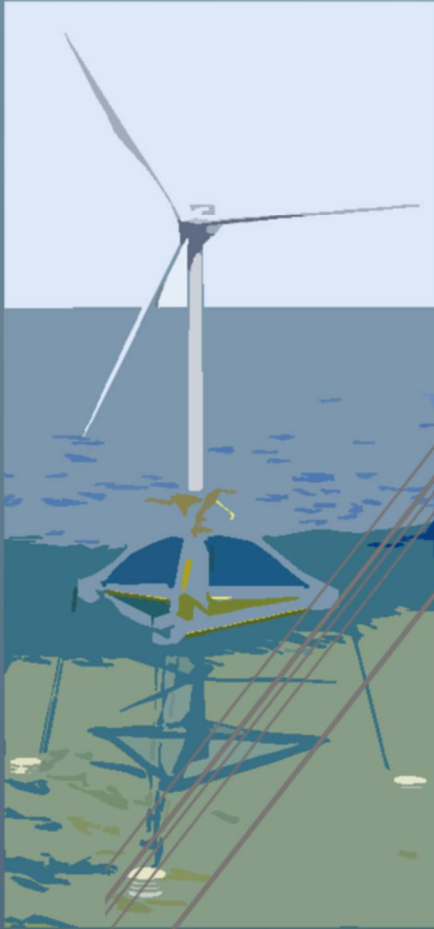




Ichnusa wind power srl

Progetto Definitivo

**PARCO EOLICO FLOTTANTE
NEL MARE DI SARDEGNA
SUD OCCIDENTALE**



UR30

C0421UR30ENVMAR00a

**Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica**

Ministero della Cultura

**Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti**

*Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale
ex D.lgs. 152/2006*

*Domanda di Autorizzazione Unica
ex D.lgs. 387/ 2003*

*Domanda di Concessione Demaniale Marittima
ex R.D. 327/1942*

**RAPPORTO DI MONITORAGGIO E
CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE
DELL'AREA MARINA COSTIERA E OFFSHORE**

Progetto
Dott. Ing. Luigi Severini
Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni
iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

Consulenza





Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Rapporto di monitoraggio e caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera e offshore		
Codice documento: C0421UR30ENVMAR00a	Data emissione: Marzo 2023	Pagina I di I

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
ALLEGATO 1.....	2
Report ambientale CNR: “Caratterizzazione Ambientale delle aree marine nel Mare di Sardegna Sud Occidentale propedeutiche al progetto per la realizzazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante e relative opere di connessione alla rete elettrica di trasmissione nazionale”	
ALLEGATO 2.....	93
Report CoNISMa: “Studio delle biocenosi di pregio posidonieto e habitat a coralligeno”	



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Rapporto di monitoraggio e caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera e offshore		
Codice documento: C0421UR30ENVMAR00a	Data emissione: Marzo 2023	Pagina 1 di 114

1. PREMESSA

Il seguente documento riporta le attività e gli esiti delle campagne di indagine ambientali svolte del CNR-IAS (Consiglio Nazionale delle Ricerche) e del CoNISma (Consorzio nazionale interuniversitario per le scienze del mare) nel periodo 2022, relativamente al “progetto di realizzazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante”, nelle aree marine onshore e offshore nel Mar di Sardegna Sud Occidentale.

L’obiettivo della consulenza scientifica è di caratterizzare in maniera multidisciplinare lo stato attuale degli habitat considerati “prioritari”, quali le praterie di Posidonia oceanica e le biocenosi del coralligeno; a tal scopo sono state effettuate analisi fisico-chimico ed ecotossicologie su campioni di sedimento, la determinazione del macrozoobenthos e l’interpretazione di dati geofisici ottenuti mediante MBES (Multibeam echosounder) e SSS (Side Scan Sonar).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

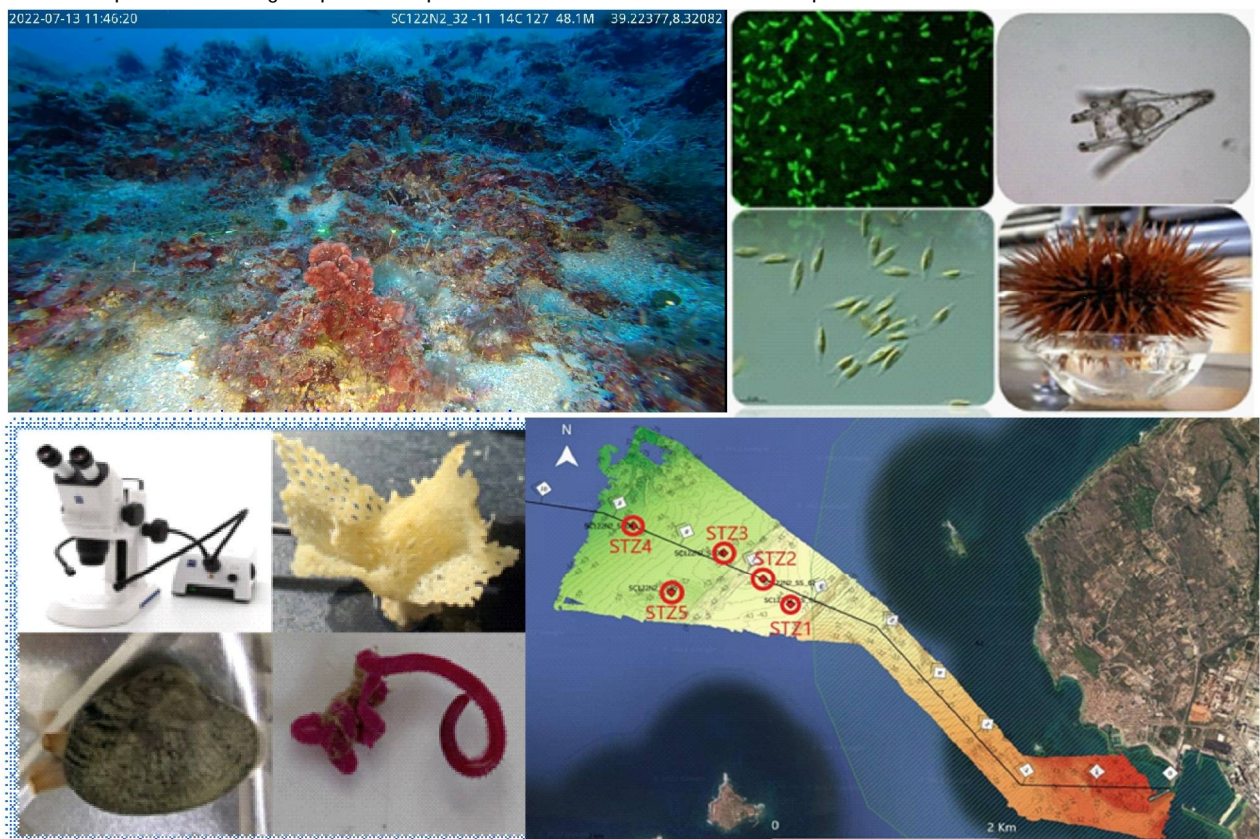
PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Rapporto di monitoraggio e caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera e offshore		
Codice documento: C0421UR30ENVMAR00a	Data emissione: Marzo 2023	Pagina 2 di 114

ALLEGATO 1

Report ambientale CNR: "Caratterizzazione Ambientale delle aree marine nel Mare di Sardegna Sud Occidentale propedeutiche al progetto per la realizzazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante e relative opere di connessione alla rete elettrica di trasmissione nazionale"

Servizio di Caratterizzazione Ambientale delle aree marine nel Mare di Sardegna Sud Occidentale propedeutiche al progetto per la realizzazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante e relative opere di connessione alla rete elettrica di trasmissione nazionale

Contratto di Consulenza del 07/06/2022 tra ILSTUDIO Engineering & Consulting Studio S.R.L e Il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino, prot. 0002479/2022 del 09/06/2022



A cura di:

Paolo Magni, Veronica Piazza, Giorgio Tranchida, Maria Bonsignore, Alessandro Conforti, Fabio D'Agostino, Chiara Gambardella, Francesca Garaventa, Jacopo Giampaolletti, Luigi Glamita, Roberta Miroglio, Vincenzo Tancredi, Seyed Ehsan Vesal, Giovanni De Falco

Oristano, 09 Gennaio 2023

INDICE

1.Introduzione e scopo del lavoro	4
2.Analisi preliminare dei dati disponibili per l'area di intervento sulle biocenosi del mare di Sardegna sud-occidentale	5
2.1 Geologia e geomorfologia della piattaforma sud-occidentale della Sardegna	5
2.2 Distribuzione degli habitat bentonici	6
3.Metodi	10
3.1 Analisi ecotossicologiche sui sedimenti	10
3.1.1 Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino <i>Aliivibrio fischeri</i> in fase solida	12
3.1.2 Saggio di alterazione della crescita algale su <i>Phaeodactylum tricorutum</i> (metodo uni en iso 10253:2006).	14
3.1.3 Saggio di embriotossicità sull'echinoide <i>Paracentrotus lividus</i> .	15
3.1.4 Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino <i>Vibrio fischeri</i> in fase liquida	18
3.2 Analisi delle grandezze fisico-chimiche dei sedimenti	20
3.2.1. Analisi Macroscopica	20
3.2.2. Analisi granulometriche	20
3.2.3. Contenuto d'acqua e peso specifico	20
3.2.4. Determinazione delle concentrazioni dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Pb, Ni, Zn)	21
3.2.5. Determinazione delle concentrazioni di mercurio	21
3.2.6. Determinazione del fosforo totale	21
3.2.7. Determinazione dell'azoto totale	22
3.2.8. Determinazione idrocarburi policiclici aromatici (IPA e PCB)	22
3.2.9. Determinazione idrocarburi alifatici totali (C ₁₂ – C ₄₀)	23
3.2.10. Determinazione idrocarburi alifatici volatili VOC (C<12)	24
3.2.11. Determinazione del TOC (Carbonio organico totale)	24
3.2.12. Determinazione del TBT (tributilstagno)	25
3.2.13. Determinazione dei pesticidi	25
3.3 Analisi del macrozoobenthos di fondo mobile	26
3.4 Interpretazione di linee side scan sonar (sss) e multibeam (mbes) finalizzate alla cartografia dei fondali	28
4.Risultati	29
4.1 Caratterizzazione ecotossicologica sui sedimenti	29
4.1.1. Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino <i>Aliivibrio fischeri</i> su fase solida (sedimento intero).	29
4.1.2. Saggio di inibizione della crescita algale su <i>Phaeodactylum tricorutum</i> (metodo uni en iso 10253:2006).	30
4.1.3. Saggio di embriotossicità su <i>Paracentrotus lividus</i> .	36
4.1.4. Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino <i>Aliivibrio fischeri</i> in fase liquida.	40
4.1.5. Sintesi dei risultati.	43



4.1.6 Conclusioni analisi ecotossicologiche.	45
4.2 Caratterizzazione fisico-chimica dei sedimenti	47
4.2.1 Analisi Macroscopiche.	47
4.2.2 Analisi granulometriche.	51
4.2.3. Contenuto d'acqua e peso specifico.	52
4.2.4 Analisi della concentrazione dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Pb, Ni, Zn) e di Mercurio.	52
4.2.5 Analisi del Fosforo totale e Azoto totale.	52
4.2.6 Analisi degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA e PCB).	53
4.2.7 Analisi degli idrocarburi alifatici totali (c12 – c40) e analisi degli idrocarburi alifatici volatili voc (c<12).	53
4.2.8 Analisi del carbonio organico totale – TOC.	55
4.2.9 Analisi del tributilstagno – TBT.	55
4.2.10 Analisi dei pesticidi.	55
4.2.11 Conclusioni analisi chimico-fisiche dei sedimenti.	57
4.3. Caratterizzazione del macrozoobenthos di fondo mobile	58
4.4 Cartografia degli habitat dei fondali dell'area di indagine	70
4.4.1. Morfotipi	71
4.4.2. Habitat	74
5.Considerazioni finali	75
6. Bibliografia	76
7. Allegati	80

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

Il presente rapporto fa seguito al contratto stipulato tra lo *STUDIO Engineering & Consulting Studio S.R.L* ed il *Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino (IAS CNR)* per l'attività di consulenza scientifica da parte del CNR-IAS per i servizi di Caratterizzazione Ambientale delle aree marine nel Mare di Sardegna Sud Occidentale propedeutiche al progetto per la realizzazione di un impianto eolico di tipo offshore galleggiante e relative opere di connessione alla rete elettrica di trasmissione nazionale. Le attività effettuate sono le seguenti:

- Analisi preliminare dei dati disponibili per l'area di intervento e ricerca bibliografica sulle biocenosi del mare di Sardegna sud-occidentale.
- Analisi ecotossicologiche su campioni di sedimento.
- Analisi fisico-chimiche su campioni di sedimento.
- Analisi del macrozoobenthos di fondo mobile.
- Interpretazione di linee Side Scan Sonar (SSS) e multibeam (MBES) finalizzate alla cartografia dei fondali nella zona definita Near-shore, compresa tra l'area portuale di approdo del link e la zona di fondale di circa 60 m di profondità lungo la fascia di acquisizione dati forniti dallo *Engineering & Consulting Studio S.R.L.*



2. ANALISI PRELIMINARE DEI DATI DISPONIBILI PER L'AREA DI INTERVENTO SULLE BIOCENOSI DEL MARE DI SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE

2.1 Geologia e Geomorfologia della piattaforma sud-occidentale della Sardegna

Il margine occidentale della Sardegna, di tipo divergente, si è strutturato a partire dall'Oligocene-Miocene inferiore in seguito alla formazione del bacino del Mediterraneo occidentale, generato dalla subduzione verso N-NW delle placche Africana e Apula al disotto della placca Europea (Rehault et al., 1984). L'espansione del Mediterraneo occidentale, avvenuta tra 21 e 18 Ma, si è sviluppata secondo tre principali assi: NE-SW nel bacino Liguro-Provenzale, NW-SE nel bacino sardo-balearico e E-W nel bacino Nord Algerino, con la conseguente rotazione antioraria del blocco sardo-corso (Rehault et al., 1984; Thomas et al., 1988; Lecca et al., 1997). La collisione tra la placca Europea e la placca Adriatica ha generato un'importante tettonica trascorrente di età oligo-aquitana, particolarmente evidente nella Sardegna centro-settentrionale, con lineamenti trascorrenti e localmente transpressivi orientati NE-SW e E-W (Oggiano et al., 2009). Nel Burdigaliano medio-superiore si ha un cambiamento del regime deformativo, con una fase distensiva e l'evoluzione del margine occidentale sardo in seguito alla rotazione della microplacca sardo-corsa e l'apertura del bacino di retro-arco Mediterraneo occidentale (Oggiano et al., 2009).

Durante l'Oligo-Miocene si sviluppa un importante vulcanesimo calco-alcalino, che interessa la Sardegna occidentale da Nord a Sud e che ha prodotto successioni vulcaniche con spessori che raggiungono parecchie centinaia di metri. I prodotti del vulcanesimo oligo-miocenico sono colate laviche e cupole di ristagno a composizione da basaltico-andesitica a dacitica e espandimenti ignimbrici a composizione dacitico-riolitica.

A partire dal Miocene inferiore, lungo il margine occidentale sardo si sviluppa un imponente prisma sedimentario progradante verso W, che poggia in discordanza sui depositi più antichi ed è troncato superiormente dalla superficie di erosione messiniana (Sage et al., 2005).

Tra il tardo Miocene ed il Quaternario, il margine ha subito una segmentazione conseguente al regime estensionale collegato con l'apertura del bacino del Tirreno. Nel Pliocene medio superiore sino al Pleistocene, l'evento tettonico più significativo è l'apertura del bacino del Campidano, uno stretto graben con orientazione NW-SE.

Quest'ultima serie di eventi ha portato all'attuale strutturazione del margine, caratterizzato da faglie dirette listriche e faglie trascorrenti, orientate NW-SE e NNE-SSW, (Fais et al., 1996; Thomas et al., 1988; Casula et al., 2001). Questa dinamica estensionale trova riscontro nel ciclo vulcanico plio-quaternario che ha interessato l'intera isola con la produzione di lave basaltiche da alcaline a sub-alcaline (Conforti et al. 2015).

Sulla base del differente assetto morfostrutturale, il margine occidentale sardo può essere suddiviso in tre domini, la scarpata della Nurra, l'anfiteatro di Oristano e la scarpata del Sulcis (Fig. 1.2). Nell'offshore dell'Iglesiente – Sulcis, un sistema di faglie dirette, con andamento NNE-SSW, delimitano verso SW il basamento ercinico e le sue deboli coperture mesozoiche e paleogeniche, formando piccoli semigraben, che ospitano successioni vulcanoclastiche, continentali e neritiche, di età compresa tra l'Oligocene superiore ed il Miocene superiore e le successioni marine del Plio-Pleistocene (Lecca, 2000).

La morfologia marina dell'offshore dell'Iglesiente – Sulcis risente di questo forte controllo strutturale: il profilo dell'intera piattaforma è costituito da un ripiano costiero, localizzato tra i -20 m ed i -70 m di profondità, un debole pendio immergente verso Ovest, localizzato tra i -70 m ed i 120 m di profondità, una fascia di transizione alla piattaforma esterna e la piattaforma esterna stessa, costituita da un esteso pianoro, limitato verso la scarpata da un ciglio erosivo e deposizionale, ubicato intorno ai -200 m di profondità.

I corpi riflettenti sommersi costituenti il margine occidentale sardo sono stati studiati da diversi Autori a partire dagli anni '70, sulla base dell'interpretazioni di profili sismici mono e multicanale, con diverso grado di risoluzione e penetrazione (Lecca et al., 1983; Lecca et al., 1987; Carboni et al., 1989; Lecca, 2000; Sage et al., 2005, Conforti et al., 2015, De Falco et al., 2015a, De Falco et al., 2015b, Brambilla et al., 2019, Deiana et al., 2021, De Falco et al., 2022)

Le coperture sedimentarie superficiali sono state estesamente cartografate nel settore centrale del margine occidentale sardo, utilizzando dati geofisici e verità-mare provenienti dal campionamento dei sedimenti (De Falco et al, 2015a, Brambilla et al., 2019, Deiana et al., 2021).

La piattaforma continentale presenta una scarsa copertura di sedimenti attuali, con apporti limitati provenienti dall'entroterra. I depositi trasgressivi associati all'ultimo innalzamento del livello del mare sono caratterizzati da sabbie silicoclastiche e sabbie bioclastiche carbonatiche (Carboni, et al., 1989; De Falco et al., 2015a) in piattaforma, mentre lungo la piattaforma esterna è presente un drappeggio di sedimenti fini sovrastanti depositi più antichi (Carboni et al., 1989). I sedimenti silicoclastici più grossolani derivano principalmente dalla rielaborazione di sedimenti alluvionali depositi in condizioni di livello del mare basso, mentre i sedimenti carbonatici derivano dalla produzione intrabacino e dalla rielaborazione di gusci scheletrici da parte degli ecosistemi marini. (De Falco et al., 2015a).

2.2 Distribuzione degli habitat bentonici

Sono stati catalogati i dati relativi alla distribuzione spaziale degli habitat di fondo mare derivanti da precedenti studi, e forniti al committente in formato vettoriale (shape-file)

I dati relativi alla distribuzione spaziale degli habitat di fondo mare derivano da tre fonti principali: (i) la mappatura delle praterie di fanerogame marine e degli habitat effettuata dal Ministero dell'Ambiente nel 2001 (Sistema Difesa del Mare, 2005); (ii) la Carta Geologica d'Italia (parte a mare) in scala 1:50.000 (AA.VV. note Illustrative dei Fogli 555- Iglesias, 564-Carbonia e 563-Isola di San Pietro); (iii) la cartografia dell'habitat a coralligeno effettuato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (De Falco et al., 2022).

La mappatura delle praterie di fanerogame effettuata dal Ministero dell'Ambiente (2001), è stata eseguita attraverso l'utilizzo di rilievi mediante Side Scan Sonar, verità-mare in immersione e analisi di foto aeree, ed ha consentito di ottenere una cartografia in scala 1:25.000 (1:10.000 per le aree marine protette) in cui sono stati identificati e cartografati i morfotipi associati alle biocenosi bentoniche presenti tra 0 e circa 50 m di profondità. Un estratto della cartografia delle biocenosi bentoniche (Ministero dell'ambiente, 2001) nel settore costiero oggetto dello studio è riportato in **FIGURA 1**. Sono stati identificate e delimitate le aree con Prateria di *Posidonia oceanica* su matte-sabbia, prateria di *Posidonia oceanica* su roccia, aree a fondi duri, sabbie fini e sabbie grossolane.



Cartografia delle biocenosi bentoniche Ministero dell'Ambiente (2001)

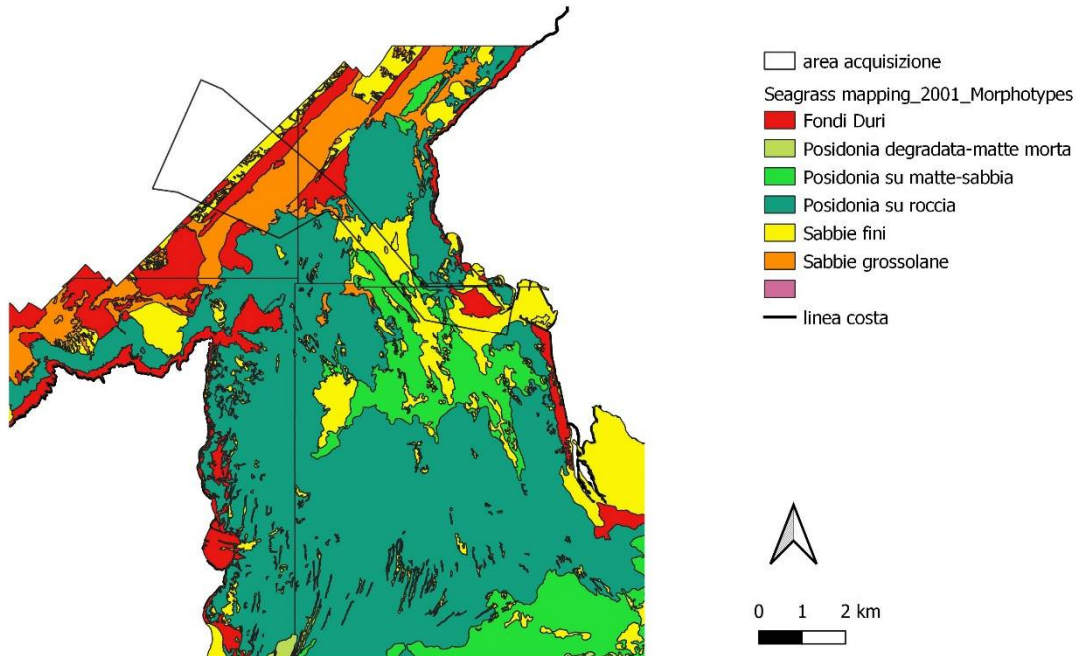


FIGURA 1. Distribuzione delle biocenosi bentoniche sulla base della mappatura effettuata dal Ministero dell'Ambiente (2001)

La cartografia geologica dell'ISPRA (<https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/>), fogli 555-Iglesias, 563 -Isola di San Pietro, 564-Carbonia, in scala 1:50.000, riporta la distribuzione delle aree con praterie di fanerogame (senza la differenziazione della tipologia di substrato), le aree con substrato vulcanico indifferenziato e una caratterizzazione delle tipologie di coperture sedimentarie presenti nel fondo mare, comprendenti sabbie silicoclastiche, sabbie ghiaiose-biogeniche e sabbie miste **FIGURA 2.**

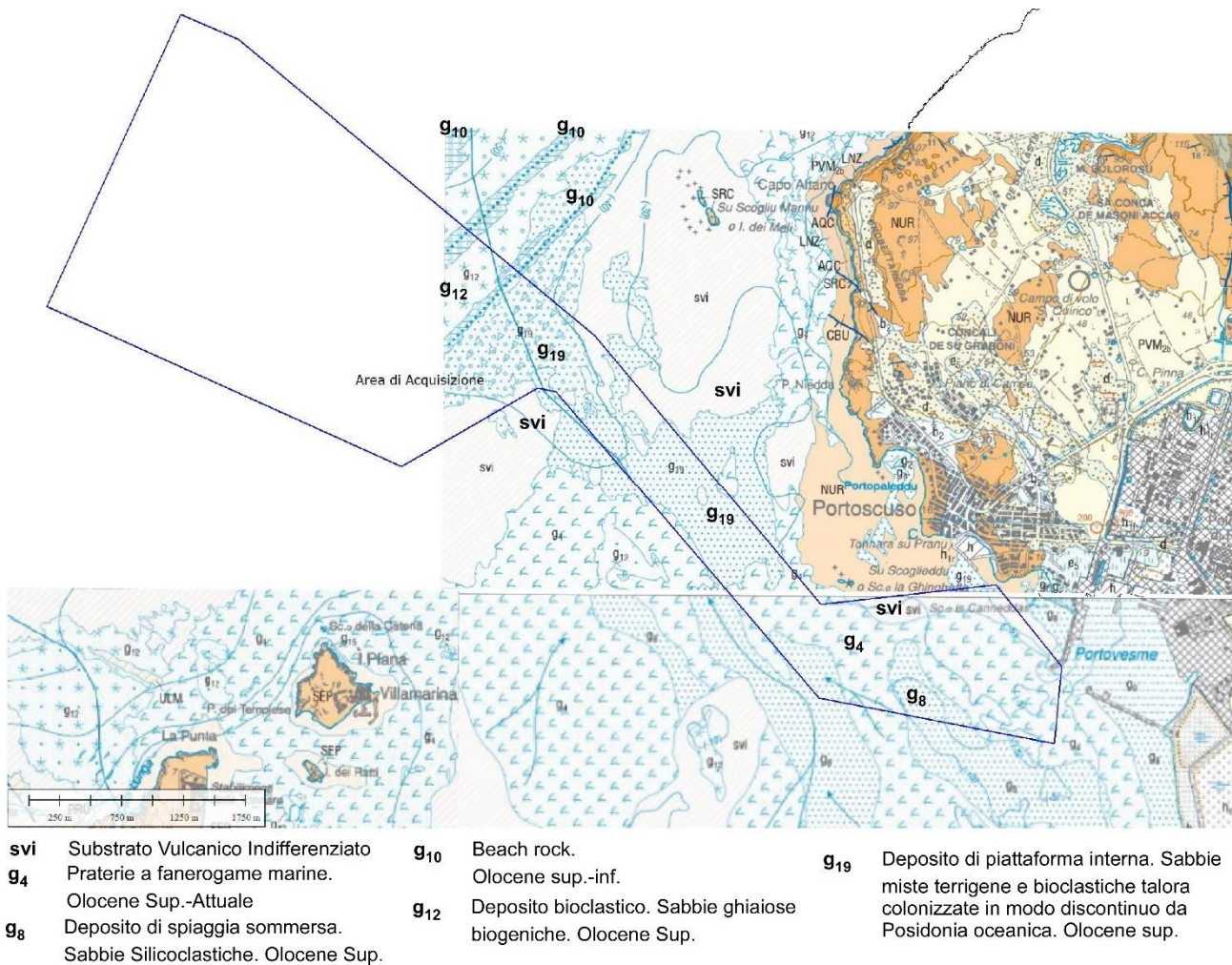


FIGURA 2. Cartografia geologica (CARG, 1:50.000) dell'area di studio.

La cartografia del coralligeno è disponibile solo per un settore molto limitato dell'area in studio (area a Nord a partire da circa 40-50 m di profondità). Le diverse cartografie e studi effettuati nel corso degli ultimi 20 anni sono sintetizzati nella cartografia degli habitat prioritari riportata in **FIGURA 3**, dove sono rappresentati l'habitat a coralligeno (1120) e l'habitat a Posidonia oceanica (1170).



Habitat Protetti

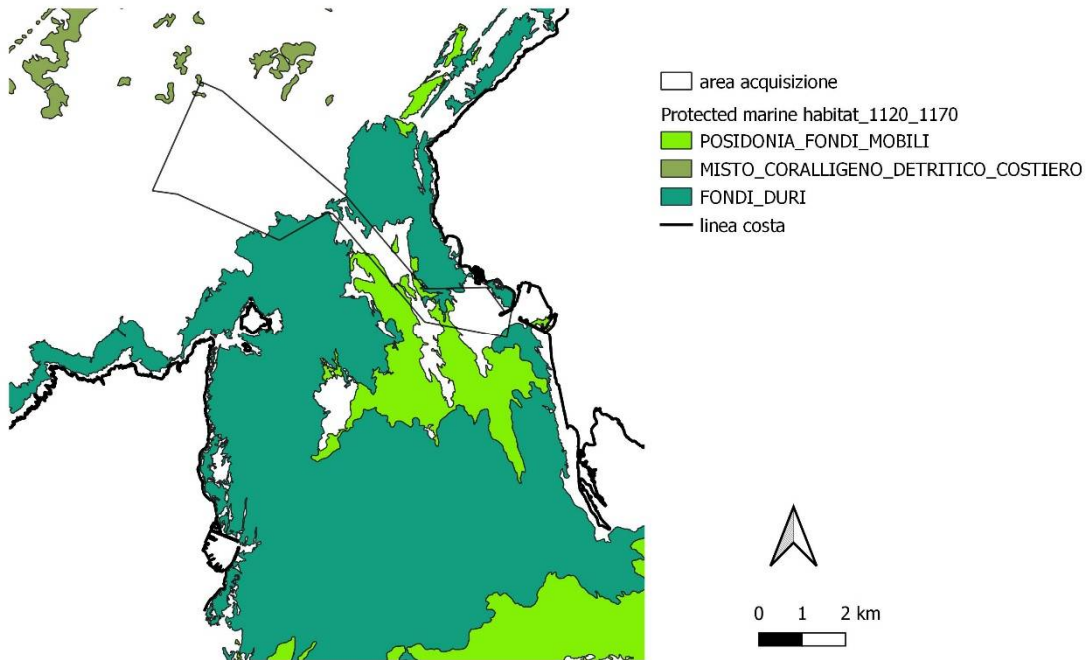


FIGURA 3. Cartografia dell'estensione degli habitat marini protetti 1120 e 1170, secondo i dati disponibili prima del presente studio.

3. METODI

3.1 Analisi ecotossicologiche sui sedimenti

La caratterizzazione ecotossicologica dei sedimenti è stata eseguita applicando una batteria composta da tre biosaggi eseguiti utilizzando tre organismi modello differenti, appartenenti a diversi livelli trofici (batteri, microalghe ed invertebrati). Tale approccio serve a garantire una buona sensibilità nella risposta nei confronti della matrice ambientale indagata (sedimento).

