



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

**Monitoraggio del macrozoobenthos di fondo mobile associato alle attività di conversione di Piattaforme Off-Shore per usi multipli eco-sostenibili**

**The monitoring of the soft bottom macrozoobenthos associated with conversion activities of Off-shore platforms for multiple eco-sustainable**

**uses**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE**

**BIOLOGIA MARINA**

**Tesi di Laurea Magistrale di:**

Alice Premici

**Relatore:**

Emanuela Fanelli

**Correlatore:**

Zaira Da Ros

Sessione straordinaria febbraio 2022

Anno accademico 2020/2021

1. INTRODUZIONE	3
1.1 Decommissioning	8
1.2 Riutilizzo delle piattaforme	9
1.3 Piattaforme Offshore in Adriatico	11
1.4 Il progetto PON PlaCE	13
1.5 L'Importanza del macrozoobenthos dei fondi molli nel monitoraggio ambientale	20
2. OBIETTIVI DELLO STUDIO	25
3. MATERIALI E METODI	26
3.1 Area di Studio	26
3.2 Strategia e metodi di campionamento	27
3.3 Trattamento dei campioni in laboratorio e analisi dei dati	29
4. RISULTATI	38
4.1 Risultati delle analisi sul macrozoobenthos di fondo molle	38
4.2 Risultati delle analisi condotte sulla composizione biochimica della materia organica contenuta nei sedimenti	60
5. DISCUSSIONE	66
6. CONCLUSIONI	73
7. BIBLIOGRAFIA	74

## 1. INTRODUZIONE

Le piattaforme offshore utilizzate per l'estrazione di idrocarburi rappresentano una potenziale fonte di impatto antropico per le comunità bentoniche e l'intero ecosistema marino.

Le problematiche legate all'utilizzo di piattaforme estrattive in mare sono molteplici, e non riguardano solo la fase estrattiva, bensì anche tutte le attività che la precedono.

Il ciclo vitale di una piattaforma è costituito dalle seguenti fasi:

a) *la fase esplorativa*: Durante questa fase vengono localizzati i giacimenti di idrocarburi attraverso l'utilizzo di test stratigrafici che prevedono l'uso di air guns. L'utilizzo di questi sistemi di prospezione geologica causa l'emissione di suoni molto forti in mare che danneggiano in particolare i mammiferi marini interferendo con il loro sistema di comunicazione e portando anche al disorientamento di questi animali.

b) *la fase di perforazione* del pozzo estrattivo, la quale causa il rilascio di molti residui detritici di diverse dimensioni che possono causare forti alterazioni ambientali e danni alle comunità bentoniche locali (Terlizzi et al., 2008).

c) *la fase di estrazione* comporta anche il trasferimento del petrolio greggio o gas dal suolo alla nave. L'attività di qualsiasi impianto di estrazione

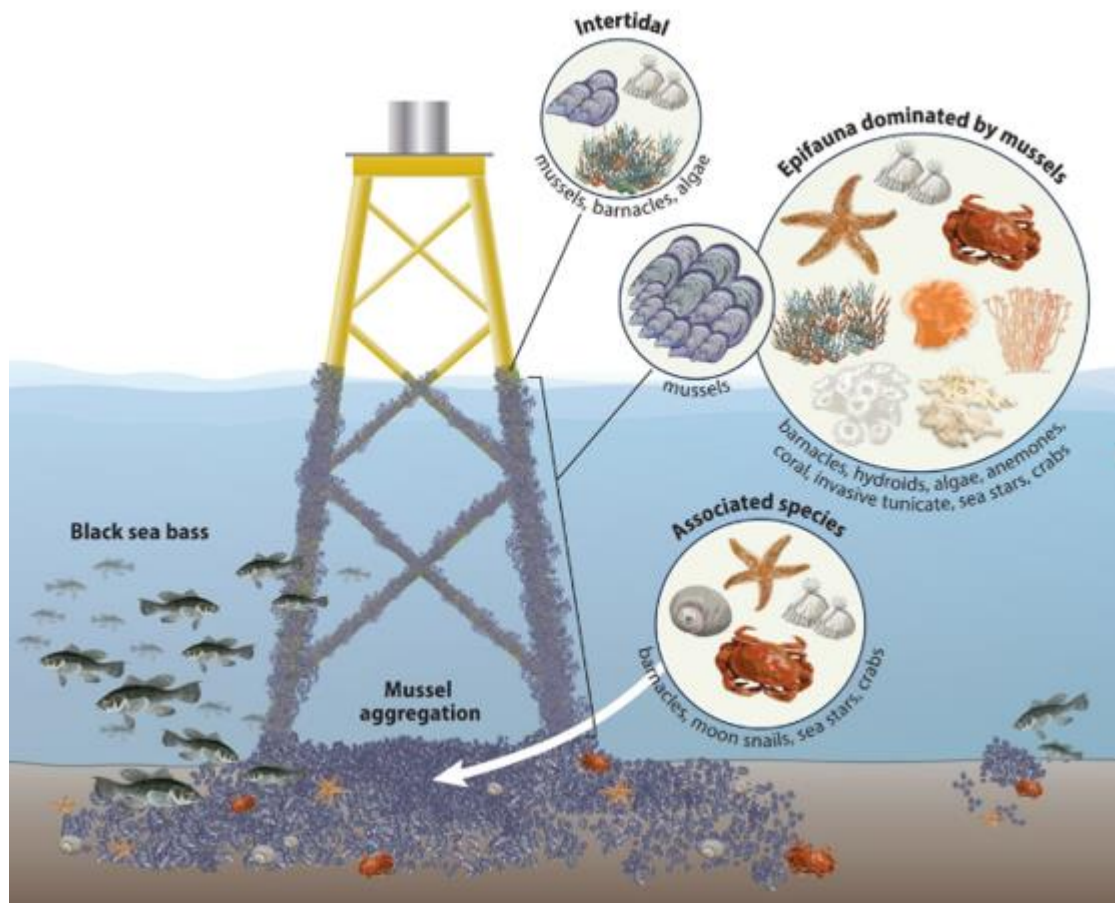
determina un certo livello di inquinamento, il quale può aumentare nel caso in cui si verificano delle perdite dal pozzo estrattivo dovuti a dei guasti ai sistemi di controllo. Oltretutto, la sola presenza fisica delle strutture che costituiscono la piattaforma può modificare il flusso d'acqua locale e alterare i sedimenti influenzando la composizione della comunità bentonica (Wilson-Ormond et al., 2000).

Tra gli impatti che si verificano durante questa fase uno dei più ricorrenti è lo sversamento delle acque reflue oleose e industriali (sversamento d'idrocarburi) che danneggiano fortemente gli organismi nell'area interessata.

Si è visto che anche l'avifauna risulta essere danneggiata dai sistemi di illuminazione presenti sulla piattaforma, i quali sono visibili durante le ore notturne e causano il disorientamento degli uccelli aumentando il rischio di collisione di questi ultimi con la piattaforma.

Un'altra problematica è legata al traffico marittimo, poiché le attività esplorative dei fondali marini e la fase estrattiva degli idrocarburi possono interessare grandi zone per un lungo periodo di tempo, ostacolando la consueta navigazione di altre imbarcazioni, aumentando così il rischio di collisione tra le navi.

Nonostante le piattaforme abbiano diversi impatti negativi sull'ambiente marino e la fauna ad esso associata, alcuni scienziati hanno fornito dati a sostegno del ruolo benefico degli impianti di perforazione, che possono fungere da substrato per la crescita di organismi bentonici, in particolare mitili ed ostriche, e da FADs (*Fishing Aggregating Device*) ovvero dispositivi artificiali in grado di attirare popolazioni di pesci (Anderson et al., 1996) sebbene gli studi a supporto di questa ultima teoria siano ancora pochi (**Fig. 1**).



**Figura 1** Effetto "FAD" di una piattaforma.

In particolare, un interessante studio è stato svolto al largo della California meridionale sulle popolazioni dei giovanili di rockfish (*Sebastes paucispinis*) presenti intorno ad otto piattaforme estrattive, in diminuzione a causa dell'overfishing, al fine di valutare il potenziale valore di queste strutture artificiali come habitat per queste popolazioni (Love e York, 2005). Tale studio ha evidenziato la presenza di circa 430.000 giovanili di rockfish attorno le otto strutture, ovvero circa il 20% del numero medio di giovanili di questa specie che sopravvivono ogni anno in aree naturali. Pertanto, si è dimostrato che nel momento in cui i giovanili diventeranno adulti contribuiranno per circa l'1% all'arricchimento delle popolazioni di rockfish, grazie alla presenza delle piattaforme.

Oltre alle piattaforme stesse, si è visto che anche le aree circostanti i relativi oleodotti e gasdotti sottomarini potrebbero fungere da vivai per questa specie di Scorpaeniformes, sulla base delle dimensioni dei pesci osservati, maggiori rispetto ad altre zone, e dell'apparente mancanza di predazione nelle vicinanze. Inoltre, si è constatato che il rockfish era circa due volte più comune sugli impianti di perforazione rispetto agli habitat naturali.

Un altro aspetto ecologico importante rispetto alle piattaforme è che le aree circostanti ad esse sono zone di esclusione per la pesca a strascico; le piattaforme petrolifere e di gas attive diventano di fatto una sorta di vere e

proprie aree marine protette, e la rimozione di un gran numero di strutture potrebbe aprire nuove aree a questo tipo di pesca distruttiva. Ad esempio, è stato calcolato che la rimozione di tutte le piattaforme estrattive dal Mare del Nord libererebbe circa 400 Km<sup>2</sup> alla pesca a strascico (Sommer et al., 2019).

E' ormai consolidata l'idea che queste strutture sostengano la vita marina attirando molti organismi e forniscano substrati duri per organismi sessili, come spugne e coralli in aree in cui questi ultimi sono limitati, fungendo anche da rifugio per pesci e megafauna come foche e balene (Forteath et al., 1982; Todd et al., 2016). Nel Mare del Nord, ad esempio, il fouling che cresce sulle strutture sommerse delle piattaforme offshore può aumentare il peso delle strutture stesse del 30% (Sommer et al., 2019).

Quando viene installata una piattaforma, la creazione di una comunità avviene rapidamente, i primi pesci compaiono entro poche ore (Bohnsack, 1989) e la successione ecologica fa sì che si crei un habitat complesso entro 5-6 anni (Driessen, 1986).

Inoltre, è stato dimostrato che la biomassa ittica associata ad ambienti di piattaforma può essere addirittura maggiore rispetto a quella associata non solo ai fondali sabbiosi, ma anche alle barriere coralline naturali (Claisse et al., 2014). Il fatto che le piattaforme fungano da FADs creerebbe una zona in cui

la pesca nell'area circostante, per effetto *spill over*, potrebbe avere un maggior successo.

### **1.1 Decommissioning**

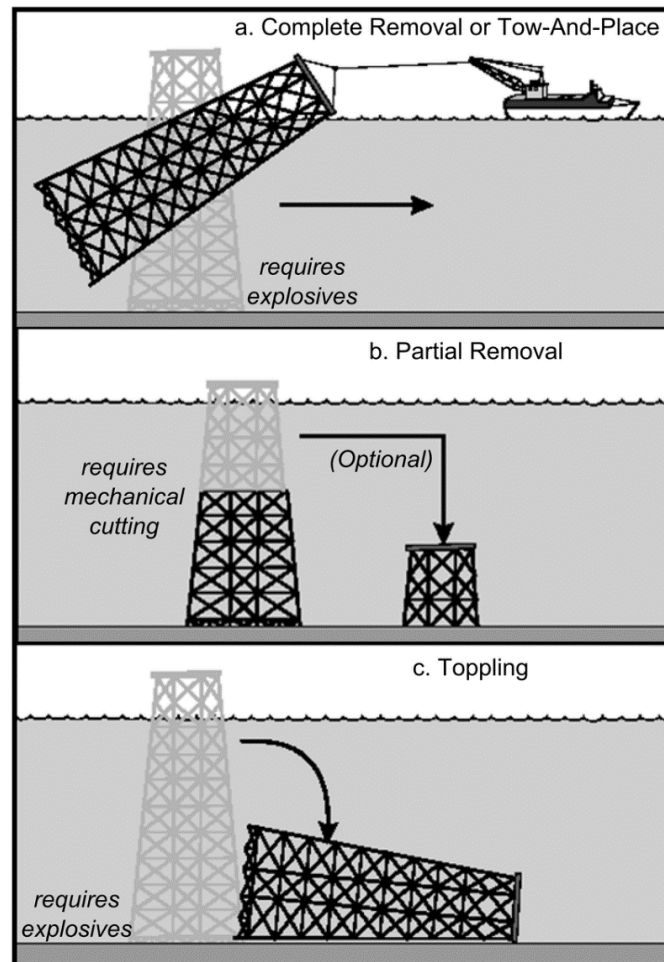
Nel momento in cui il pozzo estrattivo si esaurisce, la piattaforma viene chiusa per essere poi successivamente dismessa. Tale attività, detta “**decommissioning**”, rappresenta una problematica seria per la salute e la conservazione dell'ambiente marino e della sua biodiversità.

Il decommissioning di una piattaforma in disuso può seguire tre opzioni differenti (**Fig. 2**):

- a) *la rimozione completa* prevede l'utilizzo di esplosivi per recidere i conduttori del pozzo, i pali e le gambe di supporto. Successivamente la struttura viene rimorchiata a riva e demolita. Ciò causa la distruzione dell'ambiente naturale circostante e, spesso il suo danneggiamento in modo irreversibile (Jeremy et al., 2015).
- b) *la rimozione parziale*: i conduttori del pozzo, i pali e le gambe vengono tagliati meccanicamente. Parte della struttura può essere poi posizionata sul fondale a simulare un habitat artificiale.



c) *il rovesciamento*: consiste nel far esplodere gli esplosivi affinché vengano recisi i conduttori e tre delle gambe di supporto così che la struttura resti orizzontale al fondale marino.



**Figura 2** Le diverse alternative di rimozione delle piattaforme Offshore: a. Rimozione completa o Tow-And-Place; b. Rimozione parziale; c. Rovesciamento

## 1.2 Riutilizzo delle piattaforme

Visti i numerosi problemi economici e ambientali che il decommissioning comporta (ingenti costi per la gestione della rimozione delle strutture e la distruzione degli habitat associati alle piattaforme) e il crescente numero di

piattaforme giunte al termine della loro vita produttiva presenti a livello globale, alcuni studiosi hanno proposto delle alternative che possono avere un minor impatto sull'ambiente. Tra le alternative più accreditate si è fatta strada quella del “Rigs-to-reefs” che consiste nella riconversione e nel riutilizzo di piattaforme obsolete. Lo scopo è quello di riconvertire strutture Offshore in barriere artificiali che sostengano degli hot-spot di biodiversità (Fowler et al., 2014; Henrion et al., 2015; Sommer et al., 2019).

Il progetto Rigs-to-Reefs è nato nel 1984, quando il Congresso degli Stati Uniti ha firmato il National Fishing Enhancement Act che stabiliva la creazione di un piano nazionale per la gestione della riconversione delle piattaforme in barriere artificiali. Lo scopo principale di questo progetto è quello di creare degli habitat che possano fungere da nursery o da rifugio a specie di interesse commerciale (Macreadie et al., 2011).

Le prime riconversioni effettuate secondo gli standard del progetto Rigs to Reefs sono state effettuate nel Golfo del Messico, ed i successi ottenuti hanno dimostrato che queste strutture possono essere efficacemente riproposte come scogliere artificiali anche in altre aree (Bull and Love, 2019).

Nel nord del Mar Adriatico è stato condotto uno studio sulla piattaforma offshore “Paguro” affondata a seguito di un incidente. Una volta affondata, la piattaforma non è stata né smantellata né rimossa ed è quindi stata rapidamente

colonizzata, divenendo una vera e propria barriera artificiale. Alcuni ricercatori hanno valutato la composizione della macrofauna e il pattern di distribuzione delle specie in relazione alla profondità e all'orientamento del substrato (Ponti et al., 2002). Lo studio ha evidenziato che fino a 12 m di profondità la comunità bentonica è dominata da mitili e a profondità maggiori da ostriche. Queste due specie di bivalvi hanno creato negli anni un habitat ideale per molte altre specie di piccoli animali filtratori (Ponti et al., 2002), che a loro volta attirano una cospicua fauna vagile. L'area è attualmente un SIC (Sito di Interesse Comunitario) ed è quindi sottoposta a misure di protezione particolari che permettono di preservarne la biodiversità in essa ospitata (Ponti et al., 2002).

