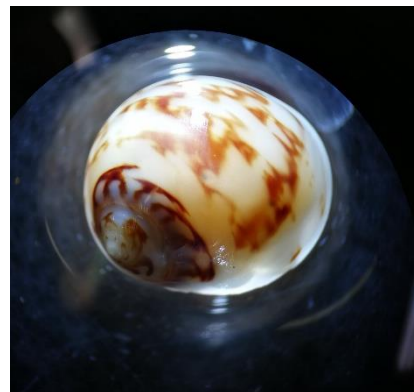
**Figura 80.** *Acanthochitona crinita*.



**Figura 81.** *Rhyssoplax corallina*.



**Figura 82.** *Bittium reticulatum*.



**Figura 83.** *Euspira nitida*.



**Figura 84.** *Tectonatica rizzae*.

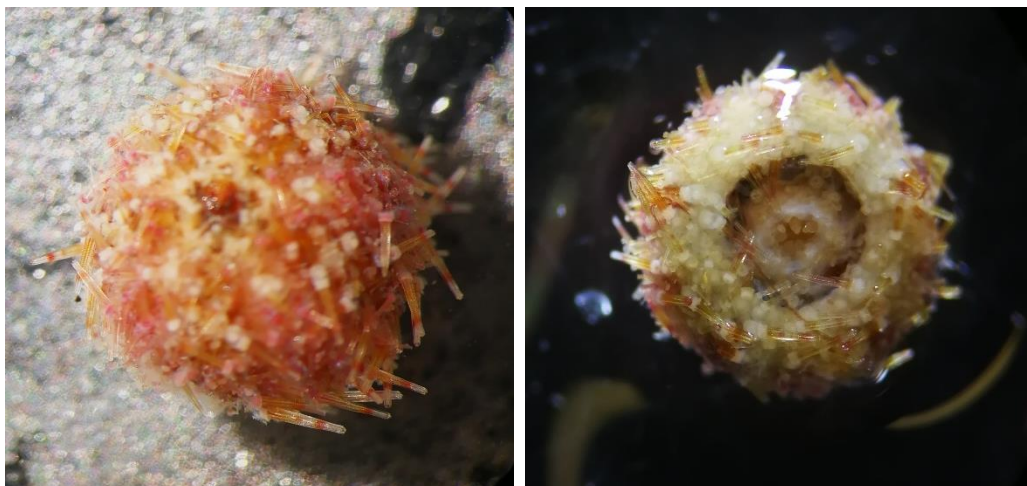


**Figura 85.** Uova *Naticidae*.

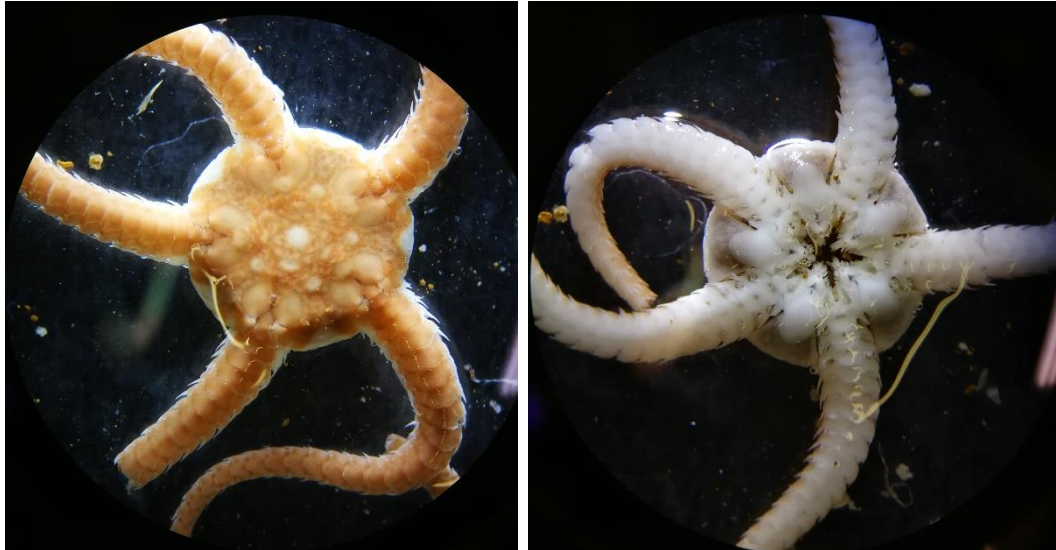
Seguono, in termini di biomassa, i crostacei (9,6%), gli echinodermi (7,2%) e i sipunculidi (unica specie *Phascolion (Phascolion) strombus*, 3,6%). Per quanto riguarda gli echinodermi sono stati osservate due specie di ricci, *Stylocidaris affinis* (**Fig. 86**) e giovanili attribuibili a *Psammechinus microtuberculatus* (**Fig. 87**), e una singola specie di ofiura (Ophiuroidea), *Ophiura ophiura* (**Fig. 88**). Ultimi per biomassa sono l'ordine Actiniaria (0,5%), l'anfiosso *Branchiostoma lanceolatum* (0,3%), gli anellidi oligocheti (0,2%) e la famiglia di pesci Gobiidae (0,1%).



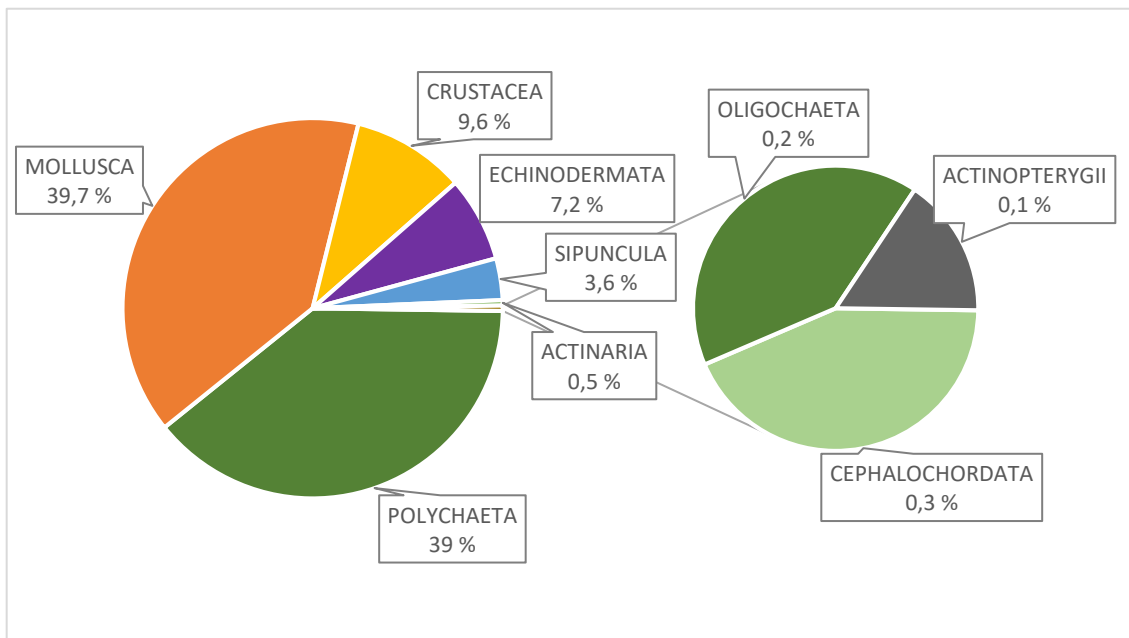
**Figura 86.** *Stylocidaris affinis*.



**Figura 87.** Individuo giovanile cfr. *Psammechinus microtuberculatus*.



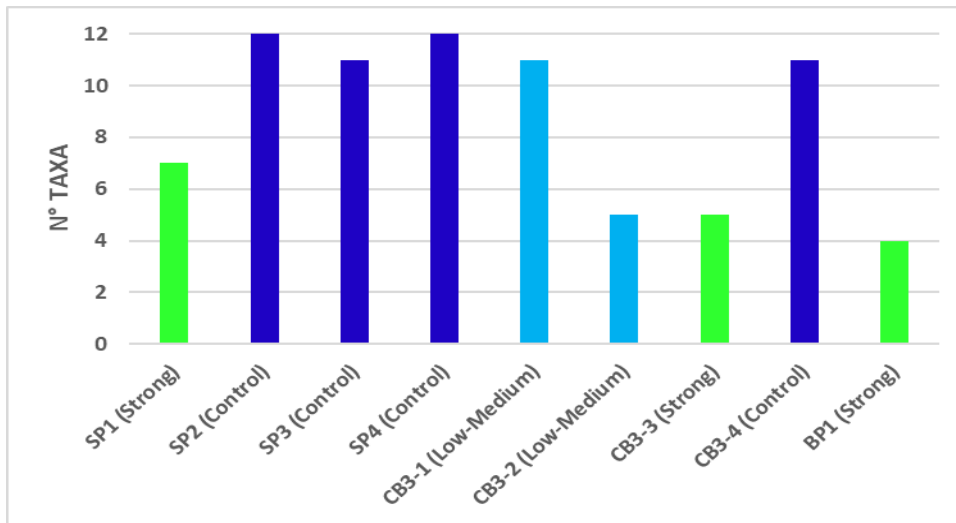
**Figura 88.** *Ophiura ophiura*.



**Figura 89.** Composizione tassonomica (% delle biomasse dei principali gruppi riscontrati) nell'area di studio di Panarea.

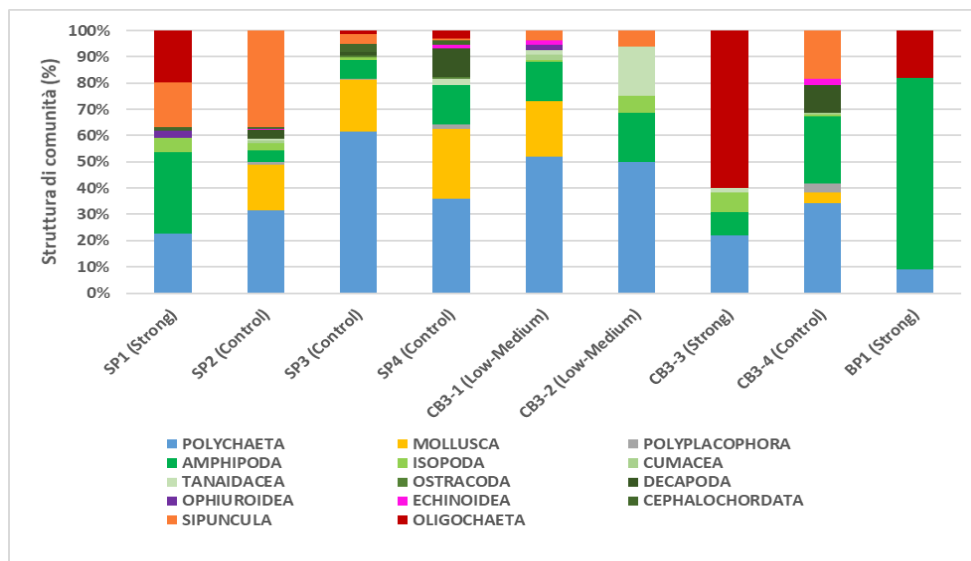
Nello specifico, per quanto riguarda la ricchezza dei taxa (**Fig. 90**), su un totale di 17 taxa si riscontrano dagli 11 ai 12 taxa nelle stazioni di controllo mentre un numero molto più basso in quelle a Strong emission (4 – 7 taxa). Le stazioni a Low-Medium emission sono caratterizzate invece da una diversa ricchezza dei taxa. Nella stazione *CB3-1* (Low) si evince come la ricchezza dei taxa sia in linea con le stazioni di controllo (11 taxa), mentre nella stazione *CB3-2* (Medium) si denota una situazione in linea con quella

riscontrata nelle stazioni ad emissione alta (5 taxa).



**Figura 90.** Grafico relativo alla ricchezza in taxa delle diverse stazioni.

La struttura della comunità macrobentonica varia molto tra le diverse stazioni e livelli di emissione, in particolar modo tra le stazioni di controllo e quelle a Strong emission (**Fig. 91**). Si osserva infatti come le stazioni di controllo siano accomunate da una cospicua presenza di molluschi, policheti e del sipunculide *Phascolion* (*Phascolion*) *strombus*, in linea anche con la stazione *CB3-1* (Low emission). Le stazioni ad emissione alta sono invece accomunate tra loro e si differenziano dalle altre stazioni dalla presenza soprattutto degli oligocheti (struttura simile in *CB3-2*, Medium emission). Tale diversità verrà meglio descritta nei paragrafi successivi.

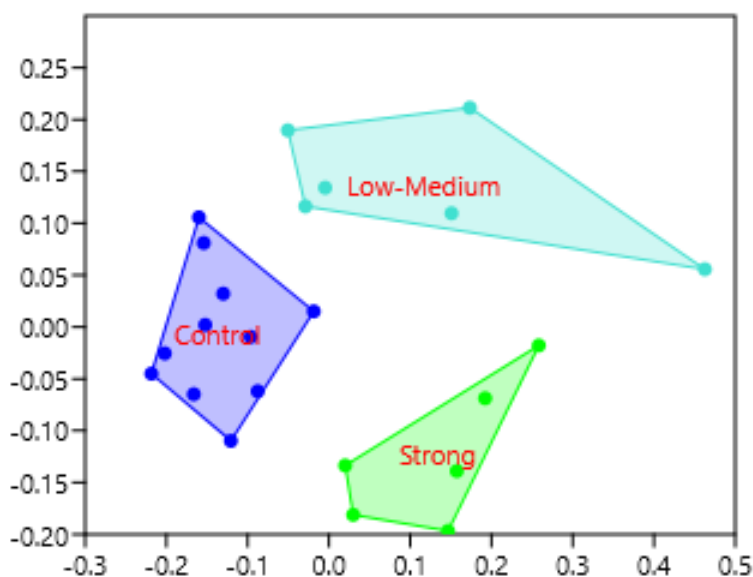


**Figura 91.** Struttura della comunità macrobentonica delle diverse stazioni.



### 3.2.2. Analisi sull'abbondanza, biomassa e diversità della macrofauna

È stata condotta l'analisi multivariata e univariata sui dati di abbondanza di tutta la comunità macrobentonica. L'analisi del plot nMDS (*Fig. 92*) mostra una chiara separazione tra i punti-campione secondo i diversi livelli di emissione (Control, Low-Medium, Strong). Per quanto riguarda i livelli Low-Medium e Strong emission si evince come i popolamenti siano maggiormente dispersi rispetto al controllo.



*Figura 92. nMDS plot ottenuto attraverso l'indice di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna.*

I risultati della PERMANOVA evidenziano, infatti, differenze altamente significative per il fattore emissione (*Tab. 13*).

