

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITÀ -
	LOCALITA' RAVENNA	REL-AMB-E-35043	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Pag. 1 di 107	Rev. 0

Rif. TF: 011-PJM22-003-20-RB-E-5043

EMERGENZA GAS
INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)
ALLACCIAMENTO FSRU DI RAVENNA (Tratto a Mare) DN 650 (26") DP 100 bar

AREA FUNZIONALE ALLE ATTIVITA' DI POSA DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA
CAMPAGNA INDAGINI AMBIENTALI



0	Emissione per permessi	SSF	G.MATTIOLI	M.BEGINI	26/01/2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

INDICE

1.0	INTRODUZIONE	7
1.1	DEFINIZIONI	8
1.2	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	9
1.3	TRADUZIONE DEGLI ACRONIMI E DEI TERMINI ANGLOSASSONI	10
2.0	SCOPO DEL LAVORO	11
3.0	AREE OGGETTO DELL'INDAGINE AMBIENTALE.....	13
4.0	MODALITA' DI ESECUZIONE	14
4.1	MOB / DEMOB E PERMANENZA IN LOCO.....	14
4.2	INDAGINE AMBIENTALE	15
4.3	ORGANIZZAZIONE DELLE OPERAZIONI A BORDO	16
4.4	METODOLOGIA DI ESECUZIONE	17
4.5	METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO DEI SEDIMENTI.....	19
4.6	ANALISI DI LABORATORIO	20
4.6.1	Caratterizzazione fisica	21
4.6.2	Caratterizzazione chimica	21
4.6.3	Caratterizzazione ecotossicologica	22
5.0	QHSE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	23
5.1	QUALITÀ.....	23
5.2	DESCRIZIONE DEL LUOGO DI LAVORO	23
5.3	SICUREZZA	23
5.4	CERTIFICATI DI CONFORMITÀ	24
5.5	NORMATIVE E NORME APPLICABILI	24
5.6	DOCUMENTAZIONE	24
5.7	CONDIZIONI OPERATIVE NECESSARIE PER L'ESECUZIONE DEL RILIEVO	24
5.8	ORARIO DI LAVORO	25
6.0	UNITÀ DI MISURA DEL PROGETTO.....	26
6.1	DATUM TEMPORALE	26
6.2	DATUM VERTICALE	27
6.3	DATUM ORIZZONTALE	29
6.4	PARAMETRI GEODETICI E DI PROIEZIONE.....	30
6.5	PARAMETRI CONVENZIONALI PER "OFFSET & MOTION SENSOR"	32
6.6	UNITÀ DI MISURA ADOTTATE.....	33
7.0	RISORSE IMPIEGATE	34
7.1	LISTA DEL PERSONALE.....	34
7.2	LISTA DELLA STRUMENTAZIONE.....	36
8.0	DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	38
8.1	SISTEMA DI POSIZIONAMENTO E NAVIGAZIONE	38
8.2	SISTEMA DI POSIZIONAMENTO PRIMARIO	39
8.3	SISTEMA MOTION REFERENCE UNIT	41
8.4	BENNA VAN VEEN.....	42
8.5	MOTOBARCA MAESTRALE PRIMO.....	43
9.0	RISULTATI AREA DEPOSITO TEMPORANEO.....	45
9.1	COORDINATE STAZIONI DI PRELIEVO CAMPIONI	45

9.2	MATERIALI E METODI.....	46
9.2.1	Variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua (misure CTD)	46
9.2.2	Prelievo di campioni di sedimento	47
9.2.3	Caratterizzazione delle comunità macrozoobentoniche	48
9.2.4	Elaborazione dati biologici e calcolo indici di biodiversità.....	49
9.2.5	Catena di custodia	49
9.3	RISULTATI.....	50
9.3.1	RILIEVO BATIMETRICO DELL'AREA DI DEPOSITO TEMPORANEO	50
9.3.2	RILIEVO SIDE SCAN SCANNER DELL'AREA DI DEPOSITO TEMPORANEO	52
9.3.3	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DELLA COLONNA D'ACQUA	54
	TEMPERATURA	54
	SALINITA'	54
	pH.....	54
	FLUORESCENZA.....	55
	OSSIGENO DISCIOLTO (DO).....	55
	TORBIDITA'	56
	TRASPARENZA (profondità del disco di Secchi)	56
9.3.4	ANALISI DEL MACROBENTHOS	69
	ABBONDANZA E DIVERSITA' DEL MACROBENTHOS	69
	VALUTAZIONE DELLO STATO DI QUALITA' ECOLOGICA.....	74
	CONSIDERAZIONI ECOLOGICHE GENERALI	75
9.3.5	CARATTERISTICHE CHIMICO FISICHE	77
	GRANULOMETRIA, T.O.C., pH e Potenziale di ossidoriduzione (ORP).....	77
	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	78
	METALLI.....	83
	IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (I.P.A.)	84
	Policlorobifenili (P.C.B.).....	84
9.3.6	ANALISI CHIMICO FISICHE INTEGRATIVE COME DA TABELLA 8.2 DEL PMA	85
9.3.7	CARATTERISTICHE ECOTOSSICOLOGICHE	87
	SAGGIO BIOLOGICO CON VIBRIO FISCHERI IN FASE SOLIDA	87
	SAGGIO BIOLOGICO CON PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM	88
	SAGGIO BIOLOGICO CON ACARTIA TONSA	90
9.3.8	CLASSIFICAZIONE DELLA QUALITÀ DEI SEDIMENTI	92
	CLASSI DI PERICOLO CHIMICO	92
	CLASSI DI PERICOLO ECOTOSSICOLOGICO	98
	CRITERI DI INTEGRAZIONE PONDERATA PER L'ELABORAZIONE DELLA CLASSE DI QUALITÀ DEI SEDIMENTI.....	103
10.0	DATI CONSEGNATI	106
10.1	ELABORATI FINALI	106
	BIBLIOGRAFIA	107

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Inquadramento area di studio	11
Figura 2. Benna in operazione	17
Figura 3. Esempio di campione raccolto con bennata	19
Figura 4. Laboratorio L.A.V. incaricato per le analisi dei sedimenti	21
Figura 5. Datum temporale mondiale	26
Figura 6. Datum temporale locale	27
Figura 7. Ubicazione caposaldo	28
Figura 8. Proiezione cartografica di Mercatore	29
Figura 9. Latitudine e longitudine	30
Figura 10. Schema fusi UTM in Italia	31
Figura 11. Convenzioni per offset e movimenti	32
Figura 12. Schermata di acquisizione del software di navigazione	39
Figura 13. Software MV POSView	41
Figura 14. Benna in fase di lancio	42
Figura 15 Motobarca Maestrale Primo	43
Figura 16: Motobarca Maestrale Primo	44
Figura 17: Utilizzo della sonda CTD durante i campionamenti a mare	46
Figura 18. Benna di Van-Veen	47
Figura 19. Setacciatura dei sedimenti per la determinazione del macrozoobenthos	48
Figura 20. DTM dell'area di deposito temporaneo	50
Figura 21. DTM dell'area di deposito temporaneo	51
Figura 22. Fotomosaico Side Scan Sonar dell'area di deposito temporaneo	53
Figura 23. Fotomosaico dell'area di deposito temporaneo	53
Figura 24. Carta morfologica dell'area funzionale	53
Figura 25. Campionamento Ante Operam, distribuzione superficiale delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	57
Figura 26. Campionamento Ante Operam, distribuzione, al fondo, delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	58
Figura 27. Campionamento Ante Operam, stazione C0-N_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	59
Figura 28. Campionamento Ante Operam, stazione C0-S_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	60
Figura 29. Campionamento Ante Operam, stazione C3_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	61
Figura 30. Campionamento Ante Operam, stazione C4_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	62
Figura 31. Campionamento Ante Operam, stazione C5_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua	63
Figura 32. Principali gruppi tassonomici riscontrati: abbondanze totali (%) a sinistra; numero di specie totali (%) a destra	69
Figura 33. nMDS plot raffigurante la distribuzione spaziale delle differenti stazioni ricavato dalla matrice specie / abbondanza	70
Figura 34. Abbondanze medie totali del macrobenthos (ind. m⁻²), con rispettive deviazioni standard, e ricchezza specifica (numero assoluto di specie) nelle 5 stazioni esaminate	71
Figura 35. Andamento dei valori degli indici di Pielou (J'), in alto, e dell'indice diversità H'(log _e), in basso, della comunità macrobentonica. Sono rappresentati i valori medi caratterizzanti ogni stazione con le rispettive deviazioni standard	72
Figura 36. Struttura della comunità macrozoobentonica nei sedimenti investigati	73

Figura 37. <i>Aricidea (Acmira) assimilis</i> (a), <i>Aricidea (Aricidea) pseudoarticulata</i> (b), <i>Ampelisca sarsi</i> (c)	73
Figura 38. Foto campione CO-N-DT	78
Figura 39. Foto campione CO-S-DT	79
Figura 40. Foto campione C3-DT	80
Figura 41. Foto campione C4-DT	81
Figura 42. Foto campione C5-DT	82
Figura 43. Livelli chimici di riferimento nazionali (Tabella 2.5 Allegato Tecnico D.M. 173/2016)	84
Figura 44. Processo di elaborazione dei dati chimici	92
Figura 45. Elaborazione SediquaSoft109.0 del rischio chimico L1/L2 dei campioni	94
Figura 46. Elaborazione del rischio chimico campione C3-DT/000-050	95
Figura 47. Elaborazione del rischio chimico campione C4-DT/000-050	95
Figura 48. Elaborazione del rischio chimico campione C5-DT/000-050	96
Figura 49. Elaborazione del rischio chimico campione CO-N-DT/000-050	96
Figura 50. Elaborazione del rischio chimico campione CO-S-DT/000-050	97
Figura 51. <i>Processo di elaborazione dei dati Ecotossicologici</i>	99
Figura 52. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C3-DT/000_050	100
Figura 53. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C4-DT/000_050	101
Figura 54. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C5-DT/000_050	101
Figura 55. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione CO-N-DT/000_050	102
Figura 56. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione CO-S-DT/000_050	102

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Coordinate delle stazioni di campionamento	7
Tabella 2. Elenco delle stazioni di campionamento	13
Tabella 3. Modalità esecuzione attività	14
Tabella 4 – Parametri per la caratterizzazione chimica dei sedimenti	22
Tabella 5. Condizioni operative limite per le attività	25
Tabella 6. Parametri Geodetici dei dati DGPS-RTK in ingresso	30
Tabella 7. Parametri di proiezione	31
Tabella 8. Unità di misura del progetto	33
Tabella 9. Lista del personale project management	34
Tabella 10. Lista del personale incaricato all'acquisizione dati, processing e laboratorio	35
Tabella 11. Lista della strumentazione e software impiegati off-line	37
Tabella 12. Specifiche tecniche Van Veen	42
Tabella 13. Elenco delle stazioni di campionamento nuova area deposito temporaneo	45
Tabella 14. Parametri CTD Rilevati in C0-N_DT	64
Tabella 14. Parametri CTD Rilevati in C0-S_DT	65
Tabella 14. Parametri CTD Rilevati in C3_DT	66
Tabella 14. Parametri CTD Rilevati in C4_DT	67
Tabella 14. Parametri CTD Rilevati in C5_DT	68
Tabella 14. Valori assoluti del numero di specie (S), valori medi delle abbondanze (N), valori degli indici di Shannon Wiener H'(loge), Pielou (J'), Simpson (Lambda) e Margalef (d), con le rispettive deviazioni standard (ds)	71
Tabella 15. Risultati del calcolo dell'indice M-AMBI nelle sei stazioni in esame	74
Tabella 16. Risultati dell'applicazione dell'indice AMBI (Classificazione del disturbo); sono riportate le percentuali degli organismi appartenenti ai 5 gruppi ecologici e percentuali di non attribuiti ad alcun gruppo ecologico, ricchezza di specie e diversità	74
Tabella 17 – Principali frazioni granulometriche, potenziale di ossidoriduzione e pH e caratteristiche fisiche	77
Tabella 18 – Classi di pericolo chimico rispetto ai valori HQc	93
Tabella 19 – Elaborazione Sediquasoft109.0 del rischio chimico L1/L2 dei campioni	94
Tabella 20 – Flow chart di elaborazione e Classi di pericolo eco-tossicologico (HQ/batteria)	99
Tabella 21 – Elaborazione del pericolo ecotossicologico del totale dei campioni superficiali	100
Tabella 22 – Classificazione della Qualità dei sedimenti secondo i criteri di integrazione ponderata (HQC = Hazard Quotient chimico)	103
Tabella 23 – Opzioni di gestione dei sedimenti in relazione alla classe di qualità del sedimento	104
Tabella 24 – Indici di qualità, classi di pericolo chimico ed ecotossicologico e % Pelite	104
Tabella 25 – Classificazione di qualità dei materiali analizzati	105
Tabella 26 – Elenco Elaborati Prodotti	106

ALLEGATI AL DOCUMENTO

ALLEGATO 1:	RAPPORTI DI PROVA DI LABORATORIO (R.D.P.)
ALLEGATO 2:	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA / IMMAGINI
ALLEGATO 3:	CARTOGRAFIA

1.0 INTRODUZIONE

Subsea Fenix Srl di Ravenna (RA) è stata incaricata da Techfem S.p.A. di eseguire un'indagine ambientale Ante Operam (AO) nell'area marina costiera emiliano-romagnola antistante Punta Marina (RA), identificata come area di deponia temporanea dei materiali in riferimento ai lavori per l'installazione del futuro metanodotto "Allacciamento FSRU Ravenna".

