

CONTRATTO DI RICERCA
Società Ischia Gas s.r.l. - Stazione Zoologica A. Dohrn



Relazione tecnico-scientifica attività 2016

CARATTERISTICHE CHIMICHE E FISICHE DEI SEDIMENTI MARINI IN QUATTRO SITI UBICATI LUNGO IL PERCORSO DI POSA DEL GASDOTTO NAPOLI-ISCHIA E CARATTERIZZAZIONE DELLE COMUNITA' BENTONICHE IVI PRESENTI

RICOLONIZZAZIONE SPONTANEA DI *Posidonia oceanica* DELLA TRACCIA DI ESCAVO DI PUNTA S. PIETRO: MONITORAGGIO DEL RICOPRIMENTO DEL CANALE DI ATTRAVERSAMENTO DELLA PRATERIA



Aprile 2016

Gruppo di lavoro:

Stazione Zoologica Anton Dohrn:

Ing. Francesca Margiotta (Responsabile scientifico del progetto)

Dott.ssa Maria Cristina Buia (Responsabile monitoraggio *Posidonia oceanica*)

Sig. Marco Cannavacciuolo

Dott. Daniele Grech

Dott.ssa Rosanna Guglielmo

Sig. Bruno Iacono

Dott. Maurizio Lorenti

Dott. Augusto Passarelli

Sig. Vincenzo Rando

Dott.ssa Anna Santin

Dott.ssa Maria Saggiomo

Sig. Gianluca Zazo

PARTE I - CARATTERISTICHE CHIMICHE E FISICHE DEI SEDIMENTI MARINI IN QUATTRO SITI UBICATI LUNGO IL PERCORSO DI POSA DEL GASDOTTO NAPOLI-ISCHIA E CARATTERIZZAZIONE DELLE COMUNITA' BENTONICHE IVI PRESENTI	1
1. PIANO DI CAMPIONAMENTO	2
2. METODOLOGIE ANALITICHE	3
2.1 Caratterizzazione fisica e chimica dei sedimenti	3
2.2 Biocenosi bentoniche.....	10
3. RISULTATI	12
3.1 Caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti	12
3.1.2 Caratteristiche chimiche	14
4. BIBLIOGRAFIA	23
5. APPENDICE	24
PARTE II - RICOLONIZZAZIONE SPONTANEA DI <i>Posidonia oceanica</i> DELLA TRACCIA ESCAVO DI PUNTA S. PIETRO: MONITORAGGIO DEL RICOPRIMENTO DEL CANALE DI ATTRAVERSAMENTO DELLA PRATERIA	28
1. CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO MONITORATO	29
2. CONSIDERAZIONI GENERALI	30
3. COLONIZZAZIONE DI POSIDONIA SUL TRACCIATO	37
RACCOMANDAZIONI	44



**PARTE I - CARATTERISTICHE CHIMICHE E FISICHE DEI SEDIMENTI MARINI IN QUATTRO SITI
UBICATI LUNGO IL PERCORSO DI POSA DEL GASDOTTO NAPOLI-ISCHIA E CARATTERIZZAZIONE
DELLE COMUNITA' BENTONICHE IVI PRESENTI**

1. PIANO DI CAMPIONAMENTO

Le caratteristiche chimico - fisiche dei sedimenti superficiali e la composizione faunistica della comunità bentonica sono state analizzate in quattro punti significativi, disposti lungo l'intero percorso della condotta (Figura 1). Più nel dettaglio, le stazioni B1 e B2 sono state posizionate nelle vicinanze del Porto di Ischia alle profondità di 4m e 67m rispettivamente; B3 al centro del tratto Ischia-Fusaro alla profondità di 61m e B4 immediatamente fuori la Laguna del Fusaro, a 12m di profondità. I campionamenti sono stati effettuati il giorno 15/12/2016, così come riportato in Tabella I.

Tabella I - Coordinate e profondità delle stazioni di campionamento.

Stazione	Data campionamento	Latitudine	Longitudine	Profondità (m)
B1	15/12/2016	40° 44.810'N	13° 56.730'E	4.0
B2	15/12/2016	40° 45.350'N	13° 57.190'E	67.5
B3	15/12/2016	40° 47.120'N	13° 59.139'E	61.5
B4	15/12/2016	40° 49.280'N	14° 02.140'E	11.5



Figura 1 - Ubicazione geografica delle stazioni di campionamento.



I campionamenti dei sedimenti superficiali sono stati effettuati con una benna *Van Veen* che consente di associare maneggevolezza ad una adeguata penetrazione del substrato. La benna è stata accuratamente lavata ogni volta prima dell'uso e una volta giunto in superficie, il campione di sedimento è stato rapidamente recuperato per evitare sollecitazioni e relative perdite che ne potessero alterare il contenuto.

2. METODOLOGIE ANALITICHE

2.1 Caratterizzazione fisica e chimica dei sedimenti

Sui campioni sottoposti ad analisi, sono state eseguite le caratterizzazioni fisiche e chimiche standard previste dalla normativa di riferimento. Si riportano a seguito i metodi delle analisi effettuate e le tecniche di controllo qualità del dato fornito.

2.1.1 Parametri oggetto d'indagine

Si riportano in sintesi i parametri misurati per la caratterizzazione fisica e chimica dei campioni di sedimento.

Le analisi dei parametri elencati di seguito sono state eseguite su quattro campioni di sedimento.

Parametri fisici

- Granulometria (passo da 1 phi);
- Umidità;
- Peso Specifico;
- Colore (Munsell)

Parametri chimici

- Carbonio Organico Totale (TOC);
- Azoto Totale (TN);
- Fosforo Totale (TP);
- Elementi in traccia (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn);
- Idrocarburi lineari alifatici C>12;
- Idrocarburi lineari alifatici C<12;
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (18 IPA ritenuti di interesse prioritario da US-EPA e loro sommatoria);
- Pesticidi Aldrin, Dieldrin, Endrin, (α -HCH, β -HCH, γ -HCH (lindano), DDTs, DDDs, DDEs (singoli congeneri), cis- e trans-clordano, Eptacloro epossido;
- Esaclorobenzene (HCB);



- Policlorobifenili (PCB, congeneri singoli e loro sommatoria).

2.1.2 Metodi di analisi ed incertezza associata

Si riepilogano in Tabella II e Tabella III le procedure analitiche di laboratorio, le unità di misura di espressione dei risultati ed il limite di quantificazione (LOQ) relative rispettivamente alle determinazioni fisiche ed alle determinazioni chimiche condotte sul sedimento.

Tabella II - Parametri fisici del sedimento. Metodologie adottate, unità di misura e LOQ.

Parametro	Metodo	LOQ	Unità di misura
Analisi granulometrica	Manuale ICRAM 2001 Scheda S3	0,1	%
Umidità	DM 13/09/1999 Metodo II.2	0,1	%
Peso Specifico	ASTM D854-02.B	0,1	kN/m ³
Colore	Munsell Soil Color Charts	NA	Scala Munsell

Tabella III - Parametri chimici del sedimento. Metodologie adottate, unità di misura e LOQ.

Parametro	Metodo	LOQ	Unità di misura
Carbonio organico totale (TOC)	UNI EN 13137:2002	0,1	%
Azoto Totale (TN)	DM 13/09/99 Metodo XIV.3	10	mg/kg p.s.
Fosforo totale (TP)	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014	10	mg/kg p.s.
Metalli e metalloidi			
Alluminio (Al)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,75	mg/kg p.s.
Cromo totale (Cr)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,32	mg/kg p.s.
Nichel (Ni)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,02	mg/kg p.s.
Rame (Cu)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,03	mg/kg p.s.
Zinco (Zn)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,47	mg/kg p.s.
Arsenico (As)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,13	mg/kg p.s.
Cadmio (Cd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,02	mg/kg p.s.
Mercurio (Hg)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,02	mg/kg p.s.
Piombo (Pb)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	0,01	mg/kg p.s.
Idrocarburi lineari alifatici			
Idrocarburi C>12	EPA 3550C 2007 + EPA 8015D 2003	1,5	mg/kg p.s.
Idrocarburi C<12	EPA 5021A 2014 + EPA 8015D 2003	0,5	mg/kg p.s.
Idrocarburi policiclici aromatici			
Acenaftene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Naftalene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Fluorene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Fenantrene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Antracene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Fluorantene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Pirene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (a) antracene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Crisene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (b) fluorantene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (k) fluorantene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (j) fluorantene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (a) pirene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (e) pirene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Dibenzo (a, h) antracene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Benzo (g, h, i) perilene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.



Acenaftilene	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007	1	µg/kg s.s.
Sommatoria IPA	Sommatoria IPA (calcolata)	1	µg/kg s.s.
Pesticidi			
Aldrin	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
Dieldrin	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
Endrin	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
alfa-HCH	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
beta-HCH	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
gamma-HCH (Lindano)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
o,p'-DDD	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
p,p'-DDD	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
o,p'-DDE	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
p,p'-DDE	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
o,p'-DDT	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
p,p'-DDT	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
Esaclorobenzene (HCB)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,1	µg/kg s.s.
Eptacloro di epossido	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
cis-Clordano	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
trans-Clordano	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,5	µg/kg s.s.
Congeneri PCB			
2,4,4'-Triclorobifenile (PCB28)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,2',5,5'-Tetraclorobifenile (PCB52)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
3,3',4,4'-Tetraclorobifenile (PCB77)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
3,4,4',5-Tetraclorobifenile (PCB81)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,2',4,5,5'-Pentaclorobifenile (PCB101)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,3',4,4',5-Pentaclorobifenile (PCB118)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
3,3',4,4',5-Pentaclorobifenile (PCB126)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,2',3,3',4,4'-Esaclorobifenile (PCB128)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,2',3,4,4',5'-Esaclorobifenile (PCB138)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,2',4,4',5,5'-Esaclorobifenile (PCB153)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,3,3',4,4',5-Esaclorobifenile (PCB156)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
3,3',4,4',5,5'-Esaclorobifenile (PCB169)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
2,2',3,4,4',5,5'-Eptaclorobifenile (PCB180)	EPA 3545A 2007 + EPA 8270D 2007 MS/MS	0,01	µg/kg s.s.
PCB totali	Sommatoria PCB (calcolata)	0,1	µg/kg s.s.

