

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - BARIUM BAY
74 WTG – 1.110 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

Progettazione e SIA



Indagini ambientali e studi specialistici



Studio misure di mitigazione e compensazione



supervisione scientifica



SIA.ES.6 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE DEI FONDALI

ES.6.5 Caratterizzazione chimico-fisica, microbiologica ed ecotossicologica dei sedimenti, delle acque e delle comunità bentoniche

REV.	DATA	DESCRIZIONE



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE

Indagini ambientali e studi specialistici

LUGLIO **2023**

BARLETTA

BARI

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE
DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE**

BARIUM BAY s.r.l.

Coordinamento generale

ING. ANNIBALE CUTRONA

Responsabile scientifico

PROF. ROBERTO CARLUCCI

Responsabili attività

PROF. ANTONIO MAZZOLA

PROF. FRANCESCO MASTROTOTARO

DOTT.SSA CECILIA TRAMATI

(ULR CoNISMa Bari)

(ULR CoNISMa Palermo)

Comparto

*Sedimenti, fisica, chimica,
microbiologia, saggi biologici*

Macrobenthos

Autori

Sedimenti

PROF.SSA MONIA RENZI, DOTT.SSA CECILIA TRAMATI, DOTT. PASQUALE RICCI,
DOTT. MAURIZIO INGROSSO

Macrobenthos

PROF. FRANCESCO MASTROTOTARO, PROF.SSA ADRIANA GIANGRANDE,
DOTT. GIOVANNI CHIMIENTI, DOTT. ANDREA TURSI, DOTT. MATTEO PUTIGNANO,
DOTT.SSA ALESSIA LOGRIECO, DOTT. DANIELE ROSITO

Luglio 2023

INDICE

PREMESSA	5
1 INQUADRAMENTO DELL'AREA	5
2 IMBARCAZIONI E LOGISTICA	6
3 DISEGNO DI MONITORAGGIO	7
4 CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI	11
4.1 PRELIEVO DEI CAMPIONI	11
4.2 INDAGINI ANALITICHE	12
4.2.1 Analisi fisiche	12
4.2.1.1 Analisi granulometrica	12
4.2.1.2 Peso specifico dei granuli	12
4.2.1.3 Umidità	12
4.2.2 Analisi chimiche	13
4.2.2.1 Carbonio Organico Totale (TOC) e Azoto totale (TN)	13
4.2.2.2 Metalli e Fosforo totale (TP)	13
4.2.2.3 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	13
4.2.2.4 Idrocarburi leggeri C<12 e pesanti C>12	14
4.2.2.5 Pesticidi organoclorurati	14
4.2.2.6 Policlorobifenili (PCB)	14
4.2.2.7 Composti organostannici (TBT, DBT e MBT)	14
4.2.3 Analisi microbiologiche	15
4.2.4 Analisi ecotossicologiche	15
4.2.4.1 Saggio ecotossicologico su sedimento con <i>Monocorpium insidiosum</i>	16
4.2.4.2 Saggio ecotossicologico con <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	16
4.2.4.3 Saggio biologico di embriotossicità con <i>Paracentrotus lividus</i>	17
4.3 RISULTATI	18
4.3.1 Descrittori fisici	18
4.3.2 Descrittori chimici	25
4.3.2.1 Carbonio organico totale (TOC), Azoto totale (TN) e Fosforo totale (TP)	25
4.3.2.2 Metalli	27
4.3.2.3 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	30
4.3.2.4 Idrocarburi leggeri e pesanti	33
4.3.2.5 Policlorobifenili (PCB), Pesticidi e Composti organostannici	34
4.3.3 Variabili microbiologiche	37
4.3.4 Saggi ecotossicologici	37
5 MACROBENTHOS	40
5.1 MATERIALI E METODI	40
5.1.1 Prelievo dei campioni	40
5.1.2 Analisi dei campioni biologici	45
5.1.3 Elaborazione dei dati biologici	45
5.2 RISULTATI	47
6 DISCUSSIONI E CONCLUSIONI	58
6.1 CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI	58
6.2 MACROBENTHOS	59
7 BIBLIOGRAFIA	62

PREMESSA

Il progetto *Barium Bay* prevede la realizzazione di due parchi eolici *off-shore* lungo la costa adriatica pugliese. In particolare, il primo parco eolico verrà collocato nello specchio acqueo presente al largo della città di Brindisi, mentre il secondo verrà messo in opera a nord della città di Bari. Nel contesto della messa in opera dei rotori eolici *off-shore* del parco a nord di Bari, è stata effettuata una caratterizzazione *ante-operam* dei fondali e delle comunità bentoniche presenti nell'area d'impianto delle *wind-farm* ed in corrispondenza del tragitto scelto per stendere i cavidotti di collegamento tra gli impianti e le centrali a terra. Le indagini ambientali hanno previsto una fase di rilievo ed analisi delle caratteristiche fisiche, chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche dei sedimenti, nonché lo studio della composizione in specie delle comunità macrozoobentoniche e del loro stato ecologico.

1 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area in cui verrà impiantato il parco eolico al largo della città di Bari, ha un'estensione di circa 280 km² e il tragitto del cavidotto di collegamento con la stazione a terra posta nei pressi della città di Barletta ha una lunghezza di circa 55 km (Fig. 1.A).



Fig. 1.A – Inquadramento dell'area interessata dalla messa in opera e dell'impianto eolico off-shore al largo della costa a nord di Bari nonché del cavidotto con atterramento presso la città di Barletta.

2 IMBARCAZIONI E LOGISTICA

Le attività di campionamento *ante-operam* alla messa in opera del parco eolico sono state condotte a bordo dell'imbarcazione ANNA GUIDOTTI della GUIDOTTI SHIP S.r.l., un'imbarcazione di tipo *supply vessel* iscritta al n. 28 delle Matricole delle Navi Maggiori del Compartimento Marittimo di Ravenna (N. IMO 9096686, Nominativo Internazionale IJC2) (Fig. 2.A). L'equipaggio consisteva in tre membri (comandante, ufficiale di macchina e marinaio), mentre la squadra addetta alle indagini biologiche e sedimentologiche era costituita da un totale di sei ricercatori. Le indagini sono state condotte tra il 17 ed il 20 dicembre 2022 per quanto concerne l'area interessata dalla messa in opera del futuro parco eolico al largo della città di Bari, e durante la giornata del 12 aprile 2023 per quanto concerne le aree interessate dalla messa a dimora del futuro cavidotto di collegamento tra l'impianto eolico e la terra ferma con possibile sito di atterramento nei pressi della città di Barletta.



Fig. 2.A – Motonave Anna Guidotti utilizzata nell'ambito dei campionamenti effettuati al largo della città di Bari e lungo il tragitto del futuro cavidotto.

3 DISEGNO DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio della frazione di sedimento e del macrobenthos presente, come previsto dal D.M. 24/01/1996 (direttive inerenti le attività istruttorie per il rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 11 della Legge del 10/06/1976 per la movimentazione di sedimenti in ambiente marino), è stato condotto sia lungo il tracciato del futuro cavidotto di collegamento (lunghezza di circa 55 km), sia nell'area del futuro parco eolico (estensione di circa 280 km²) (Tab. 3.a). Conformemente all'allegato B/2 del D.M. di cui sopra, è stato raccolto ed analizzato lo strato superficiale dei sedimenti prelevati nel corso delle attività di monitoraggio. In base a quanto specificato dal DM 24.01.96 (all. B/2), ai fini della caratterizzazione analitica, le stazioni sono state posizionate lungo la direttrice del futuro cavidotto con una frequenza di prelievo di una stazione ogni 200 metri sino a 1000 metri di distanza dalla costa per un numero di 5 stazioni (Figg. 3.A÷C). A partire dai 1000 m e sino a tre miglia dalla costa, sono state allocate ulteriori 5 stazioni di campionamento (Figg. 3.A÷C). A partire dalle 3 MN sino a completamento del tracciato del futuro cavidotto, sono state realizzate ulteriori 8 stazioni di campionamento (Fig. 3.B). Tale strategia ha consentito di ottenere una rappresentazione il più possibile affidabile e rappresentativa delle caratteristiche biologiche e sedimentologiche dell'area d'indagine. In sintesi, lungo la direttrice del tracciato del cavo di collegamento sono state effettuate un totale di n. 18 stazioni così suddivise:

- n. 5 stazioni entro il primo km dalla costa,
- n. 5 stazioni comprese tra il primo km e 3 MN dalla costa,
- n. 8 stazioni oltre le 3 MN.

Delle 5 stazioni più costiere, non è stato possibile, per motivi tecnici, effettuare il campionamento nella stazione più prossima alla costa, la SBN1; nondimeno, la rappresentatività del primo km dell'area interessata dal tracciato risulta assicurata dalle altre 4 stazioni, da SBN2 a SBN5.

Per quanto concerne l'area del Parco Eolico, che si estende per circa 280 km², sono state allocate ed effettuate 10 stazioni di campionamento (Fig. 3.C). Pertanto, considerando sia le stazioni effettuate lungo il tragitto del cavidotto che quelle effettuate nell'area di futura messa in opera dell'impianto eolico, sono effettuate in totale 28 stazioni di campionamento (Tab. 3.a).



Fig. 3.A – Stazioni di campionamento allocate sotto costa in prossimità dell’atterramento del cavidotto presso la città di Barletta.



Fig. 3.B – Stazioni di campionamento allocate lungo il tragitto del futuro cavidotto.



Fig. 3.C – Stazioni di campionamento allocate nell’area del futuro campo eolico.

Tab. 3.a – Codici e coordinate GPS delle stazioni di campionamento del sedimento e del macrozoobenthos di Barium Bay campionate (*Stazione non campionata).

BARIUM BAY – BARI NORD			
Area	Punto	Latitudine	Longitudine
Tracciato	SBN1*	41° 18,878'N	16° 19,520'E
	SBN2	41° 18,984'N	16° 19,555'E
	SBN3	41° 19,090'N	16° 19,591'E
	SBN4	41° 19,205'N	16° 19,569'E
	SBN5	41° 19,312'N	16° 19,480'E
	SBN6	41° 19,895'N	16° 19,479'E
	SBN7	41° 20,149'N	16° 20,046'E
	SBN8	41° 20,377'N	16° 20,620'E
	SBN9	41° 20,599'N	16° 21,195'E
	SBN10	41° 20,859'N	16° 21,866'E
	SBN11	41° 23,370'N	16° 25,041'E
	SBN12	41° 26,019'N	16° 27,962'E
	SBN13	41° 28,611'N	16° 30,825'E
	SBN14	41° 31,166'N	16° 33,702'E
	SBN15	41° 33,228'N	16° 37,273'E
	SBN16	41° 34,558'N	16° 41,409'E
	SBN17	41° 35,893'N	16° 45,576'E
Parco eolico	SB18	41° 31,245'N	16° 57,665'E
	SB19	41° 40,152'N	16° 47,480'E
	SB20	41° 37,544'N	16° 48,696'E
	SB21	41° 39,315'N	16° 50,918'E
	SB22	41° 36,780'N	16° 52,235'E
	SB23	41° 34,216'N	16° 53,419'E
	SB24	41° 35,991'N	16° 55,613'E
	SB25	41° 33,461'N	16° 56,915'E
	SB26	41° 29,776'N	16° 59,721'E
	SB27	41° 32,122'N	17° 01,172'E
	SB28	41° 29,011'N	17° 03,210'E

Presso ciascuna stazione di campionamento sono stati effettuati tre prelievi (tre repliche) utilizzando una benna van Veen avente superficie di presa 0,1 m² ed una capacità di 0,02 m³ (20 litri) (Fig. 3.D). I campioni sono stati ritenuti validi se contenevano un volume minimo di sedimenti pari ad almeno 5 litri per i sedimenti sabbiosi e di almeno 10 litri per sedimenti fangosi, come previsto dalle linee guida internazionali per lo studio dei sedimenti e delle acque marini (ISO/DIS 16665 – *Water Quality Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macrofauna*, 2003). Una volta a bordo, la benna veniva alloggiata in appositi contenitori ed aperta in modo da preservare la stratigrafia del sedimento raccolto (Fig. 3.D).



Fig. 3.D – Benna Van Veen con capacità da 20 litri utilizzata per il prelievo dei sedimenti e del macrozoobenthos nel corso dei campionamenti effettuati nell'area di studio.

Delle tre repliche effettuate presso ciascuna stazione di campionamento, una è stata utilizzata al fine della caratterizzazione fisica, chimica, microbiologica ed ecotossicologica del sedimento, mentre le restanti due repliche sono state analizzate per lo studio del macrozoobenthos. Per ciascuna stazione di campionamento è stata compilata una scheda campione contenente le seguenti informazioni:

- data e ora di prelievo;
- condizioni meteorologiche e marine;
- codice della stazione di campionamento, che ha previsto il prefisso SB per le stazioni allocate nell'area del campo eolico ed SBN per le stazioni allocate lungo il tragitto del cavidotto, seguito da un numero progressivo e dalle lettere A, B e C per differenziare le tre differenti repliche;
- coordinate effettive (registrate al momento della bennata);
- profondità;
- eventuali osservazioni e/o note.

4 CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI

4.1 PRELIEVO DEI CAMPIONI

Al fine della caratterizzazione del sedimento, è stato raccolto ed analizzato lo strato di sedimento più superficiale compreso tra 0 e 2 cm (Fig. 4.1.A). I campioni così prelevati sono stati sottoposti alle indagini fisico-chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche. In particolare, i campioni sono stati omogeneizzati sul campo.

Le aliquote utilizzate per le determinazioni analitiche sono state ulteriormente suddivise in contenitori di plastica (polietilene – PE) per le analisi fisiche, dei metalli, dei macronutrienti, microbiologiche ed ecotossicologiche, ed in contenitori di polietilene decontaminato ad alta densità (HDPE) per le analisi dei contaminanti organici. I campioni destinati all'analisi granulometrica e quelli destinati alle analisi microbiologiche ed ecotossicologiche sono stati conservati a 4°C, mentre i campioni per l'analisi chimica sono stati conservati a -20°C.

I campioni di sedimento prelevati *in situ* sono stati maneggiati con cura in modo da non alterare le condizioni chimico-fisiche del sedimento prima di effettuare le analisi, nel rispetto delle indicazioni EN ISO 5667 – 19 (2004). In particolare, durante le procedure di prelievo, conservazione e trasporto dei campioni sono state garantite le seguenti condizioni:

- assenza di contaminazione derivante dall'ambiente circostante o dagli strumenti impiegati per il campionamento ed il prelievo;
- assenza di perdite di sostanze inquinanti dalle pareti dei campionatori o dei contenitori;
- protezione del campione da contaminazione derivante da cessione dei contenitori;
- adeguata temperatura di prelievo per evitare la dispersione delle sostanze volatili;
- adeguata temperatura di conservazione dei campioni;
- assenza di alterazioni biologiche nel corso dell'immagazzinamento e conservazione;
- assenza, in qualunque fase, di modificazioni chimico-fisiche delle sostanze;
- pulizia degli strumenti ed attrezzi usati per il campionamento, il prelievo, il trasporto e la conservazione, dopo ogni campionamento.

Contestualmente, è stato compilato un brogliaccio di campionamento con i dati relativi a ciascuna stazione e informazioni inerenti alla descrizione macroscopica del sedimento. Inoltre, è stata scattata una fotografia per ciascuna replica effettuata, in cui era visibile il materiale campionato ed un'etichetta riportante il codice univoco della stazione di campionamento.

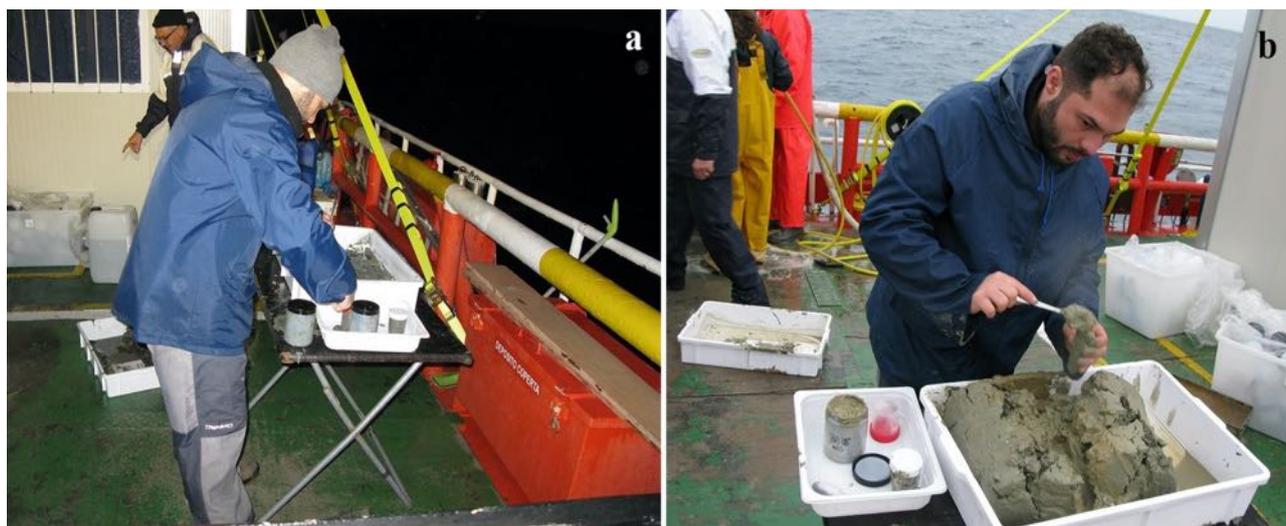


Fig. 4.1.A – Fasi di prelievo delle aliquote utilizzate al fine della caratterizzazione sedimentologica.

4.2 INDAGINI ANALITICHE

In questa parte è riportata una descrizione di maggiore dettaglio del metodo analitico adottato al fine di effettuare le analisi di laboratorio previste per la caratterizzazione dei sedimenti.

4.2.1 Analisi fisiche

4.2.1.1 Analisi granulometrica

L'analisi granulometrica è stata effettuata utilizzando il metodo di separazione meccanico (Vibrosetacciatore AS200, Retsch), previo trattamento dei campioni per l'eliminazione della materia organica, tramite una soluzione di perossido di idrogeno, e separazione delle varie frazioni mediante setacci (metodo ICRAM 2001-2003); inoltre, al fine di dividere le componenti argillose da quelle silteose, i campioni sono stati analizzati mediante granulometro laser (Analysette 22, Fritsch). I risultati ottenuti sono stati espressi in percentuali di ghiaia, sabbia, silt e argilla rispetto al peso del campione totale. I campioni sono stati classificati utilizzando la scala di Wentworth.

4.2.1.2 Peso specifico dei granuli

Il peso specifico è stato quantificato tramite picnometri, secondo le modalità descritte nel metodo ASTM D854. Il risultato è stato espresso in N/m^3 .

4.2.1.3 Umidità

La percentuale di umidità è stata valutata tramite perdita in peso del campione, mediante essiccazione in stufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, fino al raggiungimento del peso costante, secondo il metodo DM 13/09/1999 Met II.2.

4.2.2 Analisi chimiche

4.2.2.1 Carbonio Organico Totale (TOC) e Azoto totale (TN)

Le determinazioni del Carbonio Organico Totale (TOC) e di Azoto totale (TN) sono state svolte secondo il metodo VII.1 “Determinazione del Carbonio Totale o Organico e dell’Azoto Totale con Analizzatore Elementare”, riportato nel DM 13/09/1999 (G.U.R.I., 1999). Per entrambe le variabili, il metodo ha previsto l’utilizzo di un analizzatore elementare di carbonio e azoto CHN (Flash EA1112, Thermo Fisher Scientific). Il campione, dopo essere stato liofilizzato (Alpha 2-4 LDplus, CHRIST), è stato macinato e ridotto in polvere. Per l’analisi dell’N, circa 20 mg di campione macinato sono stati pesati direttamente in capsule di stagno della larghezza di 5x9 mm, precedentemente lavate con acetone ed esano, per poi essere inserite nell’analizzatore elementare CHN; per la determinazione del TOC, il sedimento già pesato (circa 10 mg) in capsule di argento della larghezza di 5x9 mm (lavate con acetone ed esano), prima della lettura all’EA, è stato sottoposto ad attacco acido con HCl 18% ed essiccato a 50°C per 30 minuti fino a completa scomparsa dell’effervescenza. Il risultato analitico è stato espresso in percentuale (%). Il limite di rivelabilità quantitativo (LOQ) del TOC è pari a 0,01% e a 0,005% per il TN.