### **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. Nel Mediterraneo, la produzione italiana di gas naturale è stata di 11,4 milioni di tonnellate di petrolio nel 2004 ed è salita di 0,2 tonnellate nel 2005; la produzione italiana di gas è la quarta tra i paesi nell'UE. Circa l'80% dell'energia consumata in Italia proviene per il 49% dal petrolio e per il 21% dal gas (Brighenti et al., 2003). Quasi la metà di di questo 21% è fornita da gas estratto dalle piattaforme offshore in Adriatico (OGP, 2005). Ad oggi, circa 120

piattaforme offshore sono presenti nel Mare Adriatico settentrionale e centrale (Fig. 3) che rappresenta l'area con la più alta concentrazione di piattaforme di estrazione di combustibili fossili nel Mediterraneo.



**Figura 3** Piattaforme 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 condotti 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.

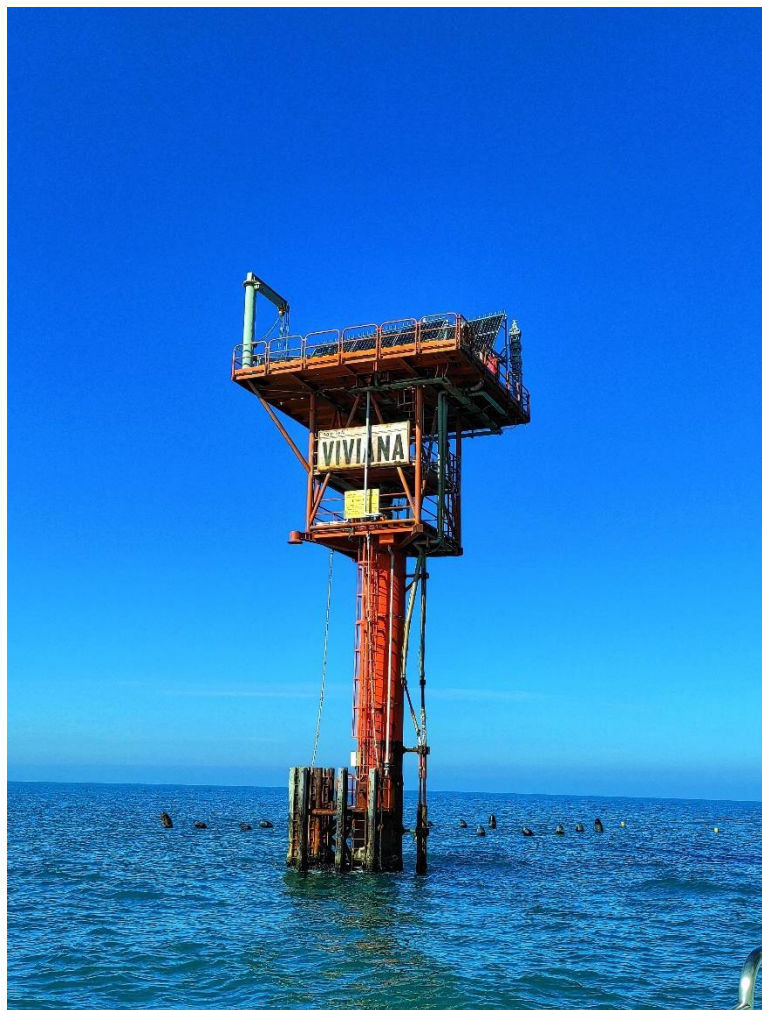
#### **1.4 Il progetto PON PlaCE**

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.

Questo progetto mira alla creazione e implementazione di un processo innovativo per ottimizzare le diverse tecnologie applicabili alla piattaforma offshore ed alla sua conversione verso un utilizzo multifunzione eco-sostenibile.

Nell’ambito delle tecnologie applicabili alla piattaforma si è deciso dunque di testare, presso la piattaforma ENI “Viviana 1” (**Fig. 4**), il successo e la fattibilità dell’applicazione della tecnologia di elettrificazione della struttura per favorire l’aumento dell’accrescimento minerale. Questa applicazione tecnologica è basata sulla capacità di precipitazione e deposizione dei minerali disciolti in acqua marina sulle superfici metalliche inserite in un processo di elettrolisi. La

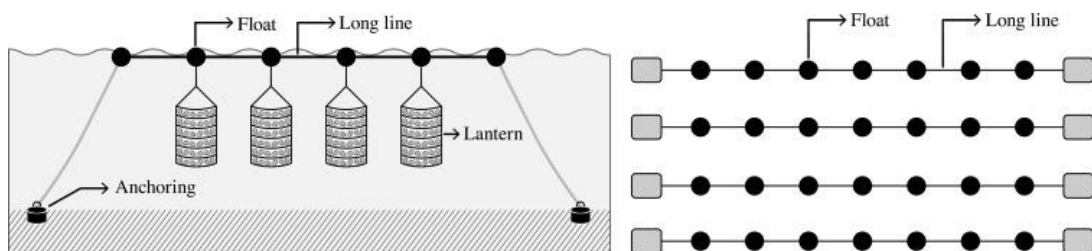
deposizione minerale sulla struttura permette una protezione dall'attività corrosiva dell'acqua di mare e inoltre si prefigura come possibile substrato in grado di aumentare la biodiversità e quindi il valore del capitale naturale, offrendo così la possibilità di una "seconda vita" alle piattaforme offshore giunte al termine della loro fase produttiva nell'ottica di un loro riutilizzo per le attività di Blue Economy.



**Figura 4** Piattaforma ENI "Viviana"

Presso la piattaforma si è inoltre installato un sistema innovativo di acquacoltura multi-trofica basato sull'allevamento integrato di molluschi (mitili e ostriche) e oloturie.

Tale allevamento prevede l'uso di oloturie come componente per il riciclo dei rifiuti prodotti dall'allevamento dei molluschi. La tecnica di allevamento dei mitili (*Mytilus galloprovincialis*) applicata in questo esperimento è quella che prevede l'utilizzo della *Longline* (**Fig. 5**), una sorta di filare composto da funi di sostegno ancorate al fondo attraverso dei pesi e che vengono mantenute in verticale da una serie di galleggianti, a una profondità di 2-3 metri rispetto alla superficie dell'acqua. Le cozze vengono allevate all'interno di reti tubolari in polipropilene chiamate "calze", rette da corde lunghe tra i 2 e i 5 metri appese alla longline.



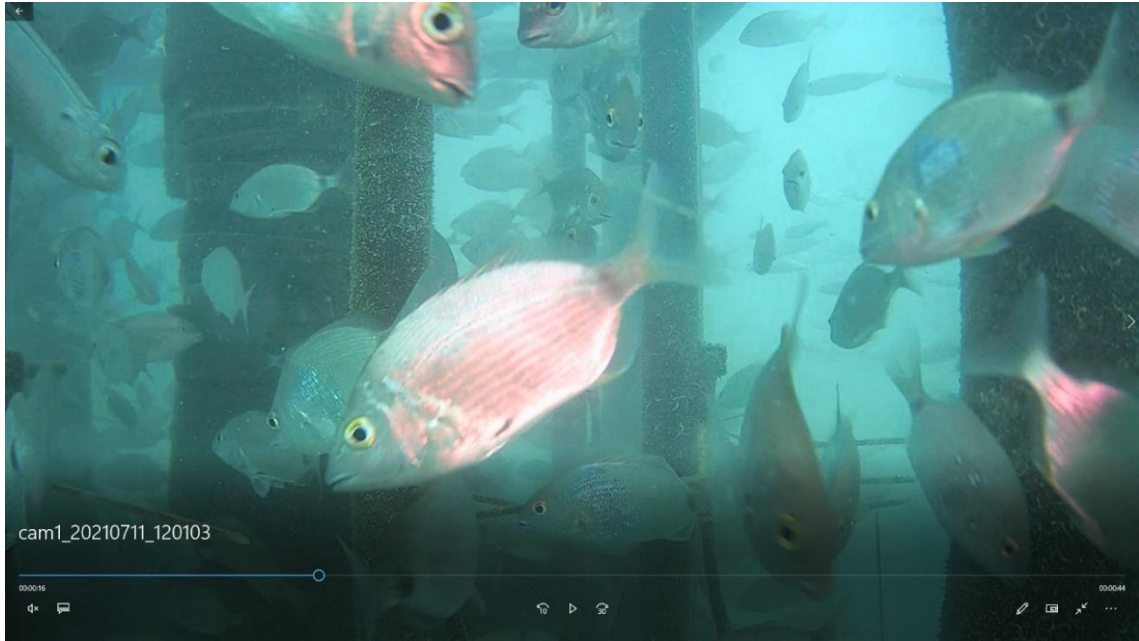
**Figura 5** Schema di impianto sospeso con galleggianti di superficie e sistema di ancoraggio per l'allevamento dei molluschi

Infine, il progetto PON Place ha previsto la progettazione e sviluppo di sistemi di supporto innovativi per la valutazione della sostenibilità ecologica delle

attività integrate della piattaforma multifunzione in relazione ai descrittori e criteri della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (MSFD) e per la valutazione della gestione da remoto delle operazioni e della manutenzione.

Le attività della piattaforma offshore richiedono frequenti acquisizioni dei dati sia per la gestione del loro funzionamento sia per la loro manutenzione. Allo scopo di minimizzare la presenza in situ delle piattaforme, PlaCE testerà sistemi innovativi integrati, tra cui delle tecnologie da remoto per l'acquisizione e l'analisi di dati sia di tipo ambientale, per il monitoraggio della superficie e della colonna d'acqua registrando le principali caratteristiche chimico fisiche e biologiche, sia di verifica funzionale e di controllo. Attraverso la realizzazione di un sistema innovativo subacqueo è stato possibile registrare delle immagini e trasmetterle da remoto (**Fig.6**).



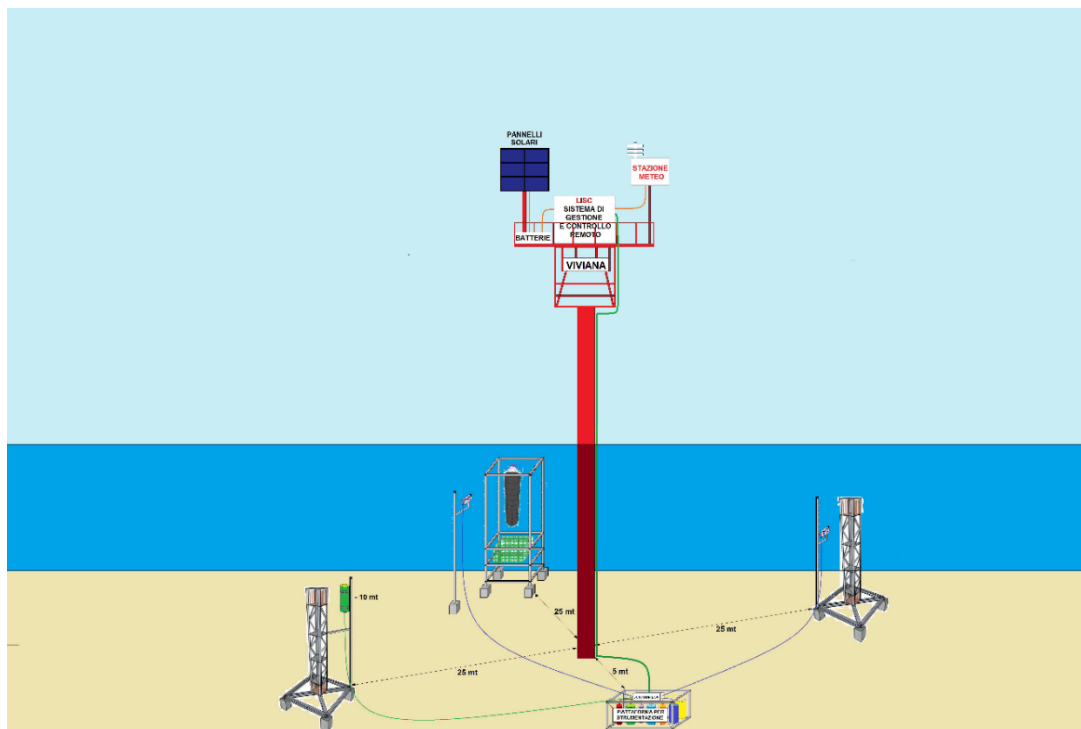


**Figura 6** Fermo immagine di un video acquisito dalla camera installata sulla struttura elettrificata.

Nell'ambito del progetto della mia tesi, si è preso in considerazione l'effetto del deployment delle strutture per l'esperimento di elettrificazione e di quelle per l'esperimento di acquacultura multi-trofica integrata sulle comunità macrobentoniche dell'area circostante.

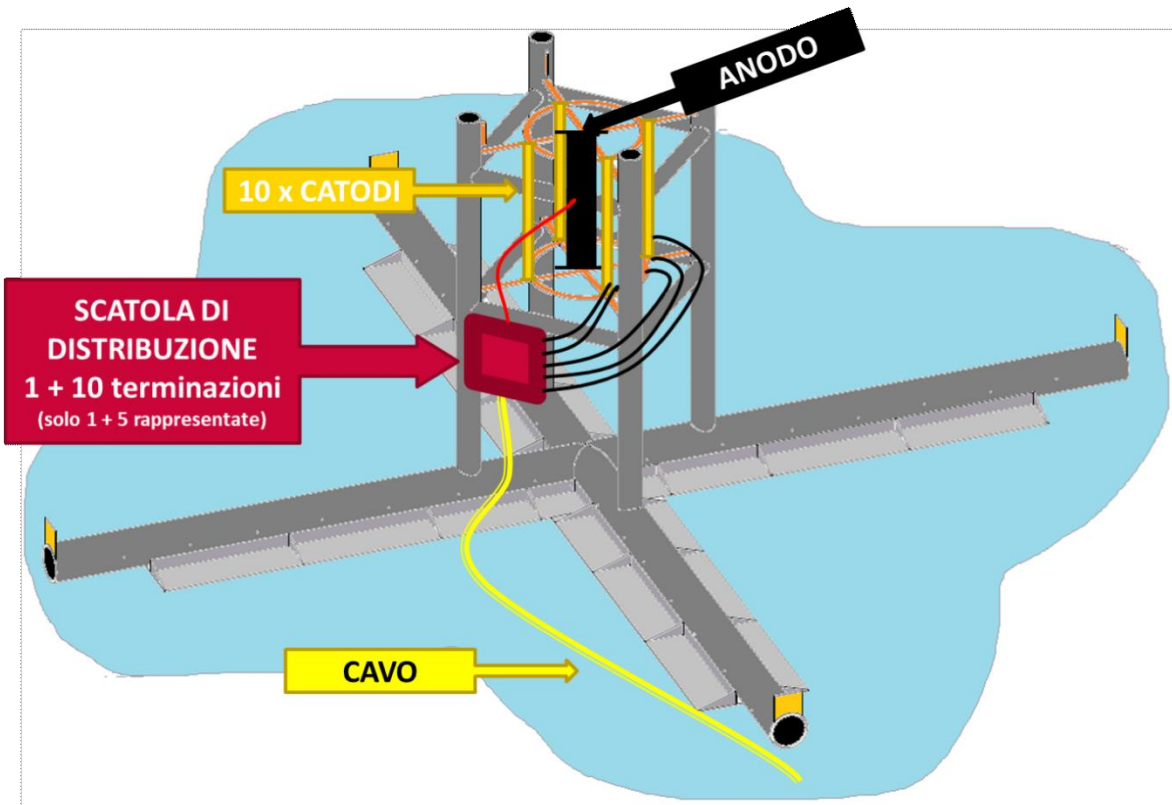
Al fine di testare la tecnica di elettrificazione di una struttura metallica per l'aumento della deposizione di uno strato minerale, sono state realizzate due strutture in acciaio identiche, una elettrificata e l'altra non elettrificata. Quest'ultima ha lo scopo di "bianco" elettrico, e permette quindi di osservare una struttura non soggetta ad accrescimento minerale ma comunque in grado di

risentire degli effetti chimico-fisici delle profondità marine (**Fig.7**). Entrambe le strutture sono state immerse in mare ad una profondità di circa 20 mt, presentano una forma in pianta quadrata di dimensioni 1,20m x 1,20m e altezza pari a 3,15m, con un sistema di fondazioni superficiali costituito da due travi tubolari disposte ortogonalmente tra loro.