2.1.3 Descrizione dei metodi di analisi adottati

Caratterizzazione fisica del sedimento

Determinazione del colore. La determinazione del colore è stata effettuata mediante l'impiego delle tavole di Munsell secondo il metodo *Munsell Soil Color Charts*. Il metodo prevede il confronto diretto del provino di campione essiccato ed omogeneizzato con la rispettiva tavola. A titolo esemplificativo si riporta in Figura 2 una delle schede realizzate per la classificazione colorimetrica del campione secondo Munsell con il relativo criterio di interpretazione del risultato.

Determinazione del peso specifico. Il metodo adottato per la determinazione del peso specifico è ASTM D854-02.B "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer" e prevede appunto, l'utilizzo di un picnometro e di una bilancia analitica. Il risultato analitico è stato espresso in kN/m^3 .



Determinazione dell'umidità. Il parametro è stato quantificato secondo il metodo II.22 "Determinazione gravimetrica del contenuto di umidità" riportato nel DM 13/09/1999. L'umidità residua è calcolata come differenza tra la massa di un campione di terra fine e la massa dello stesso campione dopo essiccamento a 105°C fino a massa costante. Il risultato analitico è stato espresso in % di acqua rispetto al peso totale di campione fresco.

Determinazione granulometrica. L'analisi granulometrica è stata condotta secondo le classi granulometriche indicate dal manuale ICRAM "Metodologie analitiche di riferimento" (2001) di seguito elencate: ghiaia (> 2 mm), sabbia ($2 \text{ mm} > x > 0,063$ mm), *silt* ($0,063 \text{ mm} > x > 0,004$ mm), argilla ($< 0,004$ mm), pelite (somma di *silt*+argilla).

In sintesi il procedimento prevede le seguenti fasi:

- Essiccazione: il campione tal quale è stato essiccato una prima volta in stufa alla temperatura di 105°C fino a peso costante.
- Trattamento con perossido di idrogeno: il campione secco, del peso di almeno 100 grammi, è stato immerso in una soluzione di perossido di idrogeno e acqua distillata per 48 ore per facilitare la disgregazione dei granuli.
- Setacciatura per via umida: al termine delle 48 ore, la separazione di sabbia e ghiaia dalla pelite è avvenuta per via umida filtrando il campione su setaccio con maglia da 0,063 mm e mantenendo la frazione pelitica passante. La frazione sabbiosa (e ghiaiosa) trattenuta è stata raccolta, essiccata e successivamente pesata.
- Setacciatura a secco: le frazioni $> 0,063$ mm sono state separate a secco mediante setacci ASTM con passo da 1 phi;
- Analisi della componente pelitica: la frazione pelitica raccolta, previa agitazione per ottenere un subcampione significativo e di idonea quantità, è stata successivamente separata nelle sue componenti *silt* ed argilla.

Caratterizzazione macronutrienti

Determinazione del Carbonio organico totale (TOC). Il carbonio organico è stato determinato mediante il metodo UNI EN 13137:2002 "Determinazione del carbonio organico totale (TOC) in rifiuti, fanghi e sedimenti". In questo metodo il TOC è rappresentato dalla quantità di carbonio convertita in diossido di carbonio mediante combustione e che non è liberata come diossido di carbonio dal trattamento acido.

Determinazione dell'azoto Totale (TN). L'Azoto totale è stato determinato secondo il metodo DM



13/09/99 Metodo XIV.3 “Determinazione dell’azoto totale per distillazione secondo *Kjeldahl*”. Secondo questo metodo, azoto ammoniacale viene distillato in ambiente alcalino e assorbito in soluzione a titolo noto di acido solforico. L'eccesso di acido solforico viene titolato con soluzione a titolo noto di sodio idrossido.

Determinazione del fosforo Totale (TP). Il fosforo totale è stato determinato secondo i metodi EPA 3051A 2007 “*Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*” e EPA 6010D 2014 “*inductively coupled plasma—optical emission spectrometry*”. Il protocollo analitico prevede la digestione totale del sedimento mediante mineralizzazione con miscela di acidi forti, a caldo, in un sistema chiuso a microonde, al fine di portare in soluzione gli elementi associati alla matrice. Nella tecnica ICP-OES, il campione è nebulizzato nel plasma di argon indotto e gli analiti di interesse sono convertiti in uno stato atomico/ionico gassoso eccitato. Quando ritornano al loro stato non eccitato, emettono energia come radiazione luminosa con lunghezza d’onda caratteristica e l’intensità della radiazione emessa è proporzionale alla concentrazione in soluzione.

Caratterizzazione microcontaminanti

Determinazione degli elementi in traccia. Gli elementi in traccia sono stati determinati secondo i metodi EPA 3051A 2007 “*Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils*” e EPA 6020B 2014 “*Inductively coupled plasma—Mass spectrometry*”. Il protocollo analitico prevede la digestione totale del sedimento mediante mineralizzazione con miscela di acidi forti, a caldo, in un sistema chiuso a microonde, al fine di portare in soluzione gli elementi associati alla matrice. Nella tecnica ICP-MS, sono misurati gli ioni prodotti dal plasma induttivamente accoppiato alla radio frequenza. Gli analiti sono nebulizzati e l’aerosol risultante è trasportato dal flusso di argon nella torica al plasma. Gli ioni prodotti dalle alte temperature sono introdotti nello spettrometro di massa, selezionati e quantificati in relazione al rapporto massa/carica (m/z).

Determinazione degli Idrocarburi pesanti (idrocarburi $C>12$). L’analisi degli idrocarburi pesanti (Idrocarburi $C>12$) è stata effettuata secondo il metodo EPA 3550C 2007 “*Ultrasonic Extraction*” e successiva quantificazione con metodo EPA 8015D 2003 “*Nonhalogenated organics using GC/FID*”.

Determinazione degli idrocarburi leggeri (Idrocarburi $C\leq 12$). L’analisi degli idrocarburi leggeri (Idrocarburi $C\leq 12$) è stata effettuata secondo il metodo descritto in EPA 5021A 2014 “*Volatile organic compounds in various sample matrices using equilibrium headspace analysis*” ed EPA 8015D 2003 “*Nonhalogenated organics using GC/FID*”. Il metodo si basa sulla creazione dello



“spazio di testa” per l’analisi dei composti volatili (VOCs) su matrice solida. Gli idrocarburi leggeri, introdotti dal sistema spazio di testa all’interno della colonna cromatografica sono stati determinati attraverso la tecnica gascromatografica GC/FID.

Determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici. La determinazione degli IPA è stata effettuata secondo il metodo di estrazione EPA 3545A 2007 “*Pressurized fluid extraction (PFE)*” e successiva quantificazione con metodo EPA 8270D 2007 “*Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry*”. L’estrazione pressurizzata con solventi (ASE, realizzata con ASE 200 – Dionex) è stata adottata in quanto permette di estrarre in modo equivalente ai sistemi Soxhlet, impiegando minori quantità di solventi con un forte risparmio di tempo.

Determinazione di pesticidi e PCB. La determinazione di pesticidi e PCB è stata effettuata mediante il metodo di estrazione EPA 3545A 2007 “*Pressurized fluid extraction (PFE)*” e successiva quantificazione con metodo EPA 8270D 2007 “*Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry*”. L’estrazione pressurizzata con solventi (ASE, realizzata con ASE 200 – Dionex) è stata adottata in quanto permette di estrarre in modo equivalente ai sistemi Soxhlet, impiegando minori quantità di solventi con un forte risparmio di tempo.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

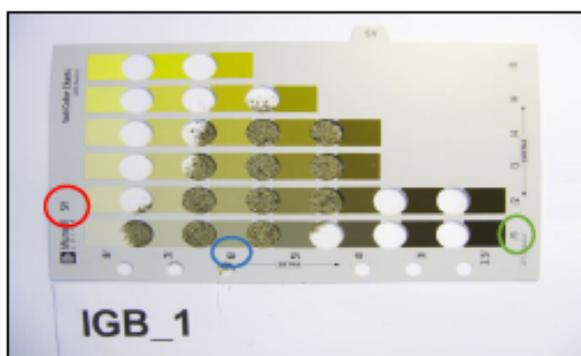
SCHEDE DI IDENTIFICAZIONE DEL COLORE

Nome campione:	IGB_1
Luogo prelievo:	Napoli
Data ID colore:	20/02/2017

Foto 1:
Preparazione campione



Foto 2:
Identificazione colore



ID COLORE:	5Y 6/1 gray
NOTE:	Determinazione eseguita su campione secco

Legenda:

Esempio ID colore: **10R** / **5** / **8**
 HUE (Tonalità) VALUE (Luminosità) CHROMA (Saturazione)

Tonalità: Colore spettrale di base (R=Red YR= Yellow-Red Y=Yellow; Scala da 0 a 10)

Luminosità: Grado di luminosità/oscurità (Scala dei valori da 0 (Nero) a 10 (Bianco))

Saturazione: Intensità di colore nella scala di Munsell (Valore da 0 a 8)

Figura 2 - Scheda per la classificazione colorimetrica del campione secondo Munsell.



2.2 Biocenosi bentoniche

2.2.1 Procedura di campionamento

Ogni campione è stato sottoposto ad una prima analisi così da essere sicuri che le condizioni generali fossero buone e che si fosse raggiunta la profondità minima di penetrazione; successivamente è stato completamente rimosso dalla benna e collocato in una bacinella di dimensioni appropriate. In ciascuna stazione sono state eseguite 3 repliche di 15 litri di sedimento; il materiale raccolto è stato setacciato su maglia da 1 mm così da eliminare l'acqua e il sedimento fine. Il materiale è stato vagliato nel minor tempo possibile, utilizzando un getto di acqua di mare che consentisse di separare gli organismi dal sedimento senza danneggiarli.