Le operazioni di campionamento sono state effettuate da personale tecnico-scientifico nella giornata del 07 dicembre 2023 ed hanno interessato l'acquisizione di dati idrologici in colonna d'acqua ed il campionamento dei sedimenti marini per le determinazioni quali-quantitative delle comunità bentoniche.

L'obiettivo dell'indagine ambientale AO è stato quello di fornire un quadro generale sullo stato ecologico dell'ambiente marino costiero all'interno dell'area di progetto, prima dell'esecuzione dei lavori a mare.

L'acquisizione dei dati idrologici ed il campionamento dei sedimenti marini sono stati svolti in corrispondenza di sei stazioni di prelievo, denominate: C0-N_DT, C0-S_DT, C3_DT, C4_DT e C5_DT. Di queste, due sono state identificate come "stazioni di controllo" (C0-N_DT e C0-S_DT), situate rispettivamente a Nord e a Sud rispetto alle restanti (C3_DT, C4_DT e C5_DT).

In tutti e sei i siti sono state effettuate misurazioni delle principali variabili chimico-fisiche in colonna d'acqua e sono stati prelevati campioni di sedimento marino superficiale; questi ultimi sono stati successivamente processati ed analizzati in laboratorio ai fini dello studio quali-quantitativo delle comunità macrozoobentoniche presenti.

In contemporanea al campionamento bentonico sono stati eseguiti campionamenti di sedimenti per le analisi chimiche e fisiche previste in capitolato.

Il presente rapporto tecnico-scientifico è stato redatto con l'obiettivo di descrivere la strategia e le metodiche di campionamento, le metodologie di laboratorio, i risultati ottenuti dai dati acquisiti in campo e analitici, fornendo un quadro generale delle condizioni ambientali iniziali di riferimento.

Stazioni di campionamento		Latitudine °N	Longitudine °E
		[GG pp ss.dd]	[GG pp ss.dd]
Siti di controllo	C0-N_DT	44 27 33.67	12 20 39.84
	C0-S_DT	44 26 36.25	12 21 16.40
Siti di studio	C3_DT	44 26 58.36	12 20 47.02
	C4_DT	44 26 59.19	12 20 54.90
	C5_DT	44 27 00.09	12 21 20.83

Tabella 1. Coordinate delle stazioni di campionamento

1.1 DEFINIZIONI

- Cliente finale **SNAM RETE GAS**
- Cliente **Techfem Spa**
- Contrattista **Subsea Fenix Srl**
- Esecutori **Subsea Fenix Srl**
- Laboratorio **L.A.V. s.r.l. -**
- Mezzi Nautici **Motobarca Maestrale Primo**

1.2 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI

Qui di seguito vengono elencate le abbreviazioni e gli acronimi contenuti all'interno del presente documento e dei suoi allegati:

ASCII	American Standard Code for Information Interchange;
CAD	Computer Aided Design;
CSV	Comma Separated Values File;
CM	Central Meridian;
CO	Area Corridoio
DGPS	Differential Global Positioning System
DOP	Dilution of Position;
DPR	Daily Progress Report
DR	Area Dragaggio
DTM	Digital Terrain Modelling;
Gyro	Girobussola
GNSS	Global Navigation Satellite System;
GMT	Greenwich Mean Time;
GPS	Global Positioning System;
hd	Hard Disk
HDOP	Horizontal Dilution of Precision;
HQC	Hazard Quotient Chimico
HRS	Heading Reference System;
IHO	International Hydrographic Organization;
IMCA	International Marine Contractors Association;
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
IS	International System
ISO	International Standards Organization;
Km	Chilometri;
KTS	Knots;
L.M.M.	Livello Medio Mare;
L.A.T	Low Astronomical Tide
M/N	Moto Nave
MRU	Motion Reference Unit
PC	Protezione Catodica
PCB	Policlorobifenili
PDC	Piano Di Caratterizzazione
PIR	Area PIR
PIR	Petrolifera Italo Rumena
QA	Quality Assurance;
QC	Quality Control;
TOC	Carbonio Organico Totale
TM	Transversa di Mercatore;
UPS	Uninterruptible Power Supply
UTC	Coordinated Universal Time;
UTM	Universal Transverse Mercator;
WGS 84	World Geodetic System 1984;

1.3 TRADUZIONE DEGLI ACRONIMI E DEI TERMINI ANGLOSASSONI

Qui di seguito vengono elencate tutte le parole in lingua Inglese utilizzate per la stesura del presente documento assieme alle relative traduzioni in lingua Italiana:

Aft	Dietro / Poppa;
Bow	Prua
Central Meridian:	Meridiano Centrale;
Coordinated Universal Time	Tempo Universale Coordinato;
Differential Global Positioning System	Sistema di Correzione Differenziale Globale
Digital Terrain Modelling:	Modellazione Digitale del Terreno;
Dilution of Position	Diluizione della posizione;
Forward	Avanti / Prua;
Geographic Informative System	Sistema Informativo Geografico
Greenwich Mean Time:	Tempo Medio di Greenwich;
Global Positioning System:	Sistema di Posizionamento Globale;
Knots:	Miglia Nautiche per Ora;
Hard disk	Disco rigido
Heading Reference System:	Sistema di riferimento della Direzione (Girobussola);
Heading	Direzione;
Horizontal Dilution of Precision	Diluizione della posizione orizzontale;
Inertial Navigation System:	Sistema di Navigazione Inerziale;
Kilometer Progressive	Progressiva Chilometrica
Negative:	Negativo;
Positive:	Positivo;
Quality Assurance:	Garanzia di qualità;
Quality Control:	Controllo di qualità;
Daily Progress Report	Rapportino giornaliero di cantiere
Spare	Unità di riserva
Starboard:	Dritta / Destra;
Stern	Poppa;
Time delay:	Latenza Temporale;
Tool:	Applicazione;
Uninterruptible Power Supply	Gruppo di continuità
Universal Transverse Mercator:	Trasversa Universale di Mercatore;
World Geodetic System 1984:	Sistema Geodetico mondiale istituito nel 1984;

2.0 SCOPO DEL LAVORO

Il giorno 07 Dicembre 2023 Subsea Fenix Srl ha condotto una campagna di prelievo campionamento e attività di analisi ai sensi del D.M. 173/2016 dei sedimenti presenti nell'area deputata a deposito temporaneo di sedimenti relativa al progetto FSRU Ravenna.

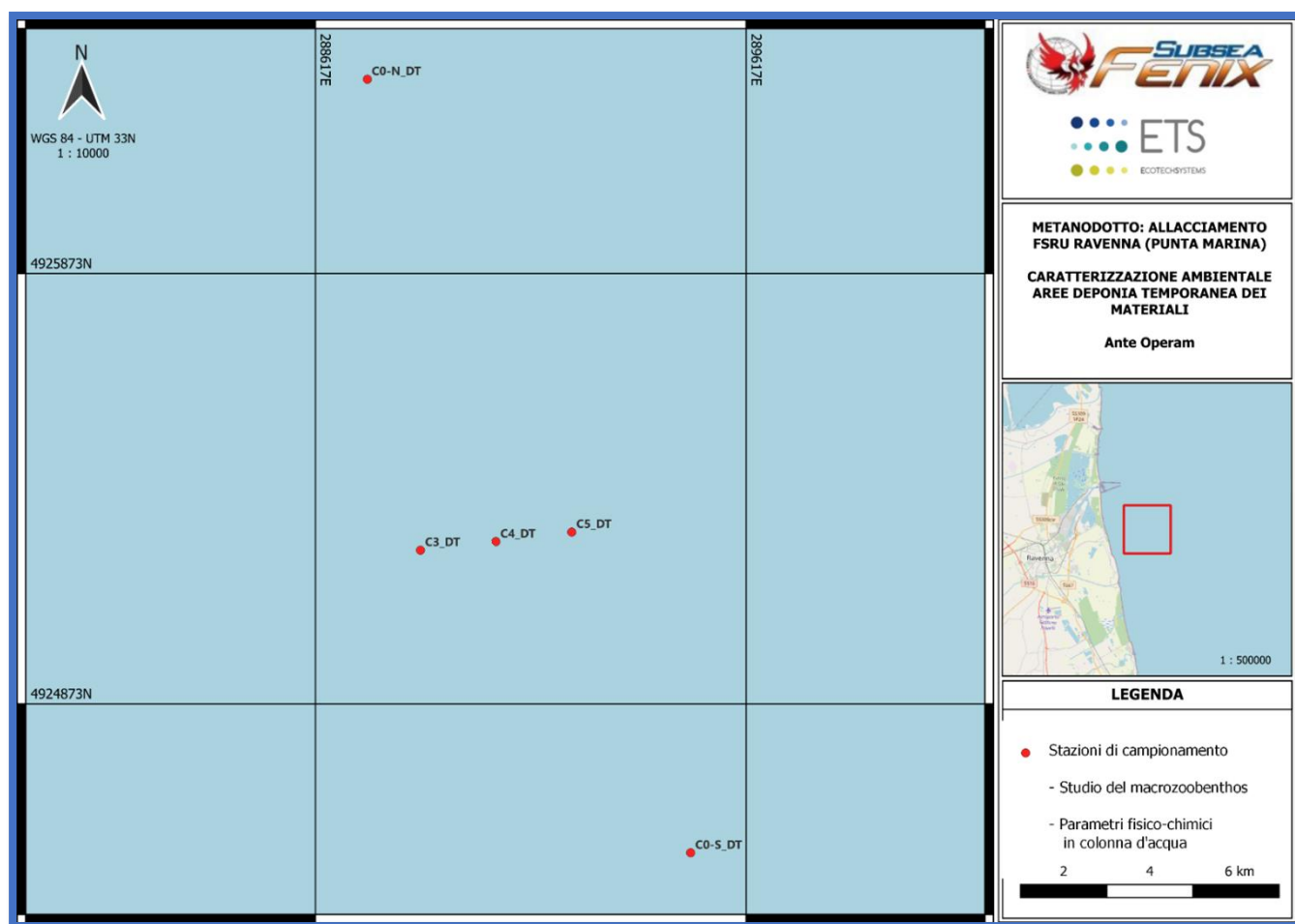


Figura 1. Inquadramento area di studio

A tale scopo è stata portata a termine l'esecuzione di una campagna di carotaggi di tipo ambientale da eseguire mediante l'utilizzo di una benna di tipo Van Veen, su **5 stazioni** localizzate nell'area di deposito temporaneo.