**Figura 7** Schema concettuale delle installazioni previste nell'area circostante la piattaforma "Viviana".

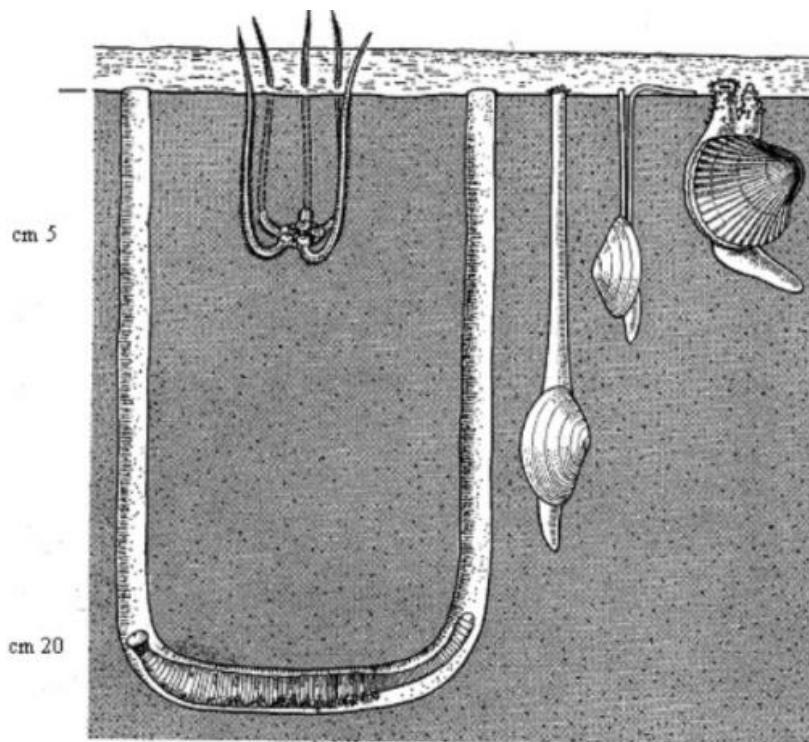
Entrambe le strutture sono dotate di 10 catodi di forma cilindrica installati mediante sistema a rapido sgancio per facilitarne la rimozione durante le diverse fasi di monitoraggio. Sul modulo elettrificato è presente centralmente un anodo, non smontabile, costituito da un cilindro in PVC rivestito da una rete in lega di titanio (**Fig. 8**).



**Figura 8** Struttura dell'impianto di elettrificazione.

## 1.5 L'Importanza del macrozoobenthos dei fondi molli nel monitoraggio ambientale

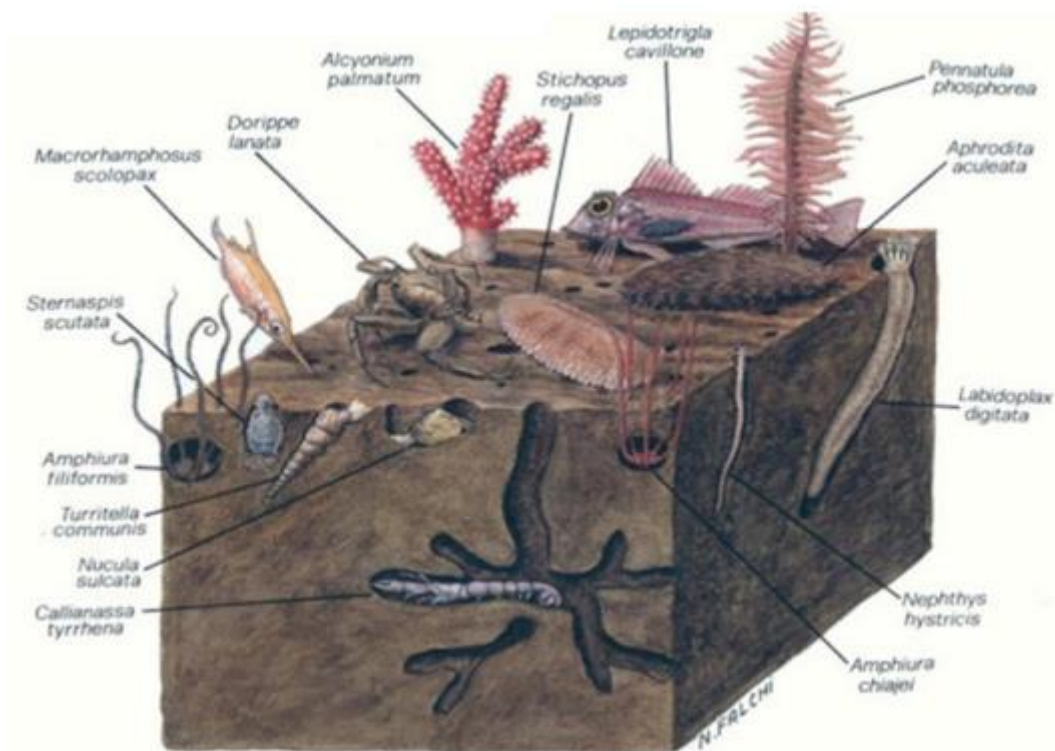
I fondi molli costituiscono sistemi di estremo interesse per la loro ampia distribuzione e per l'importanza e la varietà dei popolamenti bentonici che li colonizzano (Gray, 1997; Snelgrove, 1997) (**Fig. 9 e 10**). Questo studio prenderà in considerazione i popolamenti macrobentonici di fondo molle, cioè quelli costituiti da organismi di dimensioni superiori a 0,5 mm, o comunque in grado di essere trattenuti da setacci di tali dimensioni (Holme e McIntyre, 1971, 1984; Gray, 1981).



**Figura 9** Esempio di organismi macrobentonici dei fondi molli.

In tali popolamenti dominano Anellidi Policheti, seguiti da Molluschi Bivalvi, Crostacei Anfipodi e Decapodi ed Echinodermi.

I fondi molli sono infatti colonizzati 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; lo spessore colonizzato varia sensibilmente negli ambienti marini ed in quelli salmastri, a seconda della granulometria, della sostanza organica presente, etc.



**Figura 10** 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).

Le comunità macrobentoniche sono quindi particolarmente adatte a valutare la qualità dell'ambiente in quanto permettono di rendere evidenti le modificazioni ambientali, sia di origine naturale che antropica.

Lo studio del macrobenthos di fondo molle rappresenta un importante strumento per il monitoraggio dell'ambiente marino; le comunità bentoniche sono infatti largamente usate come "indicatori" delle caratteristiche ambientali e quindi per il rilevamento delle alterazioni dell'ambiente marino derivate dall'attività antropica (Crema et al., 1983; Bilyard, 1987; Thomson et al., 2003).

Il concetto di indicatore è sintetizzato da Johnson (1996) come un organismo che fornisce un'informazione sullo stato dell'ecosistema, rispondendo ad alterazioni dell'habitat con variazioni del suo stato naturale a livello di comunità, popolazione o a livello genetico.

Un sistema stressato evidenzia: 1. riduzione del numero di specie; 2. scomparsa delle specie sensibili; 3. dominanza di specie tolleranti; 4. cambiamento del numero di individui entro una specie.

I popolamenti macrobentonici di fondo molle sono particolarmente importanti per la loro capacità di rispondere significativamente a variazioni ambientali sia di origine naturale che antropica. La struttura delle comunità macrobentoniche è infatti strettamente dipendente da una serie di fattori biotici ed abiotici

caratterizzati da una notevole variabilità sia spaziale che temporale, quali l'idrodinamismo, la granulometria del substrato, la concentrazione di sostanza organica, la presenza di sostanze inquinanti e, non da ultime, le caratteristiche biologiche delle specie.

Per analizzare e predire le variazioni della struttura delle comunità lungo gradienti di disturbo ambientale di vario genere, sono stati sviluppati diversi modelli, uno dei più significativi dei quali è lo "Species-Abundance-Biomass model" (Pearson e Rosenberg, 1978); tali modelli hanno permesso lo sviluppo di una serie di metodologie adatte a descrivere e quantificare gli effetti di differenti livelli di disturbo ambientale sui parametri strutturali delle comunità (Gray, 1981, Lambshead et al., 1983; 1988; Clarke, 1993; Elliott, 1994). I più recenti metodi per lo studio dell'inquinamento marino sono stati sviluppati proprio sulla base dell'analisi della struttura delle comunità macrobentoniche di fondo molle.

L'importanza delle comunità macrobentoniche di fondo molle ha fatto sì che esse siano state utilizzate per valutare gli effetti sull'ambiente marino di scarichi urbani, di scarichi industriali e termici, del deposito di materiali di dragaggio, dello scarico di fanghi di perforazione e della presenza di piattaforme estrattive. In particolare, nel Mar Adriatico, è stato dimostrato che la presenza di una piattaforma offshore svolge un ruolo importante nel "timing"

del recupero della comunità bentonica (Fabi et al., 2005; Manoukian et al., 2010). Alcuni studi condotti nella parte occidentale del bacino, ad esempio, riportano che la risposta agli stress ambientali delle popolazioni bentoniche 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 Mar 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).



## **2. OBIETTIVI DELLO STUDIO**

L'obiettivo principale di questa tesi è quello di valutare se ci sono stati dei cambiamenti al livello dei popolamenti macrobentonici presenti nell'area attorno alla piattaforma, in seguito al posizionamento delle strutture di elettrificazione, volte a favorire l'aumento dell'accrescimento minerale, e al posizionamento delle gabbie usate per testare l'allevamento multitrofico integrato di molluschi e oloturie, il quale potrebbe generare un aumento in termini di carico organico attraverso i loro prodotti di escrezione.

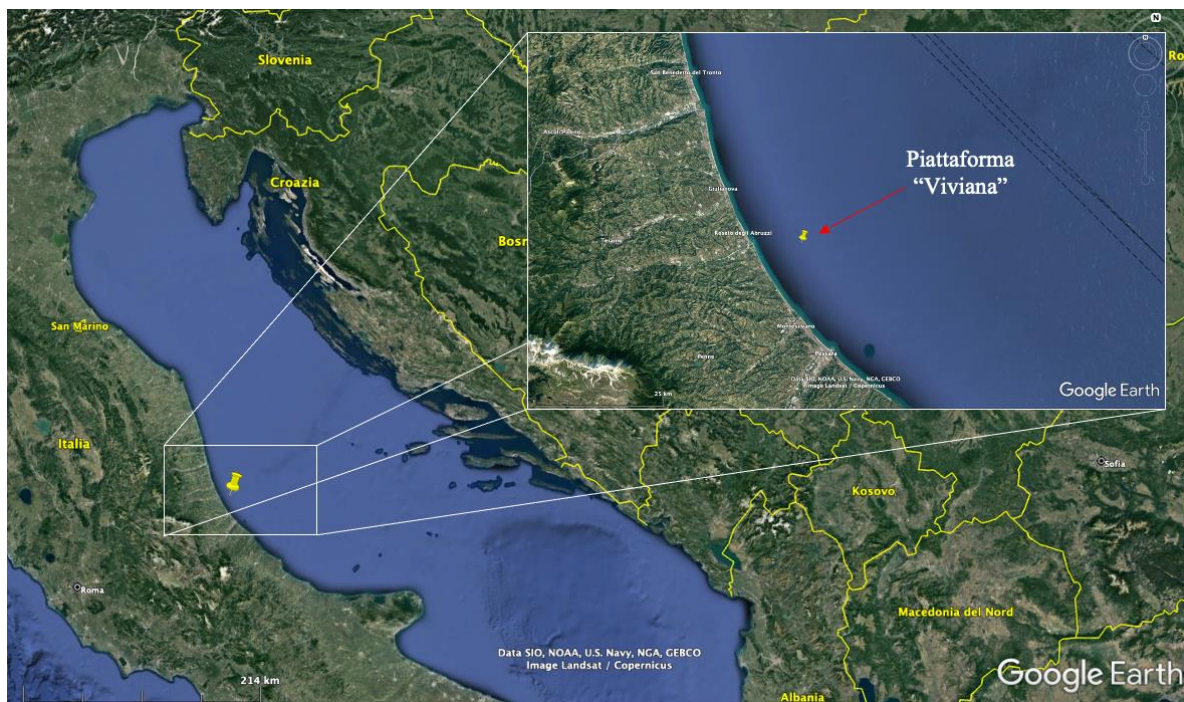
A tal fine, i dati ottenuti dai campionamenti condotti a luglio ed ottobre 2021 (T1 e T2) dopo l'installazione delle strutture elettrificate e delle gabbie utilizzate per l'esperimento di allevamento integrato sono stati confrontati con quelli ottenuti da una precedente tesi (Simone di Giacomo, 2019) in cui sono stati analizzati i campioni raccolti a ottobre 2019 (T0), precedentemente al posizionamento delle strutture stesse.

### **3. MATERIALI E METODI**

#### **3.1 Area di Studio**

L'area di studio si trova al largo delle coste dell'Adriatico centrale, a 9 km al largo della città di Giulianova.

Il sito di campionamento si trova intorno alla piattaforma estrattiva di gas "Viviana" (**Fig.11**). Questa è una struttura monotubolare installata nel 1988, ed ormai non più attiva. Essa è collegata tramite delle pipeline alla centrale di Pineto e alla vicina piattaforma offshore Fratello Nord. L'area è caratterizzata da una profondità di circa 20 m e da fondali fangosi e 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.



**Figura 11** Area di campionamento situata nel Mar Adriatico a largo della costa di Giulianova, Abruzzo.

### 3.2 Strategia e metodi di campionamento

Il campionamento è stato effettuato lungo due transetti centrati sulla piattaforma e perpendicolari tra loro. I due transetti sono orientati uno in direzione NW-SE (direzione corrente dominante) e l'altro secondo la direzione NE-SW.

Le stazioni campionate sono 10, denominate ST-X (dove X è il numero della stazione stessa come da **Figura 12**. In ogni stazione, una Benna Van Veen è stata calata per 3 volte al fondo per campionare 3 repliche indipendenti del sedimento. Per ogni stazione sono quindi stati raccolti:

- 3 repliche di campioni per le analisi di macrofauna. Ogni replica è stata filtrata mediante un setaccio da 500  $\mu\text{m}$  e la componente superiore a tale 3range dimensionale è stata successivamente raccolta in barattoli da campionamento.
- 3 repliche di campioni per le analisi di meiofauna mediante carote in plexiglass.
- 3 repliche di campioni per le analisi riguardante la composizione biochimica della materia organica del sedimento, attraverso carote in plexiglass.



**Figura 12** Mappa del Disegno di campionamento attorno alla Piattaforma “Viviana”.

Sono stati effettuati due campionamenti, uno a luglio 2021 (T1) ed uno ad ottobre 2021 (T2). I dati ottenuti dalle analisi condotte sui campioni raccolti al tempo T1 e T2 sono stati successivamente confrontati con quelli ottenuti in un precedente lavoro di tesi (Simone di Giacomo, 2019) che ha analizzato la macrofauna dei sedimenti raccolti nel campionamento di ottobre 2019 (T0). Il campionamento al T0 è stato effettuato precedentemente rispetto all'installazione delle strutture elettrificate e dell'impianto di acquacoltura multitrofica integrata presso la piattaforma.

### **3.3 Trattamento dei campioni in laboratorio e analisi dei dati**

#### *Analisi della macrofauna*

In laboratorio, i campioni di macrofauna sono stati prima scongelati e poi setacciati mediante setaccio da 500 µm per la rimozione dei residui del sedimento fangoso, al fine di facilitare l'individuazione degli organismi. Si è proceduto quindi al sorting dei campioni, andando ad estrarre gli organismi della macrofauna. Gli organismi estratti, conservati successivamente a - 20°C in acqua di mare, sono quindi stati contati per le analisi di abbondanza.