Terminata la setacciatura il materiale rimanente (organismi, tanatocenosi, sedimento grossolano e così via) è stato stoccato temporaneamente in appositi contenitori.

Per fissare il campione è stata utilizzata una soluzione di formaldeide al 4%.

2.2.2 Trattamento dei campioni in laboratorio

In laboratorio, dai campioni è stata rimossa, sotto cappa, la soluzione di fissaggio utilizzando setacci con maglie di 400 μm . Successivamente il materiale all'interno del setaccio è stato accuratamente lavato sotto acqua corrente, per eliminare ogni residuo di formalina. Quindi si è proceduto allo smistamento degli organismi ad occhio nudo o con una lente di ingrandimento, ponendo il materiale in una vaschetta di plastica bianca con all'interno una quantità di acqua sufficiente a ricoprirlo. Gli organismi così riconosciuti sono stati posti in provette in grado di contenerli. Il passo successivo è stato lo smistamento più fine allo stereomicroscopio da dissezione. I campioni sono stati inizialmente smistati nei gruppi zoobentonici principali e successivamente identificati al più basso livello tassonomico possibile (LPT= *Lowest Possible Taxon*), coincidente, quasi sempre, con il livello di specie. Il LPT dipende oltre che dallo stato di conservazione degli organismi anche dalla maturità degli individui. Per il corretto inquadramento tassonomico della specie sono state utilizzate la *Checklist* della fauna italiana ed il *World Register of Marine Species* (WoRMS). Quest'ultimo, oltre a fornire una lista autorevole e completa dei nomi di organismi marini a livello mondiale, fornisce indicazioni sulle eventuali sinonimie riscontrate. La determinazione è stata effettuata con uno stereomicroscopio binoculare Leica MZ125 (zoom 1-10x) e, là dove era necessario osservare dei caratteri morfologici fini, con un microscopio Leica ICCA (obiettivi 4, 10, 20, 40, 100x). Tutti gli organismi sono stati contati tenendo conto per gli



organismi frammentati solo della parte cefalica, mentre per gli organismi dotati di un guscio (ad esempio molluschi bivalvi e gasteropodi) è stato necessario rilevare la presenza delle parti molli.

3. RISULTATI

3.1 Caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti

3.1.1 Caratteristiche fisiche

Si riportano in Tabella IV i risultati relativi alle analisi fisiche (analisi granulometrica, umidità, peso specifico, colore dei sedimenti). La pelite è espressa come sommatoria di *silt* ed argilla in quanto rilevante per la valutazione di compatibilità al ripascimento degli interventi di movimentazione. In grassetto è riportata la frazione granulometrica dominante. In corsivo la frazione di pelite che supera la soglia prevista per la classe A del manuale APAT-ICRAM 2007.

Tabella IV – Risultati delle analisi fisiche.

Parametro	Unità di misura	B1	B2	B3	B4
Analisi granulometrica	%				
Ghiaia (>2000 micron)	%	0,0	0,0	0,0	0,0
Sabbia (2000-63 micron)	%	95,3	23,2	1,8	64,4
Silt (63-4 micron)	%	4,3	45,1	65,8	31,7
Argilla (<4 micron)	%	0,4	31,3	32,4	3,9
Pelite (Silt+Argilla)	%	4,7	76,3	98,2	35,6
Umidità	%	27,3	39,5	40,5	27,3
Peso Specifico	kN/m ³	25,5	24,6	26,7	26,8
	Scala Munsell	5Y 6/1	2.5Y 6/2	2.5Y 6/2	2.5Y 6/2
Colore	Descrizione	gray	light brownish gray	light brownish gray	light brownish gray

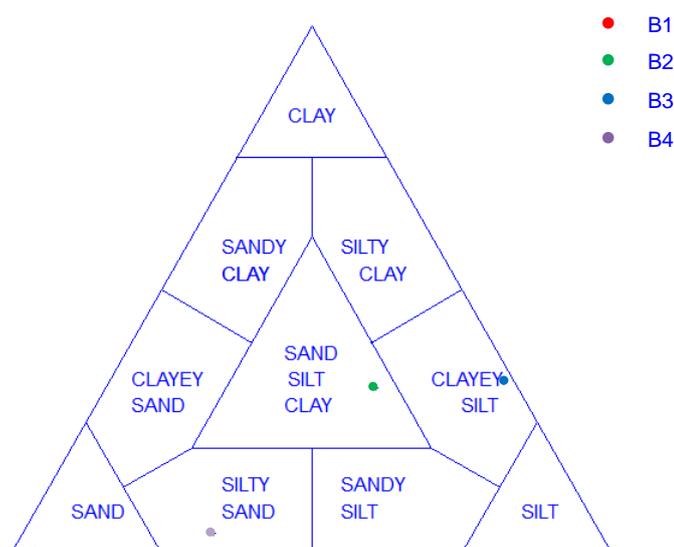


Figura 3 - Ubicazione dei campioni analizzati nel diagramma triangolare di Shepard (1954).



La distinzione delle principali classi dimensionali (sabbia, *silt* ed argilla) è stata utilizzata per la classificazione dei sedimenti secondo il diagramma triangolare di Shepard (1954), così come riportato nella Figura 3 ottenuta utilizzando il software *open source* SEDPLOT (Poppe & Eliason, 2008). Da tale classificazione si evince che il campione B1 ricade nel campo delle sabbie, il B2 nel campo sabbia *silt* argilla, il B3 nel *silt* argilloso e il B4 nella sabbia siltosa.

Si riportano in appendice le curve di distribuzione cumulative di ogni campione analizzato.



3.1.2 Caratteristiche chimiche

Si riportano in Tabella V le concentrazioni dei nutrienti e degli elementi in traccia ed in Tabella VI i risultati relativi agli idrocarburi lineari alifatici C>12 e C<12, policlorobifenili (PCB), espressi come singoli congeneri e loro sommatoria, pesticidi organoclorurati, esaclorobenzene (HCB) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Tabella V- Concentrazioni dei nutrienti e degli elementi in traccia.

Parametro	Unità di misura	B1	B2	B3	B4
Carbonio organico totale (TOC)	%	<0,1	0,6	0,6	0,3
Azoto Totale (TN)	mg/kg p.s.	3340,0	630,0	700,0	290,0
Fosforo totale (TP)	mg/kg p.s.	419,0	493,8	771,7	590,2
Metalli e metalloidi					
Alluminio (Al)	mg/kg p.s.	15020	39667	48088	17918
Cromo totale (Cr)	mg/kg p.s.	6,26	41,27	63,10	22,42
Nichel (Ni)	mg/kg p.s.	3,88	24,07	39,20	19,03
Rame (Cu)	mg/kg p.s.	8,11	26,63	37,51	14,06
Zinco (Zn)	mg/kg p.s.	44,30	83,52	112,31	66,99
Arsenico (As)	mg/kg p.s.	14,84	11,97	13,98	11,05
Cadmio (Cd)	mg/kg p.s.	0,055	0,137	0,182	0,117
Mercurio (Hg)	mg/kg p.s.	0,077	0,140	0,124	0,098
Piombo (Pb)	mg/kg p.s.	9,85	37,51	38,61	14,18

Per quanto riguarda i nutrienti (TOC, TN, TP) tali parametri non hanno una soglia di riferimento nella normativa attuale né nelle linee guida disponibili al momento per l'interpretazione dei dati. I valori dei nutrienti sono in linea con i valori tipici di sedimenti marini e mediamente contenuti. Dal confronto relativo, si osserva che il campione B1 ha bassi valori di TOC e TP e valori più alti di TN. Relativamente al contenuto di elementi in traccia, si segnala che, dal confronto con le linee guida APAT-ICRAM (2007) per la movimentazione dei sedimenti marini, tutti gli elementi mostrano valori inferiori alla soglia LCB definita per il livello specifico di pelite. Rappresenta un'eccezione lo Zn nel campione B3 che supera il Livello Chimico di Base (LCB, 100 mg/kg) ma non il Livello Chimico Limite (LCL).



Tabella VI - Concentrazioni di idrocarburi lineari alifatici (C>12 e C<12), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), pesticidi organoclorurati e policlorobifenili (PCB).