4.2.2.2 Metalli e Fosforo totale (TP)

La determinazione analitica del Fosforo totale (TP) e dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V e Zn) è stata condotta seguendo il protocollo del metodo USEPA 6010C/2007 “*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*”, che prevede l’utilizzo della tecnica di spettrometria di emissione atomica mediante plasma induttivamente accoppiato (ICP-OES; Optima 8000, PerkinElmer), dotato di un autocampionatore e di un generatore di vapori per la determinazione del mercurio e dell’arsenico. I campioni, precedentemente liofilizzati (Alpha 2-4 LDplus, CHRIST), sono stati sottoposti ad un processo di mineralizzazione secondo il metodo USEPA 3051/2007 “*Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*”, con miscela di acidi forti a caldo, in un sistema chiuso a microonde (Mars 5, CEM) al fine di portare in soluzione i metalli associati alla matrice. Per ogni ciclo di mineralizzazione, è stato preparato un bianco costituito dalla miscela di estrazione senza il campione. Il controllo analitico è stato effettuato mediante mineralizzazione di materiale di riferimento certificato (CRM) NIST 2702. Per gli elementi fortemente volatili, come il Hg e l’As, unitamente all’ICP-OES, è stato utilizzato un generatore di idruri. I risultati analitici dei metalli sono stati espressi in mg kg⁻¹ p.s., e quelli del Fosforo totale in percentuale (%). Il limite di rivelabilità quantitativo (LOQ) è pari a 0,003 mg kg⁻¹ p.s. per tutti i metalli analizzati, ad eccezione del Fe che è 0,01% e del TP che è 0,005 %.

4.2.2.3 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

La determinazione degli IPA è stata condotta mediante gascromatografica accoppiata ad uno spettrometro di massa (GC-MS – QP2010, Shimadzu), seguendo le indicazioni del metodo EPA 8270E/2018 “*Semivolatile organic compounds by gas Chromatography/Mass spectrometry*”. L’estrazione del campione liofilizzato è stata effettuata tramite il metodo EPA 3541/1994 “*Automated soxhlet extraction*”, con miscela di solventi (acetone/n-esano) di purezza “*pesticide-grade*” in estrattore automatico (B-811, BUCHI). La purificazione degli estratti organici è stata effettuata mediante passaggio su cartuccia di gel di silice da 2 g (metodo EPA 3630C/1996 “*Silica gel cleanup*”). Le concentrazioni degli analiti sono espresse come µg kg⁻¹ di peso secco utilizzando per la somma-

toria la stima *lower-bound*. Il LOQ (*Limit of Quantitation*) è pari a $1 \mu\text{g kg}^{-1}$ s.s., per ciascun IPA.

4.2.2.4 Idrocarburi leggeri $C<12$ e pesanti $C>12$

Per la determinazione del contenuto di idrocarburi leggeri ($C<12$), si è proceduto con il metodo EPA 5021A/2014 “*Volatile organic compounds in various sample matrices using equilibrium headspace analysis*” e EPA 8015C/2007 “*Nonhalogenated organics by gas chromatography*” che prevede l’iniezione nel gascromatografo (GC 2010, Shimadzu) della fase gassosa del campione tal quale in equilibrio con la fase solida, impiegando come detector un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID). La concentrazione complessiva degli idrocarburi leggeri è espressa come mg kg^{-1} su peso secco. Il LOQ è pari a $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ s.s.

Per la determinazione del contenuto di idrocarburi pesanti ($C>12$) è stata effettuata una estrazione con solvente seguita da purificazione e successiva analisi gas cromatografica (GC, 2010 Shimadzu) con rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) seguendo il metodo UNI EN ISO 16703:2011. Una quantità nota di sedimento seccato all’aria è stata estratta con una miscela acetone:etere di petrolio. La fase organica è stata raccolta in vial, lavata due volte con acqua e passata su una cartuccia preriempita di Florisil e solfato di sodio anidro per rimuovere i composti polari. La concentrazione complessiva degli idrocarburi è espressa come mg kg^{-1} su sostanza secca. Il LOQ è pari a 1 mg kg^{-1} s.s.

4.2.2.5 Pesticidi organoclorurati

La determinazione dei pesticidi organoclorurati è stata condotta mediante gascromatografia con detector a cattura di elettroni (GC-ECD, 2010 Shimadzu), secondo il protocollo EPA 8081B/2007 “*Organochlorine pesticides by Gas Chromatography*”. La procedura utilizzata per l’estrarre dei pesticidi dalla matrice sedimentaria è stata effettuata con miscela di solventi (acetone/n-esano) di purezza “*pesticide-grade*” in estrattore automatico (B-811, BUCHI), secondo quanto indicato dalla metodica EPA 3541/1994 “*Automated soxhlet extraction*”, mentre la purificazione degli estratti organici è stata effettuata secondo quanto descritto dalla metodica EPA 3630C/1996 “*Silica gel cleanup*”. Il LOQ è pari a $0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ s.s., per ciascun analita, ad eccezione dell’Esaclorobutadiene per il quale il LOQ è pari a $0,01 \mu\text{g kg}^{-1}$ s.s.

4.2.2.6 Policlorobifenili (PCB)

Tutti i singoli congeneri dei PCB sono stati analizzati con il metodo EPA 8270E/2018 “*Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS)*”, tramite GC-MS – QP2010, Shimadzu. La procedura utilizzata per l’estrarre dei PCB è stata effettuata con miscela di solventi (acetone/n-esano) di purezza “*pesticide-grade*” in estrattore automatico (B-811, BUCHI) secondo quanto indicato dalla metodica EPA 3541/1994 “*Automated soxhlet extraction*”, mentre la purificazione degli estratti organici è stata effettuata secondo quanto descritto dalla metodica EPA 3630C/1996 “*Silica gel cleanup*”. Il LOQ è pari a $0,01 \mu\text{g kg}^{-1}$ s.s., per ciascun congenere.

4.2.2.7 Composti organostannici (TBT, DBT e MBT)

I composti organostannici sono stati analizzati tramite il metodo UNI EN ISO 23161:2019 “*Qualità del suolo – Determinazione di composti organostannici selezionati – Metodo gascromatografico*”, che prevede estrazione e derivatizzazione seguite da analisi gascromatografica (GC-MS, QP2010 Shimadzu). Circa 5 grammi di campione essiccato di sedimento sono stati estratti con miscela di

acido acetico: metanolo: acqua (1:1:1) tramite sonicazione in bagno ultrasuoni. Le concentrazioni degli analiti sono state espresse come $\mu\text{g kg}^{-1}$ di peso secco. Il LOQ è pari a $1 \mu\text{g kg}^{-1}$ s.s.

4.2.3 Analisi microbiologiche

Le analisi microbiologiche hanno riguardato la determinazione dei coliformi totali, dei coliformi fecali e degli streptococchi fecali, secondo i metodi, rispettivamente, CNR IRSA 3.1 Q 64 Vol. 1 1983 + APAT CNR IRSA 7010 B Man 29 2003, CNR IRSA 3.2 Q 64 Vol. 1 1983 + APAT CNR IRSA 7020 B Man 29 2003 e CNR IRSA 3.3 Q 64 Vol. 1 1983 + APAT CNR IRSA 7040 A Man 29 2003. In tutti i casi, il campione è stato diluito nel rapporto 1:10 con opportuno brodo di coltura. Successivamente, i campioni sono stati incubati per 24-48 h a 37°C per i coliformi totali e gli streptococchi fecali e a 44°C per i coliformi fecali. La tecnica utilizzata è stata quella MPN, ovvero del *Most Probable Number*, che consiste nell’allestimento di una serie di tubi multipli e relative diluizioni scalari e fornisce una stima della densità batterica del campione analizzato. L’identificazione degli organismi avviene tramite combinazione dei tubi positivi e dei tubi negativi, tramite la tabella di Mc Crady. Il risultato è stato espresso come MPN/g p.s. Per tutte le variabili, il LOQ è stato di 10 MPN/g p.s.

4.2.4 Analisi ecotossicologiche

La stima del pericolo ecotossicologico associato alle varie fasi di movimentazione dei sedimenti è stata effettuata mediante l’esecuzione di saggi di tossicità che hanno consentito una misura diretta e quantificabile del rischio che si manifestino effetti dannosi per il biota. La batteria dei saggi (Tab. 4.2.4.a) è stata composta con tre organismi diversi appartenenti a gruppi tassonomici ben distinti e a classi sistematiche e filogenetiche differenti. I saggi sono stati applicati sia alla fase solida del sedimento (sedimento tal quale) sia a fasi liquide (elutriato in acqua di mare) con tipologie di saggio che permettono di valutare sia gli effetti a breve termine (tossicità acuta) che a lungo termine (tossicità cronica). In dettaglio, la batteria applicata per l’analisi dei sedimenti è stata la seguente:

- Tipologia 1 – *Monocorophium insidiosum* – Test in fase solida; Saggio acuto su matrice Tal Quale.
- Tipologia 2 – *Phaeodactylum tricorutum* – Test in fase liquida; Saggio cronico su estratto in acqua di mare (elutriato di sedimento).
- Tipologia 3 – *Paracentrotus lividus* – Test in fase liquida; Saggio cronico se estratto in acqua di mare (elutriato di sedimento).

Relativamente ai saggi ecotossicologici eseguiti sulle fasi liquide, l’elutriato è realizzato secondo quanto previsto dalle “Metodologie analitiche di riferimento, Sedimenti Scheda 11”, mediante contatto tra il sedimento con acqua di mare (rapporto 1:4) e agitazione per un’ora e successiva centrifugazione.

Tab. 4.2.4.a – Batteria dei saggi ecotossicologici.

Tipologia	Tipologia I	Tipologia II	Tipologia III
Specie	<i>Monocorophium insidiosum</i> (Saggio acuto)	<i>Phaeodactylum tricorutum</i> (Saggio cronico)	<i>Paracentrotus lividus</i> (Saggio cronico)
Metodo	UNI EN ISO 16172:2005	UNI EN ISO 10253:2017	EPA/600/R-95-136/Sezione 15 + ISPRA Quaderno Ricerca marina 11/2017
Endpoint	Mortalità a 10 gg di esposizione	Inibizione crescita algale a 72 h	Plutei anomali a 72 h
Unità di misura	%	%	%

4.2.4.1 Saggio ecotossicologico su sedimento con *Monocorpium insidiosum*

Lo scopo di questo saggio biologico prevede l'esposizione di un numero definito di individui alla matrice da testare, allo scopo di valutare la sopravvivenza degli anfipodi dopo 10 giorni di esposizione al sedimento. Gli anfipodi del genere *Corophium* sono stati prelevati in natura in un sito con presenza documentata della specie *M. insidiosum*. Il saggio è condotto su tre repliche indipendenti di campione da sottoporre a prova. I parametri a contorno (Tab. 4.2.4.1.a) sono monitorati e mantenuti all'interno del range di accettabilità previsto dalla norma di riferimento. Contestualmente è allestito il controllo negativo (sedimento originario dell'anfipode, tre repliche sperimentali indipendenti) e il controllo positivo mediante l'esposizione in triplicato degli organismi a sei concentrazioni scalari di cloruro di cadmio (CdCl_2) per 96 ore. Per l'accettazione del saggio il controllo negativo deve presentare una sopravvivenza degli organismi inizialmente esposti maggiore o uguale all'80% e il controllo positivo deve mostrare EC_{50} compresa tra 1-4 $\mu\text{g/l Cd}^{2+}$ (sulla base della letteratura scientifica).

Tab. 4.2.4.1.a – Parametri del saggio, prova con *M. insidiosum*.

Temperatura	Illuminazione	Fotoperiodo	Durata test
15±2 °C	500-1000 Lux	24 h luce	10 giorni

I dati ottenuti dall'esposizione del campione sono normalizzati secondo la formula di Abbott come segue:

$$\left(\frac{X - Y}{100 - Y} \right) * 100$$

dove:

X = percentuale di effetto nel campione testato;

Y = percentuale di effetto nel controllo.

4.2.4.2 Saggio ecotossicologico con *Phaeodactylum tricornutum*

Il saggio si basa sulla valutazione dell'effetto inibitorio della crescita derivante dall'esposizione di organismi microalgali in fase di crescita esponenziale al campione oggetto di valutazione. Gli organismi sono esposti all'elutriato di sedimento per un periodo di 72±2 ore. Anche in questo caso i parametri a contorno del saggio ecotossicologico sono standardizzati dalla norma di riferimento (Tab. 4.2.4.2.a) e sono stati monitorati per garantire la replicabilità del risultato ottenuto. La crescita, e conseguentemente l'inibizione di questa (endpoint della prova), è quantificata attraverso la misurazione della biomassa delle alghe in funzione del tempo mediante il conteggio cellulare al microscopio o mediante misura della densità ottica allo spettrofotometro (670 nm). La misura del numero di cellule presenti nel campione inoculato è effettuata al momento dell'inoculo e ogni 24 ore; alla fine del periodo di esposizione è calcolato il tasso di crescita del campione. Il dato relativo della crescita riscontrata sul campione è rapportato alla crescita misurata nel controllo negativo. I risultati sono espressi in percentuale e possono essere di segno positivo (inibizione della crescita del campione rispetto al controllo) oppure di segno negativo (stimolazione della crescita del campione rispetto al controllo negativo). Il controllo qualità del saggio è condotto con sei soluzioni scalari di dicromato di potassio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Per l'accettazione del risultato del saggio condotto il controllo negativo deve avere un tasso di crescita di almeno 16 μ e il controllo positivo deve mostrare EC_{50} compresa nel range 14,8-25,4 mg/l.

Tab. 4.2.4.2.a – Parametri del saggio, prova con *P. tricornutum*.

Tempo	Illuminazione (Lux)	Temperatura (°C)	Fotoperiodo
72 h	3000-4000 (dal basso) 6000-10000 (laterale)	20±2 °C	Luce continua

4.2.4.3 Saggio biologico di embriotossicità con *Paracentrotus lividus*

Il saggio di sviluppo embrionale prevede l'esposizione di un numero definito di zigoti di *Paracentrotus lividus* (riccio di mare) alla matrice da testare, allo scopo di valutare il successo dello sviluppo embrionale fino al raggiungimento dello stadio di pluteo a 4 braccia (72 ore dalla fecondazione). Il saggio, come da indicazioni specifiche delle linee guida ISPRA Quaderni Ricerca marina 11/17, è stato condotto sulla diluizione 50% dell'elutriato di sedimento. Il saggio è effettuato al buio alla temperatura di 18±2°C mediante conteggio di cento plutei per replica su tre repliche indipendenti. I dati ottenuti dall'esposizione del campione sono normalizzati secondo la formula di Abbott come segue:

$$\left(\frac{X - Y}{100 - Y} \right) * 100$$

dove:

X = percentuale di effetto nel campione testato;

Y = percentuale di effetto nel controllo.

Il controllo qualità del saggio di embriotossicità è condotto con tre repliche sperimentali indipendenti del controllo negativo (acqua di mare naturale filtrata) e del controllo positivo (Cu²⁺ come tossico di riferimento). La validità del saggio è determinata dalla percentuale di plutei normoformati maggiore o uguale all'80% dei conteggiati totali e dall'EC₅₀ calcolato per il controllo positivo compreso tra 22,60-68,18 µg/L.

I risultati dei test ecotossicologici vengono confrontati con i valori soglia riportati nel “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini” (ICRAM-APAT-MATTM, 2007). Oltre a questo approccio “*pass to fail*” basato, cioè, sul risultato peggiore ottenuto dalla batteria di saggi biologici impiegata, si applica un ulteriore metodo di classificazione dei risultati basato su criteri di integrazione ponderata. Tali criteri tengono conto delle specifiche caratteristiche di ciascun saggio biologico, tra cui la significatività statistica della differenza di effetto fra campione e controllo, la severità dell'effetto intesa come gravità del danno biologico, la tipologia di esposizione (acuta o cronica), la rappresentatività ambientale della matrice testata. Viene considerato, inoltre, la rilevanza biologica dell'*endpoint* misurato e la durata dell'esposizione. L'elaborazione dei criteri sopra esposti viene effettuata mediante il software SediQualSoft 109.0® (licenza n. 202, Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste) che fornisce un indice di pericolo ecotossicologico (*Hazard Quotient*, HQ) per l'intera batteria di saggi impiegata. Secondo questo approccio, al pericolo ecotossicologico, normalizzato ad una scala da 1 a 10, viene attribuita una classe di tossicità (Tab. 4.2.4.3.a).

Tab. 4.2.4.3.a – *Hazard Quotient*, HQ e Classe di tossicità.

HQ Batteria di saggi	Classe di pericolo
<1	Assente
≥1-1,5	Basso
≥ 1,5-3,0	Medio
≥3,0-6,0	Alto
≥6,0-10,0	Molto alto

4.3 RISULTATI

Il presente paragrafo riporta i risultati ottenuti per ogni variabile analizzata nei sedimenti di tutte le stazioni, sia del tracciato del cavo di collegamento, sia dell'area del Parco Eolico.

4.3.1 Descrittori fisici

Il sedimento raccolto, in parte sabbioso e in parte fangoso, ha presentato in tutte le stazioni una colorazione beige scuro e un'assenza di odori specifici (Tab. 4.3.1.a). La determinazione granulometrica ha evidenziato una predominanza di sabbia per quanto concerne le stazioni più costiere, più siltose nelle stazioni intermedie e infine nuovamente sabbiose nelle stazioni dell'area del parco eolico (Tab. 4.3.1.b). La ghiaia è maggiormente presente nelle stazioni SBN6, SBN7 e SBN14. Così come indicato dalla Scala Wentworth.

Nelle Figg 4.3.1.A÷D sono mostrate le distribuzioni delle frequenze delle classi granulometriche di tutti i campioni di sedimento.

Tab. 4.3.1.a – Descrizione fisica dei campioni di sedimento.

Area	Stazione	Colore	Odore	Descrizione
Tracciato	SBN2	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
	SBN3	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso senza alcun frammento di conchiglie, né di alghe o fanerogame
	SBN4	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie, né di alghe o fanerogame
	SBN5	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso, con frammenti di conchiglie, rocce e di fibre vegetali
	SBN6	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso, con frammenti di conchiglie e rocce
	SBN7	Beige scuro	No	Sedimento grossolano, con frammenti di conchiglie e rocce
	SBN8	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso, con frammenti di conchiglie e rocce
	SBN9	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso, con frammenti di conchiglie e rocce
	SBN10	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso, con frammenti di conchiglie e rocce
	SBN11	Beige scuro	No	Sedimento fangoso, con frammenti di conchiglie
	SBN12	Beige scuro	No	Sedimento fangoso, con frammenti di conchiglie
	SBN13	Beige scuro	No	Sedimento fangoso, con frammenti di conchiglie
	SBN14	Beige scuro	No	Sedimento fangoso, con frammento di conchiglie e rocce
	SBN15	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso, con frammento di conchiglie e rocce
	SBN16	Beige scuro	No	Sedimento fangoso, con frammento di conchiglie e rocce
	SBN17	Beige scuro	No	Sedimento fangoso, con frammento di conchiglie e rocce
	SBN18	Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso, con frammento di conchiglie e rocce
	Parco Eolico	SB19	Beige scuro	No
SB20		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
SB21		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
SB22		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
SB23		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
SB24		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso con frammenti di conchiglie e rocce
SB25		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
SB26		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali
SB27		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso con frammenti di conchiglie e rocce
SB28		Beige scuro	No	Sedimento sabbioso/fangoso senza alcun frammento di conchiglie o rocce, né frammenti vegetali

Tab. 4.3.1.b – Composizione granulometrica (%).