#### *Analisi della materia organica*

Per quanto riguarda l'estrazione della clorofilla e dei feopigmenti dal sedimento è stata eseguita seguendo il metodo di Lorenzen and Jeffrey (1980). Secondo il

protocollo, un'aliquota di sedimento umido viene messa in una provetta contenente 0,1 g circa di carbonato di magnesio, che stabilizza la struttura della clorofilla-a evitandone la decomposizione. Nella stessa provetta, vengono quindi aggiunti 5 mL di acetone in soluzione acquosa (90%). Le provette vengono poi tappate e agitate per 45 secondi circa, sonicate per 3 volte 1 minuto a intervalli di 30 secondi, infine lasciate al buio a 4°C per circa 12 ore. Dopo aver centrifugato a 800×g per 10 minuti, l'estratto acetone viene usato per la lettura allo spettrofluorimetro, alle lunghezze d'onda di 430 nm (eccitazione) e 665 nm (emissione), prima e dopo acidificazione in cuvetta (tramite l'aggiunta di 200 µL di HCl 0,1M lasciato reagire per 20 secondi). terminate le letture, il sedimento viene essiccato (60°C × 24 ore) e pesato. Le concentrazioni di clorofilla-a e feopigmenti sono ottenute dall'applicazione delle formule di Plante-Cuny (1974), e vengono espresse in µg di pigmento per grammi di sedimento secco. La concentrazione dei pigmenti totali è data dalla somma della concentrazione della clorofilla-a e dei feopigmenti.

La determinazione delle proteine totali è stata eseguita usando il metodo di Hartree (1972), una modificazione del procedimento di Lowry et al. (1951) per l'analisi dei sedimenti marini (Danovaro 2010). Questo metodo colorimetrico sfrutta la proprietà dell'azoto del legame peptidico di reagire prima con il tartrato rameico e in seguito con il reattivo di Folin-Ciocalteu in ambiente

basico (pH 10). Quest'ultimo è a base di fenolo e di fosfomolibdato e permette di colorare la soluzione di un blu stabile, proporzionale al tenore proteico. Secondo il protocollo, un'aliquota di sedimento umido viene posta in una provetta di vetro. In ciascuna provetta viene aggiunto 1 mL di acqua ultrapura e viene agitata per circa 1 minuto. I campioni vengono sonicati per 3 minuti non consecutivi intervallati da 30 secondi, in modo da distaccare la matrice organica dal sedimento (Danovaro e Fabiano, 1990). Vengono aggiunti al campione 0.9 mL della soluzione A (2 g di Na – K tartrato e 100 g di Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> disciolti in 500 ml di NaOH 1M e portati a volume con acqua ultrapura) precedentemente preparata. Le provette vengono agitate per circa 1 minuto, poi vengono messe in un bagno termostatico a 50°C per 10 minuti. Ad ogni campione viene aggiunto 0.1 mL di soluzione B (contenente solfato di rame pentaidrato). Successivamente i campioni vengono agitati per 1 minuto e lasciati riposare per 10 minuti a temperatura ambiente. Ad ogni campione vengono aggiunti 3 mL di una soluzione C che contiene reattivo di Folin-Ciocalteu. I campioni vengono successivamente agitati e lasciati in un bagno termostatico a 50°C per 10 minuti. In seguito, si procede con la centrifugazione a 800×g per 15 minuti. Per procedere alla lettura spettrofotometrica il sovrinatante viene versato in una cuvetta di vetro ottico (1 cm di passo). La lettura viene effettuata ad una lunghezza d'onda di 650nm. Al termine

dell'operazione il sedimento viene essiccato a 60°C per poi essere pesato. Le concentrazioni di proteine sono espresse in mg equivalenti di albumina bovina per g di sedimento secco. Allo stesso modo vengono preparati ed analizzati dei campioni “bianchi” di controllo. Per determinare la concentrazione delle proteine nei campioni è stata utilizzata una curva di taratura ottenuta con soluzioni standard di albumina bovina a concentrazioni crescenti.

La determinazione dei carboidrati totali è stata condotta secondo il metodo di Dubois et al. (1956) adattato ai sedimenti da Gerchacov e Hatcher (1972). Il metodo è colorimetrico e sfrutta la capacità degli zuccheri di reagire con il fenolo in presenza di acido solforico concentrato. Secondo il protocollo, un'aliquota di sedimento secco da ciascuna delle 3 repliche dei campioni viene posta singolarmente in una provetta. In ciascuna provetta viene aggiunto 1 mL di acqua ultrapura, quindi agitata per circa 1 minuto. I campioni vengono sonicati poi per 3 minuti non consecutivi a intervalli di 30 secondi, per distaccare la matrice organica dal sedimento (Danovaro and Fabiano, 1990). A ciascun campione viene aggiunto 1 mL di fenolo al 5%. I campioni, una volta agitati, vengono incubati per 10 minuti a temperatura ambiente. Successivamente vengono aggiunti a ciascun campione 5 mL di acido solforico concentrato che provoca la carbonizzazione dei composti fenol-glucidici mediante una reazione estremamente esotermica; le provette vengono



successivamente agitate e la miscela di reazione si colora con una tonalità tra il giallo paglierino e il marrone scuro. I campioni vengono centrifugati a  $800\times g$  per 30 minuti ed il sovranatante viene letto allo spettrofotometro mediante una cuvetta in vetro (passo ottico di 1 cm). L'assorbanza viene misurata alla lunghezza d'onda di 485 nm e viene effettuata anche una lettura a lunghezza d'onda di 600 nm, utilizzata per correggere la possibile interferenza causata dalla torbidità del sovrinatante. Allo stesso modo sono vengono preparati ed analizzati dei campioni "bianchi" di controllo. Le concentrazioni dei carboidrati vengono espresse in mg equivalenti di glucosio per g di sedimento secco. Per determinare la concentrazione dei carboidrati nei campioni è stata utilizzata una curva di taratura ottenuta con soluzioni standard di D(+)-Glucosio a concentrazioni crescenti.

La determinazione dei lipidi totali viene eseguita seguendo il metodo di Bligh and Dyer (1959), adattato ai sedimenti marini da Danovaro e Fabiano (1990), il quale sfrutta la solubilità dei lipidi in solventi organici, quali alcool metilico e cloroformio. Secondo il protocollo, un'aliquota di sedimento umido (circa 0.5 g) viene raccolta in una provetta di vetro. In ciascuna provetta viene aggiunto 1 mL di acqua ultrapura; successivamente essa viene agitata per circa 1 minuto. I campioni vengono sonicati poi per 3 minuti non consecutivi a intervalli di 30 secondi, in modo da distaccare la matrice organica dal sedimento. A ciascun

campione vengono aggiunti 1.25 mL di cloroformio e 2.5 mL di alcool metilico. Ogni campione viene agitato ed incubato a 4°C per 10 minuti. I campioni vengono centrifugati a 800×g per 10 minuti e il sovratanante ottenuto trasferito in provette Pyrex, mentre le provette con il sedimento rimasto vengono poste ad essiccare in stufa a 60°C. Alle Pyrex si aggiungono 1.25 mL di cloroformio e 1.25 mL di acqua ultrapura, si agitano per circa 1 minuto e si centrifugano a 800×g per 5 minuti. In questo modo si separa la frazione sovratanante idroalcolica, che viene scartata, dalla frazione sottostante di cloroformio (contenente i lipidi da misurare) che invece viene posta in un bagno termostatico a secco a 90-100°C per 20-25 minuti fino a completa evaporazione. Le Pyrex vengono lasciate raffreddare a temperatura ambiente, quindi a ciascun campione vengono aggiunti 2 mL di acido solforico concentrato. Successivamente, le Pyrex vengono messe in un bagno termostatico a secco a 200°C per 15 minuti e vengono poi trasferite in una vaschetta contenente ghiaccio per 5 minuti, fino al completo raffreddamento. A ciascun campione vengono aggiunti 3 mL di acqua ultrapura. Ogni campione viene poi agitato. La lettura allo spettrofotometro, usando una cuvetta in vetro di passo ottico di 1 cm, viene effettuata ad una lunghezza d'onda di 375 nm. Allo stesso modo sono vengono preparati ed analizzati dei campioni “bianchi” di controllo. Le concentrazioni dei lipidi vengono espresse in mg equivalenti di

tripalmitina per g di sedimento secco. Il calcolo si basa su una curva di taratura ottenuta leggendo l'assorbanza allo spettrofotometro di diluizioni seriali di una soluzione di tripalmitina.

Il Carbonio biopolimerico (BPC) è stato definito come misura del Carbonio organico sedimentario potenzialmente disponibile per gli organismi eterotrofi bentonici. Il BPC è dato dalla somma delle tre categorie principali dei composti biochimici della materia organica (carboidrati, lipidi, e proteine) convertiti in carbonio equivalente usando i fattori di conversione relativi (rispettivamente 0.49, 0.40 e 0.75  $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1}$ ).

#### *Analisi dei dati*

I dati ottenuti dalle analisi di abbondanza e diversità delle comunità macrobentoniche sono stati analizzati mediante analisi univariate e multivariate attraverso l'utilizzo di due diversi programmi di analisi statistica: 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 prevede un'analisi a tre vie (fattori), ortogonali:

- *il transetto* (fisso, 2 livelli: NW, SE)
- *la distanza* dalla piattaforma (fisso, 3 livelli: 50 m, 500 m, 2 km),
- *il tempo* (fisso, 3 livelli; T0, T1, T2)

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) concentrandosi 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.

Per una maggiore comprensione dei dati relativi alla macrofauna sono state condotte delle analisi riguardanti la composizione biochimica della materia

organica (concentrazione proteine, carboidrati, lipidi; concentrazione di carbonio biopolimerico; concentrazione della clorofilla-a, feopigmenti e fitopigmenti totali) di entrambi i campionamenti (T1, T2).

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) responsabili delle differenze nei campioni della macrofauna analizzati.

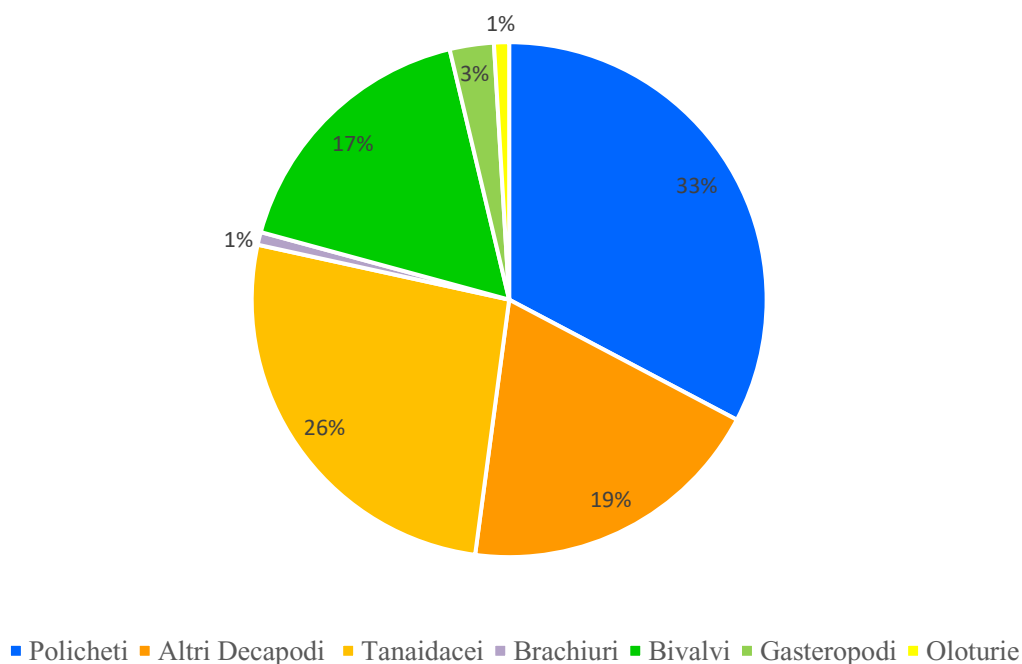
## 4. RISULTATI

### 4.1 Risultati delle analisi sul macrozoobenthos di fondo molle

Nei campioni analizzati sono stati ritrovati 2818 individui appartenenti a 4 phyla e 12 Taxa, di cui 1390 organismi del campionamento di luglio 2021 (T1) e 1428 del campionamento di ottobre 2021 (T2).

In particolare, i taxa individuati sono i seguenti: Annelida, Mollusca, Crustacea, Echinodermata.

Per quanto riguarda gli anellidi, l'unica classe riscontrata è quella dei policheti (Polychaeta), mentre per i molluschi sono presenti sia la classe dei bivalvi (Bivalvia) che quella dei gasteropodi (Gastropoda). Inoltre, è importante evidenziare come questa comunità sia caratterizzata da una forte presenza di tanatocenosi a *Turritella communis*. Per i crostacei sono stati riscontrati quattro diversi ordini: Isopoda, Cumacea, Tanaidacea e Decapoda. All'interno del taxon degli Echinodermata, sono state individuate due classi: Holothuroidea e Ophiuroidea.



**Figura 13** Composizione tassonomica (% delle abbondanze dei principali gruppi riscontrati) della campagna di luglio 2021 (T1).

In termini di percentuale delle abbondanze dei principali gruppi riscontrati (**Fig.13**), nella campagna di luglio 2021 (T1), dominano i Crostacei (46%) in particolare i Tanaidacei (26%), caratterizzati dalla presenza di una singola specie (*Apseudes spinosus* **Fig.14d**).

Seguono poi i Decapodi (19%), *Alpheus glaber*, e gli Anfipodi (unica specie, *Leucothoe occulta*).

Distinguiamo tra i Decapodi un'unica specie appartenente al gruppo dei Brachiuri (es. *Goneplax rhomboides*, **Fig. 16**) che rappresenta l'1% della

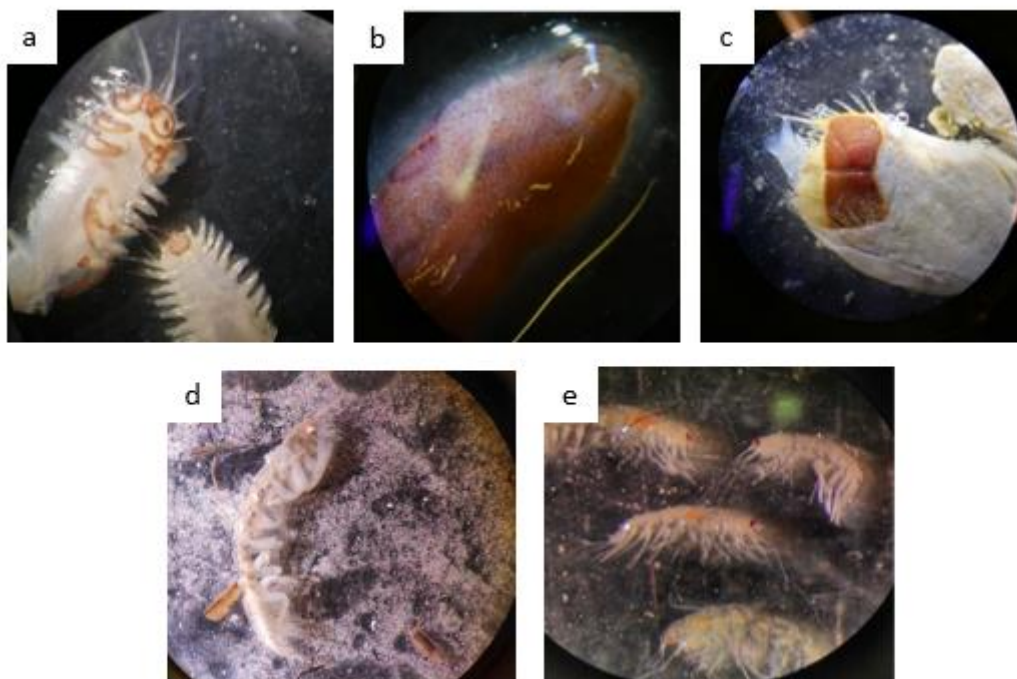
composizione tassonomica della macrofauna raccolta nella campagna di luglio 2021 (T1).