Il servizio offerto da Subsea Fenix Srl ha compreso la fornitura dell'imbarcazione di supporto, delle apparecchiature, degli operatori e di tutto quanto necessario ad eseguire la campagna richiesta, incluse le analisi di laboratorio, l'elaborazione dei dati e la loro rappresentazione grafica.

A completamento del contratto relativo ai servizi in oggetto, è stato redatto e consegnato il presente documento tecnico, contenente una dettagliata descrizione di tutte le operazioni svolte, delle risorse impiegate e delle metodologie utilizzate.

All'interno dei successivi paragrafi vengono descritte in maniera approfondita e dettagliata le modalità di esecuzione dei prelievi, l'elenco e le caratteristiche della strumentazione utilizzata assieme alla cronistoria di tutte le operazioni svolte in cantiere.

3.0 AREE OGGETTO DELL'INDAGINE AMBIENTALE

Le stazioni di campionamento previste e svolte da Subsea Fenix sono state pianificate in relazione alle specifiche indicate all'interno del piano di caratterizzazione ambientale fornito dalla committenza.

Qui di seguito è riportata la tabella che indica nome, posizione, lunghezza della carota e tipologia di analisi a cui sottoporre i sedimenti.

ELENCO STAZIONI DI INDAGINE					
N° Campione	NOME STAZIONE	Longitudine	Latitudine	ALIQUOTA	PROCEDURA / SET
1	C0-N_DT	12 20 39.84	44 27 33.67	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
2	C0-S_DT	12 21 16.40	44 26 36.25	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
3	C3_DT	12 20 47.02	44 26 58.36	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
4	C4_DT	12 20 54.90	44 26 59.19	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
5	C5_DT	12 21 20.83	44 27 00.09	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016

Tabella 2. Elenco delle stazioni di campionamento

4.0 MODALITA' DI ESECUZIONE

All'interno di questo capitolo vengono prese in esame nel dettaglio tutte le metodologie e le procedure adottate per l'esecuzione delle attività oggetto di questo incarico. Al fine di garantire la corretta esecuzione dello scopo del lavoro e dei tempi di consegna dei risultati finali Subsea Fenix Srl ha previsto l'utilizzo di diverse metodologie di rilievo e di diverse piattaforme mobili di installazione:

ATTIVITÀ CARATTERIZZAZIONE SUPERFICIALE	
<i>Mezzo di supporto</i>	<i>Motobarca</i>
<i>Sistemi</i>	<i>Posizionamento Superficiale</i>
	<i>Benna Van Veen</i>

Tabella 3. Modalità esecuzione attività

4.1 MOB / DEMOB E PERMANENZA IN LOCO

La mobilitazione dei tecnici e delle attrezzature necessarie all'esecuzione della campagna ambientale ha avuto luogo da Mezzano (RA), dalla sede della Subsea Fenix S.r.l. fino all'area di cantiere (Porto di Ravenna).

In considerazione dell'estensione dell'area, delle differenti tipologie di prelievo che sono state adottate, della tecnologia impiegata e di conseguenza dei tempi di esecuzione delle attività, è stata necessaria la permanenza in loco del nostro personale impiegato. Per tutta la durata delle fasi operative del cantiere sia i tecnici che l'equipaggio dell'imbarcazione hanno soggiornato presso degli appartamenti appositamente affittati.

L'allestimento di tutta la strumentazione a bordo della motobarca è stato eseguito direttamente in cantiere. Una volta in sito, i tecnici hanno provveduto alle operazioni di Mob dalla banchina al fine eseguire le operazioni in totale sicurezza.

Una volta concluse tutte le attività di cantiere la strumentazione è stata demobilitata in banchina sempre all'interno del porto di Ravenna, nel rispetto della piena sicurezza delle operazioni.

4.2 INDAGINE AMBIENTALE

Secondo quanto richiesto dal cliente, la totalità della superficie da caratterizzare è stata suddivisa in n° **6 aree** sulle quali sono state previste analisi di laboratorio per diversi di spessori di sedimento. Il progetto del piano di caratterizzazione (PDC) in accordo con gli Enti autorizzativi, in considerazione dell'ubicazione dell'area marina di indagine e della limitata variabilità ipotizzabile per le caratteristiche dei sedimenti presenti lungo la verticale, in alcuni casi ha previsto l'accorpamento dei campioni relativi a due aree contigue (200 m x 200 m) per alcuni dei livelli campionati.

Sui campioni è stato previsto di eseguire le analisi di laboratorio secondo lo schema riportato di seguito:

- **Aliquota L1: 0 m – 0.50 m;**
 - Analisi Granulometriche.
 - Analisi Chimiche ex DM 173/2016.
 - Analisi Ecotossicologiche con 3 specie.

Nello specifico il piano di caratterizzazione ha previsto quanto segue:

- ✓ L1 (0.00 m – 0.50 m):
 - **6 analisi Ecotossicologiche** con 3 specie;
 - **6 analisi granulometriche;**
 - **6 analisi Chimiche** ex DM 173/2016;

4.3 ORGANIZZAZIONE DELLE OPERAZIONI A BORDO

Al fine di garantire una corretta e sicura esecuzione delle operazioni, prima dell'inizio delle attività, a bordo sono stati esposti e discussi con tutti gli attori coinvolti nel progetto tutti i seguenti aspetti:

- Illustrazione delle attività previste e scopo del lavoro;
- Sicurezza e salute delle operazioni;
- Coordinamento delle attività al fine di azzerare le interferenze con gli altri attori presenti all'interno dell'area di lavoro;
- Piano di lavoro:
 - ✓ Area di lavoro;
 - ✓ Piano di campionamento;
 - ✓ Metodologia di prelievo delle carote;
 - ✓ Meteo;
 - ✓ Coordinamento con il personale del mezzo navale;
 - ✓ Pianificazione del piano di ormeggio per l'esecuzione dei prelievi
 - ✓ Coordinamento con le autorità e con gli eventuali gestori delle aree di lavoro;

Al fine di garantire la corretta esecuzione dello scopo del lavoro e garantire continuità nelle operazioni, prima dell'inizio di ogni giornata, gli operatori Subsea Fenix hanno eseguito le seguenti operazioni preliminari all'inizio della registrazione dei dati:

- ✓ Verifica delle attività previste e relativo dettagliato scopo del lavoro;
- ✓ Start Up della strumentazione di posizionamento;
- ✓ Verifica Segnali di correzione del dato GPS (DGPS ed RTK);
- ✓ Test su data logging e archiviazione dei dati;
- ✓ Verifica del materiale per il campionamento e lo stoccaggio dei campioni;

4.4 METODOLOGIA DI ESECUZIONE

La profondità dei carotaggi da eseguire al fine di soddisfare lo scopo del lavoro è stata definita nel piano di caratterizzazione. Come ampiamente già indicato in precedenza per questa campagna si è previsto una profondità di indagine fino a 0.5 m.

Per il campionamento ambientale superficiale (0.00 m – 0.50 m) delle stazioni è stata utilizzata come strumento di campionamento, una benna tipo Van-Veen avente superficie di presa minima 0.1 mq ed un volume di 20-25L, manovrata con l'assistenza di una imbarcazione.

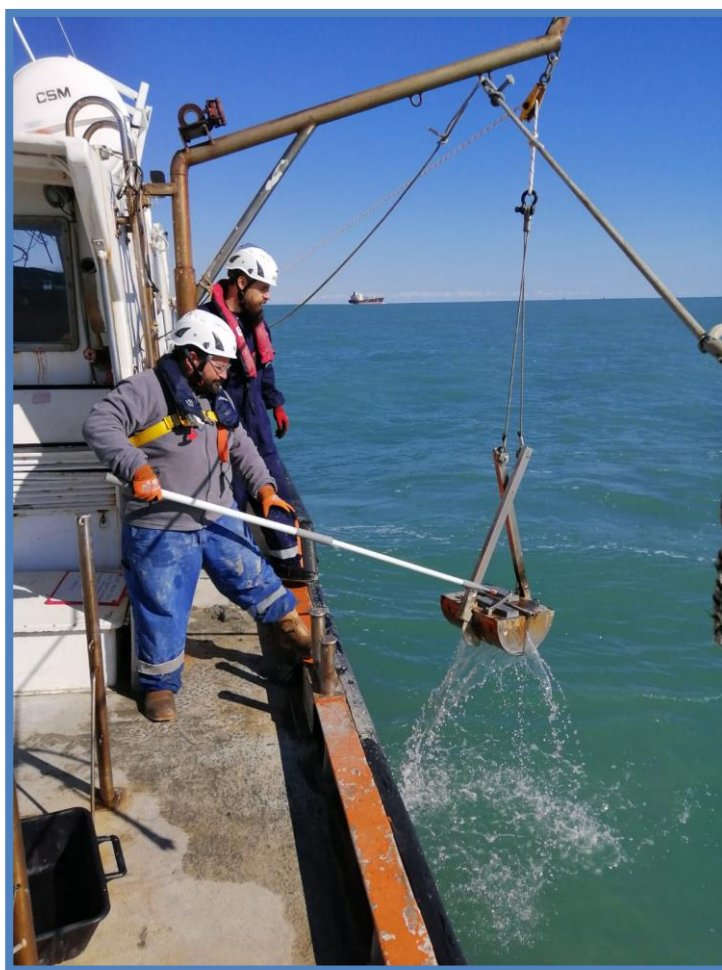


Figura 2. Benna in operazione

Per la corretta esecuzione della campagna, oltre alla strumentazione appena descritta, a bordo dei vari motopontoni è stato installato un sistema di posizionamento superficiale composto dai seguenti elementi:

- Sistema DGPS-INS Doppia antenna multi frequenza
- Sistema Gyro;
- Software di Navigazione idrografico;
- Laptop di controllo;

L'antenna DGPS è stata installata in un punto a cielo aperto, ed interfacciata al software di navigazione assieme alla Gyro. All'interno del software sono inseriti tutti gli offset necessari, oltre che il layout del pontone con la

posizione esatta della Gru e la base cartografica del cantiere contenente oltre le aree di campionamento e le posizioni teoriche delle carote, anche le curve batimetriche dei fondali e l'inquadramento cartografico. L'utilizzo di questo sistema ha permesso di posizionare correttamente il mezzo durante tutte le operazioni, così da poter eseguire i prelievi all'interno delle aree predefinite dal piano di caratterizzazione e registrare l'esatta ubicazione (Latitudine e Longitudine) delle carote prelevate.

Una volta posizionato il mezzo l'operazione di prelievo del sedimento è composta dei seguenti step:

➤ **BENNATA:**

- ✓ La benna viene aperta ed armata;
- ✓ mediante la gru la benna viene sollevata e portata fuori bordo;
- ✓ la benna viene calata e portata alla quota di "lancio" dal fondo;
- ✓ viene richiesta la "luce verde" a procedere e tutti gli attori a bordo vengono avvisati dell'imminente esecuzione della carota;
- ✓ la benna viene lanciata sul fondo mediante l'apposito sgancio rapido;
- ✓ una volta infissa la benna sul fondo, viene recuperata a bordo del mezzo e depositata all'interno di un apposito contenitore;
- ✓ la benna viene aperta e viene verificata la qualità in termini quantitativi/volumetrici del sedimento campionato;

Terminata le operazioni di prelievo, sulla carota vengono effettuate delle prime analisi preliminari. Di seguito il procedimento svolto:

➤ **BENNATA:**

- ✓ Viene espulsa dall'interno delle valve l'acqua in eccesso;
- ✓ una volta depositata all'interno della cassetta di catalogazione la benna viene aperta;
- ✓ viene sollevata al fine di far fuoriuscire in maniera indisturbata il materiale in essa contenuto;
- ✓ la vasca di catalogazione viene infine appoggiata su un piano orizzontale, dove il tecnico di laboratorio procede nelle diverse fasi del campionamento:



Figura 3. Esempio di campione raccolto con bennata

4.5 METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO DEI SEDIMENTI

Una volta terminate le operazioni di recupero, il materiale prelevato è stato consegnato ai tecnici campionatori, che hanno provveduto a processare il sedimento raccolto. Tali operazioni sono state svolte direttamente a bordo, seguendo le linee guida dettate dal D.M. 173/2016, qui di seguito indicate:

- ✓ Fotografia della bennata e breve descrizione stratigrafica con definizione del colore, odore, eventuale presenza di frammenti di conchiglie e/o materiale antropico e misura con sonda portatile dei valori di pH ed Eh;
- ✓ prelievo di una porzione di sedimento, corrispondente al livello di campionamento, e collocata in una vaschetta di polietilene. Il sedimento opportunamente omogeneizzato è stato successivamente sotto-campionato in diversi contenitori per le diverse aliquote di analisi previste (fisiche-chimiche- ecotossicologiche);
- ✓ un'ulteriore aliquota di almeno 250 ml di ciascun campione è stata invece prelevata e stoccata alla temperatura di -20° per eventuali accertamenti o approfondimenti;
- ✓ i contenitori opportunamente etichettati, sono stati stoccati in frigo portatili per mantenere la catena del freddo fino al loro arrivo in laboratorio (4°-6°);
- ✓ infine, è stata redatta una specifica catena di custodia (COC) che associa i campioni dal momento del campionamento fino alla consegna al laboratorio di analisi, al fine di assicurare il mantenimento delle corrette temperature di conservazione e monitorarne gli spostamenti;

Tutta la documentazione fotografica dei singoli carotaggi è consultabile all'interno degli allegati alla presente relazione.