Area	Stazione	Ghiaia	Sabbia	Silt	Argilla	Scala Wentworth
Tracciato	SBN2	0,00	95,16	4,23	0,61	sabbia molto fine
	SBN3	0,00	94,57	4,65	0,78	sabbia molto fine
	SBN4	0,00	91,98	6,75	1,27	sabbia molto fine
	SBN5	2,83	26,46	57,65	13,06	silt e sabbia
	SBN6	9,85	64,87	18,30	6,98	sabbia, silt e ghiaia
	SBN7	29,20	69,20	1,31	0,29	sabbia e ghiaia
	SBN8	1,92	88,67	7,67	1,74	sabbia e silt
	SBN9	3,07	45,36	42,26	9,31	sabbia e silt
	SBN10	4,09	26,82	48,79	20,30	sabbia, silt e argilla
	SBN11	0,00	1,34	77,31	21,35	silt e argilla
	SBN12	0,00	2,48	73,21	24,31	silt e argilla
	SBN13	0,00	0,91	74,12	24,97	silt e argilla
	SBN14	32,72	1,33	49,16	16,79	pelite e ghiaia
	SBN15	0,05	50,72	34,67	14,56	sabbia e pelite
	SBN16	0,00	3,11	66,16	30,73	silt e argilla
	SBN17	0,00	17,01	74,50	8,49	pelite e sabbia
	SBN18	5,35	59,84	33,02	1,79	sabbia e silt
	SB19	0,15	34,18	56,01	9,66	silt e sabbia
	Parco Eolico	SB20	0,00	33,64	57,26	9,10
SB21		0,48	59,61	30,44	9,47	sabbia e silt
SB22		0,49	65,62	26,42	7,47	sabbia e silt
SB23		1,72	63,83	32,36	2,09	sabbia e silt
SB24		0,39	84,28	12,76	2,57	sabbia
SB25		0,57	78,12	19,52	1,79	sabbia
SB26		0,09	68,39	29,65	1,87	sabbia e silt
SB27		0,96	76,72	18,33	3,99	sabbia
SB28		0,43	67,80	26,55	5,22	sabbia e silt

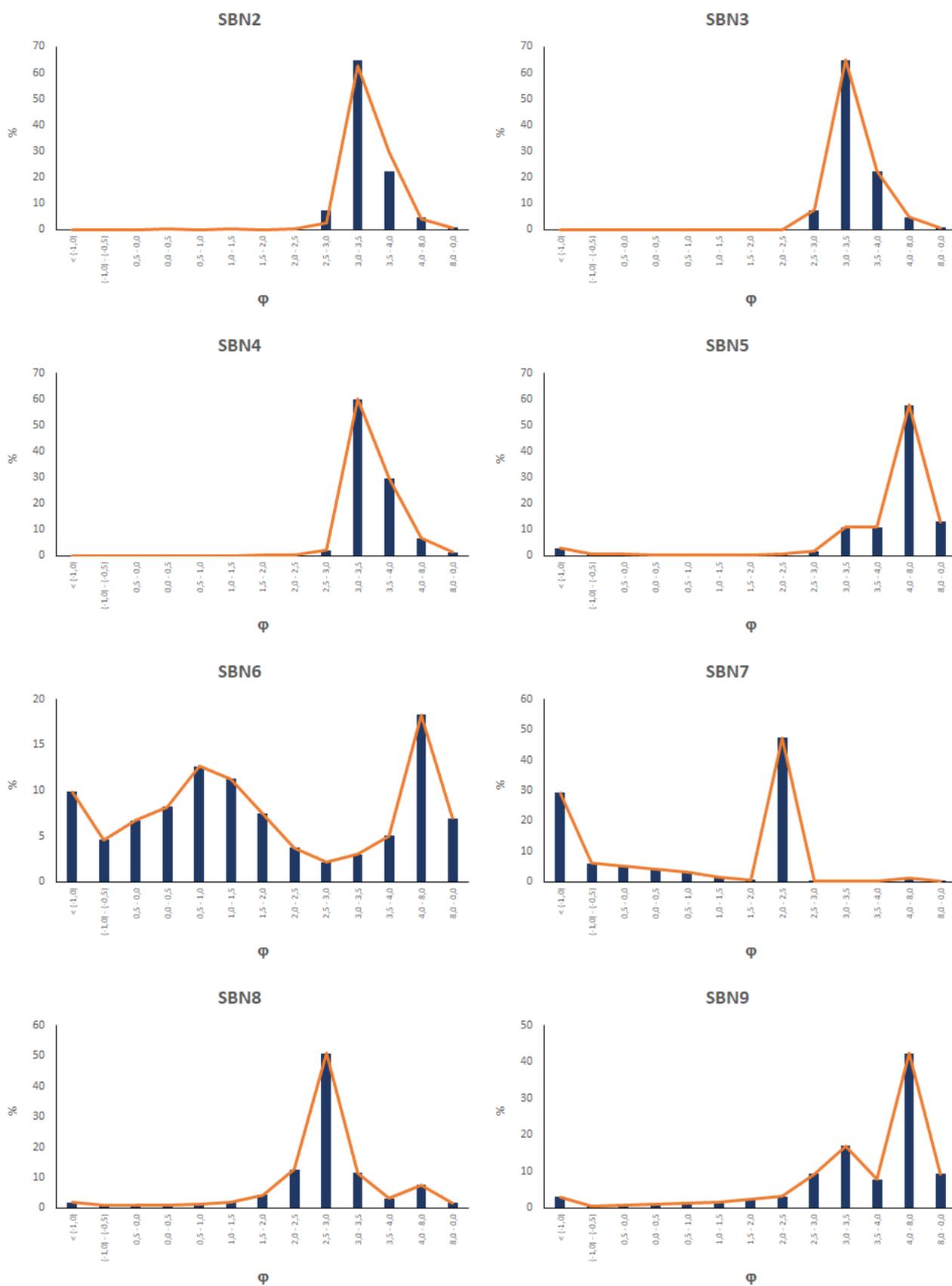


Fig. 4.3.1.A – Distribuzione delle frequenze delle classi granulometriche dei campioni di sedimento delle stazioni da SBN2 a SBN9

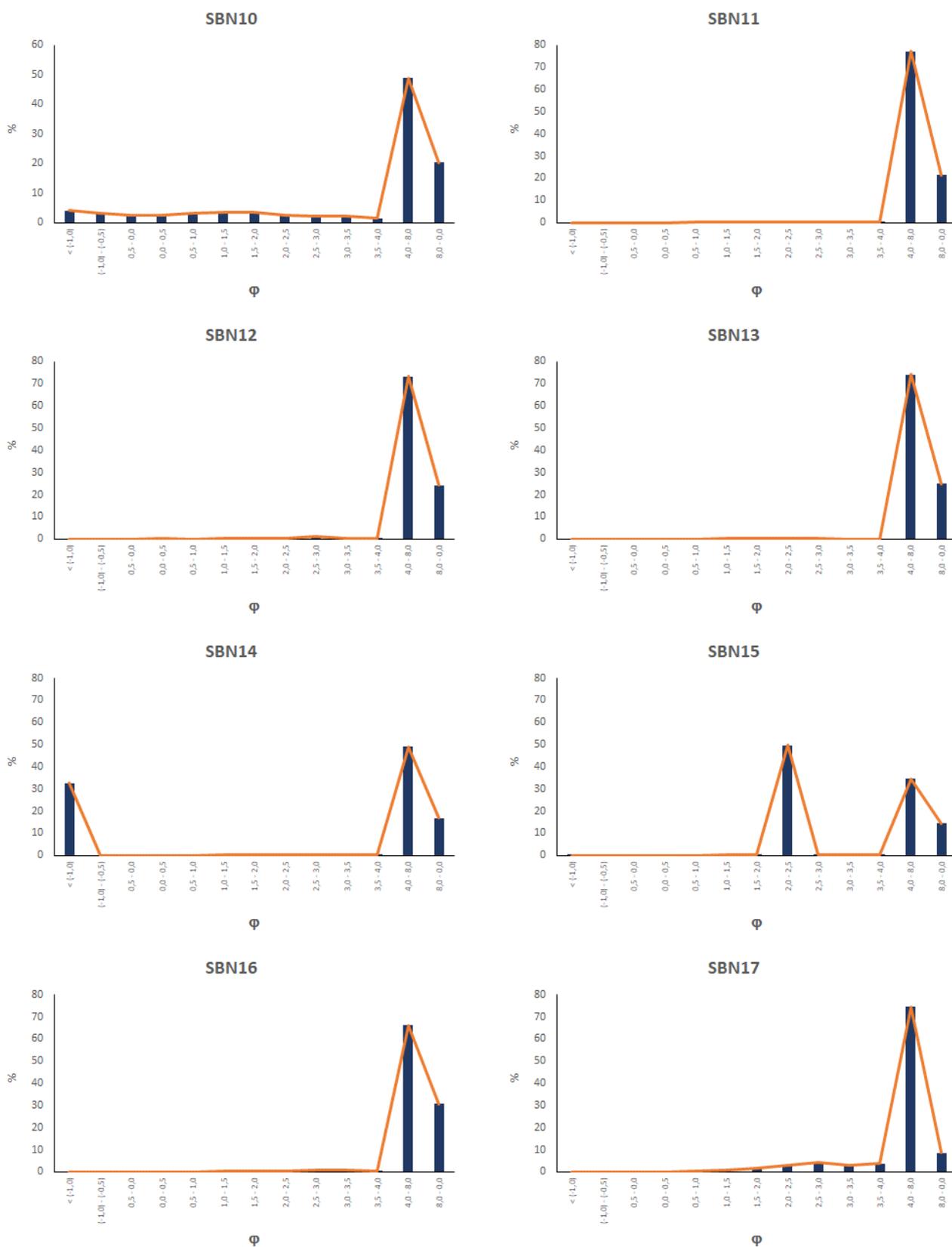


Fig. 4.3.1.B – Distribuzione delle frequenze delle classi granulometriche dei campioni di sedimento delle stazioni da SBN10 a SBN17

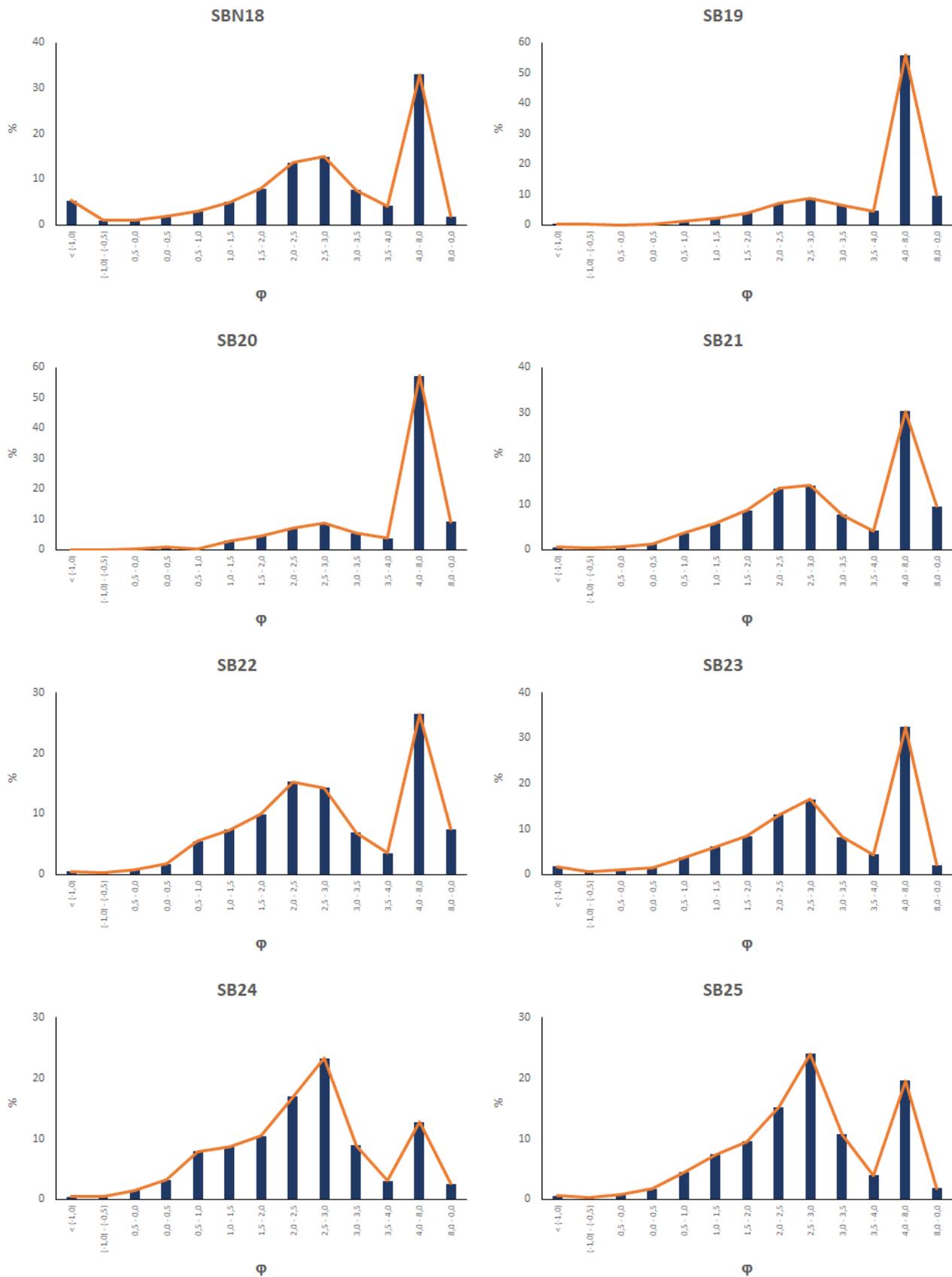


Fig. 4.3.1.C – Distribuzione delle frequenze delle classi granulometriche dei campioni di sedimento delle stazioni da SBN18 a SB25

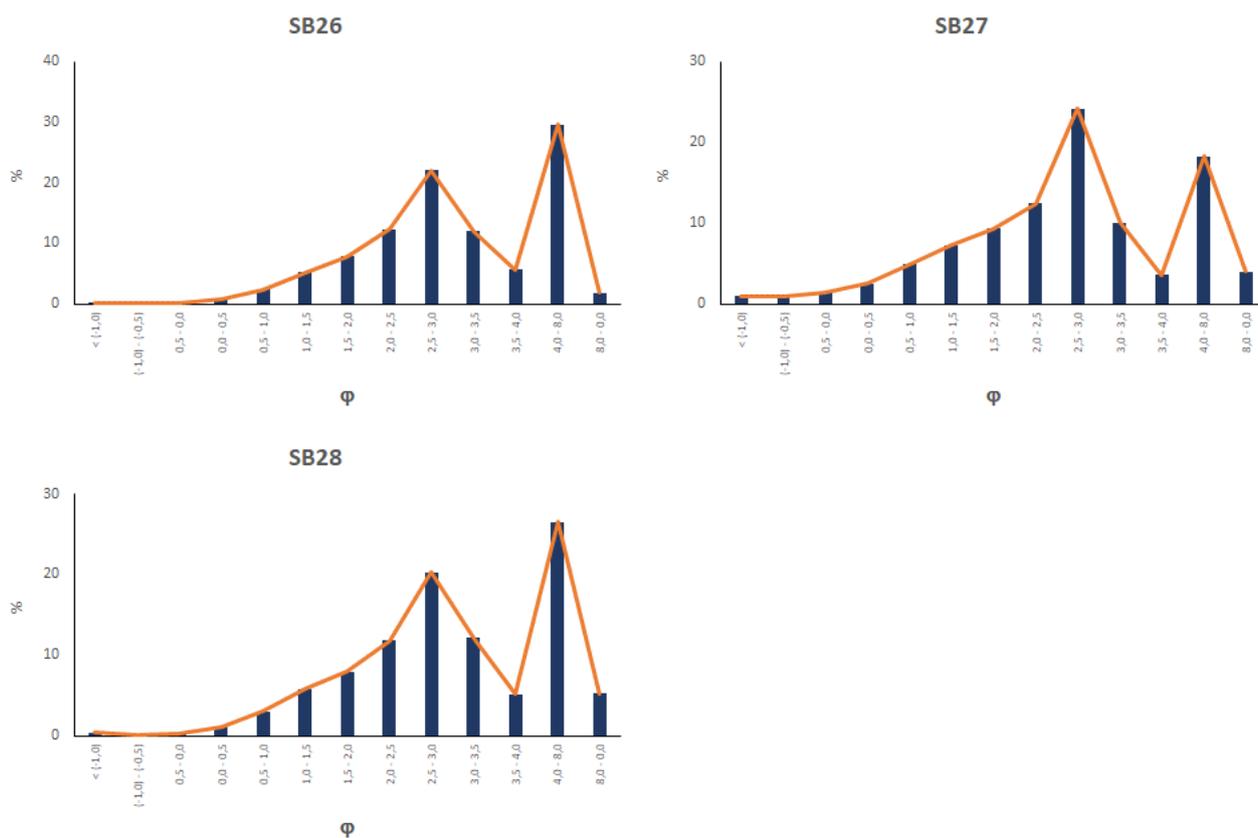


Fig. 4.3.1.D – Distribuzione delle frequenze delle classi granulometriche dei campioni di sedimento delle stazioni da SB26 a SB28

I valori di umidità e di peso specifico hanno mostrato poca variabilità tra le stazioni dell'area del tracciato e quelle dell'area del parco eolico (Tab. 4.3.1.c), con un valore massimo di umidità di 54,43 % in SBN14 e di peso specifico in SBN3 (2,69 %).

Tab. 4.3.1.c – Valori di Umidità e Peso specifico.

Area	Stazione	Umidità (%)	Peso specifico (N/m ³)
Tracciato	SBN2	26,54	2,63
	SBN3	26,44	2,69
	SBN4	24,82	2,65
	SBN5	31,08	2,32
	SBN6	33,66	2,55
	SBN7	27,49	2,44
	SBN8	26,13	2,41
	SBN9	34,98	2,34
	SBN10	46,22	2,14
	SBN11	51,13	1,95
	SBN12	52,72	1,93
	SBN13	50,56	2,08
	SBN14	54,43	2,06
	SBN15	53,15	1,92
	SBN16	52,09	2,11
	SBN17	51,99	2,13
	SBN18	43,28	2,18
	Parco Eolico	SB19	46,38
SB20		53,09	2,02
SB21		40,57	2,20
SB22		39,21	2,12
SB23		40,80	2,22
SB24		33,16	2,33
SB25		33,72	2,42
SB26		41,32	2,20
SB27		29,73	2,23
SB28		37,32	2,14

4.3.2 Descrittori chimici

4.3.2.1 Carbonio organico totale (TOC), Azoto totale (TN) e Fosforo totale (TP)

La Tab. 4.3.2.1.a riporta i valori percentuali di TOC, Azoto totale (TN) e Fosforo totale (TP) dei sedimenti delle stazioni di Bari. I valori medi dei tre nutrienti sono risultati, rispettivamente, pari a $0,45 \pm 0,26$ %, $0,062 \pm 0,035$ % e $0,079 \pm 0,016$ %. L'andamento spaziale dei macronutrienti è mostrato in Fig. 4.3.2.1A, dove si evidenzia per il TOC e il TN un trend sovrapponibile con i livelli più alti nelle stazioni del tracciato più distanti dalla costa (SBN11-SBN17); invece, il TN presenta meno variabilità, con un valore minimo di 0,036 %.

Tab. 4.3.2.1.a – Livelli (%) di TOC, TN e TP dei campioni di sedimento.