La scelta dei biosaggi da inserire nella batteria è stata condotta sulla base di quanto riportato nell'Allegato Tecnico del Decreto attuativo dell'art. 109, comma 2 lettera a) del D.lgs. 152/2006 (G.U. del 06/09/2016). Anche se l'applicazione di tale decreto è prevista per la valutazione ecotossicologica di sedimenti prelevati durante le attività di dragaggio in ambiente portuale e la caratterizzazione oggetto del presente contratto non rientrava pertanto nell'ambito della normativa sopra citata, è stato scelto comunque di fare riferimento all'Allegato Tecnico del Decreto in quanto rappresenta un importante riferimento normativo per la caratterizzazione ecotossicologica dei sedimenti.

Nello specifico, le analisi ecotossicologiche hanno previsto l'allestimento di una batteria di tre biosaggi, eseguiti su tre diversi organismi appartenenti a gruppi tassonomici distinti. I biosaggi sono stati applicati uno sulla frazione solida (sedimento intero) e due sulla frazione liquida (elutriato 1:4) dei campioni di sedimento.

La batteria finale selezionata risulta quindi essere composta dai seguenti saggi biologici:

- Il saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino *Aliivibrio fischeri* (ISPRA – Quaderni Laboratorio 4/2021) per la frazione solida (sedimento intero). Tale saggio indaga la tossicità acuta (30 minuti) e viene eseguito sulla frazione solida del sedimento in esame ;
- Il saggio di inibizione della crescita algale su *Phaeodactylum tricornutum* (protocollo UNI EN ISO 10253:2006) per la frazione liquida (elutriato 1:4). Tale saggio prevede la valutazione della inibizione della crescita algale dopo 72 ore di esposizione statica al campione in esame (elutriato 1:4);
- Il saggio di embriotossicità sull'echinoide *Paracentrotus lividus* (ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017) per la frazione liquida (elutriato 1:4). In questo test vengono considerati gli effetti del campione in esame (elutriato 1:4) sullo sviluppo degli embrioni dopo 72 ore di esposizione.

Per i campioni di sedimento identificati con le sigle 01, 02 e 03 (**FIGURA 4**), la granulometria grossolana del sedimento (contenuto di ghiaia tra il 43 ed il 90%), determina l'impossibilità ad eseguire il saggio sulla fase solida (anche in considerazione di possibili falsi positivi). Pertanto, la prova su fase solida è stata sostituita da un ulteriore saggio eseguito con l'organismo modello *A.fischeri*, utilizzando come matrice l'elutriato 1:4 del sedimento, secondo il protocollo ISO 11348-3:2007 "Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test)".

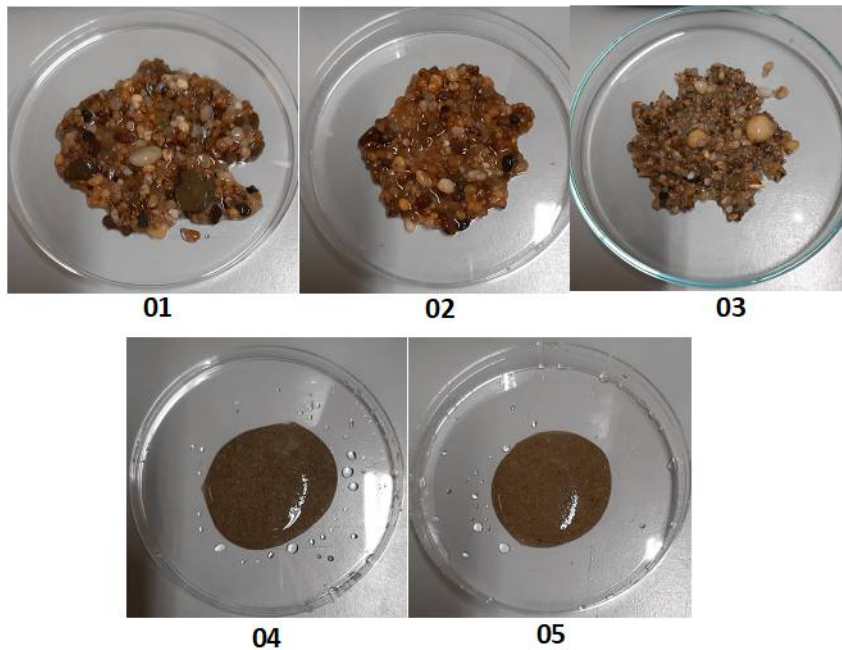


FIGURA 4: Aliquota dei campioni 01, 02, 03,04 e 05 dove si evidenzia la granulometria grossolana dei campioni 01, 02 e 03

Nella **Tabella 1** viene riportato quale batteria di biosaggi è stata applicata per ogni campione di sedimento analizzato.

Tabella 1: composizione della batteria di biosaggi per i 5 campioni sottoposti alla caratterizzazione ecotossicologica.

Sigla campione	Fase solida (sedimento intero)	Fase liquida (elutriato 1:4)	Fase liquida (elutriato 1:4)	Fase liquida (elutriato 1:4)
	<i>A. fischeri</i>	<i>A.fischeri</i>	<i>P. tricorntutum</i>	<i>P. lividus</i>
01		X	X	X
02		X	X	X
03		X	X	X
04	X		X	X
05	X		X	X

I test sono stati effettuati presso i laboratori dell'Istituto per lo Studio degli Impatti Antropici e sostenibilità in ambiente marino del CNR di Genova nel periodo compreso tra il 21/09/2022 ed il 04/10/2022.

A seguito vengono riportate nel dettaglio le modalità di esecuzione dei tre biosaggi.

3.1.1 Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino *Aliivibrio fischeri* in fase solida

Il saggio di tossicità acuta con il batterio marino *Aliivibrio fischeri* è stato applicato sulla frazione solida del sedimento; tale test è stato eseguito sul sedimento "fresco", ovvero entro 14 giorni dal prelievo dei campioni. La prova consiste in un test biologico di tossicità acuta che basa il proprio principio sulla bioluminescenza naturale che caratterizza il batterio marino *A. fischeri*. Poiché in presenza di contaminanti l'emissione di luce diminuisce, la misura dell'eventuale inibizione della bioluminescenza, a seguito dell'esposizione del batterio ad una sostanza nota o ad un campione naturale di acqua o sedimento, consente di valutare il grado di tossicità acuta della sostanza o della matrice testata. L'emissione della bioluminescenza viene misurata all'interno del luminometro da laboratorio Microtox® M500, dotato di pozzetti termostatati. E' stato applicato il protocollo descritto nel Quaderno ISPRA 4/2021 "Procedura operativa del saggio in fase solida mediante *Aliivibrio fischeri*"; nel dettaglio sono state eseguite 9 diluizioni di ciascun campione in esame più 3 controlli. Il test prevede una prima esposizione di 20 minuti durante i quali i batteri si trovano a diretto contatto con il sedimento e una seconda fase di ulteriori 10 minuti in cui la risospensione batterica filtrata viene incubata nel luminometro a 15°C. La relazione dose-effetto, ovvero la concentrazione del campione di sedimento che determina l'inibizione della bioluminescenza, viene elaborata mediante un software (Omnissoftware®), che consente di individuare il valore di EC₅₀, ossia la concentrazione del campione cui corrisponde una riduzione della bioluminescenza pari al 50% rispetto al controllo. Nel dettaglio, i parametri del saggio sono riportati nella tabella a seguito (**Tabella 2**).

Tabella 2: Sintesi delle condizioni del test di tossicità acuta con *Aliivibrio fischeri*.

Parametri del test	Condizioni del test
Organismo modello	<i>Aliivibrio fischeri</i> , strain NRRL B-11177
Tipologia del test	Statico, 30 minuti di esposizione
Matrice	Sedimento tal quale (frazione solida)
Temperatura	15 ± 0,5 °C
Contenitori per la lettura	Cuvette in vetro monouso
Volume di soluzione per l'esposizione	1,5 ml
Volume di soluzione per la lettura	500 µl
Inoculo	20 µl di soluzione di batteri ricostituita
Illuminazione	assente
Numero di diluizioni del campione	9
Numero di controlli	3
Effetto indagato	Riduzione della bioluminescenza
End-point	EC50 (concentrazione del campione cui corrisponde una riduzione della bioluminescenza pari al 50% rispetto al controllo)
Tossico di riferimento	3,5 diclorofenolo

3.1.2. Saggio di alterazione della crescita algale su *Phaeodactylum tricornutum* (metodo UNI EN ISO 10253:2006)

Organismo modello

P. tricornutum è una diatomea appartenente al genere *Phaeodactylum*. Questa alga può essere facilmente allevata in laboratorio; la sua morfologia la rende particolarmente adatta ai fini del conteggio tramite emocitometro (Camera di Burkner) poiché *P. tricornutum* non forma aggregati o catene. La sua crescita è sufficientemente rapida da poterne misurare la crescita dopo 72 ore di incubazione, ed è una specie moderatamente sensibile alle sostanze tossiche.

Metodologia del Test - Principio

La fitotossicità viene tradizionalmente valutata mediante test algali in fiasche (USEPA, 1987). Tuttavia, più recentemente è stata introdotta la tecnica che utilizza micropiastre per valutare la tossicità algale su varie specie di acqua dolce e salata (UNI EN ISO 10253:2006).

Culture in fase di crescita esponenziale di *P. tricornutum* vengono esposte in micropiastre in un sistema statico, in condizioni controllate di temperatura e luce. La crescita delle alghe esposte alla soluzione saggiata viene comparata con la crescita algale del controllo dopo un periodo di tempo definito (pari a 72 ore). Una sostanza viene considerata tossica quando si verifica una inibizione della crescita algale dose-dipendente statisticamente significativa.

Allestimento della coltura algale

Le alghe vengono allevate e mantenute in laboratorio in condizioni controllate di illuminazione e temperatura. La coltura algale viene mantenuta a 20 ± 1 °C in condizioni di luce continua. Le fiasche contenenti le alghe devono essere poste su di un agitatore in continuo a 100 rpm oppure agitate manualmente almeno due volte al giorno. Sono necessari da 3 a 5 giorni affinché la coltura raggiunga la fase di crescita esponenziale (e possa quindi essere utilizzata per allestire il test); quando tale fase viene raggiunta la coltura assume il colore verde. Le colture algali devono essere rinnovate almeno una volta alla settimana, al fine di assicurare un regolare ricambio di cellule algali in crescita. Il rinnovo della coltura viene effettuato ponendo (in condizioni di sterilità) 4 ml di coltura algale in una fiasca pulita contenente 100 ml di terreno di coltura.

Preparazione dell'elutriato

Gli elutriati sono stati preparati secondo la metodologia EPA (2001) descritta a seguito. Un'aliquota di sedimento viene prelevata ed unita, in una beuta, ad acqua di mare naturale filtrata (0.22 µm FNSW) in un rapporto 1:4, inteso come 1 parte di sedimento + 3 parti di acqua. Successivamente le beute vengono poste su un agitatore orbitale per 1 ora (T=20 °C, buio). La miscela acqua/sedimento viene quindi centrifugata a 3000 rpm per 10 minuti, il surnatante viene prelevato e filtrato con filtro sterile da 0.22 µm. Tale preparato rappresenta l'elutriato tal quale (100%, ovvero non diluito) e viene conservato al buio a 4 °C. Il test di inibizione della crescita algale viene allestito entro 24 ore dalla preparazione dell'elutriato. In alternativa, l'elutriato può essere conservato a -20°C fino all'allestimento della prova.

Metodo

I test sono stati eseguiti in accordo con il protocollo UNI EN ISO 10253 (2006). Culture di *P. tricornutum* in fase di crescita esponenziale vengono esposte a differenti diluizioni dell'elutriato di sedimento (12.5 – 25



– 50 – 100%) utilizzando piastre multi pozzetto in polistirene (sistema statico). In ogni pozzetto vengono posti 3000 µL di soluzione testata (ovvero elutriato alle differenti diluizioni) e 300 µL di inoculo algale ad una concentrazione iniziale pari a 10,000 cell/mL.

Le piastre multipozzetto vengono poi mantenute a 20 ± 1 °C in condizioni di luce continua per 72 ore, trascorse le quali la concentrazione algale (numero di cellule/ml) viene conteggiata in ogni pozzetto mediante un emocitometro (Camera di Burkner), utilizzando un microscopio invertito. Il numero di cellule algali all'interno dei pozzetti contenenti la soluzione testata (elutriato) e le sue diluizioni viene comparato con il numero di cellule algali nel controllo. Vengono eseguite tre repliche per ogni diluizione e per il controllo. L'end-point finale consiste nella alterazione della crescita algale rispetto al controllo.

Tabella 3: Sintesi delle condizioni del test di inibizione della crescita algale con *P. tricorutum*

Parametri del test	Condizioni del test
Organismo modello	<i>Phaeodactylum tricorutum</i>
Tipologia del test	Statico, 72 ore di esposizione
Matrice	Elutriato (1:4)
Temperatura	20 ± 1 °C
Contenitori per l'esposizione	Piastre multipozzetto in polistirene
Volume di soluzione per l'esposizione	3 ml
Inoculo algale	300 µl
Illuminazione	luce bianca continua (6000 – 10000 lx)
Range di diluizioni del campione di elutriato	12.5 – 25 – 50 – 100 %
Numero di controlli	1 (n° 3 repliche)
Effetto indagato	Alterazione della crescita algale
End-point	% alterazione della crescita algale rispetto al controllo
Tossico di riferimento	Bicromato di Potassio

3.1.3. Saggio di embriotossicità sull'echinoide *Paracentrotus lividus*



L'affidabilità del riccio di mare come bioindicatore è riconosciuta a livello mondiale e già negli anni '80 i test di fecondazione e di sviluppo embrionale sono stati inclusi nella lista ICES (1997) dei test biologici più attendibili per il monitoraggio dell'inquinamento marino. Procedure standard per i test di fecondazione e di sviluppo embrionale sono state messe a punto per le specie della costa orientale (*Arbacia punctulata*, *Strongylocentrotus droebachiensis*) e per quelle della costa occidentale (*Strongylocentrotus purpuratus*, *Strongylocentrotus droebachiensis*, *Dendraster excentricus*) degli Stati Uniti (USEPA, 1994, 1995, 2000; ASTM, 1995, 2004) e per il Canada (Environment Canada, 1992). In Italia, la specie autoctona *Paracentrotus lividus*, ha trovato applicazione in campo ecotossicologico in particolare per quanto riguarda lo studio degli effetti sulla fecondazione e sullo sviluppo embrionale (difetti nello sviluppo e aberrazioni mitotiche) di sostanze pure e di effluenti. Il saggio biologico con *P. lividus* può essere impiegato sia nella valutazione della qualità di matrici ambientali (acque e sedimenti marini) sia nella stima della tossicità di sostanze o preparati solubili in acqua di mare. In particolare, per quanto riguarda i sedimenti marini esso è compatibile con l'acqua interstiziale e l'elutriato.

Campioni testati

L'elutriato ottenuto da ciascun campione di sedimento (per l'ottenimento vedere paragrafo 1 precedente) è stato testato tal quale (100%) e diluito al 50, 25 e 12,5 % con acqua di mare (0.22µm FNSW).

Raccolta degli organismi adulti

Esemplari adulti di *P. lividus* sono stati prelevati da fondali rocciosi del litorale di Genova in una zona distante da fonti di inquinamento antropico (scarichi urbani e industriali).

I ricci vengono raccolti ad una profondità tra 1 e 3 m e posti in un contenitore di plastica e ricoperti con abbondante carta bibula umida per minimizzare lo stress da trasporto ed evitare così possibili emissioni di gameti. In laboratorio gli esemplari vengono posti in una camera termostata, in acquari di vetro contenenti acqua di mare raccolta nello stesso sito di campionamento degli organismi e dotati di un sistema di aerazione e di filtraggio (20 individui per 100 l di acqua). Giornalmente vengono controllati temperatura (16±1°C), salinità (34‰ - 38‰), pH (7,8-8,2), ammoniaca e nitrati. I ricci sono stabulati negli acquari, prima dell'esecuzione del test, per almeno una settimana.

Modalità di esecuzione del test di embriotossicità

Gameti maschili e femminili di *P. lividus* vengono ottenuti da esemplari adulti e successivamente uniti in sospensione in un rapporto spermatozoi:uova di 10:1. Il beaker contenente la sospensione uova/spermatozoi viene incubato a 18±1°C per circa 20 min, tempo necessario affinché possa avvenire la fecondazione delle uova.

Il saggio di embriotossicità viene eseguito esponendo 1 mL di soluzione di uova fecondate a 9 mL della soluzione test (elutriato di sedimento alle diverse diluizioni) posti in piastre multipozzetto. Tali piastre vengono conservate al buio a 18°C±1 per 72 ore. Il rapporto sperma:uova adottato è di 15000:1 con 1000 uova in 10 ml di soluzione test. Il campione dell'elutriato di sedimento è stato testato tal quale (100%) e diluito al 50, 25 e 12,5%, allestendo 3 repliche per ciascun campione.

In condizioni normali, gli zigoti si sviluppano e raggiungono lo stadio larvale pluteo-4 braccia (P4) in 48h, il tempo di esposizione scelto per il test (72h), garantisce che tutti gli zigoti raggiungano lo stadio di larva (P4) nel controllo negativo (ovvero controllo in acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm). Trascorse 72 ore dall'allestimento, vengono aggiunte poche gocce di una soluzione fissativa di (Lugol al 5%) in ciascun pozzetto, e si procede con la stima dell'end-point (larve che presentano anomalie nello sviluppo).

La stima della percentuale di plutei normoformati avviene contando 100 larve per ciascuna replica. Per ottenere una stima più accurata degli effetti embriotossici, è stata effettuata una distinzione tra le differenti tipologie di anomalie dello sviluppo, distinguendo tra plutei malformati, ovvero larve sviluppate

ma che presentano malformazioni scheletriche e/o all'apparato digerente, e fasi pre-larvali di blastula, gastrula, prisma e pluteo precoce, che si sono bloccate prima del raggiungimento del completo sviluppo.

Elaborazione dei risultati

L'effetto della sostanza testata, ovvero dell'elutriato di sedimento, viene rilevato dalla percentuale di plutei normoformati rispetto a un controllo di acqua di mare (controllo negativo). Il test viene considerato accettabile se la percentuale dei plutei normoformati nel controllo negativo è superiore all'80%. Applicando la formula di Abbott (Finney, 1971), la percentuale plutei malformati in ogni replica viene confrontata e normalizzata rispetto al controllo.

$$\text{Abbott} = (X-Y)/(100-Y) \cdot 100$$

X=% di plutei malformati nel campione (elutriato di sedimento)

Y=% di plutei malformati nel controllo

L'end-point finale consiste nel conteggio del numero di larve malformate; vengono quindi calcolati i valori di EC₅₀ ovvero le diluizioni di elutriato in grado di determinare una presenza di larve malformate rispettivamente pari al 50% rispetto al controllo.

Tabella 4: Sintesi delle condizioni del test di embriotossicità su *Paracentrotus lividus*.

Parametri del test	Condizioni del test
Organismo modello	<i>Paracentrotus lividus</i>
Tipologia del test	Statico, 72 ore di esposizione
Matrice	Elutriato (1:4)
Temperatura	18 ± 1 °C
Contenitori per l'esposizione	Piastre multipozzetto in polistirene
Volume di soluzione per l'esposizione	10 ml
Illuminazione	Fotoperiodo L:D 14:10 (500-600 lx)
Range di diluizioni del campione di elutriato	12.5 - 25 - 50 - 100 %
Numero di controlli	1 (n° 3 repliche)
Effetto indagato	Percentuale di larve (plutei) normoformate
End-point	EC ₅₀ (diluizione di elutriato cui corrisponde una presenza di larve malformate pari al 50% rispetto al controllo)
Tossico di riferimento	Cu(NO ₃) ₂ x 3H ₂ O (1000 mg/l)

3.1.4. Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino *Vibrio fischeri* in fase liquida

Il saggio che utilizza il batterio bioluminescente *Vibrio fischeri* viene proposto per determinare gli effetti tossici a breve termine (30 minuti) di campioni d'acqua (elutriato 1:4). Tale prova, così come quella condotta su fase solida (Paragrafo 1), consiste in un test biologico di tossicità acuta che basa il proprio principio sulla bioluminescenza naturale che caratterizza il batterio marino *V. fischeri*. In questo caso è stato applicato il protocollo Microtox® M500 secondo la procedura ISO 11348-3:2007 Water Quality. Nel dettaglio il test ha prevede l'applicazione del protocollo "dose-risposta", nel quale il campione viene saggiato tal quale (90%) e diluito con acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (FNSW) nel seguente range: 5.6-11.2-22.5-45% (è stato allestito inoltre un controllo ovvero FNSW). Per ogni diluizione del campione è stata eseguita una sola replica. In particolare, un volume pari ad 900 µl di campione viene posto nelle cuvette all'interno dei pozzetti del luminometro, e viene aggiunto un inoculo di sospensione batterica (100 µl). Dopo un tempo di incubazione pari a 30 minuti (T= 15°C) si procede con la misurazione al luminometro dell'intensità luminosa emessa dai batteri. La variazione della bioluminescenza rispetto al controllo viene misurata ed elaborata mediante un software (Omnisoftware®), che consente di individuare il valore di EC₅₀,



ossia la concentrazione del campione cui corrisponde una riduzione della bioluminescenza pari al 50% rispetto al controllo. Nel dettaglio, i parametri del saggio sono riportati nella tabella a seguito (**Tabella 5**).

Tabella 5: Sintesi delle condizioni del test di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*.

Parametri del test	Condizioni del test
Organismo modello	<i>Vibrio fischeri</i> , strain NRRL B-11177
Tipologia del test	Statico, 30 minuti di esposizione
Matrice	acqua
Temperatura	15 ± 0,5 °C
Contenitori per la lettura	Cuvette in vetro monouso
Volume di soluzione per l'esposizione	1,5 ml
Volume di soluzione per la lettura	900 µl
Inoculo	100 µl di soluzione di batteri ricostituita
Illuminazione	assente
Numero di diluizioni del campione	5
Numero di repliche del controllo	1
Effetto indagato	Riduzione della bioluminescenza
End-point	Percentuale di effetto del campione (rispetto al controllo)
Tossico di riferimento	3,5 diclorofenolo

3.2 Analisi delle grandezze fisico-chimiche dei sedimenti

3.2.1. Analisi Macroscopica

I campioni di sedimento, denominati: 01, 02, 03, 04 e 05, sono stati sottoposti all'analisi macroscopica (analisi visiva e olfattiva) che ne descrive le seguenti caratteristiche:

- Colore (Munsell Soil Color Charts 2009);
- Odore;
- Presenza di bioclasti;
- Presenza di concentrazioni;
- Residui di origine naturale o antropica.

3.2.2. Analisi granulometriche

In fase preliminare, tutti i campioni sono stati trattati con una soluzione di perossido di idrogeno (30% w/v – 100 vol) ed acqua distillata in proporzione 1: 4 per 24 – 48 ore per l'eliminazione della sostanza organica e sottoposti a ripetuti lavaggi con acqua distillata per l'allontanamento di sali cementati "principalmente cloruro di sodio" (Buchanan J.B., 1984).

Il campione ben lavato viene successivamente messo in stufa ed essiccato ad una temperatura di 70° C e poi sottoposto a quartatura per mezzo di un apposito quartatore rotante al fine di ottenere un'aliquota di campione rappresentativo.

I campioni sono stati analizzati mediante setacciatura a secco utilizzando una pila di setacci a maglia quadrata con luce gradualmente decrescente verso il basso di $\phi/2$ e compresa tra 11,2 mm ($-3,485\phi$) e 63 μm (4ϕ).

I dati ottenuti sono stati informatizzati utilizzando il software "Fritsch Particle Sizer AUTOSIEB/A20" che permette la costruzione dell'istogramma di frequenza e della cumulata del campione analizzato.

3.2.3. Contenuto d'acqua e peso specifico

La determinazione del contenuto d'acqua è stata eseguita come riportato nel D.M. 185 del 13.09.99 (metodo II.2): 20 g di sedimento viene posto in un crogiolo, portato in precedenza a peso costante, e posto in stufa a 105 °C per almeno 16 ore. Dopo raffreddamento in essiccatore si determina la percentuale di umidità per differenza di peso.

La determinazione del peso specifico è stata eseguita come riportata nella normativa ASTM D854: Ogni campione di sedimento è stato opportunamente essiccato in stufa a 105 - 110 °C per almeno 16 ore, raffreddato in essiccatore e disgregato in mortaio.

Per ogni misura è stata pesata una aliquota di 10 g di campione ed è stata seguita la procedura utilizzando picnometri da 100 ml.

3.2.4. Determinazione delle concentrazioni dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Pb, Ni, Zn)

La determinazione delle concentrazioni dei metalli è stata effettuata utilizzando uno spettrometro ad emissione atomica con sorgente al plasma (ICP-AES, iCAP7000 Thermo), previa mineralizzazione dei campioni con attacco acido totale in forno a microonde (Milestone ETHOS UP). La mineralizzazione è stata condotta seguendo il metodo Manuale ICRAM (2001-2003) per l'attacco acido totale a caldo dei sedimenti. Una aliquota di circa 0,50 g di campione, essiccato e pestato, è stata posta nei vessels, a cui è stata aggiunta una miscela acida (9 ml di acido nitrico (HNO₃); 3ml di acido cloridrico (HCl), 2 ml di acido fluoridrico (HF) e lasciata a riposo per circa 15 minuti). I campioni sono stati sottoposti ad un ciclo di riscaldamento graduale in 4 step di circa 21 minuti raggiungendo una potenza massima di circa 600 Watt. Una volta raffreddati, a ciascun campione sono stati aggiunti 30 ml di soluzione satura di H₃BO₃ per tamponare l'acido fluoridrico utilizzato nell'attacco e per stabilizzare in soluzione alcuni composti (per es. i fluoruri) che altrimenti precipiterebbero.

Le analisi quantitative in ICP-AES sono state condotte utilizzando una curva di calibrazione esterna costruita interpolando le letture di un bianco e di 6 standard a concentrazione nota ottenuti per diluizione da soluzioni a concentrazione certificata. I parametri operativi dello strumento sono stati scelti in modo da ottenere il massimo rapporto segnale/rumore e le lunghezze d'onda lette per ciascun elemento sono state selezionate sulla base della loro intensità e dell'incidenza delle interferenze. Tutte le procedure di preparazione ed analisi dei campioni sono state effettuate utilizzando cappe chimiche, materiale plastico preventivamente pulito, reagenti con alto grado di purezza, in modo da limitare al massimo il rischio di contaminazione del campione.

La precisione analitica, calcolata sulla base della deviazione standard associata a tre letture consecutive eseguite per ciascun campione (RSD%; n=3) è in generale migliore del 4%. L'accuratezza della procedura di preparazione e della metodica analitica è stata definita utilizzando uno standard di riferimento internazionale (Reference Standard Material, RSM), il PACS-2. Il suo valore, calcolato come differenza % tra il valore trovato e quello certificato, varia tra 1-5%.

3.2.5. Determinazione delle concentrazioni di mercurio

Le concentrazioni di mercurio (Hg) sono state determinate su campioni di sedimento essiccati in stufa a T= 35°C e polverizzati con mortaio d'agata. Le determinazioni sono state eseguite mediante spettrofotometro analizzatore diretto (Direct Mercury Analyzer Tricell DMA-80) in accordo con la metodica analitica EPA 7473. Una matrice certificata (PACS-2; Hg 2.98±0.36 mg/kg⁻¹) è stata analizzata all'inizio e alla fine dell'analisi per verificare la precisione (<6%, RSD%, n=2) della metodica analitica.

3.2.6. Determinazione del fosforo totale

La determinazione delle concentrazioni del fosforo è stata effettuata utilizzando uno spettrometro ad emissione atomica con sorgente al plasma (ICP-AES, iCAP7000 Thermo), previa mineralizzazione dei campioni con attacco acido totale con l'utilizzo del forno a microonde (Milestone ETHOS UP). La mineralizzazione è stata condotta seguendo il metodo UNI EN 16170: 2016 per l'attacco con acido nitrico. Una aliquota di circa 2,0 g di campione, essiccato e pestato, è stata posta nei vessels, a cui è stata aggiunta 10 ml di acido nitrico. I campioni sono stati sottoposti ad un ciclo di riscaldamento graduale di 10 °C al minuto fino a 175 °C per poi rimanerci altri 10 minuti. Le analisi quantitative in ICP-AES sono state condotte utilizzando una curva di calibrazione esterna costruita interpolando le letture di un bianco e di 6 standard a concentrazione nota ottenuti per diluizione da soluzioni a concentrazione certificata. I parametri operativi dello strumento sono stati scelti in modo da ottenere il massimo rapporto segnale/rumore e le lunghezze

d'onda lette per ciascun elemento sono state selezionate sulla base della loro intensità e dell'incidenza delle interferenze. Tutte le procedure di preparazione ed analisi dei campioni sono state effettuate utilizzando cappe chimiche, materiale plastico preventivamente pulito, reagenti con alto grado di purezza, in modo da limitare al massimo il rischio di contaminazione del campione. La precisione analitica, calcolata sulla base della deviazione standard associata a tre letture consecutive eseguite per ciascun campione (RSD%; n=3) è in generale migliore del 5%.

3.2.7. Determinazione dell'azoto totale

Il metodo si basa sull'ossidazione del campione in acido solforico concentrato (metodologia Kjeldahl), per rendere completa la trasformazione dell'azoto organico in azoto minerale, come ulteriore ossidante si è aggiunto perossido di idrogeno. In un pallone Kjeldahl da 300 ml si sono versati 2,5 g del campione di terra fine e si sono aggiunti 11 ml di acido solforico (H₂SO₄) al 96 % con alcune palline di vetro antispruzzo. Successivamente 4 ml di perossido di idrogeno (H₂O₂) 30 % m/m. L'azoto viene distillato in ambiente alcalino e assorbito in una soluzione a titolo noto di acido solforico. L'eccesso di acido solforico viene titolato con soluzione a titolo noto di sodio idrossido, utilizzando come indicatore acido:base (verde di bromocresolo e rosso metile).