4.6 ANALISI DI LABORATORIO

Le attività di campionamento delle diverse aliquote e le relative analisi di laboratorio richieste (chimico – fisiche e ecotossicologiche) sono state eseguite dai tecnici del laboratorio LAV S.r.l di Rimini, riconosciuto ai sensi della Norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018 ed accreditato per le prove in esame da ente di controllo ACCREDIA (n°0447).

Una volta eseguiti i prelievi dei sedimenti dal fondale di ogni singola area e quota di campionamento, questi sono stati preparati, campionati e stoccati al fine di poterli sottoporre alle analisi fisiche chimiche ed eco-tossicologiche. Una volta pronto, ogni singolo contenitore è stato stoccato e refrigerato a bordo mediante appositi frigoriferi portatili ad una temperatura compresa tra i 4° ed i 6° gradi centigradi. Al termine di ogni singola giornata di attività di campo questi sono stati sbarcati a terra, trasportati e consegnati immediatamente mantenendo la catena del freddo così da non alterare i campioni. Una volta in laboratorio questi sono stati presi in carico in conformità con la prevista catena di custodia dei campioni ed immediatamente messi in lavorazione.

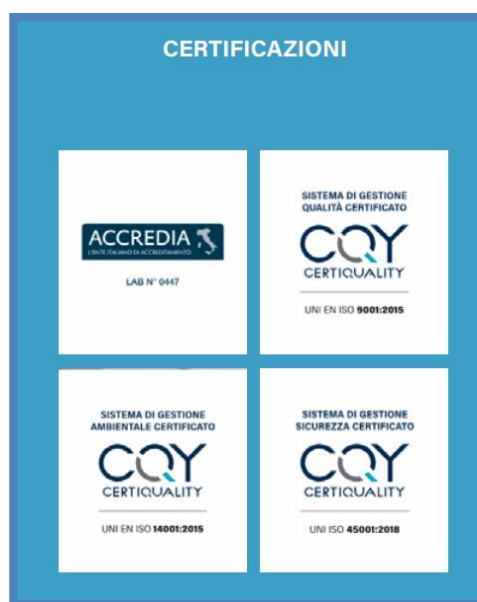




Figura 4. Laboratorio L.A.V. incaricato per le analisi dei sedimenti

Tutti i rapporti di prova (R.D.P.) sono allegati alla presente relazione insieme ai verbali di campionamento, alle schede di campo ed alla documentazione fotografica.

L'elenco delle analisi eseguite, ha seguito quanto previsto dal P.D.C., con la determinazione:

- ✓ **Caratterizzazione Fisica**
- ✓ **Caratterizzazione Chimica**
- ✓ **Caratterizzazione Ecotossicologica**

4.6.1 Caratterizzazione fisica

La caratterizzazione fisica dei campioni di sedimento prelevati ha previsto la descrizione macroscopica dei sedimenti oltre alla determinazione della loro granulometria (% Ghiaia - % Sabbia - % Limo - % Argilla - % Pelite).

4.6.2 Caratterizzazione chimica

La caratterizzazione chimica dei campioni di sedimento prelevati ha previsto la determinazione dei parametri chimici descritti all'interno della tabella qui di seguito riportata.

PARAMETRI PER LA CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEI SEDIMENTI		
PARAMETRI CHIMICI	SPECIFICHE	LIMITE DI QUANTIFICAZIONE
METALLI E METALLOIDI	As, Cd, Cr tot., Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	0,03 mg kg ⁻¹ (Cd, Hg); 1 mg kg ⁻¹ (altri)
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	Acenaftilene, Benzo(a)antracene, Fluorantene, Naftalene, Antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b) fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i) perilene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Pirene, Dibenzo (a,h) antracene, Crisene, Indeno (1,2,3,c-d)pirene e loro sommatoria	1 µg kg ⁻¹
IDROCARBURI C>12*		5 mg kg ⁻²
POLICLOROBIFENILI *	Congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 e loro sommatoria	0,1 µg kg ⁻¹
COMPOSTI ORGANOSTANNICI	Monobutili, Bibutili, Tributilstagno e loro sommatoria	1 µg kg ⁻¹
CARBONIO ORGANICO TOTALE OSOSTANZA ORGANICA TOTALE		0,1 %
Sommat. T.E:PCDD, PCDF (Diossine e Furani) e PCB Diossina simili*	Elenco di cui alle note della tabella 3/A di cui al D.Lgs 172/2015	D.Lgs 172/2015
NOTA: * da considerare come sostanze aggiuntive;		

Tabella 4 – Parametri per la caratterizzazione chimica dei sedimenti

4.6.3 Caratterizzazione ecotossicologica

Il PDC approvato dagli Enti autorizzativi ha previsto di effettuare le analisi ecotossicologiche esclusivamente sui campioni superficiali (0-50 cm) prelevati in corrispondenza di ciascun punto di indagine.

Per le analisi ecotossicologiche sono state seguite le indicazioni fornite nel D.M. 173/2016, il quale prevede l'esecuzione dei test su di una batteria minima composta da almeno 3 organismi appartenenti a gruppi tassonomici ben distinti, da effettuarsi sul sedimento (fase solida) o sull'elutriato (fase liquida) a seconda della tipologia di saggio biologico.

La combinazione è stata la seguente:

- ✓ **Bioluminescenza con *Vibrio fischeri* (fase solida);**
- ✓ **inibizione di crescita algale con *Pheodactylum tricornutum*;**
- ✓ **saggio con effetti cronici/sub-letali/a lungo termine e di comprovata sensibilità su una specie target *Acartia tonsa*.**

5.0 QHSE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

5.1 QUALITÀ

Subsea Fenix Srl opera in base ai principi della UNI EN ISO 9001:2015 – UNI EN ISO 14001 – UNI EN ISO 45001 pertanto le attività saranno conformi al manuale e alle procedure del Sistema di Qualità.

5.2 DESCRIZIONE DEL LUOGO DI LAVORO

Il luogo in cui si sono svolte le attività di mobilitazione, test, demobilitazione è stato il porto di Ravenna.

Per quanto riguarda le attività operative di prelievo dei campioni, il luogo di lavoro è stato uno specchio acqueo posto di fronte alle coste del litorale di Ravenna, a circa quattro chilometri (4 km) a sud dell'imboccatura del porto di Ravenna di fronte alla in località Punta Marina. Tale area al suo interno contiene la piattaforma PIR posta a circa otto chilometri (8 km) al largo della costa Ravennate. L'area di indagine riguarda una superficie ubicata a circa 200 m lato mare della piattaforma ed occupa una superficie di circa 10 m².

Infine per quanto concerne le attività di processing, elaborazione, analisi dei dati reporting e cartografia, queste sono state portate a termine tutte all'interno degli uffici della Subsea Fenix Srl di Ravenna, mentre tutte le operazioni di analisi dei campioni (fisiche – chimiche – ecotossicologiche) sono state svolte all'interno del laboratorio LAV di Rimini.

5.3 SICUREZZA

- Prima dell'inizio delle operazioni è stato redatto uno specifico Documento di Sicurezza ai sensi del Decreto Legislativo 624/1996 e ("o" a seconda della corretta applicabilità) del Decreto Legislativo 81/2008 e successive modifiche e secondo le normative di sicurezza locali, contenente l'individuazione dei rischi specifici presenti nelle singole attività, la conseguente valutazione dei rischi, l'indicazione delle misure di prevenzione e protezione e delle modalità tecnico operative da seguire (MRPG 01.03 POS Techfem C2308 - rev. 0).
- Le operazioni sono state eseguite in conformità alle prescrizioni del Manuale di Sicurezza della Subsea Fenix;
- Le operazioni sono state eseguite tenendo in considerazione quanto riportato in conformità alle indicazioni presenti all'interno (MRPG 01.03 POS Techfem C2268 - Risk assessment specifico Techfem C2285 - rev. 0 - Risk assessment specifico Techfem C22100 - rev. 0 - rev. 0 & Risk assessment specifico Techfem C2308 - rev. 0).
- Le operazioni sono state eseguite in conformità con quanto indicato all'interno l'Ordinanza n°34/2020 inerente alle piattaforme/impianti off-shore antistanti il Circondario Marittimo di Ravenna;
- Le operazioni sono state eseguite in conformità con quanto indicato all'interno delle Ordinanze n°: 340/2022 del 21.07.2022 e Autorizzazione 08/2023 del 25.01.2023;
- Tutte le operazioni sono state eseguite in conformità con quanto indicato all'interno del documento di valutazione dei rischi redatto da Subsea Fenix Srl;

5.4 CERTIFICATI DI CONFORMITÀ

Eventuali certificati di conformità, calibrazione, test e collaudo delle attrezzature, quando applicabili, saranno allegati all'elenco attrezzature alla mobilitazione delle stesse.

5.5 NORMATIVE E NORME APPLICABILI

- Ordinanze delle Capitanerie di Porto pertinenti
- Manuale di Gestione Qualità della Subsea Fenix Srl
- D. Lgs. 81/2008 "Testo Unico sulla Salute e Sicurezza e sul lavoro";
- Decreto Legislativo 624/1996;
- UNI EN ISO 9001:2015
- Linee guida IHO;
- D.M. 173/2016
- Norme UNI/CEN/ISO
- D.Lgs. 219/2010.
- UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018

5.6 DOCUMENTAZIONE

- Avviso di Pericolosità n°74728/2022 del 04.11.22;
- Avviso di Pericolosità n° 08/2023 del 25.01.23;
- l'Ordinanza n°34/2020 inerente alle piattaforme/impianti off-shore antistanti il Circondario Marittimo di Ravenna;
- Certificato QHSES italiano - scad. 25_06_11;
- Annotazioni di sicurezza dei mezzi navali;
- Assicurazione dei mezzi navali;

5.7 CONDIZIONI OPERATIVE NECESSARIE PER L'ESECUZIONE DEL RILIEVO

I limiti operativi adottati per l'esecuzione delle attività in mare vengono indicati all'interno della tabella di seguito riportata.

AMBIENTE	CAROTAGGI
Forza Vento	10 nodi

AMBIENTE	CAROTAGGI
Altezza onda	0.5 m
Velocità della Corrente	1.5 Knot
Precipitazioni	Pioggia
Visibilità in acqua	N/A
Visibilità fuori acqua	2000 m

Tabella 5. Condizioni operative limite per le attività

Come già dichiarato all'interno del paragrafo precedente, durante le attività le condizioni/limite sopradescritte sono sempre state monitorate e rispettate al fine di garantire la sicurezza del personale coinvolto, delle attrezzature utilizzate e della qualità dei dati acquisiti.