Area	Stazione	TOC	TN	TP
Tracciato	SBN2	0,19	0,011	0,097
	SBN3	0,12	0,012	0,109
	SBN4	0,17	0,022	0,072
	SBN5	0,32	0,037	0,062
	SBN6	0,33	0,061	0,052
	SBN7	0,25	0,028	0,036
	SBN8	0,20	0,029	0,052
	SBN9	0,43	0,052	0,066
	SBN10	0,75	0,093	0,070
	SBN11	0,89	0,121	0,082
	SBN12	0,89	0,12	0,079
	SBN13	1,09	0,146	0,079
	SBN14	0,74	0,103	0,074
	SBN15	0,66	0,093	0,075
	SBN16	0,66	0,088	0,087
	SBN17	0,57	0,077	0,102
	SBN18	0,38	0,073	0,091
	Parco Eolico	SB19	0,54	0,083
SB20		0,49	0,068	0,084
SB21		0,44	0,060	0,072
SB22		0,36	0,048	0,089
SB23		0,34	0,052	0,083
SB24		0,22	0,044	0,079
SB25		0,21	0,033	0,090
SB26		0,32	0,052	0,094
SB27		0,21	0,034	0,077
SB28		0,27	0,042	0,071

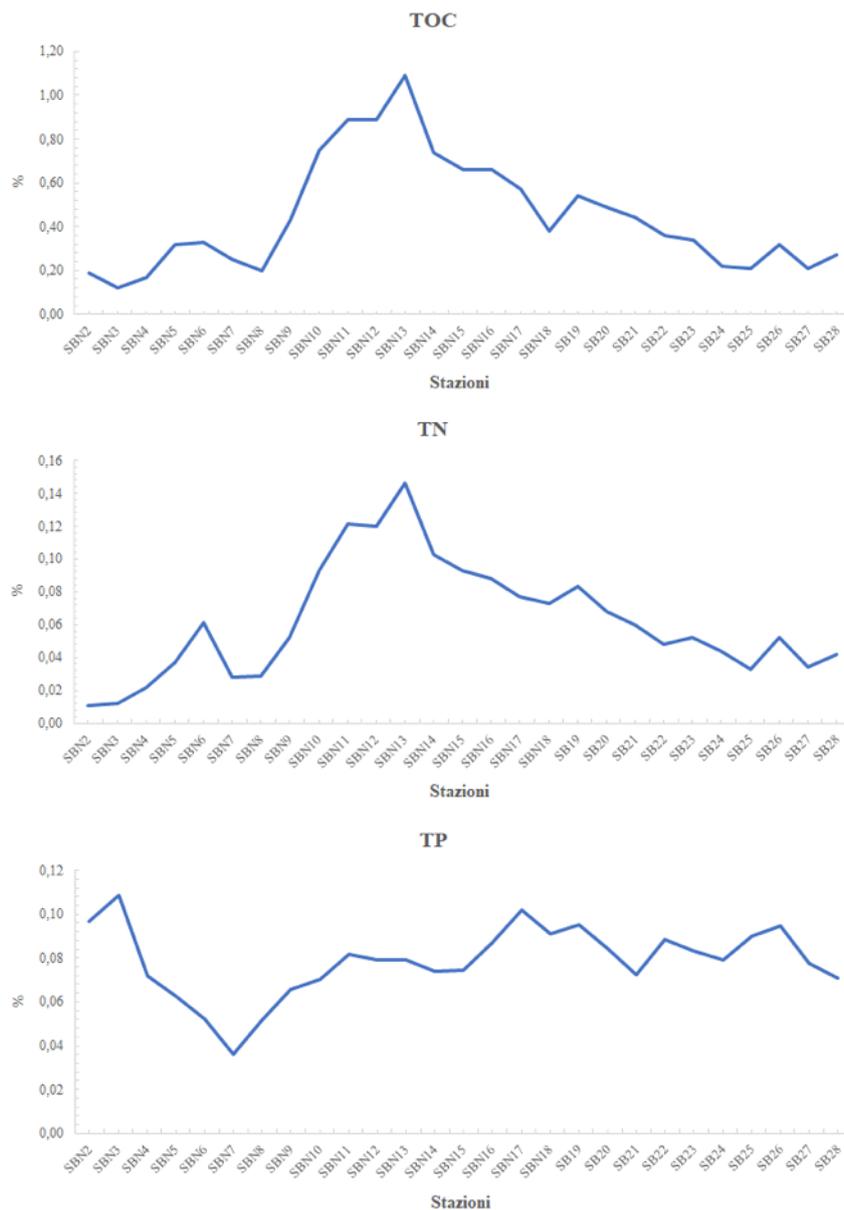


Fig. 4.3.2.1.A – Andamento livelli di TOC, TN e TP.

4.3.2.2 Metalli

La Tab. 4.3.2.2.a riporta i risultati dell'analisi dei metalli nei sedimenti delle stazioni di Bari. Il range di concentrazione (min-max) degli elementi metallici è stato: As 5,786-44,822 mg kg⁻¹ p.s., Cd 0,028-0,171 mg kg⁻¹ p.s., Cr_tot 15,452-120,094 mg kg⁻¹ p.s., Cu 4,865-34,771 mg kg⁻¹ p.s., Hg 0,005-0,056 mg kg⁻¹ p.s., Ni 10,515-45,386 mg kg⁻¹ p.s., Pb 4,426-20,431 mg kg⁻¹ p.s., V 30,380-129,233 mg kg⁻¹ p.s., Zn 21,511-161,076 mg kg⁻¹ p.s. I valori percentuali di Al e Fe, mostrati in Tab. 4.3.2.2.a, sono risultati compresi, rispettivamente, tra 0,36 % e 1,82 % e tra 0,40 % e 1,57 %.

In Fig. 4.3.2.2.A è mostrato l'andamento spaziale di tutti i metalli che evidenzia, ad eccezione del Cd, un innalzamento dei livelli procedendo dalle stazioni più costiere a quelle più distanti.

Tab. 4.3.2.2.a – Livelli dei metalli dei campioni di sedimento.

Area	Stazione	As	Cd	Cr totale	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn	Al	Fe
					mg kg ⁻¹ p.s.						%	
Tracciato	SBN2	9,873	0,171	16,916	5,163	0,011	14,567	9,392	48,421	28,631	1,39	0,77
	SBN3	11,109	0,141	24,283	5,551	0,012	14,687	10,229	58,612	35,561	1,23	0,96
	SBN4	14,291	0,061	21,884	6,425	0,009	15,111	7,711	45,224	35,440	0,98	0,73
	SBN5	9,794	0,081	25,140	10,352	0,012	15,288	6,973	48,221	42,242	0,66	0,60
	SBN6	26,468	0,062	18,615	10,661	0,017	11,553	9,306	40,706	36,727	0,62	0,68
	SBN7	44,822	0,028	23,489	5,892	0,007	12,935	4,426	30,380	23,528	0,53	0,40
	SBN8	18,032	0,072	15,452	4,865	0,012	10,515	4,933	37,513	21,511	1,07	0,52
	SBN9	18,167	0,085	35,417	16,026	0,023	19,183	12,158	83,256	57,672	0,68	0,80
	SBN10	19,916	0,052	45,130	18,831	0,037	27,060	16,916	98,023	62,785	1,66	0,75
	SBN11	20,113	0,064	70,109	19,830	0,049	34,100	15,090	113,131	84,256	1,03	1,17
	SBN12	19,963	0,110	92,091	21,997	0,056	36,116	19,018	121,462	161,076	1,37	1,57
	SBN13	24,088	0,122	120,094	27,325	0,051	36,745	18,696	123,179	147,689	1,56	1,52
	SBN14	28,951	0,143	92,527	23,014	0,037	37,418	20,431	127,483	102,525	1,72	1,49
	SBN15	30,437	0,083	88,809	23,508	0,035	40,341	16,705	124,022	102,530	1,50	1,32
	SBN16	27,275	0,094	78,984	34,771	0,035	43,804	16,904	125,382	87,198	1,82	1,31
	SBN17	32,146	0,036	73,694	21,481	0,034	40,307	12,012	113,588	96,118	0,86	0,91
	SBN18	25,315	0,045	45,575	12,762	0,021	29,460	12,341	81,524	53,737	0,88	0,97
	Parco eolico	SB19	32,309	0,043	76,893	23,886	0,011	39,002	12,259	112,366	89,567	1,09
SB20		24,379	0,133	74,112	23,665	0,005	45,386	14,017	129,233	83,250	0,92	0,89
SB21		27,804	0,066	57,124	17,294	0,031	39,004	11,788	107,289	67,463	0,83	0,82
SB22		28,734	0,111	57,577	15,945	0,025	34,672	14,352	105,383	70,235	0,73	0,96
SB23		17,539	0,044	56,749	16,115	0,023	37,729	12,858	103,706	65,382	0,67	0,77
SB24		18,182	0,103	36,280	8,974	0,014	26,949	15,547	85,443	45,041	0,55	1,01
SB25		14,024	0,098	42,640	18,573	0,021	32,026	12,628	108,079	48,376	0,75	0,76
SB26		8,057	0,056	48,814	14,541	0,026	41,432	13,706	109,021	50,721	1,08	0,91
SB27		5,786	0,112	39,452	11,390	0,011	33,316	16,608	91,618	39,098	0,38	1,33
SB28		6,494	0,050	24,735	9,913	0,009	29,961	12,224	83,701	35,824	0,36	1,05

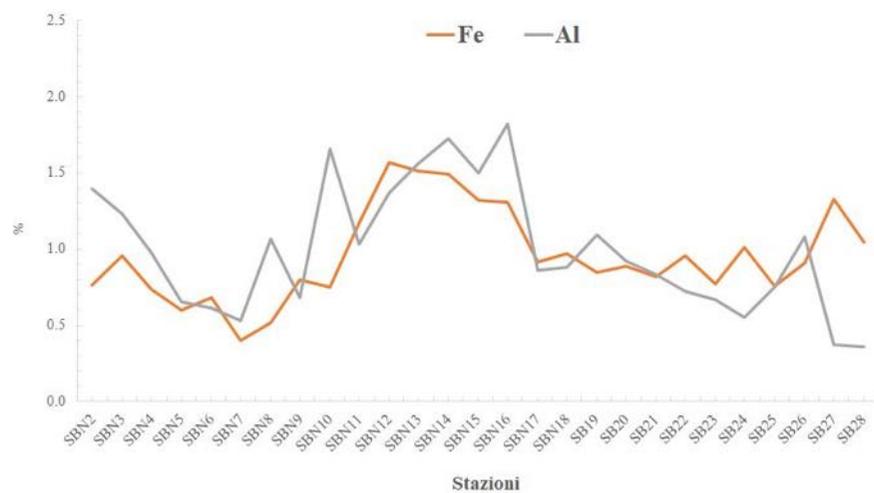
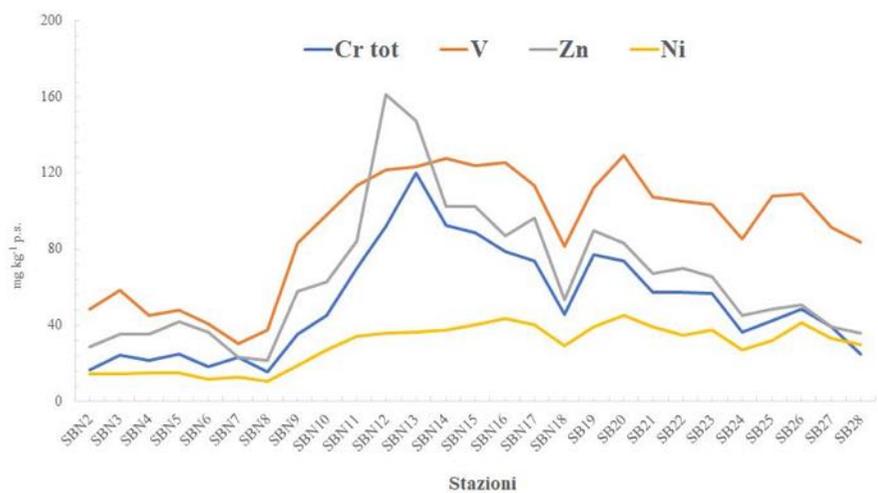
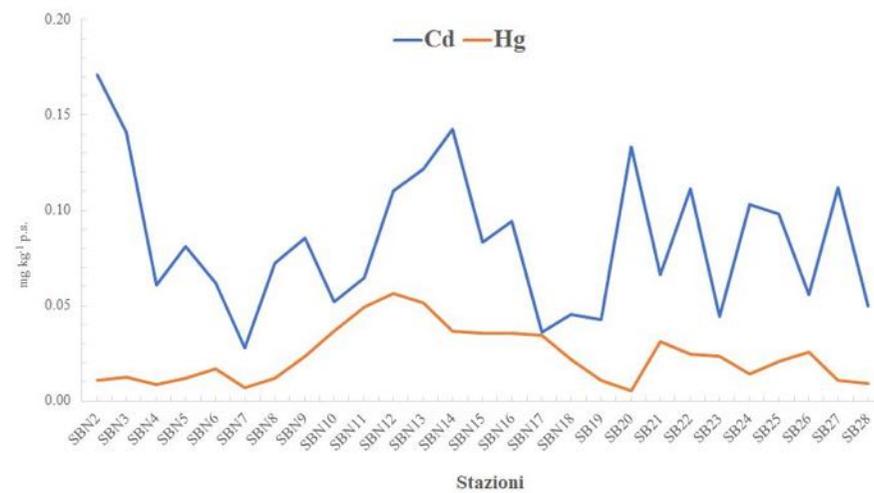
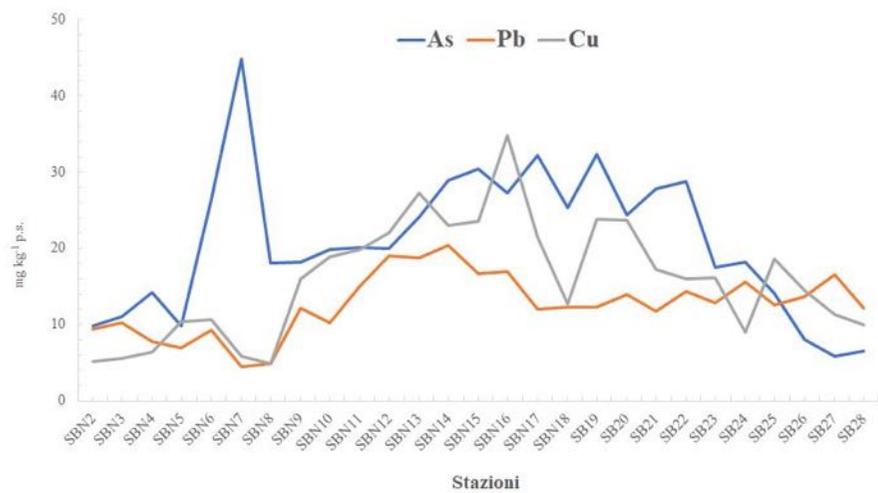


Fig. 4.3.2.2.A – Andamento dei livelli dei metalli.

La valutazione qualitativa dei sedimenti è ottenuta tramite il confronto dei risultati analitici con i limiti prescritti dalla normativa vigente e con standard di qualità internazionali riportati in Tab. 4.3.2.2.b.

Tab. 4.3.2.2.b – Valori limite della concentrazione dei metalli (mg kg⁻¹ p.s.) riportati nella normativa nazionale (D.Lgs. 172/2015 e D.M. 173/2016) e suggeriti dalla letteratura scientifica (Long et al. 1995; MacDonald et al. 1996). ERL: *Effect range low*, ERM: *Effect range medium*, TEL: *Threshold effects level*, PEL: *Probable effects level*.

Metalli	D. Lgs. 172/2015	D.M. 173/2016		D. Lgs 152/06		Long et al. 1995		MacDonald et al. 1996	
		L1	L2	Tab. 1 Col. A	Tab. 1 Col. B	ERL	ERM	TEL	PEL
Arsenico	12	12	20	20	50	8,2	70	7,24	41,6
Cadmio	0,3	0,3	0,8	2	15	1,2	9,6	0,68	4,21
Cromo tot	50	50	150	150	800	81	370	52,3	160
Mercurio	0,3	0,3	0,8	1	5	0,15	0,71	0,13	0,7
Nichel	/	30	75	120	150	20,9	51,6	15,9	42,8
Piombo	30	30	70	100	1000	46,7	218	30,2	112
Rame	/	40	52	120	600	34	270	18,7	108
Zinco	/	100	150	150	1500	150	410	124	271
Vanadio	/	/	/	90	250	/	/	/	/

In particolare, la campagna di campionamento di Bari ha mostrato:

- Livelli di Cd, Hg e Pb inferiori agli Standard di Qualità Ambientale dei sedimenti marino-costieri inclusi nelle Tab. 2/A e 3/A del DM 172/2015 “Attuazione della Direttiva 2013/39 UE, che modifica le direttive 2000/60C per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque”. Il limite SQA dell’As, invece, viene superati da quasi tutte le stazioni e quello del Cr totale da 12 stazioni (n. 7 nel tracciato e n. 5 nell’area del parco eolico);
- Livelli di Cd, Cu, Hg e Pb inferiori ai Livelli chimici di riferimento nazionali L1 e L2, previsti dal DM Ambiente 15/7/2016, n. 173 “Autorizzazione all’immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini – Attuativo dell’art. 109, D. Lgs 152/2006 (Tab. 2.5 dell’Allegato Tecnico al DM). Il livello L2 di As (20 mg/kg p.s.) è stato superato da n 11 stazioni (da SBN22 a SB22) e quasi tutte (tranne n. 6) hanno superato il limite L1 (12 mg/kg p.s.). Anche il livello L1 di Cr totale e Ni è stato superato da diversi campioni. Le stazioni da SBN12 a SBN15 hanno superato il valore L1 dello Zn, mentre l’L2 è stato superato esclusivamente dalla stazione SBN12;
- Livelli di Cd, Cr totale, Cu, Hg, Ni e Pb al di sotto delle Concentrazioni Limite del D. Lgs. n. 152/06 Tab. 1, All. 5 al Titolo V alla parte Quarta – Colonna A: siti ad uso verde pubblico residenziale; Colonna B: siti ad uso commerciale e industriale; sedimento. Il valore della colonna A dell’As e del V è stato superato da diverse stazioni, mentre quello dello Zn soltanto dalla stazione SBN12.
- Livelli di Cd e Hg al di sotto dei Limiti soglia di concentrazione determinati da Long et al. (1995) e da MacDonald et al. (1996): l’*Effect-Range-Low* (ERL) e l’*Effect-Range-Medium* (ERM) e similmente il *Threshold Effects Level* (TEL) e il *Probable Effects Level* (PEL). Diverse stazioni hanno superato i valori ERL e TEL dell’As, del Cr totale, del Ni e del Cu. Le stazioni SBN16 e SB20 sono risultati anche superiori al livello PEL del Ni. Per quanto riguarda o Zn, soltanto n. 2 stazioni (SBN12 e SBN 13) hanno superato i valori soglia ERL e TEL.

4.3.2.3 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

I risultati degli idrocarburi policiclici aromatici, e precisamente dei 16 IPA inseriti nella lista dei “*priority pollutants*” dall’US-EPA (*United States-Environmental Protection Agency*) e loro sommatoria, sono riportati nelle Tab. 4.3.2.3.a÷b. La sommatoria è stata calcolata con un approccio *lower bound*. In generale, molti IPA mostrano livelli al di sotto del LOQ del metodo ($1 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.). Il naftalene ($<1-2,3 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.), il Benzo(a)pirene ($<1-2,6 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.), il fenantrene ($<1-2,2 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.) e il Fluorantene ($<1-2,8 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.) hanno mostrato concentrazioni leggermente superiori agli altri IPA. La ΣIPA è compresa fra <1 e $18,6 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s. L’andamento spaziale della sommatoria degli IPA (Fig. 4.3.2.3.A) è probabilmente legata alla diversa composizione granulometrica del sedimento. La sommatoria dei singoli composti mostra, in tutti i campioni, concentrazioni molto inferiori al valore limite di legge più cautelativo ($900 \mu\text{g kg}^{-1}$) e anche le concentrazioni dei singoli composti, quando rilevati, risultano inferiori ai rispettivi valori di riferimento, riportati dalle normative nazionali, quali il D. Lgs n. 172/2015, il DM 173/2016 e il D. Lgs 152/06.

Tab. 4.3.2.3.a – Concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici nei sedimenti ($\mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.).