3.2.8. Determinazione idrocarburi policiclici aromatici (IPA e PCB)

La determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici nei sedimenti è avvenuta attraverso tre passaggi fondamentali:

- Estrazione degli IPA e PCB (metodo EPA 3546)
- Purificazione (metodo EPA 3620)
- Determinazione con GC/MS e GC/MSMS (metodo EPA8270)

Estrazione:

L'estrazione dai sedimenti è stata effettuata in conformità al metodo EPA 3546. Questo metodo prevede l'uso di una apparecchiatura di microvibrazione per mezzo di ultrasuoni. A tale scopo è stato utilizzato una sonda ad ultrasuoni tipo BANDELIN direttamente immersa nella miscela sedimento solvente per 10 min. A tale scopo sono stati pesati 3 g di campione direttamente in una vial di circa 40ml con 10 ml di Esano:Acetone (80:20). La vial è stata posta in una centrifuga a circa 3000 giri/min per 10 min e il surnatante è stato prelevato e purificato secondo la metodica EPA 3620.

Purificazione:

La purificazione è avvenuta in conformità al metodo EPA 3620.

L'estratto, circa 10 ml di soluzione sono stati concentrati sino a circa 2 ml con l'ausilio di un rotavapor e purificati usando una colonna pre-impaccata tipo cartuccia SPE SIL da 6 ml per 1000 mg precaricata con 1 grammo circa di sodio solfato anidro, per anidrificare l'estratto. Infine la stessa cartuccia SPE è stata eluita con 5 ml di Esano.

La soluzione così purificata è stata portata a secchezza per mezzo di un multi-vapor e, successivamente, aggiunta una soluzione di 1 ml di esano. Una aliquota di 0,2 ml è stata usata per la determinazione degli IPA ed un'altra aliquota di 0,2 ml per i PCB.

A queste aliquote, poste in due vials con micro-insert per GC, sono stati aggiunti in una lo standard interno per gli IPA e nell'altra lo standard interno per i PCB.

Le vials di seguito sono state poste nell'autocampionatore per l'analisi in GC/MS per l'analisi degli IPA e nel GC/MSMS per l'analisi dei PCB.

Determinazione:

La determinazione degli IPA è avvenuta, in conformità al metodo EPA 8270D, usando un GC/MS con gascromatografo TRACE 1310 accoppiato ad uno spettrometro di massa (tipo ISQ), mentre i PCB sono stati determinati per mezzo di un GC/MSMS con gascromatografo TRACE 1310 accoppiato ad uno spettrometro di massa triplo quadrupolo (tipo TSQ 8000).

Le condizioni gascromatografiche usate sono state: iniettore in modalità splitless; temperatura dell'iniettore 280 °C; volume di iniezione 2 µl; il programma di temperatura del forno prevede una temperatura iniziale di 60 °C per 4 minuti, una rampa di 10 °C/min sino a 270 °C e mantenuta per 5 minuti, una rampa di temperatura 20 °C/min sino a 340 °C e mantenuta per 5 min.

La colonna cromatografica usata è stata del tipo capillare DB5-MS di 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm.

Lo spettrometro di massa per la determinazione degli IPA è stato impostato in modalità SIM, mentre per i PCB in modalità SRM.

Quantificazione:

La quantificazione degli IPA e dei PCB è avvenuta per confronto tra l'area sottesa al picco dell'analita, normalizzato con l'area dello standard interno, e la curva di calibrazione dello stesso analita.

3.2.9. determinazione idrocarburi alifatici totali (C12 – C40)

La determinazione degli idrocarburi alifatici nei sedimenti è avvenuta attraverso tre passaggi fondamentali:

- Estrazione degli idrocarburi alifatici totali (TPH = total petroleum hydrocarbon, C12-C40)
- Purificazione
- Determinazione con GC/MS

Estrazione:

L'estrazione dai sedimenti è stata effettuata in conformità al metodo EPA 3546. Questo metodo prevede l'uso di una apparecchiatura di microvibrazione per mezzo di ultrasuoni. A tale scopo è stato utilizzato una sonda ad ultrasuoni tipo BANDELIN direttamente immersa nella miscela sedimento solvente per 10 min. A tale scopo sono stati pesati 3 g di campione direttamente in una vial di circa 40ml con 10 ml di Esano:Acetone (80:20). La vial è stata posta in una centrifuga a circa 3000 giri/min per 10 min e il surnatante è stato prelevato e purificato secondo la metodica EPA 3620.

Purificazione:

La purificazione è avvenuta in conformità al metodo EPA 3620.

L'estratto, circa 30 ml di soluzione è stato purificato dai composti sulfurei ponendo nella stessa provetta circa 200 mg di rame granulare. Dopo essere stato concentrato sino a circa 2 ml con l'ausilio di un rotavapor, è stato purificato dai composti organici polari usando una colonna pre-impaccata tipo cartuccia SPE Florisil da 1000mg/6 ml precaricata con 1 grammi circa di sodio solfato anidro, per anidrificare l'estratto. Infine la stessa cartuccia SPE è stata eluita con 5 ml di esano.

La soluzione così purificata è stata concentrata sino a secchezza, a mezzo rotavapor, ed è stato aggiunto 1 ml di esano contenente 10 ppm di standard interno (5alfa-androstane).

Questa soluzione è stata posta in una vials da 2ml e successivamente nell'autocampionatore del GC/MS.



Determinazione:

La determinazione degli analiti estratti è avvenuta a mezzo GC/MS della Thermo Fisher, gascromatografo FOCUS accoppiato con lo spettrometro di massa DSQII.

Le condizioni gascromatografiche usate sono state: iniettore in modalità splitless; temperatura dell'iniettore 280 °C; volume di iniezione 2 µl; temperatura iniziale 80 °C e mantenuta per 2 minuti; temperatura finale 320 °C e mantenuta per 10 minuti; rampa di temperatura 10 °C/min; colonna del tipo DB5-MS di 30m x 0,25 mm x 0,25 µm. Lo spettrometro di massa è stato impostato in modalità SIM per rilevare le masse fondamentali dei frammenti degli idrocarburi alifatici 57, 71, 85 m/z e 135 m/z per lo standard interno.

Quantificazione:

La quantificazione del TPH è avvenuta per confronto tra il rapporto dell'area sottesa alla curva corrispondente all'inizio del tempo di ritenzione dell'idrocarburo C12 sino al termine del picco corrispondente all'idrocarburo C40, e l'area sottesa al picco dello standard interno e il rapporto dell'area sottesa alla curva generata dalla soluzione standard EN 14039 and ISO 16703 e lo stesso standard interno usato per le analisi.

La quantificazione del TPH è avvenuta come sommatoria dei singoli analiti tenendo conto della quantità precisamente pesata e del fattore di concentrazione.

3.2.10. Determinazione idrocarburi alifatici volatili VOC (c<12)

Circa 2g di sedimento sono raccolti in una vial da 20 ml per spazio di testa nella quale sono stati 10 ml di una soluzione satura di cloruro di sodio e 0.2% di acido solforico. Al momento dell'analisi è stato aggiunto lo standard interno (BFB – bromo fluoro benzene). posto in un forno riscaldato a 85°C e sottoposto ad agitazione per 20 min. 1ml di campione in fase gassosa viene prelevato in modalità Head-Space con siringa gas-tight e iniettato nel Gascromatografo (Thermo TRACE GC 1310) con detector FID (flame ionization detector). La colonna capillare usata è del tipo Restek-XT®-5 (95% dimetil-5% difenilpolisilossano) di 30m x 0.25 mm x 1.00 µm. Il riconoscimento e la quantificazione dei singoli idrocarburi sono basati sul confronto dei tempi di ritenzione dei picchi del cromatogramma ottenuto dall'analisi dello standard con quello dell'estratto organico. La quantificazione, per mezzo di un apposito software (Excalibur della Thermo) per confronto tra le aree dei picchi dell'estratto del campione con la retta di calibrazione a 5 punti precedentemente ricavata.

3.2.11. Determinazione del TOC (Carbonio organico totale)

Il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con una soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene favorita dall'innalzamento della temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido. La quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato. Il punto finale della titolazione viene accertato con l'aggiunta di un opportuno Indicatore (4-difenilamminosolfonato). Si sono trasferiti 2 g di sedimento in un matraccio conico di Erlenmeyer da 250 ml e con una buretta di precisione si sono aggiunti 10 ml della di potassio bicromato (K₂Cr₂O₇) a titolo noto. Successivamente 20 ml di acido solforico (H₂SO₄) [96%], lasciato a riposo per 30 minuti. Con 200 ml di H₂O preventivamente raffreddata in frigorifero si interrompe la reazione e si aggiungono 10 ml di acido fosforico (H₃PO₄) [85%] e 0,5 ml di indicatore. Tramite l'utilizzo di un agitatore magnetico si è titolato l'eccesso di

bicromato di potassio con una soluzione a titolo noto di di ferro (II) solfato eptaidrato ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) fino al viraggio dal blu al verde.

3.2.12. Determinazione del TBT (tributilstagno)

Per la determinazione del Tributilstagno sono stati utilizzati 20 g di sedimento preventivamente essiccato in stufa a 40°C, posto in un imbuto separatore con 10 ml di HCl 6N e 20 ml di diclorometano (CH_2Cl_2). Dopo 4 ore di agitazione per favorire l'estrazione si sono aggiunti 5 g di NaCl, e successivamente i campioni vengono centrifugati a 1500 rpm per 10 minuti. Si ottengono tre fasi; la frazione di CH_2Cl_2 viene posta in beuta ed evaporata a secco in rotavapor a 30°C. Il residuo viene ripreso con 4 ml di esano, 3 ml di questi vengono posti in provette in vetro. Alla soluzione si aggiungono 3 ml di NaOH al 3% (v/v) per eliminare lo stagno inorganico e le forme mono- e di-alchilstagno. Si prelevano 2 ml di esano e si trasferiscono in provette da 5 ml per evaporarli a secco sotto flusso di azoto. Il residuo viene digerito con 1 ml di HNO_3 al 69% per 1 ora a 120°C. Si fa evaporare l'acido portando la temperatura a 150°C con le provette aperte. Il residuo viene ripreso con 2 ml di soluzione satura di acido bórico con l'1% di HCl.

Lo stagno viene analizzato in ICP-AES, iCAP7000 Thermo con generatore di idruri.

3.2.13. Determinazione dei pesticidi

Vedi Integrazione.



3.3 Analisi del Macrozoobenthos di fondo mobile

Nel rispetto della normativa nazionale (DM 24/01/96), il piano di campionamento del sedimento e del macrozoobenthos ha previsto il prelievo dei campioni lungo la direttrice del tracciato del cavo a partire da 3 km dalla costa (area *near-shore*).

Lo studio del macrozoobenthos di fondo mobile è stato effettuato sui campioni prelevati in 5 stazioni (**FIGURA 5**) in doppia replica, per un totale di 10 campioni. Le attività di campionamento del sedimento e del macrozoobenthos si sono basate sulle informazioni ricevute dal committente dell'area marino-costiera di Portoscuso (SU).



FIGURA 5. Stazioni di campionamento del sedimento e del macrozoobenthos (evidenziate in rosso) dell'area *near-shore*

In **Tabella 5** sono indicate le sigle dei campioni utilizzate per le analisi del macrozoobenthos, con riportata la profondità delle diverse stazioni.



Tabella 5. Elenco stazioni e sigla dei campioni del macrozoobenthos

SIGLA STAZIONE	STAZIONE	DATA CAMPIONAMENTO	PROF. (m)
SC122N2_SS_01	STZ1	09/09/2022	43,4
SC122N2_SS_02	STZ2	09/09/2022	46,0
SC122N2_SS_03	STZ3	09/09/2022	53,8
SC122N2_SS_04	STZ4	08/09/2022	63,2
SC122N2_SS_05	STZ5	08/09/2022	56,3

I campioni di macrozoobenthos, raccolti tramite benna Van Veen, setacciati a 1 mm in nave (a cura del committente) e conservati in alcool 95% con aggiunta di Rosa Bengala (circa 1g/5l), sono stati trattati in laboratorio seguendo la seguente procedura:

- *sorting* e suddivisione degli organismi per grandi taxa;
- determinazione sistematica fino al livello di specie ove possibile;
- annotazione dei conteggi di abbondanza relativa per ciascun taxon.

Il *sorting* è stato effettuato tramite stereo-microscopio (ZEISS Stemi 508) al fine di suddividere i vari taxa presenti, che sono stati recuperati e conservati in una soluzione acquosa con etanolo al 70%, per la successiva fase di determinazione tassonomica. I taxa selezionati sono stati i Molluschi, gli Anellidi Policheti, i Crostacei e gli Echinodermi; gli altri gruppi presenti sono stati comunque identificati e conservati.

La determinazione sistematica fino al livello di genere o di specie, ove possibile, è stata effettuata tramite stereomicroscopio (ZEISS Stemi 508) e microscopio ottico (Konus).

Per la determinazione dei Molluschi sono stati utilizzati i testi di Bedulli et al. (1995a; b), Bodon et al. (1995a; b), Giannuzzi-Savelli et al. (1997), Nordsieck (1968; 1972; 1982), Piani (1980), Poppe & Goto (1991; 1993), Sabelli et al. (1990-92; 1994) e Schiaparelli (1994). Per la determinazione degli Anellidi Policheti sono stati utilizzati i testi di Beesley et al. (2000), Campoy (1982), Castelli et al. (1995; 2005-06), Fauchald (1977), Fauvel (1923a; b), Pettibone (1982) e San Martin (1984). Per la determinazione dei Crostacei malacostraci sono stati utilizzati i testi di D'Udekem d'Acoz (2007), Falciari & Minervini (1992), Forest & Zariquiey Alvarez (1964), García-Gómez (1994), Ingle (1993), Ngoc-Ho (2003), Noel (1992), Ruffo (1982) e Zariquiey Alvarez (1968). Infine, per gli Echinodermi sono stati utilizzati i testi di Tortonese (1965; 1979).

Per la nomenclatura aggiornata dei Taxa riscontrati si è utilizzato il sito WORMS (*World Register of Marine Species* – <http://www.marinespecies.org/>).

3.4 Interpretazione dei rilievi Side Scan Sonar (SSS) e Multibeam (MBES) finalizzate alla cartografia dei fondali

È stata effettuata l'interpretazione dei nuovi dati geofisici ottenuti mediante ecoscandaglio multifascio (MBES- Multibeam echosounder) e Sonar a Scansione Laterale (SSS – Side Scan Sonar), forniti dal committente, al fine di effettuare la mappatura delle facies acustiche e delle relative biocenosi presenti nel settore costiero interessato dal passaggio del cavo di connessione a terra dell'impianto eolico offshore.

La metodologia utilizzata nel lavoro prevede l'identificazione delle diverse facies acustiche presenti a fondo mare (De Falco et al.2010, 2022). Le facies acustiche sono aree che presentano caratteristiche peculiari dal punto di vista morfologico e di backscatter acustico rilevabili dal Modello Digitale del Fondale (DTM) e dal Sonogramma, derivanti rispettivamente dai rilievi MBES e SSS. Le aree di fondale con differenti caratteristiche acustiche sono state delimitate con dei poligoni compresi nel layer cartografico dei morfotipi, dove per morfotipo si intende un'area con caratteristiche omogenee da punto di vista morfologico e di backscatter acustico.

L'attribuzione dei morfotipi a un determinato tipo di fondo marino è stata effettuata utilizzando le verità mare disponibili: (i) punti di campionamento dei sedimenti; (ii) immagini del fondo marino acquisite tramite Remotely Operated Vehicle (ROV). Le immagini ROV sono state fornite dal committente.

Sulla base dei dati ROV è stato possibile identificare anche gli habitat che colonizzano i diversi settori precedentemente delimitati. È stato quindi prodotto un secondo layer cartografico (layer habitat), sovrapposto al layer morfotipi, che descrive nel dettaglio gli habitat presenti a fondo mare.

Il risultato finale è la produzione di una cartografia in formato vettoriale dei morfotipi e degli habitat di fondo mare in scala 1:5000, che viene fornita al committente in formato vettoriale (shapefile).

Per l'elaborazione e la restituzione cartografica sono stati utilizzati i software Global Mapper e QGIS.

4. RISULTATI

4.1 Caratterizzazione ecotossicologica sui sedimenti

4.1.1. Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino *Allivibrio fischeri* su fase solida (sedimento intero)

A seguito (**Tabelle 6 e 7**) vengono riportati i risultati delle prove di tossicità eseguite per il saggio su fase solida con *Allivibrio fischeri* sui campioni di sedimento 04 e 05 (come da Tabella 1). Per tale prova, oltre al valore di EC₅₀, viene riportato anche il valore delle Unità Tossiche (TU₅₀), che indicano la relazione diretta tra tossicità e riduzione della bioluminescenza (TU₅₀ = 100/EC₅₀). Tale dato viene utilizzato, insieme con il valore di "tossicità naturale stimata" (TU_{naturale}) calcolabile applicando una formula che include il dato granulometrico riportante la percentuale di pelite (frazione < 63 µm) presente nel campione (TU_{naturale} = 0.28 + 3.49*% pelite), per calcolare l'indice denominato "Sediment Toxicity Index" (S.T.I.= TU₅₀/ TU_{naturale}), valore che esprime la reale tossicità acuta del campione rispetto alla tossicità "naturale" di un campione di riferimento avente le medesime caratteristiche granulometriche.

Tabella 6: Rapporto di prova del test di tossicità acuta con *Allivibrio fischeri* per il campione di sedimento 04 (fase solida).

Campione	04
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Sedimento tal quale (fase solida)
Concentrazioni testate	0.08-0.15-0.31-0.62-1.23-2.47-4.94-9.87-19.74%
Organismo test	<i>A. fischeri</i>
Metodo utilizzato	ISPRA – Quaderni Laboratorio 4/2021)
End-point misurato	Inibizione della bioluminescenza
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	3,5 diclorofenolo
EC50 e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(30min)} = 3.65 (2.00-6.65) mg/L EC _{50(30min)} ISO 11348-3-2007 = 3.34 ± 0.174 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 15°C
Nr. repliche	2
Tempo di esposizione	30 minuti
EC₅₀ con limiti fiduciali	21.48% (17.31-26.66)
Tossicità misurata (TU₅₀) ± limiti fiduc. (95%)	4,655 (4,097 to 5,289)
% effetto alla minima diluizione (19.74%)	48.9%
R²	0.99
% pelite (<0.063 mm)	0,1%

Sediment Toxicity Index (S.T.I.)	7,38
---	------

Tabella 7: Rapporto di prova del test di tossicità acuta con *Aliivibrio fischeri* per il campione di sedimento 05 (fase solida).

Campione	05
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Sedimento tal quale (fase solida)
Concentrazioni testate	0.08-0.15-0.31-0.62-1.23-2.47-4.94-9.87-19.74%
Organismo test	<i>A. fischeri</i>
Metodo utilizzato	Protocollo Microtox® Solid Phase Test
End-point misurato	Inibizione della bioluminescenza
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	3,5 diclorofenolo
EC50 e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(30min)} = 3.65 (2.00-6.65) mg/L EC _{50(30min)} ISO 11348-3-2007 = 3.34 ± 0.174 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 15°C
Nr. repliche	2
Tempo di esposizione	30 minuti
EC₅₀ con limiti fiduciali	Non calcolabile
Tossicità misurata (TU₅₀) ± limiti fiduc. (95%)	Non calcolabile
% effetto alla minima diluizione (19.74%)	6.45%
R²	Non calcolabile
% pelite (<0.063 mm)	0.2%
Sediment Toxicity Index (S.T.I.)	Non calcolabile

4.1.2. saggio di inibizione della crescita algale su *Phaeodactylum tricornutum* (metodo UNI EN ISO 10253:2006).

A seguito vengono riportati i risultati delle prove eseguite per il saggio di inibizione della crescita algale su *Phaeodactylum tricornutum* per l'elutriato dei campioni di sedimento (come da Tabella 1).

Nei Rapporti di Prova (**Tablelle da 8 a 12**) vengono riportati i parametri di controllo del saggio biologico ed i risultati ottenuti, espressi come percentuale di alterazione della crescita algale rispetto al controllo.



Tabella 8: Rapporto di prova del test di inibizione della crescita algale con *P. tricornutum* per il campione di sedimento 01 (elutriato 1:4).

Campione	01
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	100%
Organismo test	<i>P. tricornutum</i>
Metodo utilizzato	UNI EN ISO 10253:2006
End-point misurato	Inibizione della crescita algale
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Bicromato di Potassio
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 28.2 (21.4-40.1) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} ISO 10253(2006)= 20.1 ± 5.3 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 20°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100 %
Effetto percentuale medio alla conc. max	3,9 % (inibizione rispetto al controllo)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	3.4
Criteri di accettabilità	Densità cellule algali nell'inoculo = 10 ⁴ cell/ml; Densità cellule algali nel controllo dopo 72 ore = 3.6 x 10 ⁵ cell/ml (deve presentare un fattore di incremento ≥ 16 dopo 72 ore)



Tabella 9: Rapporto di prova del test di inibizione della crescita algale con *P. tricornutum* per il campione di sedimento 02 (elutriato 1:4).

Campione	02
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	100%
Organismo test	<i>P. tricornutum</i>
Metodo utilizzato	UNI EN ISO 10253:2006
End-point misurato	Inibizione della crescita algale
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Bicromato di Potassio
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 28.2 (21.4-40.1) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} ISO 10253(2006)= 20.1 ± 5.3 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 20°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100 %
Effetto percentuale medio alla conc. max	-11.7 % (crescita rispetto al controllo)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	2.1
Criteri di accettabilità	Densità cellule algali nell'inoculo = 10 ⁴ cell/ml; Densità cellule algali nel controllo dopo 72 ore = 3.6 x 10 ⁵ cell/ml (deve presentare un fattore di incremento ≥ 16 dopo 72 ore)

Tabella 10: Rapporto di prova del test di inibizione della crescita algale con *P. tricornutum* per il campione di sedimento 03 (elutriato 1:4).

Campione	03
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	100%
Organismo test	<i>P. tricornutum</i>
Metodo utilizzato	UNI EN ISO 10253:2006
End-point misurato	Inibizione della crescita algale
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Bicromato di Potassio
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 28.2 (21.4-40.1) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} ISO 10253(2006)= 20.1 ± 5.3 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 20°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100 %
Effetto percentuale medio alla conc. max	0.16 % (inibizione rispetto al controllo)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	5.3
Criteri di accettabilità	Densità cellule algali nell'inoculo = 10 ⁴ cell/ml; Densità cellule algali nel controllo dopo 72 ore = 3.6 x 10 ⁵ cell/ml (deve presentare un fattore di incremento ≥ 16 dopo 72 ore)

Tabella 11: Rapporto di prova del test di inibizione della crescita algale con *P. tricornutum* per il campione di sedimento 04 (elutriato 1:4).

Campione	04
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	100%
Organismo test	<i>P. tricornutum</i>
Metodo utilizzato	UNI EN ISO 10253:2006
End-point misurato	Inibizione della crescita algale
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Bicromato di Potassio
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 28.2 (21.4-40.1) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} ISO 10253(2006)= 20.1 ± 5.3 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 20°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100 %
Effetto percentuale medio alla conc. max	-25.19 % (crescita rispetto al controllo)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	3.9
Criteri di accettabilità	Densità cellule algali nell'inoculo = 10 ⁴ cell/ml; Densità cellule algali nel controllo dopo 72 ore = 3.6 x 10 ⁵ cell/ml (deve presentare un fattore di incremento ≥ 16 dopo 72 ore)

Tabella 12: Rapporto di prova del test di inibizione della crescita algale con *P. tricornutum* per il campione di sedimento 05 (elutriato 1:4).

Campione	05
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	100%
Organismo test	<i>P. tricornutum</i>
Metodo utilizzato	UNI EN ISO 10253:2006
End-point misurato	Inibizione della crescita algale
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Bicromato di Potassio
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 28.2 (21.4-40.1) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} ISO 10253(2006)= 20.1 ± 5.3 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 20°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100 %
Effetto percentuale medio alla conc. max	-42.6 % (crescita rispetto al controllo)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	7.5
Criteri di accettabilità	Densità cellule algali nell'inoculo = 10 ⁴ cell/ml; Densità cellule algali nel controllo dopo 72 ore = 3.6 x 10 ⁵ cell/ml (deve presentare un fattore di incremento ≥ 16 dopo 72 ore)

4.1.3. Saggio di embriotossicità su *Paracentrotus lividus*

A seguito vengono riportati i risultati delle prove eseguite per il saggio di embriotossicità su *P. lividus* per l'elutriato dei campioni di sedimento indicati nella Tabella 1.

Nei Rapporti di Prova (**Tabelle da 13 a 17**) vengono riportati i parametri di controllo del saggio biologico ed i risultati ottenuti.

Tabella 13: Rapporto di prova del test di embriotossicità su *P. lividus* dopo 72 ore di contatto con l'elutriato del campione di sedimento 01 (elutriato 1:4).

Campione	01
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	12.5-25-50-100%
Organismo test	<i>Paracentrotus lividus</i>
Metodo utilizzato	ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017
End-point misurato	Numero di larve (plutei) malformate
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Cu(NO ₃) ₂ x 3H ₂ O (1000 mg/l)
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.035 (0.031 – 0.040) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.023-0.068 mg/L (carta controllo laboratorio)
Acqua usata per il test come controllo/diluente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 18°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
Effetto percentuale medio alla conc. max	40.32% (normoformati)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	4.8
% normoformati nel Controllo	84.47%
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} = 94.39 (72.38-123.08)%

Tabella 14: Rapporto di prova del test di embriotossicità su *P. lividus* dopo 72 ore di contatto con l'elutriato del campione di sedimento 02 (elutriato 1:4).



Campione	02
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	12.5-25-50-100%
Organismo test	<i>Paracentrotus lividus</i>
Metodo utilizzato	ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017
End-point misurato	Numero di larve (plutei) malformate
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ (1000 mg/l)
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.035 (0.031 – 0.040) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.023-0.068 mg/L (carta controllo laboratorio)
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 18°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
Effetto percentuale medio alla conc. max	0 % (normoformati)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	0
% normoformati nel Controllo	84.47%
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} = 39.13 (35.75-42.83)%



Tabella 15: Rapporto di prova del test di embriotossicità su *P. lividus* dopo 72 ore di contatto con l'elutriato del campione di sedimento 03 (elutriato 1:4).

Campione	03
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	12.5-25-50-100%
Organismo test	<i>Paracentrotus lividus</i>
Metodo utilizzato	ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017
End-point misurato	Numero di larve (plutei) malformate
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ (1000 mg/l)
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.035 (0.031 – 0.040) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.023-0.068 mg/L (carta controllo laboratorio)
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 18°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
Effetto percentuale medio alla conc. max	87.43 % (normoformati)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	2.7
% normoformati nel Controllo	84.47%
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100%



Tabella 16: Rapporto di prova del test di embriotossicità su *P. lividus* dopo 72 ore di contatto con l'elutriato del campione di sedimento 04 (elutriato 1:4).

Campione	04
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	12.5-25-50-100%
Organismo test	<i>Paracentrotus lividus</i>
Metodo utilizzato	ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017
End-point misurato	Numero di larve (plutei) malformate
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ (1000 mg/l)
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.035 (0.031 – 0.040) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.023-0.068 mg/L (carta controllo laboratorio)
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 18°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
Effetto percentuale medio alla conc. max	60.60 % (normoformati)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	4.2
% normoformati nel Controllo	84.47%
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} > 100%

Tabella 17: Rapporto di prova del test di embriotossicità su *P. lividus* dopo 72 ore di contatto con l'elutriato del campione di sedimento 05 (elutriato 1:4).

Campione	05
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato (1:4)
Diluizioni testate	12.5-25-50-100%
Organismo test	<i>Paracentrotus lividus</i>
Metodo utilizzato	ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017
End-point misurato	Numero di larve (plutei) malformate
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	Cu(NO ₃) ₂ x 3H ₂ O (1000 mg/l)
EC₅₀ e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.035 (0.031 – 0.040) mg/L
Range di riferimento (controllo positivo)	EC _{50(72h)} = 0.023-0.068 mg/L (carta controllo laboratorio)
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 18°C
Nr. repliche	3
Tempo di esposizione	72 ore
Effetto percentuale medio alla conc. max	9.92 % (normoformati)
Dev. Std. Delle repliche alla conc. max	2.64
% normoformati nel Controllo	84.47%
EC₅₀ con limiti fiduciali	EC _{50(72h)} = 71.95 (69.33-74.66) %

4.1.4. Saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino *Aliivibrio fischeri* in fase liquida

A seguito (**Tablelle da 18 a 20**) vengono riportati i risultati delle prove di tossicità eseguite per il saggio in fase liquida con *Aliivibrio fischeri* sui campioni di elutriato 1:4 (come da Tabella 1). Per ogni campione viene riportata l'alterazione della bioluminescenza rispetto al controllo, misurata dopo 30 minuti di esposizione dei batteri al campione in esame.

Tabella 18: Rapporto di prova del test di tossicità acuta con *Aliivibrio fischeri* per il campione di sedimento 01 (elutriato 1:4).

Campione	01
-----------------	----



Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato 1:4
Concentrazioni testate	5.6-11.2-22.5-45-90%
Organismo test	<i>A. fischeri</i>
Metodo utilizzato	Protocollo Microtox® Liquid Phase Test
End-point misurato	Inibizione della bioluminescenza
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	3,5 diclorofenolo
EC50 e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(30min)} = 3.65 (2.00-6.65) mg/L EC _{50(30min)} ISO 11348-3-2007 = 3.34 ± 0.174 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 15°C
Nr. repliche	1
Tempo di esposizione	30 minuti
EC₅₀ con limiti fiduciali	Non calcolabile
Tossicità misurata (TU₅₀) ± limiti fiduc. (95%)	Non calcolabile
% effetto alla minima diluzione (90%)	6.99%
R²	0.85



Tabella 19: Rapporto di prova del test di tossicità acuta con *Allivibrio fischeri* per il campione di sedimento 02 (elutriato 1:4).

Campione	02
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato 1:4
Concentrazioni testate	5.6-11.2-22.5-45-90%
Organismo test	<i>A. fischeri</i>
Metodo utilizzato	Protocollo Microtox® Liquid Phase Test
End-point misurato	Inibizione della bioluminescenza
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	3,5 diclorofenolo
EC50 e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(30min)} = 3.65 (2.00-6.65) mg/L EC _{50(30min)} ISO 11348-3-2007 = 3.34 ± 0.174 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 15°C
Nr. repliche	1
Tempo di esposizione	30 minuti
EC₅₀ con limiti fiduciali	Non calcolabile
Tossicità misurata (TU₅₀) ± limiti fiduc. (95%)	Non calcolabile
% effetto alla minima diluzione (90%)	5.21%
R²	0.82

Tabella 20: Rapporto di prova del test di tossicità acuta con *Allivibrio fischeri* per il campione di sedimento 03 (elutriato 1:4).