Parametro	Unità di misura	B1	B2	B3	B4
Idrocarburi lineari alifatici					
Idrocarburi C>12	mg/kg p.s.	<1,5	27,0	41,0	<1,5
Idrocarburi C<12	mg/kg p.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Idrocarburi policiclici aromatici					
Acenaftene	µg/kg s.s.	<1	3,4	<1	<1
Naftalene	µg/kg s.s.	<1	3,6	6,4	<1
Fluorene	µg/kg s.s.	<1	4,7	3,7	<1
Fenantrene	µg/kg s.s.	2,0	68,5	21,4	2,6
Antracene	µg/kg s.s.	<1	19,2	9,8	<1
Fluorantene	µg/kg s.s.	8,2	139,0	56,8	6,7
Pirene	µg/kg s.s.	9,3	119,5	52,7	6,3
Benzo (a) antracene	µg/kg s.s.	5,0	78,9	26,5	2,9
Crisene	µg/kg s.s.	5,8	83,6	30,4	4,3
Benzo (b) fluorantene	µg/kg s.s.	3,8	67,9	32,0	3,2
Benzo (k) fluorantene	µg/kg s.s.	3,8	31,1	12,8	1,6
Benzo (j) fluorantene	µg/kg s.s.	<1	<1	<1	<1
Benzo (a) pirene	µg/kg s.s.	8,1	68,7	30,0	3,2
Benzo (e) pirene	µg/kg s.s.	6,3	49,1	24,1	3,2
Dibenzo (a, h) antracene	µg/kg s.s.	2,4	18,8	8,2	<1
Benzo (g, h, i) perilene	µg/kg s.s.	8,1	48,9	28,0	3,5
Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	µg/kg s.s.	5,5	45,7	23,0	2,6
Acenaftilene	µg/kg s.s.	1,2	3,8	3,8	<1
Sommatoria composti policiclici aromatici	µg/kg s.s.	69,5	854,3	369,6	40,1
Pesticidi					
Aldrin	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Dieldrin	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Endrin	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
alfa-Esaclorocicloesano	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
beta-Esaclorocicloesano	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
gamma-Esaclorocicloesano (Lindano)	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2,4-DDD	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	1,11	<0,5
4,4-DDD	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2,4-DDE	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
4,4-DDE	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	0,89	<0,5
2,4-DDT	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	4,35	<0,5
4,4-DDT	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Esaclorobenzene (HCB)	µg/kg s.s.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Eptacloro di epossido	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
cis-Clordano	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
trans-Clordano	µg/kg s.s.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Congeneri PCB					
2,4,4'-Triclorobifenile (PCB28)	µg/kg s.s.	<0,01	0,105	0,087	0,028
2,2',5,5'-Tetraclorobifenile (PCB52)	µg/kg s.s.	<0,01	0,11	0,03	<0,01
3,3',4,4'-Tetraclorobifenile (PCB77)	µg/kg s.s.	<0,01	<0,01	0,11	0,090
3,4,4',5-Tetraclorobifenile (PCB81)	µg/kg s.s.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2,2',4,5,5'-Pentaclorobifenile (PCB101)	µg/kg s.s.	<0,01	0,44	0,39	<0,01
2,3',4,4',5-Pentaclorobifenile (PCB118)	µg/kg s.s.	<0,01	0,30	<0,01	<0,01
3,3',4,4',5-Pentaclorobifenile (PCB126)	µg/kg s.s.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2,2',3,3',4,4'-Esaclorobifenile (PCB128)	µg/kg s.s.	<0,01	0,08	0,11	<0,01
2,2',3,4,4',5'-Esaclorobifenile (PCB138)	µg/kg s.s.	<0,01	0,90	1,38	<0,01
2,2',4,4',5,5'-Esaclorobifenile (PCB153)	µg/kg s.s.	<0,01	0,65	0,98	<0,01
2,3,3',4,4',5-Esaclorobifenile (PCB156)	µg/kg s.s.	<0,01	0,08	0,27	<0,01
3,3',4,4',5,5'-Esaclorobifenile (PCB169)	µg/kg s.s.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2,2',3,4,4',5,5'-Eptaclorobifenile (PCB180)	µg/kg s.s.	<0,01	0,66	<0,01	<0,01



PCB totali	$\mu\text{g}/\text{kg s.s.}$	<0,1	3,32	3,3	0,118
-------------------	------------------------------	------	------	-----	-------

Per quanto riguarda gli idrocarburi policiclici aromatici, in riferimento alle linee guida APAT-ICRAM (2007), si segnalano i superamenti dei livelli LCB ma non dei livelli LCL dei seguenti campioni (composti): B2 (Fluorantene, Benzo(a)antracene, Dibenzo(a,h)antracene) e B3 (Dibenzo(a,h)antracene).

Per quanto riguarda i pesticidi organoclorurati, si segnala il superamento del livello LCB definito per la sommatoria di DDT nel campione B3. Anche in questo caso non si segnalano superamenti dei livelli LCL.

I PCB mostrano valori totali inferiori ai limiti previsti dalle linee guida APAT-ICRAM (2007).



3.2 Biocenosi bentoniche

Negli ultimi anni è notevolmente cresciuta l'attenzione per l'individuazione e l'utilizzo di bioindicatori appropriati (specie o comunità) per la valutazione dello stato di qualità del sistema marino costiero, da affiancare alle tradizionali caratterizzazioni chimico-fisiche delle acque e/o dei sedimenti. La scelta dei metodi per la valutazione della qualità ambientale è considerevolmente orientata verso lo studio delle componenti biologiche dell'ecosistema in grado di rispondere, con differente sensibilità, alle alterazioni ambientali. Tra le varie componenti testate, gli organismi bentonici, ed in particolare quelli macrobentonici, sono considerati tra i più adeguati descrittori sintetici dell'ambiente (Pearson e Rosenberg, 1978; Bilyard, 1987; Dauer, 1993; Warwick, 1986, 1993; Weisberg et al., 1997; Paul et al., 2001; Sandulli, 2004). Le principali caratteristiche che hanno reso questi organismi i più diffusi bioindicatori della qualità di ecosistemi marini costieri ed estuariali, rispetto a pesci e plancton, sono la loro relativa immobilità e la maggiore stabilità nei confronti delle variazioni ambientali stagionali. Inoltre, le condizioni di disturbo indotte da interventi antropici in ambiente marino costiero hanno quasi sempre conseguenze sul comparto bentonico sia dirette sia mediate dalla componente pelagica (Occhipinti Ambrogi e Forni, 2003).

L'identificazione tassonomica del popolamento bentonico ha condotto all'individuazione complessiva di 677 individui appartenenti a 86 taxa, di cui 75 a livello di specie. La lista delle specie, corredata dai rispettivi valori di abbondanza, è stata riassunta in Tabella VII. Sebbene tutti i gruppi bentonici principali siano ben rappresentati, il gruppo che annovera il maggior numero, sia di specie sia di individui, è quello degli anellidi policheti (40 specie e 535 individui), seguito da quello dei molluschi (20 specie e 74 individui). Gli altri gruppi, sebbene presentino abbondanze inferiori, contribuiscono ampiamente alla struttura della comunità esaminata.

Dal punto di vista biocenotico, la maggior parte delle specie è tipica della Biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (*Dialychone acustica*, *Euclymene oerstedii*, *Sigalion mathildae*, *Owenia fusiformis* tra i policheti, *Atlantella pulchella*, *Chamelea striatula*, *Donax venustus*, *Peronidia albicans*, *Pharus legumen*, *Saccella commutata*, *Thyasira striata* tra i molluschi bivalvi, *Tritia mutabilis*, *Tritia pygmaea*, *Neverita josephinia* tra i molluschi gasteropodi, *Antalis dentalis* tra i molluschi scafopodi, *Echinocardium cordatum* tra gli echinodermi). Tuttavia, sono state osservate numerose specie strettamente vasicole, specie indicatrici di materia organica (MO) e specie a larga ripartizione ecologica (Lre) (Pérès e Picard, 1964).



Tabella VII - Lista delle specie bentoniche individuate.

Stazione	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Replica												
Profondità		4 m			67 m			64 m			12 m	
PHYLUM ANELLIDA												
Classe Polychaeta												
<i>Alitta succinea</i> (Leuckart, 1847)							1					
<i>Ampharete acutifrons</i> (Grube, 1860)					1		2	1	2		1	
<i>Amphictene auricoma</i> (O.F. Müller, 1776)										1	1	
<i>Aphelochaeta filiformis</i> (Keferstein, 1862)					1	1	1	1				
<i>Aponuphis bilineata</i> (Baird, 1870)	2				1					1	2	2
Capitellidae indet.				1								
<i>Chaetozone</i> sp.				1								
<i>Chirimia biceps</i> (M. Sars, 1861)					1	1						
<i>Chone</i> sp.										1	1	
<i>Dialychone acustica</i> Claparède, 1870												1
<i>Dialychone arenicola</i> (Langerhans, 1881)												1
<i>Ditrupa arietina</i> (O. F. Müller, 1776)					2							
<i>Euclymene oerstedii</i> (Claparède, 1863)				1								3
<i>Eunice vittata</i> (Delle Chiaje, 1828)	1									3	8	5
<i>Glycera unicornis</i> Lamarck, 1818			1				3	1		3	7	2
<i>Goniada maculata</i> Örsted, 1843										1	1	
<i>Hyalinoecia tubicola</i> (O.F. Müller, 1776)					1							
<i>Laonice cirrata</i> (M. Sars, 1851)											1	
<i>Lumbrineris latreilli</i> Audouin & Milne-Edwards, 1834	1	1					1		1			1
<i>Malacoceros tetracerus</i> (Schmarda, 1861)							1					
<i>Maldane glebifex</i> Grube, 1860									1			
<i>Malmgreniella</i> sp.					1				1			
<i>Marphysa bellii</i> (Audouin & Milne-Edwards, 1833)				4	2		2	1	3			
<i>Mediomastus fragilis</i> Rasmussen, 1973				1						1		
<i>Melinna palmata</i> Grube, 1870				1			1			1	2	1
<i>Mesochaetopterus sagittarius</i> (Claparède, 1870)												2
<i>Mysta picta</i> (Quatrefages, 1866)										1		2
<i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818						1			3	2	2	1
<i>Nereis falsa</i> Quatrefages, 1866	1											
<i>Nereis rava</i> Ehlers, 1864	1											
<i>Notomastus latericeus</i> M. Sars, 1851					3		1			1	1	1
<i>Notomastus profundus</i> (Eisig, 1887)				1								
<i>Owenia fusiformis</i> Delle Chiaje, 1841	1	1	1							49	175	112
<i>Paralacydonia paradoxa</i> Fauvel, 1913					1							
<i>Paraprionospio pinnata</i> (Ehlers, 1901)									1			
<i>Phyllochaetopterus socialis</i> Claparède, 1868										4	11	25
<i>Phyllodoce lineata</i> (Claparède, 1870)											1	1
<i>Pista cristata</i> (Müller, 1776)							1					
<i>Polydora ciliata</i> (Johnston, 1838)										2	2	
<i>Prionospio ehlersi</i> Fauvel, 1928						1	1	4	1		1	
<i>Scolecopsis</i> sp.			1									
<i>Sigalion mathildae</i> Audouin & Milne-Edwards, 1832												
<i>Spio filicornis</i> (O.F. Müller, 1766)	1									1	3	
<i>Sternaspis scutata</i> (Ranzani, 1817)									1			
<i>Sthenelais boa</i> (Johnston, 1833)							1			1	2	1
PHYLUM MOLLUSCA												
Classe Bivalvia												
<i>Atlantella pulchella</i> (Lamarck, 1818)				1								