A)

Area	Stazione	Acenaftene	Acenaftilene	Antracene	Benz[a]antracene	Benzo[a]pirene	Benzo[b]fluorantene	Benzo[ghi]perilene	Benzo[k]fluorantene
Tracciato	SBN2	1,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	SBN3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	SBN4	1,1	<1	<1	1,0	<1	1,1	<1	<1
	SBN5	1,2	<1	<1	1,1	1,6	1,3	1,1	1,0
	SBN6	<1	<1	<1	1,1	1,5	1,1	1,0	1,0
	SBN7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	SBN8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,0
	SBN9	1,1	<1	<1	<1	1,2	1,1	1,0	1,1
	SBN10	<1	<1	<1	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1
	SBN11	1,2	<1	<1	1,3	2,2	1,5	1,7	1,3
	SBN12	1,4	<1	<1	1,2	2,6	1,4	1,9	1,6
	SBN13	1,5	<1	<1	1,3	1,7	1,7	2,2	1,2
	SBN14	<1	<1	<1	1,1	1,2	1,4	1,4	<1
	SBN15	<1	<1	<1	<1	1,3	1,1	1,3	<1
	SBN16	1,1	<1	<1	1,5	2,0	1,3	3,1	1,4
	SBN17	1,2	<1	<1	1,7	1,7	1,3	1,2	1,7
	SBN18	<1	<1	<1	1,3	1,2	1,6	1,1	1,1
	Parco eolico	SB19	<1	<1	<1	1,1	1,5	1,1	<1
SB20		<1	<1	<1	1,1	1,1	1,1	<1	<1
SB21		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1
SB22		<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,0	1,1
SB23		<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	1,0
SB24		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
SB25		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
SB26		<1	<1	<1	<1	1,2	<1	1,0	1,0
SB27		1,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
SB28		<1	<1	<1	<1	1,1	<1	1,0	1,0

B)

Area	Stazione	Crisene	Dibenzo[a,h] antracene	Fenantrene	Fluorantene	Fluorene	Indeno[1,2,3-cd] pirene	Naftalene	Pirene	ΣIPA
Tracciato	SBN2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	<1	2,1
	SBN3	<1	<1	1,0	<1	<1	<1	1,0	<1	2,0
	SBN4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,3	<1	4,5
	SBN5	<1	1,0	1,1	1,1	<1	<1	1,1	<1	11,6
	SBN6	<1	1,0	1,0	1,0	<1	<1	<1	<1	8,7
	SBN7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	SBN8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,0
	SBN9	<1	1,1	1,2	1,1	<1	<1	1,3	<1	10,2
	SBN10	<1	1,1	1,3	1,2	<1	<1	1,2	<1	10,2
	SBN11	<1	1,3	1,9	1,9	<1	<1	1,5	<1	15,8
	SBN12	<1	1,6	2,0	2,8	<1	<1	2,1	<1	18,6
	SBN13	<1	1,4	2,2	2,4	<1	<1	2,3	<1	17,9
	SBN14	<1	1,0	<1	1,3	<1	<1	2,0	<1	9,4
	SBN15	<1	1,0	<1	1,2	<1	<1	1,4	<1	7,3
	SBN16	<1	1,7	1,8	2,2	<1	<1	1,2	<1	17,3
	SBN17	<1	1,9	2,0	2,7	<1	<1	1,8	<1	17,2
	SBN18	<1	1,0	1,6	1,3	<1	<1	1,3	<1	11,5
	Parco colico	SB19	<1	<1	1,3	1,0	<1	<1	1,1	<1
SB20		<1	<1	1,3	1,0	<1	<1	2,0	<1	7,6
SB21		<1	<1	1,2	<1	<1	<1	1,0	<1	3,3
SB22		<1	<1	1,1	<1	<1	<1	<1	<1	3,2
SB23		<1	<1	1,1	<1	<1	<1	1,0	<1	4,2
SB24		<1	<1	1,0	<1	<1	<1	<1	<1	1,0
SB25		<1	<1	1,0	<1	<1	<1	<1	<1	1,0
SB26		<1	<1	1,0	1,0	<1	<1	1,0	<1	6,2
SB27		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,0
SB28		<1	<1	1,0	1,1	<1	<1	1,0	<1	6,2

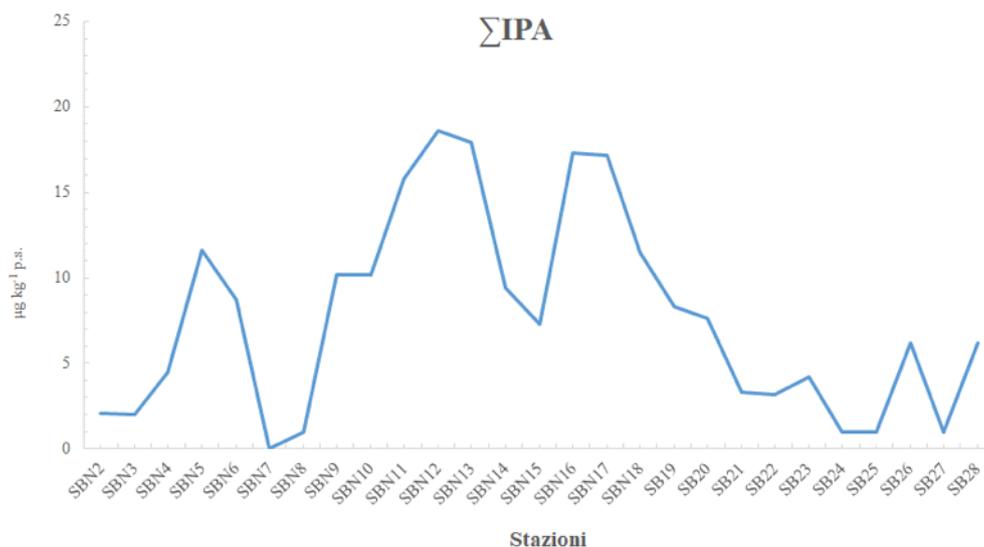


Fig. 4.3.2.3.A – Andamento dei livelli di ΣIPA.

4.3.2.4 Idrocarburi leggeri e pesanti

I livelli degli Idrocarburi leggeri (C<12) e di quelli pesanti (C>12) nel sedimento delle stazioni di Bari sono risultati inferiori al LOQ del metodo, pari a 0,1 mg kg⁻¹ p.s. e 1 mg kg⁻¹ p.s. rispettivamente (Tab. 4.3.2.4.a).

Tab. 4.3.2.4.a – Concentrazioni degli Idrocarburi leggeri (IL) e pesanti (IP) nei sedimenti (mg kg⁻¹ p.s.).

Area	Stazione	IL C<12	IP C>12
Tracciato	SBN2	<0,1	<1
	SBN3	<0,1	<1
	SBN4	<0,1	<1
	SBN5	<0,1	<1
	SBN6	<0,1	<1
	SBN7	<0,1	<1
	SBN8	<0,1	<1
	SBN9	<0,1	<1
	SBN10	<0,1	<1
	SBN11	<0,1	<1
	SBN12	<0,1	<1
	SBN13	<0,1	<1
	SBN14	<0,1	<1
	SBN15	<0,1	<1
SBN16	<0,1	<1	
SBN17	<0,1	<1	
SBN18	<0,1	<1	
Parco Eolico	SB19	<0,1	<1
	SB20	<0,1	<1
	SB21	<0,1	<1
	SB22	<0,1	<1
	SB23	<0,1	<1
	SB24	<0,1	<1
	SB25	<0,1	<1
	SB26	<0,1	<1
	SB27	<0,1	<1
	SB28	<0,1	<1

4.3.2.5 Policlorobifenili (PCB), Pesticidi e Composti organostannici

Nelle Tabb. 4.3.2.5.a÷b sono riportati i valori dei singoli congeneri dei PCB e la loro sommatoria. Soltanto le tre stazioni più costiere hanno presentato un livello rilevabile di PCB123, ma in generale, tutti i congeneri analizzati in tutte le stazioni sono al di sotto del LOQ ($<0,01 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.).

Le concentrazioni dei pesticidi organoclorurati sono risultate in tutti i campioni inferiori al LOQ ($0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s. per tutti i pesticidi e $0,01 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s. per l'Esaclorobutadiene).

Lo stesso risultato è stato riscontrato per quanto riguarda i composti organostannici, che sono risultati, nella totalità dei campioni, inferiori al limite di quantificazione del metodo ($\text{LOQ} = 1 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.s.).

4.3.3 Variabili microbiologiche

Su tutti i campioni prelevati dalle stazioni di Bari sono stati analizzati i Coliformi fecali, i Coliformi totali e gli Streptococchi fecali, i cui livelli sono in tutti i casi al di sotto del LOQ (Tab. 4.3.3.a). Per le variabili microbiologiche relative alla matrice sedimento non esistono valori limite definiti dalla legislazione nazionale.

Tab. 4.3.3.a – Densità di Coliformi fecali, Coliformi totali e Streptococchi fecali.

Area	Stazione	Coliformi fecali	Coliformi totali	Streptococchi fecali
Tracciato	SBN2	<10	<10	<10
	SBN3	<10	<10	<10
	SBN4	<10	<10	<10
	SBN5	<10	<10	<10
	SBN6	<10	<10	<10
	SBN7	<10	<10	<10
	SBN8	<10	<10	<10
	SBN9	<10	<10	<10
	SBN10	<10	<10	<10
	SBN11	<10	<10	<10
	SBN12	<10	<10	<10
	SBN13	<10	<10	<10
	SBN14	<10	<10	<10
	SBN15	<10	<10	<10
	SBN16	<10	<10	<10
	SBN17	<10	<10	<10
	SBN18	<10	<10	<10
	Parco Eolico	SB19	<10	<10
SB20		<10	<10	<10
SB21		<10	<10	<10
SB22		<10	<10	<10
SB23		<10	<10	<10
SB24		<10	<10	<10
SB25		<10	<10	<10
SB26		<10	<10	<10
SB27		<10	<10	<10
SB28		<10	<10	<10

4.3.4 Saggi ecotossicologici

Nelle Tabb. 4.3.4.a÷c sono riportati, rispettivamente, i risultati relativi ai saggi ecotossicologici condotti su fase solida (saggio con *M. insidiosum*) e su fase liquida (saggi con *P. tricornutum*, e *P. lividus*) dei campioni di sedimento prelevati nelle stazioni lungo il tracciato (SBN2, SBN5, SBN8, SBN11, SBN14 E SBN17) e in quelle all'interno dell'area del Parco Eolico Barium Bay (SB20, SB24, SB25 e SB28).

Tab. 4.3.4.a – Risultati *Monocorophium insidiosum* (Tipologia 1, saggio fase solida) Mortalità media (%) degli organismi dopo 10 giorni di esposizione e deviazione standard. La media corretta è riferita alla correzione di Abbott (°).

Stazione	Media	Dev. st.	Media°
SBN2	23,3	2,9	19,3
SBN5	16,7	2,9	12,3
SBN8	18,3	2,9	14,0
SBN11	16,7	2,9	12,3
SBN14	16,7	2,9	12,3
SBN17	21,7	5,8	17,5
SB20	16,7	2,9	13,8
SB24	16,7	2,9	13,8
SB25	15,0	5,0	12,1
SB28	15,0	5,0	12,1

Tab. 4.3.4.b – Risultati *Phaeodactylum tricornutum* (Tipologia 2, saggio fase liquida). Percentuale di inibizione della crescita alla massima concentrazione e tasso di crescita medio con deviazione standard.

Stazione	% Inibizione		Tasso di crescita	
	Media	Dev. st.	Media	Dev.st.
SBN2	-1,0	0,5	1,392	0,007
SBN5	-0,7	0,2	1,388	0,003
SBN8	-1,2	0,3	1,396	0,005
SBN11	-0,7	0,8	1,388	0,011
SBN14	-1,9	0,3	1,405	0,005
SBN17	-1,6	0,6	1,400	0,008
SB20	0,6	0,2	1,415	0,003
SB24	0,2	0,4	1,421	0,005
SB25	0,8	0,2	1,412	0,003
SB28	1,0	0,0	1,409	0,000

Tab. 4.3.4.c – Risultati *Paracentrotus lividus* (Tipologia 3, saggio fase liquida). Test condotto su elutriato. Dati riferiti alla percentuale di plutei anomali dopo 72 h di esposizione. La media corretta è riferita alla correzione di Abbott (°).

Stazione	Media	Dev. st.	Media°
SBN2	23,0	2,6	15,1
SBN5	22,3	1,2	14,3
SBN8	22,3	1,5	14,3
SBN11	23,3	1,2	15,4
SBN14	20,7	1,2	12,5
SBN17	22,7	2,3	14,7
SB20	22,7	1,2	15,0
SB24	21,0	1,0	13,2
SB25	22,7	2,1	15,0
SB28	20,7	2,9	12,8

I risultati ottenuti dai campioni sottoposti a prova mostrano valori di tossicità inferiori all'EC₅₀ e all'EC₂₀ per la specie *M. insidiosum*. La specie algale mostra limitati effetti di stimolazione della crescita in tutti i campioni testati. Il saggio condotto sulle larve di echinoderma non mostra effetto corretto superiore al 20%.

Si riporta la classe di qualità complessiva del sedimento secondo il criterio “*pass to fail*” (Tab. 4.3.4.d) e la classificazione secondo il criterio della valutazione del rischio ecotossicologico ponderato mediante l’uso del software Sediqua[®] (Tab. 4.3.4.e). Nel primo caso si osserva una classificazione di Classe complessiva A. Nel secondo caso, il pericolo ecotossicologico è sempre classificato Assente. Il livello qualitativo generale appare molto buono per i sedimenti provenienti da questo sito di indagine.

Tab. 4.3.4.d – Classe di qualità complessiva del sedimento, criterio “*pass to fail*”. *Classificazione dell’effetto ecotossicologico secondo la tabella 2.4. pag 32 delle linee guida APAT-ICRAM “Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini”, 2007.

	<i>M. insidiosum</i>		<i>P. tricornutum</i>		<i>P. lividus</i>		Classe complessiva
	% Effetto	Classe *	% Effetto	Classe *	% Effetto	Classe *	
SBN2	19,3	A	-1,0	A	15,1	A	A
SBN5	12,3	A	-0,7	A	14,3	A	A
SBN8	14,0	A	-1,2	A	14,3	A	A
SBN11	12,3	A	-0,7	A	15,4	A	A
SBN14	12,3	A	-1,9	A	12,5	A	A
SBN17	17,5	A	-1,6	A	14,7	A	A
SB20	13,8	A	0,6	A	15,0	A	A
SB24	13,8	A	0,2	A	13,2	A	A
SB25	12,1	A	0,8	A	15,0	A	A
SB28	12,1	A	1,0	A	12,8	A	A

Tab. 4.3.4.e – Classe di qualità complessiva del sedimento, Classificazione di rischio ponderato mediante Sediqua[®].

Stazione	HQ Batteria	Livello di pericolo ecotossicologico	% Elutriato
SBN2	0,69	ASSENTE	28
SBN5	0,65	ASSENTE	24
SBN8	0,89	ASSENTE	21
SBN11	0,97	ASSENTE	20
SBN14	0,67	ASSENTE	27
SBN17	0,75	ASSENTE	24
SB20	0,76	ASSENTE	27
SB24	0,72	ASSENTE	23
SB25	0,69	ASSENTE	30
SB28	0,67	ASSENTE	27

5 MACROBENTHOS

5.1 MATERIALI E METODI

5.1.1 Prelievo dei campioni

Il prelievo dei campioni è stato realizzato con tecniche di tipo quantitativo, utilizzando una benna van Veen con superficie di presa di 0,1 m² ed una capacità di 20 litri. Tutti i campioni prelevati sono stati fotografati tal quale prima di procedere alle successive fasi di vagliatura attraverso un tavolo a setacci multipli con setaccio finale di 1 mm di maglia (Fig. 5.1.1.A). Il materiale biologico raccolto è stato conservato in acqua di mare ed etanolo al 70% e trasportato in laboratorio per le successive analisi tassonomiche volte all'identificazione delle specie macrobentoniche. La stazione denominata SBN1 non è stata effettuata in quanto pianificata in un'area in cui il fondale di circa 2 m non era compatibile con il pescaggio dell'imbarcazione utilizzata durante le fasi di campionamento.

Nelle Figg. 5.1.1.B÷D sono riportate le fotografie del sedimento tal quale prelevato dalla benna presso ciascuna delle stazioni di campionamento indagate.



Fig. 5.1.1.A – Fasi del campionamento del sedimento e del macrobenthos. a) Salpaggio della benna van Veen a bordo dopo aver prelevato il sedimento; b) svuotamento del contenuto della benna in vasconi di plastica; c) etichettatura del campione; d) svuotamento del sedimento su tavolo a setacci multipli utilizzato per la cernita ed il prelievo degli organismi bentonici; e) fase di setacciatura del sedimento; f) materiale biologico setacciato da un campione.

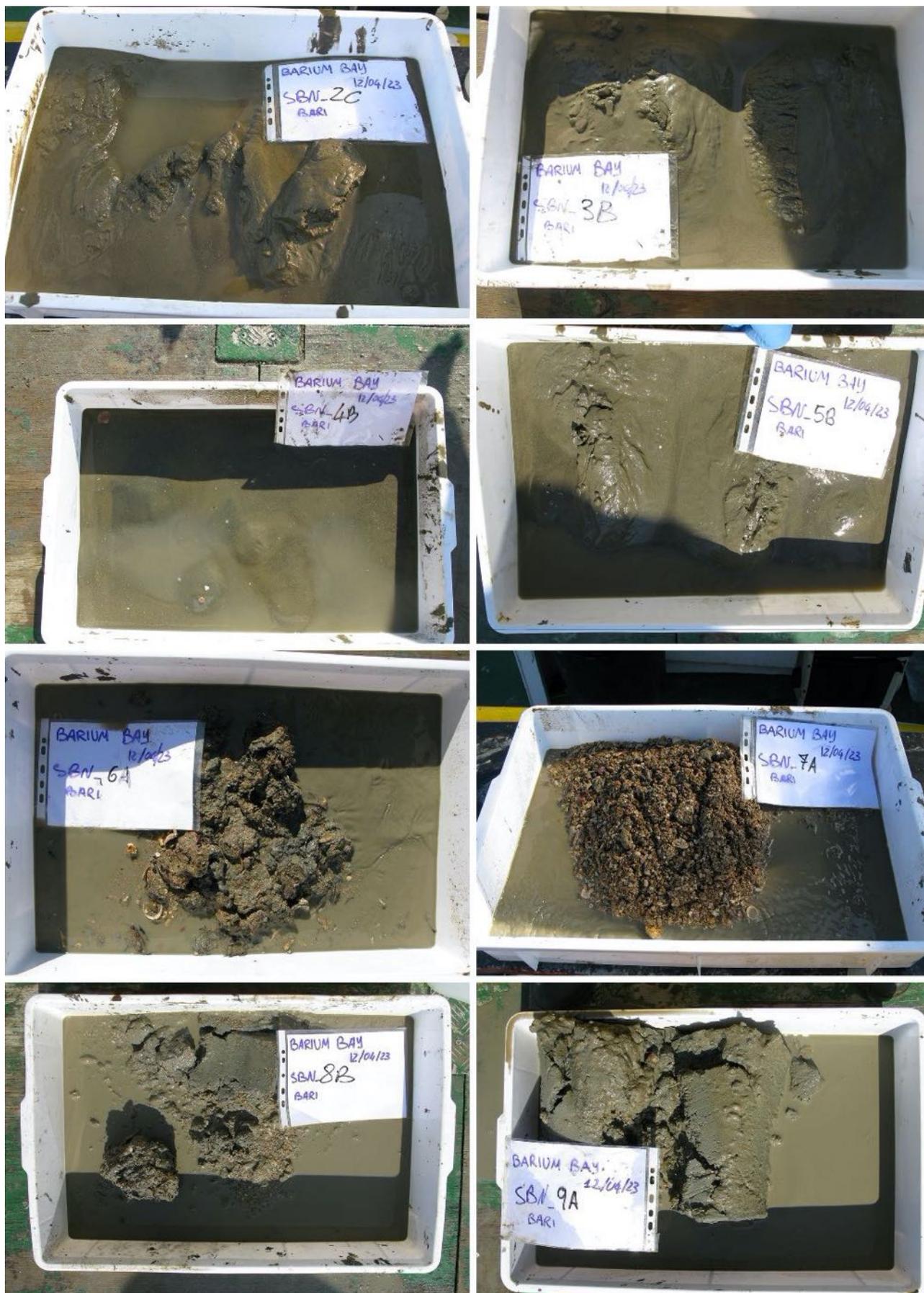


Fig. 5.1.1.B – Fotografie dei campioni tal quali raccolti presso le stazioni campionamento SBN_2 – SBN_9.

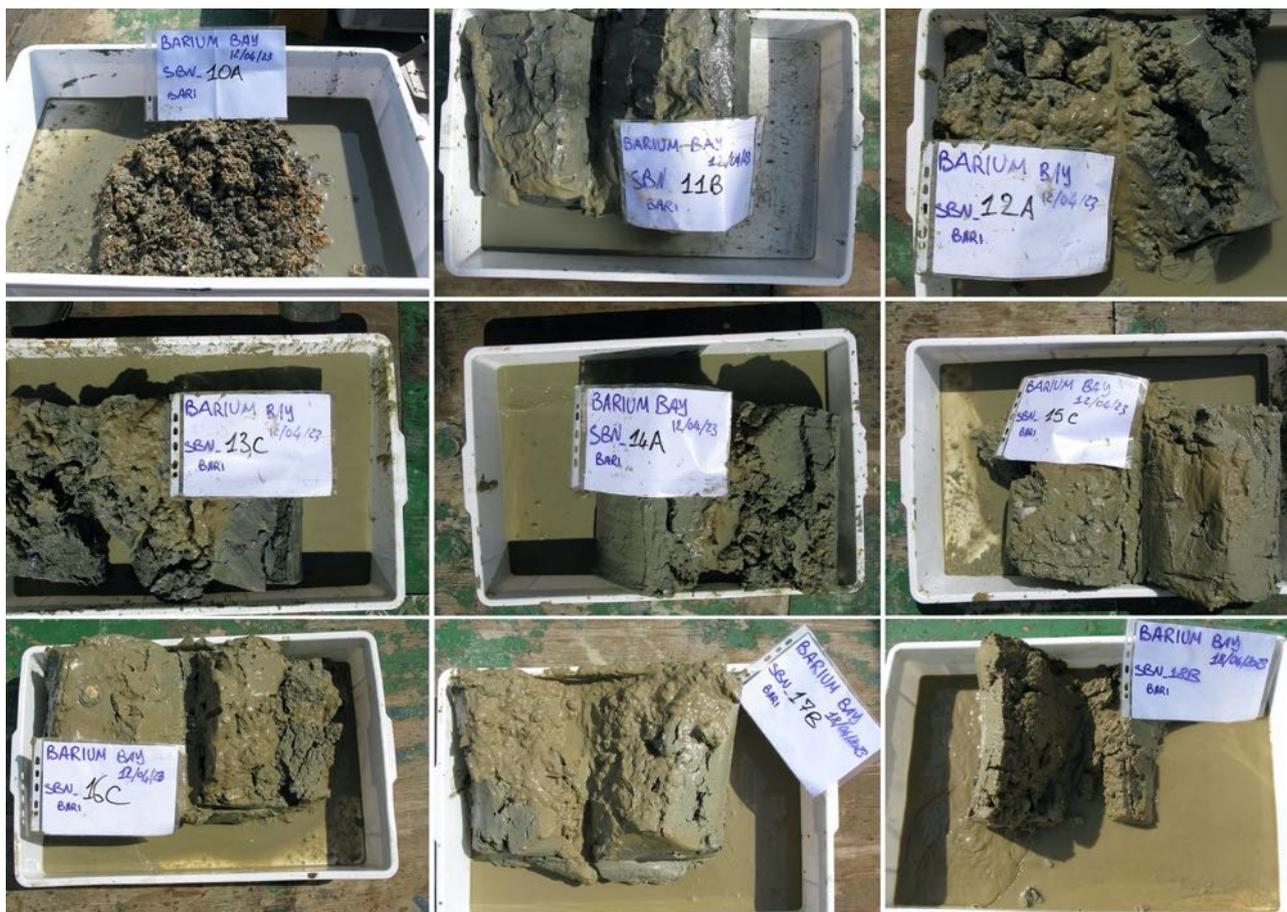


Fig. 5.1.1.C – Fotografie dei campioni tal quali raccolti presso le stazioni campionamento SBN_10 – SBN_18.