*Tabella 13. Risultati della PERMANOVA condotta sui dati di abbondanza della macrofauna per il fattore emissione.*

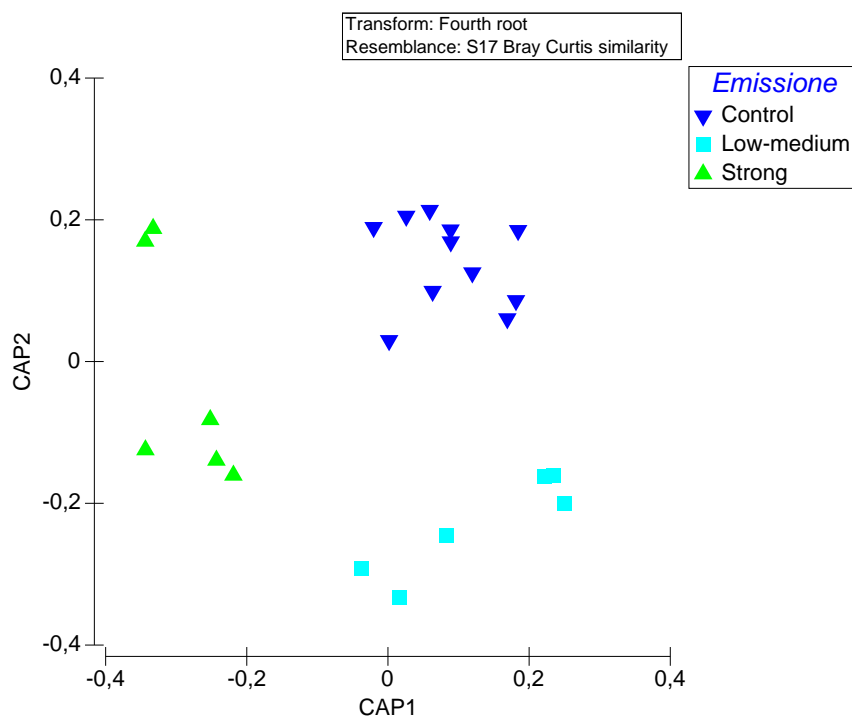
Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Emission	2	9814,3	45,21	0,0001
Res	20	2171,1		
Total	22			

Per valutare le differenze tra i diversi livelli di emissione è stato effettuato il *pair-wise test* (**Tab. 14**). Si riscontrano differenze altamente significative tra il controllo e l'emissione medio-bassa e differenze significative tra quest'ultima e l'emissione forte e, di conseguenza, una differenza significativamente alta tra Control e Strong emission.

**Tabella 14.** Risultati dei *pair-wise test* condotto sui dati di abbondanza della macrofauna in base ai diversi livelli di emissione. Si denotano in tutti i gruppi differenze significative.

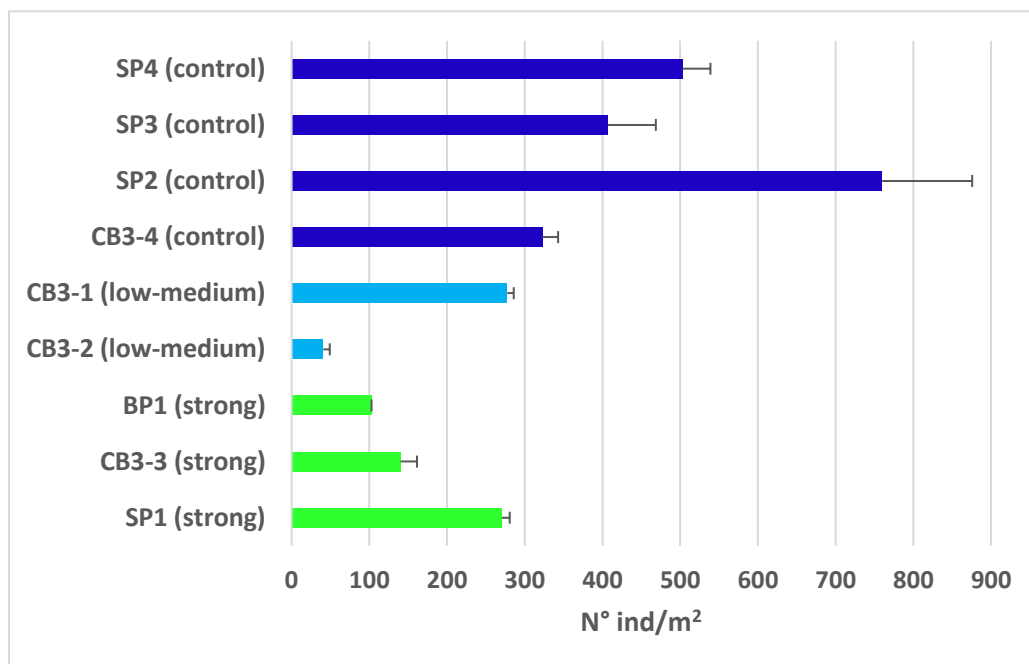
Groups	t	P(perm)
Strong, Control	25,35	0,0001
Strong, Low-medium	18,52	0,0021
Control, Low-medium	19,30	0,0001

Successivamente è stata eseguita la CAP (**Fig. 93**) sul fattore emissione, ritenuto significativo in base ai risultati della PERMANOVA. Questa evidenza una separazione chiara dei punti-campione in base al fattore emissione con una maggiore dispersione nei livelli Low-Medium e Strong emission.



**Figura 93.** CAP plot ottenuto attraverso l'indice di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna in base al fattore emissione.

L'analisi effettuata sulle abbondanze totali è stata condotta esprimendo le abbondanze assolute standardizzate di ogni campione come N° di individui/m<sup>2</sup> (**Fig. 94**). Si riscontrano massimi livelli di abbondanza nelle stazioni di controllo con un picco che caratterizza la stazione *SP2* dove, come visto nel paragrafo precedente, vi è una complessità dell'habitat più elevata dovuta alla presenza di sedimento biogenico associato a *Maërl*. Successivamente i livelli di abbondanza vanno via via diminuendo passando per le stazioni caratterizzate da un'emissione medio-bassa fino a quelle ad emissione alta, con un'anomalia per quanto riguarda la stazione *CB3-2* (Low-Medium emission) in cui si riscontrano livelli minimi di abbondanza.



**Figura 94.** Grafico relativo alle abbondanze della macrofauna (N° individui / m<sup>2</sup>).

I risultati dell'ANOVA (**Tab. 15**) mostrano come, per quanto riguarda le abbondanze rispetto al fattore emissione, vi siano differenze significative. Il *pair-wise test* (**Tab. 16**) invece mette in luce differenze significative tra il controllo e l'emissione medio-bassa e il controllo e l'emissione alta, mentre non vi sono differenze significative, in termini di abbondanza, tra le stazioni a Low-Medium emission e Strong emission.

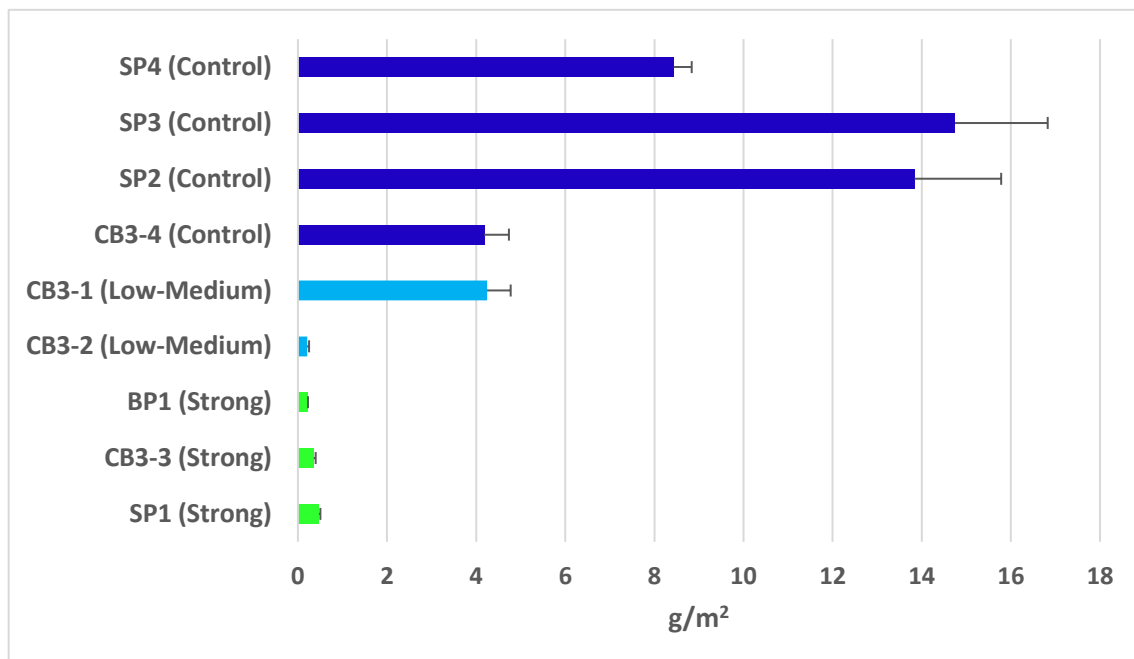
**Tabella 15.** Risultati dell'ANOVA (univariate) in base al fattore emissione rispetto ai valori di abbondanza totale della macrofauna delle diverse stazioni.

Groups	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Emission	2	4,23	8,49	0,0017
Res	20	0,50		
Total	22			

**Tabella 16.** Risultati del pair-wise test condotto sui dati di abbondanza totale della macrofauna rispetto al fattore amissione. Differenze significative nei gruppi Strong, Control e Control, Low-Medium.

Groups	t	P(perm)
Strong, Control	3,42	0,0043
Strong, Low-Medium	0,69	0,4877
Control, Low-Medium	3,50	0,0023

Le analisi effettuate sulle biomasse totali ( $\text{g/m}^2$ ) mostrano risultati in linea con quelli delle abbondanze totali. Troviamo massimi livelli di biomassa nelle stazioni di controllo con una diminuzione a partire dalle stazioni a Low-Medium emission fino a quelle a Strong emission (**Fig. 95**).



**Figura 95.** Andamento delle biomasse totali della macrofauna ( $\text{g/m}^2$ ).

I risultati dell'ANOVA (**Tab. 17**) infatti mostrano anche in questo caso come vi siano risultati significativi rispetto al fattore emissione. Così come il *pair-wise test* (**Tab. 18**) che mette in luce differenze significative tra le stazioni di controllo e quelle ad emissione medio-bassa e il controllo e l'emissione alta, mentre non vi sono differenze significative, in termini di biomassa totale, tra le stazioni a Low-Medium emission e Strong emission.

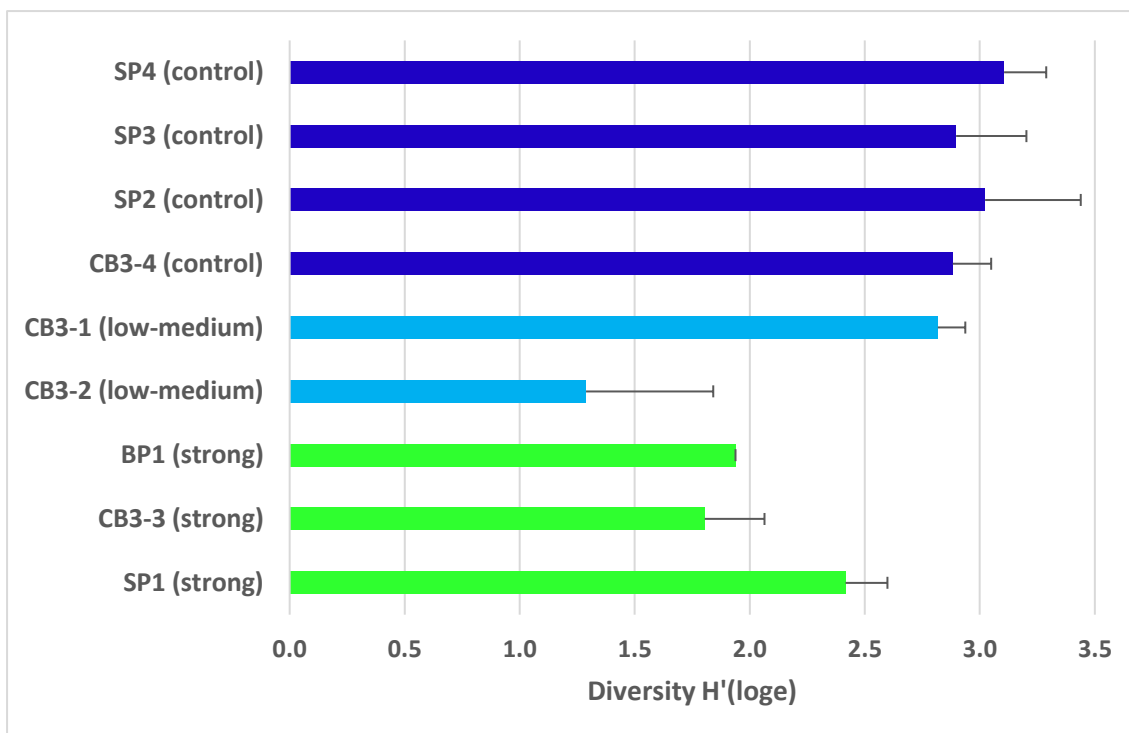
**Tabella 17.** Risultati dell'ANOVA in base al fattore emissione condotti sui valori di biomassa totale della macrofauna delle diverse stazioni.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Emission	2	13,25	11,85	0,0006
Res	20	1,12		
Total	22			

**Tabella 18.** Risultati del *pair-wise test* condotto sui dati di biomassa totale della macrofauna rispetto al fattore amissione.

Groups	t	P(perm)
Strong, Control	4,41	0,0008
Strong, Low-Medium	1,38	0,2598
Control, Low-Medium	2,94	0,0095

Le analisi effettuate sulla diversità totale, misurata con l'indice di Shannon-Wiener  $H'$  (loge), mostrano anche in questo caso risultati in linea con le analisi svolte sull'abbondanza e biomassa totale. Si riscontrano massimi livelli di diversità nelle stazioni di controllo, dove non è presente alcun tipo di emissione, con una netta diminuzione nelle stazioni a Strong emission. Risulta esserci un'anomalia per quanto riguarda il livello di emissione Low-Medium; si può notare come la stazione *CB3-1* (Low) sia caratterizzata da un livello di diversità simile a quello delle stazioni di controllo, mentre nella stazione *CB3-2* (Medium) si evince un livello molto basso di diversità, inferiore addirittura a quello delle stazioni caratterizzate da un livello di emissione alto (**Fig. 96**).



**Figura 96.** Andamento della diversità totale  $H'(\log_e)$  della macrofauna.

I risultati dell'ANOVA (**Tab. 19**) sulla diversità totale in base al fattore emissione certificano come quest'ultimo sia significativo. Nello specifico, attraverso il *pair-wise test* (**Tab. 20**), si denota un'alta significatività tra il gruppo Control e Strong emission, una certa significatività tra il gruppo Control e Low-Medium emission e nessuna significatività degna di nota tra il gruppo Low-Medium e Strong emission, forse dovuta all'anomalia della stazione *CB3-2*.

**Tabella 19.** Risultati dell'ANOVA in base al fattore emissione rispetto alla diversità totale della macrofauna.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Emission	2	24,48	89,35	0,0017
Res	20	0,27		
Total	22			

**Tabella 20.** Risultati del *pair-wise test* condotto sui dati di diversità totale della macrofauna rispetto al fattore emissione.

Groups	t	P(perm)
Strong, Control	61,76	0,0003
Strong, Low-medium	5,67E+02	0,9547
Control, Low-medium	31,60	0,0053

Per poter evidenziare i Taxa che caratterizzano maggiormente le comunità macrobentoniche rinvenute nelle diverse stazioni e per vedere quelle che sono le relative dissimilarità in tal senso tra i diversi livelli di emissione è stata condotta l'analisi SIMPER per il fattore emissione. La percentuale di dissimilarità del gruppo Control & Low-Medium è dell'86,4% (**Tab. 21**). La specie che incide maggiormente in tale discostamento tra i due livelli di emissione è il sipunculide *Phascolion (Phascolion) strombus* seguito dai policheti della famiglia Syllidae e della specie *Lysidice unicornis*, dai molluschi *Bittium reticulatum* (Gastropoda) e *Goodallia* spp. (Bivalvia) e dall'anfipode *Pereionotus testudo* presente nelle sole stazioni di controllo.