Il secondo gruppo più abbondante è costituito dai Policheti (33%) all'interno del quale si riscontra la presenza di varie specie. Sono stati individuati diversi esemplari appartenenti al genere *Harmothoe sp.* (**Fig.14a**), e diversi esemplari della specie *Sternaspis scutata* (**Fig.14c**). Inoltre, sono stati riconosciuti anche esemplari appartenenti a gruppi tassonomici, come i capitellidi e alcuni lumbrineridi, capaci di proliferare in condizioni di ipossia e presenza di inquinanti nei sedimenti (Bellan et al., 1988).

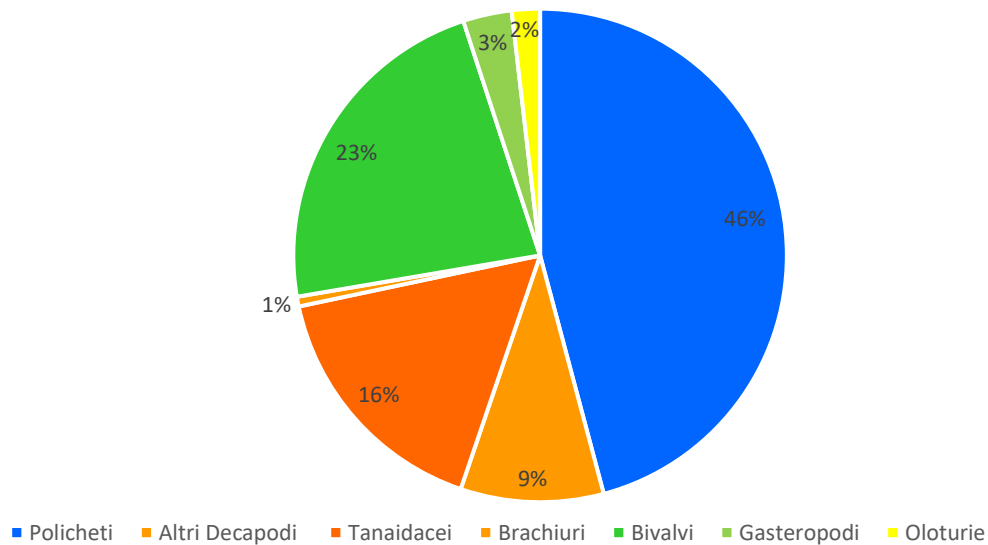
I Molluschi invece rappresentano il terzo gruppo per abbondanza, con una importanza maggiore dei Bivalvi (17%) rispetto ai Gasteropodi (3%). Per quanto riguarda questi ultimi, sono stati identificati esclusivamente esemplari di *Turritella communis*. Da sottolineare, prendendo in considerazione i bivalvi, la forte presenza di *Varicorbula gibba*, specie a strategia r caratteristica di fondali fangosi ipossici (Diaz et al., 1995).



Ultimi in termini di abbondanza sono il gruppo degli Echinodermata di cui si riscontra la presenza esclusiva di *Oestergrenia digitata* (**Fig. 14b**).



**Figura 14** Organismi del macrozoobenthos: a) *Harmothoe* sp. b) *Oestergrenia digitata*. c) *Sternaspis scutata*. d) *Aapseudes spinosus*. e) Oedicerotidae e *Ampelisca* sp



**Figura 15** Composizione tassonomica (% delle abbondanze dei principali gruppi riscontrati) della campagna di ottobre 2021 (T2).

Per quanto riguarda il campionamento di ottobre 2021 (T2) (**Fig.15**), il gruppo più abbondante, diversamente dalla campagna di luglio (T1), è costituito da quello dei Policheti (46%). Seguono il gruppo dei Crostacei (26%) insieme a quello dei Molluschi (26%). La componente più abbondante del gruppo dei Crostacei è costituita dai Tanaidacei (16%) caratterizzati sempre dalla presenza di una singola specie (*Apseudes spinosus*). Seguono i Decapodi (9%) (**Fig. 14d**) ed infine i Brachiuri, rappresentati sempre da un'unica specie, *Goneplax rhomboides* (1%) (**Fig.16**).



**Figura 16** *Goneplax rhomboides*

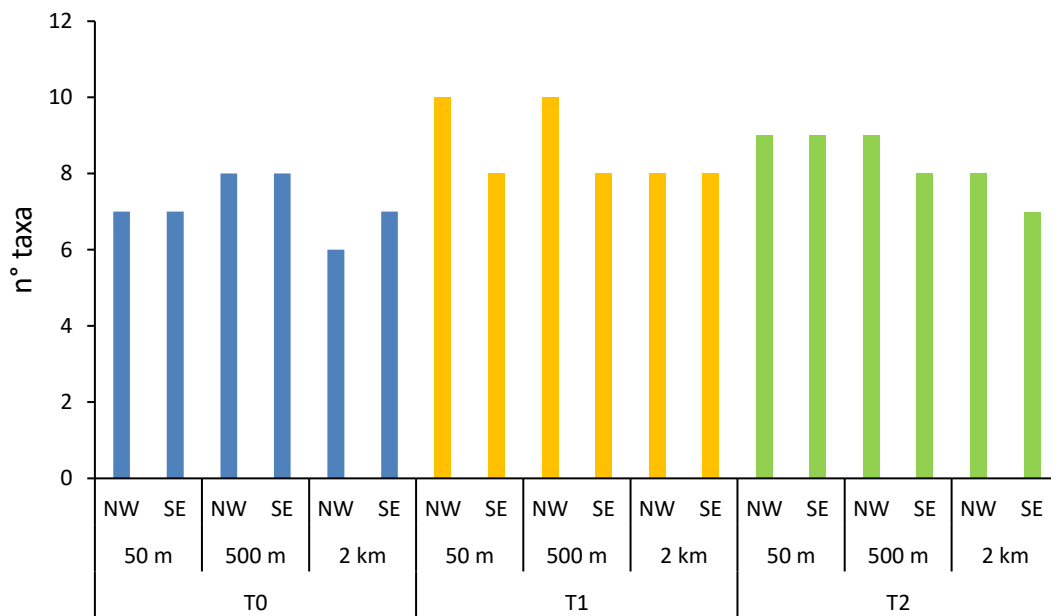
Nei Molluschi notiamo che i Bivalvi (23%) predominano nettamente rispetto ai Gasteropodi (3%).

Ultima, in termini di abbondanza è la classe Holothuroidea (2%) in cui si riscontra la presenza esclusiva di *Oosteregria digitata* (**Fig. 14b**).

Per quanto riguarda la ricchezza in taxa (**Fig. 17**), questa risulta essere piuttosto omogenea in tutte le stazioni, sia considerando la differente distanza dalla piattaforma che i diversi campionamenti nel tempo (T0, T1, T2), con un numero di taxa medio pari ad 8.

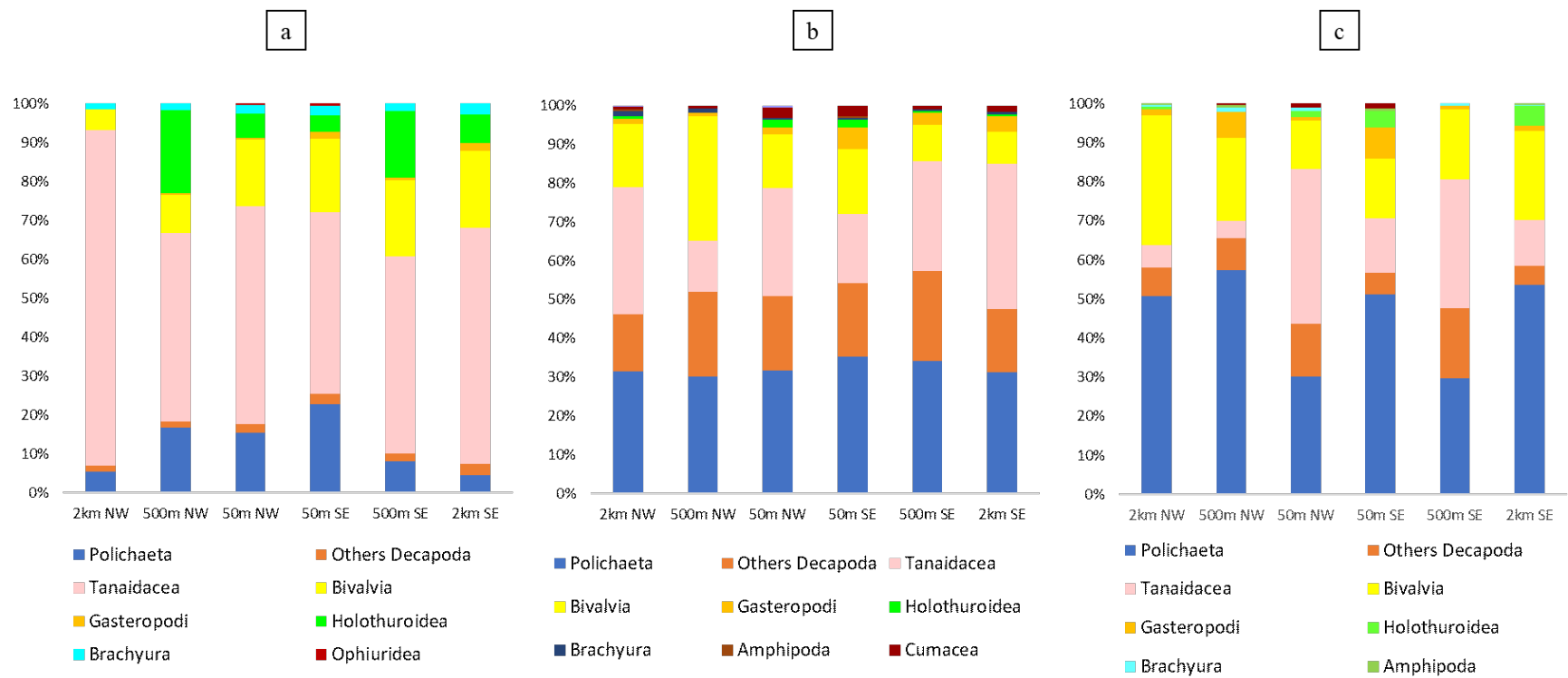
Nelle stazioni a 50 m del T1 e del T2 si osserva la presenza di circa 8-9 taxa, con un picco massimo di 10 taxa nel transetto NW del tempo T1. Sia al tempo T1 che T2, le stazioni di controllo a 2 km SE e NW presentano una ricchezza in taxa quasi in linea con le stazioni a 50 m e 500m.

L'analisi statistica univariata condotta sulla ricchezza in taxa non ha rilevato differenze statisticamente significative per nessuno dei fattori considerati.



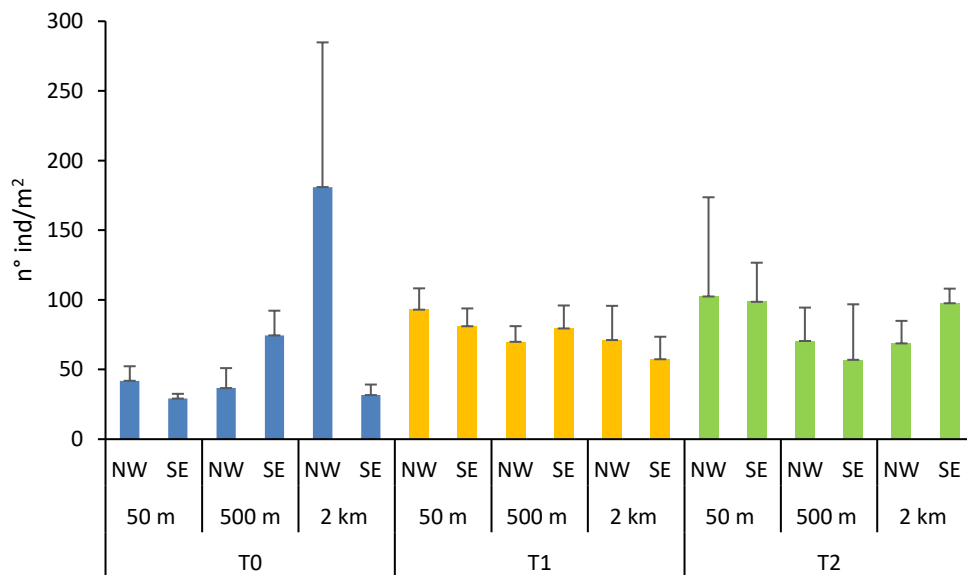
**Figura 17** Grafico relativo alla ricchezza in Taxa delle diverse stazioni rispetto ai tempi T0, T1, T2.

Anche per quanto riguarda la struttura della comunità macrobentonica (composizione %) nelle singole stazioni (**Fig.18**) sembra essere presente una situazione piuttosto omogenea sia per i campioni raccolti al T1 che per quelli raccolti al T2, con una predominanza, in entrambi i campionamenti, del gruppo dei Policheti. Al T0 notiamo una netta prevalenza del taxon dei Tanaidacei rispetto agli altri gruppi identificati.



**Figura 18** Struttura delle comunità nei campionamenti di ottobre 2019 (a=T0), luglio (b=T1) ed ottobre (c=T2) 2021.

Riguardo l'abbondanza totale degli organismi (n° di individui per m<sup>2</sup>) notiamo una situazione molto più omogenea tra i campioni raccolti nelle stazioni a luglio ed ottobre 2021 (T1, T2) rispetto a quelli raccolti nel 2019 (T0), in cui in particolare la stazione posta a 2 km di distanza dalla piattaforma lungo il transetto in direzione NW mostra un'abbondanza di individui più elevata (**Fig. 19**).



**Figura 19** Abbondanza totale della Macrofauna nei campionamenti T0, T1 e T2 (n° individui/m<sup>2</sup>).

Sono state condotte delle analisi statistiche univariate sull'abbondanza totale delle comunità macrobentoniche (valori trasformati in radice quadrata). I risultati del main-test della PERMANOVA mostrano una significatività per il fattore Tempo e l'interazione dei fattori TempoxDistanza e Tempo-Distanza-Transetto (**Tab 1**).

**Tabella 1.** Risultati dell'analisi univariata PERMANOVA condotta sui dati dell'abbondanza totale della macrofauna (valori trasformati in radice quadrata) su matrice di distanza Euclidea. Te=Tempo, Di=distanza, Tr=Transetto.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Te	2	13,61	5,24	<b>0,01</b>
Di	2	17,57	0,68	0,51
Tr	1	31,23	12,02	0,28
TexDi	4	82,05	31,57	<b>0,02</b>
TexTr	2	26,25	10,10	0,38
DixTr	2	55,02	21,17	0,13
TexDixTr	4	10,97	4,22	<b>0,006</b>
Res	35	2,60		
Total	52			

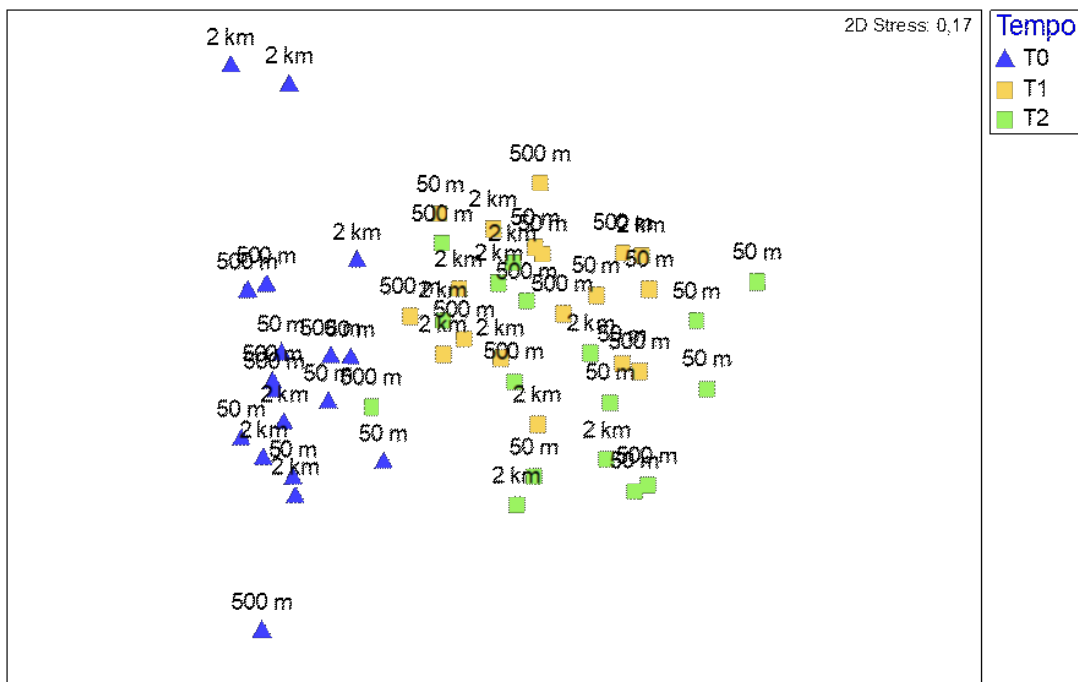
Dai risultati del pair-wise test condotti sui dati dell'abbondanza totale della macrofauna (valori trasformati in radice quadrata) considerando il fattore tempo risulta esserci una differenza significativa solo tra i tempi T0 e T1 (**Tab. 2**).