Fig. 5.1.1.D – Fotografie dei campioni tal quali raccolti presso le stazioni campionamento SB_19 – SB_28.

5.1.2 Analisi dei campioni biologici

I campioni biologici fissati in alcool 70% sono stati trasportati nel Laboratorio del Dipartimento di Bioscienze, Biotecnologie e Ambiente – Università degli Studi di Bari “Aldo Moro” – Unità Locale di Ricerca CoNISMa, dov’è stata effettuata allo stereomicroscopio un’ulteriore cernita di dettaglio (Fig. 5.1.2.A). Le successive identificazioni tassonomiche sino al livello più basso possibile (specie, genere) sono state effettuate dagli esperti tassonomi delle unità operative CoNISMa di Bari e Lecce. Successivamente, tutti gli esemplari, separati per taxa, sono stati contati e inseriti in una matrice dati specie/stazione. I dati così ottenuti sono stati organizzati in una matrice per la successiva elaborazione statistica dei dati.

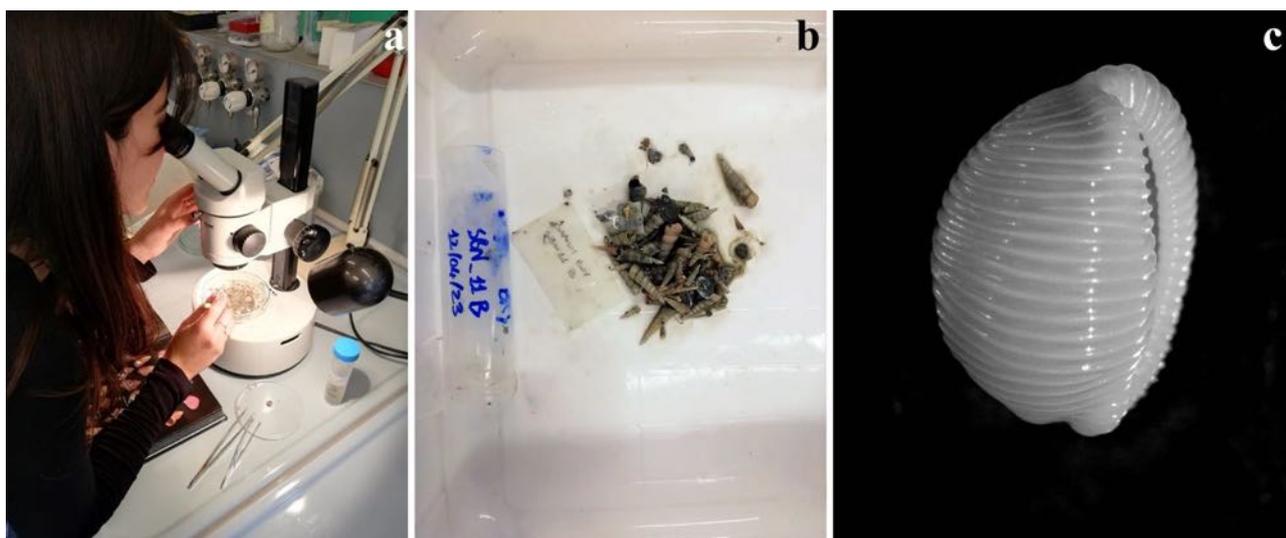


Fig. 5.1.2.A – Fase di identificazione dei campioni in laboratorio mediante uno stereomicroscopio. a) operatrice intenta all’osservazione di un campione biologico; b) esemplari cerniti nel corso del *sorting* effettuato in laboratorio; c) fotografia scattata allo stereomicroscopio di un esemplare di mollusco gasteropode ritrovato nel corso dell’analisi.

5.1.3 Elaborazione dei dati biologici

Per ciascuna stazione di campionamento, sono stati calcolati i seguenti indici univariati:

- Indice di Ricchezza Specifica (S), espressa come numero totale di specie per stazione;
- Indice di Diversità Specifica (H'), secondo la seguente formula di Shannon Wiener:

$$H' = -\sum (p_i \log_2 p_i)$$

dove p_i rappresenta la proporzione tra il numero degli esemplari della i -esima specie sul totale degli esemplari di tutte le specie campionate:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Inoltre, è stato calcolato l’indice AMBI, basato sulla presenza di specie appartenenti a gruppi ecologici a differente sensibilità nei confronti dell’inquinamento; questo indice varia in modo continuo da 0 (condizione di assenza di disturbo) a 6 (condizione di estremo disturbo). In particolare, le specie rinvenute sono state suddivise in base al loro grado di tolleranza nei confronti di un eventuale arricchimento in materia organica nei seguenti cinque gruppi ecologici:

- Gruppo ecologico di **I ordine**: è costituito da specie molto sensibili all’arricchimento organico, presenti soltanto quando l’ambiente è intatto. Tali specie sono soggette a scomparsa anche a seguito di un leggero squilibrio della componente organica;
- Gruppo ecologico di **II ordine**: è costituito da specie indifferenti all’arricchimento organico;
- Gruppo ecologico di **III ordine**: è costituito da specie tolleranti ad un eccesso di sostanza organica;
- Gruppo ecologico di **IV ordine**: è costituito da specie opportuniste di secondo ordine che si sviluppano in condizioni di disequilibrio;
- Gruppo ecologico di **V ordine**: è costituito da specie opportuniste di primo ordine, presenti in condizioni di forte disequilibrio.

Infine, per ciascuna stazione di campionamento, è stato valutato lo Stato di Qualità Ecologica mediante l’indice biotico M-AMBI (*Multimetric-AZTI Marine Biotic Index*), utilizzando il software dedicato “AZTI Marine Biotic Index 6.0”. Tale indice, ottenuto dalla combinazione dell’indice di diversità di Shannon-Wiener H' , dell’indice di ricchezza specifica S e dell’indice AMBI, fornisce un dato sintetico in grado di definire lo stato bioecologico della fauna bentonica in relazione allo stato trofico dei fondali. Il valore dell’indice M-AMBI oscilla da un minimo di 0 (Stato Ecologico Cattivo) ad un massimo di 1 (Stato Ecologico Elevato). Sulla base dei valori M-AMBI, le stazioni di campionamento sono state classificate all’interno di una delle cinque Classi di Stato Ecologico previste dall’indice (Tab. 5.1.3.a).

Tab. 5.1.3.a – Classi di valori dell’indice M-AMBI e classificazione nelle cinque Classi di Stato Ecologico.

M-AMBI	Stato Ecologico
1–0,81	Elevato
0,80–0,61	Buono
0,60–0,39	Moderato
0,38–0,20	Scarso
0,19–0	Cattivo

Al fine di individuare eventuali somiglianze e/o differenze tra le comunità macrobentoniche delle 19 stazioni di campionamento, le composizioni in specie di ciascuna stazione sono state confrontate tra loro. In particolare, è stata condotta un’analisi multivariata che ha previsto la realizzazione di una *Cluster Analysis*, volta all’individuazione di eventuali gruppi di stazioni simili in composizione in specie in relazione a uno o più fattori ambientali che possono influenzare la struttura dei popolamenti bentonici. Per l’analisi è stata utilizzata una matrice specie/stazione riportante le stazioni di campionamento e il numero di individui di ciascuna specie ottenuto dalla media dei valori delle due repliche effettuate presso ciascuna stazione. Alla matrice dei dati è stato applicato l’algoritmo di somiglianza di Bray-Curtis (1957):

$$S_{jk} = \frac{1}{P} \frac{\sum_{i=1}^P |Y_{ij} - Y_{ik}|}{\sum_{i=1}^P |Y_{ij} + Y_{ik}|}$$

Dove S_{jk} esprime la somiglianza tra i campioni (stazioni) j e k in base alle P specie (o gruppi tassonomici in esse presenti), Y_{ij} indica il numero di individui della specie i nel campione j e Y_{ik} indica il numero di individui della specie i nel campione k .

La matrice di somiglianza così ottenuta è stata poi utilizzata sia per la classificazione, sia per l’ordina-

mento delle stazioni in base a fattori come la distanza dalla costa, la natura granulometrica dei sedimenti e infine la tipologia di macro-habitat riscontrato.

La classificazione è stata ottenuta col criterio di aggregazione del “legame medio” che ha restituito un diagramma ad albero (dendrogramma) che raggruppa le stazioni campionate col decrescere del livello della loro somiglianza in funzione delle specie bentoniche rinvenute. Al fine di testare la significatività dei risultati ottenuti mediante la *Cluster Analysis*, è stato utilizzato il test non parametrico ANOSIM (*Analysis of Similarities*). I contributi percentuali delle singole specie alla similarità tra raggruppamenti identificati nel piano di ordinamento, sono state determinate tramite la procedura SIMPER, *Similarity Percentage*. Le suddette analisi statistiche multivariate sono state svolte con il software *Primer 6.1.6*.

5.2 RISULTATI

Nel corso delle indagini dei fondali interessati dalla futura installazione del parco eolico al largo delle città di Barletta e Bari sono state effettuate 27 delle 28 stazioni previste nel piano di monitoraggio (Tab. 5.2.a). La Tab. 5.2.a riporta, per ciascuna stazione, le coordinate effettive delle stazioni di campionamento, la loro profondità e alcune note riguardanti le caratteristiche granulometriche del fondale. Le stazioni effettuate (coordinate effettive) sono altresì visibili nella mappa illustrata in Fig. 5.2.A.

Tab. 5.2.a – Elenco delle stazioni di campionamento effettuate al largo della città di Bari e relative coordinate, profondità e osservazioni effettuate nel corso delle operazioni di bordo sulle caratteristiche del fondale.

STAZIONI	COORDINATE		PROFONDITÀ (m)	NOTE
	LAT.	LONG.		
SBN 2	41°18'999 N	016°19'553 E	3	Sabbie fini
SBN 3	41°19'092 N	016°19'590 E	4	Sabbie fini
SBN 4	41°19'209 N	016°19'557 E	5	Sabbie fini
SBN 5	41°19'323 N	016°19'470 E	6	Sabbie fini
SBN 6	41°19'922 N	016°19'484 E	9	Sabbie Grossolane
SBN 7	41°20'160 N	016°20'070 E	11	Sabbie Grossolane
SBN 8	41°20'395 N	016°20'612 E	14	Detritico infangato
SBN 9	41°20'600 N	016°21'190 E	17	Detritico infangato
SBN 10	41°20'875 N	016°21'881 E	18	Detritico infangato nuclei coralligeno
SBN 11	41°23'381 N	016°25'047 E	38	Fango
SBN 12	41°26'035 N	016°27'962 E	58	Fango
SBN 13	41°28'641 N	016°30'823 E	70	Fango
SBN 14	41°31'163 N	016°33'689 E	81	Fango
SBN 15	41°33'223 N	016°37'296 E	91	Fango
SBN 16	41°34'571 N	016°41'399 E	102	Fango
SBN 17	41°35'893 N	016°45'575 E	110	Fango
SBN 18	41°37'319 N	016°50'050 E	127	Sabbia infangata
SB 19	41°40,142' N	016°47,490' E	128	Sabbia infangata
SB 20	41°37,551' N	016°48,696' E	124	Fango
SB 21	41°39,333' N	016°50,886' E	138	Sabbia infangata
SB 22	41°36,779' N	016°52,233' E	136	Sabbia infangata
SB 23	41°34,194' N	016°53,420' E	140	Sabbia infangata
SB 24	41°35,991' N	016°55,612' E	152	Sabbia infangata
SB 25	41°33,482' N	016°56,934' E	156	Fango
SB 26	41°29,779' N	016°59,729' E	152	Sabbia infangata
SB 27	41°32,159' N	017°01,105' E	192	Sabbia infangata
SB 28	41°29,038' N	017°03,206' E	181	Sabbia infangata

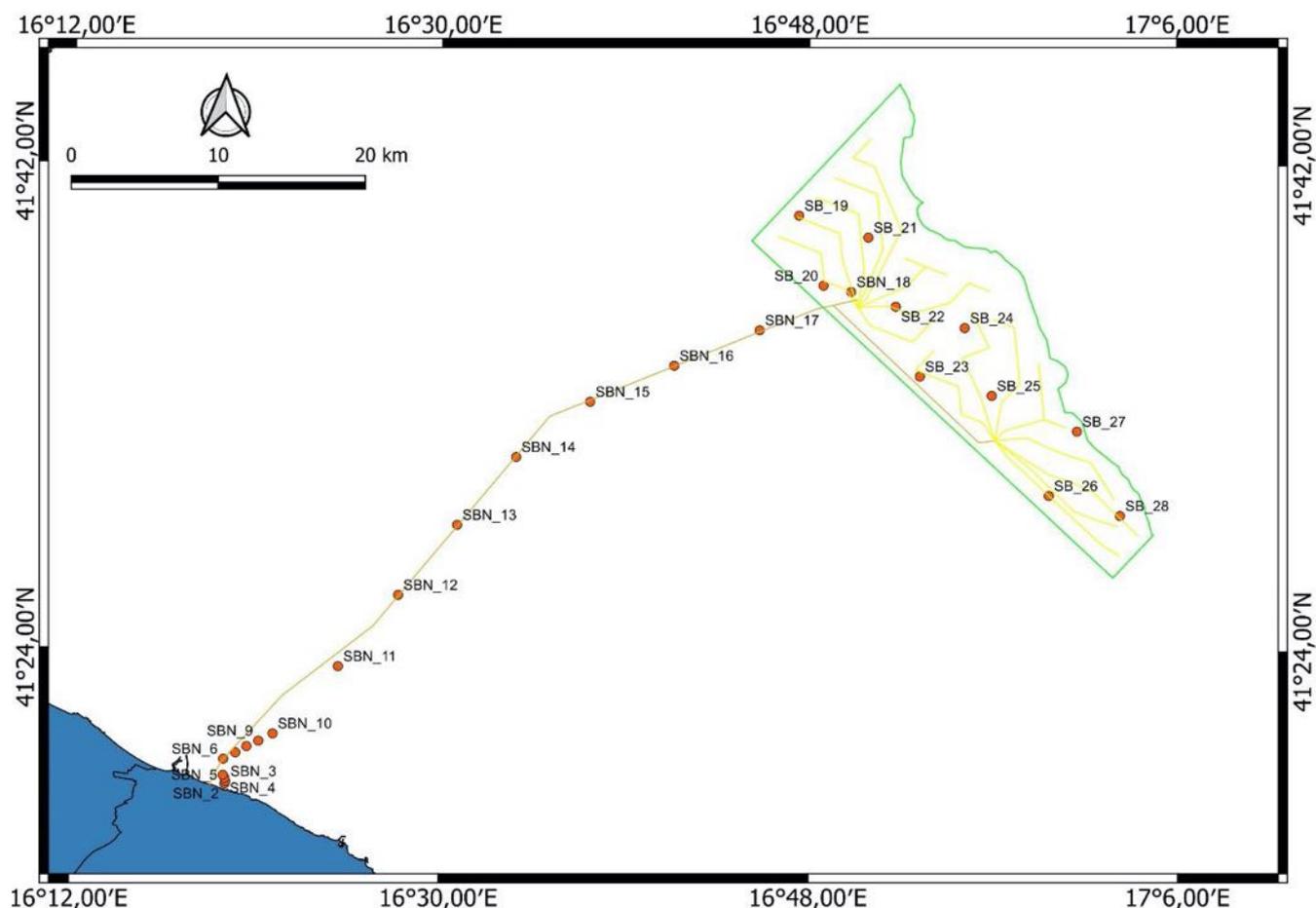


Fig. 5.2.A – Mappa delle stazioni effettuate nell’ambito delle indagini dei fondali interessati dalla messa in opera del futuro parco eolico al largo delle città di Barletta e Bari nell’ambito del progetto Barium Bay.

Nel corso delle analisi del macrozoobenthos campionato presso le stazioni di campionamento SBN_2 – SB_28 sono stati censiti un totale di 1365 individui appartenenti a 168 specie (Tab. 5.2.b). Inoltre, sono stati rinvenuti talli appartenenti alla rodoficea incrostante *Peyssonelia squamaria* su nuclei di coralligeno (SBN_9). Il gruppo tassonomico più abbondante è risultato essere il phylum dei Mollusca, con un totale di 1235 esemplari. I restanti phylum hanno mostrato abbondanze assai inferiori; infatti, sono stati contati 66 individui appartenenti al phylum degli Anellida, 36 appartenenti al phylum degli Echinodermata, 8 ascritti al subphylum dei Crustacea ed 1 solo individuo appartenenti al subphylum dei Cephalochordata. La specie più abbondante è risultata essere il mollusco gasteropode *Jujubinus exasperatus*, con 267 esemplari censiti, seguito da *Clanculus corallinus*, *Turritella turbona* (entrambi con 71 esemplari), *Bittium latreillii* (70 esemplari), *Homalopoma sanguineum* (68 esemplari), *Alvania discors* (52 esemplari), *Calliostoma zizyphinum* (46 esemplari), *Turritellinella tricarinata* (40 esemplari), *Fusinus sp.* (36 esemplari), *Tritia lima* (34 individui) e *Alvania geryonia* (31 individui) (Fig. 5.2.B). Anche l’ophiuroido *Amphiura chiajei* ha presentato discreti valori di abbondanza, con 36 individui (Fig. 5.2.B). Le restanti specie hanno mostrato numerosità inferiori, e gran parte di esse è stata rinvenuta con numerosità inferiori alla decina e spesso vicine all’unità.