**Tabella 21.** Risultati dell'analisi SIMPER rispetto al gruppo Control & Low-Medium.

<b>Groups Control &amp; Low-Medium</b>				
Overall Average dissimilarity = 86,4				
Taxon	Av. dissim	Cumulative %	Control	Low-Medium
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	11,99	13,88	97,1	6,35
Syllidae spp.	9,602	24,99	62	0
<i>Lysidice unicornis</i>	3,468	33,64	23,7	3,82
Anomura spp.	3,415	37,59	22,3	0
<i>Bittium reticulatum</i>	3,405	41,53	20,2	0
<i>Goodallia</i> spp.	3,383	45,45	26,4	5,12
<i>Aponuphis bilineata</i>	2,654	48,52	2,08	17,8
<i>Pereionotus testudo</i>	2,201	53,85	10,4	0

La percentuale di dissimilarità del gruppo Control & Strong è dell'88,3% (**Tab. 22**). Anche in questo caso è importante sottolineare il discostamento dato soprattutto da *P. strombus* e dal gasteropode *B. reticulatum* che ci aiuta a comprendere come ci possa essere l'effettiva presenza di un impatto dato dalle emissioni di CO<sub>2</sub>. Il sipunculide *P. strombus* vive preferenzialmente all'interno dei gusci dei gasteropodi e questi ultimi sembrano essere un importante fattore nel determinare la distribuzione di questo sipunculide (Hylleberg, 1976). L'analisi SIMPER evidenzia la dominanza di *P. strombus* e del gasteropode *B. reticulatum* nelle stazioni di controllo rispetto alle altre.

**Tabella 22.** Risultati dell'analisi **SIMPER** rispetto al gruppo Control & Strong.

<b>Groups Control &amp; Strong</b>				
Overall Average dissimilarity = 88,3				
Taxon	Av. dissim	Cumulative %	Control	Strong
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	11,39	12,88	97,1	15,2
Oligochaeta ind.	9,814	23,99	4,19	62,5
Syllidae spp.	8,621	33,74	62	2,55
Caprella spp.	3,772	38,01	0	24,3
<i>Lysidice unicornis</i>	3,581	42,06	23,7	0
Anomura spp.	3,244	45,73	22,3	0
<i>Bittium reticulatum</i>	3,213	49,37	20,2	0
<i>Goodallia</i> spp.	3,102	52,88	26,4	0

La percentuale di dissimilarità del gruppo Low-Medium & Strong corrisponde invece al 90,2% (**Tab. 23**). Anche in tal caso, come per il gruppo Control & Strong (vedi **Tab. 22**), il taxon che maggiormente contribuisce alla dissimilarità è rappresentato dagli oligocheti.

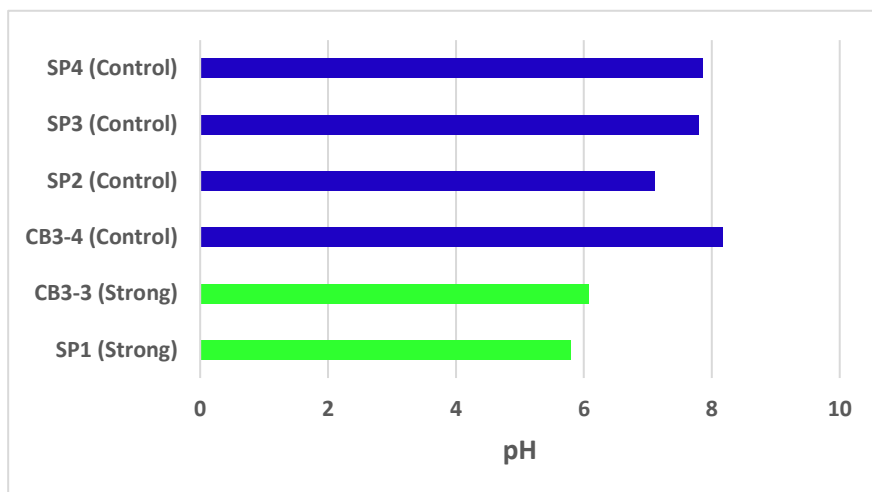
**Tabella 23.** Risultati dell'analisi **SIMPER** rispetto al gruppo Low-Medium & Strong.

<b>Groups Low-Medium &amp; Strong</b>				
Overall Average dissimilarity = 90,2				
Taxon	Av. dissim	Cumulative %	Low-Medium	Strong
Oligochaeta ind.	20,12	22,29	0	62,5
Caprella spp.	7,323	30,4	0	24,3
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	4,81	35,73	6,35	15,2
<i>Aponuphis bilineata</i>	3,939	45,32	17,8	0
Glycera spp.	3,375	49,06	8,91	0
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	3,292	52,7	12,7	2,56
Gastropoda spp.	2,833	55,84	8,89	2,64
Lumbrineridae ind.	2,686	58,82	0	10,2



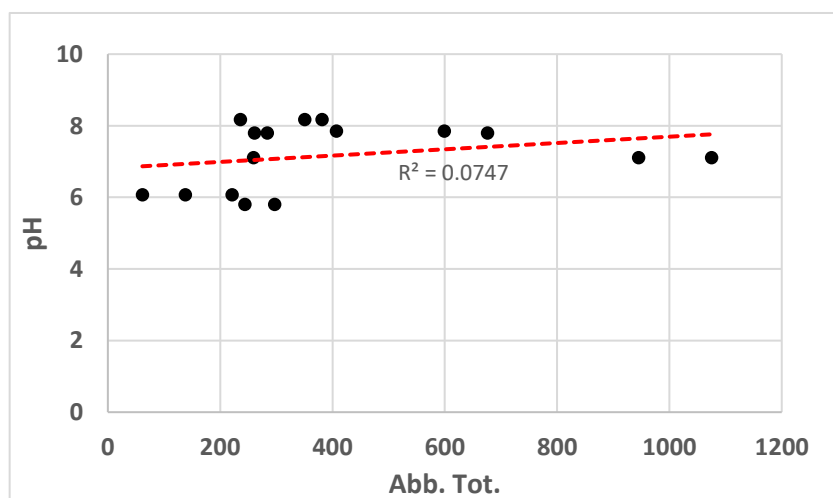
### 3.2.3. Analisi della macrofauna in relazione al pH

Per quanto riguarda i valori del pH sono state escluse dalle analisi la stazione *BP1* (Strong emission) e le stazioni *CB3-1* e *CB3-2* (Low-Medium emission) in quanto non sono noti dati a riguardo. Nelle stazioni di controllo il pH ha valori prossimi ad 8, mentre presenta valori compresi tra 5.8 e 6.1 nelle stazioni ad emissione alta (**Fig. 97**).



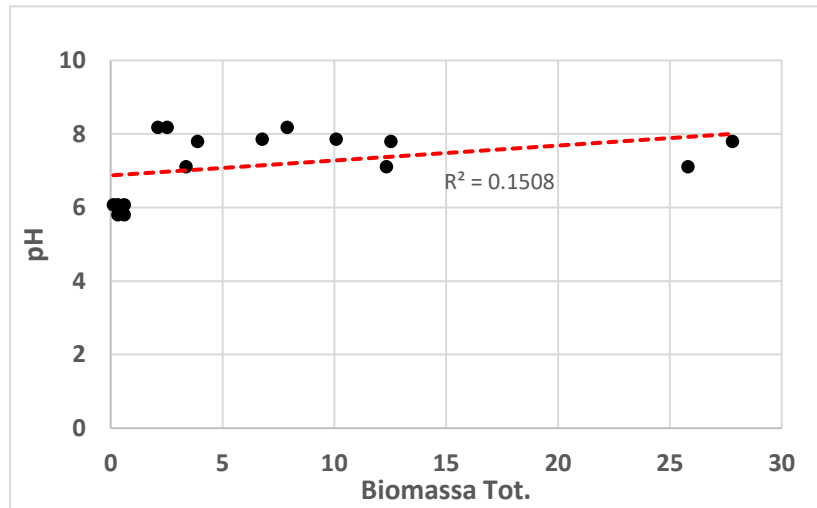
**Figura 97.** Grafico relativo ai valori del pH delle diverse stazioni a confronto.

Mettendo a confronto i dati del pH con quelli dell'abbondanza totale (grafico a dispersione **Fig. 98**) si nota come ci sia una correlazione lineare positiva, seppur non significativa, tra le due variabili ( $R^2 = 0,08$ ): abbondanza totale della macrofauna aumenta all'aumentare dei valori del pH nelle stazioni di controllo.



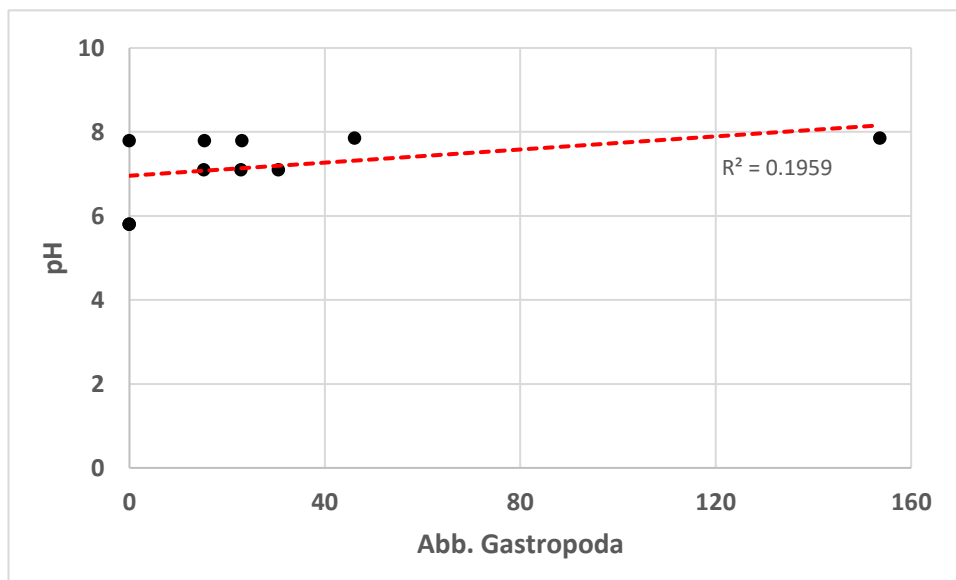
**Figura 98.** Grafico a dispersione tra la variabile pH e l'abbondanza totale della macrofauna.

Una simile correlazione positiva, seppur con valori di  $R^2$  più elevati, si osserva anche tra i valori della biomassa totale e quelli del pH ( $R^2 = 0,15$ ) (*Fig. 99*).



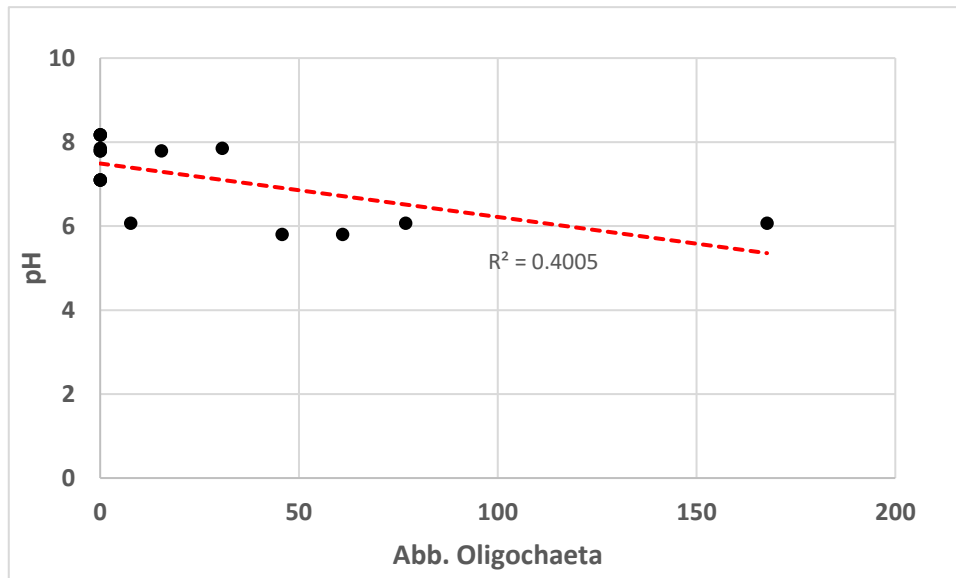
*Figura 99.* Grafico a dispersione tra la variabile pH e la biomassa totale della macrofauna.

Un andamento simile mostra l'abbondanza dei gasteropodi con il pH ( $R^2 = 0,20$ ) (*Fig. 100*), che aumenta all'aumentare del pH nelle stazioni di controllo.



*Figura 100.* Grafico a dispersione tra la variabile pH e l'abbondanza dei gasteropodi.

Fa eccezione a questo pattern l'andamento degli oligocheti. L'abbondanza di questi ultimi è infatti correlata negativamente con il pH ( $R^2 = 0,40$ ) (**Fig. 101**), aumentando al diminuire del pH nelle stazioni ad emissione alta.



**Figura 101.** Grafico a dispersione tra la variabile pH e l'abbondanza degli oligocheti.

## 4. DISCUSSIONE

### *4.1. Impatto delle piattaforme offshore in Adriatico centrale sulle comunità bentoniche di fondo mobile*

Negli anni sono stati condotti numerosi studi per valutare gli effetti dovuti all'installazione di piattaforme offshore per l'estrazione di gas e petrolio sulle comunità bentoniche di fondo mobile (es. Fabi et al., 2007; Terlizzi et al., 2008; Manoukian et al., 2010; Spagnolo et al., 2014; Punzo et al., 2017). È infatti noto che le operazioni di perforazione generano fluidi di scarto e detriti che potrebbero causare forti impatti ambientali (Terlizzi et al., 2008). Inoltre, la struttura fisica della piattaforma può modificare il flusso d'acqua locale e alterare i sedimenti influenzando la composizione della comunità bentonica (Wilson-Ormond et al., 2000). Generalmente, durante la fase di installazione e le operazioni di perforazione, le comunità bentoniche più vicine alle piattaforme mostrano una diminuzione della diversità e un cambiamento nelle abbondanze di specie mentre, più lontano, gli assemblaggi possono apparire più simili a quelli dell'area circostante non interessata dall'impatto (Grant e Briggs, 2002). L'impatto risulta essere evidente durante le fasi di installazione, perforazione e inizio di produzione piuttosto che nella fase avanzata di fine produzione (Spagnolo et al., 2014). La piattaforma Viviana ha terminato la sua fase operativa da circa 20 anni e questo può fornirci dunque ulteriori elementi che giustificano l'assenza di un impatto evidente. In Mare Adriatico, è stato anche evidenziato come la posizione geografica di una piattaforma offshore giochi un ruolo importante nella resilienza della comunità bentonica (Manoukian et al., 2010). Nel macrobenthos, rispetto alla meiofauna, che è caratterizzata da un turnover più veloce in cui gli effetti degli impatti scompaiono in una breve scala temporale, tali effetti si mantengono per un lasso di tempo più ampio rappresentando una sorta di memoria biologica degli ecosistemi