<i>Chamelea striatula</i> (da Costa, 1778)	1	3	2						
<i>Donax venustus</i> Poli, 1795			1	2				1	
<i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)			1					1	
<i>Myrtea spinifera</i> (Montagu, 1803)					1				
<i>Nucula nucleus</i> (Linnaeus, 1758)							1		
<i>Pandora pinna</i> (Montagu, 1803)				1					
<i>Papillicardium papillosum</i> (Poli, 1791)		1		1					1
<i>Peronidia albicans</i> (Gmelin, 1791)	1	1				1	1	6	7
<i>Pharus legumen</i> (Linnaeus, 1758)							1	4	3
<i>Saccella commutata</i> (Philippi, 1844)					1	1			1
<i>Thyasira striata</i> (Sturany, 1896)						2			
Classe Gastropoda									
<i>Bolinus brandaris</i> (Linnaeus, 1758)									1
<i>Neverita josephina</i> Risso, 1826	2	1						1	2
<i>Smaragdia viridis</i> (Linnaeus, 1758)									1
<i>Tritia mutabilis</i> (Linnaeus, 1758)								2	
<i>Tritia pygmaea</i> (Lamarck, 1822)								3	1
Classe Scaphopoda									
<i>Antalis dentalis</i> (Linnaeus, 1758)					1				
<i>Antalis inaequicostata</i> (Dautzenberg, 1891)							1		
<i>Fustiaria rubescens</i> (Deshayes, 1825)									1
Classe Solenogastres									
						1			
PHYLUM ARTHROPODA									
Subphylum Crustacea									
Classe Malacostraca									
Ordine Decapoda									
<i>Alpheus glaber</i> (Olivi, 1792)					1		1		
<i>Anapagurus laevis</i> (Bell, 1846)							1		
<i>Athanas nitescens</i> (Leach, 1814)								1	
<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)				2					
<i>Ebalia</i> sp.									1
Ordine Tanaidacea									
<i>Apseudopsis acutifrons</i> (Sars, 1882)	1								1
<i>Tuberapseudes echinatus</i> (Sars, 1882)							2		
Ordine Amphipoda									
<i>Ampelisca brevicornis</i> (Costa, 1853)			3					1	3
Anfipoda indet.	1			1				1	2
<i>Atylus</i> sp.									1
<i>Bathyporeia</i> sp.									1
<i>Dexamine spiniventris</i> (Costa, 1853)	1	1	1					2	3
<i>Leucothoe spinicarpa</i> (Abildgaard, 1789)	4	1						1	1
<i>Monocorophium acherusicum</i> (Costa, 1853)	1						1		
<i>Phtisica marina</i> Slabber, 1769								1	1
Ordine Cumacea									
<i>Iphinoe serrata</i> Norman, 1867									1
Classe Pycnogonida									
Ordine Pantopoda									
<i>Achelia echinata</i> Hodge, 1864									1
PHYLUM ECHINODERMATA									
Classe Echinoidea									
<i>Echinocardium cordatum</i> (Pennant, 1777)								1	1
Classe Ophiuroidea									
<i>Amphiura chiajei</i> Forbes, 1843						1	1	2	1
								3	5

PHYLUM PLATYHELMINTHES

La composizione del popolamento, in termini di preferenze ecologiche, rispecchia la componente tessiturale del sedimento (Figura 4). L'elevata presenza di specie tipiche di fondi sabbiosi accomuna tra di loro le stazioni B1 e B4, invece l'alta percentuale di specie tipiche dei fondali fangosi caratterizza le stazioni B2 e B3. È stata osservata una notevole presenza del detrito vegetale in tutte le stazioni analizzate, tranne che in B1.

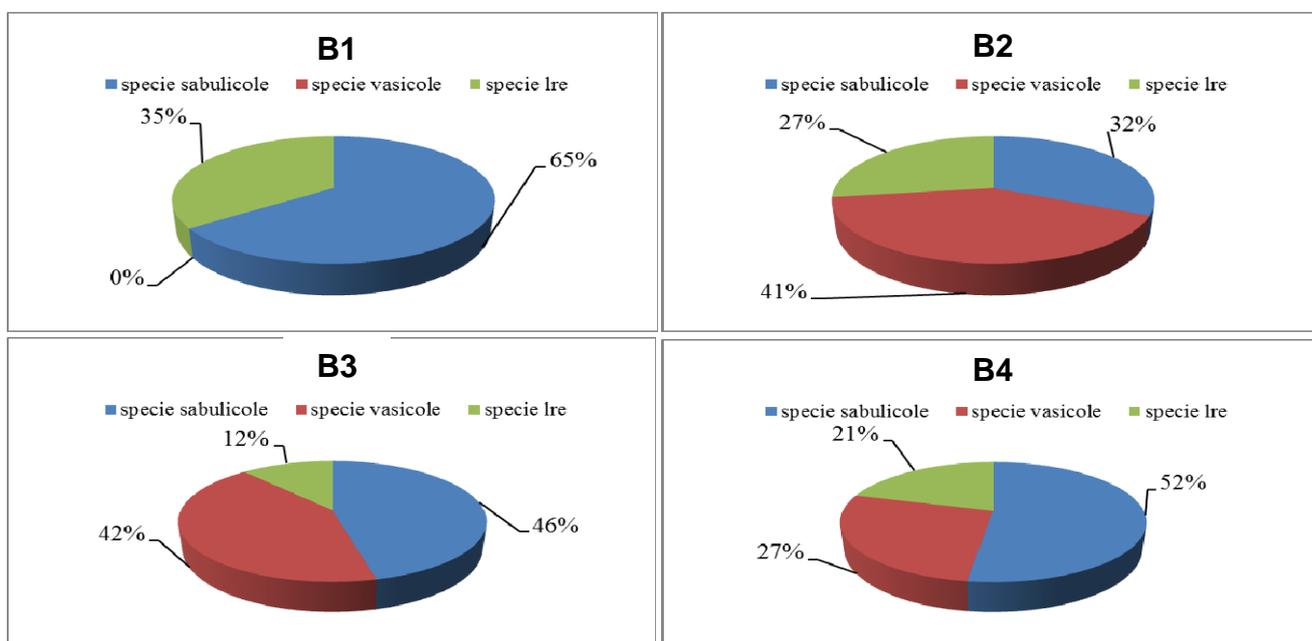


Figura 4 - Percentuale delle specie sabulicole, vasicole e a larga ripartizione ecologica (Ire) nelle quattro stazioni oggetto di indagine.

Al fine di caratterizzare più in dettaglio il popolamento, è stato effettuato il calcolo dei principali parametri strutturali della comunità sulla matrice quantitativa dei dati. In particolare, sono stati calcolati per ciascuna stazione e per ogni singola replica (Tabella VIII) l'indice di ricchezza specifica di Margalef (1958), l'indice di uniformità nella ripartizione delle abbondanze tra le specie (*evenness*) di Pielou (1966) e l'indice di diversità specifica di Shannon & Weaver (1949).



Tabella VIII - Valori degli indici strutturali della comunità: d (Margalef), J (Pielou), H' (Shannon - Weaver).

Stazione	replica	S	N	d	J	H'
B1	R1	10	16	3,323424	0,939461	3,106891
	R2	14	18	4,497691	0,956466	3,641604
	R3	7	12	2,605767	0,973197	2,721928
B2	R1	7	12	2,605767	0,92062	2,521928
	R2	13	18	4,235473	0,967481	3,572469
	R3	6	7	2,790553	1	2,584963
B3	R1	22	28	6,302134	0,975869	4,351823
	R2	10	15	3,410309	0,936635	3,093069
	R3	7	12	2,414578	0,935334	2,625815
B4	R1	24	91	5,124051	0,636062	2,878651
	R2	33	258	5,774856	0,46411	2,316518
	R3	26	190	4,793923	0,530003	2,414074

L'indice di Margalef (d) mostra valori elevati in tutte le stazioni esaminate ed è indicatore di una comunità bentonica strutturata e ricca in specie. L'indice di diversità di Shannon - Weaver (H'), è alto rispetto all'ultimo monitoraggio e presenta valori abbastanza simili in tutte le stazioni (Figura 5). Anche le stazioni B1 e B4, che precedentemente mostravano i valori più bassi, risultano altamente diversificate e strutturate.

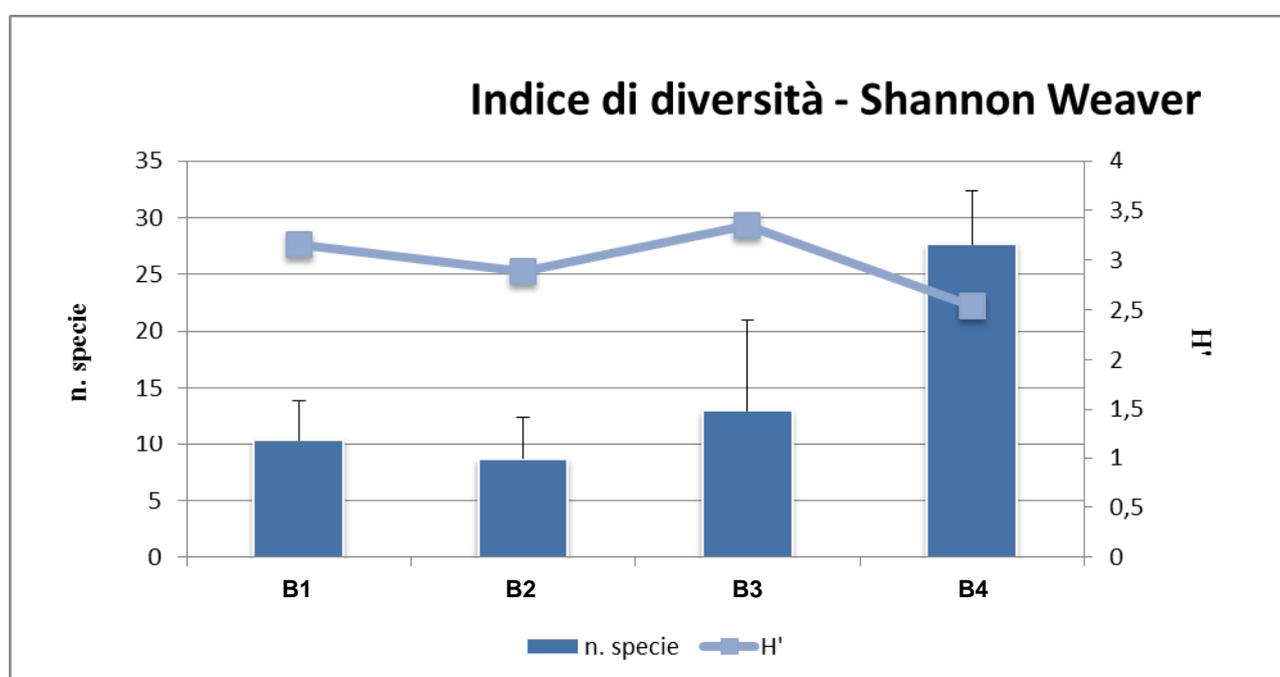


Figura 5 - Indice di diversità specifica di Shannon – Weaver.