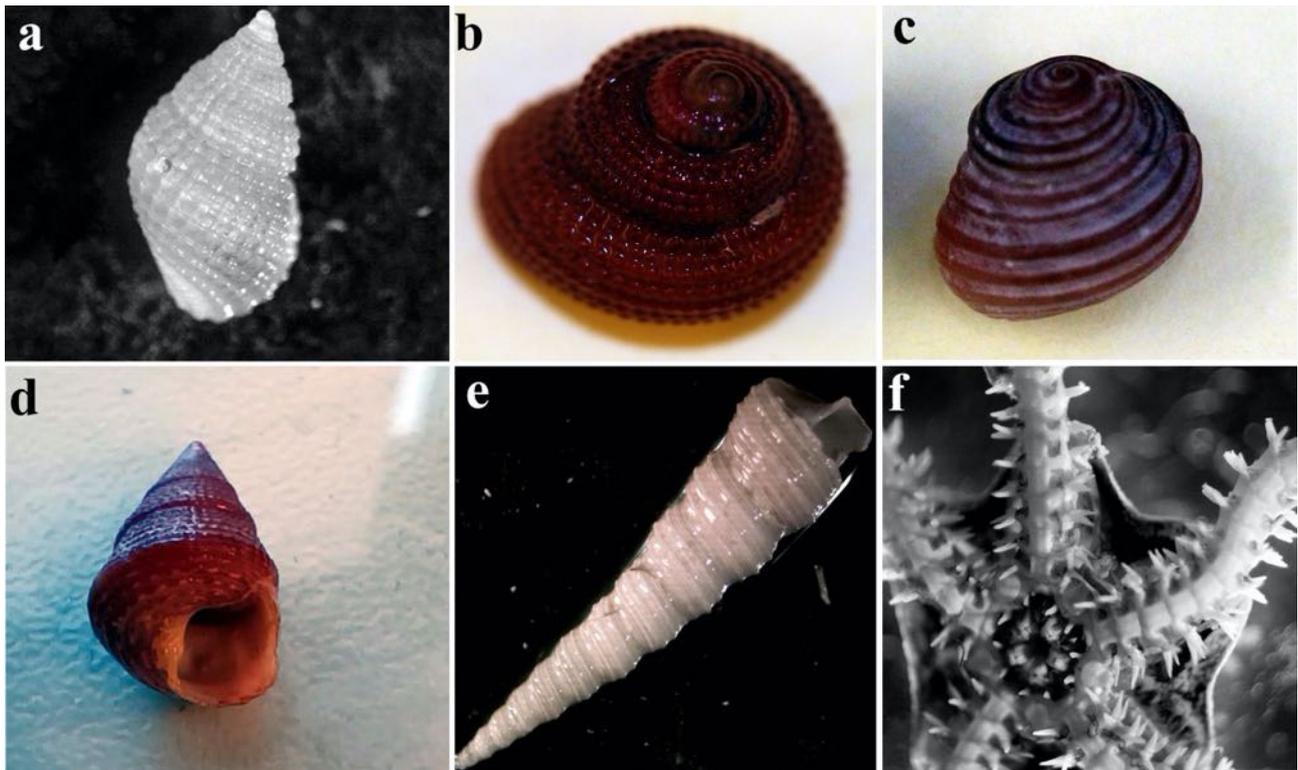


Fig. 5.2.B – Fotografie di alcune delle specie più comuni censite nel corso del riconoscimento tassonomico delle specie campionate nelle aree di fondale interessate dalla futura messa in opera del parco eolico al largo delle città di Barletta e Bari nell'ambito del progetto Barium Bay. Le fotografie mostrano i gasteropodi a) *Alvania discors*, b) *Clanculus corallinus*, c) *Homalopoma sanguineum*; d) *Jujubinus exasperatus*; e) *Turritella turbona*; e l'echinoderma *Amphiura chiajei*.

Le stazioni poste tra i 9 ed i 18 M (orizzonte inferiore del piano infralitorale) sono risultate le più abbondanti in termini di numero di specie (Tab. 5.2.c; Fig. 5.2.C). Infatti, la stazione a più alta diversità specifica è risultata essere SBN_10, con 48 specie, seguita da SBN_9 con 42 specie, SBN_7 con 31 specie e SBN_6 e SBN_8 entrambe con 28 specie. Le stazioni in cui è stato riscontrato il minor numero di specie sono risultate essere la stazione più superficiale SBN_2 nonché la più profonda SBN_27, entrambe con una sola specie. Le succitate stazioni di campionamento poste nel piano infralitorale inferiore sono risultate altresì quelle a più alta diversità ed equiripartizione, come testimoniato dall'indice di diversità di Shannon-Wiener H' (Tab. 5.2.c; Fig. 5.2.C). In particolare, la stazione SBN_6 presenta un H' pari a 4,38, seguita da SBN_10 (H' : 4,11), SBN_7 (H' :4), SBN_9 (H' :3,84) e SBN_8 (H' :3,21). Le stazioni a più bassa biodiversità sono risultate essere la stazione SBN_2 ed SBN_27 (1 sola specie rinvenuta).

Per quanto concerne l'indice M-AMBI, le stazioni con uno Stato Ecologico Elevato sono risultate essere quelle a più alta biodiversità, ossia le stazioni dalla SBN_6 alla stazione SBN_10 (Fig. 5.2.D). Per contro, le stazioni con il valore M-AMBI più basso sono risultate essere quelle a più bassa diversità biologica tra cui SBN_2, SBN_27 ed SBN_28. Tali valori sono pertanto correlati ai bassi livelli di biodiversità ritrovati in queste stazioni, piuttosto che alla reale presenza di inquinamento organico. A testimonianza di ciò la maggior parte delle specie ritrovate sono considerate specie sensibili e/o poco tolleranti all'inquinamento organico (Fig. 5.2.E), che pertanto non potrebbero sopravvivere in presenza di un simile impatto.

Tab. 5.2.c – Valori degli indici di Ricchezza in Specie (S), Shannon-Wiener (H'), AMBI e M-AMBI per ciascuna delle stazioni di campionamento effettuate presso i fondali interessati dalla futura messa in opera del campo eolico al largo delle città di Barletta e Bari nell'ambito del progetto Barium Bay. La tabella riporta altresì i valori di Stato Ecologico attribuiti a ciascuna delle stazioni di campionamento sulla base dei valori M-AMBI.

STAZIONE	S	H'	AMBI	M-AMBI	STATUS
SBN 2	1	0	0	0,43	Moderato
SBN 3	5	2,12	0,75	0,55	Buono
SBN 4	6	2,42	0,33	0,61	Buono
SBN 5	10	1,91	0,29	0,59	Buono
SBN 6	28	4,38	0,31	0,87	Alto
SBN 7	31	4	0,34	0,85	Alto
SBN 8	28	3,21	0,34	0,78	Alto
SBN 9	42	3,84	0,33	0,9	Alto
SBN 10	48	4,11	0,35	0,96	Alto
SBN 11	6	1,68	0,64	0,53	Buono
SBN 12	6	2,12	0,64	0,56	Buono
SBN 13	8	2,13	0,71	0,57	Buono
SBN 14	10	2,94	0,14	0,68	Buono
SBN 15	11	2,7	0,55	0,64	Buono
SBN 16	9	2,72	0,5	0,63	Buono
SBN 17	8	2,42	0,8	0,58	Buono
SBN 18	17	3,35	0,72	0,7	Buono
SB 19	5	2,32	0,9	0,55	Moderato
SB 20	2	0,81	0	0,49	Moderato
SB 21	4	1,45	1	0,48	Moderato
SB 22	4	1,85	1	0,5	Moderato
SB 23	3	1,46	0,75	0,49	Moderato
SB 24	5	2,25	1,75	0,49	Moderato
SB 25	5	2,32	0,9	0,55	Buono
SB 26	4	2	0,37	0,56	Buono
SB 27	1	0	1,5	0,32	Scarso
SB 28	2	1	2,25	0,35	Scarso

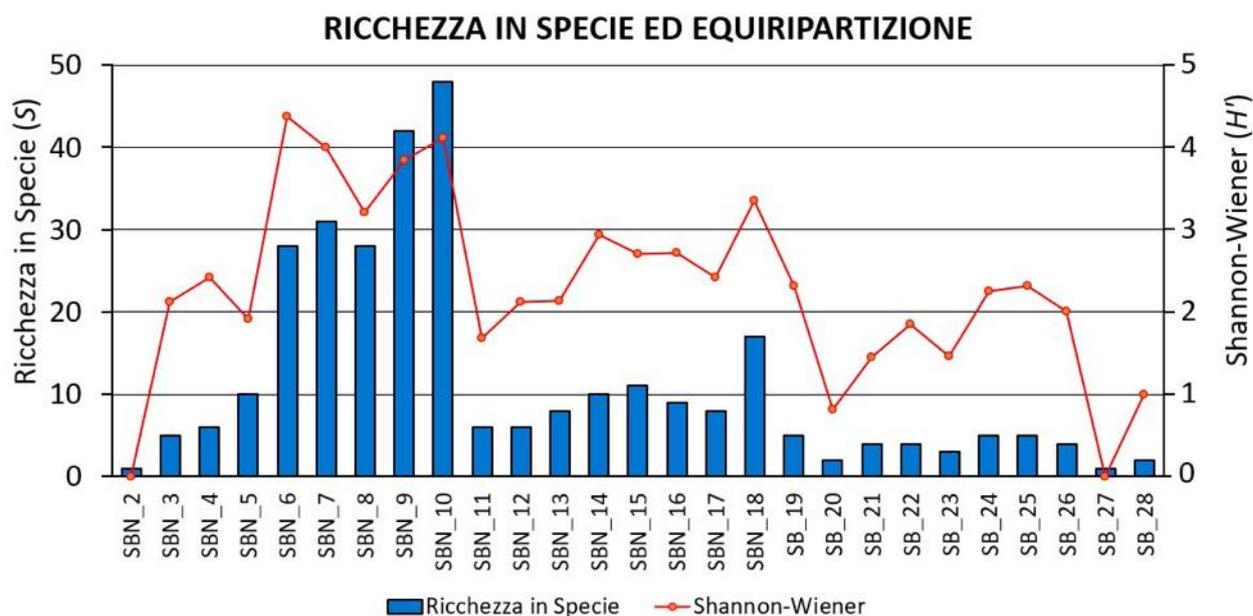


Fig. 5.2.C – Grafico combinato riportante i valori ottenuti dal calcolo dell'Indice di Ricchezza in Specie S e dell'indice di Shannon-Wiener H' per ciascuna delle 27 stazioni di campionamento (SBN_2 – SBN_28) effettuate sui fondali interessati dalla futura messa in opera del campo eolico al largo delle città di Bari e Barletta nell'ambito del progetto Barium Bay.

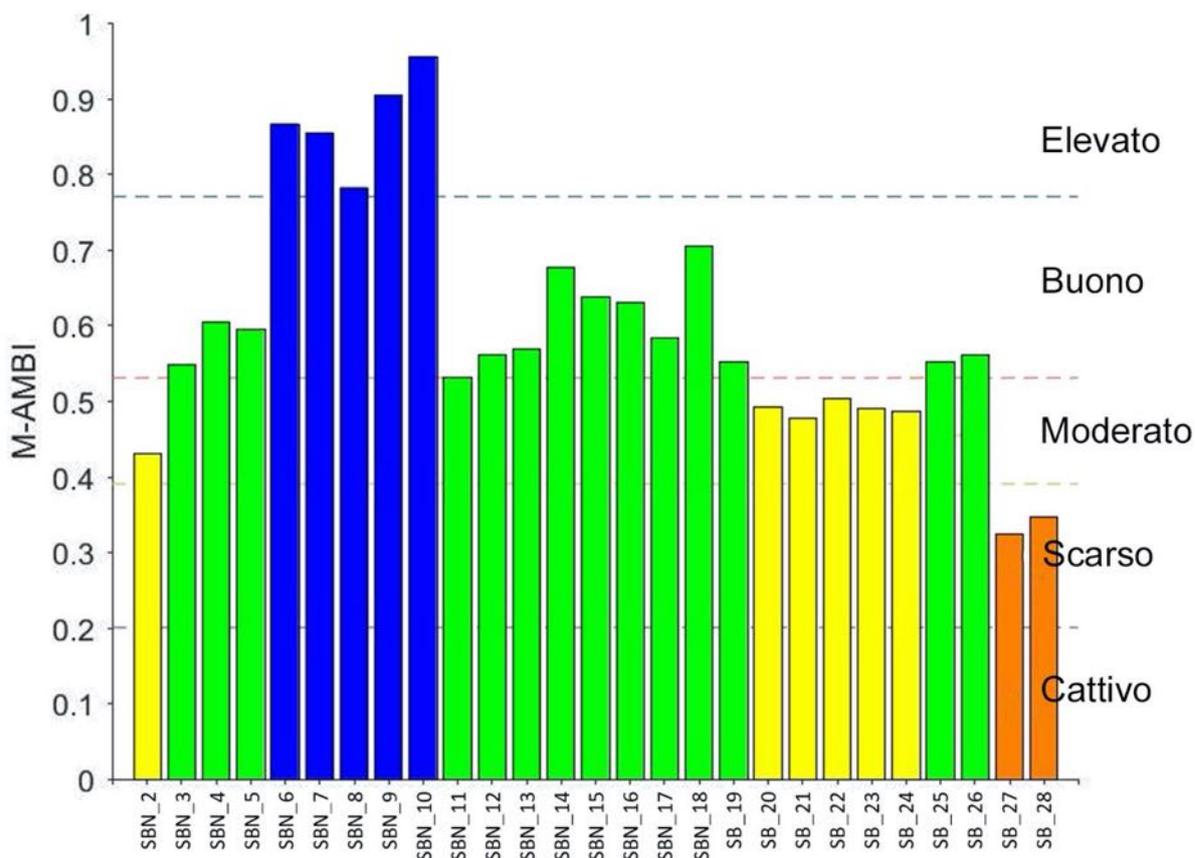


Fig. 5.2.D – Istogramma riportante i valori M-AMBI (che variano da 0 a 1) e la Classificazione di Stato Ecologico calcolati per ciascuna delle stazioni di campionamento effettuate sui fondali interessati dalla futura messa in opera del campo eolico al largo delle città di Bari e Barletta nell’ambito del progetto Barium Bay.

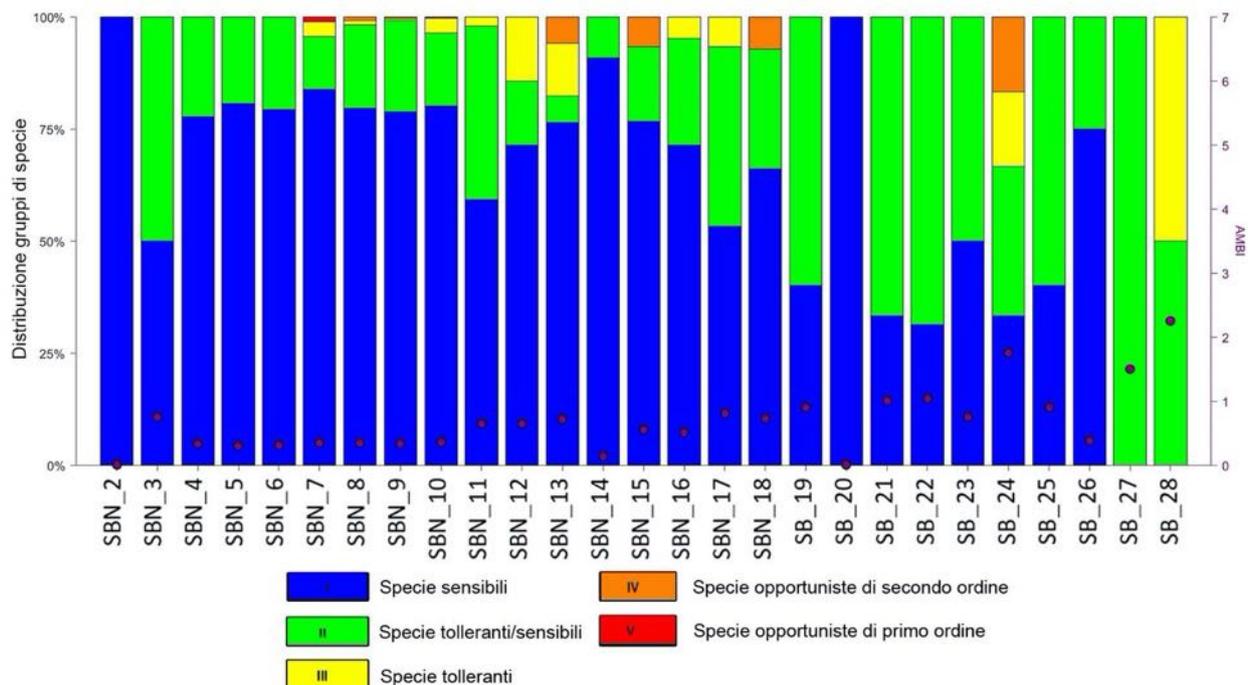


Fig. 5.2.E – Percentuale di specie appartenenti a ciascuno dei cinque Gruppi Ecologici previsti dall’Indice AMBI calcolata per ciascuna delle stazioni di campionamento effettuate sui fondali interessati dalla futura messa in opera del campo eolico al largo delle città di Bari e Barletta nell’ambito del progetto Barium Bay.

Il dendrogramma ottenuto dall'analisi multivariata *Cluster Analysis* eseguita considerando come fattore discriminante la tipologia di fondale e i dati granulometrici ha messo in evidenza ad una similarità di circa il 20% la presenza di cinque gruppi di stazioni (Fig. 5.2.F). In dettaglio, sono state osservate stazioni caratterizzate da Sabbie Costiere (SBN_2 – SBN_5) (SFBC), da Sabbie Grossolane con Correnti di Fondo (SGCF) (SBN_6 – SBN_7), Detritico costiero infangato con nuclei di Coralligeno (DE- C) (SBN_8 – SBN_10), da Fanghi Terrigeni Costieri (VTC) (SBN_11 – SBN_20 e SBN_25), nonché Sabbie Detritiche del Largo (SDL) (SBN_21 – SBN_24, SBN_26 ed SBN_27) (Fig. 5.2.F). Il test multivariato non parametrico ANOSIM (*Analysis of Similarities*) ha attestato che le differenze tra i cinque gruppi di stazioni individuati sulla base della granulometria sono significative, con un *Global R* di 0,62. L'analisi *pairwise*, inoltre, ha evidenziato valori ANOSIM significativi (*, $p < 0.5$) o altamente significativi (***, $p < 0.05$) (Tab. 5.2.d). Il SIMPER test ha messo in evidenza le specie caratterizzanti ciascuno dei cinque gruppi individuati dalla *Cluster Analysis*, ossia quelle che contribuiscono maggiormente alla loro similarità intragruppo (Tab. 5.2.e).

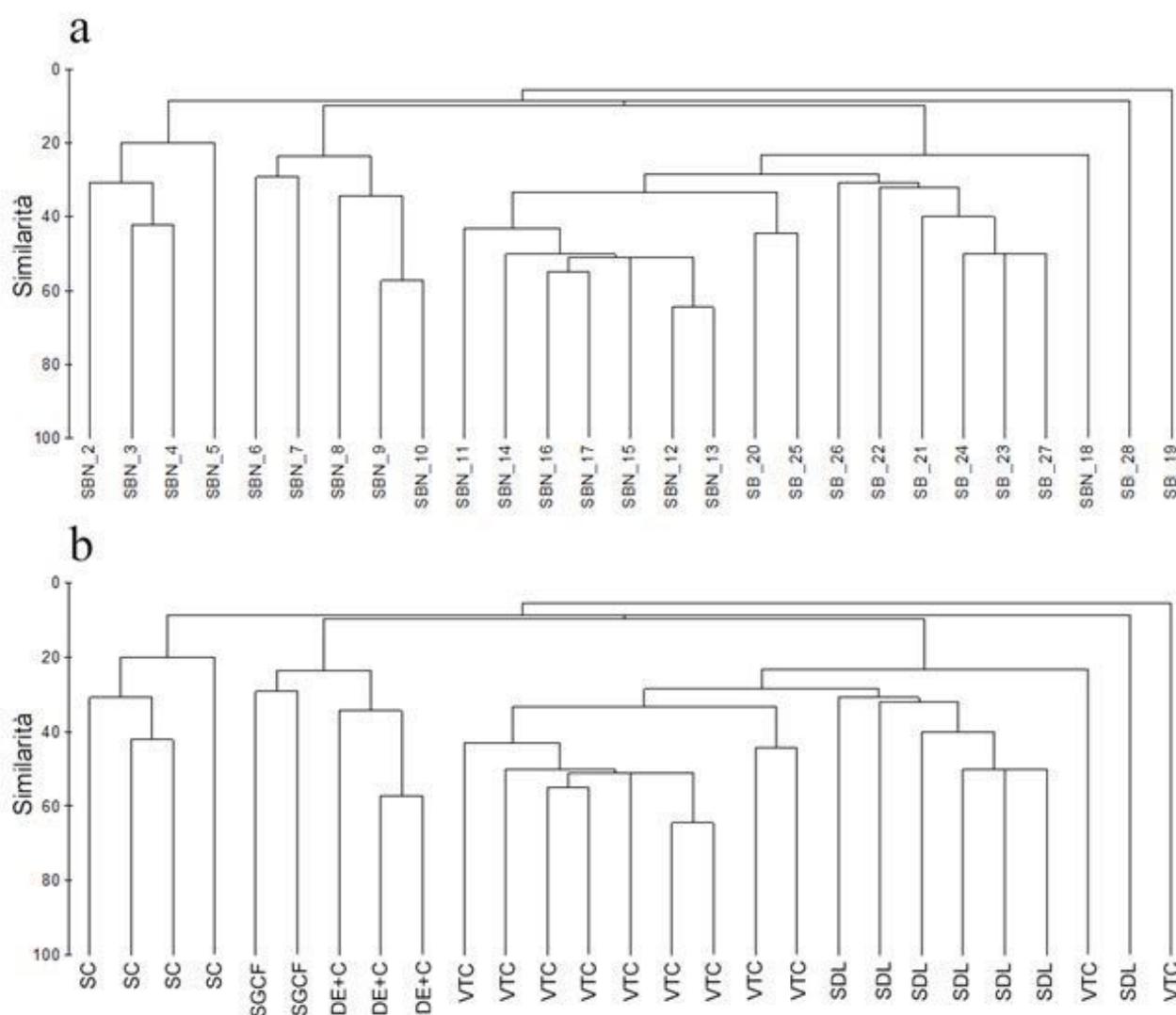


Fig. 5.2.F – Dendrogramma risultante dalla *Cluster Analysis* eseguita sulle 27 stazioni di campionamento (SBN_2 – SBN_28) effettuate presso i fondali interessati dalla futura messa in opera del campo eolico al largo delle città di Bari e Barletta nell'ambito del progetto Barium Bay. SC: Sabbie Costiere; SGCF: Sabbie Grossolane con Correnti di Fondo; DE+C: Detritico infangato con nuclei di coralligeno; VTC: Fanghi Terrigeni Costieri; SDL: Sabbie Detritiche del Largo.