marini (Bianchi, 1994). I risultati della presente tesi mostrano come sia l'abbondanza che la biomassa della macrofauna risultino essere superiori nelle stazioni poste a 500 m dalla piattaforma rispetto a quelle poste a 50 m e 2 km, ricordando che quella a 2 km SE si trova in prossimità della piattaforma Fratello Nord a cui è collegata la piattaforma Viviana, e che quindi debba essere considerata alla pari delle stazioni a 50 m; mentre quella a 2 km NW, lontano effettivamente da qualsiasi piattaforma, è caratterizzata da un picco in termini di abbondanza della macrofauna. Per quanto riguarda la diversità si denota una situazione molto più omogenea con livelli lievemente inferiori nelle stazioni a 50 m e quella a 2 km SE rispetto a quelle a 500 m. In linea di massima il fattore distanza risulta avere comunque una maggiore significatività rispetto al fattore transetto. Interessante è poi l'analisi riguardante la ricchezza dei taxa in cui si denotano, anche in questo caso, lievi differenze per il fattore distanza. Nelle stazioni poste a 500 m troviamo un numero di taxa che varia tra 8 – 10 spingendoci a identificare l'area come caratterizzata da sufficiente qualità ambientale, in accordo con la classificazione proposta da Danovaro et al. (2004). Tali autori hanno proposto una classificazione della qualità ecologica degli ambienti bentonici basata sul numero di taxa della meiofauna e/o macrofauna. L'indicatore proposto classifica i sedimenti come fortemente impattati (numero di taxa  $\leq 4$ ), moderatamente impattati (numero di taxa = 4 - 7), con sufficiente (numero di taxa = 8 - 11), buona (numero di taxa = 12 - 16) ed eccellente qualità ambientale (numero di taxa  $\geq 16$ ). Viceversa, nell'area che contraddistingue le stazioni poste a 50 m e 2 km SE (paragonabile a quelle a 50 m) troviamo un numero di taxa inferiore (6 - 7 taxa) tale da identificare l'area come moderatamente impattata. È presente tuttavia un'anomalia nella stazione posta a 50 m NE in cui si denota una ricchezza di taxa in linea con le stazioni a 500 m (11 taxa), per questo motivo la situazione risulta essere complessa in termini di evidenza

di impatto e ci spinge a supporre che l'impatto sia ancora lievemente presente ma che, allo stesso momento, la comunità macrobentonica stia tornando in modo graduale ad una situazione di pre-impatto, come già evidenziato da precedenti studi a riguardo (es. Punzo et al., 2017). Altro aspetto interessante che si evince dalle analisi è una forte predominanza del bivalve *Varicorbula gibba*, soprattutto nelle stazioni a 50 m e 2 km SE. *V. gibba* è una specie ad ampia distribuzione ecologica che vive preferenzialmente infossata in sedimenti fangosi, per questo motivo risulta essere dominante in Nord e Medio Adriatico e la sua abbondanza è correlata a zone caratterizzate da instabilità ambientale (Bellan et al., 1975). Questo bivalve, infatti, è una specie a strategia r, contrassegnata da una crescita rapida (Jensen, 1990) che le fornisce un'elevata resistenza a stress sia meccanici, come quello della pesca a strascico (Rumbor et al., 1991), che ambientali (Kardon, 1998). In particolar modo risulta essere resistente a condizioni di severa ipossia (Diaz et al., 1995) ed è considerata come una specie pioniera nella ricolonizzazione dei fondali dopo gli effetti di crisi anossiche (Brenko et al., 1994). Risulta quindi essere predominante in aree impattate o arricchite da nutrienti inorganici (Crema et al., 1991). Nel nostro caso *V. gibba* è presente in tutte le stazioni poste a differenti distanze dalla piattaforma, il che ci porta ad ipotizzare che ci sia una condizione di instabilità ambientale più o meno omogenea; ma il fatto che nelle stazioni a 500 m ci sia una minore rappresentatività rispetto alle altre e ricordando che la stazione a 2 km SE può essere paragonata a quelle a 50 m per la vicinanza alla piattaforma Fratello Nord, possiamo ipotizzare che la portata dell'impatto sia minore, anche se lievemente, nelle stazioni a 500 m. Per quanto riguarda le analisi sulle variabili ambientali della materia organica e della meiofauna rispetto ai valori di abbondanza della macrofauna si nota come ci sia una certa variabilità dei campioni data dalla disponibilità di Carbonio Biopolimerico, concentrazione di Proteine e

concentrazione di Lipidi. Le interazioni tra gli assemblaggi meio- e macrofaunali e la disponibilità di materia organica risultano essere fondamentali per comprendere lo stato trofico in cui si trova il sistema (Harriague et al., 2012). Non solo la quantità, ma anche la qualità della materia organica, influenzano la struttura delle comunità bentoniche e le loro rispettive biomasse; infatti, anche in presenza di alti carichi organici ci possiamo trovare di fronte ad una composizione refrattaria, ovvero di scarsa qualità nutritiva (Harriague et al., 2012). Nel nostro caso bisogna sottolineare come la % della varianza del sistema, data dalla disponibilità di Carbonio Biopolimerico e dalla concentrazione di Proteine e Lipidi, sia piuttosto bassa (circa 14%), e per questo motivo bisogna effettuare in futuro ulteriori analisi prendendo in considerazione altre variabili ambientali oltre a quelle prese in esame nel seguente studio, per comprendere meglio se e come la quantità e la qualità della materia organica possano influenzare le comunità macrobentoniche in questione. In conclusione, dal seguente studio si denota una situazione ambientale piuttosto omogenea con la presenza di una certa variabilità tra le stazioni poste a differente distanza dalla piattaforma Viviana. Nello specifico sembra che nelle stazioni a 500 m ci sia una condizione ambientale leggermente diversa rispetto alle altre stazioni con abbondanza, biomassa e ricchezza di taxa lievemente superiori. Non è presente un evidente condizione impattante, ma sembra che la comunità macrobentonica sia in una situazione avanzata di recupero rispetto ad una condizione di impatto passata e che questi lievi discostamenti siano appunto dovuti alla lenta resilienza della comunità che si sta livellando a condizioni di pre-impatto. Caso diverso è invece quello della meiofauna, dove diversi studi (es. Simona Amodio, UNIVPM, 2020) mostrano una condizione del tutto normale della comunità, dovuta ad una più alta velocità di resilienza rispetto al comparto macrobentonico. Questo conferma ulteriormente

quindi come non ci sia una condizione impattante data dalla presenza della piattaforma rispetto ai popolamenti bentonici, ma che questi, con diverse risposte e tempi di recupero, siano in ripresa da condizioni impattanti riconducibili al periodo operativo della piattaforma.

#### ***4.2. Impatto delle sorgenti idrotermali costiere delle Isole Eolie sulle comunità bentoniche di fondo mobile***

I risultati della seguente tesi sono in linea con molti studi recenti effettuati riguardo l'attività idrotermale costiera, sia in Mediterraneo che in altre aree del globo. Si sono riscontrate differenze significative tra i siti di controllo/inattività e i siti dove sono presenti delle emissioni idrotermali caratterizzate dalla presenza di medio-alte concentrazioni di CO<sub>2</sub> (ppm 1400). Come evidenziato anche da Appolloni et al. (2020) e Chen et al. (2018) a queste emissioni caratterizzate da CO<sub>2</sub> consegue una riduzione del pH con l'instaurarsi di fenomeni di acidificazione delle acque e la creazione di un ambiente bentonico acido. Tale acidificazione colpisce le specie macrobentoniche sensibili che scompaiono quasi completamente, diminuendo la ridondanza e generando nicchie per altre specie tolleranti; si creano quindi opportunità per alcune specie ma anche condizioni negative per altre con perdita di biodiversità. Le aree di emissione sono quindi dei driver che modellano la struttura degli assemblaggi macrobentonici (Appolloni et al., 2020). Innanzitutto, si nota una maggiore eterogeneità sia spaziale che della comunità macrobentonica nelle stazioni dove non sono presenti livelli di emissione, come ad esempio la presenza di sedimento biogenico caratterizzato da *Maërl* nella stazione di controllo SP2. Elevate eterogeneità su piccola scala sono legate ad aree poco disturbate poiché un impatto tende ad omogeneizzare le strutture della comunità riducendo la ridondanza e la capacità di resilienza a seconda dai taxa che compongono



gli assemblaggi (Ghiaia et al., 2014; Thrush et al., 2009). Nel seguente studio si nota come sia l'abbondanza, la biomassa e la diversità della comunità macrobentonica diminuiscano nettamente nelle stazioni ad alta emissione rispetto a quelle di controllo, così come la ricchezza in termini di taxa. In accordo alla classificazione proposta da Danovaro et al. (2004), descritta in precedenza, le stazioni di controllo, caratterizzate da un numero di taxa tra 11 e 12 rappresentano aree con sufficiente/buona qualità ambientale, mentre nelle stazioni contraddistinte da livelli di emissione alta (ppm 1400) ci troviamo in presenza di un ambiente moderatamente impattato (4 – 7 taxa). In linea con Whiteley et al. (2011) si evince, quindi, come fenomeni di acidificazione determinino una bassa ricchezza dei taxa e una bassa abbondanza dei popolamenti macrobentonici con riduzione, in particolar modo, della crescita e sopravvivenza di molluschi e crostacei. Anche una piccola diminuzione dei livelli del pH può portare a cambiamenti profondi e complessi nei sistemi bentonici con uno stravolgimento della normale struttura e composizione delle comunità macrobentoniche (Linares et al., 2015). Nello specifico è importante sottolineare il discostamento dato soprattutto dal sipunculide *Phascolion (Phascolion) strombus* e dal gasteropode *Bittium reticulatum*. *P. strombus* vive preferenzialmente all'interno dei gusci dei gasteropodi e questi ultimi sembrano essere un importante fattore nel determinare la distribuzione di questo sipunculide (Hylleberg, 1976). Dalle analisi svolte si denota una netta dominanza sia di *P. strombus* sia del gasteropode *B. reticulatum* nelle stazioni di controllo rispetto alle altre. Le emissioni di CO<sub>2</sub> influenzano il pH con conseguente acidificazione e dissoluzione dei gusci di carbonato di calcio dei gasteropodi. Infatti, nelle stazioni dove sono presenti livelli di emissione, si riscontra l'assenza di *B. reticulatum* e di conseguenza anche una ridotta presenza, o addirittura assenza, di *P. strombus*. Quindi, così come osservato da Chen et al. (2018), fenomeni di acidificazione associati

alle emissioni delle sorgenti idrotermali costiere influiscono sulla calcificazione e struttura del guscio e sul tasso di crescita dei gasteropodi con effetti che si ripercuotono sugli altri popolamenti della comunità macrobentonica. Nelle stazioni influenzate da vari livelli di emissione invece si denota una massiccia presenza di oligocheti rispetto a quelle di controllo. Gli oligocheti, infatti, sono indicatori della qualità ambientale e risultano avere un'alta tolleranza sia a inquinanti organici come cadmio e mercurio sia alla fluttuazione di variabili ambientali come pH, temperatura, salinità e carenza di ossigeno (Chapman et al., 1982). Questa forte presenza di oligocheti nelle stazioni ad alta emissione può fornirci, quindi, un'ulteriore conferma della presenza di un impatto ambientale dato dalle emissioni di CO<sub>2</sub> in prossimità dei camini, con conseguente diversificazione della struttura delle comunità macrobentoniche analizzate. Questi organismi, infatti, così come osservato da Donnarumma et al. (2019) riescono non solo a sopravvivere alla presenza di emissioni di CO<sub>2</sub> ma trovano condizioni di crescita ottimali in ambiente acido. Tale resistenza spiega il loro aumento in termini di abbondanza in tali condizioni. Molto abbondanti, seppur non quanto gli oligocheti, sono anche i policheti della famiglia Capitellidae. Tale famiglia è ben nota per essere caratterizzata da specie altamente tolleranti, seppur tale resistenza è maggiormente osservata rispetto a sedimenti contaminati che a variazioni ambientali (Del Pilar Ruso et al., 2008). Dalle analisi effettuate si osserva come ci sia una chiara correlazione tra l'abbondanza dei gasteropodi e degli oligocheti rispetto ai valori del pH nelle diverse stazioni: l'abbondanza dei primi aumenta a pH stabile (intorno a 8), mentre l'abbondanza dei secondi aumenta considerevolmente al diminuire del pH. Si denota, quindi, come fenomeni di acidificazione in prossimità dei camini, a causa delle emissioni di CO<sub>2</sub>, rappresentino un impatto naturale che si ripercuote sull'abbondanza, la diversità e la struttura dei popolamenti macrobentonici in esame.

## 5. CONCLUSIONI

I risultati dei due casi di studio oggetto della presente tesi confermano il ruolo del macrozoobenthos di fondo mobile come indicatore ambientale. Nel primo caso di studio non vi è una chiara evidenza di impatto dato dalla presenza della piattaforma Viviana, ma si nota una certa variabilità e instabilità ambientale che può essere associata ad una condizione di impatto passata risalente alle fasi operative della piattaforma. Quindi si evince come la comunità macrobentonica sia in ripresa da tale condizione e apparentemente non sia soggetta a condizioni impattanti tutt'ora presenti nell'area in questione. Questo può spingerci ad ipotizzare che il modo migliore per affrontare i processi del decommissioning e di rivalutazione della struttura offshore, obiettivo del progetto *PON PlaCE*, sia quello di mantenere quest'ultima e di non procedere con tecniche di rimozione che possono avere conseguenze impattanti catastrofiche su comunità che si trovano in condizioni normali (meiofauna) e comunità in lenta ripresa (macrofauna), e di conseguenza su tutto l'ecosistema marino circostante. Dovranno ovviamente seguire altre analisi per verificare con certezza tale condizione nel tempo attraverso attività di monitoraggio costante della qualità ambientale e delle comunità bentoniche secondo i descrittori della *MSFD*. Nel secondo caso di studio ci troviamo di fronte ad una lampante evidenza di impatto data dalle emissioni di CO<sub>2</sub> delle sorgenti idrotermali costiere delle Isole Eolie, con conseguente acidificazione che porta ad una profonda modificazione della comunità macrobentonica in tutte le sue caratteristiche. Tale condizione di acidificazione locale può essere utilizzata per svolgere analisi più complesse che si inseriscano in studi ad un più ampio raggio sull'acidificazione degli oceani a livello globale.

## ***RINGRAZIAMENTI***

Ringrazio prima di tutti la professoressa Emanuela Fanelli che mi ha concesso la possibilità di svolgere questo lavoro e mi ha aiutato a comprendere e ad approfondire nuovi aspetti del corso di laurea, nonostante il periodo complicato che stiamo attraversando. È stato un percorso lungo e impegnativo che mi ha permesso di acquisire una formazione tale da potermi inserire in un contesto lavorativo universitario e che mi ha arricchito sia culturalmente che umanamente.

Un ringraziamento speciale ai miei genitori che mi hanno sempre sostenuto nelle mie scelte e mi hanno aiutato economicamente a raggiungere questo obiettivo, senza di loro non avrei mai potuto concludere questo percorso.

Ringrazio Eleonora che nel corso degli anni mi ha sempre supportato e sopportato condividendo insieme molti dei momenti che hanno contribuito a raggiungere questo importante obiettivo; spero di poterne condividere molti altri, sia belli che meno piacevoli come è stato fino ad ora.

Ovviamente non possono non ringraziare la mia coinquilina Giorgia, quasi una sorella maggiore, con cui ho passato due anni importanti e, anche se pensa il contrario, la persona da sopportare era lei.

Un ringraziamento doveroso va a Lisa che mi ha supportato nello svolgimento del lavoro di tesi e mi ha dato un aiuto fondamentale nell'identificazione tassonomica dei policheti, arricchendo la mia conoscenza in materia. Così come ringrazio Julian per avermi aiutato nell'identificazione tassonomica dei crostacei. Senza di loro sarei ancora con gli occhi incollati sullo stereomicroscopio. Ovviamente ringrazio anche tutto il laboratorio di biologia ed ecologia del DiSVA, in particolar modo ringrazio Emanuela, Ettore e Marco. Ognuno a suo modo mi ha dato una mano nello svolgere in modo efficiente il lavoro di tesi e ha reso piacevoli i giorni e le ore passate in laboratorio.

Ringrazio i miei compagni di laboratorio Simona e Samuele con i quali ci siamo supportati a vicenda, ma soprattutto sopportati. Non dimenticherò mai tutti i momenti di disperazione, le sigarette scroccate e le fornacelle fumanti. Ringrazio in modo particolare Simona, e ovviamente anche Enrico, per avermi ospitato più volte a casa loro.