Campione	03
Data campionamento	09/09/2022
Matrice	Elutriato 1:4
Concentrazioni testate	5.6-11.2-22.5-45-90%
Organismo test	<i>A. fischeri</i>
Metodo utilizzato	Protocollo Microtox® Liquid Phase Test
End-point misurato	Inibizione della bioluminescenza
Sostanza tossica di riferimento (controllo positivo)	3,5 diclorofenolo
EC50 e limiti fiduciali (controllo positivo)	EC _{50(30min)} = 3.65 (2.00-6.65) mg/L EC _{50(30min)} ISO 11348-3-2007 = 3.34 ± 0.174 mg/L
Acqua usata per il test come controllo/diluyente	Acqua di mare naturale filtrata 0.22 µm (NFSW)
Parametri di controllo	Salinità = 37 ppt; T = 15°C
Nr. repliche	1
Tempo di esposizione	30 minuti
EC₅₀ con limiti fiduciali	Non calcolabile
Tossicità misurata (TU₅₀) ± limiti fiduc. (95%)	Non calcolabile
% effetto alla minima diluzione (90%)	9.62%
R²	0.83

4.1.5. Sintesi dei risultati

I risultati ottenuti applicando la batteria di saggi ecotossicologici sui campioni di sedimento possono essere sintetizzati come segue.

Come riportato nell'introduzione, il saggio sulla fase solida con *A. fischeri* è stato eseguito (per via delle caratteristiche granulometriche dei campioni) solo per i sedimenti 04 e 05. Il campione 04 ha fatto registrare una percentuale di effetto pari al 48,9% (inibizione della bioluminescenza rispetto al controllo) alla minima diluzione saggiata (ovvero 19,76% di campione), pertanto per tale campione è stato possibile calcolare il valore di EC₅₀ che è risultato essere pari a 21,48% (dopo 30 minuti di esposizione al campione in esame), con un valore di Unità Tossiche (TU₅₀) pari a 4,65. Per il campione 05, invece, la percentuale di effetto registrata alla minima diluzione di sedimento saggiata (ovvero 19,76%) è risultata essere pari al 6,45%; non è stato pertanto possibile calcolare il valore di EC₅₀. Il campione 04, inoltre, avendo fatto registrare una percentuale di effetto significativa, ha permesso di calcolare il valore del "Sediment Toxicity Index" (S.T.I. = TU₅₀/ TU_{naturale}). Quest'ultimo, permette di esprimere la reale tossicità acuta del campione rispetto alla tossicità "naturale" di un campione di riferimento avente le medesime caratteristiche

granulometriche. Il S.T.I. è risultato essere pari a 7,3. Tale valore nel “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini” (ICRAM APAT 2007) corrispondono ad una classificazione del campione come a “tossicità alta”.

Per i campioni 01, 02 e 03 il saggio sul batterio *A. fischeri* è stato eseguito sulla fase liquida (elutriato 1:4) in quanto, questi campioni, erano caratterizzati da una granulometria grossolana che rende di fatto impossibile l'esecuzione del saggio sulla fase solida. Per tutti e tre i campioni non è stato possibile calcolare un valore di EC₅₀ in quanto le percentuali di effetto alla minima diluizione saggiata erano sempre inferiori al 50% dopo 30 minuti di esposizione (rispettivamente: 6,9% per il campione 01; 5,2% per il campione 02 e 9,6% per il campione 03).

In sintesi, è possibile concludere che il saggio eseguito con l'organismo modello *A. fischeri* ha evidenziato un effetto di tossicità alta solo per il campione 04, mentre, per gli altri 4 campioni (01, 02, 03 e 05) la tossicità nei confronti di questo organismo modello risulta assente o trascurabile.

Per il saggio di alterazione della crescita algale sulla specie *Phaeodactylum tricornutum* l'effetto misurato consiste nella variazione del tasso di crescita algale (in termini di aumento o di riduzione rispetto al controllo) a seguito dell'esposizione per 72 ore all'elutriato (1:4) dei sedimenti in esame; l'elutriato è stato saggiato alla massima concentrazione (100%). Per nessuno dei campioni testati è stata osservata una percentuale di effetto superiore al 50%, tuttavia, si evidenzia un effetto significativo per i campioni 04 (25% di aumento della crescita algale rispetto al controllo) e 05 (42,6% di aumento della crescita algale rispetto al controllo) dopo 72 ore di esposizione all'elutriato tal quale (non diluito). Per tali campioni si evidenzia pertanto un moderato effetto nei confronti dell'organismo modello *P. tricornutum*, mentre, per i restanti tre campioni (01, 02 e 03) non si evidenzia alcun effetto significativo sul tasso di crescita di questo organismo modello.

Per il saggio di embriotossicità sull'echinoide *Paracentrotus lividus* l'effetto misurato consiste nella percentuale di larve (plutei) malformate presenti dopo 72 ore di contatto con l'elutriato (1:4) dei sedimenti, rispetto al controllo negativo (ovvero esposizione delle larve ad acqua di mare naturale filtrata 0.22 µ). L'elutriato, per tutti i campioni, è stato saggiato nel seguente range di diluizioni: 12,5 – 25 – 50 – 100 % (tal quale). Il saggio di embriotossicità ha evidenziato, dopo 72 ore di esposizione all'elutriato non diluito (100%), una percentuale di larve normoformate pari al 40.3% per il campione 01, all' 87.4% per il campione 03 e al 60.6% per il campione 04. Per i campioni 02 e 05 sono state osservate percentuali di effetto più elevate, infatti, la percentuale di larve normoformate è risultata pari a 0 per il campione 02 (ovvero tutte le larve presentavano anomalie nello sviluppo dopo 72 ore) e pari al 9.92% per il campione 05 (ovvero una percentuale di larve malformate circa pari al 90% dopo 72 ore). In conclusione, per i campioni 02 e 05 si evidenzia un effetto di tossicità altamente significativo nei confronti di *P. lividus*, con valori di EC₅₀ (diluizione di elutriato alla quale si registra un effetto per il 50% della popolazione esposta) rispettivamente pari a 39,13% (limiti fiduciali: 35.75-42.83) e 71,95% (limiti fiduciali: 69.33-74.66). Si evidenzia invece un effetto moderato di tossicità per il campione 01 ed una completa assenza di tossicità per i campioni 03 e 04.

Come recentemente riportato nel “Quaderno ISPRA 16/2021 – Aspetti metodologici finalizzati all'applicazione dei saggi biologici previsti dall'Allegato tecnico al D.M. 173/2016: protocollo per la preparazione dell'elutriato” al paragrafo 2.3.2 “Valori soglia dell'ammonio totale e dei nitriti - indicazioni operative per i saggi della “terza tipologia” dell'Allegato”, il saggio di embriotossicità su *P. lividus* risulta essere altamente sensibile alla presenza di ammonio e di nitriti; è quindi fondamentale individuare i “valori soglia” dell'ammonio totale, oltre ai quali il saggio è da ritenersi non applicabile alle condizioni date. Tali valori soglia sono stati stimati a partire da curve dose-risposta ottenute dalla ripetizione di alcune prove con soluzioni di cloruro di ammonio e con elutriati di campioni reali, nonché dai dati riportati in letteratura, considerando le minime concentrazioni di effetto, e sono riportati nella tabella 4 (pagina 28) del

documento sopra citato. Per il test di embriotossicità con *P. lividus* il valore soglia è pari a 2 mg/L di ammonio totale (NH₄⁺).

La determinazione di ammonio e nitriti, dunque, è fondamentale per discriminare la tossicità dovuta alla reale presenza di inquinanti.

Visti i risultati ottenuti in questo studio nel saggio di embriotossicità su *P. lividus*, che ha fatto registrare una percentuale di larve malformate pari al 100% (dopo 72 ore) per il campione 02 e al 90,1% per il campione 05, si è deciso di eseguire una misurazione dell'ammonio totale presente nei campioni analizzati (elutriato 1:4 del sedimento) al fine di stabilire se l'elevata tossicità mostrata nei confronti di questo organismo modello fosse attribuibile all'ammonio.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella a seguito (**Tabella 21**).

Tabella 21: Valori di ammonio totale (NH₄⁺) misurati nei campioni 01, 02, 03, 04, 05.

Sigla campione	NH ₄ ⁺ (mg/L)
01	0,0033
02	0,018
03	0,017
04	0,025
05	0,018

Come si evidenzia nella **Tabella 21**, per nessuno dei 5 campioni il valore dell'ammonio totale risulta essere maggiore di 2 mg/L, nemmeno per i due campioni (02 e 05) che hanno determinato elevate percentuali di effetto nel saggio su *Paracentrotus lividus*. Pertanto, tale analisi supplementare ha dimostrato che l'elevata embriotossicità ottenuta per i campioni 02 e 05 è interamente attribuibile a sostanze inquinanti presenti nei campioni di sedimento e non a fattori legati alla elevata presenza di ammonio.

4.1.6. Conclusioni analisi ecotossicologiche

Il risultato della classificazione ecotossicologica eseguita sui 5 campioni di sedimento prelevati presso le aree marine nel Mar di Sardegna Sud Occidentale evidenzia in sintesi: per il campione 01 un effetto di tossicità moderato nei confronti di un solo organismo modello (*P. lividus*); per il campione 02 un livello di tossicità intermedio nei confronti di *P. lividus* ed assente nei confronti degli altri due organismi modello (*A. fischeri* e *P. tricornutum*); per il campione 03 l'assenza di tossicità nei confronti di tutti e tre gli organismi modello saggiati; per il campione 04 un effetto di tossicità elevato nei confronti di *A. fischeri* e basso nei confronti di *P. tricornutum* e per il campione 05 una tossicità moderata nei confronti di *P. lividus* e *P. tricornutum*. Tale sintesi viene riassunta nella tabella riportata a seguito (**Tabella 22**).



Tabella 22: Classi di pericolo ecotossicologico dei campioni di sedimento (sigle: 01, 02, 03, 04, 05) ottenute con i 3 organismi modello. Le classi di pericolo ecotossicologico vengono calcolate sulla base dei valori di EC50 calcolati (il dato si riferisce al risultato ottenuto per il campione non diluito dopo il massimo tempo di esposizione), come riportato in legenda.

sigla campione	<i>V. fischeri</i>	<i>P. tricornutum</i>	<i>P. lividus</i>
	EC50 (30 min)	EC50 (72 h)	EC50 (72 h)
1			
2			
3			
4			
5			

valore EC50	classe di pericolo	colore
EC50 < 12,5%	molto alto	
12,5% < EC50 < 30%	alto	
30% < EC50 < 60%	medio	
60% < EC50 < 100%	basso	
EC50 > 100%	assente	

4.2 Caratterizzazione fisico-chimica dei sedimenti

4.2.1 Analisi Macroscopiche

Le caratteristiche macroscopiche dei campioni di sedimento sono descritte nelle **Tabelle 23-27**.

Tabella 23: Descrizione macroscopica Campione: 01.

Descrizione macroscopica ID. Campione: 01	
	<p>Colore: 10 YR 5/8 - yellowish brown.</p> <p>Odore: salmastro.</p> <p>Presenza di frammenti bioclastici: gusci di bivalvi</p> <p>Presenza di concentrazioni: NO</p> <p>Residui di origine naturale o antropica: NO</p>

Tabella 24: Descrizione macroscopica Campione: 02

Descrizione macroscopica ID. Campione: 02	
	<p>Colore: 10 YR 5/8 - yellowish brown.</p> <p>Odore: salmastro.</p> <p>Presenza di frammenti bioclastici: gusci di bivalvi</p> <p>Presenza di concentrazioni: NO</p> <p>Residui di origine naturale o antropica: NO</p>

Tabella 25: Descrizione macroscopica Campione: 03

Descrizione macroscopica ID. Campione SC122N-GS-03
--



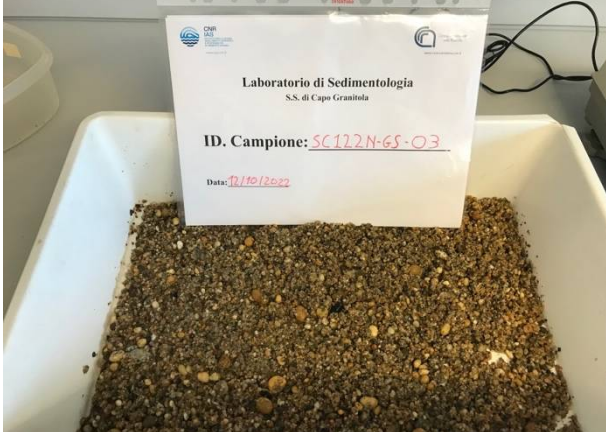
	<p>Colore: 10 YR 3/6 – dark yellowish brown.</p> <p>Odore: salmastro.</p> <p>Presenza di frammenti bioclastici: gusci di bivalvi</p> <p>Presenza di concentrazioni: NO</p> <p>Residui di origine naturale o antropica: NO</p>
---	---

Tabella 26: Descrizione macroscopica Campione: 04

Descrizione macroscopica ID. Campione SC122N-GS-04	
	<p>Colore: 2.5 Y 4/3 – olive brown.</p> <p>Odore: salmastro.</p> <p>Presenza di frammenti bioclastici: gusci di bivalvi</p> <p>Presenza di concentrazioni: NO</p> <p>Residui di origine naturale o antropica: NO</p>

Tabella 27: Descrizione macroscopica Campione: 05

Descrizione macroscopica ID. Campione SC122N-GS-05	
	<p>Colore: 2.5 Y 4/3 – olive brown.</p> <p>Odore: salmastro.</p> <p>Presenza di frammenti bioclastici: gusci di bivalvi</p> <p>Presenza di concentrazioni: NO</p> <p>Residui di origine naturale o antropica: NO</p>

4.2.2 Analisi granulometriche

L'analisi granulometrica dei singoli campioni ha permesso di ottenere i valori dei percentili (**Tabella 28**) essenziali per ricavare mediante il metodo grafico i parametri statistici di Folk & Ward (1957) (**Tabella 29**) e le percentuali di ghiaia, sabbia e pelite presenti in ogni singolo campione (**Tabella 30**). I campioni sono stati suddivisi in classi granulometriche secondo la scala Udden - Wentworth (1922), i cui limiti di classe sono espressi in phi ($\phi = -\log_2$ del diametro dei granuli espresso in mm), secondo la scala proposta da Krumbein (1934).

La distinzione delle principali classi dimensionali (ghiaia, sabbia e pelite) è stata utilizzata per la classificazione dei sedimenti secondo il diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee (1973) e Shepard (1954) utilizzando il software open source "SEDPLOT, L.J. Poppe, A.H. Eliason, 2008". (**FIGURE 6 E 7**).

I campioni, presentano un diametro medio compreso tra $2,560 \phi$ (0,170 mm) e $-1,460 \phi$ (2,751 mm) e una classazione che risulta essere da buona a moderatamente buona, con valori compresi tra 0,391 e 1,128, indicando un ambiente ad alta energia, dove, la presenza di correnti consente il selezionamento dei sedimenti.

In fine, come si evince dalla **Tabella 30** e dal diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee (**FIGURA 6**) e Shepard (**FIGURA 7**), risulta che i campioni 01 e 02 ricadono nel campo della ghiaia, il campione 03 nel campo dei sedimenti ghiaiosi e i campioni 04 e 05 nel campo della sabbia.



Tabella 28: Valori percentili

ID. Campione	5 ϕ	16 ϕ	25 ϕ	50 ϕ	75 ϕ	84 ϕ	95 ϕ
01	-1,994	-1,836	-1,691	-1,344	-1,041	-0,837	-0,473
02	-1,987	-1,864	-1,756	-1,437	-1,182	-1,078	-0,704
03	-2,514	-1,885	-1,493	-0,837	-0,076	0,262	1,391
04	1,560	2,095	2,259	2,608	2,870	2,977	3,317
05	1,594	2,029	2,130	2,454	2,744	2,861	3,090

Tabella 29: Parametri statistici di Folk & Ward

ID. Campione	Parametri di tendenza centrale					$\sigma 1$	Sk1	KG	Classi dimensionali Di Wentworth
	M1 ϕ	M2 ϕ	M3 ϕ	Mz ϕ	m ϕ				
01	-1,276	-	-	-1,339	-1,344	0,480	0,079	0,959	Granuli
02	-1,328	-	-	-1,460	-1,437	0,391	0,027	0,916	Granuli
03	-0,872	-	-	-0,820	-0,837	1,129	0,083	1,129	Sabbie molto grossolane
04	2,716	-	-	2,560	2,608	0,487	-0,177	1,179	Sabbie fini
05	2,578	-	-	2,448	2,454	0,435	-0,086	0,998	Sabbie fini

M = moda; **Mz** = diametro medio; **m** = mediana; **$\sigma 1$** = classazione – deviazione standard; **Sk1** = Skewness; **KG** = Kurtosis

Tabella 30: Composizione Granulometrica

ID. Campione	Composizione Granulometrica				Classificazione Shepard (1954) Shepard Mod. Schlee (1973)
	%ghiaia	%sabbia	%silt	%argilla	
			%pelite		
01	78,0	22,0	0,0		Ghiaia
02	90,3	9,7	0,0		Ghiaia
03	43,1	56,8	0,1		Sedimento ghiaioso
04	0,0	99,9	0,1		Sabbia
05	0,0	99,8	0,2		Sabbia

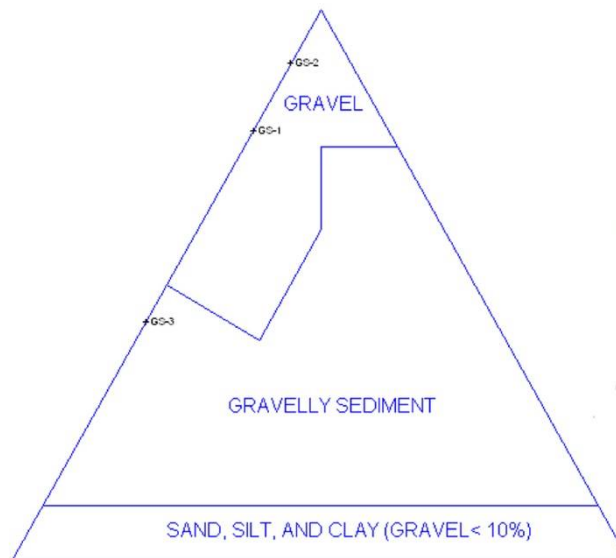


FIGURA 6: Diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee relativo ai campioni 01, 02 e 03

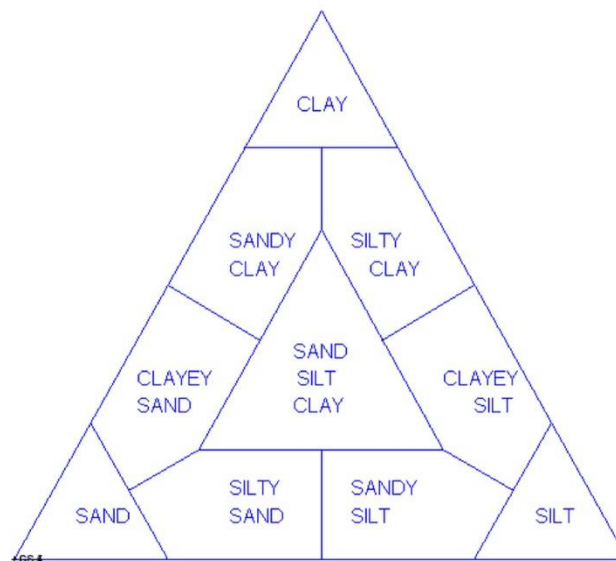


FIGURA 7: Diagramma triangolare di Shepard relativo ai campioni 04 e 05

4.2.3. Contenuto d'acqua e peso specifico

Nella **tabella 31** sono sintetizzati i risultati relativi al contenuto d'acqua dei 5 campioni analizzati con valori che oscillano tra il 15,90 % del campione 02 e il 22,68 % del campione 05. Per quanto riguarda il peso specifico sono stati determinati valori che vanno da un minimo di 1,74 g/cm³ del campione 02 e un massimo di 1,92 del campione 04.

Tabella 31: Contenuto d'acqua e peso specifico

ID. CAMPIONE	Contenuto d'acqua (%)	Peso Specifico (g/cm ³)
01	18,68	1,76
02	15,90	1,75
03	16,09	1,92
04	22,48	1,89
05	22,68	1,88

4.2.4 Analisi della concentrazione dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Pb, Ni, Zn) e di Mercurio

Le concentrazioni di Alluminio (Al) rilevate nei campioni di sedimento essiccati oscillano (**Tabella 32**) tra 2.595 e 5.743 mg/kg, valori misurati rispettivamente nei campioni 02 e 05, il Cadmio (Cd) risulta sotto il limite di quantificazione (<0,01), ad eccezione del campione 05 che ha registrato un valore di 1,16 mg/Kg. Per il Cromo (Cr) i valori oscillano tra 3,26 e 7,26 mg/Kg misurati rispettivamente per i campioni 02 e 05. Il Nickel (Ni) varia da 1,93 e 3,11 mg/Kg rispettivamente per i campioni 04 e 02, il Piombo (Pb) oscilla tra 17,11 e 31,83 mg/kg per i campioni 04 e 01, il Rame (Cu) varia da 0,72 a 1,82 mg/Kg rispettivamente per i campioni 04 e 02, lo Zinco (Zn) varia da 45,24 e 117,61 mg/Kg rispettivamente per i campioni 02 e 05.

Le concentrazioni di mercurio (Hg) rilevate nei campioni di sedimento essiccati oscillano tra 37,4 e 61,5 µg/kg⁻¹, valori misurati rispettivamente nei campioni 02 e 05. I tenori si mantengono relativamente omogenei in tutti i campioni, con un valore medio misurato di 49,9± 10,5 µg/kg⁻¹.

Tabella 32: Concentrazioni dei metalli

ID. CAMPIONE	As	Cd	Cr (Tot.)	Ni	Pb	Cu	Zn	Al	Hg
	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	mg/kg s.s.	µg/kg ⁻¹
01	16,21	<0,01	3,91	2,36	31,83	1,52	46,41	4016	59,4
02	17,15	<0,01	3,26	3,11	26,10	1,82	45,24	2595	37,4
03	5,83	<0,01	4,03	2,72	19,26	1,41	63,71	3709	41,9
04	6,41	<0,01	6,81	1,93	17,11	0,72	80,53	3687	49,1
05	5,53	1,16	7,26	2,36	23,42	1,37	117,61	5742	61,5

4.2.5 Analisi del Fosforo totale e Azoto totale

I 5 campioni sono stati analizzati al fine di determinare la concentrazione del fosforo totale con valori che variano tra un minimo di 117,93 mg/kg del campione 02 ad un massimo di 223,61 mg/kg. Per quanto attiene l'azoto totale sono stati misurati valori che vanno da 0,20 g/kg del campione 05 a 0,32 g/kg del campione 03.

Tabella 33: Fosforo e Azoto Totale

ID. CAMPIONE	P (Tot.)	N (Tot.)
	mg/kg s.s.	g/kg
01	223,61	0,21
02	117,93	0,28
03	146,05	0,32
04	187,51	0,25
05	192,41	0,20

4.2.6 Analisi degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA e PCB)

Per quanto riguarda la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), le analisi eseguite sui sedimenti hanno registrato per la maggior parte delle grandezze indagate, valori al di sotto del limite di quantificazione (tabella 33) ad eccezione del, Phenanthrene che presenta concentrazioni che oscillano tra 7,0 µg/kg del campione 05 e 22,4 µg/kg del campione 02; Fluoranthene con valori che vanno da 15,3 µg/kg nel campione 05 a 58,3 µg/kg del campione 02; Pyrene con valori variabili tra 34,6 µg/kg del campione 05 e 130,9 µg/kg del campione 02. La sommatoria IPA (Σ IPA) oscilla tra il minimo registrato nel campione 05 pari a 56,9 µg/kg e un massimo nel campione 02 pari a 218,1 µg/kg.

Le misure per la determinazione dei policlorobifenili (PCB) hanno anche in questo caso verificato che per la maggior parte dei congeneri analizzati, le concentrazioni sono al di sotto del limite di quantificazione, tanto che la sommatoria dei PCB (Σ PCB), è caratterizzata da concentrazioni molto basse con valori massimi di 1,34 µg/kg (campione 01), vedi **Tabella 34**.

4.2.7 Analisi degli idrocarburi alifatici totali (c12 – c40) e analisi degli idrocarburi alifatici volatili voc (c<12)

In **tabella 34** è possibile constatare che, sia per quanto riguarda gli idrocarburi alifatici totale (C12-C40) che per gli idrocarburi alifatici volatili VOC (C<12) le concentrazioni sono al di sotto del relativo limite di quantificazione del metodo.



Tabella 34: IPA – PCB – TPH C>12 – VOC C<12

PARAMETRO	Unità di misura.	ID. CAMPIONE				
		01	02	03	04	05
Naphtalene	µg/kg	<5	<5	<5	<5	<5
Acenaftilene	µg/kg	<5	<5	<5	<5	<5
Acenaphtene	µg/kg	<5	<5	<5	<5	<5
Fluorene	µg/kg	2,0	2,0	<2	<2	<2
Phenanthrene	µg/kg	21,3	22,4	15,6	11,6	7,0
Anthracene	µg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Fluoranthene	µg/kg	45,1	58,3	19,6	21,4	15,3
Pyrene	µg/kg	95,2	130,9	43,3	46,3	34,6
Benzo(a)Antracene	µg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Chrysene	µg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Benzo(b)Fluoranthene	µg/kg	2,4	2,1	<2	<2	<2
Benzo(k)Fluoranthene	µg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Benzo(a)Pyrene	µg/kg	<2	<2	<2	<2	<2
Dibenzo(a,h)Anthracene	µg/kg	2,8	2,8	<2	<2	<2
Benzo(g,h,i)Perylene	µg/kg	0,0	0,0	<2	<2	<2
Indeno(1,2,3)Perylene	µg/kg	2,3	2,3	<2	<2	<2
ΣIPA	µg/kg	171,2	218,1	78,5	79,3	56,9
PCB 28	µg/kg	0,656	<0,03	0,081	<0,03	0,038
PCB 52	µg/kg	0,449	<0,03	0,148	<0,03	0,115
PCB 101	µg/kg	0,238	<0,03	0,884	<0,03	0,515
PCB 81	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 77	µg/kg	<0,03	0,095	0,058	0,044	0,033
PCB 114	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 118	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 123	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 153	µg/kg	<0,03	<0,03	0,040	<0,03	0,039
PCB 105	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 138	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 126	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 128	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 157	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 156	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 167	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 180	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 170	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 169	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
PCB 189	µg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
ΣPCB	µg/kg	1,34	0,10	1,21	0,04	0,74



**CNR
IAS**
ISTITUTO PER LO STUDIO
DEGLI IMPATTI ANTROPICI
E SOSTENIBILITÀ
IN AMBIENTE MARINO

www.ias.cnr.it



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

www.ricercamarina.cnr.it

TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	mg/kg	<5	<5	<5	<5	<5

4.2.8 Analisi del carbonio organico totale – TOC

Per quanto riguarda il carbonio organico totale (TOC), sono state misurate concentrazioni piuttosto omogenee nei 5 campioni in oggetto, con valori che oscillano tra un minimo di 1,31 g/kg del campione 05 e un massimo di 1,78 g/kg misurato nel campione 03, vedi **tabella 35**.

4.2.9 Analisi del tributilstagno – TBT

Le concentrazioni del Tributilstagno (TBT) rilevate nei campioni di sedimento essiccati (**Tabella 35**) risultano tutte al di sotto del limite di quantificazione del metodo (<0,003).

Tabella 35: Carbonio organico totale (TOC) – Tributilstagno (TBT)

ID. CAMPIONE	TOC	TBT
	g/kg	µg/g s.s.
01	1,36	<0,003
02	1,48	<0,003
03	1,78	<0,003
04	1,52	<0,003
05	1,31	<0,003

4.2.10 Analisi dei pesticidi

Vedi Integrazione

Tabella 36: Pesticidi (vedi integrazione)

4.2.11 Conclusioni analisi chimico-fisiche dei sedimenti

Le analisi eseguite sui 5 campioni hanno consentito di caratterizzare gli stessi sia dal punto di vista fisico che chimico. La sedimentologia di questi campioni ha messo in evidenza la presenza di ghiaie per i campioni 01 e 02, sabbie grossolane per il campione 03 e sabbie fini per i campioni 04 e 05. Si tratta di sedimenti caratterizzati da una classazione che risulta essere da buona a moderatamente buona, indicando un ambiente ad alta energia, per la probabile presenza di correnti che hanno consentito il selezionamento dei sedimenti.

Alla luce delle analisi chimiche eseguite sui campioni oggetto del presente studio, è possibile stabilire che non si apprezzano evidenti segnali di contaminazione. Infatti, le analisi di chimica inorganica eseguite per la determinazione dei metalli pesanti mostrano valori piuttosto omogenei nelle concentrazioni per tutti i 5 campioni con valori massimi misurati per la quasi totalità al di sotto dei limiti riportati nella Tabella 2.5, colonna L1 e L2 del D.lgs 173/2016. Fa eccezione il campione 01 per il quale le concentrazioni di arsenico (As) e di piombo (Pb) superano, seppure di poco, il limite previsto nella colonna L1 del D.lgs 173/2016. Il Campione 02 mostra concentrazioni di arsenico (As) di 17 mg/Kg superando il limite di norma che è di 12 mg/Kg previsto nella colonna L1 del D.lgs 173/2016. Infine per quanto riguarda i metalli pesanti il solo campione 05 ha una concentrazione dello zinco (Zn) di 117,61 mg/Kg, leggermente superiore al valore limite previsto nella suddetta colonna L1 (100 mg/Kg) e del cadmio (Cd) che ha una concentrazione pari a 1,16 mg/Kg, valore che supera il limite della colonna L2 dello stesso D.lgs (0,80 mg/Kg).

La analisi chimiche non hanno messo in evidenza segnali di contaminazione organica per tutte le grandezze misurate. Infatti, le analisi eseguite per la determinazione dei valori di composti policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCB), idrocarburi alifatici totali (C12 – C40), idrocarburi alifatici volatili VOC (C<12) e Tributilstagno (TBT), hanno messo in evidenza concentrazioni al di sotto dei limiti di quantificazione del metodo e in quei pochi casi in cui sono state apprezzate le concentrazioni, i valori misurati sono nettamente al di sotto delle soglie riportate nella tabella 2.5, colonna L1 del D.lgs 173/2016.