Nelle giornate/periodi di tempo in cui si sono svolte le operazioni in sito è capitato che le condizioni superassero quelle massime consentite e che pertanto le operazioni siano state sospese momentaneamente.

Per maggiori informazioni e dettagli sulla cronistoria del cantiere consultare il capitolo 9 di questo documento.

5.8 ORARIO DI LAVORO

Per tutta la durata delle operazioni in cantiere, l'orario di lavoro adottato dal personale è stato di 12 (dodici) ore giornaliere diurne, per 7 (sette) giorni settimanali. Durante tutte le attività il lavoro è stato svolto con soluzione di continuità senza pause per il pranzo. La fascia oraria sopra indicata comprenderà anche i tempi di trasferimento da/per il cantiere.

Le attività di processing e di laboratorio eseguite in sede, sono invece state svolte tendenzialmente durante il normale orario di ufficio che prevede 8 (otto) ore lavorative diurne per 7 (sette) giorni settimanali.

6.0 UNITÀ DI MISURA DEL PROGETTO

6.1 DATUM TEMPORALE

Il riferimento temporale utilizzato per l'intera esecuzione del progetto è l'ora UTC.

Tale riferimento temporale è stato impostato ed utilizzato sia sui software di acquisizione che sugli hardware ed i software di gestione di tutta la strumentazione impiegata in questo progetto.

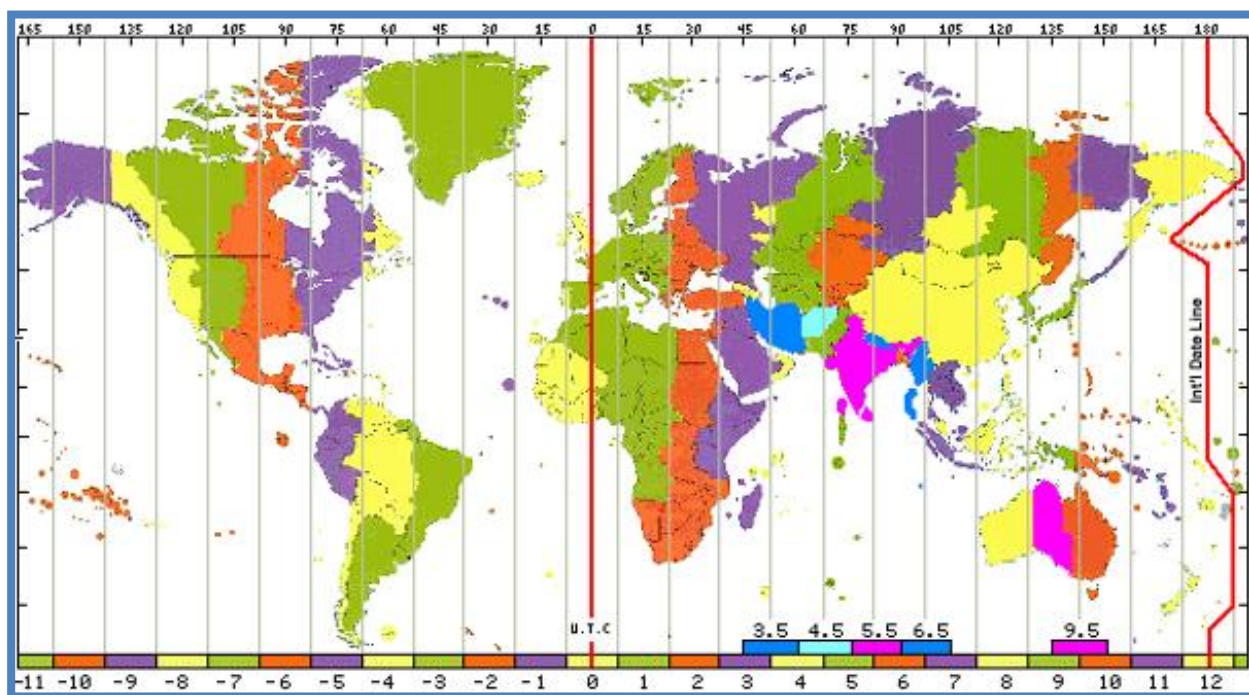


Figura 5. Datum temporale mondiale

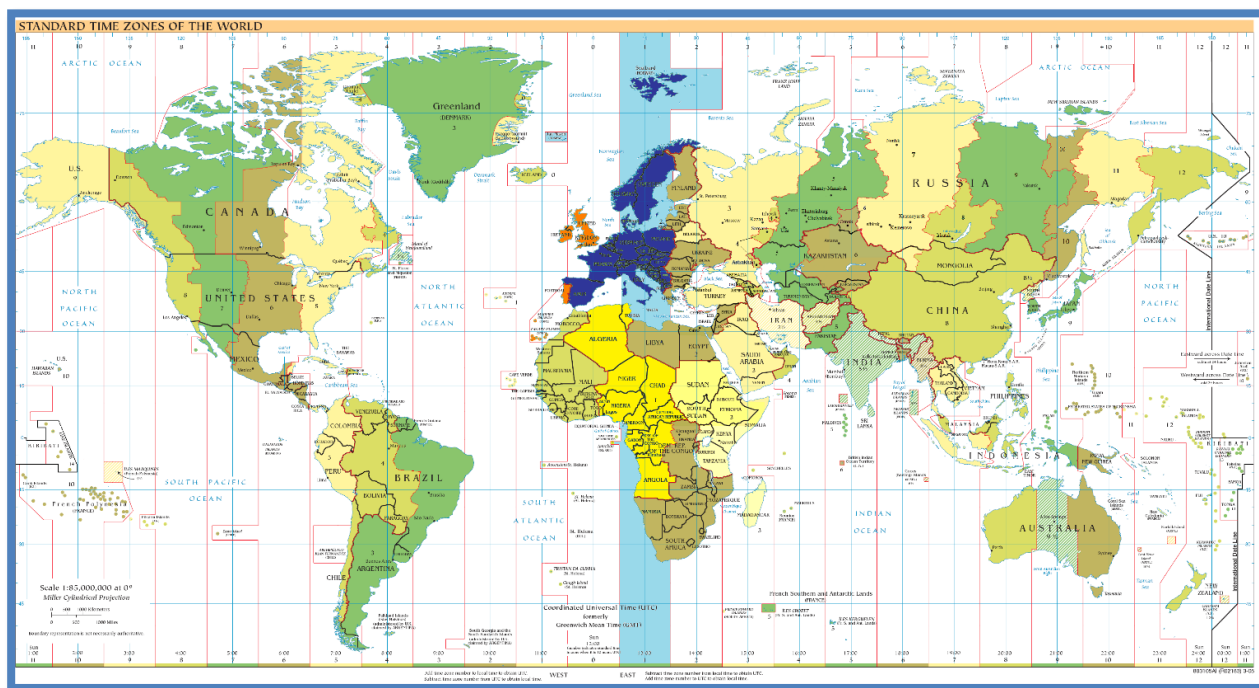


Figura 6. Datum temporale locale

6.2 DATUM VERTICALE

Il riferimento verticale utilizzato per l'esecuzione del progetto è il Livello Medio Mare (LMM), mentre per la restituzione di tutti i dati acquisiti è stato utilizzato sia il Livello Medio Mare (LMM) che il Low Astronomical Tide (LAT).

Tutte le misure verticali sono state riferite al caposaldo di riferimento SAPC0700 ARPAE ubicato in prossimità del Porto di Ravenna in località Marina di Ravenna. Informazioni più dettagliate sul caposaldo utilizzato sono contenute e consultabili all'interno del rispettivo allegato al presente documento tecnico.

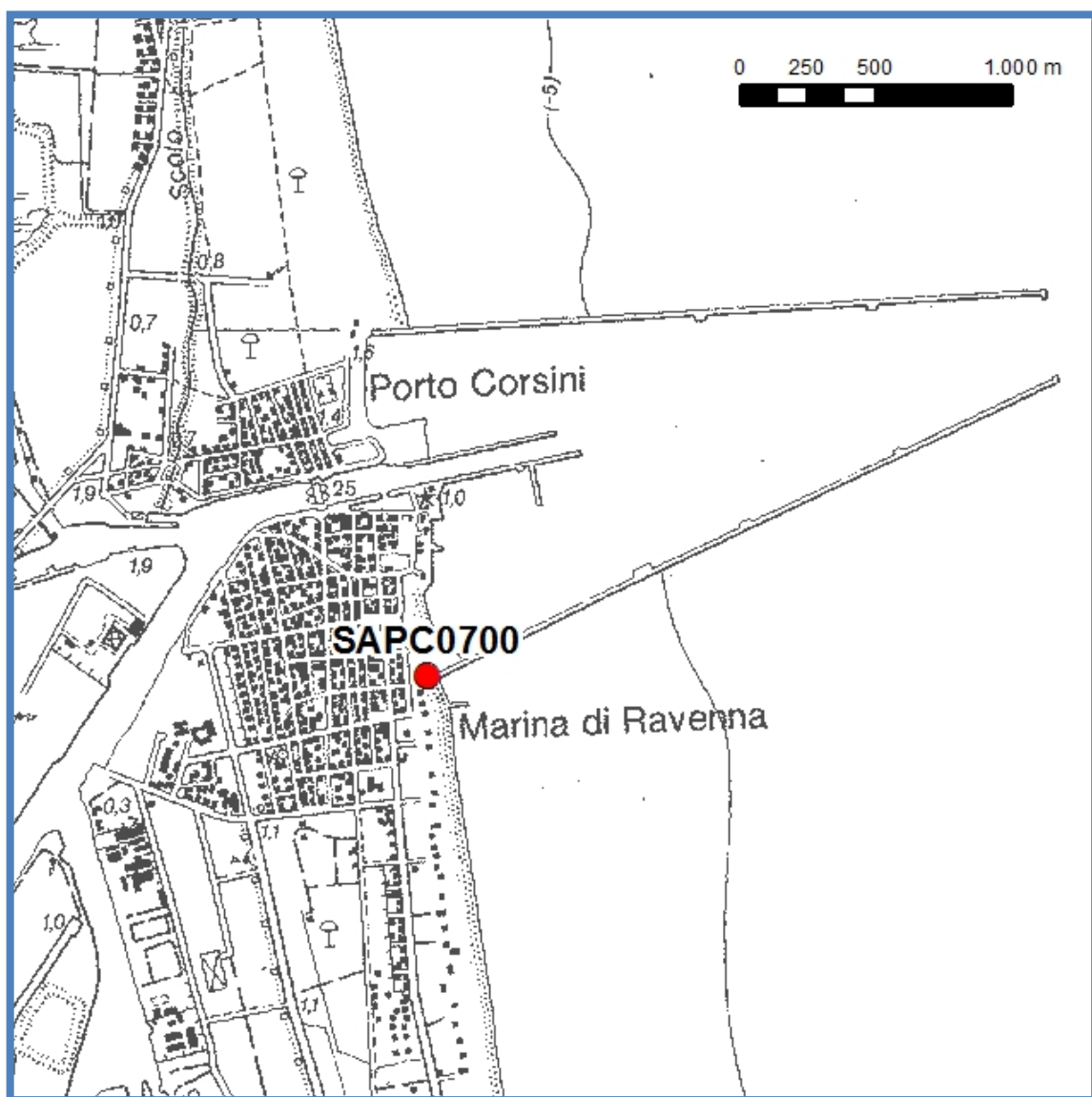


Figura 7. Ubicazione caposaldo

6.3 DATUM ORIZZONTALE

Durante l'esecuzione delle varie fasi di prelievo dei campioni i dati sono stati acquisiti mantenendo sempre lo stesso datum orizzontale al fine di poter garantire la congruità tra i vari set di dati acquisiti nel tempo.