Una dedica speciale a due grandi persone che non ci sono più ma che considero come i miei secondi genitori; mi hanno fatto crescere sotto tutti i punti di vista e mi hanno reso, attraverso i loro insegnamenti, la persona che sono. Non vi dimentico e non vi dimenticherò mai e vi dedico la conclusione di questo importante percorso, perché se sono qui oggi è soprattutto merito vostro.

## **BIBLIOGRAFIA**

Aleffi F., Bettuso N. - *Distribution of Corbula gibba (Bivalvia, Corbulidae) in the northern Adriatic sea* - Ser. Hist. Nat. 10-2000-2 (21).

Appolloni L., Zeppilli D., Donnarumma L., Baldrighi E., Chianese E., Russo G.F., Sandulli R. - *L'acidificazione dell'acqua di mare colpisce la beta-diversità delle comunità bentoniche in una bocca idrotermale poco profonda in un'area marina protetta del Mediterraneo (Parco archeologico sottomarino di Baia, Napoli, Italia)* - Diversity (2020) 12 (12), 464.

Battaglia P., Romeo T., Consoli P., Scotti G., Andaloro F. - *Characterization of the artisanal fishery and its socio-economic aspects in the central Mediterranean Sea (Aeolian Islands, Italy)*. - Fish Res. (2010); 102(1): 87-97.

Borja A., Muxika I., Franco J. - *The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft bottom benthic communities along European coasts*. - Marine Pollution Bulletin (2003); 46: 835-845.

Bortoluzzi G., Romeo T., La Cono V., La Spada G., Esposito V., Sabatino G. et al. - *Sfiati diffusi ricchi di ferro ferroso e ammonio sostengono comunità specifiche per habitat in un campo idrotermale poco profondo al largo dell'Isola di Basiluzzo (Arcipelago Vulcanico Eoliano)*. - Geobiologia (2017); 1-14. 10.1111.

Caracausi A., Ditta M., Italiano F., Longo M., Nuccio P.M., Paonita A. et al. - *Cambiamenti nella geochimica dei fluidi e nelle condizioni fisico-chimiche dei sistemi geotermici causati da input magmatici: il recente degassamento improvviso al largo dell'isola di Panarea (Isole Eolie, Italia)*. - Geoch Cosmochim Ac. (2005); 69: 3045-3059.

Carey S., P. Nomikou, K. Croff-Bell, M. Lilley, J. Lupton, C. Roman, E. Stathopoulou, K. Bejelou, R. Ballard. - *CO<sub>2</sub> degassing from hydrothermal vents at Kolumbo submarine volcano, Greece, and the accumulation of acidic crater water*. - Geology (2013).

Castelli A., C. Lardicci, D. Tagliapietra. - *Il macrobenthos di fondo molle*. - Biologia del Mar Mediterraneo (2003), 10 (Suppl.): 109-144.

Chapman P.M., Farrell M.A., Brinkhurst R.O. - *Relative tolerances of selected aquatic oligochaetes to individual pollutants and environmental factors* - Aquatic toxicology Vol. 2, Issue 1 (1982); Pag. 47-67.

Chen C., Chan T.Y., Chan B.K.K. - *Diversità Mollusca nelle bocche idrotermali in acque poco profonde al largo dell'isola di Kueishan, Taiwan.* - Mar. Biodivers. (2018) 48, 709-714.

Dando P.R., D. Stuben, S.P. Varnavas. - *Hydrothermalism in the Mediterranean Sea.* - *Progress in Oceanography.* - 44 (1999) 333-367.

Devey C.W., Fisher C.R., Scott S. - *Responsible science at hydrothermal vents.* *Oceanography.* - (2007); 20: 162-171.

Donna M. Schroeder, Milton S. Love. - *Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight.* - *Ocean & Coastal Management* 47 (2004) 21-48.

Donnarumma L., Appolloni L., Chianese E., Bruno R., Baldrighi E., Guglielmo R., Russo, GF, Zeppilli D., Sandulli R. - *Environmental and Benthic Community Patterns of the Shallow Hydrothermal Area of Secca Delle Fumose (Baia, Naples, Italy).* - *Davanti. Mar. Sci.* (2019) 6 , 1-15.

English F. - *Fluidi idrotermali sfiatati a basse profondità alle isole Eolie: rapporti con i sistemi vulcanici e geotermici.* - *FOG Freiberg Online Geology* - ISSN 1434-7512. (2009); 22: 55-60.

English F., Nuccio F. - *Indagini geochimiche di esalazioni vulcaniche sottomarine ad est di Panarea, Isole Eolie, Italia.* - *J Volcanol Geoth Res.* (1991); 46: 125-141.

Esposito V., F. Andaloro, S. Canese, G. Bortoluzzi, M. Bo, M. Di Bella, F. Italiano, G. Sabatino, P. Battaglia, P. Consoli, P. Giordano, F. Spagnoli, V. La Cono, M. Yakimov, G. Scotti, T. Romeo. - *Exceptional discovery of a shallow-water hydrothermal site in the SW area of Basiluzzo islet (Aeolian archipelago, South Tyrrhenian Sea): An environment to preserve.* - *Plos One* (2018).

Favalli M., Karstson D., Mazzuoli R., Pareschi M.T., Ventura G. - *Geomorfologia e tettonica vulcanica dell'Arcipelago Eoliano (Italia meridionale) sulla base di dati DEM integrati.* - *B Volcanol.* (2005); 68: 157-170. 10.1007.

Gamberi F., Marani M., Savelli C. - *Caratteristiche tettoniche, vulcaniche e idrotermali di una porzione sottomarina dell'arco eoliano (Mar Tirreno)*. - Mar Geol. (1997); 140: 167-181.

Gamberi F., Savelli C., Marani M.P., Ligi M., Bortoluzzi G., Landuzzi V. et al. - *Contesto morfotettonico e depositi idrotermali di solfuri ed ossidi di ferro in una porzione sommersa dell'arco eoliano (in base ad indagini ad alta definizione)*. - Boll Soc Geol It. (1998); 117: 55-71.

Glowka L. - *Putting marine scientific research on a sustainable footing at hydrothermal vents*. - Mar Policy. (2003); 27(4): 303-312.

Henrion M., B. Bernstein, S. Swamy. - *A Multi-attribute Decision Analysis for Decommissioning Offshore Oil and Gas Platforms*. - (2014).

Jeremy T. Claisse, Daniel J. Pondella, Milton Love, Laurel A. Zahn, Chelsea M. Williams, Ann S. Bull. - *Impacts from Partial Removal of Decommissioned Oil and Gas Platforms on Fish Biomass and Production on the Remaining Platform Structure and Surrounding Shell Mounds*. - (2015).

Manoukian S., A. Spagnolo, G. Scarcella, E. Punzo, R. Angelini, G. Fabi. - *Effects of two offshore gas platforms on soft-bottom benthic communities (northwestern Adriatic Sea, Italy)*. - Marine Environmental Research 70 (2010).

Muxika I., Borja A., Bonne W. - *The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts*. - Ecological Indicators (2005); 19-31.

Peters M., Strauss H., Petersen S., Kummer N.A., Thomazo C. - *Hydrothermalism in the Tyrrhenian Sea: inorganic and microbial zolfo cycling*. - Chem Geol. (2011); 280: 217-231.

Punzo E., A. Gomiero, A.N. Tasseti, P. Strafella, A. Santelli, V. Salvalaggio, A. Spagnolo, G. Scarcella, A.M. De Biasi, L. Kozinkova, G. Fabi. - *Environmental Impact of Offshore Gas Activities on the Benthic Environment: A Case Study*. - Environmental Management (2017) 60:340-356.

Punzo E., Strafella P., Scarcella G., Spagnolo A., De Biasi A.M., Fabi G. - *Trophic structure of polychaetes an offshore gas platform*. - Marine Pollution Bulletin (2015); 99: 119-125.



Ricevuto E., Vizzini S., Gambi M.C. - *Ocean acidification effects on stable isotope signatures and trophic interactions of polychaete consumers and organic matter sources at a CO<sub>2</sub> shallow vent system.* - *Exp Mar Biol Ecol.* (2015); 468: 105-117.

Roberto Danovaro. - *Biologia Marina: Biodiversità e funzionamento degli ecosistemi marini.* - Città Studi Edizioni (2013).

Simboura N., Zenetos A. - *Benthic indicators to use in Ecological Quality Classification of Mediterranean soft bottom ecosystems, including a new benthic index.* - *Mediterranean Marine Science* (2002); Vol. 3/2: 77-111.

Sommer B., A.M. Fowler, P.I. Macreadie, D.A. Palandro, A.C. Aziz, D.J. Booth. - *Decommissioning of offshore oil and gas structures - Environmental opportunities and challenges.* - *Science of The Total Environment* Volume 658, (2019), Pages 973-981.

Spagnolo A., C. Cuicchi, A.M. De Biasi, C. Ferrà, L. Montagnini, E. Punzo, V. Salvalaggio, A. Santelli, P. Strafella, G. Fabia. - *Effects of the installation of offshore pipelines on macrozoobenthic communities (northern and central Adriatic Sea).* - *Marine Pollution Bulletin* 138 (2019) 534-544.

Spagnolo A., Punzo E., Santelli A., Scarcella G., Strafella P., Grati F., Fabi G. - *Offshore platforms: comparison of five benthic indicators for assessing the macrozoobenthic stress levels.* - *Marine Pollution Bulletin* (2014); 82: 55-65.

Tarasov V.G., Gebruk A.V., Mironov A.N., Moskalev L.I. - *Deep-sea and shallow water hydrothermal vent communities: two different phenomena?* - *Chem Geol.* (2005); 224: 5-39.

Van Dover C.L. - *Mining seafloor massive sulphides and biodiversity: what is at risk?* - *Ices J Mar Sci.* (2011); 68: 341-348.

Von Damm K.L. - *Seafloor hydrothermal activity: black smoker chemistry and chimneys.* - *Annu Rev Earth Pl Sc.* (1990); 18: 173-204.

## ANNESI

**Annesso. 1:** Abbondanze standardizzate (N° di individui/m<sup>2</sup>) dei taxa della macrofauna del progetto PON PlaCE (Piattaforma Viviana).

TAXA	50 m NW	50 m SW	50 m NE	50 m SE	2 km SE
<b>Phylum ANNELIDA</b>					
<b>Classe POLYCHAETA</b>					
Capitellidae spp.	4,10	2,05	8,19	8,19	2,05
<i>Pseudoleiocapitella sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Dasybranchus sp.</i>	2,05	-	-	-	-
<i>Notomastus sp.</i>	16,38	6,14	4,10	6,14	-
<i>Heteromastus sp.</i>	-	-	2,05	-	-
Paraonidae ind.	-	2,05	-	2,05	4,10
<i>Aricidea (Acmira) simonae</i>	-	-	4,10	8,19	-
Maldanidae ind.	-	-	-	-	-
Orbiniidae ind.	-	2,05	-	-	-
Nephtyidae ind.	2,05	22,52	10,24	4,10	2,05
<i>Nephtys sp.</i>	-	-	2,05	10,24	-
<i>Glycera sp.</i>	-	-	2,05	-	2,05
<i>Glycera tridactyla</i>	2,05	2,05	8,19	-	-
<i>Glycera rouxii</i>	2,05	-	-	2,05	-
Polynoidae ind.	-	2,05	-	-	-
<i>Harmothoe sp.</i>	2,05	-	-	2,05	2,05
Goniadae ind.	2,05	-	-	-	-
Nereididae ind.	-	-	-	-	2,05
<i>Alitta sp.</i>	-	-	2,05	-	-
Lumbrineridae ind.	-	2,05	-	-	-
<i>Lumbrineris spp.</i>	-	12,29	30,71	24,57	-
<i>Scoletoma impatiens</i>	34,81	-	-	-	-
<i>Scoletoma fragilis</i>	-	4,10	4,10	-	-
<i>Scoletoma rovigensis</i>	-	2,05	-	-	-
<i>Abyssoninoe sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Drilonereis filum</i>	-	-	-	-	-
Cirratulidae ind.	2,05	2,05	-	-	-
<i>Monticellina tessellata</i>	2,05	-	-	-	-
<i>Chaetozone sp.</i>	-	-	-	4,10	-
<i>Sternaspis scutata</i>	12,29	6,14	16,38	12,29	4,10
Trichobranchidae ind.	-	2,05	2,05	2,05	-
<i>Spiochaetopterus costarum</i>	2,05	-	-	2,05	-
Tot. POLYCHAETA	86,00	69,62	96,23	88,04	18,43
<b>Phylum MOLLUSCA</b>					
<b>Classe GASTROPODA</b>					
<i>Turritella communis</i>	2,05	-	6,14	6,14	8,19
<i>Naticarius stercusmuscarum</i>	-	-	-	-	-
Tot. GASTROPODA	2,05	-	6,14	6,14	8,19

<b>TAXA</b>	<b>50 m NW</b>	<b>50 m SW</b>	<b>50 m NE</b>	<b>50 m SE</b>	<b>2 km SE</b>
<b>Classe BIVALVIA</b>					
<i>Varicorbula gibba</i>	75,76	83,95	71,66	59,38	8,19
<i>Nucula nitidosa</i>	16,38	6,14	10,24	10,24	20,48
<i>Donax sp.</i>	-	10,24	6,14	4,10	55,28
Cardiidae spp.	-	-	-	-	-
<i>Callista chione</i>	2,05	-	-	-	-
<i>Anadara transversa</i>	-	-	-	-	-
<i>Astarte sulcata</i>	2,05	-	-	-	-
Tot. BIVALVIA	96,23	100,33	88,04	73,71	83,95
<b>Phylum CRUSTACEA</b>					
<b>Ordine AMPHIPODA</b>					
<i>Leucothoe occulta</i>	-	-	4,10	-	2,05
<b>Ordine ISOPODA</b>					
<i>Natatolana borealis</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Anilocra frontalis</i>	-	-	-	-	-
Tot. ISOPODA	-	-	2,05	-	-
<b>Ordine CUMACEA</b>					
<i>Iphinoe serrata</i>	-	-	-	-	-
<b>Ordine TANAIIDACEA</b>					
<i>Apseudes spinosus</i>	311,22	159,71	485,26	182,23	255,94
<b>Ordine DECAPODA</b>					
Anomura ind.	-	2,05	2,05	-	-
<i>Anapagurus sp.</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Anapagurus curvidactylus</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Anapagurus bicorniger</i>	-	-	2,05	-	-
Macrura ind.	-	-	2,05	-	-
<i>Axius sp.</i>	-	-	-	-	2,05
<i>Axius stirhynchus</i>	-	-	-	-	-
<i>Callianassa sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Callianassa subterranea</i>	6,14	-	-	-	-
<i>Processa sp.</i>	4,10	-	-	2,05	4,10
<i>Processa macrophtalma</i>	-	-	-	2,05	-
Palaemonidae ind.	-	4,10	-	-	-
<i>Gebiacantha talismani</i>	-	4,10	-	-	6,14
<i>Upogebia tipica</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Gilvossius tyrrhenus</i>	-	-	-	-	-
Caridea ind.	-	2,05	4,10	2,05	-
Hippolytidae ind.	2,05	-	-	-	-
<i>Alpheus glaber</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Goneplax rhomboides</i>	-	4,10	4,10	4,10	-
Tot. DECAPODA	12,29	16,38	22,52	10,24	12,29
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>					
<b>Classe HOLOTUROIDEA</b>					
<i>Oestergrenia digitata</i>	32,76	90,09	10,24	16,38	30,71
<i>Thyone fusus</i>	2,05	-	-	-	-