In questa fase non è stato possibile eseguire le analisi sui pesticidi per un problema tecnico non risolvibile in tempi brevissimi. Per non rallentare il lavoro in oggetto, si è preferito rimandare le suddette analisi sui pesticidi (vedi successiva integrazione), seppure sia ragionevole pensare che le stesse non metteranno in evidenza segnali di contaminazione per questi composti organici.

4.3 Caratterizzazione del Macrozoobenthos di fondo mobile

Nei campioni oggetto di questo studio sono stati riscontrati complessivamente 195 individui appartenenti a 75 taxa, dei quali 64 identificati a livello di specie come riportato nella **Tabella 37**. La composizione percentuale del numero di taxa e della loro abbondanza, in termini di numero di individui, è mostrata rispettivamente nelle **FIGURE 8 E 9**.

Tabella 37. Composizione del macrozoobenthos in termini di numero di specie e di abbondanza (numero di individui)

	SPECIE	INDIVIDUI
CRUSTACEA	20	75
ANNELIDA POLYCHAETA	31	68
MOLLUSCA	15	24
ECHINODERMATA	5	22
OLIGOCHAETA	1	1
NEMERTEA	1	3
SIPUNCULA	1	1
CHAETOGNATHA	1	1
TOTALE	75	195

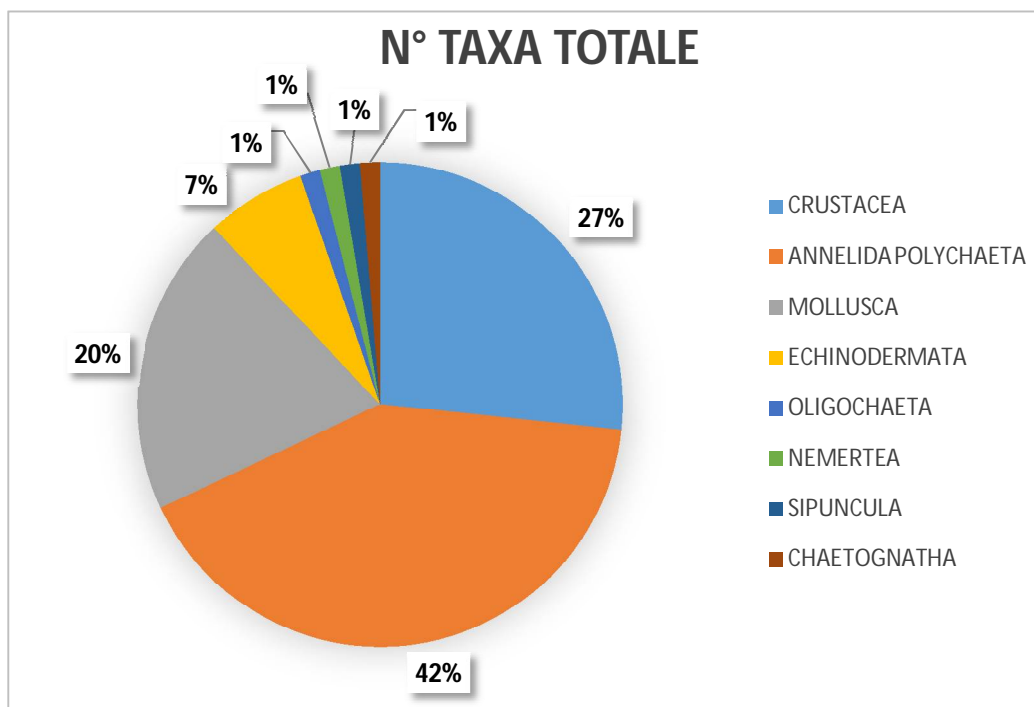


FIGURA 8. Composizione percentuale dei taxa del macrozoobenthos in termini di numero di specie.

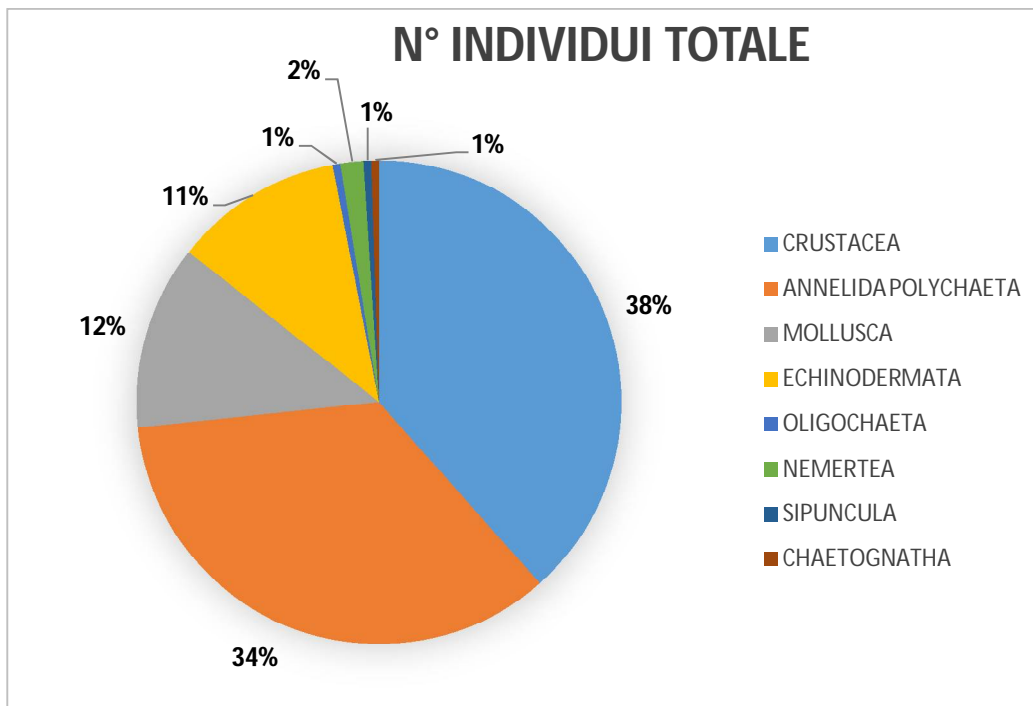


FIGURA 9. Composizione percentuale del macrozoobenthos in termini di numero di individui.

L'analisi quali-quantitativa dei campioni ha portato all'identificazione delle specie di macroinvertebrati bentonici riportate in **Tabella 38** con l'indicazione delle rispettive abbondanze in termini di numero di individui.

Tabella 38. Elenco delle specie di macrozoobenthos per campione con l'indicazione del relativo numero di individui.

	STZ1	STZ2	STZ3	STZ4	STZ5	n° individui
Crustacea						
<i>Ampelisca brevicornis</i>					3	3
<i>Ampelisca pseudosarsi</i>					4	4
<i>Ampelisca tenuicornis</i>				1		1
<i>Bathyporeia lindstromi</i>				2	23	25
<i>Caprella lilliput</i>	3	5				8
<i>Leptocheirus bispinosus</i>		1				1
<i>Leptocheirus mariae</i>				1		1
<i>Leucothoe oboa</i>	1					1
<i>Microdeutopus femm.</i>		5				5
<i>Monoculodes packardi</i>		2				2
<i>Pontocrates altamarinus</i>	3					3



<i>Socarnes filicornis</i>		1				1
<i>Tryphosites longipes</i>				1		1
<i>Urothoe elegans</i>				4	4	8
<i>Nannastacus longirostris</i> femm.	1					1
<i>Janira maculosa</i> (?)	2	2				4
<i>Jaera nordmanni</i>		1				1
Copepode		1				1
<i>Haplostylus normani</i>		1		1	1	3
<i>Apseudopsis acutifrons</i>					1	1
Mollusca						
<i>Abra prismatica</i>					2	2
<i>Varicorbula gibba</i>		1		2	1	4
<i>Gouldia minima</i>		1				1
<i>Hiatella arctica</i>					1	1
<i>Lyonsia norvegica</i>					2	2
<i>Lucinoma borealis</i>		1				1
<i>Kurtiella bidentata</i>	1					1
<i>Gari costulata</i>		4				4
<i>Similipecten similis</i>				1		1
<i>Thracia phaseolina</i> juv.					1	1
<i>Timoclea ovata</i>				1		1
<i>Caecum trachea</i>		1				1
<i>Calyptraea chinensis</i>		2				2
<i>Melanochlamys algirae</i>		1				1
Polipacoforo juv.		1				1
Echinodermata						
<i>Amphipholis squamata</i>		15		1		16
Ofiura juv.	1					1
<i>Leptosynapta inhaerens</i>		1				1
<i>Leptosynapta minuta</i>		3				3
<i>Echinocardium</i> ind.				1		1
Polychaeta						
<i>Arabella geniculata</i>		2				2
<i>Armandia polyophtalma</i>			1		2	3
<i>Dioplosyllis cirrosa</i>		2				2
<i>Eunice vittata</i>	1	2	1			4
<i>Exogone naidina</i>	1	1				2
<i>Galathowenia oculata</i>				13		13
<i>Glycera lapidum</i>	2	3				5
<i>Glycera unicornis</i>					1	1



<i>Hilbigneris gracilis</i>	2				2
<i>Hyalinoecia</i> ind.		1			1
<i>Hyalopomatus marenzelleri</i>		1			1
<i>Hydroides stoichadon</i>		1			1
<i>Lumbrinerides acuta</i>	2				2
<i>Lumbrineris</i> ind.		1			1
<i>Lysidice unicornis</i>	5	1			6
<i>Neogyptis mediterranea</i>		1			1
<i>Nereis pelagica</i>		2			2
<i>Owenia fusiformis</i>				3	3
<i>Paradoneis ilvana</i>	1				1
<i>Paraehlersia ferrugina</i>		1			1
<i>Praxillella lophoseta</i>			1		1
<i>Pisione remota</i>	1	3			4
<i>Pista cristata</i>			1		1
<i>Sigalion mathildae</i>				1	1
Sillide stolone		1			1
<i>Scolecopsis (Parascolecopsis) tridentata</i>			1		1
<i>Scoloplos armiger</i>				1	1
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i>	1				1
<i>Sphaerosyllis taylori</i>		1			1
<i>Spio decorata</i>				1	1
<i>Websterinereis glauca</i>		1			1
Oligochaeta					
Oligocheti		1			1
Nemertea					
Nemertini	3				3
Sipuncula					
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri</i>		1			1
Chaetognatha					
<i>Sagitta</i> ind.		1			1

Nella **Tabella 39** è riportato l'elenco faunistico ordinato secondo classificazione tassonomica.



Tabella 39. Lista delle specie con inquadramento tassonomico.

Phylum/Subphylum	Ordine/Classe	Sottoclasse/Ordine	Sottordine/Famiglia	Taxon	Autore
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Ampeliscidae	<i>Ampelisca brevicornis</i>	(Costa, 1853)
				<i>Ampelisca pseudosarsi</i>	Bellan-Santini & Kaim-Malka, 1977
				<i>Ampelisca tenuicornis</i>	Liljeborg, 1856
			Aoridae	<i>Microdeutopus femm.</i>	Costa, 1853
			Bathyporeiidae	<i>Bathyporeia lindstromi</i>	Stebbing, 1906
			Caprellidae	<i>Caprella lilliput</i>	Krapp-Schickel & Ruffo, 1987
			Corophiidae	<i>Leptocheirus bispinosus</i>	Norman, 1908
				<i>Leptocheirus mariae</i>	Karaman, 1973
			Leucothoidae	<i>Leucothoe oboa</i>	Karaman, 1971
			Lysianassidae	<i>Socarnes filicornis</i>	(Heller, 1866)
			Oedicerotidae	<i>Monoculodes packardi</i>	Boeck, 1871
				<i>Pontocrates altamarinus</i>	(Spence Bate & Westwood, 1862)
		Tryphosidae	<i>Tryphosites longipes</i>	(Spence Bate & Westwood, 1861)	
		Urothoidae	<i>Urothoe elegans</i>	Spence Bate, 1857	
		Cumacea	Nannastacidae	<i>Nannastacus longirostris</i>	G.O. Sars, 1879
	Isopoda	Janiridae	<i>Janira maculosa</i>	Leach, 1814	
			<i>Jaera nordmanni</i>	(Rathke, 1836)	
Mysida	Mysidae	<i>Haplostylus normani</i>	(G.O. Sars, 1877)		
Tanaidacea	Apseudidae	<i>Apseudopsis acutifrons</i>	(Sars, 1882)		
Maxillopoda	Harpacticoida		Harpacticoida ind.	Sars G.O., 1903	
Annelida	Polychaeta	Eunicida	Eunicidae	<i>Eunice vittata</i>	(Delle Chiaje, 1828)
				<i>Lysidice unicornis</i>	(Grube, 1840)
			Lumbrineridae	<i>Hilbigneris gracilis</i>	(Ehlers, 1868)
				<i>Lumbrinerides acuta</i>	(Verrill, 1875)
				<i>Lumbrineris</i> ind.	Blainville, 1828
		Oeonidae	<i>Arabella geniculata</i>	(Claparède, 1868)	
		Onuphidae	<i>Aponuphis</i> ind.	Kucheruk, 1978	
		Phyllodocida	Glyceridae	<i>Glycera lapidum</i>	Quatrefages, 1866
				<i>Glycera unicornis</i>	Lamarck, 1818
			Hesionidae	<i>Neogyptis mediterranea</i>	(Pleijel, 1993)
			Nereididae	<i>Nereis pelagica</i>	Linnaeus, 1758
				<i>Websterinereis glauca</i>	(Claparède, 1870)
			Sigalionidae	<i>Pisione remota</i>	(Southern, 1914)
				<i>Sigalion mathildae</i>	Audouin & Milne Edwards, 1832
				Syllidae	<i>Dioplosyllis cirrosa</i>
			<i>Exogone naidina</i>		Ørsted, 1845
			<i>Paraehlersia ferrugina</i>		(Langerhans, 1881)
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i>	Southern, 1914				
	<i>Sphaerosyllis taylori</i>	Perkins, 1981			
Polychaeta inc. sedis	Oweniidae	<i>Galathowenia oculata</i>	(Zachs, 1923)		
		<i>Owenia fusiformis</i>	Delle Chiaje, 1844		
Scolecida	Maldanidae	<i>Praxillella lophoseta</i>	(Orlandi, 1898)		



			Paraonidae	<i>Paradoneis ilvana</i>	Castelli, 1985
			Opheliidae	<i>Armandia polyophthalma</i>	Kükenthal, 1887
			Orbiniidae	<i>Scoloplos armiger</i>	(Müller, 1776)
		Sabellida	Serpulidae	<i>Hyalopomatus marenzelleri</i>	Langerhans, 1884
				<i>Hydroides stoichadon</i>	Zibrowius, 1971
		Spionida	Spionidae	<i>Scolelepis tridentata</i>	(Southern, 1914)
				<i>Spio decorata</i>	Bobretzky, 1870
		Terebellida	Terebellidae	<i>Pista cristata</i>	(Müller, 1776)
	Sipuncula	Sipunculidea	Aspidosiphonidae	<i>Aspidosiphon muelleri</i>	Diesing, 1851
	Clitellata			Oligochaete	
Mollusca	Bivalvia	Anomalodesmata	Lyonsiidae	<i>Lyonsia norwegica</i>	(Gmelin, 1791)
			Thraciidae	<i>Thracia phaseolina</i> juv.	(Lamarck, 1818)
		Cardiida	Psammobiidae	<i>Gari costulata</i>	(W. Turton, 1822)
			Semelidae	<i>Abra prismatica</i>	(Montagu, 1808)
		Galeommatida	Lasaeidae	<i>Kurtiella bidentata</i>	(Montagu, 1803)
		Imparidentia	Hiatellidae	<i>Hiatella arctica</i>	(Linnaeus, 1767)
		Lucinida	Lucinidae	<i>Lucinoma borealis</i>	(Linnaeus, 1767)
		Myida	Corbulidae	<i>Varicorbula gibba</i>	(Olivi, 1792)
	Pectinida	Propeamussiidae	<i>Similipecten similis</i>	(Laskey, 1811)	
	Venerida	Veneridae	<i>Gouldia minima</i>	(Montagu, 1803)	
			<i>Timoclea ovata</i>	(Pennant, 1777)	
	Gastropoda	Cephalaspidea	Aglajidae	<i>Melanochlamys algerae</i>	(A. Adams, 1850)
		Littorinimorpha	Calyptraeidae	<i>Calyptraea chinensis</i>	(Linnaeus, 1758)
			Caecidae	<i>Caecum trachea</i>	(Montagu, 1803)
Polyplacophora			Polyplacophoro		
Echinodermata	Echinoidea	Spatangoida	Loveniidae	<i>Echinocardium</i> ind.	Gray, 1825
	Holothuroidea	Apodida	Synaptidae	<i>Leptosynapta inhaerens</i>	(O.F. Müller, 1776)
				<i>Leptosynapta minuta</i>	(Becher, 1906)
Ophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphipolis squamata</i>	Delle Chiaje, 1828	
Chaetognatha	Saggittoidea	Aphragmophora	Sagittidae	<i>Sagitta</i> ind.	Quoy & Gaimard, 1827

Per ogni stazione sono stati calcolati i seguenti indici: l'Indice di diversità di Shannon-Wiener (1948-1949), l'Indice di Ricchezza specifica di Margalef (1958), l'Indice di Equitabilità o Evenness (Pielou, 1966) e l'Indice di Dominanza (Simpson, 1949).

L'indice di Diversità di Shannon-Wiener è stato calcolato sulla base dei dati di abbondanza, tramite la seguente formula:

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N}$$

dove N = numero di individui totale del campione, n_i = numero di individui della specie i-esima e S = numero delle specie.

L'indice di Ricchezza specifica di Margalef prende in considerazione il rapporto tra il numero di specie totali e il numero totale di individui in una comunità. Quante più specie sono presenti nel campione, tanto più alto sarà tale indice. La formula utilizzata è stata la seguente:

$$D = (S - 1) / \ln N$$

Dove S = numero totale di specie del campione e N = numero totale di individui.

L'indice di Equitabilità o Evenness stima la ripartizione degli individui tra le varie specie che compongono una comunità. Tale indice presenta il valore massimo nel caso teorico in cui tutte le specie siano presenti con la stessa abbondanza, cioè lo stesso numero di individui, mentre presenta un valore basso nel caso in cui ci sia una sola specie abbondante e numerose specie con pochi individui. La formula applicata è stata:

$$J = H' / \log S$$

Dove H' = valore dell'indice di Shannon-Wiener per quella comunità e S = il numero delle specie.

L'indice di Dominanza di Simpson esprime la concentrazione delle specie all'interno della comunità ed esprime la probabilità che due individui presi a caso appartengano alla stessa specie; si calcola con la seguente formula:

$$1 - \lambda = 1 - \sum (n_i/N)^2$$

Dove N = numero di individui totale del campione e n_i = numero di individui della specie i-esima.

I risultati degli indici appena descritti sono riportati in **Tabella 40**. Il maggior numero di specie, 39, è stato riscontrato nella stazione 2 (STZ2), mentre il minore nella stazione 3 (STZ3), con 6 specie. Nelle stesse stazioni (STZ2 e STZ3) sono stati riscontrati i valori massimi e minimi di abbondanza, espressa in numero di individui, rispettivamente con 77 e 6 individui.

La Diversità, calcolata tramite l'indice di Shannon-Wiener, ha mostrato il valore maggiore nella stazione STZ2 con $H' = 3,53$, e quello minore nella stazione STZ4, con $H' = 2,12$.

Anche la Ricchezza specifica, calcolata con l'indice di Margalef, è risultata maggiore nella stazione STZ2, con $d = 8,75$, è minore nella stazione STZ3, con $d = 2,79$.

L'Equitabilità ha presentato il valore maggiore nella stazione STZ3, con $J = 1,23$, mentre il valore minore è stato riscontrato nella stazione STZ4, con $J = 0,81$.

Infine, la Dominanza, calcolata con l'indice di Simpson, ha mostrato valori alti, prossimi all'uno, nelle tre stazioni più vicine alla costa (STZ1, STZ2, STZ3) ed i più bassi nelle due più distanti (STZ4 e STZ5, entrambi i casi con valore di 0,79).



Tabella 40 Valori degli indici ecologici per ciascuna stazione.

	STZ1	STZ2	STZ3	STZ4	STZ5
CRUSTACEA					
n° specie	5	9	0	6	6
n° individui	10	19	0	10	36
POLYCHAETA					
n° specie	9	16	6	1	6
n° individui	16	24	6	13	9
MOLLUSCA					
n° specie	1	8	0	3	5
n° individui	1	12	0	4	7
ECHINODERMATA					
n° specie	1	3	0	2	0
n° individui	1	19	0	2	0
OLIGOCHAETA					
n° specie	0	1	0	0	0
n° individui	0	1	0	0	0
NEMERTEA					
n° specie	1	0	0	0	0
n° individui	3	0	0	0	0
SIPUNCULA					
n° specie	0	1	0	0	0
n° individui	0	1	0	0	0
CHAETOGNATHA					
n° specie	0	1	0	0	0
n° individui	0	1	0	0	0
Numero totale di specie	17	39	6	12	17
Numero totale di individui	31	77	6	29	52
Indice di Diversità di Shannon	2,94	3,53	2,20	2,12	2,30
Indice di Ricchezza specifica di Margalef	4,66	8,75	2,79	3,27	4,05
Indice di Equitabilità	1,04	0,96	1,23	0,85	0,81
Indice di Dominanza di Simpson	0,95	0,95	1	0,79	0,79

Sulla matrice dei dati di abbondanza per specie, dopo trasformazione dei dati in radice quadrata, è stata condotta l'analisi dei cluster (*Cluster Analysis*) e di ordinamento tramite il *non-metric MultiDimensional Scaling* (nMDS). La matrice di similarità è stata calcolata attraverso l'indice di Bray-Curtis (Clarke & Warwick, 1994). Tutte le analisi dei dati sono state effettuate tramite l'impiego del software Past4.10 e Primer6.

I risultati della *Cluster analysis* e del nMDS sono riportati nelle **FIGURE 10 E 11**. Dal dendrogramma ottenuto dall'analisi dei cluster e dal modello di ordinamento del nMDS si evidenzia una netta separazione delle stazioni più costiere, STZ1 e STZ2, da quelle del largo, STZ4 e STZ5, la stazione centrale (STZ3) resta invece separata da questi due gruppi, evidenziando una situazione intermedia tra le precedenti.

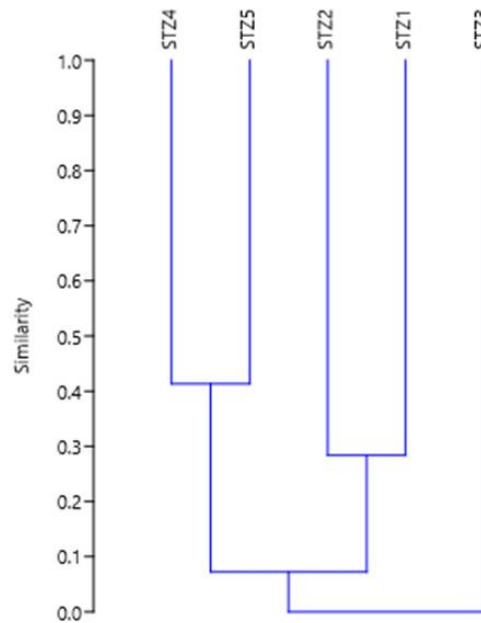


FIGURA 10. Dendrogramma ottenuto con la Cluster analysis.

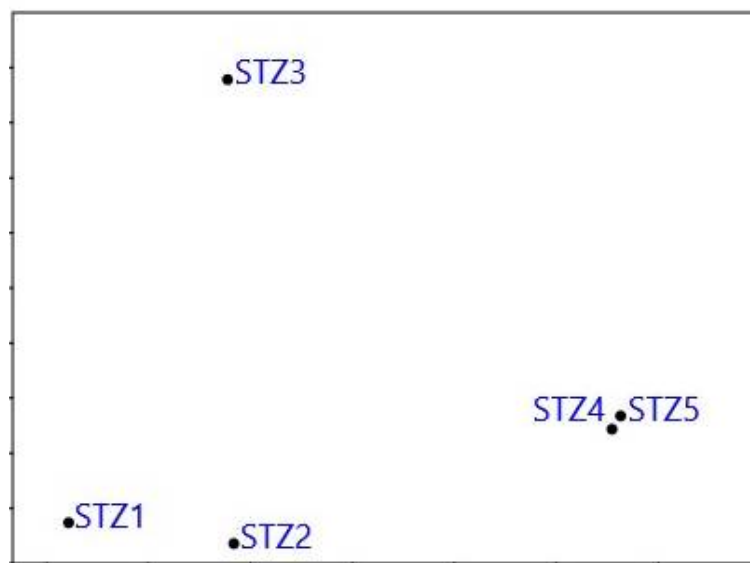


FIGURA 11. Modello di ordinamento ottenuto dall'MDS.

L'analisi della composizione in specie dei campioni raccolti nelle varie stazioni permette di spiegare le differenze tra le stazioni evidenziate dall'analisi dei cluster e dall'MDS.

Il popolamento delle stazioni 1 e 2 evidenzia la presenza di sedimenti grossolani di sabbie arricchite da elementi organogeni tipici del detritico e di sabbie soggette a un marcato regime idrodinamico, come le correnti di fondo delle sabbie ad Anfiosso. Al contrario, nelle stazioni 4 e 5 i sedimenti si dimostrano molto più fini, essenzialmente sabbie fangose e fanghi sabbiosi, arricchiti anche da materia organica e detriti vegetali; la stazione 3 evidenzia un'area occupata da sedimenti misti, costituiti da sabbie medio-grossolane ed elementi più fini con aggiunta di detriti vegetali. Qui, come anche nell'area delle stazioni 4 e 5, i fondali rivelano in parte un carattere instabile del regime sedimentario, il quale è indice di una transizione da una fascia sedimentaria ad un'altra, chiaramente evidenziata dalla suddetta discontinuità cenotica nel popolamento bentonico. La stazione 3, infatti, contraddistinta dalla maggiore povertà faunistica rispetto alle aree adiacenti, rappresenta la transizione dai sedimenti grossolani delle stazioni 1 e 2 a quelli fini delle stazioni 4 e 5; a sua volta l'aspetto di instabilità sedimentaria di queste due ultime stazioni può essere indicativo della transizione verso la fascia dei sedimenti più profondi.

I popolamenti macrozoobentonici si presentano assai ricchi e diversificati con una evidente elevata diversità ecologica, come è rivelato dal fatto che la maggior parte delle specie sono presenti con uno o due individui e le specie dominanti sono pochissime. Pertanto le biocenosi in entrambe le fasce sedimentarie risultano ben strutturate con una diversificazione di rapporti con il substrato da parte delle varie specie. Infatti, alle specie tipiche dei fondi mobili, che sono associate alla diversa granulometria e composizione del sedimento, si aggiungono specie dell'iperbenthos, che vivono trasferendosi, con ritmo circadiano, dagli strati superficiali del sedimento alla colonna d'acqua. Non mancano neanche alcune specie che, essendo tipiche abitanti dei fondi duri, hanno colonizzato le porzioni più grossolane dei detriti organogeni. Inoltre, è degno di nota che alcuni individui siano risultati in evidente fase riproduttiva, come lo stolone dei sillidi e le femmine ovigere degli isopodi ed anfipodi, a sottolineare ulteriormente il buon grado di strutturazione delle comunità bentoniche che, a sua volta, è indice del buon funzionamento delle stesse.

La valutazione dello stato ecologico basato sullo studio della comunità macrozoobentonica di fondo mobile è stata effettuata applicando l'Indice M-AMBI (*Multivariate-Azti Marine Biotic Index*) (Muxika et al., 2007). Tale indice, adottato a livello nazionale con DM 260/2010, viene utilizzato per definire il grado di qualità dello stato ambientale attraverso il calcolo dell'indice AMBI, basato sull'attribuzione delle specie a cinque gruppi in base ad altrettanti gradi di tolleranza/sensibilità rispetto agli stress ambientali. A questo viene aggiunta la diversità, la ricchezza specifica e l'ordinamento mediante analisi multivariata per arrivare al calcolo del M-AMBI.

Come detto, le specie vengono attribuite a diversi gruppi ecologici distinti in relazione alla sensibilità ai gradienti di stress ambientale in questo modo:

- GI: specie sensibili
- GII: specie sensibili/tolleranti
- GIII: specie tolleranti
- GIV: specie opportuniste (secondo ordine)
- GV: specie opportuniste (primo ordine)

Il calcolo dell'indice avviene secondo la seguente formula:

$$\text{AMBI} = [(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)]/100$$

Il valore di M-AMBI viene calcolato mediante l'utilizzo di un apposito software, disponibile sul sito <http://ambi.azti.es/>, che tiene conto della lista delle specie e del relativo gruppo ecologico di appartenenza. Ai fini della classificazione della comunità di macroinvertebrati bentonici, i valori di qualità dello stato ecologico, suddivisi in 5 classi, ed i valori di riferimento per la valutazione dello stato ecologico sono indicati nelle **Tabella 41 e 42**

Tabella 41. Classificazione dello stato di qualità ambientale secondo l'indice M-AMBI

Stato di qualità ambientale	M-AMBI
Elevato	$M-AMBI \geq 0,77$
Buono	$0,77 > M-AMBI \geq 0,53$
Moderato	$0,53 > M-AMBI \geq 0,39$
Povero	$0,39 > M-AMBI \geq 0,20$
Cattivo	$0,20 > M-AMBI$

Tabella 42 Valori di riferimento per la valutazione dello stato ambientale tramite l'indice M-AMBI.

Stato	AMBI	Diversità	Ricchezza specifica	M-AMBI	Stato
Cattivo	6,00	0,00	0,00	0,00	Cattivo
Elevato	0,43	4,61	36,00	1,00	Elevato

I risultati dell'indice M-AMBI, che variano tra 0 e 1, delle stazioni campionate sono riportati nella **Tabella 43** e nella **FIGURA 12**.

Tabella 43. Risultati dell'indice AMBI e M-AMBI per le stazioni dell'area esaminata.