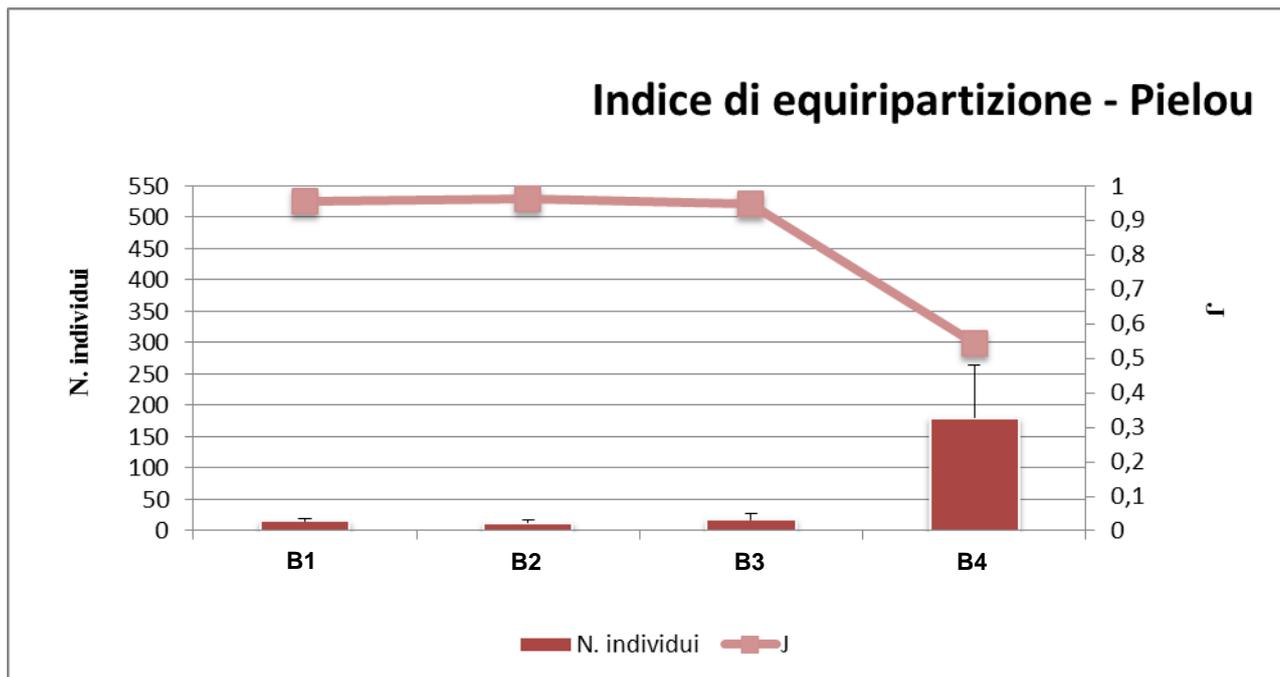


Figura 6 - Indice di equitabilità di Pielou.

L'indice di equitabilità (J) presenta, analogamente agli scorsi monitoraggi, valori simili e particolarmente elevati nelle prime tre stazioni, indicando una distribuzione uniforme degli individui tra le specie. Al contrario, nella stazione B4 tale indice presenta un valore basso, correlato alla dominanza del polichete tubicolo *Owenia fusiformis* (Figura 6), come osservato anche in passato.

Riassumendo, la variabilità strutturale della comunità bentonica riscontrata, in termini di ripartizione ecologica, sembra rispecchiare la differente composizione tessiturale dei sedimenti e le differenti batimetrie.

Confrontando i dati del 2016 con quelli del 2014 con quelli attuali, si osservano differenze strutturali del popolamento. Gli indici di ricchezza specifica e di diversità denotano un popolamento ben definito e strutturato in tutte le stazioni, con specie appartenenti a differenti tipologie di fondale: le specie prettamente sabulicole prevalgono nelle stazioni meno profonde (B1 e B4) e quelle per lo più vasicole nelle stazioni più profonde. L'unica osservazione che resta invariata rispetto ai dati pregressi è la dominanza della specie tubicola *Owenia fusiformis* nella stazione B4, come evidenziato dai bassi valori dell'indice di Pielou.



4. BIBLIOGRAFIA

APAT-ICRAM (2007). Manuale per la movimentazione di sedimenti marini.

Bilyard G.R. (1987). The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Poll. Bull.*, 18: 581-585.

Cicero, A.M. & I. Di Girolamo, 2001. Metodologie analitiche di riferimento. ICRAM-Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio.

Dauer D.M. (1993). Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Ma. Poll. Bull.*, 26 (5): 249-257.

Margalef R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-71.

Occhipinti Ambrogi A., Forni G. (2003). Gli indici biotici. *Biol. Mar. Medit.*, 10 (Suppl.): 577-604.

Paul J.F., Scott K.J., Campbell D.E., Gentile J.H., Strobel C.S., Valente R.M., Weisberg S.B., Holland A.F., Ranasinghe J.A. (2001). Developing and applying a benthic index of estuarine condition for the Virginian Biogeographic Province. *Ecol. Indicators*, 1: 83-99.

Pérès J.M. & Picard J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 31 (47): 5-137.

Pearson T.H., Rosenberg R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.

Pielou E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 131-144.

Poppe L.J. and Eliason A.E. (2008). A Visual Basic program to plot sediment grain-size data on ternary diagrams. *Computers and Geosciences*, 34:561-565.

Sandulli R. (2004). Il ruolo degli indicatori biologici nella valutazione dello stato dell'ambiente marino. *Biologia Marina Mediterranea*, 11, 185-192.

Shannon C.E., Weaver W. (1949). The mathematical theory of communication. Urbana University Press, 122 pp.

Shepard, F.P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Petrology*, 24,151-158.

Warwick R.M. (1986). A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 92: 557-562.

Weisberg S.B., Ranasinghe J.A., Dauer D.M., Schaffner L.C., Diaz R.J., Fristen J.B. (1997). An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. *Estuaries*, 20 (1): 149-158.

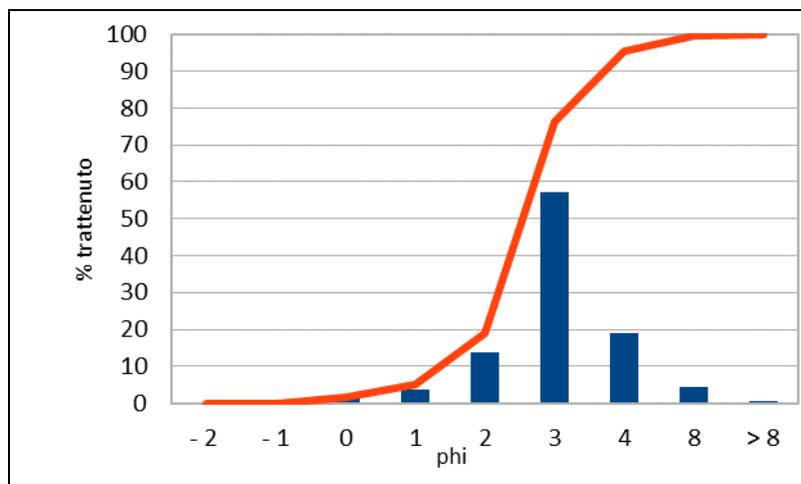


5. APPENDICE

B1

	Diametro		Trattenuto	
	μm	phi	%	% Cumulata
Ghiaia	4000	- 2	0,0	0,0
	2000	- 1	0,0	0,0
Sabbia	1000	0	1,6	1,6
	500	1	3,5	5,1
	250	2	13,9	19,0
	125	3	57,3	76,4
	63	4	18,9	95,3
Silt	4	8	4,3	99,6
Argilla	< 4	> 8	0,4	100,0

Curva cumulativa e istogramma di frequenza

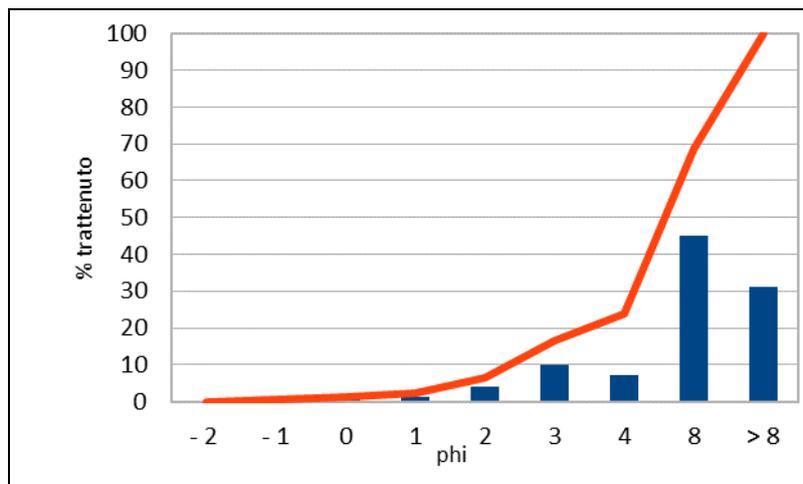




B2

	Diametro		Trattenuto	
	μm	phi	%	% Cumulata
Ghiaia	4000	- 2	0,0	0,0
	2000	- 1	0,5	0,5
Sabbia	1000	0	0,6	1,1
	500	1	1,3	2,4
	250	2	4,1	6,5
	125	3	9,9	16,4
	63	4	7,3	23,7
Silt	4	8	45,1	68,7
Argilla	< 4	> 8	31,3	100,0