**Tabella 2.** Risultati del pair-wise test condotto sui dati di abbondanza totale (valori trasformati in radice quadrata) della macrofauna rispetto al fattore Tempo.

Term 'Te'		
Groups	T	P(perm)
T0, T1	33,24	<b>0,002</b>
T1, T2	0,42	0,68

L'analisi del plot nMDS (**Fig. 20**) mostra una chiara separazione tra il campionamento del 2019 (T0) con quelli del 2021 (T1, T2) effettuati dopo l'installazione dell'impianto di elettrificazione e di acquacoltura. Mentre si può notare come i campioni prelevati al tempo T1 e T2 risultano essere vicini tra loro e maggiormente dispersi.





**Figura 20** nMDS plot ottenuto secondo l'indice di dissomiglianza di Bray-Curtis calcolato sui dati di abbondanza della macrofauna (valori trasformati in radice quadrata). I colori evidenziano i diversi tempi di campionamento e i numeri le distanze dalla piattaforma.

I risultati dell'analisi multivariata PERMANOVA condotta sui dati di abbondanza dei diversi taxa della macrofauna mostrano un'alta significatività ( $p < 0.001$ ) rispetto al fattore tempo, distanza, transetto e tempoXdistanza mentre non vi sono risultati significativi rispetto ai fattori tempoXtransetto, distanzaXtransetto e tempoXdistanzaXtransetto (**Tab. 3**).

**Tabella 3.** Risultati della PERMANOVA condotta sui dati di abbondanza della macrofauna per i fattori tempo, distanza e transetto ed i relativi incroci (Tempo=Te, Distanza=Di, Transetto=Tr).

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Tempo	2	5557,10	19,42	<b>0,0001</b>
Distanza	2	903,84	3,16	<b>0,0009</b>
Transetto	1	893,05	3,12	<b>0,005</b>
TexDi	4	613,12	2,14	<b>0,002</b>
TexTr	2	406,65	1,42	0,16
DixTr	2	652,86	2,28	<b>0,01</b>
TexDixTr	4	483,42	1,69	<b>0,03</b>
Residuals	35	286,10		
Total	52			

Considerando i fattori che sono risultati essere significativi, il pair-wise test ha rivelato differenze significative tra il T0 ed il T1 ( $p < 0.001$ ), il T1 ed il T2 ( $p < 0.001$ ) (**Tab. 4**), in particolare riscontriamo una significatività molto elevata nella coppia T0-T1 ( $p < 0.001$ ).

**Tabella 4.** Risultati del pair-wise test condotto sui dati di abbondanza della macrofauna rispetto al fattore tempo.

<b>Tempo</b>		
Groups	T	P(perm)
T0, T1	5,53	<b>0,0001</b>
T1, T2	1,69	<b>0,006</b>

Anche per i fattori distanza e transetto notiamo esserci una differenza significativa confrontando i vari livelli (**Tab. 5 e 6**). In particolare,

l'abbondanza della macrofauna riscontrata nella stazione a 500 m di distanza dalla piattaforma si differenzia significativamente da quelle riscontrate nelle stazioni a 50 m e 2 km.

**Tabella 5.** Risultati del pair-wise test condotto sui dati di abbondanza della macrofauna rispetto al fattore transetto.

<b>Transetto</b>		
<u>Groups</u>	<u>T</u>	<u>P(perm)</u>
NW, SE	1,77	<b>0,006</b>

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

<b>Distanza</b>		
<u>Groups</u>	<u>T</u>	<u>P(perm)</u>
50 m, 500 m	1,98	<b>0,003</b>
500 m, 2 km	1,79	<b>0,006</b>

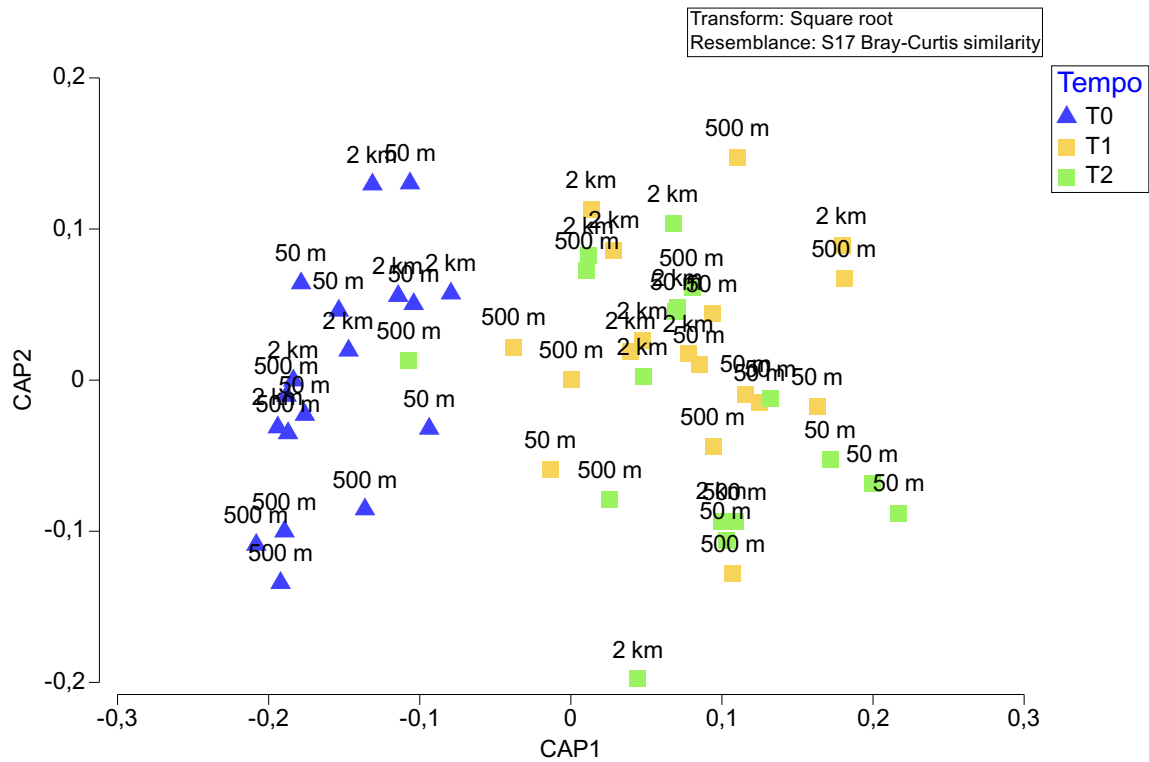
Considerando l'interazione tra i fattori tempoXdistanza notiamo esserci una significatività solo nel confronto tra T0 e T1 (**Tab.7**).

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

<b>Within level '50 m' of factor 'Distanza'</b>		
Groups	T	P(perm)
T0, T1	4,17	<b>0,002</b>
T1, T2	1,62	<b>0,03</b>
<b>Within level '500 m' of factor 'Distanza'</b>		
Groups	T	P(perm)
T0, T1	4,20	<b>0,003</b>
T1, T2	1,23	0,19
<b>Within level '2 km' of factor 'Distanza'</b>		
Groups	T	P(perm)
T0, T1	3,50	<b>0,002</b>
T1, T2	1,29	0,15

Successivamente è stata condotta la CAP (**Fig. 21**) rispetto al fattore tempoXdistanza, risultato significativo in base al main-test della PERMANOVA. Si può notare come le stazioni, vincolate per il fattore tempoXdistanza, 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 di distanza dalla

piattaforma. Questi ultimi sembrano essere più vicini tra loro e maggiormente dispersi.



**Figura 21** CAP per il fattore interazione tempo-distanza. I colori evidenziano i diversi tempi di campionamento e i numeri le distanze dalla piattaforma.

Per poter evidenziare i Taxa che caratterizzano maggiormente le comunità macrobentoniche rinvenute nelle diverse stazioni e per evidenziare quelle che sono le relative dissimilarità è stata condotta l'analisi SIMPER per il singolo fattore tempo sia per l'interazione tempoXdistanza.

Dall'analisi di similarità per il fattore Tempo si nota come le stazioni siano caratterizzate dalla costante presenza di Policheti, Tanaidacei e Bivalvi (Tab.8).

**Tabella 8.** Risultati di similarità dell'analisi SIMPER che mette in evidenza quali taxa rappresenta maggiormente la composizione di comunità nelle diverse stazioni al tempo T0, T1 e T2.

<b>Group T0</b>		<b>Average similarity: 75,69</b>		
<b>Taxon</b>	<b>Av.Abund</b>	<b>Av.Sim</b>	<b>Contrib%</b>	<b>Cum.%</b>
Tanaidacei	21,11	28,49	37,64	37,64
Bivalvi	9,90	15,94	21,05	58,69
Policheti	8,55	13,03	17,22	75,91
<b>Group T1</b>		<b>Average similarity: 77,09</b>		
Policheti	17,37	22,55	29,26	29,26
Altri Decapodi	13,33	17,46	22,65	51,91
Tanaidacei	14,78	16,92	21,95	73,86
<b>Group T2</b>		<b>Average similarity: 68,14</b>		
Policheti	20,47	26,96	39,56	39,56
Tanaidacei	11,57	13,55	19,88	59,45
Bivalvi	13,04	13,16	19,32	78,76

Dai risultati di similarità dell'analisi SIMPER eseguita considerando l'interazione tra i fattori Tempo e Distanza notiamo la costante presenza di Policheti e Bivalvi in tutte le stazioni nei diversi tempi, mentre per le stazioni poste a 500m e 2km si può notare maggiormente la presenza dei Tanaidacei.

Si è riscontrata invece la presenza di Decapodi solo nei tempi T1 di tutte le stazioni (**Tab. 9**).

**Tabella 9.** Risultati di similarità dell'analisi SIMPER che mette in evidenza quali taxa rappresentano maggiormente la composizione di comunità delle diverse stazioni considerando l'interazione dei fattori Tempo e Distanza.

<b>T050 m</b>				
<b>Average similarity: 79,29</b>				
Taxon	Av.Abund	Av.Sim	Contrib%	Cum.%
Tanaidacei	15,43	29,78	37,56	37,56
Bivalvi	9,18	18,91	23,85	61,40
<b>T0500 m</b>				
<b>Average similarity: 79,33</b>				
Tanaidacei	18,39	25,35	31,95	31,95
Oloturie	11,53	18,18	22,92	54,87
Policheti	8,86	14,02	17,67	72,54
<b>Average similarity:</b>				
<b>T02 km</b>				
<b>68,44</b>				
Tanaidacei	29,50	30,34	44,33	44,33
Bivalvi	10,25	15,83	23,12	67,45
<b>T1500 m</b>				
<b>Average similarity: 76,61</b>				
Policheti	17,56	21,51	28,08	28,08
Altri Decapodi	13,39	17,14	22,37	50,45
Tanaidacei	14,04	16,41	21,42	71,87
<b>T150 m</b>				
<b>Average similarity: 78,06</b>				
Policheti	18,52	23,87	30,58	30,58
Bivalvi	16,02	19,36	24,80	55,39
Altri Decapodi	14,08	17,40	22,29	77,67
<b>T12 km</b>				
<b>Average similarity: 76,58</b>				
Policheti	16,03	22,28	29,09	29,09
Tanaidacei	15,77	21,30	27,81	56,90
Altri Decapodi	12,51	17,84	23,30	80,20
<b>T250 m</b>				
<b>Average similarity: 73,01</b>				
Policheti	24,36	30,44	41,69	41,69
Bivalvi	16,66	15,38	21,06	62,75
<b>T2500 m</b>				
<b>Average similarity: 58,00</b>				
Policheti	16,84	25,24	43,52	43,52
Tanaidacei	12,85	12,87	22,19	65,71
<b>T22 km</b>				
<b>Average similarity: 73,41</b>				
Policheti	20,22	25,20	34,33	34,33

Tanaidacei	13,95	18,41	25,08	59,41
Bivalvi	13,59	15,60	21,26	80,67

---

Riguardo ai risultati di dissimilarità dell'analisi SIMPER eseguita tenendo conto del fattore Tempo risulta esserci una maggior differenza tra le percentuali di abbondanza nei tempi T0 e T1 dovuta principalmente alla presenza di Bivalvi, Tanaidacei, Decapodi, Policheti.

Mentre tra T1 e T2 le percentuali di abbondanza risultano essere piuttosto simili (**Tab. 10**).



**Tabella 10.** Risultati di dissimilarità dell'analisi SIMPER considerato il fattore Tempo.

<b>Groups T0 &amp; T1</b>		<b>Average dissimilarity = 38,67</b>		
	Group T0	Group T1		
<b>Taxon</b>	Av.Abund	Av.Abund	Contrib%	Cum.%
Altri Decapodi	3,58	13,33	21,24	21,24
Policheti	8,55	17,37	19,53	40,77
Tanaidacei	21,11	14,78	19,14	59,91
Bivalvi	9,90	11,72	11,19	71,10

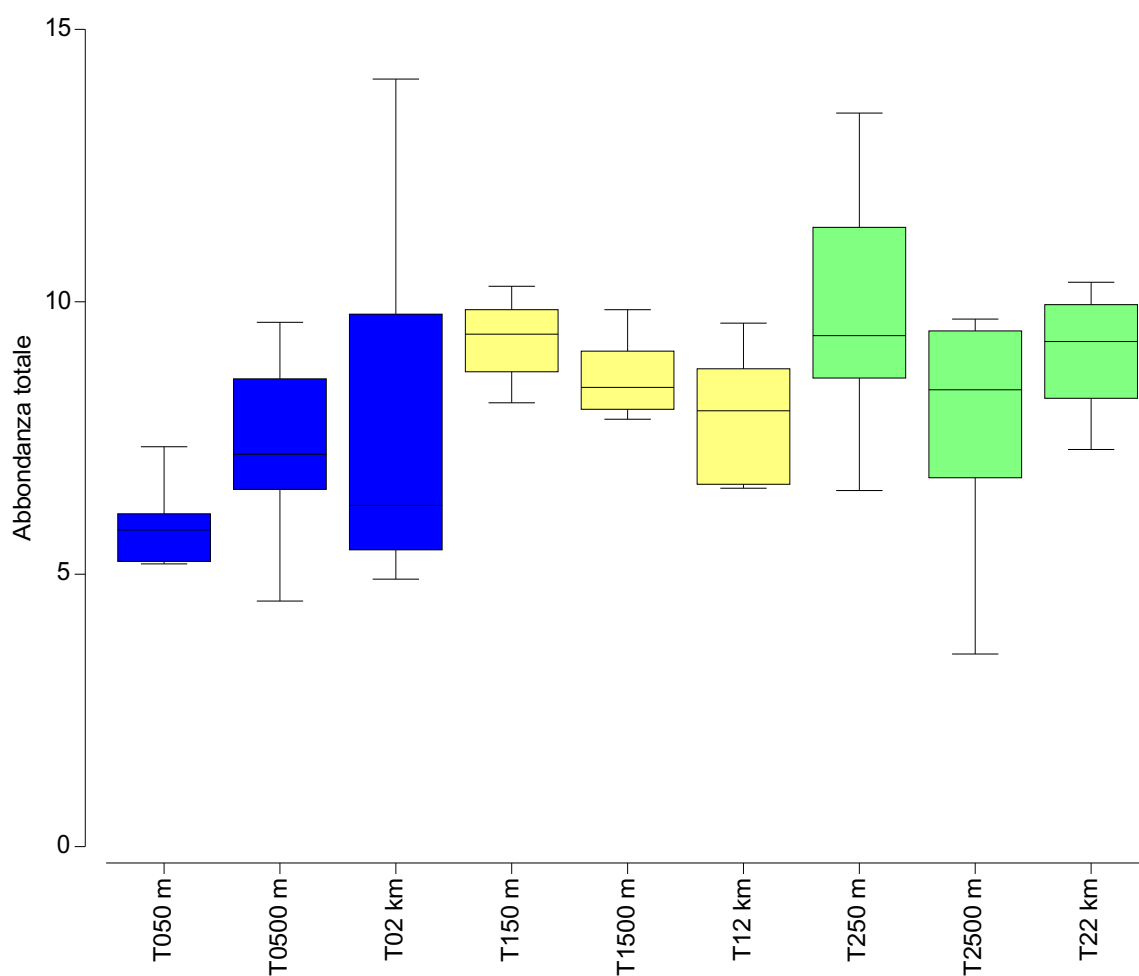
<b>Groups T1 &amp; T2</b>		<b>Average dissimilarity = 28,92</b>		
	Group T1	Group T2		
<b>Taxon</b>	Av.Abund	Av.Abund	Contrib%	Cum.%
Bivalvi	11,72	13,04	17,82	17,82
Tanaidacei	14,78	11,57	16,56	34,38
Altri Decapodi	13,33	8,72	15,14	49,53
Policheti	17,37	20,47	15,11	64,64

Per quanto riguarda i risultati SIMPER sulla dissimilarità dei principali Taxa riguardo l'interazione dei fattori Tempo e Distanza notiamo una percentuale di dissimilarità maggiore tra i tempi T0 e T1 e il taxon che contribuisce maggiormente è quello dei Tanaidacei e dei Policheti (**Tab. 11**).