Stazione	AMBI	Diversità	Ricchezza specifica	M-AMBI	Stato
STZ1	1,55	37,78	16,00	0,70	Buono
STZ2	0,76	46,14	36,00	0,98	Elevato
STZ3	1,50	2,59	6,00	0,53	Moderato
STZ4	1,18	27,85	12,00	0,61	Buono
STZ5	0,43	30,94	17,00	0,72	Buono

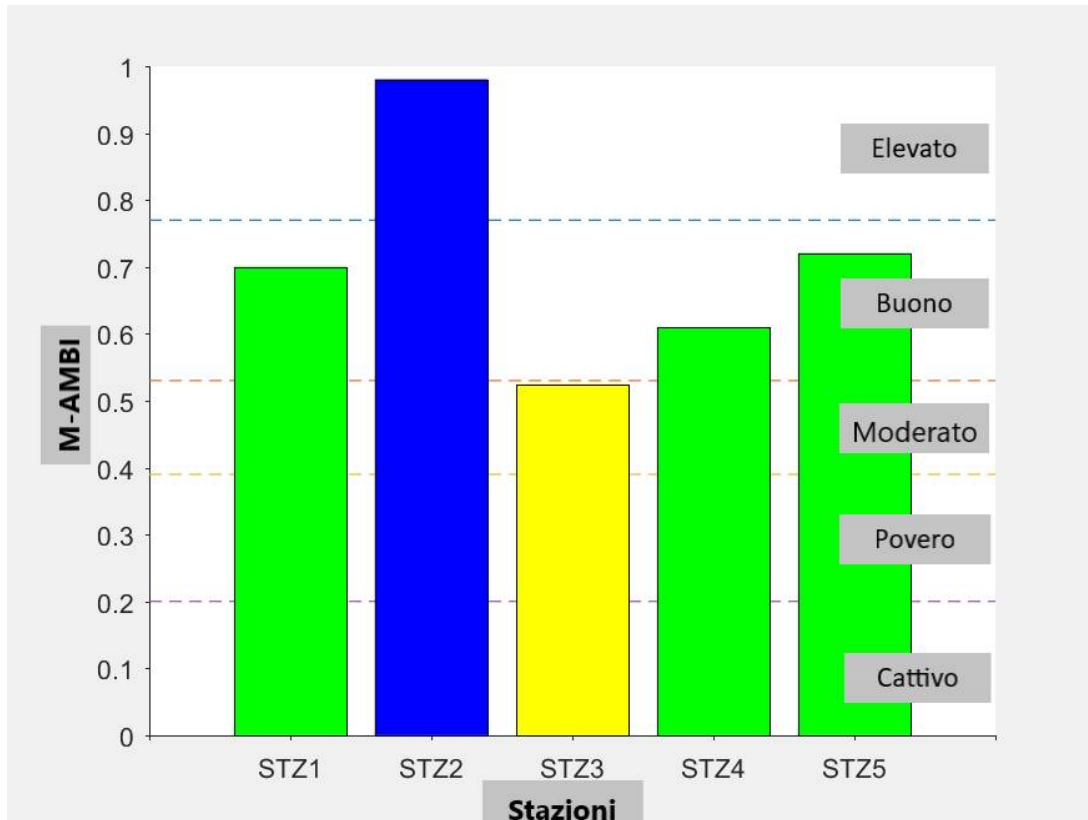


FIGURA 12. Risultati della valutazione dello stato ecologico (Cattivo: 0.0-0.2; Povero: 0.2-0.4; Moderato: 0.4-0.53; Buono: 0.53-0.77; Elevato: 0.77-1.0) basata sull'indice M-AMBI per le stazioni dell'area in esame.

In generale, l'applicazione dell'indice M-AMBI ha permesso di classificare le stazioni di Portoscuso in uno Stato Ecologico che va da moderato ad elevato. Solo la STZ3 viene classificata come moderata, al contrario, la STZ2 è l'unica a ricadere nella classe elevata; le restanti appartengono tutte alla classe di buono stato ecologico. Nessuna stazione è stata classificata in cattivo/povero stato ecologico.

Alla luce delle considerazioni espresse, il buono stato di strutturazione dei popolamenti macrozoobentonici può far ragionevolmente prevedere la sostenibilità da parte del comparto biotico dei sedimenti dell'area esaminata a fronte di eventuali perturbazioni, in quanto le comunità stesse si trovano in condizione di poter ricolonizzare le porzioni dei fondali interessati dai lavori in tempi congrui a ripristinare la situazione attuale.

4.4. Cartografia degli habitat dei fondali dell'area di indagine

4.4.1. Morfotipi

Sono stati individuati 4 morfotipi (**Tabella 44, FIGURA 13**):

- 1) Aree a fondi duri (BED_ROCK). Sono aree caratterizzate dalla presenza in affioramento del substrato roccioso. La natura del substrato può essere dedotta su base morfologica e comprende aree con affioramenti di rocce vulcaniche, aree con affioramenti di rocce sedimentarie terziarie e aree con beach-rock. In particolare, possono essere identificati due cordoni di paleo-barriere che sono orientati trasversalmente rispetto al corridoio di passaggio del cavo (**FIGURA 13**)
- 2) Aree a *Posidonia oceanica* su matte (PODISONIA_MATTE). Questo morfotipo occupa il settore più costiero ed è chiaramente identificabile su base morfologica.
- 3) Aree a sabbie grossolane e ghiaie (COARSE_SAND). Sono le aree a fondi mobili che occupano il settore più interno, e si estendono fino alla beachrock più distale. Sono caratterizzate dalla presenza di forme di fondo (ripple-marks) visibili nel sonogramma del SSS.
- 4) Aree a sabbie medio-fini (MEDIUM_FINE_SAND): sono presenti nel settore più distale. Dai dati di sismica a riflessione risulta che queste sabbie costituiscono uno strato superficiale di pochi metri al di sopra delle sabbie e ghiaie grossolane. Sono presenti anche forme di fondo del tipo *sorted bedforms*, analoghe a quanto descritto in altri settori della piattaforma occidentale della Sardegna (De Falco et al., 2015).

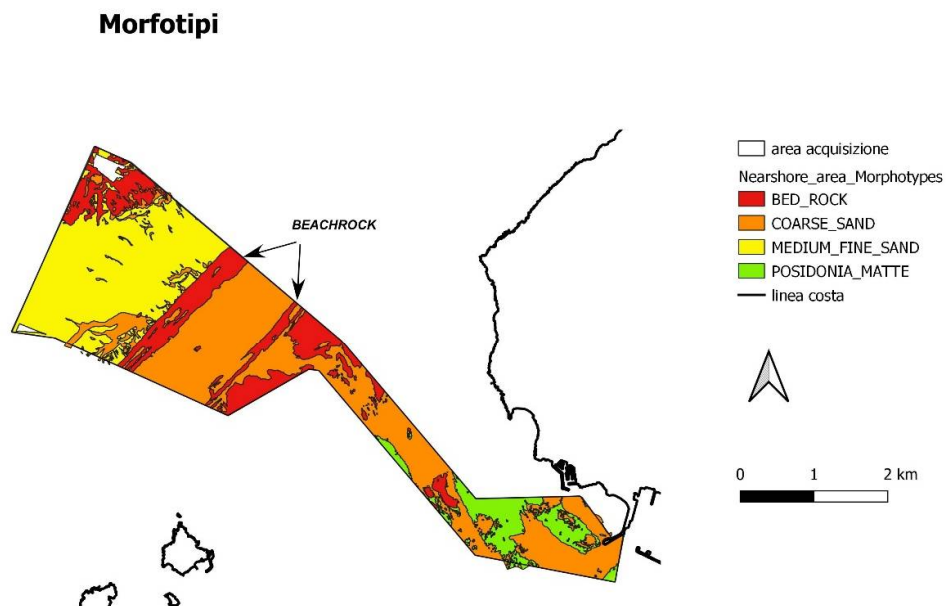


FIGURA 13. Cartografia dei morfotipi del fondale marino nell'area interessata dal passaggio del cavo.

Tabella 44. Morfotipi identificati sulla base delle caratteristiche acustiche del fondale e relativa interpretazione.

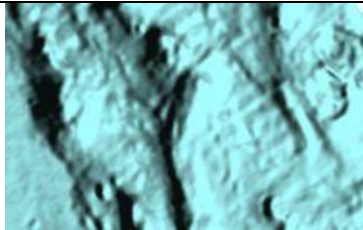
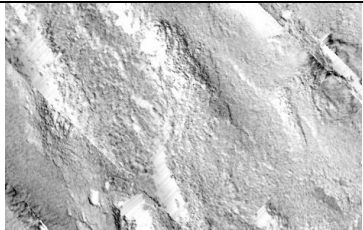





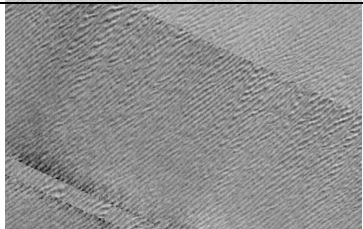

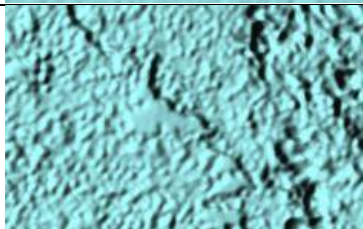
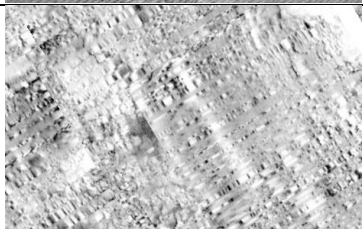

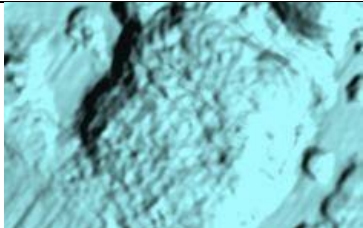
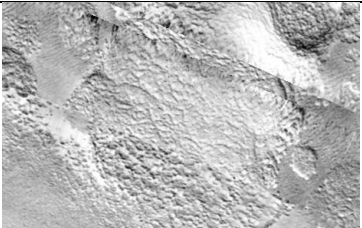
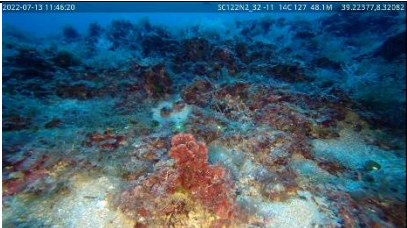
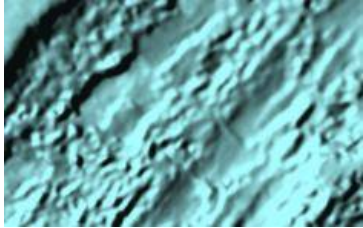
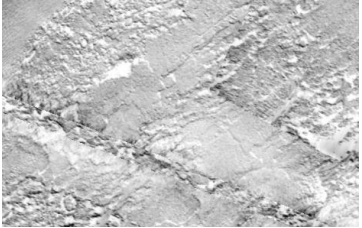

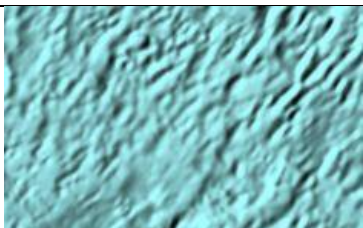
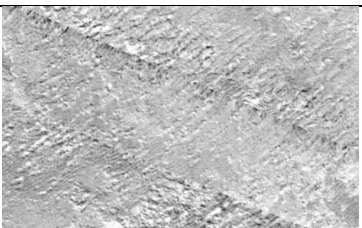

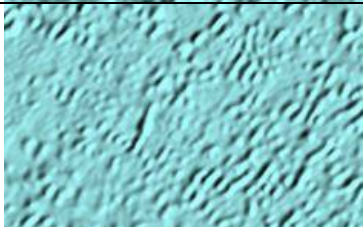
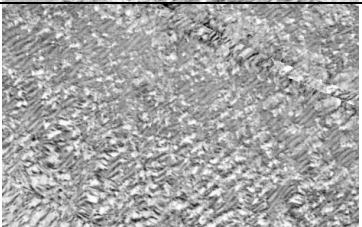

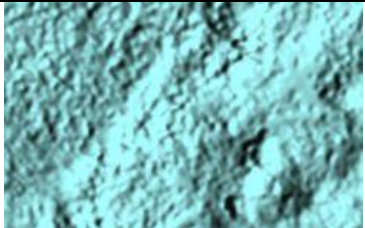


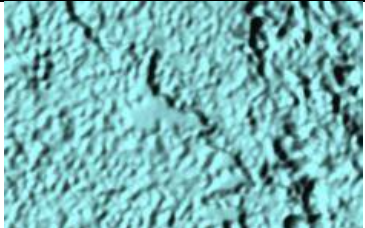
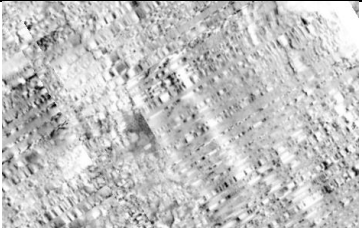

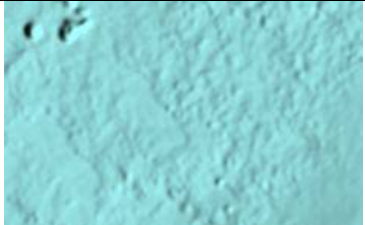

	DTM – Multibeam	Side Scan Sonar	Interpretazione	Verità-mare	Immagine ROV
BED_ROCK			Fondi Duri Affioramento del substrato roccioso di varia natura (vulcaniti, rocce sedimentarie terziarie, beachrock), colonizzato da diversi habitat bentonici	Immagini ROV	
MEDIUM_FINE_SAND			Sabbie medio-fini Sabbie miste silicoclastiche-bioclastiche, a granulometria medio-fine. Presenti forme di fondo del tipo <i>Sorted Bedform</i>	Campionamento/ Immagini ROV	
COARSE_SAND			Sabbie grossolane/Ghiaie Sedimento grossolani con presenza di ripple marks evidenti nel rilievo SSS.	Campionamento/ Immagini ROV	
POSIDONIA_MATTE			<i>Posidonia oceanica</i> su Matte. Prateria di <i>Posidonia oceanica</i> su fondo mobile.	Immagini ROV	

Tabella 45. Facies acustiche e interpretazione degli habitat bentonici

	DTM – Multibeam	Side Scan Sonar	Interpretazione	Verità-mare	Immagine ROV
CORALLIGENOU S_ON_BEDROCK			Habitat a Coralligeno su substrato roccioso	Immagini ROV	
CORAL_POSIDONIA ON_BEDROCK			Habitat a coralligeno su substrato roccioso con patch più o meno estese di Posidonia oceanica	Immagini ROV	
CORALLIGENOU S_ON_SAND			Habitat a coralligeno su substrato sabbioso	Immagini ROV	
POSIDONIA_CORALLIGENOUS_ ON_SAND			Habitat a coralligeno su substrato sabbioso patch di Posidonia oceanica	Immagini ROV	

POSIDONIA_ON _BEDROCK			<i>Posidonia oceanica</i> su substrato roccioso	Immagini ROV	
POSIDONIA_MA TTE			<i>Posidonia oceanica</i> su matte	Immagini ROV	
DEAD_MATTE			<i>Matte morta di Posidonia oceanica</i>		Non disponibili

4.4.2. Habitat

Sono state individuate e descritte 7 tipologie di habitat presenti a fondo mare (**Tabella 45, FIGURA 14**):

- 1) Coralligeno su fondo duro (CORALLIGENOUS_ON_BEDROCK). Banchi di coralligeno di piattaforma su fondo duro sono presenti nel settore più profondo associati agli affioramenti rocciosi (vulcaniti e beachrock esterna).
- 2) Coralligeno e *Posidonia oceanica* su fondo duro (CORAL_POSIDONIA_ON_BEDROCK). Nelle aree a profondità intermedia (30-40 m) i fondi rocciosi sono colonizzati da biocostruzioni a coralligeno alternate a patch di *Posidonia oceanica*. In particolare, nella beachrock interna, la *Posidonia oceanica* colonizza la parte alta della barriera, e il coralligeno è presente nei settori più profondi.
- 3) Coralligeno su fondi mobili (CORALLIGENOUS_ON_SAND). Banchi isolati di coralligeno su fondo mobile sono presenti nel settore antistante (offshore) la beachrock più interna.
- 4) Coralligeno su fondi mobili con *Posidonia oceanica* (POSIDONIA_CORALLIGENOUS_ON_SAND). Banchi isolati di coralligeno su fondo mobile parzialmente colonizzati da patch di *Posidonia oceanica*. Sono presenti nel settore retrostante la beachrock più interna.
- 5) *Posidonia oceanica* su substrato roccioso (POSIDONIA_ON_BEDROCK). Patch più o meno continue di *Posidonia oceanica* presenti nelle aree rocciose più prossimali
- 6) *Posidonia oceanica* su matte (POSIDONIA_MATTE). Questo habitat coincide con il morfotipo descritto precedentemente e occupa il settore più costiero.
- 7) *Posidonia* degradata-matte morta (DEAD_MATTE). Occupa un ristretto areale nel settore più prossimale dell'area in studio. È formato dalla presenza della matte morta di *Posidonia oceanica*.

In **FIGURA 14** è stata anche riportata una ipotesi di percorso del cavo sottomarino. In questa ipotesi si è minimizzato il passaggio del cavo su habitat a *Posidonia*/coralligeno, al fine di ridurre al minimo gli impatti.

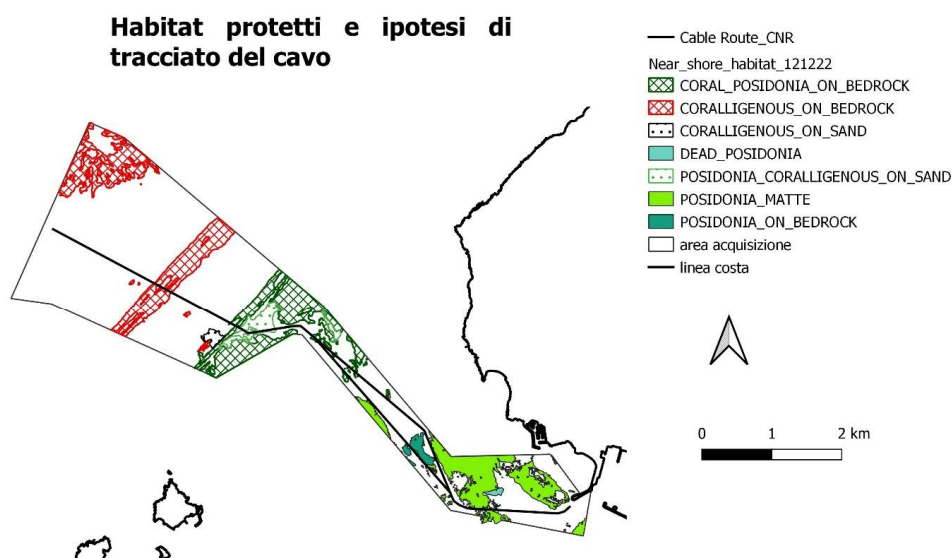


FIGURA 14. Cartografia degli habitat marini protetti nell'area interessata dal passaggio del cavo, e ipotesi di tracciato.

5. CONSIDERAZIONI FINALI

La caratterizzazione ambientale delle aree marine nel Mare di Sardegna Sud Occidentale, comprese le cinque stazioni di fondo mobile nella zona definita Near-shore (STZ1-5), effettuata dal CNR-IAS è stata effettuata in maniera multidisciplinare su cinque principali linee di ricerca: 1) analisi ecotossicologiche sui sedimenti; 2) analisi fisico-chimiche dei sedimenti; 3) analisi del macrozoobenthos di fondo mobile; 4) analisi preliminare dei dati disponibili per l'area di intervento e ricerca bibliografica sulle biocenosi del mare di Sardegna sud occidentale; 5) interpretazione di linee side scan sonar e multibeam finalizzate alla cartografia dei fondali nella zona Near-shore.

Per quanto riguarda la classificazione ecotossicologica si evidenzia per il campione 01 (STZ1) un effetto di tossicità moderato nei confronti di un solo organismo modello (*Paracentrotus lividus*); per il campione 02 (STZ2) un livello di tossicità intermedio nei confronti di *P. lividus* ed assente nei confronti degli altri due organismi modello (*Aliivibrio fischeri* e *Phaeodactylum tricornutum*); per il campione 03 (STZ3) l'assenza di tossicità nei confronti di tutti e tre gli organismi modello saggiati; per per il campione 04 (STZ4) un effetto di tossicità elevato nei confronti di *A. fischeri* e basso nei confronti di *P. tricornutum* e per il campione 05 (STZ5) una tossicità moderata nei confronti di *P. lividus* e *P. tricornutum*.

La sedimentologia dei campioni delle 5 stazioni ha messo in evidenza la presenza di ghiaie per i campioni 01 e 02 (STZ1 e STZ2), sabbie grossolane per il campione 03 (STZ3) e sabbie fini per i campioni 04 e 05 (STZ4 e STZ5). Si tratta di sedimenti caratterizzati da una classazione che risulta essere da buona a moderatamente buona, indicando un ambiente ad alta energia, per la probabile presenza di correnti che hanno consentito il selezionamento dei sedimenti.

Le analisi chimiche non hanno rilevato particolari segnali di contaminazione. I valori dei metalli pesanti piuttosto omogenei nelle concentrazioni per tutti i 5 campioni con valori massimi per la quasi totalità al di sotto dei limiti di legge, fatta eccezione per l'arsenico (As) e il piombo (Pb) per il campione 01 e lo zinco (Zn) e il cadmio (Cd) per il campione 05. Tali valori sono presumibilmente correlati alle concentrazioni geochemiche naturalmente elevate in quanto il sito di indagine è prospiciente ad un'area ricca di mineralizzazioni. Nessuna evidenza di contaminazione organica per tutte le grandezze misurate, inclusi i composti policiclici aromatici (IPA), i policlorobifenili (PCB), gli idrocarburi alifatici totali (C12 – C40), gli idrocarburi alifatici volatili VOC (C<12) e Tributilstagno (TBT).

Per quanto riguarda il macrozoobenthos, l'analisi della composizione quali-quantitativa effettuata fino a livello di specie, ove possibile, e l'applicazione dell'indice M-AMBI hanno permesso di evidenziare una elevata biodiversità della comunità macrozoobentonica nell'area di studio, con uno Stato Ecologico delle 5 stazioni che va da *Moderato* ad *Elevato*. In particolare, solo la STZ3 viene classificata come *Moderata*, mentre la STZ2 ricade nella classe *Elevata*; le restanti appartengono tutte alla classe di *Buono* stato ecologico. Nessuna stazione è stata classificata in *Cattivo* o *Povero* Stato Ecologico. Complessivamente, il buono stato di strutturazione dei popolamenti macrozoobentonici può far ragionevolmente prevedere la sostenibilità da parte del comparto biotico dei sedimenti dell'area esaminata a fronte di eventuali perturbazioni, in quanto le comunità stesse si trovano in condizione di poter ricolonizzare le porzioni dei fondali interessati in tempi congrui a ripristinare la situazione attuale.

Per quanto riguarda la mappatura degli habitat di fondo, sono state identificate e cartografate le aree colonizzate da banchi di coralligeno (aree più profonde) e prateria di *Posidonia oceanica* (aree più prossimali) con una zona intermedia caratterizzata dalla coesistenza dei due habitat. La cartografia prodotta può essere utilizzata per progettare un percorso di passaggio del cavo funzionale alla minimizzazione dell'impatto sugli habitat di fondo protetti.

Bibliografia

- Bedulli D., Castagnolo L., Ghisotti F. & Spada G., 1995b. Bivalvia, Scaphopoda. In: Minelli A., Ruffo S. & La Posta S. (eds.), Checklist delle specie della fauna italiana, 17, Calderini, Bologna.
- Bedulli D., Cattaneo-Vietti R., Chemello R., Ghisotti F. & Giovine F., 1995a. Gastropoda Opisthobranchia, Divasibranchia, Gymnomorpha. In: Minelli A., Ruffo S. & La Posta S. (eds.), Checklist delle specie della fauna italiana, 15, Calderini, Bologna.
- Beesley P.L., Ross G.J.B. & Glasby C.J. (eds). 2000. Polychaetes & Allies: the Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4: Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing, Melbourne: 465 pp.
- Bodon M., Favilli L., Giannuzzi Savelli R., Giovine F., Giusti F., Manganelli G., Melone G., Oliverio M., Sabelli B. & Spada G., 1995a. Gastropoda Prosobranchia, *Heterobranchia Heterostropha*. In: Minelli A., Ruffo S. & La Posta S. (eds.), Checklist delle specie della fauna italiana, 14, Calderini, Bologna.
- Bodon M., Favilli L., Giusti F. & Manganelli G., 1995b. Gastropoda Pulmonata. In: Minelli A., Ruffo S. & La Posta S. (eds.), Checklist delle specie della fauna italiana, 16, Calderini, Bologna.
- Borja A., Franco J. & Perez V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12): 1100-1114.
- Borja A., Mader J. & Muxika I. 2012. Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0). *Revista de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia*, 19(3): 71-82.
- Brambilla, W., Conforti, A., Simeone, S., Carrara, P., Lanucara, S., De Falco, G. (2019) Data set of submerged sand deposits organised in an interoperable spatial data infrastructure (Western Sardinia, Mediterranean Sea). *Earth System Science Data*, 11 (2), pp. 515-527. DOI: 10.5194/essd-11-515-2019
- Campoy A., 1982. Fauna de Anellidos Poliquetos de la Peninsula Iberica. *Fauna de Espana*, 7 (1, 2): 782 pp.
- Carboni S., Lecca L., Ferrara C., 1989. La discordanza versiliana sulla piattaforma occidentale della Sardegna. *Boll. Soc. Geol. It*, 108, 503 – 519.
- Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000. Note illustrative dei fogli 555-Iglesias, 563 -Isola di San Pietro, 564-Carbonia.
- Castelli A., Abbiati M., Badalamenti F., Bianchi C.N., Cantone G., Gambi M.C., Giangrande A., Gravina M.F., Lanera P., Lardicci C., Somaschini A. & Sordino P., 1995. Annelida Polychaeta, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. In: Minelli A., Ruffo A., La Posta S. (eds) Checklist delle specie della fauna italiana, Calderini, Bologna, 19: 1-45.
- Castelli A., Nike Bianchi C., Cantone G., Ertan Çinar M., Gambi M.C., Giangrande A., Iraci Sareri D., Lanera P., Licciano M., Musco L., Sanfilippo R., 2005-2006. Annelida Polychaeta. Checklist delle specie della fauna italiana. www.sibm.it.
- Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M., Sarria E., 2001. The Cenozoic graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data. *Marine and Petroleum Geology*. 18, 863–888.

Clarke K.R. & Warwick R.M., 1994. Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analyses and Interpretation. Natural Environment Research Council, Plymouth.

Conforti, A., Budillon, F., Tonielli, R., De Falco, G. (2016) A newly discovered Pliocene volcanic field on the western Sardinia continental margin (western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 36 (1), pp. 1-14. DOI: 10.1007/s00367-015-0428-0

D'Udekem d'Acoz C., 2007. New records of Atlantic Hippolyte, with the description of two new species, and a key to all Atlantic and Mediterranean species (Crustacea, Decapoda, Caridea). *Zoosystema*, 29(1): 183-207.

De Falco G, Conforti A, Brambilla W, Budillon F, Ceccherelli G, De Luca M, Di Martino G, Guala I, Innangi S, Pascucci V, Piazzì L, Pireddu L, Santonastaso A, Tonielli R, Simeone S (2022) *Journal of Maps*, Taylor & Francis, 1-10, in press; doi: 10.1080/17445647.2021.2020179

De Falco G, Tonielli R, Di Martino G, Innangi S, Simeone S, Parnum I M (2010) *Continental Shelf Research* Volume 30, Issue 18, 31 October 2010, Pages 1941-1950 doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.006

De Falco, G., Budillon, F., Conforti, A., Di Bitetto, M., Di Martino, G., Innangi, S., Simeone, S., Tonielli, R. (2015a) Sorted bedforms over transgressive deposits along the continental shelf of western Sardinia (Mediterranean Sea). *Marine Geology*, 359, pp. 75-88. DOI: 10.1016/j.margeo.2014.11.008

De Falco, G., Antonioli, F., Fontolan, G., Lo Presti, V., Simeone, S., Tonielli, R. (2015b) Early cementation and accommodation space dictate the evolution of an overstepping barrier system during the Holocene. *Marine Geology*, 369, pp. 52-66. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.08.002

Falciai L. & Minervini R., 1992. Guida dei Crostacei Decapodi d' Europa. F. Muzzio, Padova: pp. 282.

Fauchald K., 1977. The Polychaete worms: definition and keys to the orders, families and genera. *Nat. Hist. Mus. Los Angeles County (Sci. Ser.)*, 28: 1-188.

Fauvel P., 1923a. Polichètes errantes (Faune de France, 5). Lechevalier, Paris.

Fauvel P., 1923b. Polychètes sédentaires (Faune de France, 5). Lechevalier, Paris.

Forest J. & Zariquiey Alvarez R., 1964. Le genre *Macropodia* Leach en Méditerranée. I. Description et étude comparative des espèces (Crustacea Brachyura Majidae). *Bull. Mus. natn. Hist. nat. Paris*, 36: 222-244.

García-Gómez J., 1994. The systematics of the genus *Anapagurus Henderson*, 1886, and a new genus for *Anapagurus drachi* Forest, 1966 (Crustacea: Decapoda: Paguridae). *Zoologische Verhandelingen*, 295(1): 131 pp.

Giannuzzi-Savelli R., Pusateri F., Palmeri A. & Ebreo C., 1997. Atlante delle conchiglie marine del Mediterraneo. Edizioni de "La Conchiglia", Voll. I, II, III, IV.

Ingle R.W., 1993. Hermit crabs of the Northeastern Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea (An illustrated key). Chapman & Hall, London: 495 pp.

Lecca L., 2000. La piattaforma continentale miocenico-quadernaria del margine occidentale sardo: blocco diagramma sezionato. *Rend. Semin. Fac. Sc. Università Cagliari*. Vol 70 (1), 49-70.

Lecca L., Carboni S., Erba E., Muller C., Pisano S., Sechi F., Tilocca G., 1987. Campagna oceanografica "Margini continentali sardi 1985": Resoconto e risultati preliminari. *Rend. Soc. Geol., It.*, 10, 61-64.