Curva cumulativa e istogramma di frequenza

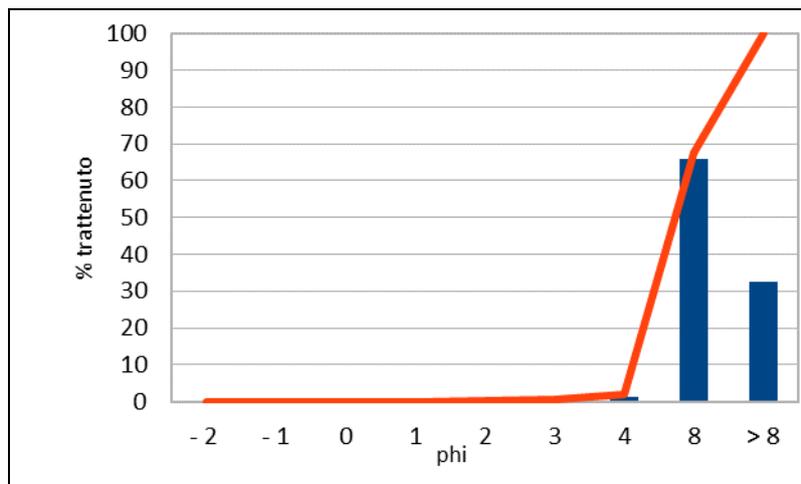




B3

	Diametro		Trattenuto	
	μm	phi	%	% Cumulata
Ghiaia	4000	- 2	0,0	0,0
	2000	- 1	0,0	0,0
Sabbia	1000	0	0,0	0,0
	500	1	0,0	0,0
	250	2	0,1	0,1
	125	3	0,4	0,4
	63	4	1,3	1,8
Silt	4	8	65,8	67,6
Argilla	< 4	> 8	32,4	100,0

Curva cumulativa e istogramma di frequenza

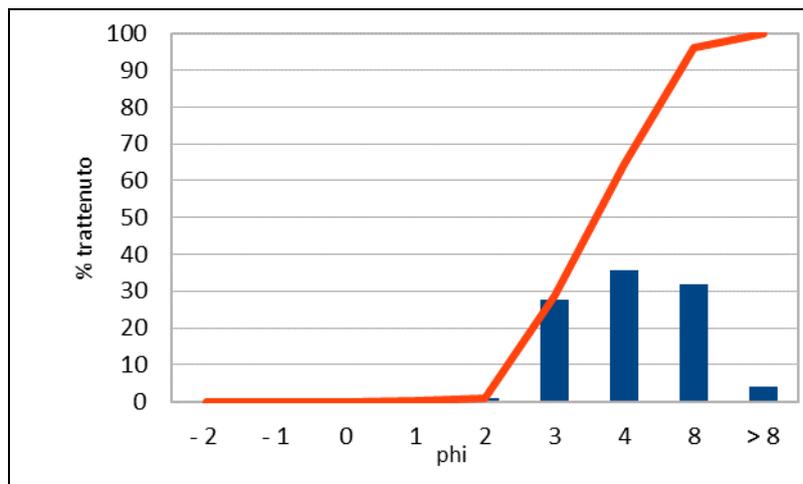




B4

	Diametro		Trattenuto	
	μm	phi	%	% Cumulata
Ghiaia	4000	- 2	0,0	0,0
	2000	- 1	0,0	0,0
Sabbia	1000	0	0,0	0,0
	500	1	0,1	0,1
	250	2	1,0	1,0
	125	3	27,7	28,8
	63	4	35,6	64,4
Silt	4	8	31,7	96,1
Argilla	< 4	> 8	3,9	100,0

Curva cumulativa e istogramma di frequenza





**PARTE II - RICOLONIZZAZIONE SPONTANEA DI *Posidonia oceanica* DELLA TRACCIA ESCAVO DI
PUNTA S. PIETRO: MONITORAGGIO DEL RICOPRIMENTO DEL CANALE DI ATTRAVERSAMENTO
DELLA PRATERIA**

1. CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO MONITORATO

1) Punto P1 (inizio) lat 40° 44'965N long 013°56'850E, prof. 7.3 m

2) Punto P2 lat 40°44'951N long 013°56'815E, prof. 7.3 m

3) Punto P3 lat 40°44'915N long 013°56'769E, prof. 6.2 m

4) Punto P4 lat 40°44'888N long 013°56'745E, prof. 5.7 m

5) Punto P5 (fine) lat 40°44'848N long 013°56'733E, prof. 5.6 m

Direzione SW rilevata con bussola subacquea (da 240° a 210°)

Profondità: da m 7.5 m a m 5.6 m circa

Distanza percorsa in immersione: circa 200 m

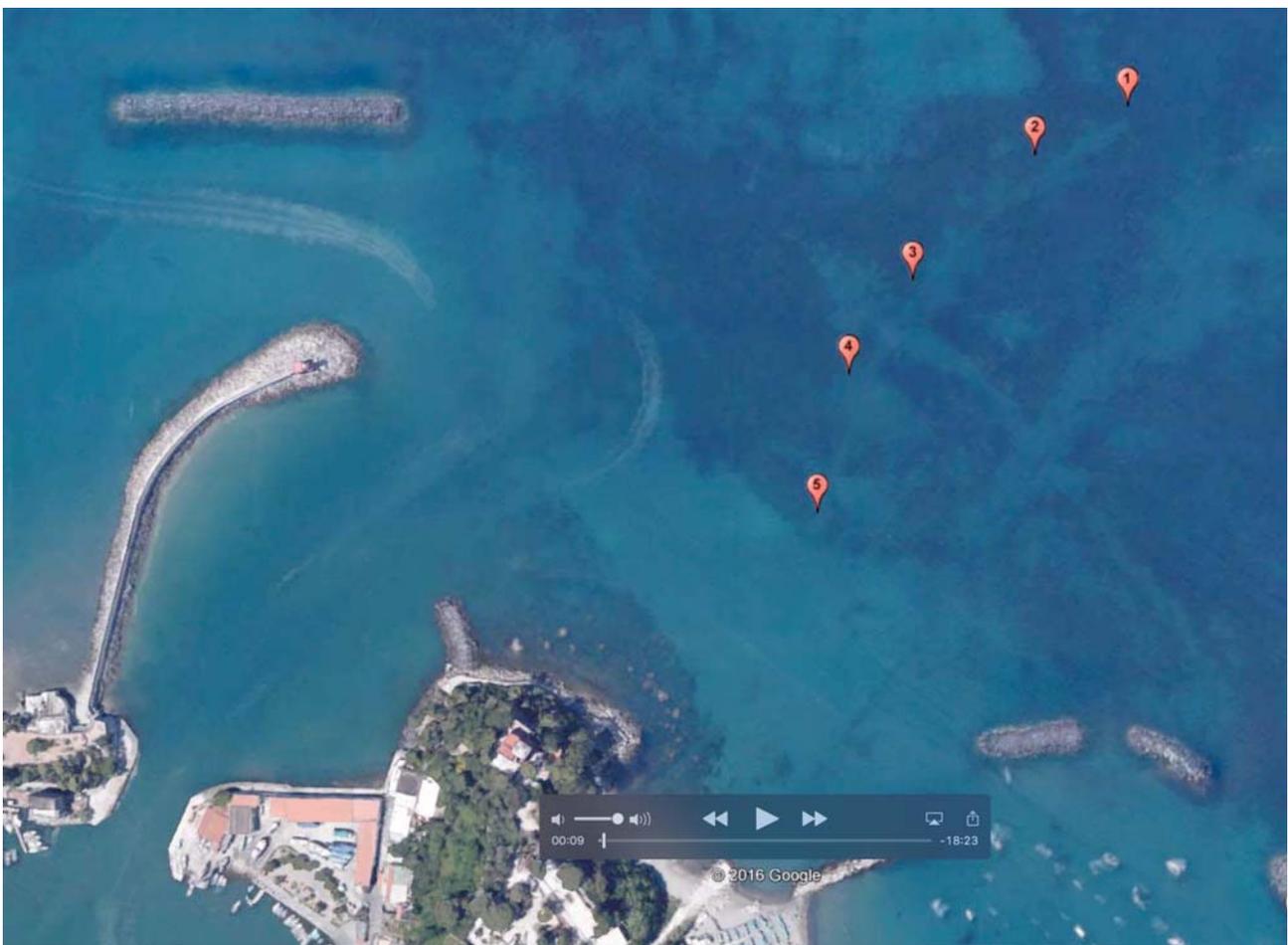


Figura 1 - Tracciato del *survey* subacqueo con indicazione dei corpi morti sommersi.

Si riporta in Figura 1 il tracciato dell'escavo (ricavato da *Google Earth*) lungo il quale è stata monitorata la ricolonizzazione di *Posidonia oceanica*. Lungo il tracciato sono stati posizionati nel



2015 dei corpi morti numerati, a partire dal punto in cui la condotta si interra (P1) sino alla scomparsa della prateria di Posidonia, dove inizia il tratto di sola sabbia (P5). I corpi morti sono tutti ubicati alla destra del tracciato, procedendo dal largo verso terra.

A parte, si allegano i due filmati prodotti nei mesi di giugno e dicembre 2016; nel corso dei filmati viene preventivamente indicato il tratto del tracciato a cui faranno riferimento le immagini che seguiranno.