**Tabella 11.** Risultati di dissimilarità dell'analisi SIMPER dei principali taxa per l'interazione dei fattori Tempo-Distanza.

<b>Groups T150 m &amp; T250 m</b>		<b>Average dissimilarity = 28,32</b>				
Taxon	Group T150 m Av.Abund	Group T250 m Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Bivalvi	16,02	16,66	5,23	1,58	18,47	18,47
Tanaidacei	14,52	7,92	5,13	1,17	18,12	36,59
Policheti	18,52	24,36	4,28	1,72	15,11	51,70
Altri Decapodi	14,08	9,45	3,72	1,41	13,13	64,83
<b>Groups T0500 m &amp; T1500 m</b>		<b>Average dissimilarity = 38,56</b>				
Taxon	Group T0500 m Av.Abund	Group T1500 m Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Altri Decapodi	3,29	13,39	8,08	2,78	20,96	20,96
Policheti	8,86	17,56	6,77	2,30	17,55	38,51
Oloturie	11,53	3,46	6,27	2,68	16,26	54,77
Tanaidacei	18,39	14,04	4,72	1,31	12,24	67,02
<b>Groups T050 m &amp; T150 m</b>		<b>Average dissimilarity = 38,90</b>				
Taxon	Group T050 m Av.Abund	Group T150 m Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Altri Decapodi	2,88	14,08	9,66	3,19	24,83	24,83
Policheti	9,07	18,52	8,19	2,50	21,06	45,89
Tanaidacei	15,43	14,52	6,00	1,91	15,43	61,32
<b>Groups T02 km &amp; T12 km</b>		<b>Average dissimilarity = 38,54</b>				
Taxon	Group T02 km Av.Abund	Group T12 km Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Tanaidacei	29,50	15,77	11,47	1,10	29,78	29,78
Policheti	7,71	16,03	7,70	1,46	19,98	49,75
Altri Decapodi	4,56	12,51	6,90	1,95	17,89	67,64

Dal grafico in **Fig. 22** si evidenzia come ci sia una chiara differenza tra l'abbondanza totale al tempo T0, rispetto a T1 e T2, in particolare i valori medi del T0 sono nettamente inferiori a quelli degli altri due tempi, i quali risultano essere piuttosto simili.



**Figura 22** Box Plot dell'abbondanza totale (valori trasformati in radice quadrata) delle stazioni poste a 50m, 500m e 2km dei tempi T0 (blu), T1 (giallo) e T2 (verde).

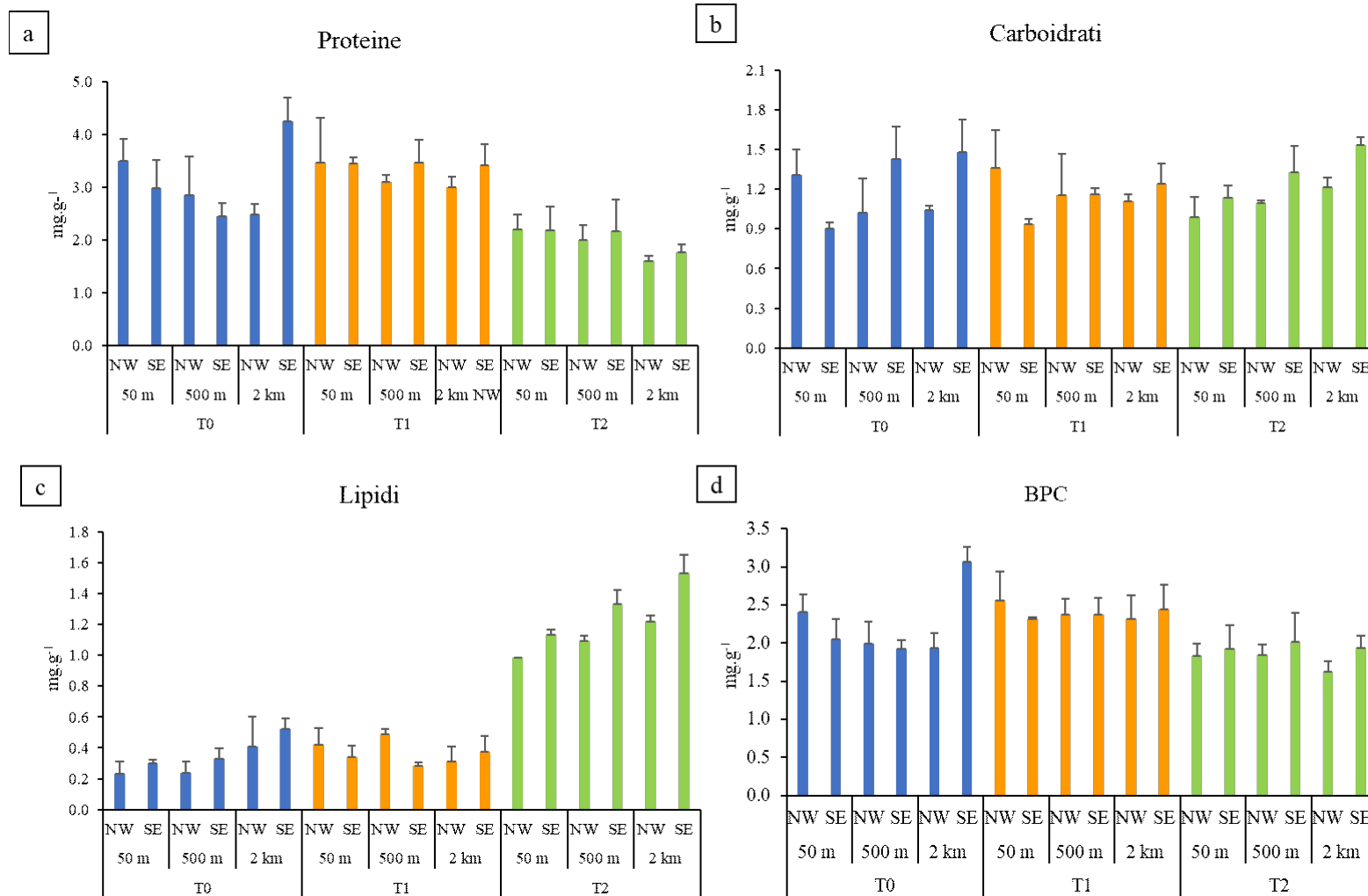
## **4.2 Risultati delle analisi condotte sulla composizione biochimica della materia organica contenuta nei sedimenti**

Innanzitutto, per avere un quadro completo sulle analisi in questione, vengono descritti di seguito i risultati relativi alla composizione biochimica della materia organica del sedimento: concentrazione di proteine, carboidrati e lipidi (**Fig. 23**), concentrazione di Carbonio Biopolimerico, concentrazione della clorofilla-a, di feopigmenti e fitopigmenti totali (**Fig. 24**).

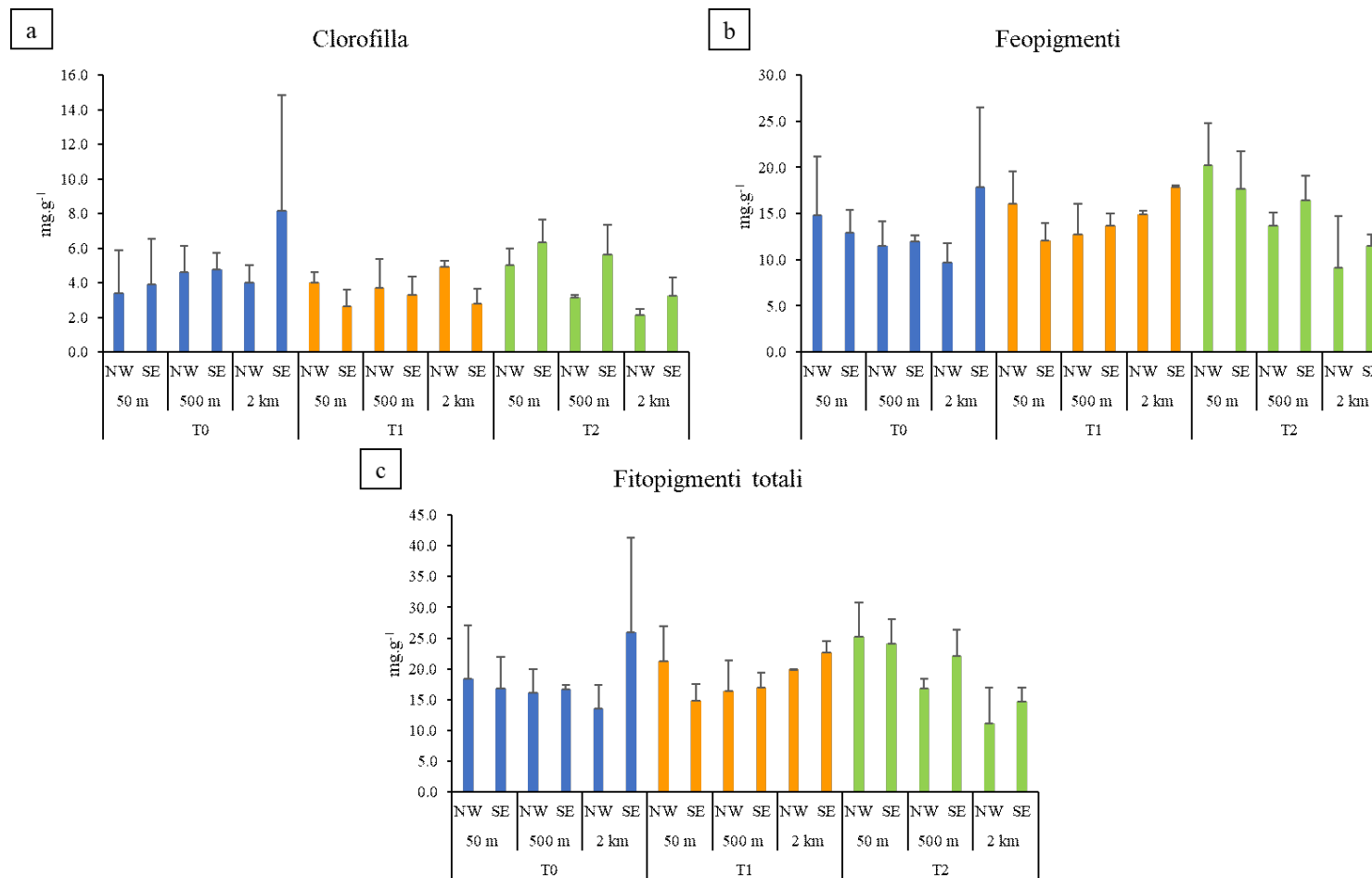
Le concentrazioni di carboidrati e di BPC totale sembrano essere abbastanza omogenee tra le diverse stazioni nei diversi tempi e tra i diversi tempi di campionamento, mentre i valori delle concentrazioni di Proteine al T2 risultano essere inferiori rispetto a quelle riscontrate al T0 e T1.

Nei lipidi invece, si evidenzia una forte differenza tra i campioni prelevati ai tempi T0 e T1 rispetto a quelli prelevati al T2, in cui la componente lipidica sembra essere più elevata.

Mentre riguardo agli altri parametri ambientali: clorofilla, feopigmenti e feopigmenti totali, le concentrazioni sono piuttosto omogenee, tranne per la stazione posta a 2km SE al tempo T0 in cui si evidenzia una concentrazione della clorofilla molto più elevata rispetto alle altre.



**Figura 23** Grafici relativi alla composizione biochimica del sedimento: concentrazione di Proteine (a), Carboidrati(b), Lipidi(c), BPC (d) (mg g<sup>-1</sup>). I colori evidenziano i diversi tempi di campionamento (blu=T0, giallo=T1 e verde=T2), e i numeri le distanze dalla piattaforma.



**Figura 24** Grafici relativi alla composizione biochimica del sedimento: concentrazione clorofilla (a), Feopigmenti (b) e Fitopigmenti totali (c) ( $\mu\text{g/g}$ ). I colori evidenziano i diversi tempi di campionamento (blu=T0, giallo=T1 e verde=T2), e i numeri le distanze dalla piattaforma.

Secondo i risultati del modello DISTLM (**Tab. 12**), che identifica le variabili ambientali (qualità e composizione della materia organica nei sedimenti) responsabili delle differenze nei campioni della macrofauna analizzati, le variabili che spiegano significativamente le differenze nella composizione della macrofauna dei campioni raccolti al tempo T0 sono la concentrazione di Proteine e Lipidi. Le due variabili spiegano insieme circa il 28% della varianza del sistema.

**Tabella 12.** Risultati del Marginal e Sequential test e best solution del modello al T0. PRT= proteine, CHO= carboidrati, LIP=lipidi, PigmTOT= pigmenti totali (clorofilla e feopigmenti).

<b>MARGINAL TESTS</b>							
Variable	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.			
PRT	1069,6	2,76	0,05	0,14			
CHO	381,79	0,88	0,44	0,05			
LIP	747,17	1,83	0,14	0,10			
PigmTOT	761,07	1,87	0,13	0,10			
res.df: 16							
<b>SEQUENTIAL TESTS</b>							
Variable	AIC	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.	res.df
PRT (mg/g)	109,16	1069,6	2,76	<b>0,04</b>	0,15	0,15	16
LIP (mg/g)	107,96	1008,6	2,91	<b>0,05</b>	0,14	0,28	15
<b>BEST SOLUTION</b>							
AIC	R <sup>2</sup>	RSS	No.Vars	Selections			
107,96	0,28584	5192,3	2	1;3			

Analizzando invece il campionamento effettuato al T1 l'unica variabile ambientale che spiega una differenza al livello di composizione della

macrofauna è la concentrazione dei lipidi, mentre al T2 sono le proteine e i pigmenti totali (**Tab. 13 e 14**).

**Tabella 13.** Risultati del Marginal e Sequential test e best solution del modello al T1. PRT= proteine, CHO= carboidrati, LIP=lipidi, PigmTOT= pigmenti totali (clorofilla e feopigmenti).