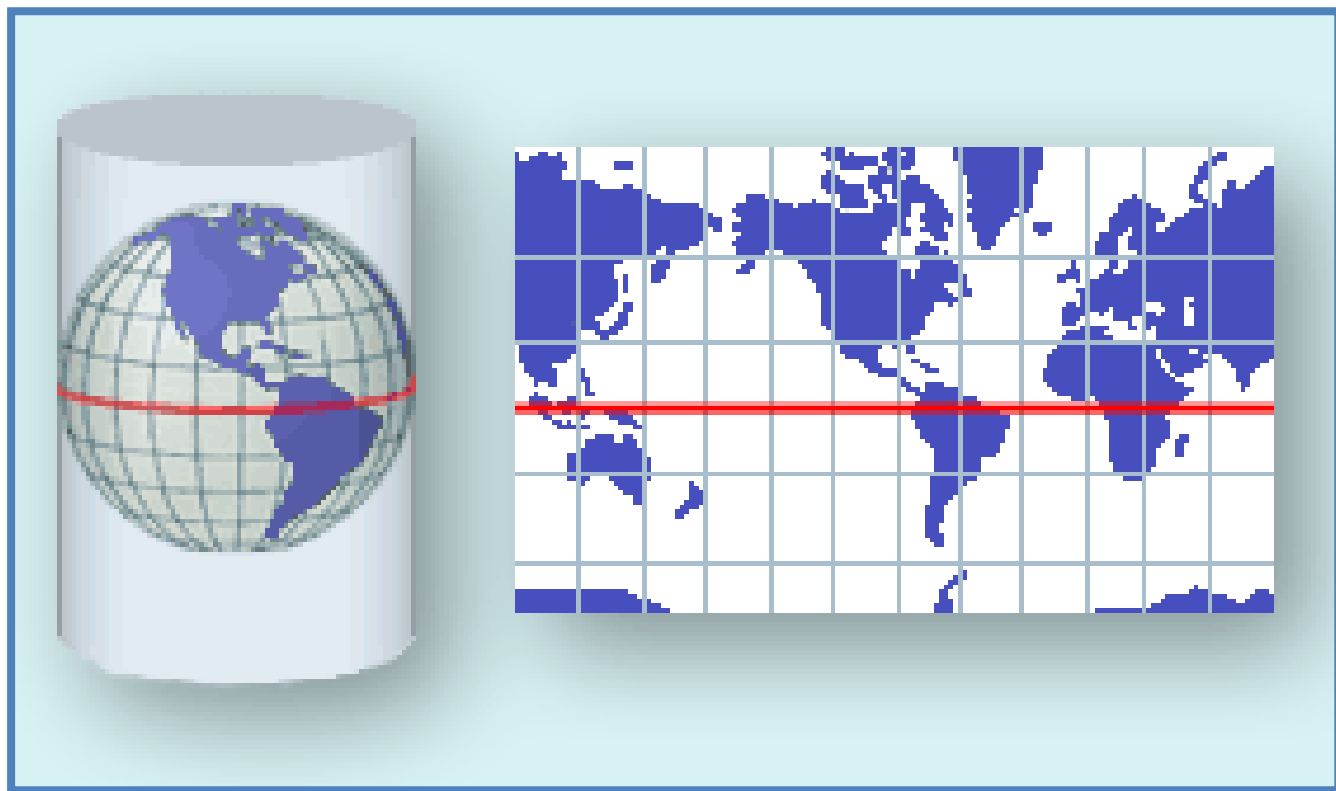


Figura 8. Proiezione cartografica di Mercatore

Il Datum di riferimento adottato per l'esecuzione di tutti i rilievi nelle diverse metodologie dovrà essere il sistema geodetico ETRS89, realizzazione ETRF2000 (2008.0), come stabilito dal D.M. del 10 novembre 2011, pubblicato in G.U. n. 48 del 27 febbraio 2012 (Supplemento ordinario n. 37), la cui realizzazione è di fatto costituita dalla RDN dell'IGM.

In questo sistema di riferimento sono state acquisite e successivamente restituite tutte le coordinate cartesiane geocentriche (X, Y, Z), le coordinate geografiche ellissoidiche (ϕ , λ , h) e coordinate cartografiche Est, Nord nei sistemi ETRF 2000 (2008.0), proiezione UTM, Fuso 33N.

I file RAW sono stati acquisiti in coordinate globali WGS84 ed immediatamente proiettati mediante appositi Tool del software di navigazione sul piano, utilizzando il sistema Universal Trasverse Mercatore (UTM) Zona 33 Emisfero Nord.

I parametri geodetici utilizzati a tale scopo sono riportati all'interno del paragrafo successivo.

6.4 PARAMETRI GEODETICI E DI PROIEZIONE

Durante l'esecuzione delle varie fasi di campionamento dei dati, tutti i set di dati (topografici-idrografici-geofisici) sono stati acquisiti mantenendo sempre gli stessi parametri geodetici.

Durante le attività di campo, le coppie di coordinate ricevute online (Lat. & Long.) dai sistemi satellitari DGPS sono state riferite al Sistema geodetico internazionale WGS84. I parametri dell'ellissoide di riferimento utilizzati sono indicati all'interno della Tabella 6. Per completezza e per evitare qualsiasi tipo di incomprensione, gli stessi parametri sono stati indicati anche all'interno della legenda presente in tutta la cartografia prodotta e gli allegati consegnati.

PARAMETRI GEODETICI	
Datum	WGS84
Ellissoide	WGS84
Semi Asse Maggiore	$a = 6378137.00 \text{ m}$
Schiacciamento Inverso	$1/f = 298.2572235693$
Eccentricità	0.00669437999

Tabella 6. Parametri Geodetici dei dati DGPS-RTK in ingresso

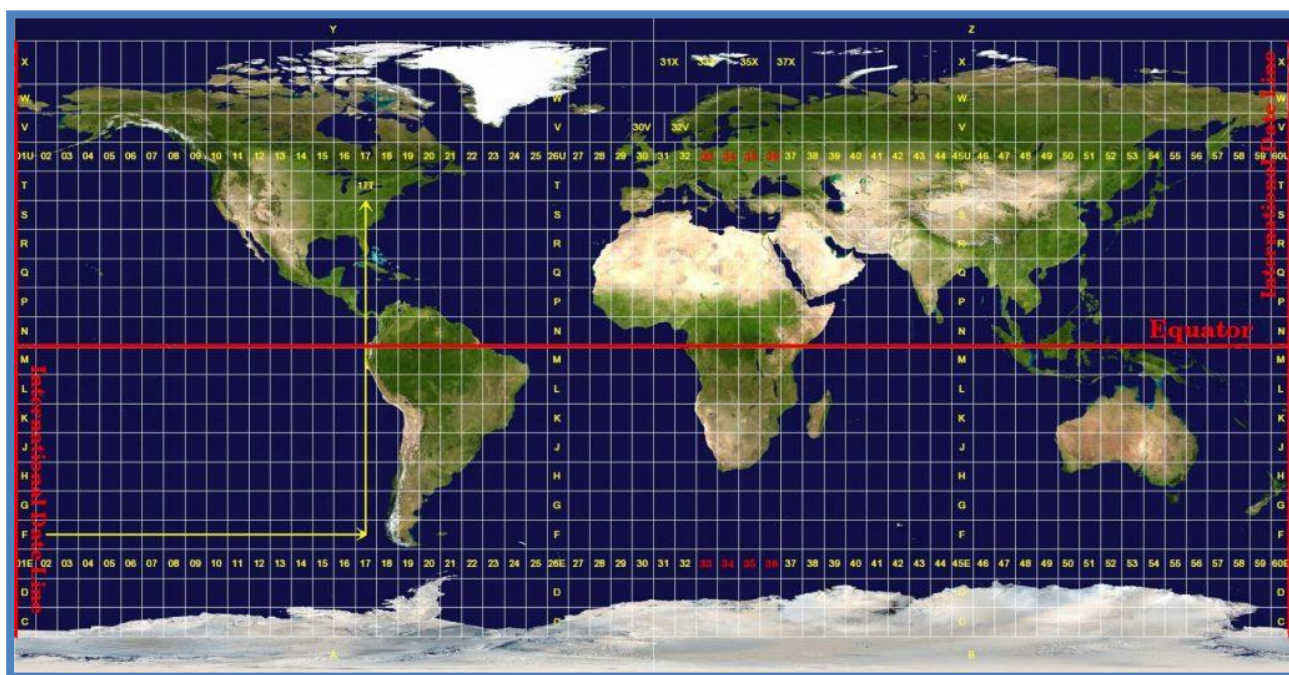


Figura 9. Latitudine e longitudine

Tutti i dati satellitari acquisiti dai sistemi DGPS-RTK nel Datum WGS84 prima di essere trasformati in coordinate piane, sono stati traslati automaticamente dal software di navigazione sul datum locale. Per questo progetto il datum locale utilizzato è lo stesso utilizzato in ingresso dai sistemi GPS.

Per trasformare le coordinate geografiche (latitudine e longitudine), riferite all'ellissoide WGS84 in coordinate piane (nord ed est), riferite al sistema UTM Fuso 33 emisfero nord basato sulla Trasformazione di Mercatore, sono stati utilizzati i parametri indicati all'interno della tabella riportata di seguito.

PARAMETRI DI PROIEZIONE	
Proiezione	Universal Trasverse Mercator Zona 32 Emisfero Nord
Meridiano Centrale (CM)	015°00'00.00"E
Latitudine di Origine	000°00'00.00"N
Zona	33 Nord (15 Est)
Emisfero	Nord
Falso Est	500000.00
Falso Nord	0
Fattore di scala (Dal CM)	0.99960
Unità	Metri

Tabella 7. Parametri di proiezione

Per completezza e per evitare qualsiasi tipo di incomprensione, gli stessi parametri sono stati indicati anche all'interno della legenda presente in tutta la cartografia prodotta e gli allegati consegnati.

Durante le fasi di mobilitazione e settaggio dei sistemi, tutti i parametri geodetici indicati sono stati debitamente inseriti all'interno del software di navigazione dall'operatore (navigatore/Idrografo) responsabile dell'acquisizione dei dati.

Prima dell'inizio delle operazioni di acquisizione per verificare la coerenza dei parametri ed il corretto funzionamento del software di Navigazione l'operatore ha provveduto ad effettuare un test di verifica di conversione delle coordinate, che prevede appunto la conversione di una coppia di coordinate note.

Per l'esecuzione del test sono state utilizzate le coordinate del caposaldo di riferimento SAPC0700 ARPAE ubicato in prossimità del Porto di Ravenna in località Marina di Ravenna. Grazie a questa procedura è stato

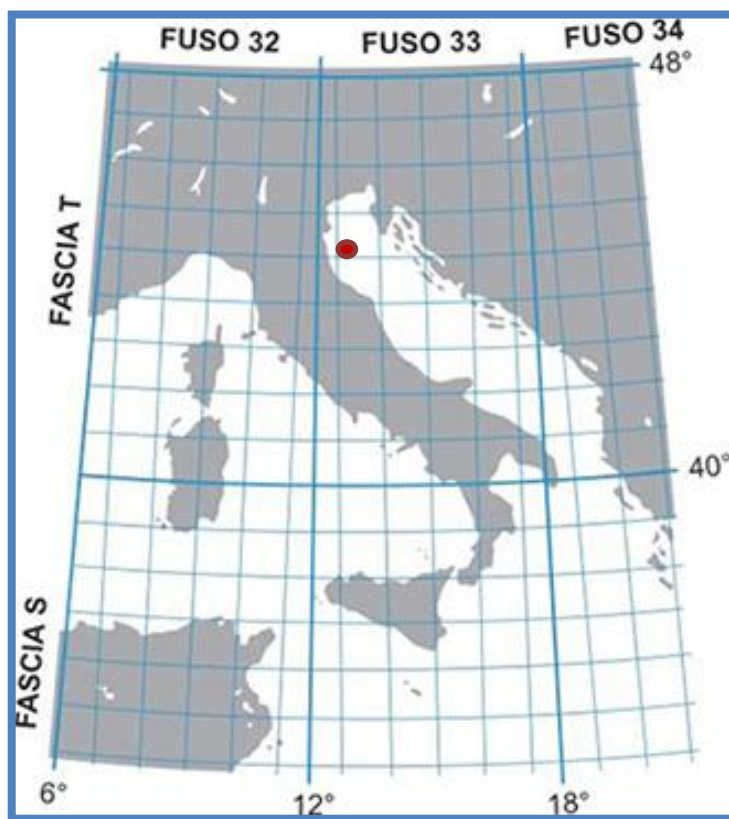


Figura 10. Schema fusi UTM in Italia

possibile verificare la corretta applicazione dei parametri geodetici all'interno del software di navigazione Teledyne PDS.