TAXA	50 m NW	50 m SW	50 m NE	50 m SE	2 km SE
Tot. HOLOTUROIDEA	34,81	90,09	10,24	16,38	30,71
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>					
<i>Amphiura chiajei</i>	2,05	-	8,19	2,05	-
<b>Phylum CHORDATA</b>					
<b>Famiglia GOBIIDAE</b>					
Gobiidae ind.	-	2,05	4,10	-	-
<b>Phylum NEMERTEA</b>					
Nemertea ind.	-	-	2,05	-	-

TAXA	500 m NW	500 m SW	500 m NE	500 m SE	2 km NW
<b>Phylum ANNELIDA</b>					
<b>Classe POLYCHAETA</b>					
Capitellidae spp.	4,10	8,19	6,14	2,05	16,38
<i>Pseudoleiocapitella sp.</i>	4,10	2,05	-	-	-
<i>Dasybranchus sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Notomastus sp.</i>	4,10	-	6,14	-	-
<i>Heteromastus sp.</i>	8,19	10,24	4,10	12,29	-
Paraonidae ind.	-	-	4,10	-	6,14
<i>Aricidea (Acmira) simonae</i>	-	-	2,05	-	-
Maldanidae ind.	-	2,05	-	-	-
Orbiniidae ind.	-	-	-	-	-
Nephtyidae ind.	-	2,05	14,33	4,10	10,24
<i>Nephtys sp.</i>	12,29	43,00	10,24	12,29	20,48
<i>Glycera sp.</i>	-	-	-	4,10	2,05
<i>Glycera tridactyla</i>	-	-	-	-	4,10
<i>Glycera rouxii</i>	-	2,05	-	-	-
Polynoidae ind.	-	2,05	2,05	-	-
<i>Harmothoe sp.</i>	6,14	6,14	4,10	12,29	2,05
Goniadae ind.	-	-	-	-	-
Nereididae ind.	2,05	2,05	2,05	-	-
<i>Alitta sp.</i>	-	-	-	-	2,05
Lumbrineridae ind.	-	4,10	2,05	2,05	10,24
<i>Lumbrineris spp.</i>	14,33	47,09	14,33	6,14	26,62
<i>Scoletoma impatiens</i>	4,10	2,05	-	-	2,05
<i>Scoletoma fragilis</i>	-	-	4,10	-	-
<i>Scoletoma rovigensis</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Abyssoninoe sp.</i>	-	6,14	2,05	-	6,14
<i>Drilonereis filum</i>	2,05	-	-	-	-
Cirratulidae ind.	2,05	2,05	2,05	-	-
<i>Monticellina tessellata</i>	-	-	-	-	-
<i>Chaetozone sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Sternaspis scutata</i>	14,33	14,33	12,29	20,48	18,43
Trichobranchidae ind.	2,05	-	4,10	2,05	-
<i>Spiochaetopterus costarum</i>	-	2,05	-	2,05	2,05

<b>TAXA</b>	<b>500 m NW</b>	<b>500 m SW</b>	<b>500 m NE</b>	<b>500 m SE</b>	<b>2 km NW</b>
Tot. POLYCHAETA	79,85	157,66	98,28	79,85	128,99
<b>Phylum MOLLUSCA</b>					
<b>Classe GASTROPODA</b>					
<i>Turritella communis</i>	2,05	2,05	8,19	6,14	-
<i>Naticarius stercusmuscarum</i>	-	-	-	2,05	-
Tot. GASTROPODA	2,05	2,05	8,19	8,19	-
<b>Classe BIVALVIA</b>					
<i>Varicorbula gibba</i>	16,38	55,28	8,19	120,80	88,04
<i>Nucula nitidosa</i>	10,24	18,43	8,19	12,29	28,67
<i>Donax sp.</i>	18,43	14,33	16,38	57,33	10,24
Cardiidae spp.	2,05	-	-	2,05	-
<i>Callista chione</i>	-	2,05	-	-	-
<i>Anadara transversa</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Astarte sulcata</i>	-	-	2,05	-	2,05
Tot. BIVALVIA	47,09	90,09	36,86	192,47	128,99
<b>Phylum CRUSTACEA</b>					
<b>Ordine AMPHIPODA</b>					
<i>Leucothoe occulta</i>	2,05	2,05	4,10	2,05	2,05
<b>Ordine ISOPODA</b>					
<i>Natatolana borealis</i>	-	-	-	2,05	2,05
<i>Anilocra frontalis</i>	-	-	2,05	-	-
Tot. ISOPODA	-	-	2,05	2,05	2,05
<b>Ordine CUMACEA</b>					
<i>Iphinoe serrata</i>	2,05	2,05	2,05	-	-
<b>Ordine TANAIIDACEA</b>					
<i>Apseudes spinosus</i>	233,42	595,82	305,08	497,54	2055,69
<b>Ordine DECAPODA</b>					
Anomura ind.	-	4,10	4,10	2,05	2,05
<i>Anapagurus sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Anapagurus curvidactylus</i>	-	-	-	-	-
<i>Anapagurus bicorniger</i>	-	-	-	-	-
Macrura ind.	-	-	-	-	-
<i>Axius sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Axius stirhynchus</i>	-	-	2,05	-	-
<i>Callianassa sp.</i>	-	-	-	-	2,05
<i>Callianassa subterranea</i>	-	2,05	-	-	-
<i>Processa sp.</i>	-	2,05	-	2,05	2,05
<i>Processa macrophtalma</i>	-	-	-	-	2,05
Palaemonidae ind.	-	8,19	6,14	6,14	-
<i>Gebiacantha talismani</i>	2,05	-	-	6,14	20,48
<i>Upogebia tipica</i>	-	-	-	-	-
<i>Gilvossius tyrrhenus</i>	-	2,05	-	-	-
Caridea ind.	-	-	-	-	-
Hippolytidae ind.	-	-	-	-	-
<i>Alpheus glaber</i>	-	4,10	-	-	-

TAXA	500 m NW	500 m SW	500 m NE	500 m SE	2 km NW
<i>Goneplax rhomboides</i>	6,14	4,10	4,10	2,05	6,14
Tot. DECAPODA	8,19	26,62	16,38	18,43	34,81
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>					
<b>Classe HOLOTUROIDEA</b>					
<i>Oostergrenia digitata</i>	102,38	38,90	53,24	167,90	-
<i>Thyone fusus</i>	-	-	-	-	-
Tot. HOLOTUROIDEA	102,38	38,90	53,24	167,90	-
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>					
<i>Amphiura chiajei</i>	-	2,05	-	-	-
<b>Phylum CHORDATA</b>					
<b>Famiglia GOBIIDAE</b>					
Gobiidae ind.	-	-	2,05	2,05	-
<b>Phylum NEMERTEA</b>					
Nemertea ind.	-	-	-	-	-

**Annexo. 2:** Biomasse standardizzate (g/m<sup>2</sup>) dei taxa della macrofauna del progetto PON PlaCE (Piattaforma Viviana).

TAXA	50 m NW	50 m SW	50 m NE	50 m SE	2 km SE
<b>Phylum ANNELIDA</b>					
<b>Classe POLYCHAETA</b>					
Capitellidae spp.	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01
<i>Pseudoleiocapitella sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Dasybranchus sp.</i>	0,02	-	-	-	-
<i>Notomastus sp.</i>	0,13	0,04	0,02	0,03	-
<i>Heteromastus sp.</i>	-	-	0,02	-	-
Paraonidae ind.	-	0,01	-	0,02	0,02
<i>Aricidea (Acmira) simonae</i>	-	-	0,05	0,08	-
Maldanidae ind.	-	-	-	-	-
Orbiniidae ind.	-	0,01	-	-	-
Nephtyidae ind.	0,03	0,22	0,08	0,03	<0,01
<i>Nephtys sp.</i>	-	-	0,02	0,06	-
<i>Glycera sp.</i>	-	-	0,01	-	0,25
<i>Glycera tridactyla</i>	0,11	0,02	0,73	-	-
<i>Glycera rouxii</i>	0,09	-	-	0,02	-
Polynoidae ind.	-	0,01	-	-	-
<i>Harmothoe sp.</i>	0,05	-	-	0,01	0,01
Goniadae ind.	0,02	-	-	-	-
Nereididae ind.	-	-	-	-	2,25
<i>Alitta sp.</i>	-	-	0,02	-	-
Lumbrineridae ind.	-	0,01	-	-	-
<i>Lumbrineris spp.</i>	-	0,09	1,54	0,69	-
<i>Scoletoma impatiens</i>	0,31	-	-	-	-

TAXA	50 m NW	50 m SW	50 m NE	50 m SE	2 km SE
<i>Scoletoma fragilis</i>	-	0,03	0,05	-	-
<i>Scoletoma rovigensis</i>	-	0,01	-	-	-
<i>Abyssoninoe sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Drilonereis filum</i>	-	-	-	-	-
Cirratulidae ind.	0,02	0,01	-	-	-
<i>Monticellina tessellata</i>	<0,01	-	-	-	-
<i>Chaetozone sp.</i>	-	-	-	0,02	-
<i>Sternaspis scutata</i>	0,05	0,02	0,07	0,06	0,02
Trichobranchidae ind.	-	0,02	0,01	0,01	-
<i>Spiochaetopterus costarum</i>	0,01	-	-	0,01	-
Tot. POLYCHAETA	0,85	0,52	2,66	1,07	2,57
<b>Phylum MOLLUSCA</b>					
<b>Classe GASTROPODA</b>					
<i>Turritella communis</i>	0,14	-	0,91	0,58	0,59
<i>Naticarius stercusmuscarum</i>	-	-	-	-	-
Tot. GASTROPODA					
<b>Classe BIVALVIA</b>					
<i>Varicorbula gibba</i>	20,62	22,54	12,52	16,00	1,73
<i>Nucula nitidosa</i>	0,35	0,03	0,04	1,17	0,15
<i>Donax sp.</i>	-	0,02	0,01	0,19	0,25
Cardiidae spp.	-	-	-	-	-
<i>Callista chione</i>	0,01	-	-	-	-
<i>Anadara transversa</i>	-	-	-	-	-
<i>Astarte sulcata</i>	0,02	-	-	-	-
Tot. BIVALVIA	21,01	22,59	12,57	17,36	2,13
<b>Phylum CRUSTACEA</b>					
<b>Ordine AMPHIPODA</b>					
<i>Leucothoe occulta</i>	-	-	0,01	-	0,01
<b>Ordine ISOPODA</b>					
<i>Natatolana borealis</i>	-	-	0,10	-	-
<i>Anilocra frontalis</i>	-	-	-	-	-
Tot. ISOPODA	-	-	0,10	-	-
<b>Ordine CUMACEA</b>					
<i>Iphinoe serrata</i>	-	-	-	-	-
<b>Ordine TANAIIDACEA</b>					
<i>Apseudes spinosus</i>	1,45	0,81	2,66	0,96	1,22
<b>Ordine DECAPODA</b>					
Anomura ind.	-	0,01	0,01	-	-
<i>Anapagurus sp.</i>	-	-	0,03	-	-
<i>Anapagurus curvidactylus</i>	-	-	0,04	-	-
<i>Anapagurus bicorniger</i>	-	-	0,38	-	-
Macrura ind.	-	-	0,01	-	-
<i>Axius sp.</i>	-	-	-	-	0,04
<i>Axius stirhynchus</i>	-	-	-	-	-
<i>Callianassa sp.</i>	-	-	-	-	-

TAXA	50 m NW	50 m SW	50 m NE	50 m SE	2 km SE
<i>Callianassa subterranea</i>	0,53	-	-	-	-
<i>Processa sp.</i>	0,07	-	-	0,02	0,13
<i>Processa macrophthalma</i>	-	-	-	0,87	-
Palaemonidae ind.	-	0,12	-	-	-
<i>Gebiacantha talismani</i>	-	0,12	-	-	0,41
<i>Upogebia tipica</i>	-	-	0,03	-	-
<i>Gilvossius tyrrhenus</i>	-	-	-	-	-
Caridea ind.	-	0,03	0,12	0,02	-
Hippolytidae ind.	0,14	-	-	-	-
<i>Alpheus glaber</i>	-	-	1,22	-	-
<i>Goneplax rhomboides</i>	-	1,89	1,97	2,62	-
Tot. DECAPODA	0,74	2,17	3,81	3,54	0,58
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>					
<b>Classe HOLOTUROIDEA</b>					
<i>Oostergrenia digitata</i>	7,45	22,03	6,95	3,57	17,14
<i>Thyone fusus</i>	3,64	-	-	-	-
Tot. HOLOTUROIDEA	11,09	22,03	6,95	3,57	17,14
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>					
<i>Amphiura chiajei</i>	0,25	-	1,68	0,41	-
<b>Phylum CHORDATA</b>					
<b>Famiglia GOBIIDAE</b>					
Gobiidae ind.	-	0,95	2,14	-	-
<b>Phylum NEMERTEA</b>					
Nemertea ind.	-	-	0,03	-	-

TAXA	500 m NW	500 m SW	500 m NE	500 m SE	2 km NW
<b>Phylum ANNELIDA</b>					
<b>Classe POLYCHAETA</b>					
Capitellidae spp.	0,23	0,06	0,03	0,01	0,10
<i>Pseudoleiocapitella sp.</i>	0,25	0,04	-	-	-
<i>Dasybranchus sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Notomastus sp.</i>	0,03	-	0,04	-	-
<i>Heteromastus sp.</i>	0,06	0,25	0,03	0,07	-
Paraonidae ind.	-	-	0,02	-	0,05
<i>Aricidea (Acmira) simonae</i>	-	-	0,02	-	-
Maldanidae ind.	-	0,02	-	-	-
Orbiniidae ind.	-	-	-	-	-
Nephtyidae ind.	-	0,01	0,06	0,02	0,04
<i>Nephtys sp.</i>	0,14	1,23	0,09	0,04	0,31
<i>Glycera sp.</i>	-	-	-	0,06	0,02
<i>Glycera tridactyla</i>	-	-	-	-	0,07
<i>Glycera rouxii</i>	-	0,03	-	-	-
Polynoidae ind.	-	0,01	0,01	-	-
<i>Harmothoe sp.</i>	0,06	0,05	0,03	0,10	0,01