2. CONSIDERAZIONI GENERALI

In generale, per le parti di prateria interessate marginalmente dallo scavo, le ispezioni di giugno e dicembre 2016 confermano quanto già osservato nei monitoraggi precedenti. In particolare, nella parte più profonda, dove il cavo poggia sulla prateria senza essere interrato, la struttura dell'habitat a Posidonia non sembra essersi alterata e mostra nel tempo la stessa continuità osservata precedentemente (2013), in accordo con le variazioni stagionali di lunghezza del manto fogliare (più corte nel periodo invernale) (Figura 2).



Figura 2 - Margine della prateria in corrispondenza del P1. Dall'alto verso il basso: giugno 2013, giugno 2014, dicembre 2016.

Al contrario, procedendo ai margini dell'escavo (che ha inciso l'alto terrazzamento su cui era insediata la pianta), la frammentazione della prateria si fa più marcata, soprattutto al diminuire della profondità: zolle isolate su distese di sabbia ed isole in formazione testimoniano la continua erosione della matte, sia alla base sia alla sommità, mettendo in evidenza la necrosi dei rizomi (Fig. 3a e 3b).



Figura 3a - Dinamica dei processi di erosione ai margini dell'escavo osservati negli anni.



Figura 3b - Progressione del fenomeno di erosione della matte

Il fenomeno di erosione aumenta al diminuire della profondità, avvicinandoci cioè alla fine del tracciato, in prossimità della costa. Anche nel monitoraggio del 2016 non si osservano tracce evidenti di espansione orizzontale della prateria, cioè dai margini dell'escavo verso il centro. Sui

marginii, per ora, sembra prevalere una crescita verticale (Figura 4a), soprattutto a minori profondità, dove la pianta deve opporsi ad una maggiore dinamica dei sedimenti (Figura 4b).



Figura 4a - Assenza di crescita orizzontale dei rizomi.



Figura 4b - La maggiore movimentazione della sabbia impedisce l'espansione orizzontale della pianta, facendo prevalere la crescita verticale dei rizomi.

Dalle prime forme algali di piccole dimensioni che formavano un turf, cioè un tappeto vegetale di pochi millimetri di altezza, forme più diversificate e complesse hanno progressivamente

colonizzato il fondale. Specie algali a crescita prettamente stagionale, come *Padina pavonica*, *Acetabularia acetabulum* e *Sphacelaria/Halopetris* spp. ricoprono in maniera massiccia il pietrisco nel periodo estivo insieme ad alghe erette calcaree come il genere *Jania* (Figura 5a), mentre alghe incrostanti dominano nel periodo invernale.



Figura 5a - Popolamenti algali con dominanza di *Padina* nel periodo estivo.

La dinamica di colonizzazione diventa evidente anche nella varietà di forme animali che evidentemente in questo ambiente ora trovano rifugio e cibo (polpo, stella, salpe, tanto per citarne alcuni) (Figura 5b).



Figura 5b - Aumento della biodiversità nel nuovo habitat.

3. COLONIZZAZIONE DI POSIDONIA SUL TRACCIATO

Nel corso degli ultimi tre anni si è assistito ad un aumento del numero di rizomi di Posidonia che, staccatisi dalle zolle di matte circostanti in seguito alla loro erosione, sono stati 'scagliati' come frecce dal moto ondoso sul tracciato e sono rimasti intrappolati nelle anfrattuosità del pietrisco, riuscendo ad attecchire e ad espandersi.

Una rappresentazione di questa dinamica viene offerta dalle sequenze delle immagini in Figura 6a, b e c.



Figura 6a - Distacco e trasporto di rizomi.

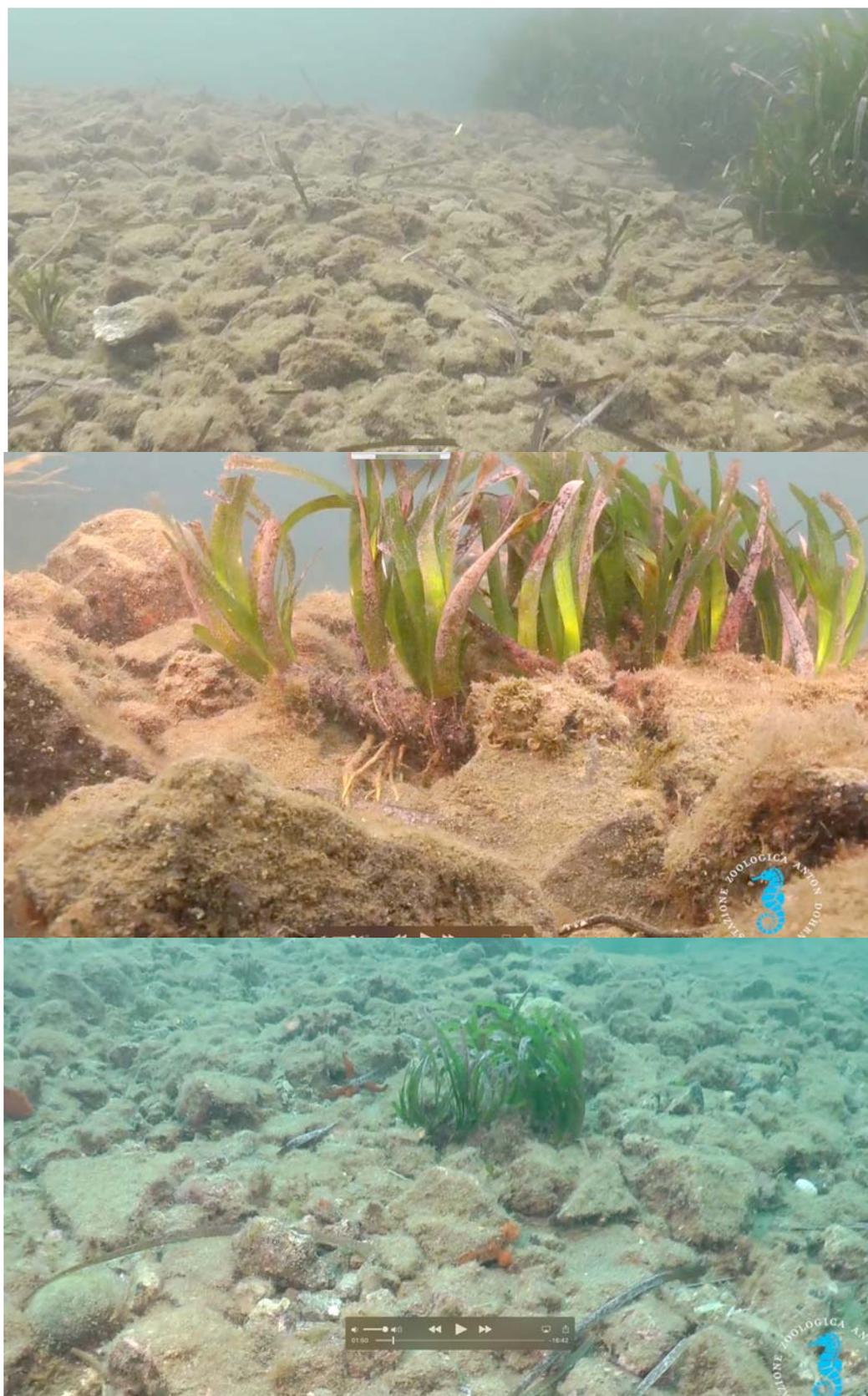


Figura 6b - Progressivo insediamento di talee di *Posidonia* sul tracciato.



Figura 6c - Sviluppo dei rizomi insediatisi sul tracciato.



Figura 7 - Colonizzazione stabile di nuove piante di *Posidonia*.

Il successo del processo non è testimoniato soltanto dal maggiore numero di ciuffi sul tracciato ma anche dalla loro crescita attiva e continua (Figura 7).

La colonizzazione di nuove piantine non ha avuto successo dove il substrato era rappresentato dalla nuda sabbia (Figura 8a) o dove comunque la movimentazione del fondo è più cospicua (Figura 8b).



Figura 8a - Mancanza di nuovi arrivi stabili sulla sola sabbia.



Figura 8b - Tratto di tubo (P4) non più coperto, né dal pietrisco né dalla sabbia.



In sintesi, lungo il tracciato si osserva che:

1. nel tratto P1-P2, dove il pietrisco ha le dimensioni maggiori, la copertura di epibionti animali e vegetali è stata massima. Grazie alla minore sospensione di materiale fine nella colonna d'acqua (in una zona dove la movimentazione dei mezzi nautici è molto alta) l'intensità luminosa è probabilmente più costante nell'arco delle ore diurne. Inoltre, l'effetto abrasivo provocato dalla frequente movimentazione delle sabbie in questo tratto è sicuramente minore grazie alle maggiori dimensioni del materiale usato per coprire l'escavo. Queste due circostanze sembra abbiano favorito l'instaurarsi delle condizioni edafiche migliori per il successo di impianto di talee di *Posidonia*, arrivate in zona dopo il loro distacco dalla prateria adiacente;
2. nel tratto P2-P3 si osserva ancora una buona densità di insediamenti ma si osserva al contempo un aumento delle radure sabbiose dove non si osservano attecchimenti di *Posidonia*;
3. nel tratto P3-P4 aumentano le radure di sabbia non colonizzate; aumenta l'erosione delle zolle di matte rimaste scoperte;
4. nel tratto P4-P5 il pietrisco è sostituito dalla sabbia la prateria progressivamente scompare.





RACCOMANDAZIONI

1. Così come riportato nelle prescrizioni del decreto autorizzativo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, i risultati delle analisi per la caratterizzazione chimica e fisica dei sedimenti e le caratteristiche delle comunità bentoniche dei quattro siti investigati dovranno essere resi disponibili ad ISPRA ed ad ARPA Campania a cura della Società Ischia Gas s.r.l..
2. I risultati del monitoraggio del ricoprimento della traccia di attraversamento della prateria di Punta S. Pietro dovranno essere comunicati al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare a cura della Società Ischia Gas s.r.l.