6.5 PARAMETRI CONVENZIONALI PER "OFFSET & MOTION SENSOR"

Tutta la strumentazione gli hardware, i veicoli ed i software utilizzati sia in fase di acquisizione che in fase di post processing dei dati, sono stati configurati al fine di acquisire e processare le misurazioni secondo i parametri convenzionali adottati dall'IHO e dall'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana per la Standardizzazione dei Rilievi Idrografici in Mare ed applicabili agli offset ed ai sensori di movimento ed heading.

Analogamente tutti i documenti e le mappe che sono state prodotte durante le operazioni ed a seguito del processing / reporting / cartografia dei dati acquisiti per questo lavoro, fanno riferimento ai parametri sopra indicati.

Per meglio comprendere i parametri utilizzati, nella figura qui riportata sono raffigurate le convenzioni di "Offset & Motion Sensor" utilizzate per l'esecuzione di tutti i rilievi oggetto di questo servizio.

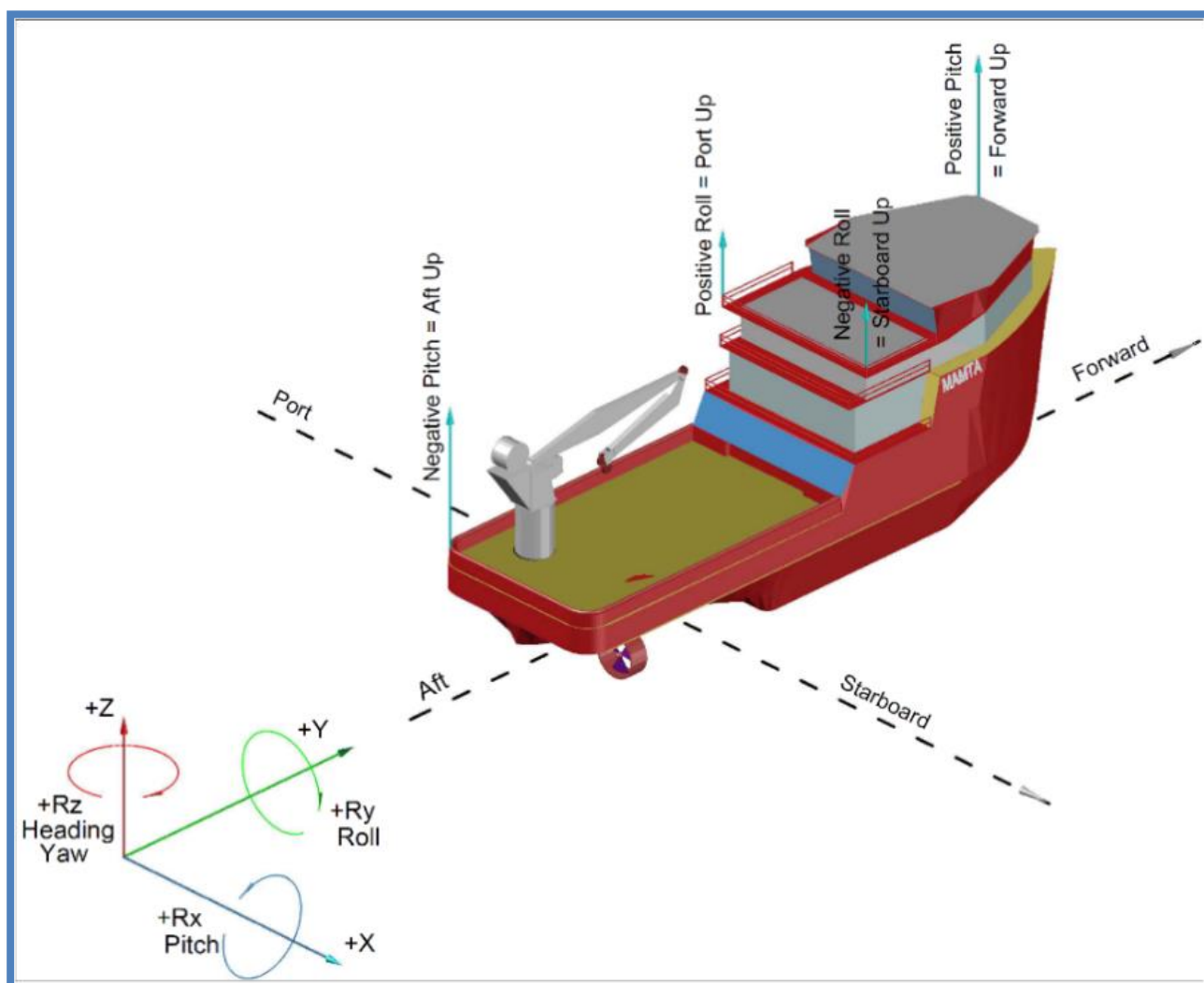


Figura 11. Convenzioni per offset e movimenti

6.6 UNITÀ DI MISURA ADOTTATE

Le unità di misura di lavoro utilizzate per l'esecuzione del presente progetto sono quelle indicate dal Sistema Internazionale (SI) ed adottate dall'IHO. Analogamente tutti i documenti e le mappe che sono state prodotte durante le operazioni ed a seguito del processing / reporting / cartografia dei dati acquisiti per questo lavoro, fanno riferimento ai parametri sopra indicati.

Nella tabella di seguito riportata sono elencate ed indicate tutte le unità di misura, la loro applicazione ed anche il loro formato:

UNITA' DI MISURA DEL PROGETTO			
MISURA	UNITA DI MISURA	FORMATO	NOTE
Data		GG/MM/AAAA	
Ora		00:00:00	
Distanze	Metri (m)	±0000.00	
Angoli Orizzontali	Gradi Sessagesimali °	000.00	Valori Positivi: Nord = 0° Positivi in senso orario
Angoli Verticali	Gradi Sessagesimali °	±00.00	Valori Positivi: Sopra / Destra Valori Negativi Sotto / Sinistra
Velocità	Nodi	00.00	
Velocità della corrente	Nodi	00.00	
Velocità del Vento	Nodi	00.00	
Altezze	Metri (m)	00.000	Positive
Profondità	Metri (m)	-00.000	Negative
	Piedi (ft)	-00.000	Negative
Latitudine	Gradi Sessagesimali °	ggmmss.sss	
Longitudine	Gradi Sessagesimali °	ggmmss.sss	
Superficie	Metri Quadrati / Ettari	m ² / ha	Nel caso di superfici molto estese per comodità viene utilizzato l'ettaro.
Campo Magnetico	Nano Tesla	nT	

Tabella 8. Unità di misura del progetto

7.0 RISORSE IMPIEGATE

7.1 LISTA DEL PERSONALE

Per la corretta esecuzione di tutti i servizi oggetto dell'incarico, Subsea Fenix Srl ha messo a disposizione tutto il personale tecnico necessario. Tutte le figure impiegate nelle operazioni di prelievo e campionamento sul campo e successivamente nell'elaborazione in sede sono specialisti qualificati, debitamente formati e di comprovata esperienza ed in possesso delle certificazioni/corsi/brevetti necessari all'esecuzione delle attività secondo le norme di legge vigenti.

Le attività di campo necessarie alle attività di prelievo dei sedimenti, sono state svolte dai tecnici della ditta esecutrice sulle dodici ore (12h) diurne giornaliere, mentre le attività in ufficio/laboratorio necessarie alle analisi ed all'elaborazione sono state eseguite sulle otto ore (8h) diurne giornaliere, corrispondenti al normale orario di ufficio. All'interno della tabella qui sotto riportata vengono indicate tutte le figure impiegate sia in cantiere che in ufficio per l'esecuzione dell'intero progetto, nonché i loro nomi e le relative attività svolte.

LISTA DEL PERSONALE				
PROJECT MANAGMENT				
	DESCRIZIONE	ATTIVITÀ	NOME	N°
1.	Project Manager	Pianifica, coordina e supporta le attività di campo sia dal punto di vista operativo che amministrativo, al fine di garantire la sicurezza sul cantiere e la corretta esecuzione delle attività.	Stefano Mancini	1
2.	Amministrazione & Logistica	Supporta sia le attività manageriali che le attività di campo sia dal punto di vista logistico che da quello amministrativo;	Clara Schembri	1
3.	QHSE	Durante le fasi di preparazione del progetto coadiuva le attività di pianificazione e prepara la documentazione di cantiere necessaria; Durante le fasi operative oltre ad essere responsabile della sia delle Qualità che della Sicurezza del cantiere, supporta il PM ed il capocantiere nella gestione dei processi "produttivi".	Bruna Galeandro	1

Tabella 9. Lista del personale project management

ACQUISIZIONE DATI				
	DESCRIZIONE	ATTIVITÀ	NOME	N°
4.	Capo Cantiere	Coordina le attività di campo dal cantiere al fine di garantire la sicurezza sul lavoro e la corretta esecuzione delle attività; segue i rapporti con il cliente;	Stefano Mancini	1
5.	Navigatore Surveyor / Tecnico Benna	Installa ed esegue il setting della strumentazione per il posizionamento superficiale. Durante le fasi di acquisizione verifica il corretto funzionamento di tutti i sistemi di posizionamento. Gestisce i sistemi di navigazione e posizionamento e controlla la registrazione di tutti i dati in ingresso. Durante le fasi operative effettua anche un controllo di qualità dei dati acquisiti e assicura che la carta venga eseguita in prossimità della posizione stabilita;	Stefano Mancini	1
6.	Tecnici campionatori	Una volta estratta ed aperta la carota/bennata procedono con la compilazione della scheda di campo. Eseguono i primi test e le prime misurazioni sul sedimento prelevato. Eseguono il campionamento e lo stoccaggio del campione acquisito.	Elia Zanni Nicola Pacchioli	2
7.	Comandante mezzi navali	Addetto al Comando ed alla gestione dell'imbarcazione utilizzata come supporto alle attività di acquisizione. È responsabile della sicurezza a bordo ed ha l'ultima parola sulle condizioni meteomarine.	N/A	1
LABORATORIO				
	DESCRIZIONE	ATTIVITÀ	NOME	N°
8.	Coordinatore generale	Coordina tutte le attività di laboratorio partendo dalle fasi di cantiere fino all'emissione dei risultati analitici ottenuti;	Marco Parma	1
9.	Responsabile di laboratorio	Responsabile tecnico della parte di laboratorio che si occupa delle analisi chimiche;	Felice Nicola Rossi	1
10.	Responsabile di laboratorio	Responsabile tecnico della parte di laboratorio che si occupa delle analisi ecotossicologiche e microbiologiche;	Cristiana Montanari	1

Tabella 10. Lista del personale incaricato all'acquisizione dati, processing e laboratorio

7.2 LISTA DELLA STRUMENTAZIONE

All'interno di questo paragrafo viene elencata tutta la strumentazione ed i software messi a disposizione ed utilizzati per l'esecuzione dello scopo del lavoro richiesto da Techfem ed oggetto di questo incarico.

Al fine di garantire un elevato standard dei dati acquisiti, per l'esecuzione della campagna è stato impiegato un set di strumentazione all'avanguardia, propriamente manutenzionata, e testata.

Come previsto dalle procedure interne della Subsea Fenix, dalle direttive IHO e dalle procedure interne dell'azienda, nella fase immediatamente precedente alla mobilitazione di tutte le risorse, presso la nostra sede è stato testato e verificato in laboratorio il corretto funzionamento delle apparecchiature necessarie alla realizzazione del servizio, al fine di minimizzare la possibilità di errori sistematici durante le fasi di acquisizione.