TAXA	500 m NW	500 m SW	500 m NE	500 m SE	2 km NW
Goniadae ind.	-	-	-	-	-
Nereididae ind.	0,53	0,09	0,25	-	-
<i>Alitta sp.</i>	-	-	-	-	0,94
Lumbrineridae ind.	-	0,02	0,02	0,01	0,03
<i>Lumbrineris spp.</i>	0,07	2,08	0,11	0,04	0,34
<i>Scoletoma impatiens</i>	0,04	0,01	-	-	0,02
<i>Scoletoma fragilis</i>	-	-	0,04	-	-
<i>Scoletoma rovigensis</i>	-	-	0,02	-	-
<i>Abyssoninoe sp.</i>	-	0,12	0,02	-	0,06
<i>Drilonereis filum</i>	0,01	-	-	-	-
Cirratulidae ind.	0,01	0,01	0,02	-	-
<i>Monticellina tessellata</i>	-	-	-	-	-
<i>Chaetozone sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Sternaspis scutata</i>	0,10	0,09	0,08	0,21	0,19
Trichobranchidae ind.	<0,01	-	0,01	<0,01	-
<i>Spiochaetopterus costarum</i>	-	0,01	-	0,01	0,01
Tot. POLYCHAETA	1,54	4,13	0,87	0,58	2,19
<b>Phylum MOLLUSCA</b>					
<b>Classe GASTROPODA</b>					
<i>Turritella communis</i>	0,41	0,32	1,51	0,34	-
<i>Naticarius stercusmuscarum</i>	-	-	-	12,90	-
Tot. GASTROPODA	0,41	0,32	1,51	13,25	-
<b>Classe BIVALVIA</b>					
<i>Varicorbula gibba</i>	3,32	10,77	2,84	32,43	15,00
<i>Nucula nitidosa</i>	0,52	0,12	0,04	0,10	0,13
<i>Donax sp.</i>	0,09	0,08	0,03	0,26	0,01
Cardiidae spp.	0,19	-	-	0,11	-
<i>Callista chione</i>	-	0,21	-	-	-
<i>Anadara transversa</i>	-	-	14,06	-	-
<i>Astarte sulcata</i>	-	-	0,02	-	0,02
Tot. BIVALVIA	4,12	11,17	16,99	32,89	15,15
<b>Phylum CRUSTACEA</b>					
<b>Ordine AMPHIPODA</b>					
<i>Leucothoe occulta</i>	0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01
<b>Ordine ISOPODA</b>					
<i>Natatolana borealis</i>	-	-	-	0,06	0,07
<i>Anilocra frontalis</i>	-	-	0,04	-	-
Tot. ISOPODA	-	-	0,04	0,06	0,07
<b>Ordine CUMACEA</b>					
<i>Iphinoe serrata</i>	<0,01	<0,01	<0,01	-	-
<b>Ordine TANAIDACEA</b>					
<i>Apseudes spinosus</i>	0,94	3,11	1,43	2,31	8,58
<b>Ordine DECAPODA</b>					
Anomura ind.	-	0,03	0,05	0,01	0,03
<i>Anapagurus sp.</i>	-	-	-	-	-

<b>TAXA</b>	<b>500 m NW</b>	<b>500 m SW</b>	<b>500 m NE</b>	<b>500 m SE</b>	<b>2 km NW</b>
<i>Anapagurus curvidactylus</i>	-	-	-	-	-
<i>Anapagurus bicorniger</i>	-	-	-	-	-
Macrura ind.	-	-	-	-	-
<i>Axius sp.</i>	-	-	-	-	-
<i>Axius stirhynchus</i>	-	-	1,08	-	-
<i>Callianassa sp.</i>	-	-	-	-	0,01
<i>Callianassa subterranea</i>	-	0,03	-	-	-
<i>Processa sp.</i>	-	0,01	-	0,06	0,03
<i>Processa macrophtalma</i>	-	-	-	-	0,24
Palaemonidae ind.	-	0,10	0,08	0,16	-
<i>Gebiacantha talismani</i>	0,08	-	-	0,21	0,72
<i>Upogebia tipica</i>	-	-	-	-	-
<i>Gilvossius tyrrhenus</i>	-	0,21	-	-	-
Caridea ind.	-	-	-	-	-
Hippolytidae ind.	-	-	-	-	-
<i>Alpheus glaber</i>	-	1,68	-	-	-
<i>Goneplax rhomboides</i>	13,13	4,42	1,48	0,25	1,57
Tot. DECAPODA	13,21	6,49	2,69	0,69	2,60
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>					
<b>Classe HOLOTUROIDEA</b>					
<i>Oestergrenia digitata</i>	35,61	22,65	23,38	40,71	-
<i>Thyone fusus</i>	-	-	-	-	-
Tot. HOLOTUROIDEA	35,61	22,65	23,38	40,71	-
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>					
<i>Amphiura chiajei</i>	-	0,58	-	-	-
<b>Phylum CHORDATA</b>					
<b>Famiglia GOBIIDAE</b>					
Gobiidae ind.	-	-	1,69	0,45	-
<b>Phylum NEMERTEA</b>					
Nemertea ind.	-	-	-	-	-

**Annesso. 3:** Abbondanze standardizzate (N° di individui/m<sup>2</sup>) dei taxa della macrofauna di Panarea (*vents* costieri delle Isole Eolie).

TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
<b>Phylum ANNELIDA</b>				
<b>Classe POLYCHAETA</b>				
Lumbrineridae ind.	-	2,54	-	-
<i>Lumbrineris spp.</i>	15,25	15,25	-	11,52
<i>Lumbrineris luciliae</i>	7,62	10,17	-	-
<i>Scoletoma sp.</i>	-	7,62	-	-
<i>Abyssoninoe sp.</i>	-	7,62	-	-
<i>Hilbigneris gracilis</i>	-	-	-	3,84
Eunicidae ind.	-	2,54	-	-
<i>Eunice vittata</i>	-	-	-	3,84
<i>Lysidice sp.</i>	-	7,62	-	-
<i>Lysidice unicornis</i>	-	25,41	20,48	42,24
<i>Lysidice ninetta</i>	-	10,17	2,56	3,84
Dorvilleidae ind.	-	2,54	12,80	-
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	-	-	2,56	-
Nereididae ind.	-	20,33	7,68	19,20
Syllidae ind.	-	40,66	89,61	26,88
Syllinae sp.	-	20,33	10,24	30,72
Autolytinae sp.	3,81	5,08	2,56	-
Hesionidae ind.	7,62	7,62	30,72	-
<i>Pisione sp.</i>	19,06	7,62	23,04	-
<i>Glycera sp.</i>	-	10,17	-	11,52
Phyllodocidae ind.	-	-	5,12	-
Capitellidae ind.	3,81	17,79	-	11,52
<i>Notomastus</i>	3,81	-	2,56	-
<i>Heteromastus</i>	-	2,54	-	-
<i>Pseudoleiocapitella</i>	-	2,54	-	3,84
Maldanidae ind.	-	2,54	-	3,84
Magelonidae ind.	-	-	-	3,84
<i>Owenia fusiformis</i>	-	-	30,72	-
<i>Euphrosine foliosa</i>	-	-	-	3,84
Terebellidae ind.	-	10,17	-	-
Cirratulidae ind.	-	-	10,24	-
Tot. POLYCHAETA	60,99	238,89	250,90	180,49
<b>Classe OLIGOCHAETA</b>				
Oligochaeta ind.	53,37	-	5,12	15,36
<b>Phylum MOLLUSCA</b>				
<b>Classe GASTROPODA</b>				
<i>Jujubinus montagui</i>	-	2,54	-	-
<i>Bittium reticulatum</i>	-	17,79	2,56	80,65
<i>Tectonatica rizzae</i>	-	2,54	-	-

TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
<i>Euspira nitida</i>	-	-	2,56	-
<i>Tyrodina perversa</i>	-	-	5,12	-
<i>Gibbula sp.</i>	-	-	2,56	11,52
<i>Mitrella sp.</i>	-	-	-	3,84
Bulloidea ind.	-	-	-	3,84
Tot. GASTROPODA	-	22,87	12,80	99,85
<b>Classe BIVALVIA</b>				
Cardiidae ind.	-	10,17	5,12	-
<i>Gouldia minima</i>	-	2,54	-	-
<i>Goodallia spp.</i>	-	60,99	23,04	19,20
Lucinidae ind.	-	10,17	12,80	3,84
<i>Arca tetragona</i>	-	-	-	7,68
<i>Myrtea spinifera</i>	-	5,08	-	3,84
<i>Callista chione</i>	-	-	7,68	-
<i>Gari sp.</i>	-	10,17	2,56	-
<i>Gonillia calliglypta</i>	-	5,08	15,36	-
<i>Idas sp.</i>	-	5,08	-	-
Tot. BIVALVIA	-	109,28	66,56	34,56
<b>Classe POLYPLACOPHORA</b>				
<i>Acanthochitona crinita</i>	-	2,54	-	-
<i>Ischnochiton rissoi</i>	-	5,08	2,56	-
<i>Callochiton septemvalvis</i>	-	-	-	7,68
Tot. POLYPLACOPHORA	-	7,62	2,56	7,68
<b>Phylum CRUSTACEA</b>				
<b>Ordine AMPHIPODA</b>				
<i>Caprella spp.</i>	57,18	-	-	-
Gammaridea ind.	7,62	5,08	10,24	30,72
Gammaridae ind.	-	2,54	-	11,52
<i>Leucothoe sp.</i>	3,81	12,71	-	-
Lysianassidae ind.	-	-	5,12	3,84
Phoxocephalidae ind.	-	2,54	-	-
<i>Metaphoxus fultoni</i>	-	7,62	-	-
Oedicerotidae ind.	-	-	10,24	-
Synopiidae ind.	-	-	2,56	-
<i>Leptocheirus sp.</i>	15,25	2,54	-	-
<i>Maera sp.</i>	-	-	-	7,68
<i>Maera grossimana</i>	-	2,54	-	11,52
<i>Dexamine spiniventris</i>	-	-	-	7,68
<i>Pereionotus testudo</i>	-	-	-	3,84
Tot. AMPHIPODA	83,87	35,58	28,16	76,80
<b>Ordine ISOPODA</b>				
Isopoda ind.	11,44	-	5,12	-
Eurycopidae ind.	-	5,08	-	-
<i>Munnopsurus spp.</i>	3,81	5,08	-	-

TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
<i>Eurydice affinis</i>	-	10,17	-	-
Tot. ISOPODA	15,25	20,33	5,12	-
<b>Ordine CUMACEA</b>				
<i>Leuconidae</i> ind.	-	2,54	-	-
<i>Leucon siphonatus</i>	-	2,54	-	-
<i>Cumella pygmaea</i>	-	2,54	-	-
Tot. CUMACEA	-	7,62	-	-
<b>Ordine TANAIDACEA</b>				
Tanaidacea ind.	-	2,54	-	-
<i>Leptognathia</i> sp.	-	-	-	11,52
<i>Araphura filiformis</i>	-	2,54	-	-
Tot. TANAIDACEA	-	5,08	-	11,52
<b>Ordine OSTRACODA</b>				
Ostracoda ind.	-	-	2,56	3,84
<b>Ordine DECAPODA</b>				
<i>Pagurus</i> sp.	-	12,71	-	46,08
<i>Anapagurus</i> sp.	-	-	5,12	-
<i>Anapagurus laevis</i>	-	2,54	-	-
<i>Achaeus cranchii</i>	-	-	-	3,84
<i>Galathea strigosa</i>	-	-	-	3,84
<i>Alpheus macrocheles</i>	-	10,17	-	-
Tot. DECAPODA	-	25,41	5,12	53,76
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>				
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>				
Ophiuroidea ind. (juvenile)	7,62	-	-	-
<b>Classe ECHINOIDEA</b>				
Echinoidea ind. (juvenile)	-	-	-	3,84
<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	-	2,54	-	3,84
Tot. ECHINOIDEA	-	2,54	-	7,68
<b>Phylum CEPHALOCHORDATA</b>				
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	3,81	5,08	12,80	7,68
<b>Phylum SIPUNCULA</b>				
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	45,75	279,56	15,36	3,84

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
<b>Phylum ANNELIDA</b>					
<b>Classe POLYCHAETA</b>					
<i>Lumbrineridae</i> ind.	-	-	5,08	2,54	-
<i>Eunicidae</i> ind.	-	2,54	-	-	-
<i>Lysidice unicornis</i>	7,64	-	-	12,71	-
<i>Lysidice ninetta</i>	-	-	2,56	5,08	-
<i>Dorvilleidae</i> ind.	-	-	2,56	-	-

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	25,45	-	5,12	-	-
<i>Onuphis eremita</i>	2,54	-	-	7,62	-
<i>Aponuphis bilineata</i>	35,62	-	-	7,62	-
Oeonidae ind.	15,29	-	-	10,17	-
Nereididae ind.	5,08	2,54	-	-	7,91
Syllidae ind.	-	-	2,56	20,33	-
Hesionidae ind.	5,08	2,54	5,12	-	-
<i>Pisione sp.</i>	2,54	-	-	5,08	-
Nephtyidae ind.	2,54	-	-	-	-
<i>Glycera sp.</i>	7,64	10,18	-	22,87	-
<i>Chrysopetalum sp.</i>	2,56	-	-	5,08	-
Capitellidae ind.	-	-	5,10	5,08	-
Paraonidae ind.	7,66	-	-	5,08	-
Cossuridae ind.	5,08	-	-	-	-
<i>Owenia fusiformis</i>	-	2,54	-	-	-
Amphinomidae ind.	7,64	-	2,56	-	-
Cirratulidae ind.	7,64	-	-	-	-
Spionidae ind.	2,54	-	-	-	-
Tot. POLYCHAETA	142,56	20,35	30,67	109,28	7,91
<b>Classe OLIGOCHAETA</b>					
Oligochaeta ind.	-	-	84,07	-	15,83
<b>Phylum MOLLUSCA</b>					
<b>Classe GASTROPODA</b>					
<i>Gibbula sp.</i>	-	-	-	5,08	-
Bulloidea ind.	-	-	-	-	15,83
<i>Calliostoma sp.</i>	2,54	-	-	-	-
<i>Epitonium sp.</i>	7,62	-	-	-	-
<i>Cylichna cylindracea</i>	7,62	-	-	-	-
Tot. GASTROPODA	17,79	-	-	5,08	15,83
<b>Classe BIVALVIA</b>					
Cardiidae ind.	7,62	-	-	2,54	-
<i>Gouldia minima</i>	-	-	-	5,08	-
<i>Goodallia spp.</i>	10,24	-	-	-	-
Lucinidae ind.	5,08	-	-	-	-
<i>Limatula subauriculata</i>	2,56	-	-	-	-
<i>Varicorbula gibba</i>	5,08	-	-	-	-
<i>Donax sp.</i>	7,62	-	-	-	-
<i>Cardiomya costellata</i>	2,54	-	-	-	-
Tot. BIVALVIA	40,76	-	-	7,62	-
<b>Classe POLYPLACOPHORA</b>					
<i>Callochiton septemvalvis</i>	-	-	-	7,62	-
<i>Rhysoplax corallina</i>	-	-	-	2,54	-
Tot. POLYPLACOPHORA	-	-	-	10,17	-
<b>Phylum CRUSTACEA</b>					

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
<b>Ordine AMPHIPODA</b>					
<i>Caprella spp.</i>	-	-	-	-	31,66
Gammaridea ind.	28,11	7,62	7,62	12,71	-
Gammaridae ind.	-	-	-	-	7,91
Ischyroceridae ind.	-	-	-	5,08	-
<i>Leucothoe spinicarpa</i>	-	-	-	5,08	-
<i>Leucothoe incisa</i>	-	-	-	-	7,91
<i>Leucothoe serraticarpa</i>	-	-	-	-	7,91
<i>Lysianassa costae</i>	-	-	-	-	7,91
<i>Metaphoxus sp.</i>	-	-	-	5,08	-
<i>Metaphoxus fultoni</i>	-	-	-	2,54	-
Oedicerotidae ind.	5,08	-	-	-	-
<i>Monoculodes sp.</i>	-	-	-	2,54	-
<i>Leptocheirus sp.</i>	5,12	-	-	2,54	-
<i>Atylus sp.</i>	-	-	-	5,08	-
<i>Maera hamigera</i>	-	-	-	2,54	-
<i>Pereionotus testudo</i>	-	-	-	35,58	-
Ampeliscidae ind.	-	-	-	2,54	-
<i>Ampelisca sp.</i>	2,56	-	-	-	-
<i>Hippomedon massiliensis</i>	-	-	5,12	-	-
Tot. AMPHIPODA	40,87	7,62	12,74	81,33	63,31
<b>Ordine ISOPODA</b>					
Eurycopidae ind.	-	-	7,68	-	-
<i>Eurycope sp.</i>	-	2,56	-	-	-
<i>Munnopsurus spp.</i>	-	-	2,56	-	-
<i>Eurydice affinis</i>	2,54	-	-	2,54	-
Tot. ISOPODA	2,54	2,56	10,24	2,54	-
<b>Ordine CUMACEA</b>					
Cumacea ind.	2,54	-	-	-	-
<i>Iphinoe tenella</i>	2,54	-	-	-	-
<i>Vaunthompsonia cristata</i>	-	-	-	2,54	-
Tot. CUMACEA	5,08	-	-	2,54	-
<b>Ordine TANAIIDACEA</b>					
Tanaidacea ind.	2,56	-	-	-	-
<i>Thyphlotanais aequiremis</i>	2,56	-	-	-	-
<i>Apseudopsis latreillii</i>	-	7,62	2,54	-	-
Tot. TANAIIDACEA	5,12	7,62	2,54	-	-
<b>Ordine DECAPODA</b>					
<i>Pagurus sp.</i>	-	-	-	27,96	-
<i>Xantho pilipes</i>	-	-	-	2,54	-
<i>Liocarcinus corrugatus</i>	-	-	-	2,54	-
Tot. DECAPODA	-	-	-	33,04	-
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>					
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>					

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
<i>Ophiura ophiura</i>	5,08	-	-	-	-
<b>Classe ECHINOIDEA</b>					
Echinoidea ind. (juvenile)	5,12	-	-	-	-
<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	-	-	-	2,54	-
<i>Stylocidaris affinis</i>	-	-	-	5,08	-
Tot. ECHINOIDEA	5,12	-	-	7,62	-
<b>Phylum CHORDATA</b>					
<b>Famiglia GOBIIDAE</b>					
Gobiidae ind.	-	-	-	2,54	-
<b>Phylum SIPUNCULA</b>					
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	10,17	2,54	-	58,45	-
<b>Phylum CNIDARIA</b>					
<b>Ordine ACTINIARIA</b>					
Actiniaria ind.	2,54	-	-	-	-

**Annexo. 4:** Biomasse standardizzate (g/m<sup>2</sup>) dei taxa della macrofauna di Panarea (*vents* costieri delle Isole Eolie).

TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
<b>Phylum ANNELIDA</b>				
<b>Classe POLYCHAETA</b>				
Lumbrineridae ind.	-	0,01	-	-
<i>Lumbrineris spp.</i>	0,06	0,05	-	0,30
<i>Lumbrineris luciliae</i>	0,06	0,06	-	-
<i>Scoletoma sp.</i>	-	0,06	-	-
<i>Abyssoninoe sp.</i>	-	0,05	-	-
<i>Hilbigneris gracilis</i>	-	-	-	0,02
Eunicidae ind.	-	0,09	-	-
<i>Eunice vittata</i>	-	-	-	0,40
<i>Lysidice sp.</i>	-	0,03	-	-
<i>Lysidice unicornis</i>	-	0,08	0,11	0,29
<i>Lysidice ninetta</i>	-	0,20	0,02	0,05
Dorvilleidae ind.	-	<0,01	0,01	-
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	-	-	0,01	-
Nereididae ind.	-	0,09	0,10	0,01
Syllidae ind.	-	0,04	0,08	0,02
Syllinae sp.	-	0,03	0,01	0,04
Autolytinae sp.	<0,01	0,01	0,01	-
Hesionidae ind.	<0,01	0,01	0,01	-
<i>Pisione sp.</i>	0,01	0,02	0,01	-



TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
<i>Glycera sp.</i>	-	0,10	-	0,09
Phyllodocidae ind.	-	-	7,20	-
Capitellidae ind.	0,06	0,08	-	0,06
<i>Notomastus</i>	0,02	-	0,01	-
<i>Heteromastus</i>	-	0,02	-	-
<i>Pseudoleiocapitella</i>	-	0,03	-	0,02
Maldanidae ind.	-	0,02	-	0,06
Magelonidae ind.	-	-	-	0,02
<i>Owenia fusiformis</i>	-	-	0,50	-
<i>Euphrosine foliosa</i>	-	-	-	0,09
Terebellidae ind.	-	4,93	-	-
Cirratulidae ind.	-	-	0,01	-
Tot. POLYCHAETA	0,22	6,02	8,11	1,45
<b>Classe OLIGOCHAETA</b>				
Oligochaeta ind.	0,04	-	<0,01	0,01
<b>Phylum MOLLUSCA</b>				
<b>Classe GASTROPODA</b>				
<i>Jujubinus montagui</i>	-	0,14	-	-
<i>Bittium reticulatum</i>	-	1,16	0,06	1,75
<i>Tectonatica rizzae</i>	-	0,51	-	-
<i>Euspira nitida</i>	-	-	0,86	-
<i>Tyrodina perversa</i>	-	-	0,10	-
<i>Gibbula sp.</i>	-	-	0,11	0,63
<i>Mitrella sp.</i>	-	-	-	0,21
Bulloidea ind.	-	-	-	0,05
Tot. GASTROPODA	-	1,81	1,13	2,63
<b>Classe BIVALVIA</b>				
Cardiidae ind.	-	0,46	0,09	-
<i>Gouldia minima</i>	-	0,04	-	-
<i>Goodallia spp.</i>	-	1,43	0,31	0,36
Lucinidae ind.	-	0,31	0,30	0,91
<i>Arca tetragona</i>	-	-	-	0,07
<i>Myrtea spinifera</i>	-	0,58	-	0,27
<i>Callista chione</i>	-	-	3,90	-
<i>Gari sp.</i>	-	0,70	0,19	-
<i>Gonillia calliglypta</i>	-	0,19	0,42	-
<i>Idas sp.</i>	-	0,06	-	-
Tot. BIVALVIA	-	3,76	5,20	1,60
<b>Classe POLYPLACOPHORA</b>				
<i>Acanthochitona crinita</i>	-	0,03	-	-
<i>Ischnochiton rissoi</i>	-	0,01	0,01	-
<i>Callochiton septemvalvis</i>	-	-	-	0,39
Tot. POLYPLACOPHORA	-	0,04	0,01	0,39
<b>Phylum CRUSTACEA</b>				

TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
<b>Ordine AMPHIPODA</b>				
<i>Caprella spp.</i>	0,01	-	-	-
Gammaridea ind.	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Gammaridae ind.	-	<0,01	-	0,05
<i>Leucothoe sp.</i>	<0,01	0,01	-	-
Lysianassidae ind.	-	-	<0,01	<0,01
Phoxocephalidae ind.	-	<0,01	-	-
<i>Metaphoxus fultoni</i>	-	0,01	-	-
Oedicerotidae ind.	-	-	0,02	-
Synopiidae ind.	-	-	0,04	-
<i>Leptocheirus sp.</i>	<0,01	<0,01	-	-
<i>Maera sp.</i>	-	-	-	<0,01
<i>Maera grossimana</i>	-	0,01	-	0,18
<i>Dexamine spiniventris</i>	-	-	-	0,23
<i>Pereionotus testudo</i>	-	-	-	<0,01
Tot. AMPHIPODA	0,01	0,03	0,05	0,47
<b>Ordine ISOPODA</b>				
Isopoda ind.	<0,01	-	<0,01	-
Eurycopidae ind.	-	0,01	-	-
<i>Munnopsurus spp.</i>	<0,01	<0,01	-	-
<i>Eurydice affinis</i>	-	0,04	-	-
Tot. ISOPODA	<0,01	0,04	<0,01	-
<b>Ordine CUMACEA</b>				
Leuconidae ind.	-	<0,01	-	-
<i>Leucon siphonatus</i>	-	<0,01	-	-
<i>Cumella pygmaea</i>	-	<0,01	-	-
Tot. CUMACEA	-	<0,01	-	-
<b>Ordine TANAIDACEA</b>				
Tanaidacea ind.	-	<0,01	-	-
<i>Leptognathia sp.</i>	-	-	-	0,03
<i>Araphura filiformis</i>	-	0,01	-	-
Tot. TANAIDACEA	-	0,01	-	0,03
<b>Ordine OSTRACODA</b>				
Ostracoda ind.	-	-	0,08	0,04
<b>Ordine DECAPODA</b>				
<i>Pagurus sp.</i>	-	0,11	-	0,31
<i>Anapagurus sp.</i>	-	-	0,05	-
<i>Anapagurus laevis</i>	-	0,02	-	-
<i>Achaeus cranchii</i>	-	-	-	1,15
<i>Galathea strigosa</i>	-	-	-	0,18
<i>Alpheus macrocheles</i>	-	0,71	-	-
Tot. DECAPODA	-	0,83	0,05	1,64
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>				
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>				

TAXA	Secca dei pesci + Ovest Panarea			
	SP1	SP2	SP3	SP4
Ophiuroidea ind. (juvenile)	0,01	-	-	-
<b>Classe ECHINOIDEA</b>				
Echinoidea ind. (juvenile)	-	-	-	0,01
<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	-	0,21	-	0,12
Tot. ECHINOIDEA	-	0,21	-	0,13
<b>Phylum CEPHALOCHORDATA</b>				
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	0,01	0,02	0,04	0,03
<b>Phylum SIPUNCULA</b>				
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	0,17	1,06	0,06	0,02

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
<b>Phylum ANNELIDA</b>					
<b>Classe POLYCHAETA</b>					
Lumbrineridae ind.	-	-	0,01	0,02	-
Eunicidae ind.	-	0,04	-	-	-
<i>Lysidice unicornis</i>	0,02	-	-	0,05	-
<i>Lysidice ninetta</i>	-	-	<0,01	0,01	-
Dorvilleidae ind.	-	-	0,01	-	-
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	0,33	-	0,17	-	-
<i>Onuphis eremita</i>	0,02	-	-	0,05	-
<i>Aponuphis bilineata</i>	0,33	-	-	0,09	-
Oeonidae ind.	0,01	-	-	<0,01	-
Nereididae ind.	0,03	0,01	-	-	0,04
Syllidae ind.	-	-	<0,01	0,03	-
Hesionidae ind.	<0,01	<0,01	<0,01	-	-
<i>Pisione sp.</i>	<0,01	-	-	<0,01	-
Nephtyidae ind.	0,03	-	-	-	-
<i>Glycera sp.</i>	0,04	0,13	-	0,06	-
<i>Chrysopetalum sp.</i>	<0,01	-	-	0,01	-
Capitellidae ind.	-	-	0,06	0,01	-
Paraonidae ind.	0,01	-	-	0,01	-
Cossuridae ind.	0,01	-	-	-	-
<i>Owenia fusiformis</i>	-	0,01	-	-	-
Amphinomidae ind.	0,09	-	0,04	-	-
Cirratulidae ind.	<0,01	-	-	-	-
Spionidae ind.	<0,01	-	-	-	-
Tot. POLYCHAETA	0,91	0,19	0,29	0,33	0,04
<b>Classe OLIGOCHAETA</b>					
Oligochaeta ind.	-	-	0,04	-	0,01
<b>Phylum MOLLUSCA</b>					
<b>Classe GASTROPODA</b>					
<i>Gibbula sp.</i>	-	-	-	0,30	-

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
Bulloidea ind.	-	-	-	-	0,01
<i>Calliostoma sp.</i>	0,68	-	-	-	-
<i>Epitonium sp.</i>	0,04	-	-	-	-
<i>Cylichna cylindracea</i>	0,16	-	-	-	-
Tot. GASTROPODA	0,89	-	-	0,30	0,01
<b>Classe BIVALVIA</b>					
Cardiidae ind.	0,10	-	-	0,06	-
<i>Gouldia minima</i>	-	-	-	0,20	-
<i>Goodallia spp.</i>	0,06	-	-	-	-
Lucinidae ind.	0,04	-	-	-	-
<i>Limatula subauriculata</i>	0,01	-	-	-	-
<i>Varicorbula gibba</i>	0,32	-	-	-	-
<i>Donax sp.</i>	0,13	-	-	-	-
<i>Cardiomya costellata</i>	0,03	-	-	-	-
Tot. BIVALVIA	0,69	-	-	0,25	-
<b>Classe POLYPLACOPHORA</b>					
<i>Callochiton septemvalvis</i>	-	-	-	0,08	-
<i>Rhyssofax corallina</i>	-	-	-	0,04	-
Tot. POLYPLACOPHORA	-	-	-	0,12	-
<b>Phylum CRUSTACEA</b>					
<b>Ordine AMPHIPODA</b>					
<i>Caprella spp.</i>	-	-	-	-	0,01
Gammaridea ind.	0,02	<0,01	<0,01	0,03	-
Gammaridae ind.	-	-	-	-	0,01
Ischyroceridae ind.	-	-	-	0,01	-
<i>Leucothoe spinicarpa</i>	-	-	-	0,01	-
<i>Leucothoe incisa</i>	-	-	-	-	0,01
<i>Leucothoe serraticarpa</i>	-	-	-	-	0,01
<i>Lysianassa costae</i>	-	-	-	-	0,13
<i>Metaphoxus sp.</i>	-	-	-	<0,01	-
<i>Metaphoxus fultoni</i>	-	-	-	<0,01	-
Oedicerotidae ind.	<0,01	-	-	-	-
<i>Monoculodes sp.</i>	-	-	-	<0,01	-
<i>Leptocheirus sp.</i>	0,02	-	-	<0,01	-
<i>Atylus sp.</i>	-	-	-	0,02	-
<i>Maera hamigera</i>	-	-	-	0,01	-
<i>Pereionotus testudo</i>	-	-	-	0,02	-
Ampeliscidae ind.	-	-	-	0,01	-
<i>Ampelisca sp.</i>	0,06	-	-	-	-
<i>Hippomedon massiliensis</i>	-	-	0,02	-	-
Tot. AMPHIPODA	0,09	<0,01	0,02	0,11	0,16
<b>Ordine ISOPODA</b>					
Eurycopidae ind.	-	-	<0,01	-	-
<i>Eurycope sp.</i>	-	<0,01	-	-	-

TAXA	Panarea-Basiluzzo + Black Point				
	CB3-1	CB3-2	CB3-3	CB3-4	BP1 R1
<i>Munnopsurus spp.</i>	-	-	<0,01	-	-
<i>Eurydice affinis</i>	0,01	-	-	0,01	-
Tot. ISOPODA	0,01	<0,01	<0,01	0,01	-
<b>Ordine CUMACEA</b>					
Cumacea ind.	<0,01	-	-	-	-
<i>Iphinoe tenella</i>	0,01	-	-	-	-
<i>Vaunthompsonia cristata</i>	-	-	-	<0,01	-
Tot. CUMACEA	0,01	-	-	<0,01	-
<b>Ordine TANAIDACEA</b>					
Tanaidacea ind.	<0,01	-	-	-	-
<i>Thyphlotanais aequiremis</i>	<0,01	-	-	-	-
<i>Apseudopsis latreillii</i>	-	<0,01	<0,01	-	-
Tot. TANAIDACEA	<0,01	<0,01	<0,01	-	-
<b>Ordine DECAPODA</b>					
<i>Pagurus sp.</i>	-	-	-	0,14	-
<i>Xantho pilipes</i>	-	-	-	0,99	-
<i>Liocarcinus corrugatus</i>	-	-	-	0,16	-
Tot. DECAPODA	-	-	-	1,30	-
<b>Phylum ECHINODERMATA</b>					
<b>Classe OPHIUROIDEA</b>					
<i>Ophiura ophiura</i>	1,35	-	-	-	-
<b>Classe ECHINOIDEA</b>					
Echinoidea ind. (juvenile)	0,05	-	-	-	-
<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	-	-	-	0,02	-
<i>Stylocidaris affinis</i>	-	-	-	1,44	-
Tot. ECHINOIDEA	0,05	-	-	1,46	-
<b>Phylum CHORDATA</b>					
<b>Famiglia GOBIIDAE</b>					
Gobiidae ind.	-	-	-	0,03	-
<b>Phylum SIPUNCULA</b>					
<i>Phascolion (Phascolion) strombus</i>	0,04	0,01	-	0,25	-
<b>Phylum CNIDARIA</b>					
<b>Ordine ACTINIARIA</b>					
Actiniaria ind.	0,20	-	-	-	-