<b>MARGINAL TESTS</b>							
Variable	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.			
PRT (mg/g)	214,85	0,70	0,65	0,04			
CHO (mg/g)	222,97	0,72	0,61	0,04			
LIP (mg/g)	288,21	0,95	0,46	0,05			
PigmTOT µg/g	77,27	0,24	0,92	0,01			
<b>SEQUENTIAL TESTS</b>							
Variable	AIC	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.	res.df
+LIP (mg/g)	104,65	288,21	0,95	0,46	0,06	0,06	16
<b>BEST SOLUTION</b>							
AIC	R <sup>2</sup>	RSS	No.Vars	Selections			
104,65	0,05	4826,5		1; 3			



**Tabella 14.** Risultati del Marginal e Sequential test e best solution del modello al T2. PRT= proteine, CHO= carboidrati, LIP=lipidi, PigmTOT= pigmenti totali (clorofilla e feopigmenti).

<b>MARGINAL TESTS</b>				
Variable	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.
PRT	850,4	14,01	0,22	0,08
CHO	257,84	0,4	0,85	0,02
LIP	57.086	0,08	0,98	0,005
PigmTOT	594,2	0,95	0,44	<b>0,05</b>

<b>SEQUENTIAL TESTS</b>							
Variable	AIC	SS(trace)	Pseudo-F	P	Prop.	Cumul.	res.df
PRT	117,23	850,4	14,01	0,23	0,08	0,08	16
PigmTOT	117,04	1108,3	19.33	0,10	0,10	0,18	15

<b>BEST SOLUTION</b>				
AIC	R <sup>2</sup>	RSS	No.Vars	Selections
117,04	0,18	8599,2	2	1;7

## 5. DISCUSSIONE

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 (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).

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, possono apparire più simili a quelli dell'area circostante non interessata dall'impatto (Grant e Briggs, 2002).

Grazie al progetto PON Place sono state testate 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, lo studio di questa tesi si è concentrato sulla risposta delle comunità macrobentoniche alle attività di conversione di Piattaforme Off-Shore per usi multipli eco-sostenibili, quali un impianto di acquacoltura multitrofica integrata, strutture elettrificate, sensori per il monitoraggio

ambientale, e un impianto di produzione di energia dalle onde, poste attorno alla piattaforma Viviana, al largo delle coste abruzzesi. In particolare, la tecnologia sottesa alle strutture elettrificate, volte a favorire l'accrescimento minerale, è basata sulla capacità di precipitazione e deposizione dei minerali disciolti in acqua marina sulle superfici metalliche inserite in un processo di elettrolisi, che potrebbe dunque alterare la qualità della materia organica dei sedimenti e quindi le comunità che in essi vivono. Alla stessa maniera l'impianto di acquacoltura multitrofica integrata, generando prodotti di escrezione potrebbe aumentare il carico organico nei sedimenti.

I risultati della presente tesi mostrano come l'abbondanza totale della macrofauna confrontata nei tre campionamenti (T0, T1 e T2) risulti essere in media più elevata al T1 e T2, tranne per il picco insolito della stazione posta a 2 km NW (T0) che si trova lontano da qualsiasi altra piattaforma. Al contrario, la stazione posta a 2 km di distanza ma lungo il transetto in direzione SE si trova in prossimità di un'altra piattaforma, Fratello Nord. Tale stazione però, non presenta valori di abbondanza elevati, come ci si aspetterebbe, bensì raggiunge i livelli più bassi.

In particolare, nelle aree più vicine alla piattaforma (50 m) nei tempi T1 e T2 l'abbondanza totale è maggiore rispetto alle stazioni a 500 m e 2 km dalla piattaforma e ciò potrebbe essere correlato al fatto che per l'installazione di

queste strutture vi è stata una movimentazione del sedimento, e anche la presenza fisica delle strutture stesse potrebbe aver contribuito ad attirare altri organismi.

Per l'analisi riguardante la ricchezza dei taxa possiamo fare riferimento alla 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 (se il numero di taxa  $< 4$ ), moderatamente impattati (numero di taxa = 4 - 7), sufficiente (numero di taxa = 8 - 11), buona (numero di taxa = 12 - 16) ed eccellente qualità ambientale (numero di taxa  $> 16$ ).

Confrontando i dati ottenuti dai tre distinti campionamenti (T0, T1 e T2) possiamo notare che il numero maggiore di taxa viene riscontrato al T1 e T2.

In particolare, al T1 il valore massimo di taxa raggiunto è pari a 10 mentre al T0 è di 8 taxa, ciò sta ad indicare una qualità ambientale sufficiente.

Considerando invece il valore minimo di taxa raggiunto nei 3 tempi, al tempo T0 sono presenti solo 6 taxa, che secondo la classificazione precedentemente riportata, indica un'area moderatamente impattata.

È interessante il confronto al livello della struttura di comunità in cui si evidenzia una netta differenza tra i campionamenti al T0, in cui c'è una forte

prevalenza del tanaidaceo *Apseudes spinosus* rispetto a tutti gli altri taxa, ed i campionamenti al T1 e T2, in cui la situazione risulta essere più omogenea. Il genere *Apseudes* è considerato sensibile ad impatti quali contaminazione da metalli o da eccessivo carico organico (Ward e Hutchings, 1996; de-la-Ossa-Carretero et al., 2010). L'aumento di sedimento in sospensione dopo la deposizione delle strutture potrebbe essere la causa della diminuzione della specie *A. spinosus* a T1 e T2. Nei campionamenti T1 e T2 si nota una prevalenza di Policheti, gruppo in cui dominano specie capaci di proliferare in condizioni di ipossia e presenza di inquinanti nei sedimenti come i Capitellidi e a alcuni Lumbrineridi (Bellan et al., 1988).

Tra i bivalvi, *Varicorbula gibba* è la specie che è stata generalmente più abbondante sia nei diversi tempi (T0, T1 e T2), sia considerando le stazioni a diversa distanza dalla piattaforma (50m, 500m, 2km), solo al T2 viene riscontrata con una frequenza minore. Si tratta di una specie a strategia r caratteristica di fondali fangosi ipossici (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). La sua abbondanza è correlata a zone caratterizzate da instabilità ambientale (Bellan et al., 1975).

Pertanto, l'elevata abbondanza dell'indicatore *Varicorbula gibba* osservata all'interno di tutti i campioni, è una conferma del fatto che ci sia un disturbo

continuo al livello del sedimento dato probabilmente sia dal rimescolamento del sedimento, ma anche dalla presenza di pescherecci in quell'area. Il fatto che si noti una leggera diminuzione dell'abbondanza al T2 può significare che la presenza delle strutture abbia agito da deterrente per la pesca a strascico e che vi sia, dopo la movimentazione dei sedimenti per la deposizione, un lento recupero della comunità macrobentonica verso un miglior stato ecologico.

Dalle analisi statistiche, svolte sulla struttura della comunità della macrofauna, si denota un'elevata significatività per il fattore tempo. Il grafico nMDS mostra una chiara separazione tra i campioni raccolti durante il campionamento T0, effettuato prima del posizionamento delle strutture elettrificate e delle gabbie per l'allevamento integrato, e quelli effettuati successivamente (T1 e T2). I campioni del T2 risultano maggiormente dispersi tra loro e tendono ad avvicinarsi a quelli del T0, suggerendo che il macrozoobenthos stia tornando verso la situazione iniziale.

Per quanto riguarda le analisi sulle variabili ambientali della materia organica, alcuni studi effettuati in prossimità di piattaforme offshore indicano che la quantità di MO è maggiore nelle immediate vicinanze della struttura, diminuendo progressivamente all'allontanarsi da essa (Punzo et al., 2016).

Poiché la composizione biochimica di BPC riflette la disponibilità di cibo per gli organismi bentonici, i risultati suggeriscono che l'arricchimento delle comunità macrozoobentoniche attorno a queste strutture, in particolare nei campioni situati a 50m dalla piattaforma in particolare al T0 e al T1, potrebbero essere la conseguenza di un aumento della qualità nutrizionale delle risorse.

Si nota una certa variabilità dei campioni, data dalla disponibilità di carbonio Biopolimerico, concentrazione di proteine, di carboidrati e lipidi. Le interazioni tra la meio- e macrofauna 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 i valori della concentrazione di proteine e lipidi, non siano omogenei come BPC e carboidrati; infatti, c'è una chiara differenza di concentrazione delle proteine nel campionamento al T2, che risulta essere minore rispetto al T0 e T1, in cui notiamo che la concentrazione delle proteine stesse resta piuttosto invariata anche rispetto alla distanza dalla piattaforma. Il fatto che al T2 ci sia una concentrazione proteica

inferiore sta ad indicare il fatto che ci sia una qualità della materia organica inferiore.

Per i lipidi invece riscontriamo una concentrazione piuttosto bassa nei campionamenti effettuati al T0 e T1. Al contrario per i campioni prelevati al T2 la concentrazione dei lipidi aumenta notevolmente.

Sarà quindi utile in futuro effettuare ulteriori analisi prendendo in considerazione altre variabili ambientali, come le correnti, 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.



## 6. CONCLUSIONI

In conclusione, i risultati della presente tesi hanno evidenziato come le attività di movimentazione del sedimento dovute alla deposizione delle strutture associate al progetto PON Place, abbiano influenzato prevalentemente le comunità macrobentoniche più prossime alla piattaforma (50 m) e nel tempo T1, tre mesi dopo le operazioni di installazione. La comunità sembra mostrare segni di recupero già al tempo T2, ovvero a circa 6 mesi dalle operazioni di movimentazione.

I nostri risultati sembrano suggerire che laddove si riscontri una situazione di disturbo nell'area, soprattutto nelle stazioni situate a 500m e 2km dalla piattaforma, questa potrebbe essere correlata alla presenza di fattori esterni alle strutture installate (quali pesca, correnti).

Tale studio supporta l'idea che la scelta di decommissioning della piattaforma debba essere caso-specifica e che gli utilizzi alternativi qui testati non rappresentino una problematica per le comunità bentoniche circostanti. Inoltre, si ipotizza che sia preferibile, in casi simili a quello testato nel progetto, di non procedere con tecniche di rimozione che possono avere conseguenze impattanti sulle comunità circostanti. 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.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Anderson, J., & Gates, P. (1996). South Pacific Commission fish aggregating device (FAD) manual. *Volume I: Planning FAD programmes, South Pacific Commission, Noumea, New Caledonia.*
- Bligh E.G. & Dyer W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8): 911– 7.
- Castelli, A., Lardicci, C., & Tagliapietra, D. (2003). Il macrobenthos di fondo molle. *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Biologia Marina Mediterranea*, 10, 109-144.
- Claisse, J. T., Pondella, D. J., Love, M., Zahn, L. A., Williams, C. M., & Bull, A. S. (2015). Impacts from partial removal of decommissioned oil and gas platforms on fish biomass and production on the remaining platform structure and surrounding shell mounds. *PloS one*, 10(9), e0135812.
- Danovaro R. & Fabiano M. (1990) Batteri, pigmenti clorofilliani, lipidi, protidi e carboidrati nel sedimento. *Rapporti Tecnici Istituto Science Ambientali Marine*, 32, Università di Genova, pp. 1-15
- Danovaro, R. (2009). *Methods for the study of deep-sea sediments, their functioning and biodiversity.* CRC press.
- de-la-Ossa-Carretero JA, Del-Pilar-Ruso Y, Giménez-Casalduero F, Sánchez-Lizaso JL. Sensitivity of tanaid *Apeudes latreillei* (Milne-Edwards) populations to sewage pollution. *Mar Environ Res.* 2010 Jun;69(5):309-17. doi: 10.1016/j.marenvres.2009.12.005. Epub 2009 Dec 21. PMID: 20074793.
- de-la-Ossa-Carretero, J. A., Del-Pilar-Ruso, Y., Gimenez-Casalduero, F., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2010). Sensitivity of tanaid *Apeudes latreillei* (Milne-Edwards) populations to sewage pollution. *Marine Environmental Research*, 69(5), 309-317.
- E. Punzo, S. Bianchelli, A. Pusceddu, V. Salvalaggio, A. Santelli, P. Strafella

- Gerchakov S.M. & Hatcher P.G. (1972). Improved technique for analysis of carbohydrates in sediments. *Limnology and Oceanography*, 17(6): 938–943.
- Hartree E.F. (1972). Determination of protein: A modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Analytical Biochemistry*, 48(2): 422–427.
- Henrion, M., Bernstein, B., & Swamy, S. (2015). A multi-attribute decision analysis for decommissioning offshore oil and gas platforms. *Integrated environmental assessment and management*, 11(4), 594-609.
- Lorentzen C.J. & Jeffrey S.W. (1980). Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equation. *Limnology and Oceanography*, 12: 343–346.
- Love, M. S., Schroeder, D. M., Lenarz, W., MacCall, A., Bull, A. S., & Thorsteinson, L. (2006). Potential use of offshore marine structures in rebuilding an overfished rockfish species, bocaccio (*Sebastes paucispinis*).
- Macreadie, P. I., Fowler, A. M., & Booth, D. J. (2011). Rigs-to-reefs: will the deep sea benefit from artificial habitat?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(8), 455-461.
- Manoukian, S., Spagnolo, A., Scarcella, G., Punzo, E., Angelini, R., & Fabi, G. (2010). Effects of two offshore gas platforms on soft-bottom benthic communities (northwestern Adriatic Sea, Italy). *Marine Environmental Research*, 70(5), 402-410.
- Plante-Cuny, M. R. (1974). Evaluation par spectrophotométrie des teneurs en chlorophylle a fonctionnelle et en phéopigments des substrats meubles marins. *ORSTOM Nosy-Bé*.
- Ponti, M., Abbiati, M., & Ceccherelli, V. U. (2002). Drilling platforms as artificial reefs: distribution of macrobenthic assemblages of the “Paguro” wreck (northern Adriatic Sea). *ICES Journal of Marine Science*, 59(suppl), S316-S323.
- Punzo, E., Bianchelli, S., Pusceddu, A., Salvalaggio, V., Santelli, A., Strafella, P., & Fabi, G. (2017). Quantity and biochemical

composition of sedimentary organic matter around offshore gas extraction platforms of the Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 33(1), 61-75.

- Punzo, E., Strafella, P., Scarcella, G., Spagnolo, A., De Biasi, A. M., & Fabi, G. (2015). Trophic structure of polychaetes around an offshore gas platform. *Marine pollution bulletin*, 99(1-2), 119-125.
- Rossaro, B., Lencioni, V., & Marziali, L. (2005). L'importanza della tassonomia nel monitoraggio biologico.
- Schroeder, D. M., & Love, M. S. (2004). Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight. *Ocean & Coastal Management*, 47(1-2), 21-48.
- Sommer, B., Fowler, A. M., Macreadie, P. I., Palandro, D. A., Aziz, A. C., & Booth, D. J. (2019). Decommissioning of offshore oil and gas structures—Environmental opportunities and challenges. *Science of the total environment*, 658, 973-981.
- Spagnolo, A., Cuicchi, C., De Biasi, A. M., Ferrà, C., Montagnini, L., Punzo, E., ... & Fabi, G. (2019). Effects of the installation of offshore pipelines on macrozoobenthic communities (northern and central Adriatic Sea). *Marine pollution bulletin*, 138, 534-544.
- Spagnolo, A., Punzo, E., Santelli, A., Scarcella, G., Strafella, P., Grati, F., & Fabi, G. (2014). Offshore platforms: comparison of five benthic indicators for assessing the macrozoobenthic stress levels. *Marine pollution bulletin*, 82(1-2), 55-65.
- Studio strategico sul probabile significativo impatto sull'ambiente del piano e programma quadro di ricerca e produzione degli idrocarburi nell'Adriatico” Ires ekologija 2015
- Trabucco, B., Maggi, C., Manfra, L., Nonnis, O., Di Mento, R., Mannozi, M., ... & Gabellini, M. (2012). *Monitoring of impacts of offshore platforms in the Adriatic Sea (Italy)*. IntechOpen.
- Ward, T. J., & Hutchings, P. A. (1996). Effects of trace metals on infaunal species composition in polluted intertidal and subtidal marine sediments near a lead smelter, Spencer Gulf, South Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 135, 123-135.