- Lecca L., Carboni S., Scarteddu R., Sechi F., Tilocca G., Pisano S., 1986. Schema stratigrafico della piattaforma continentale occidentale e meridionale della Sardegna. *Mem. Soc. geol. It.* 36, 31-40
- Margalef R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-71.
- Muxika I, Borja A. & Bald J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Mar. Pollut. Bull.*, 55(1-6): 16-29.
- Ngoc-Ho N., 2003. European and Mediterranean Thalassinidea (Crustacea, Decapoda). *Zoosystema* 25 (3): 439-555.
- Noel P.Y., 1992. Clé préliminaire d'identification des Crustacea Decapoda de France et des principales autres espèces d'Europe (Collection Patrimoines Naturelles, 9). *Museum national d'Histoire Naturelle*, Paris, 146 pp.
- Nordsieck F., 1968. Die europäischen Meeres-Gehäuseschnecken (Prosobranchia}. Vom Eismeer bis Kapverden und Mittelmeer. Fischer, Stuttgart.
- Nordsieck F., 1972. Die europäischen Meeresschnecken (Opisthobranchia mit Pyramidellidae; Rissoacea) vom Eismeer bis Kapverden, Mittelmeer und Schwarzes Meer. Fischer, Stuttgart.
- Nordsieck F., 1982. Die europäischen Meeres-Gehäuseschnecken (Prosobranchia}. Vom Eismeer bis Kapverden, Mittelmeer und Schwarzes Meer. Fischer, Stuttgart.
- Oggiano G., Funedda A., Carmignani L., Pasci S., 2009. The Sardinia-Corsica microplate and its role in the Northern Apennine Geodynamics: new insights from the Tertiary intraplate strike-slip tectonics of Sardinia. *Ital.J.Geosci. (Boll.Soc.Geol.It.)*, Vol. 128, No. 2 (2009), pp. 527-539.
- Pettibone M.H., 1982. Polychaeta. In: Parker S.P. (ed.), *Synopsis and Classification of Living Organisms*, 2. McGraw-Hill, New York: 3-43.
- Piani P., 1980. Catalogo dei Molluschi conchiferi viventi nel Mediterraneo. *Boll. Malacologico*, 16: 113-124.
- Pielou E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 131-144.
- Poppe G.T. & Goto Y., 1991. *European Seashells. Vol. 1 (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda)*. Christa Hemmen, Wiesbaden.
- Poppe G.T. & Goto Y., 1993. *European Seashells. Vol. 2 (Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda)*. Christa Hemmen, Wiesbaden.
- Réhault J.P., Boillot G., Mauffret A., 1984. The Western Mediterranean basin geological evolution. *Marine Geology*, 55, 447-477.
- Ruffo S. 1982. The amphipoda of the Mediterranean. Part 1-4.
- Sabelli B., Giannuzzi Savelli R. & Bedulli D., 1990-92. *Catalogo annotato dei Molluschi marini del Mediterraneo*. Libreria Naturalistica bolognese, Bologna.
- Sabelli B., Oliverio M., Spada G., Manganelli G., Giovine F., Giannuzzi-Savelli R., Pusateri F., 1994. *Gastropoda Prosobranchia*. In: Minelli A., Ruffo A., La Posta S. (eds) *Checklist delle specie della fauna italiana*, Calderini, Bologna, 14.

Sage F., Von Gronefeld G., Déverchère J., Gaullier V., Maillard A., Gorini C., 2005. Seismic evidence for Messinian detrital deposits at the western Sardinia margin, northwestern Mediterranean. *Marine and Petroleum Geology* 22, 757–773.

San Martín G., 1984. Estudio biogeográfico, faunístico y sistemático de los poliquetos de la familia Sillidos (Syllidae: Polychaeta) en Baleares. Tesis Doctoral 187/84 Edit. Univ. Complutense de Madrid: 1-529.

Schiaparelli S., 1994. Bivalvia. In: Minelli A., Ruffo A., La Posta S. (eds) Checklist delle specie della fauna italiana, Calderini, Bologna, 14.

Shannon C.E. & Wiener N., 1948-1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, University of Illinois Press: 117 pp.

SISTEMA DIFESA MARE, 2005. Mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica* intorno alle coste della Sardegna. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. <http://www.sidimar.ipzs.it>.

Thomas B., Lecca L., Gennesseaux M., 1988. La Structure de la marge occidentale de la Sardaigne et la fragmentation de l'île au Cénozoïque. *Marine Geology*, 83, 31-41.

Tortonese E., 1965. Fauna d'Italia. Echinodermata. Ed. Calderini Bologna: 1-422.

Tortonese E., 1979. Review of the present status of knowledge of the Mediterranean echinoderms. In *Proceedings of the European colloquium on Echinoderms, Brussels, 3rd 8 September, 1979*, 149, pp.141.

Zariquiey Álvarez R., 1968 - Crustaceos Decapodos Ibericos. *Inv. Pesq.*, 32: pp. 510.

<http://ambi.azti.es/>

<http://www.marinespecies.org/>

<http://www.marinespecies.org/> WORMS - World Register

Allegati

Elaborati cartografici forniti in formato digitale (Shapefile)

Rapporti di prova analisi chimiche

INIZIO DEL RAPPORTO DI PROVA

ANALISI CHIMICHE

CAMPIONE SC 122 N – GS - 01

Parametro	Metodo di prova	Risultati	Unità di misura
Stato fisico	Esame visivo	solido	Solido/liquido
Sostanza secca (a 105°C)	UNI EN 14346:2007 Met.A	81,3	%
<i>Composti inorganici</i>			
Arsenico	Manuale ICRAM (2001-2003)	16,21	mg/kg s.s.
Cadmio	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,01	mg/kg s.s.
Cromo totale	Manuale ICRAM (2001-2003)	3,91	mg/kg s.s.
Nichel	Manuale ICRAM (2001-2003)	2,36	mg/kg s.s.
Piombo	Manuale ICRAM (2001-2003)	31,83	mg/kg s.s.
Rame	Manuale ICRAM (2001-2003)	1,52	mg/kg s.s.
Zinco	Manuale ICRAM (2001-2003)	46,41	mg/kg s.s.
Alluminio	Manuale ICRAM (2001-2003)	4.016,8	mg/kg s.s.
Mercurio	Metodo EPA 7473 (2007)	59,4	µg/kg ⁻¹
Fosforo Totale	UNI EN 16170:2016	223,61	mg/kg s.s.
Azoto Totale	Metodo XIV.3 D.M. 13 settembre 1999	0,21	g/kg
<i>Composti organici</i>			
Naphtalene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaftilene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaphtene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Fluorene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,0	µg/kg
Phenanthrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	21,3	µg/kg
Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	45,1	µg/kg
Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	95,2	µg/kg
Benzo(a)Antracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Chrysene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(b)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,4	µg/kg
Benzo(k)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(a)Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg

Dibenzo(a,h)Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,8	µg/kg
Benzo(g,h,i)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,0	µg/kg
Indeno(1,2,3)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,3	µg/kg
ΣIPA	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	171,2	µg/kg
PCB 28	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,656	µg/kg
PCB 52	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,449	µg/kg
PCB 101	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,238	µg/kg
PCB 81	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 77	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 114	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 118	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 123	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 153	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 105	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 138	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 126	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 128	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 157	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 156	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 167	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 180	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 170	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 169	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 189	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
ΣPCB	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	1,34	µg/kg
TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<10	mg/kg
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	Metodo EPA 5021 (2003), EPA 8260 (2006)	<5	mg/kg
Aldrin			
Dieldrin			
α - hexachlorocyclohexane			
Hexachlorobutadiene			
Alachlor			
Chlorfenviphos			
Chlorpyrifos			
Endosulfan			
TOC (Carbonio Organico Totale)	Metodo VII.3 D.M 13 settembre 1999	1,36	g/kg
TBT (Tributilstagno)	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,003	µg/g s.s.

FINE DEL RAPPORTO DI PROVA

INIZIO DEL RAPPORTO DI PROVA

ANALISI CHIMICHE

CAMPIONE SC 122 N – GS - 02

Parametro	Metodo di prova	Risultati	Unità di misura
Stato fisico	Esame visivo	solido	Solido/liquido
Sostanza secca (a 105°C)	UNI EN 14346:2007 Met.A	84,1	%
<i>Composti inorganici</i>			
Arsenico	Manuale ICRAM (2001-2003)	17,15	mg/kg s.s.
Cadmio	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,01	mg/kg s.s.
Cromo totale	Manuale ICRAM (2001-2003)	3,26	mg/kg s.s.
Nichel	Manuale ICRAM (2001-2003)	3,11	mg/kg s.s.
Piombo	Manuale ICRAM (2001-2003)	26,10	mg/kg s.s.
Rame	Manuale ICRAM (2001-2003)	1,82	mg/kg s.s.
Zinco	Manuale ICRAM (2001-2003)	45,24	mg/kg s.s.
Alluminio	Manuale ICRAM (2001-2003)	2.595,5	mg/kg s.s.
Mercurio	Metodo EPA 7473 (2007)	37,4	µg/kg ⁻¹
Fosforo Totale	UNI EN 16170:2016	117,93	mg/kg s.s.
Azoto Totale	Metodo XIV.3 D.M. 13 settembre 1999	0,28	g/kg
<i>Composti organici</i>			
Naphtalene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaftilene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaphtene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Fluorene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,0	µg/kg
Phenanthrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	22,4	µg/kg
Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	58,3	µg/kg
Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	130,9	µg/kg
Benzo(a)Antracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Chrysene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(b)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,1	µg/kg
Benzo(k)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(a)Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg

Dibenzo(a,h)Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,8	µg/kg
Benzo(g,h,i)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,0	µg/kg
Indeno(1,2,3)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	2,3	µg/kg
ΣIPA	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	218,1	µg/kg
PCB 28	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 52	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 101	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 81	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 77	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,095	µg/kg
PCB 114	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 118	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 123	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 153	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 105	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 138	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 126	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 128	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 157	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 156	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 167	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 180	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 170	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 169	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 189	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
ΣPCB	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,10	µg/kg
TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<10	mg/kg
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	Metodo EPA 5021 (2003), EPA 8260 (2006)	<5	mg/kg
Aldrin			
Dieldrin			
α - hexachlorocyclohexane			
Hexachlorobutadiene			
Alachlor			
Chlorfenviphos			
Chlorpyrifos			
Endosulfan			
TOC (Carbonio Organico Totale)	Metodo VII.3 D.M 13 settembre 1999	1,48	g/kg
TBT (Tributilstagno)	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,003	µg/g s.s.

FINE DEL RAPPORTO DI PROVA

INIZIO DEL RAPPORTO DI PROVA

ANALISI CHIMICHE

CAMPIONE SC 122 N – GS - 03

Parametro	Metodo di prova	Risultati	Unità di misura
Stato fisico	Esame visivo	solido	Solido/liquido
Sostanza secca (a 105°C)	UNI EN 14346:2007 Met.A	83,9	%
<i>Composti inorganici</i>			
Arsenico	Manuale ICRAM (2001-2003)	5,83	mg/kg s.s.
Cadmio	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,01	mg/kg s.s.
Cromo totale	Manuale ICRAM (2001-2003)	4,03	mg/kg s.s.
Nichel	Manuale ICRAM (2001-2003)	2,72	mg/kg s.s.
Piombo	Manuale ICRAM (2001-2003)	19,26	mg/kg s.s.
Rame	Manuale ICRAM (2001-2003)	1,41	mg/kg s.s.
Zinco	Manuale ICRAM (2001-2003)	63,71	mg/kg s.s.
Alluminio	Manuale ICRAM (2001-2003)	3.709,7	mg/kg s.s.
Mercurio	Metodo EPA 7473 (2007)	41,9	µg/kg ⁻¹
Fosforo Totale	UNI EN 16170:2016	146,05	mg/kg s.s.
Azoto Totale	Metodo XIV.3 D.M. 13 settembre 1999	0,32	g/kg
<i>Composti organici</i>			
Naphtalene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaftilene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaphtene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Fluorene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Phenanthrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	15,6	µg/kg
Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	19,6	µg/kg
Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	43,3	µg/kg
Benzo(a)Antracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Chrysene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(b)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(k)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(a)Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg

Dibenzo(a,h)Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(g,h,i)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Indeno(1,2,3)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
ΣIPA	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	78,5	µg/kg
PCB 28	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,081	µg/kg
PCB 52	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,148	µg/kg
PCB 101	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,884	µg/kg
PCB 81	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 77	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,058	µg/kg
PCB 114	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 118	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 123	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 153	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,040	µg/kg
PCB 105	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 138	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 126	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 128	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 157	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 156	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 167	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 180	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 170	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 169	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 189	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
ΣPCB	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	1,21	µg/kg
TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<10	mg/kg
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	Metodo EPA 5021 (2003), EPA 8260 (2006)	<5	mg/kg
Aldrin			
Dieldrin			
α - hexachlorocyclohexane			
Hexachlorobutadiene			
Alachlor			
Chlorfenviphos			
Chlorpyrifos			
Endosulfan			
TOC (Carbonio Organico Totale)	Metodo VII.3 D.M 13 settembre 1999	1,78	g/kg
TBT (Tributilstagno)	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,003	µg/g s.s.

FINE DEL RAPPORTO DI PROVA

INIZIO DEL RAPPORTO DI PROVA

ANALISI CHIMICHE

CAMPIONE SC 122 N – GS - 04

Parametro	Metodo di prova	Risultati	Unità di misura
Stato fisico	Esame visivo	solido	Solido/liquido
Sostanza secca (a 105°C)	UNI EN 14346:2007 Met.A	77,5	%
<i>Composti inorganici</i>			
Arsenico	Manuale ICRAM (2001-2003)	6,41	mg/kg s.s.
Cadmio	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,01	mg/kg s.s.
Cromo totale	Manuale ICRAM (2001-2003)	6,81	mg/kg s.s.
Nichel	Manuale ICRAM (2001-2003)	1,93	mg/kg s.s.
Piombo	Manuale ICRAM (2001-2003)	17,11	mg/kg s.s.
Rame	Manuale ICRAM (2001-2003)	0,72	mg/kg s.s.
Zinco	Manuale ICRAM (2001-2003)	80,53	mg/kg s.s.
Alluminio	Manuale ICRAM (2001-2003)	3.687,4	mg/kg s.s.
Mercurio	Metodo EPA 7473 (2007)	49,1	µg/kg ⁻¹
Fosforo Totale	UNI EN 16170:2016	187,51	mg/kg s.s.
Azoto Totale	Metodo XIV.3 D.M. 13 settembre 1999	0,25	g/kg
<i>Composti organici</i>			
Naphtalene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaftilene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaphtene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Fluorene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Phenanthrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	11,6	µg/kg
Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	21,4	µg/kg
Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	46,3	µg/kg
Benzo(a)Antracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Chrysene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(b)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(k)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(a)Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg

Dibenzo(a,h)Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(g,h,i)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Indeno(1,2,3)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
ΣIPA	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	79,3	µg/kg
PCB 28	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 52	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 101	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 81	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 77	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,044	µg/kg
PCB 114	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 118	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 123	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 153	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 105	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 138	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 126	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 128	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 157	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 156	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 167	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 180	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 170	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 169	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 189	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
ΣPCB	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,04	µg/kg
TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<10	mg/kg
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	Metodo EPA 5021 (2003), EPA 8260 (2006)	<5	mg/kg
Aldrin			
Dieldrin			
α - hexachlorocyclohexane			
Hexachlorobutadiene			
Alachlor			
Chlorfenviphos			
Chlorpyrofos			
Endusolfan			
TOC (Carbonio Organico Totale)	Metodo VII.3 D.M 13 settembre 1999	1,52	g/kg
TBT (Tributilstagno)	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,003	µg/g s.s.

FINE DEL RAPPORTO DI PROVA

INIZIO DEL RAPPORTO DI PROVA

ANALISI CHIMICHE

CAMPIONE SC 122 N – GS - 05

Parametro	Metodo di prova	Risultati	Unità di misura
Stato fisico	Esame visivo	solido	Solido/liquido
Sostanza secca (a 105°C)	UNI EN 14346:2007 Met.A	77,3	%
<i>Composti inorganici</i>			
Arsenico	Manuale ICRAM (2001-2003)	5,53	mg/kg s.s.
Cadmio	Manuale ICRAM (2001-2003)	1,16	mg/kg s.s.
Cromo totale	Manuale ICRAM (2001-2003)	7,26	mg/kg s.s.
Nichel	Manuale ICRAM (2001-2003)	2,36	mg/kg s.s.
Piombo	Manuale ICRAM (2001-2003)	23,42	mg/kg s.s.
Rame	Manuale ICRAM (2001-2003)	1,37	mg/kg s.s.
Zinco	Manuale ICRAM (2001-2003)	117,61	mg/kg s.s.
Alluminio	Manuale ICRAM (2001-2003)	5.742,0	mg/kg s.s.
Mercurio	Metodo EPA 7473 (2007)	61,5	µg/kg ⁻¹
Fosforo Totale	UNI EN 16170:2016	192,41	mg/kg s.s.
Azoto Totale	Metodo XIV.3 D.M. 13 settembre 1999	0,20	g/kg
<i>Composti organici</i>			
Naphtalene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaftilene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Acenaphtene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<5	µg/kg
Fluorene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Phenanthrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	7,0	µg/kg
Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	15,3	µg/kg
Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	34,6	µg/kg
Benzo(a)Antracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Chrysene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(b)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(k)Fluoranthene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(a)Pyrene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg

Dibenzo(a,h)Anthracene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Benzo(g,h,i)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
Indeno(1,2,3)Perylene	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<2	µg/kg
ΣIPA	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	56,9	µg/kg
PCB 28	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,038	µg/kg
PCB 52	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,115	µg/kg
PCB 101	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,515	µg/kg
PCB 81	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 77	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,033	µg/kg
PCB 114	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 118	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 123	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 153	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,039	µg/kg
PCB 105	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 138	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 126	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 128	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 157	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 156	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 167	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 180	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 170	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 169	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
PCB 189	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<0,03	µg/kg
ΣPCB	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	0,74	µg/kg
TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	Metodo EPA 3546 (2007), EPA 3620 (2007), EPA 8270 D (2007)	<10	mg/kg
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	Metodo EPA 5021 (2003), EPA 8260 (2006)	<5	mg/kg
Aldrin			
Dieldrin			
α - hexachlorocyclohexane			
Hexachlorobutadiene			
Alachlor			
Chlorfenviphos			
Chlorpyrifos			
Endosulfan			
TOC (Carbonio Organico Totale)	Metodo VII.3 D.M 13 settembre 1999	1,31	g/kg
TBT (Tributilstagno)	Manuale ICRAM (2001-2003)	<0,003	µg/g s.s.

FINE DEL RAPPORTO DI PROVA



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Rapporto di monitoraggio e caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera e offshore		
Codice documento: C0421UR30ENVMAR00a	Data emissione: Marzo 2023	Pagina 93 di 114

ALLEGATO 2

Report CoNISMa: "Studio delle biocenosi di pregio posidonieto e habitat a coralligeno"

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
A LARGO DELLA SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE**

Progetto Ichnusa wind power srl
ILStudio Engineering & Consulting Studio srl Taranto

**STUDIO DELLE BIOCENOSI DI PREGIO
*POSIDONIETO E HABITAT A CORALLIGENO***

Coordinamento generale

ING. ANNIBALE CUTRONA



Responsabile scientifico

PROF. ANTONIO MAZZOLA

Responsabili attività

**PROF. ANTONIO MAZZOLA
DOTT.SSA CECILIA TRAMATI**

Autori

DOTT.SSA CECILIA TRAMATI

Febbraio 2023

INDICE

1	PREMESSA	5
2	POSIDONIETO	8
3	HABITAT A CORALLIGENO	16
4	BIBLIOGRAFIA	21

1. PREMESSA

L'attività commissionata al CONISMA dalla iLStudio srl nell'ambito del progetto per la realizzazione di un impianto eolico offshore galleggiante a largo delle coste della Sardegna Sud-Occidentale si riferisce ad una valutazione di immagini ROV per lo studio delle biocenosi di pregio dell'area marina antistante la costa di Portoscuso che sarà interessata dall'installazione di due cavi per l'esportazione dell'energia elettrica dall'area di installazione del parco eolico, posto a 35km dalle coste, fin sull'isola.

Si tratta di una prima valutazione necessaria alla comprensione dello stato di conservazione ambientale che sarà propedeutica ad un approfondito studio ante-operam che il Progetto andrà a sviluppare in fase di monitoraggio "*ante operam*", come indicato nel Piano di Monitoraggio Ambientale, allegato allo SIA e secondo i protocolli previsti dai disciplinari, per la fase autorizzativa e che porterà ad un quadro completo dello stato di salute e dei livelli di qualità ambientale dell'area. In questa fase, ci si è limitati alla sola interpretazione dei 29 video georeferenziati, forniti dal Cliente, effettuati tramite ROV. Ad ogni video corrisponde la registrazione di un transetto con una lunghezza variabile tra 13 m e 135 m. Nella Tab. 1.a sono riportate le coordinate GPS di inizio della ripresa ROV e di conclusione della stessa, come forniti dal Cliente.

Tabella 1.a. Codici transetto/filmati ROV e coordinate GPS iniziali e finali.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO AL LARGO DELLA SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE**
Studio delle biocenosi di pregio posidonieto e habitat a coralligeno

Cod. CoNISMa	Codice Cliente	Coordinate GPS Inizio Filmato (WGS84)	Coordinate GPS Fine Filmato (WGS84)
PS_01	2022-07-12_20-06-06_SC122N2_01_HD	39.195000° 8.383840°	39.194680° 8.384300°
PS_02	2022-07-14_08-12-26_SC122N2_02_HD	39.191900° 8.383500°	39.191800° 8.382970°
PS_03a	2022-07-12_18-53-59_SC122N2_03_HD	39.194611° 8.381361°	39.195167° 8.380611°
PS_03b	2022-07-12_18-59-12_SC122N2_03_HD	39.195111° 8.380639°	39.194583° 8.381389°
PS_04	2022-07-12_19-38-54_SC122N2_04_HD	39.193320° 8.378490°	39.193600° 8.377540°
PS_05	2022-07-14_08-27-36_SC122N2_05_HD	39.191430° 8.374130°	39.191390° 8.373980°
PS_06	2022-07-13_18-45-56_SC122N2_06_HD	39.195180° 8.373890°	39.195630° 8.373640°
PS_07	2022-07-13_19-05-53_SC122N2_07_HD	39.194050° 8.372840°	39.194170° 8.371760°
PS_08	2022-07-14_08-43-07_SC122N2_08_HD	39.194660° 8.369440°	39.195420° 8.369470°
PS_09	2022-07-14_08-58-47_SC122N2_09_HD	39.193720° 8.366170°	39.193380° 8.366060°
PS_10	2022-07-14_09-08-24_SC122N2_10_HD	39.196910° 8.365110°	39.197490° 8.364730°
PS_11	2022-07-14_09-30-52_SC122N2_11_HD	39.198110° 8.362930°	39.198730° 8.362330°
PS_12	2022-07-14_09-47-34_SC122N2_12_HD	39.199070° 8.360400°	39.199860° 8.360120°
PS_13	2022-07-14_10-03-24_SC122N2_13_HD	39.199850° 8.356690°	39.200600° 8.356210°
PS_14	2022-07-14_10-14-44_SC122N2_14_HD	39.201900° 8.355730°	39.202720° 8.355340°
PS_15	2022-07-14_10-30-04_SC122N2_15_HD	39.205770° 8.355560°	39.206570° 8.355540°
PS_16	2022-07-14_10-44-04_SC122N2_16_HD	39.205390° 8.352070°	39.205860° 8.351340°
PS_17	2022-07-14_10-59-31_SC122N2_17_HD	39.208160° 8.349410°	39.208490° 8.348980°
PS_18	2022-07-14_11-11-45_SC122N2_18_HD	39.210220° 8.350220°	39.210850° 8.349770°
PS_19	2022-07-13_13-32-07_SC122N2_25_HD	39.215340° 8.334480°	39.215110° 8.335340°
PS_20	2022-07-13_11-40-45_SC122N2_32_HD	39.224090° 8.320200°	39.223640° 8.320910°
PS_21	2022-07-13_12-53-10_SC122N2_33_HD	39.220110° 8.318930°	39.219280° 8.318460°
PS_22	2022-07-13_11-22-53_SC122N2_35_HD	39.228500° 8.315670°	39.228380° 8.315470°
PS_23	2022-07-13_11-07-40_SC122N2_36_HD	39.225070° 8.314300°	39.224860° 8.314230°
PS_24	2022-07-13_10-05-05_SC122N2_38_HD	39.219340° 8.308820°	39.219200° 8.309280°
PS_25	2022-07-13_09-20-30_SC122N2_39_HD	39.227570° 8.308250°	39.226510° 8.307710°
PS_26	2022-07-13_09-48-09_SC122N2_40_HD	39.218730° 8.302920°	39.218490° 8.303930°
PS_27	2022-07-13_08-24-39_SC122N2_41_HD	39.232260° 8.304380°	39.232470° 8.304510°
PS_28	2022-07-13_08-51-36_SC122N2_42_HD	39.225250° 8.300800°	39.224430° 8.300330°

Nella Tab. 1.b vengono riportati la lunghezza (m) e la profondità media (m) di ogni transetto ed una descrizione generale del fondale.

Tabella 1.b. Lunghezza (m), profondità media (m) e descrizione del fondale di ogni transetto/video ROV.

Cod. CoNISMa	Lunghezza transetto (m)	Profondità media (m)	Descrizione fondale
PS_01	53	6	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta, ampie zone di fondo sabbioso nudo, zone <i>intermatte</i> di sedimento coperto da detrito di <i>P. oceanica</i>
PS_02	47	9	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta e su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_03a	90	5	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta e su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_03b	87	5	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta e su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_04	87	10	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta e su fondo mobile, ampie zone di <i>intermatte</i> sabbioso nudo, zone <i>intermatte</i> coperte da detrito di <i>P. oceanica</i>
PS_05	13	12	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_06	55	11	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta e su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_07	94	11	<i>P. oceanica</i> su <i>matte</i> morta e su fondo mobile, macroalghe su fondo mobile/ <i>matte</i> morta (?)
PS_08	85	16	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo, zone <i>intermatte</i> di sedimento coperto da detrito di <i>P. oceanica</i>
PS_09	39	18	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_10	73	19	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo, zone <i>intermatte</i> di sedimento coperto da detrito di <i>P. oceanica</i>
PS_11	87	18	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo, zone <i>intermatte</i> di sedimento coperto da detrito di <i>P. oceanica</i>
PS_12	91	19	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_13	95	18	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_14	98	21	<i>P. oceanica</i> su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_15	89	25	<i>P. oceanica</i> su fondo duro e su fondo mobile, ampie zone di sedimento sabbioso nudo
PS_16	82	26	<i>P. oceanica</i> su fondo duro e su fondo mobile, ampie zone di sedimento coperto da macroalghe
PS_17	53	27	<i>P. oceanica</i> su fondo duro e mobile, ampie zone di sedimento nudo, macroalghe su substrato duro
PS_18	82	30	Macroalghe su substrato duro con presenza di coralligeno, piccole zone con <i>P. oceanica</i> , ampie zone di fondo nudo
PS_19	80	32	Fondo duro e mobile con macroalghe e rare piante di <i>P. oceanica</i>
PS_20	85	48	Coralligeno e fondo sabbioso nudo
PS_21	104	44	Fondo duro con Coralligeno e fondo sabbioso nudo
PS_22	24	56	Sedimento sabbioso nudo
PS_23	26	54	Sedimento sabbioso nudo
PS_24	45	55	Sedimento sabbioso nudo
PS_25	135	57	Sedimento sabbioso nudo
PS_26	95	55	Sedimento sabbioso nudo
PS_27	29	68	Fondo duro con Coralligeno e fondo sabbioso nudo
PS_28	107	62	Sedimento sabbioso nudo

In Fig. 1.A sono mostrate le posizioni di tutti i transetti/video ROV, che sono stati utilizzati per il recupero delle informazioni, la descrizione della prateria di *Posidonia oceanica* e dell'habitat a Coralligeno.



Figura 1.A. Posizioni di tutti i transetti/video ROV.

2. POSIDONIETO

La prateria di *Posidonia oceanica* è un habitat di elevato pregio ambientale dell'ambiente marino costiero mediterraneo, inserito tra quelli prioritari nella Direttiva Habitat (92/43/CEE habitat marino 1120 "Praterie di posidonie – *Posidonion oceanicae*"). Protetta da convenzioni internazionali e inclusa nell'allegato II della convenzione di Berna del 1979 e nella convenzione di Barcellona del 1995 per la protezione del Mediterraneo dall'inquinamento, svolge un ruolo di vitale importanza per gli ambienti marini costieri in quanto ecosistema ad alta concentrazione di biomassa ed elevata produttività, oltre ad avere un ruolo fondamentale nella stabilizzazione dei litorali, esercitando un'azione smorzante sull'idrodinamismo e imbrigliando il sedimento attraverso l'intrigo dei suoi rizomi.

Nell'ambito della vegetazione fotofila di tali substrati, rappresenta lo stadio *climax*, cioè lo stadio di massima complessità previsto dalla teoria della successione, cui corrisponde pure un massimo di complessità strutturale e funzionale. Questo stadio nell'ambiente marino si raggiunge attraverso complessi e delicati processi che implicano, oltre ai meccanismi di "facilitazione" individuati da Clements (1916), anche i meccanismi di "inibizione e tolleranza", individuati da Connell & Slayter (1977), e quelli di "cooperazione" (Boero *et al.*, 1993). Mantenere nel tempo lo stadio di *climax* significa mantenere pressoché inalterati i delicati equilibri raggiunti da tutti i meccanismi coinvolti nel funzionamento dell'ecosistema. Tuttavia, numerose tipologie di disturbo antropico e naturale possono alterare detti equilibri e innescare, soprattutto in una prateria di *Posidonia*, processi di regressione tali da determinare, in tempi più o meno brevi (dipendenti dalla intensità e dalla durata del disturbo), la scomparsa della prateria stessa, la cui presenza è un bene naturale di elevato valore paesaggistico oltre che ecologico. Quindi, a causa della particolare sensibilità ai disturbi ambientali, la prateria di *P. oceanica* è considerata un ottimo indicatore della qualità ambientale costiera del Mediterraneo (Pergent *et al.*, 1995) e il suo monitoraggio, rappresenta un metodo efficace per individuare precocemente l'instaurarsi di eventuali processi regressivi. Nell'ambito del Descrittore 1 "Biodiversità", l'habitat *P. oceanica* contribuisce al raggiungimento del GES (*Good Environmental Status*), ossia buono stato ambientale, l'obiettivo posto dalla Direttiva quadro 2008/56/CE (o *Marine Strategy Framework Directive* – MSFD) "STRATEGIA MARINA" agli Stati membri ciascuno per le proprie acque marine.