Tab. 5.2.d – Risultati dell’analisi *pairwise* del test ANOSIM eseguito considerando il fattore granulometrico sui dati relativi al macrozoobenthos campionato presso le stazioni effettuate in corrispondenza dell’area interessata dalla futura installazione del parco eolico al largo. SC: Sabbie Costiere; SGCF: Sabbie Grossolane con Correnti di Fondo; DE+C: Detritico infangato con nuclei di coralligeno; VTC: Fanghi Terrigeni Costieri; SDL: Sabbie Detritiche del Largo.

pairwise ANOSIM	R-values	p-values
SC vs SGCF	1,00	0,069
SC vs DE+C	1,00	0,024*
SC vs VTC	0,77	0,001***
SC vs SDL	0,61	0,006***
SGCF vs DE+C	1,00	0,099
SGCF vs VTC	0,70	0,041*
SGCF vs SDL	0,27	0,165
DE+C vs VTC	0,69	0,005***
DE + C vs Sabbie del largo	0,50	0,016*
VTC vs Sabbie del largo	0,51	0,191
global ANOSYM	0,62	0,0001***

* p-value < 0.05 *** p-value < 0.01

Tab. 5.2.e – Risultati del test SIMPER (*Similarities of Percentages*) riportanti, per ciascuna delle cinque classi granulometriche considerate nell’analisi, le specie caratterizzanti i gruppi di stazioni. Abb. media = abbondanza media; Sim. media = similarità media; Contrib. % = contributo %; Cum. % = contributo cumulativo %.

Gruppo	Similarità media	Specie	Abb. media	Sim. media	Contrib. %	Cum. %
Sabbie costiere	22,66	<i>Dosinia lupinus</i>	1,00	14,08	62,15	62,15
		<i>Atactodea striata</i>	3,13	5,07	22,37	84,51
		<i>Sigaloa mathildae</i>	0,75	3,51	15,49	100,00
Sabbie Grossolane con Correnti di Fondo (SGCF)	29,14	<i>Bittium simplex</i>	6,25	9,27	31,82	31,82
		<i>Aponuphis bilineata</i>	1,25	2,65	9,09	40,91
		<i>Clanculus corallinus</i>	1,25	2,65	9,09	50,00
		<i>Homalopoma sanguineum</i>	1,25	2,65	9,09	59,09
		<i>Alvania discors</i>	1,50	2,65	9,09	68,18
		<i>Amphiura chiajei</i>	1,25	1,32	4,55	72,73
		<i>Antalis dentalis</i>	0,50	1,32	4,55	77,27
		<i>Tricolia tenuis</i>	0,75	1,32	4,55	81,82
		<i>Turbonilla pusilla</i>	0,50	1,32	4,55	86,36
		<i>Bittium reticulatum</i>	1,00	1,32	4,55	90,91
Detritico infangato con Nuclei di Coralligeno (DE+C)	39,81	<i>Jujubinus exasperatus</i>	41,83	21,19	53,22	53,22
		<i>Homalopoma sanguineum</i>	10,50	5,55	13,94	67,16
		<i>Clanculus corallinus</i>	11,00	3,53	8,86	76,02
		<i>Bittium latreillii</i>	11,50	2,79	7,01	83,02
		<i>Calliostoma zizyphinum</i>	7,67	1,36	3,41	86,43
		<i>Alvania discors</i>	7,67	1,26	3,16	89,60
Fanghi Terrigeni Costieri (VTC)	19,59	<i>Alvania geryonia</i>	4,83	0,72	1,82	91,42
		<i>Turritella turbona</i>	3,05	11,54	58,89	58,89
		<i>Turritellinella tricarinata</i>	1,82	2,67	13,63	72,52
		<i>Fusinus sp.</i>	1,50	2,47	12,61	85,13
Sabbie Detritiche del Largo (SDL)	18,42	<i>Timoclea ovata</i>	0,73	1,09	5,56	90,69
		<i>Amphiura chiajei</i>	1,21	16,00	86,87	86,87
		<i>Goneplax rhomboides</i>	0,14	0,95	5,17	92,05

6 DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

6.1 CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI

Vengono qui descritti, in sintesi, i risultati della caratterizzazione fisico-chimica e biologica dell'area interessata alla realizzazione di un impianto per la produzione di energia eolica nel mare Adriatico meridionale, denominato Barium bay.

La caratterizzazione ha riguardato sia la direttrice del tracciato del cavo di collegamento del parco eolico alla costa (con le stazioni di prelievo da SBN2 a SBN18), sia l'area del parco stesso (con le stazioni da SB19 a SB28).

I sedimenti della campagna di prelievo sono stati per lo più caratterizzati dalla presenza di sabbia, ad eccezione delle stazioni più distanti lungo il tracciato, da SBN11 a SBN18, nelle quali la concentrazione di silt e argilla è stata prevalente; mentre tra le stazioni dell'area del parco Eolico, sono state le stazioni da SB19 a SB23 a mostrare maggiore tenore in silt. Questo risultato influenza altre variabili come l'umidità, il carbonio organico totale e l'azoto totale (TOC e TN) che mostrano livelli più bassi nelle stazioni più costiere e più alti nelle stazioni più distali.

Lo stesso andamento sembra essere presente per quanto riguarda il livello dei contaminanti inorganici, quali i metalli pesanti, i quali sono solitamente associati alla frazione fine di sedimento.

Relativamente al confronto con gli standard di qualità nazionali e internazionali, i sedimenti di molte stazioni di Bari hanno presentato superamenti dei livelli standard normati (DM 172/2015, D. Lgs. 152/06, DM 173/2016) dell'As, e meno frequentemente per quanto riguarda Cr, Ni, V e Z.

Diverse stazioni, inoltre, hanno superato i valori ERL e TEL proposti da Long et al. (1995) e da MacDonald *et al.* (1996) relativamente all'As, al Cr totale, al Ni e al Cu. Per quanto riguarda lo Zn, soltanto n. 2 stazioni (SBN12 e SBN 13) hanno superato i valori soglia ERL e TEL.

I diversi contaminanti organici, invece, hanno mostrato in tutte le stazioni di Bari livelli molto bassi. La sommatoria dei singoli composti di IPA mostra, in tutti le stazioni, concentrazioni molto inferiori al valore limite di legge più cautelativo ($900 \mu\text{g kg}^{-1}$) e anche le concentrazioni dei singoli composti, quando rilevati, risultano inferiori ai rispettivi valori di riferimento, riportati dalle normative nazionali, quali il D. Lgs n. 172/2015, il DM 173/2016 e il D. Lgs 152/06. Le altre variabili organiche indagate, come i pesticidi organoclorurati, i PCB e gli organostannici sono risultate con un livello al di sotto dei rispettivi LOQ.

Per quanto riguarda le indagini microbiologiche, i Coliformi fecali, i Coliformi totali e gli Streptococchi fecali hanno mostrato livelli inferiori al limite di quantificazione in tutte le stazioni.

I saggi ecotossicologici, infine, hanno mostrato un quadro di generale e diffusa assenza di tossicità sia in relazione al criterio di valutazione dei risultati delle batterie di tre specie mediante approccio di classificazione “*pass to fail*” sia mediante approccio “*weight of evidences*”.

6.2 MACROBENTHOS

Dall'analisi del macrozoobenthos dell'area del progetto Barium Bay è emersa la presenza di un buon numero di specie ed individui, soprattutto per quanto concerne le stazioni di campionamento poste in corrispondenza dell'orizzonte inferiore del piano infralitorale. Lo studio di tali comunità ha consentito di individuare diverse tipologie di habitat bentonici lungo il gradiente batimetrico. Infatti, nelle adiacenze della linea di costa il fondale si presentava sabbioso (Sabbie costiere), e presso alcune stazioni di campionamento costiere si presentava grossolano ed interessato dalla presenza di correnti di fondo (SGCF, Sabbie Grossolane interessate dalla presenza di Correnti di Fondo) (Fig. 6.2.A). A queste seguiva una fascia in cui diveniva più importante la componente fangosa tra i detriti con la presenza di nuclei di biocostruzioni coralligene (Detritico infangato con nuclei di Coralligeno) e, più in profondità, i Fanghi Terrigeni Costieri (VTC) tipici del piano circalitorale. In corrispondenza dell'area interessata dalla futura messa in opera del campo eolico sono state altresì osservate sabbie detritiche del largo, caratterizzate dalla presenza di sabbia grossolana mista a componente fangoso/pelitica (Fig. 6.2.A).

Dallo studio delle comunità bentoniche che saranno interessate dalla futura messa in opera del cavidotto e del campo eolico nell'ambito della progettualità in analisi non è emersa, quindi, la presenza di biocenosi di pregio e/o meritevoli di protezione, né tantomeno di habitat potenzialmente sensibili alle attività di messa in opera del parco di cui sopra (Fig. 6.2.A). La presenza di biocostruzioni è limitata a poco estesi nuclei di coralligeno su detritico costiero visibilmente infangato. In tal senso, la quasi totalità delle specie osservate era strettamente legata ai fondi mobili, ed in numerosi casi si trattava di specie infaunali e che pertanto potrebbero non essere impattate dai lavori di messa in opera del campo eolico.

Il calcolo dell'indice multivariato M-AMBI ha evidenziato un generale buono stato ecologico delle comunità bentoniche studiate sui fondali al largo di Barletta e di Bari nell'ambito del progetto Barium Bay, attestando l'assenza di impatti di natura organica su tali biocenosi. Infatti, la composizione in specie di queste comunità è risultata influenzata fortemente dai fattori edafici (granulometria) del fondale, come testimoniato dai risultati della *Cluster Analysis* validata dal test ANOSIM, piuttosto che da eventuali fattori antropici, tra i quali impatti di natura organica che possono modellare la struttura delle comunità bentoniche.

Alla luce di tali risultati, l'installazione del campo eolico, con tutta probabilità, non andrà ad arrecare danni evidenti alle comunità di fondo mobile dei fondali in analisi. Al contrario, l'istituzione dell'impianto stesso consentirà di mitigare il forte impatto da pesca a strascico cui tali fondali sono storicamente soggetti e a cui potrebbe essere attribuita l'assenza di biocenosi di pregio dal punto di vista conservazionistico. In tal senso, la messa in opera del campo eolico potrebbe garantire una forma di "protezione accidentale" di questi fondali, favorendone la ripresa e l'eventuale incremento in ricchezza e biodiversità. Infatti, in tale area verranno interdette tutte le attività di prelievo (tra cui la pesca a strascico) e di ancoraggio, che costituiscono i più importanti disturbi meccanici su tali fondali. Mediante l'esecuzione dei futuri monitoraggi sarà possibile verificare l'integrità del parco eolico, sia lungo il cavidotto che presso l'impianto sito al largo, nonché l'eventuale efficacia dell'effetto di protezione accidentale di cui sopra. Si fa altresì presente che le stazioni SB_27 e SB_28, pur non presentando delle biocenosi di pregio o specie di interesse conservazionistico, sono le più profonde e anche le più prossime alla scarpata continentale nonché al canyon di Bari (Fig. 6.2.B).

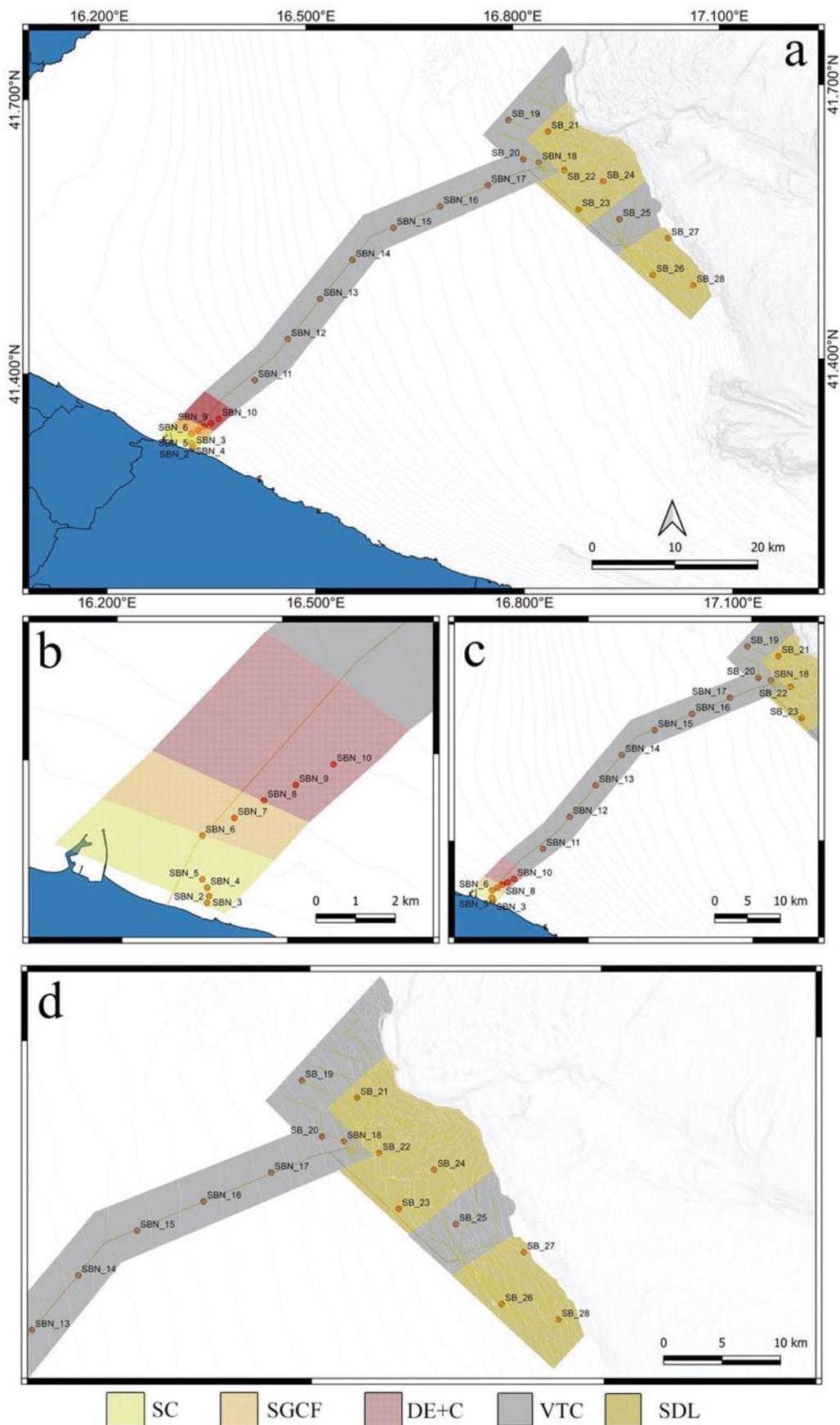


Fig. 6.2.A – Mappa biocenotica dell’area di studio al largo delle città di Barletta e Bari che mostra la distribuzione batimetriche dei diversi tipi di fondale rinvenuti nel corso delle indagini. SC: Sabbie Costiere; SGCF: Sabbie Grossolane con Correnti di Fondo; DE+C: Detritico infangato con nuclei di Coralligeno; VTC: Fanghi Terrigeni Costieri; SDL: Sabbie Detritiche del Largo.

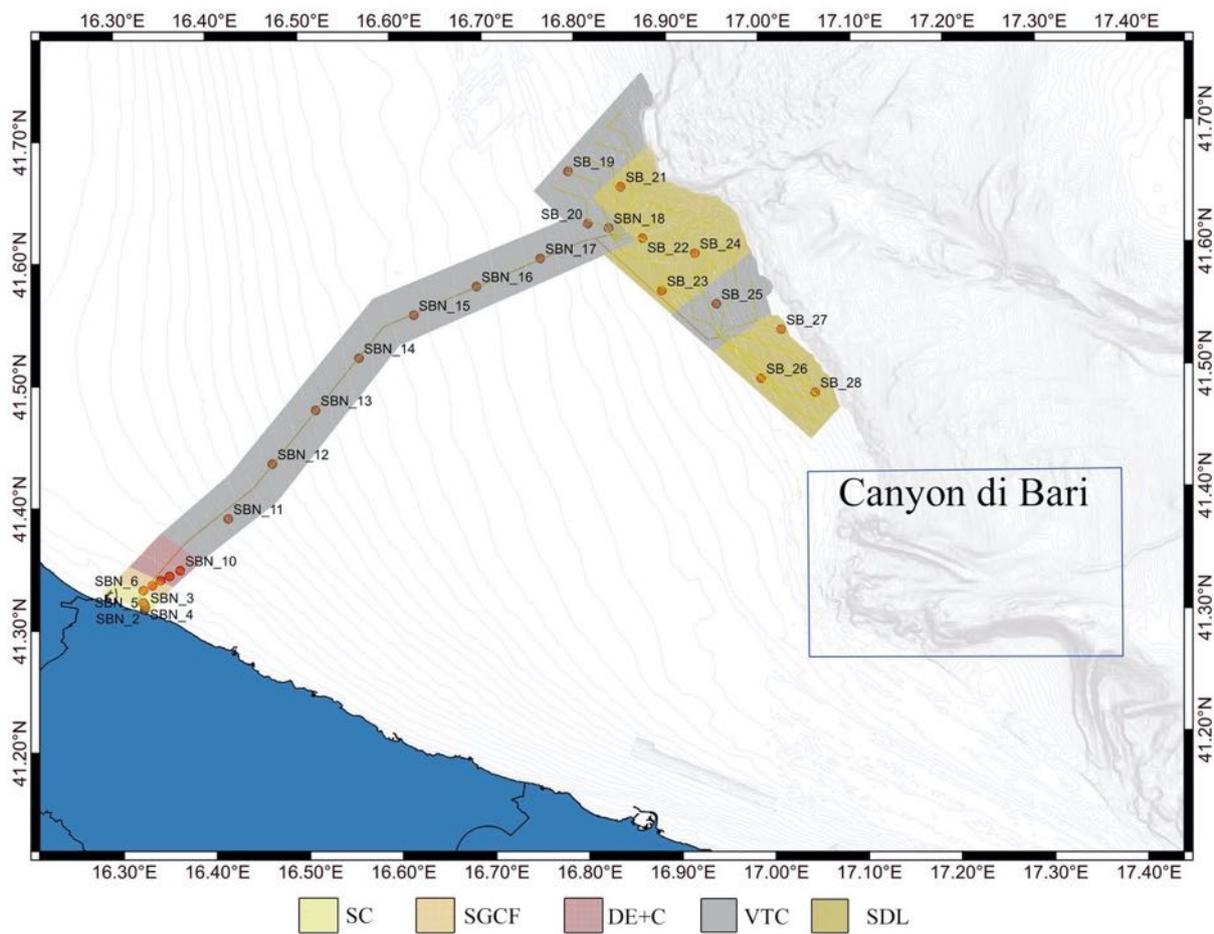


Fig. 6.2.B – Area al largo a Sud della città di Bari interessata dalla presenza del Canyon di Bari.

7 BIBLIOGRAFIA

- LONG E.R., MACDONALD D.D., SMITH S.L., CALDER F.D. (1995) – Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19 (1): 81-97.
- MACDONALD D.D., CARR S., CLADER F.D., LONG E.D., INGERSOLL C.G. (1996) – Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5 (4): 253-278.
- PÉRÈS J. M. & J. PICARD (1964) – Nouveau Manuel de Bionomie Benthique. *Recueil des Travaux de la Station marine d'Endoume*, 31 (47): 5-137.