Generalmente, lo studio della prateria di *Posidonia oceanica* si basa sul protocollo riportato nella "Scheda Metodologica per le attività di monitoraggio di specie ed habitat marini delle Direttive 92/43/CE "Habitat" e 2009/147/CE "Uccelli" previste dal DM 11/2/2015 di attuazione dell'art. 11 del D. Lgs. 190/2010 (STRATEGIA MARINA) (Modulo 10, MATTM, 2017). Il monitoraggio previsto da tale scheda ha lo scopo di fornire un quadro completo dello stato di salute e della distribuzione delle praterie di *P. oceanica*, attraverso la determinazione di specifici parametri (Tab. 2.a), con una particolare attività di dettaglio relativamente ai descrittori strutturali della prateria.

Tabella 2.a. Parametri da determinare con indicazione della metodologia di riferimento e del relativo strumento di indagine (Modulo 10, MATTM, 2017).

TIPOLOGIA	PARAMETRO	STRUMENTO DI INDAGINE	METODOLOGIA DI RIFERIMENTO
Estensione dell'habitat	morfo-batimetria	Multibeam echosounder/ Side Scan Sonar	Scheda 10.1
	limiti della prateria	ROV (Remotely Operated Vehicle)	
Condizione dell'habitat	Densità dei fasci fogliari, ricoprimento (percentuale di matte morta, percentuale di Posidonia viva), continuità della prateria, fonti di disturbo evidenti, composizione prateria, tipo di substrato, presenza alghe alloctone, presenza di fioritura	Operatore subacqueo; analisi in laboratorio	Metodo come da DM 260/2010 ^(*)
	parametri morfometrici, lepidocronologici, di biomassa		
	granulometria e TOC del sedimento		
	profondità del limite inferiore e tipo di limite, scalzamento dei rizomi		
	parametri chimico-fisici in colonna	Sonda multiparametrica	

(*) ISPRA, 2012 - Scheda metodologica per il calcolo dello stato ecologico secondo la metodologia PREI. Procedure di campionamento per la raccolta dati.

Per lo studio della prateria di *P. oceanica* dell'area marina situata a sud-ovest della Sardegna, nei pressi di Portoscuso e Portovesme, è stata visionata la totalità dei video ROV forniti dal Cliente. Sono così state individuate le informazioni necessarie e, per ogni transetto, viene qui fornita una descrizione di massima del posidonieto, che potrà essere utilizzata come informazione di base per la successiva fase *ante operam* del progetto.

A differenza della maggior parte delle angiosperme marine che popolano la zona intertidale e raramente penetrano molto al di sotto del livello dell'acqua, *Posidonia oceanica* è interamente sublitorale e si riscontra da meno di un metro fino a profondità di 40 m (Drew & Jupp, 1976). La presenza di *P. oceanica* nella località oggetto di questo studio è risultata evidente nei transetti da PS_01 a PS_18 (Fig. 2.A) e non viene più rilevata nei transetti a profondità media superiore ai 30 m. È possibile, pertanto, dire che questa prateria è in linea con l'estensione verticale di questo habitat nel Mediterraneo, non riuscendo però a spingersi oltre i 40 m così come avviene in acque particolarmente limpide.

Il “limite superiore” corrisponde alla batimetria più superficiale alla quale ha inizio la prateria ed è sempre molto netto, il “limite inferiore” si posiziona alla batimetria più profonda in corrispondenza della quale termina la prateria; quest’ultimo, inoltre, può dare ulteriori informazioni sullo stato di salute della prateria a seconda delle conformazioni che presenta, tra le quali si individuano il limite progressivo o sfumato, il limite netto, il limite erosivo e il limite regressivo (Meinesz e Laurent, 1978; Pergent et al., 1995). Da quanto si è potuto evincere dall’analisi delle immagini ROV, il “limite inferiore” ed il “limite superiore” sono di difficile identificazione ma da quanto rilevato nei transetti più profondi il “limite inferiore” potrebbe essere collocato alla batimetria di circa 30 m. Il primo transetto (PS_1), registrato a circa 600 m dalla costa e ad una profondità media di 6,9 m, mostra piante di *P. oceanica* su uno scalino di *matte* di elevato spessore (Fig. 2.A), che potrebbe far ipotizzare, con buona probabilità, la presenza del limite superiore. Il tratto più costiero dell’area indagata in questo studio non è stato interessato da alcuna registrazione di video ROV, in quanto il Cliente rimanda alla fase “*ante operam*” lo studio di dettaglio che porterà, quindi, successivamente all’applicazione dell’indice PREI. Tuttavia, le macchie visibili attraverso l’aerofoto lasciano intravedere una linea di distribuzione di *Posidonia* sottocosta abbastanza chiara.



Figura 2.A. Posizioni dei transetti/video ROV in cui è presente *P. oceanica*.

In generale, la prateria è risultata presente sia su *matte* (Figg. 2.B÷C) che su fondo mobile (Figg. 2.D÷E), con ampie radure di sedimento sabbioso nudo (Fig. 2.F) e zone *intermatte* di sedimento coperto da detrito fanerogamico (Fig. 2.G). Il transetto PS_07 presenta una caratteristica non evidenziata in altri transetti, cioè una estesa copertura macroalgale su un fondale che sembrerebbe mobile ma che potrebbe essere,

invece, costituito da *matte* morta o substrato roccioso ricoperto da debole copertura sedimentaria (Fig. 2.H).

La presenza di *P. oceanica* insediata su *matte* è evidente fino al transetto PS_7; con un andamento delle strutture di *matte* che divengono via via più piccole e basse allontanandosi dalla costa. La prateria, seppur discontinua, appare rigogliosa e compatta, con alta densità dei fasci fogliari (Figg. 2.I÷L) (non quantificabile tramite video) e una ricca biocenosi fotofila associata. Si precisa che anche in questo caso si rimanda alla fase di monitoraggio “*ante operam*” l’analisi dei fasci tramite campionamento diretto per la definizione dell’indice PREI, indagine che, trovandoci in un SIN, dovrà essere preventivamente autorizzata dagli organi competenti.

In sintesi, si può affermare che l’assenza di una copertura vegetazionale continua e la presenza di ampie zone di fondale sabbioso può far supporre che in questa area *P. oceanica* sia sottoposta ad idrodinamismo elevato, probabilmente causato dalla vicinanza con le dighe foranee del porto. I moti vorticosi innescati da quest’ultimo tendono a formare grandi canali *intermatte* ed estese radure sabbiose. Nel complesso, dalle immagini ROV si può dedurre che il posidonieto a patch sembra risultare in una buona condizione di conservazione.



Figura 2.B. *P. oceanica* su uno scalino di *matte* (transetto PS_1).



Figura 2.C. *P. oceanica* su matte (trassetto PS_4).



Figura 2.D. *P. oceanica* su fondo mobile (trassetto PS_9).



Figura 2.E. *P. oceanica* su fondo mobile (transetto PS_9).



Figura 2.F. Zona di sedimento sabbioso nudo (transetto PS_8).



Figura 2.G. Zone *intermatte* di sedimento coperto da detrito fanerogamico (trassetto PS_8).



Figura 2.H. Fondo con copertura macroalgale (trassetto PS_7).



Figura 2.I. Porzione di prateria compatta e rigogliosa (transetto PS_4).



Figura 2.L. Porzione di prateria con elevata densità di fasci fogliari lunghi (transetto PS_8).

3. HABITAT A CORALLIGENO

Gli habitat a coralligeno sono habitat di interesse comunitario, la cui conservazione rientra nella Direttiva Habitat 92/43/CE Allegato I (codice Habitat: 1170 Scogliere/Reef). I moduli 7 e 8 della MARINE STRATEGY riguardano le biocenosi a coralligeno e rodoliti, organismi marini tipici dei piani infralitorali e circalitorali, con la capacità di formare strutture carbonatiche che accrescendosi realizzano delle vere e proprie costruzioni organiche permanenti, dette biocostruzioni (ARPACAL, 2019).

Il coralligeno può essere definito come “un complesso di biocenosi ricche in biodiversità che formano un paesaggio di organismi animali e vegetali sciafili e perennanti con un concrezionamento più o meno importante fatto di alghe calcaree” (UNEP/MAP-RAC/SPA, 2008). Secondo Ballesteros (2006), il coralligeno è un substrato duro, secondario, formato dal concrezionamento prodotto da organismi (sia animali sia vegetali).

La valutazione dei popolamenti bentonici di fondo duro può essere effettuata mediante censimento visivo da riprese video-fotografiche ad alta definizione e georeferenziati, che possano permettere l'individuazione dell'habitat e dei popolamenti presenti mediante veicoli operati da remoto (ROV), lungo percorsi di indagine funzionali all'identificazione di transetti dove condurre le attività di monitoraggio. Nello specifico, la “*Scheda metodologica per l'attuazione delle Convenzioni stipulate tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e Agenzie Regionali per la protezione dell'Ambiente nel dicembre 2017 – Modulo 7, MATTM, 2019*” fornisce tutte le specifiche necessarie alla dettagliata acquisizione dei dati a valle dell'analisi dei rilievi morfobatimetrici. In questa fase preliminare, propedeutica alla sola comprensione generale della posizione e stato di conservazione delle biocenosi di pregio, non è stata applicata puntualmente la scheda metodologica, per la quale si rimanda nella fase di monitoraggio “*ante operam*”, come da Piano di Monitoraggio Ambientale allegato al progetto di SIA.

L'interpretazione delle immagini ROV, fornite dal Cliente a seguito della campagna geofisica condotta durante il 2022, ha evidenziato che il Coralligeno è presente in n. 3 filmati ROV/transetti forniti dal cliente, il PS_20, il PS_21 e il PS_27. Su questi viene fornita una descrizione delle specie principali presenti nell'habitat a coralligeno.

L'habitat a fondo duro individuato nei filmati ROV è, principalmente, **coralligeno di piattaforma** (v. Figg. 3.A÷D) in cui le alghe calcaree più rappresentate sono le rodoficee-corallinacee come quelle appartenenti ai generi *Lithophyllum* (principalmente *L. stictiforme*) e *Mesophyllum* (*M. alternans* il più abbondante) – e peissoneliacee come *Peyssonnelia spp.* Il raggruppamento di specie è tipico di ambienti fotofili del circalitorale con una copertura a *Cystoseira spp.* (principalmente *C. zosteroides*). Tra le alghe verdi meno abbondanti si ritrovano la *Flabella petiloata* e l'*Halimeda tuna*. È stata raramente individuata la *Dudresnaya verticillata*, appartenente alle alghe rosse, mentre sono risultate più abbondanti le alghe brune appartenenti alle Dictyotales.

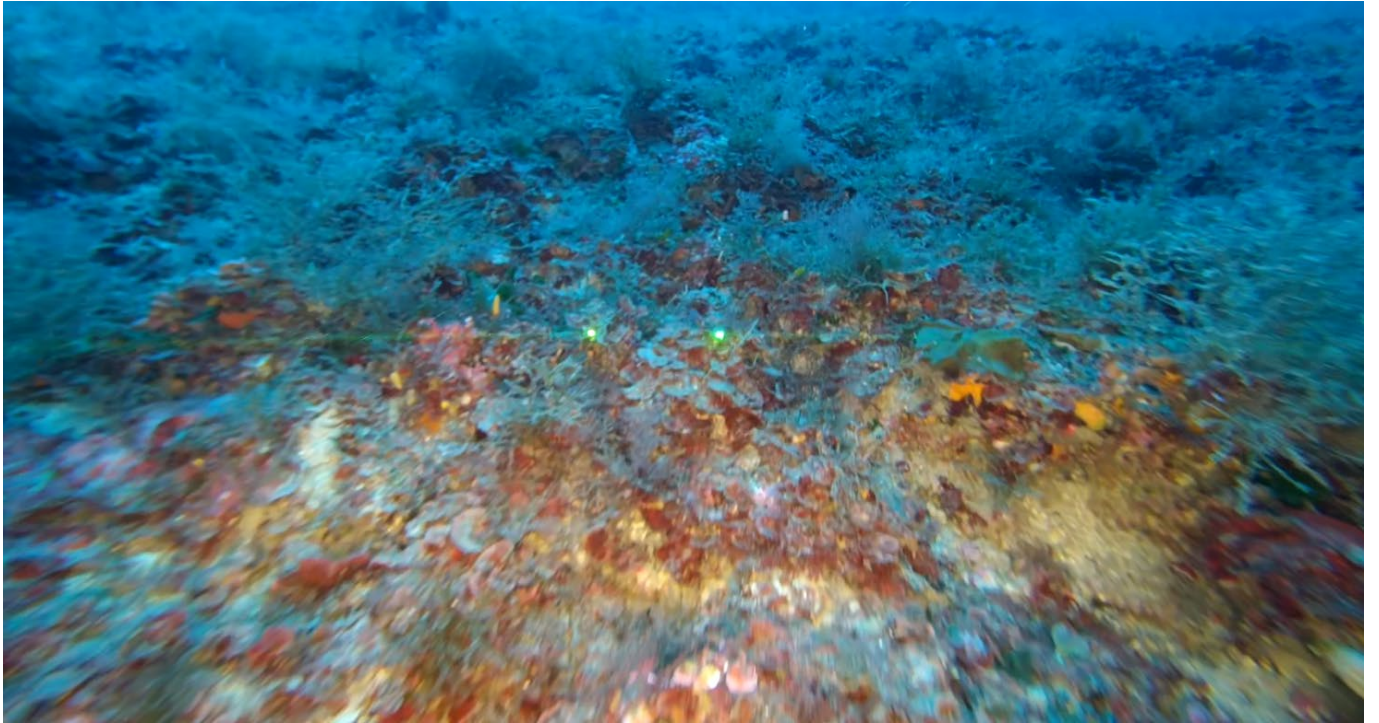


Figura 3.A. Porzione di coralligeno (trassetto PS_20).



Figura 3.B. Porzione di coralligeno (trassetto PS_20).

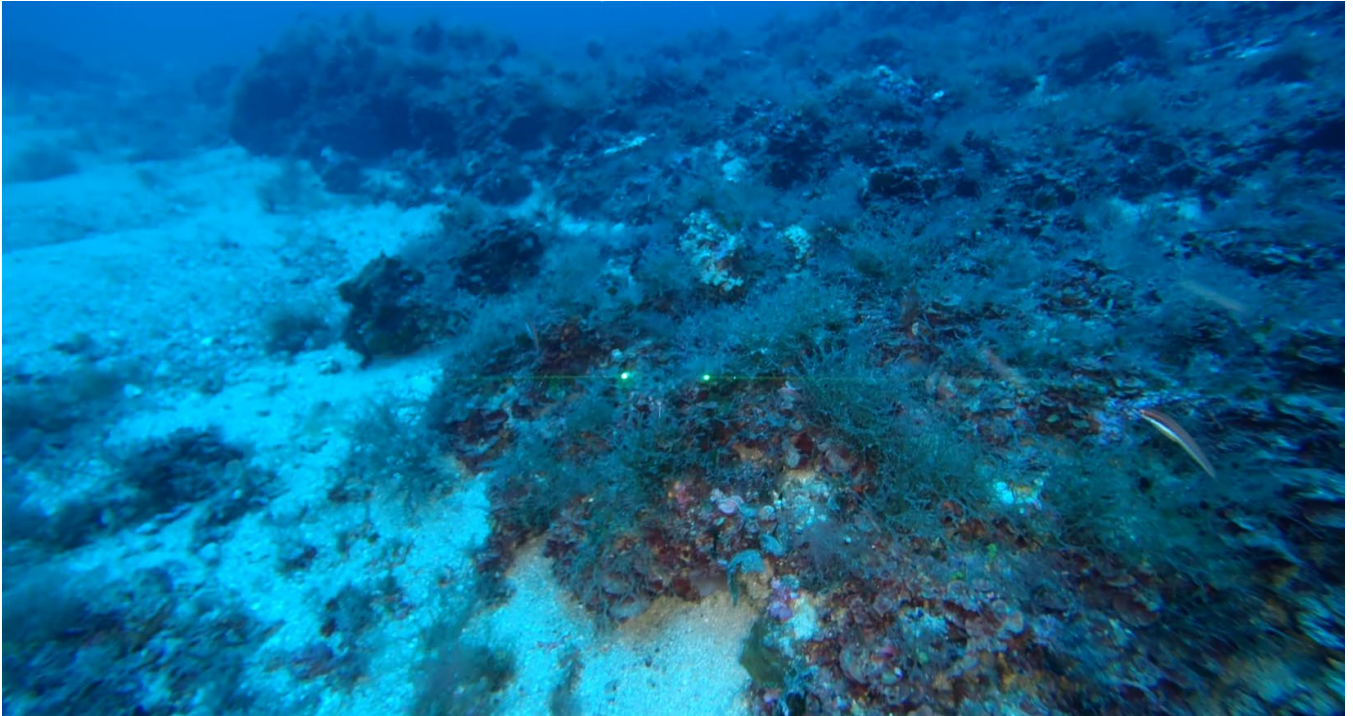


Figura 3.C. Porzione di coralligeno (transetto PS_21).

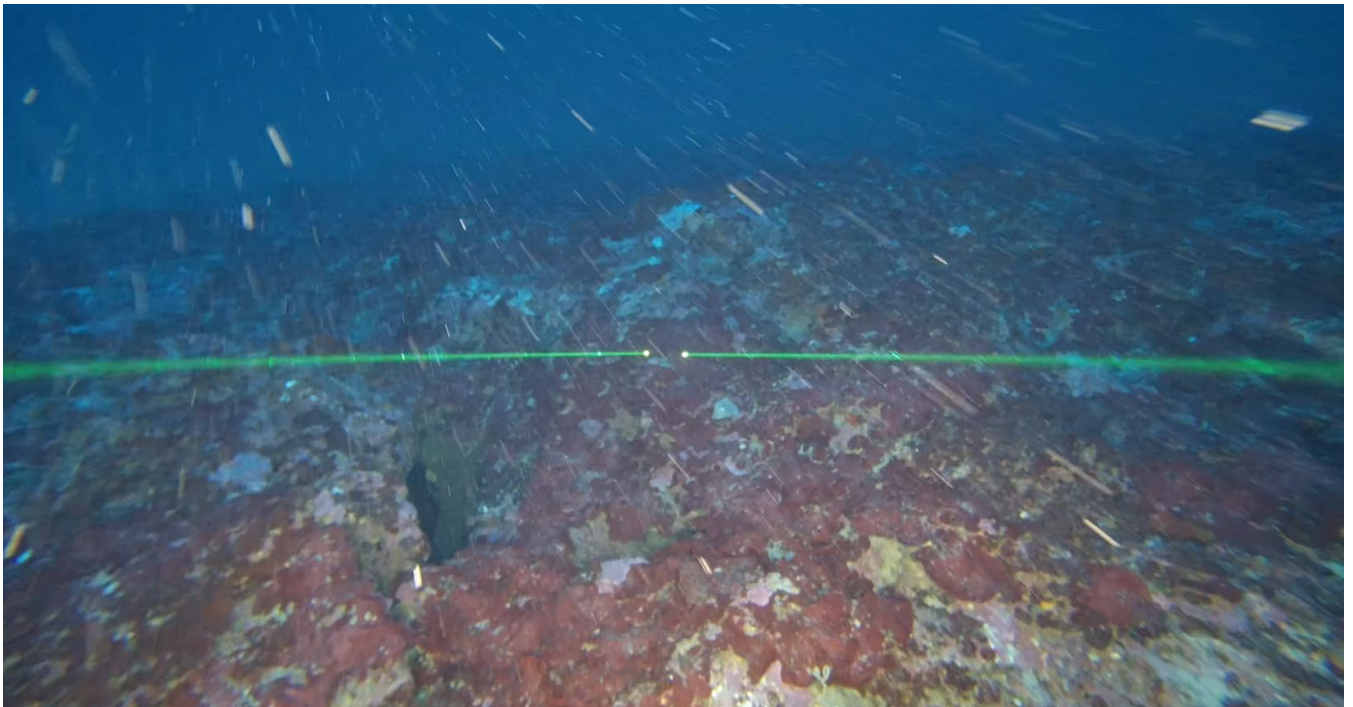


Figura 3.D. Porzione di coralligeno (transetto PS_27).

Nel filmato PS_21, oltre al coralligeno di piattaforma, è presente anche il **coralligeno di parete**, in cui si evidenzia, tra le altre specie già individuate, anche la madrepora gialla *Leptopsammia pruvoti* (v. Fig. 3.E).

L'unica specie epi-megazoobentonica raramente presente è stata l'*Axinella polypoides* (Fig. 3.F).

Si segnala anche la presenza di un individuo di stella marina *Hacelia attenata* e uno di riccio corona *Centrostephanus longispinus*.

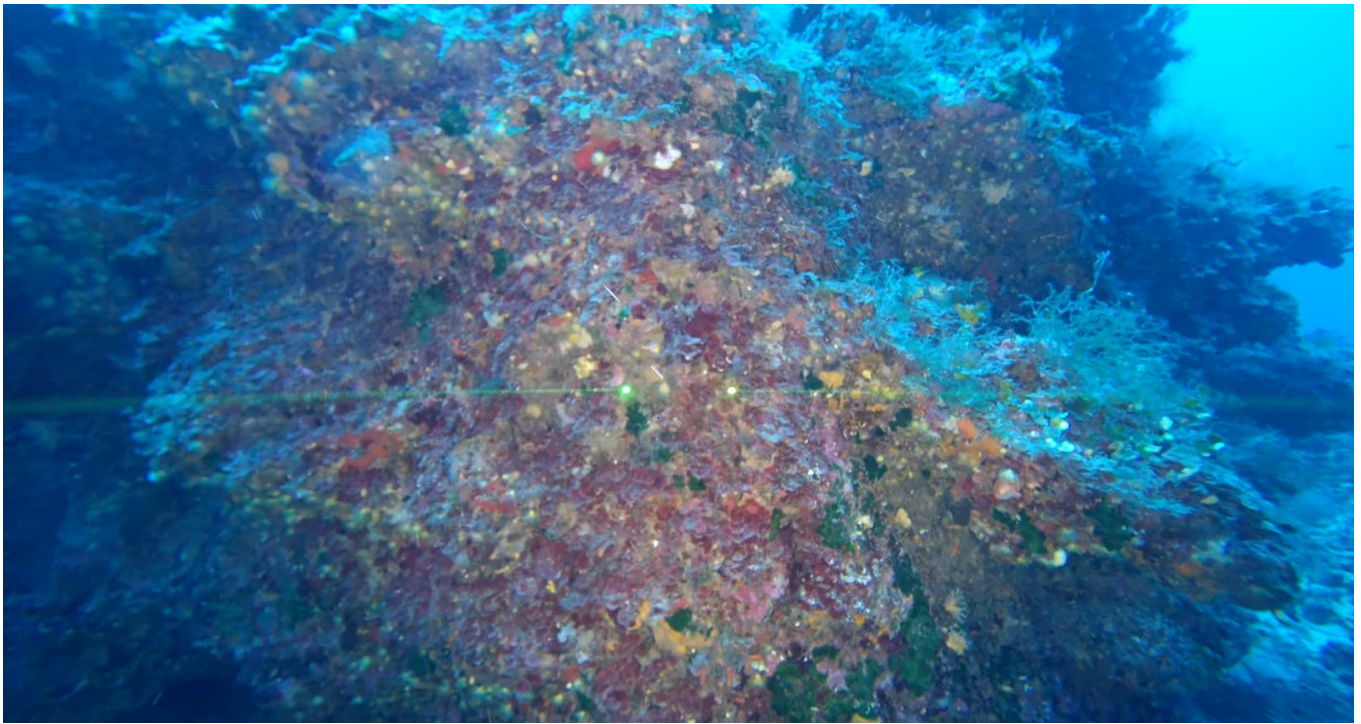


Figura 3.E. Porzione di coralligeno di parete con *Leptopsammia pruvoti* (trassetto PS_21).



Figura 3.F. *Axinella polypoides* (trassetto PS_20).

L'analisi delle immagini mette in evidenza una modesta presenza di specie attribuibili a questo habitat.

Si segnala, inoltre, la presenza di rifiuti antropici (*Marine Litter*) in alcuni transetti/video come riportato nella Tab. 3.a e in Fig. 3.G. Per l'identificazione dei rifiuti ci si è riferiti alla *Joint List Marine Litter*. Per ciascun rifiuto contato e identificato è stato indicato se questo impiglia/ricopre (*entanglement*) o meno organismi bentonici.

Tabella 3.a. Lista del *Marine Litter*.

Codice CoNISMa	Descrizione fondale	Type-Code	J-Code	G-Code	Entanglement
PS_05	Condotta sul fondale apparentemente in disuso	me_nn_ome_larg	J199	G199	no
PS_22	Telo di plastica	pl_ag_ghs	J220		si
PS_23/PS_25	Ancora con catena	me_nn_ome_larg	J199	G199	no
PS_24	Struttura metallica	me_nn_srp	J186	G186	no
PS_27	Cima/Corda	pl_fi_net_tang_mixd	J234		si

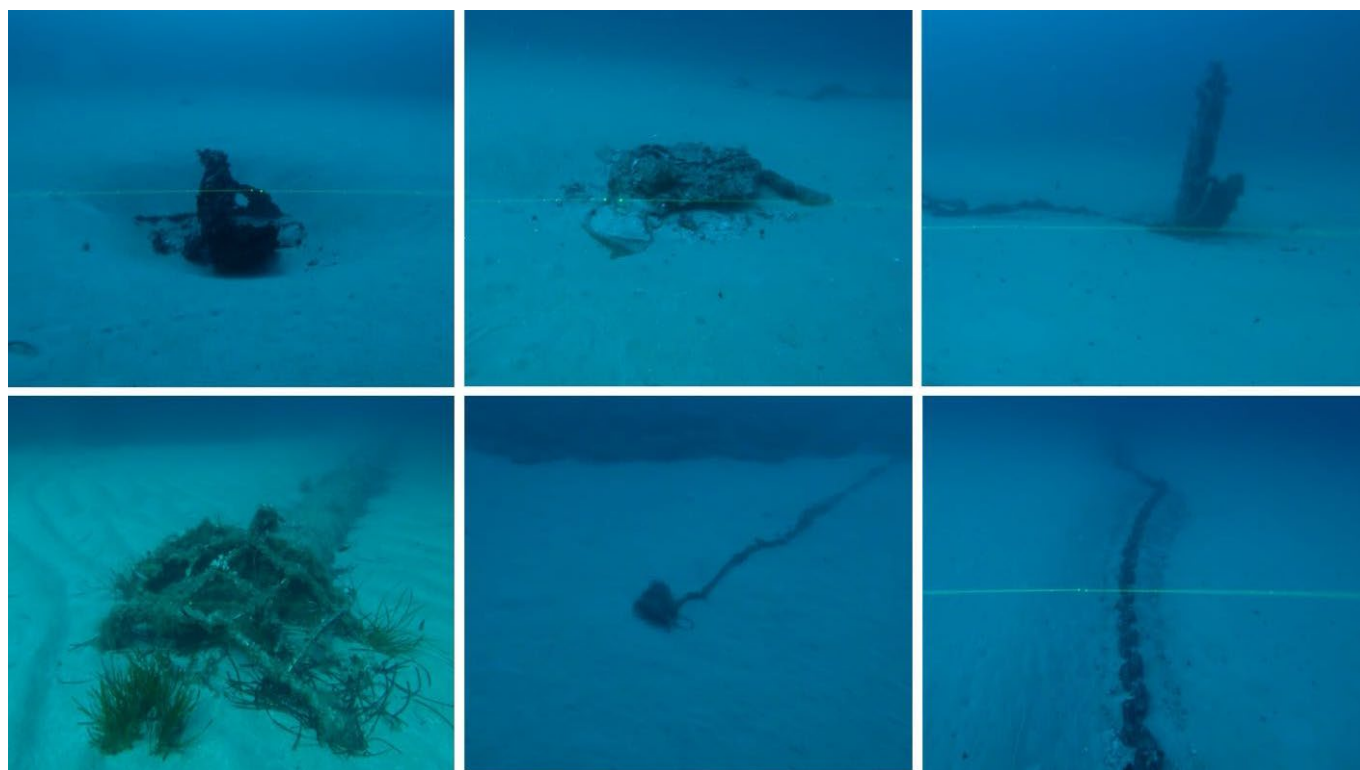


Figura 3.G. *Marine Litter*.

Per la fase *ante-operam* del Progetto si consiglia, qualora i cavi di export si trovino ad interagire con le aree interessate dalla presenza di biocenosi di pregio quali il coralligeno, ad integrare l'indagine biocenotica preliminare, oggetto di questo report, con un approfondimento localizzato che si basi sul protocollo riportato nella “*Scheda metodologica per l'attuazione delle Convenzioni stipulate tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e Agenzie Regionali per la protezione dell'Ambiente nel dicembre 2017 – Modulo 7, MATTM, 2019*”.

4. BIBLIOGRAFIA

- ARPACAL, 2019. Habitat a coralligeno e habitat a fondi Maërl-rodoliti nel programma di Monitoraggio Marine Strategy. Autori: Pizzonia G. e Fabroni F. http://www.arpacal.it/iosonomarerelezioni/240619pizzonia_fabroni.pdf
- BALLESTEROS E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 44, 123-195.
- BOERO F., FANELLI G., GERACI S., 1993. Desertificazione e ricolonizzazione in ambiente costiero: un modello di sviluppo di biocenosi. *Mem. Soc. Tic. Sci. Nat.*, 4, 219-228.
- CLEMENTS F.E., 1916. *Plant succession: analysis of the development of vegetation*. Publ. Carnegie Institute, Washington DC, Publication n. 242, 512 pp.
- CONNELL J.H., SLAYTER R.O., 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Nat.*, 111; 1119-1144.
- DREW, E. A., & JUPP, B. P., 1976. Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. *Underwater research*, 357-367.
- MATTM, 2019. Scheda metodologica per l'attuazione delle Convenzioni stipulate tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e Agenzie Regionali per la protezione dell'Ambiente nel dicembre 2017 - Modulo 7; pp 11.
- MEINESZ, A., & LAURENT, R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France)–Campagne Poseïdon 1976; 513-526
- PERGENT, G., PERGENT-MARTINI, C., BOUDOURESQUE, C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur bio-logique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Etat des connaissances. *Mésogée* 54, 3-29.
- UNEP/MAP-RAC/SPA, 2008. Action Plan for the Conservation of the Coralligenous and Other Calcareous Bio-concretions in the Mediterranean Sea. RAC/SPA publ., Tunis, 21 p.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Rapporto di monitoraggio e caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera e offshore		
Codice documento: C0421UR30ENVMAR00a	Data emissione: Marzo 2023	Pagina 114 di 114

Il presente documento, composto da n. 117 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.

Taranto, Marzo 2023

Dott. Ing. Luigi Severini