Tale procedura è stata messa in atto anche al fine di garantire una maggiore sicurezza sul lavoro ed evitare ritardi causati da malfunzionamenti.

L'attrezzatura e gli apparati elettronici necessari all'esecuzione del servizio sono stati forniti per quanto possibile con un adeguato set di pezzi di ricambio e unità "spare" (unità completa di riserva) al fine di garantire lo svolgimento delle attività con soluzione di continuità anche in caso di guasto o mal funzionamento di parti dell'intero sistema.

Nella tabella che segue viene elencata tutta la principale strumentazione che Subsea Fenix ha utilizzato per l'esecuzione del lavoro.

STRUMENTAZIONE ON-LINE				
Art.	Descrizione	Tipo / Modello	Quantità	
			Op	Spr.
CAMPAGNA DI VIBROCAROTAGGI				
1.	Laptop + Monitor	HP Pro Book 2	1x	1x
2.	Software di Navigazione e Acquisizione Dati	Communication technology Navpro 6.23	1x	
3.	Sistema INS di Posizionamento superficiale DGPS-RTK – GYRO	Sistema integrato Applanix WaveMaster II	1x	
		IMU Kevlar Cable 15m	1x	
		IMU Kevlar Cable 30m	1x	
		GPS ANTENNA Cable 15m	2x	2x
4.	Segnale Correzione Differenziale	Correzione VBS+HP	1x	
5.	Sistema di prelievo campioni superficiali	Subsea Fenix Benna di Van Veen 25 litri	1x	
6.	Kit materiale per campionamento	N/A	1x	
ACCESSORI				
7.	UPS	N/A	1x	1x
8.	Generatore di corrente	Generatore Inverter Honda 2.3 kw	1x	1x
9.	Cassette degli attrezzi;	N/A	1x	
10.	Kit Materiale elettronico	N/A	1x	
11.	Kit Materiale elettrico	N/A	1x	

STRUMENTAZIONE ON-LINE				
Art.	Descrizione	Tipo / Modello	Quantità	
			Op	Spr.
12.	Kit consumabili	N/A	1x	
13.	Frigorifero & Congelatore		1x	
14.	Furgone	Mercedes Sprinter	1x	
SICUREZZA				
15.	Kit Pronto soccorso	N/A	1x	
16.	Giubbotti di salvataggio autogonfiabili	N/A	2x	2x
MEZZIDI SUPPORTO				
17.	Imbarcazione di supporto per le attività	Motobarca Maestrale Primo	1x	

Tabella 11. Lista della strumentazione e software impiegati off-line

Al fine di poter ulteriormente approfondire le tecnologie impiegate per l'esecuzione del servizio offerto e le modalità di esecuzione delle operazioni, all'interno del capitolo seguente vengono descritte in maniera dettagliata le caratteristiche tecniche dei principali sistemi impiegati per l'esecuzione del servizio in oggetto, sono state inoltre inserite le schede tecniche della strumentazione sopra elencata.

8.0 DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

8.1 SISTEMA DI POSIZIONAMENTO E NAVIGAZIONE

Il sistema di navigazione consente di visualizzare a monitor e memorizzare la posizione del mezzo navale ed i dati di altri strumenti a lui interfacciati.

Il sistema di posizionamento e navigazione utilizzato era composto dai seguenti componenti principali:

- Computer di acquisizione dati;
- Software di navigazione & acquisizione Teledyne PDS
- Sistema INS Applanix Wave Master II (sistema di posizionamento secondario);
- Sistema INS Applanix Wave Master II GYRO & MRU;

L'acquisizione, gestione e la memorizzazione dei dati di posizione e navigazione e di tutti gli apparati utilizzati è stata eseguita con un sistema di acquisizione/gestione/visualizzazione dei dati di navigazione costituito da una workstation equipaggiata con un software apposito. Per l'esecuzione di questa campagna è stato utilizzato il software Teledyne Reson PDS. Questo software è stato progettato e realizzato per supportare le attività di idrografia oltre che di navigazione professionale (Pipelay & Construction).

Mediante questo software è stato possibile interfacciare tutti i sistemi di posizionamento. Grazie alla sincronizzazione del "Timing" (PPS + Stringa ZDA) generato dai sistemi di posizionamento ed interfacciato con ogni singolo sistema utilizzato è stato possibile in Real Time associare ad ogni coppia di coordinate Est/Nord la direzione dell'imbarcazione ed i suoi movimenti, così da poter calcolare correttamente la reale posizione dei trasduttori in acqua.

Sempre all'interno del software di navigazione all'inizio della campagna sono stati inseriti tutti i dati di progetto come ad esempio i datum geografici, il piano di navigazione e la cartografia di base, le coordinate delle stazioni di campionamento, assieme ad altre informazioni necessarie alla corretta esecuzione delle attività.

Sui monitor della workstation durante le fasi di acquisizione, il software di navigazione ha fornito al navigatore e contemporaneamente al comandante del mezzo navale, tutte le informazioni e le indicazioni necessarie alla corretta esecuzione della campagna.

Tutti questi file uniti alle informazioni di progetto (datum verticale – datum orizzontale – datum temporale – piano di navigazione teorico - offset ecc.) sono stati memorizzati all'interno di un unico database di informazioni contenuto all'interno del file (metadata) di crociera che il software ha creato all'inizio dell'acquisizione e chiuso al termine delle attività di processing.

Tale configurazione strumentale ha consentito di ottimizzare tutte le operazioni di gestione delle imbarcazioni utilizzate, di prelievo dei sedimenti e di ottenere allo stesso tempo un set di dati di elevata affidabilità, utilizzati poi per le successive elaborazioni e restituzioni cartografiche.

8.2 SISTEMA DI POSIZIONAMENTO PRIMARIO

Il sistema di posizionamento satellitare che è stato installato ed utilizzato a bordo dell'imbarcazione Jenna è un ricevitore Applanix "POS MV WaveMaster II" doppia antenna inerziale con correzione RTK (Base Rover & NTRIP) e segnale PPS integrato.

Il sistema di navigazione consente di visualizzare a monitor e memorizzare la posizione del mezzo navale ed i dati di altri strumenti a lui eventualmente interfacciati.

Il sistema di posizionamento e navigazione è composto dai seguenti componenti principali:

- Computer di acquisizione dati;
- Software di navigazione PDS2000;
- Ricevitore Primario & Secondario GPS-DGPS-RTK;
- Sistema Inerziale integrato;



Figura 12. Schermata di acquisizione del software di navigazione

Le due unità di ricezione GPS in grado di ricevere segnali di correzione DGPS e/o RTK vengono installate in un punto a cielo aperto sopra il natante/nave utilizzato, mentre l'unità di controllo viene installata all'interno dell'imbarcazione. Entrambe i segnali ricevuti dalle due antenne GPS possono essere integrati sia con tutti i tipi di correzione differenziale (L1 – L2 – HP – G2 – G2+) oppure mediante correzione RTK. Con questa configurazione il demodulatore del POS MV II dopo aver in tempo reale elaborato le posizioni ricevute dalle due antenne è in grado di generare una posizione con un errore pari a ± 0.10 m (nel caso di utilizzo della correzione DGPS) o ± 0.01 m (nel caso di utilizzo della correzione RTK).

La posizione così calcolata, viene inviata al software di Navigazione secondo protocolli standard Ethernet o NMEA su seriali 232 con un aggiornamento del dato pari a 200Hz. La WS dedicata alla navigazione sulla quale viene fatto girare il software PDS viene mediante questi protocolli collegata al demodulatore del sistema Applanix. In questo modo PDS è in grado di ricevere, interpretare ed elaborare le stringhe ricevute dal DGPS. Una volta interfacciato il sistema GPS al software di navigazione sopra descritto, quest'ultimo utilizza le informazioni ricevute per georeferenziare in tempo reale l'imbarcazione utilizzata sia essa un natante che un veicolo autonomo.

Sempre utilizzando un protocollo standard il sistema è anche in grado di generare e inviare il segnale PPS (Pulse Per Second). Questo viene utilizzato dal software di navigazione per effettuare la sincronizzazione temporale di tutti i dati rilevati da ogni singolo strumento (MBES-MRU-GPS-SBP-USBL) al fine di aumentarne ulteriormente l'accuratezza del dato finale ottenuto.

In questo sistema le antenne GPS sono interfacciate con un demodulatore ad un sistema inerziale, mediante tale tecnologia il sistema Applanix nel caso di perdita, assenza o degrado del segnale GPS, è comunque in grado di determinare con esattezza la posizione (Latitudine e Longitudine) esatta del veicolo sul quale è installato. Grazie a questa soluzione il sistema fornisce un'ottima accuratezza delle posizioni calcolate ed affidabilità del segnale anche in aree dove altrimenti questo potrebbe risultare disturbato o completamente oscurato (Es. in prossimità di banchine o imbarcazioni di grandi dimensioni, canali, dighe o attraversamento di ponti).

Oltre a quanto già descritto, a prescindere dalla modalità di utilizzo che sia stata adottata (GPS-DGPS-RTK) il sistema Applanix è in grado di registrare in autonomia tutti i dati satellitari grezzi. In questo modo oltre alla correzione ricevuta in tempo reale, i dati di posizionamento potranno essere riprocessati a posteriore (modalità PPK) al fine di migliorare ulteriormente l'accuratezza del dato finale e garantire così maggiore robustezza al rilievo.

In relazione allo scopo del lavoro ed alle richieste del cliente, come già accennato in Real Time sul sistema GPS possono essere attivati diversi servizio di correzione quali:

- | | | |
|---|---|---|
| ☒ DGPS di tipo L1 | ☒ DGPS di tipo L3 | ☐ DGPS di tipo G2 |
| ☒ DGPS di tipo L2 | ☒ DGPS di tipo HP | ☐ DGPS di tipo G2+ |
| ☐ RTK Base Rover | ☐ RTK da rete NTRIP | ☐ RTK da Rinex (PPK) |

In verde è stato indicato il tipo di segnale attivato ed utilizzato per la correzione dei dati di posizione per l'esecuzione di questo progetto. In Real Time con il segnale DGPS di tipo G2 ed in post processing mediante correzione PPK.

8.3 SISTEMA MOTION REFERENCE UNIT

Come già anticipato nei paragrafi precedenti a bordo dell'imbarcazione è stato installato un sistema inerziale INS integrato Applanix POS MV WAVEMASTER II. Questo sistema nonostante le sue elevate prestazioni ed alle spiccate caratteristiche tecniche risulta facilmente e velocemente installabile a bordo.

Interfacciabile con le WS di navigazioni mediante protocolli standard NMEA che comunicano mediante seriali fisiche di tipo 232 e/o Ethernet, è progettato specificatamente per operazioni di acquisizione in condizioni estreme. Grazie alla tecnologia di cui è dotato il sistema, WaveMaster II è in grado di determinare sia l'orientamento (girobussola) che i movimenti (Roll/Pitch/Heave) dell'imbarcazione sulla quale è installato.

Il sistema viene interfacciato con il demodulatore DGPS e nel caso di perdita o assenza del segnale GPS, mediante la tecnologia inerziale di cui dispone è comunque in grado di determinare con estrema precisione la posizione esatta della barca (latitudine, longitudine, velocità, elevazione) oltre che i suoi movimenti.

Le caratteristiche di fabbricazione permettono al sistema di garantire elevate prestazioni e anche di operare in ambienti estremi (temperature estreme, assenza di cielo aperto, forti accelerazioni ecc.). Il layout e l'architettura scelti per l'intero sistema di acquisizione ha previsto due modalità di installazione distinte del sensore di moto.

Una volta accuratamente installato a bordo il sistema è collegato al sistema DGPS dal quale riceverà oltre che la posizione (Lat. / Long.) anche il segnale PPS, in modo da poter sincronizzare alla perfezione i dati agli altri sistemi installati a bordo. Una volta che il sistema è interfacciato al software di navigazione, questo oltre che elaborare i dati ricevuti e registrarli è anche in grado di visualizzare in tempo reale tridimensionalmente a monitor l'esatto orientamento dell'imbarcazione e tutti i suoi movimenti.

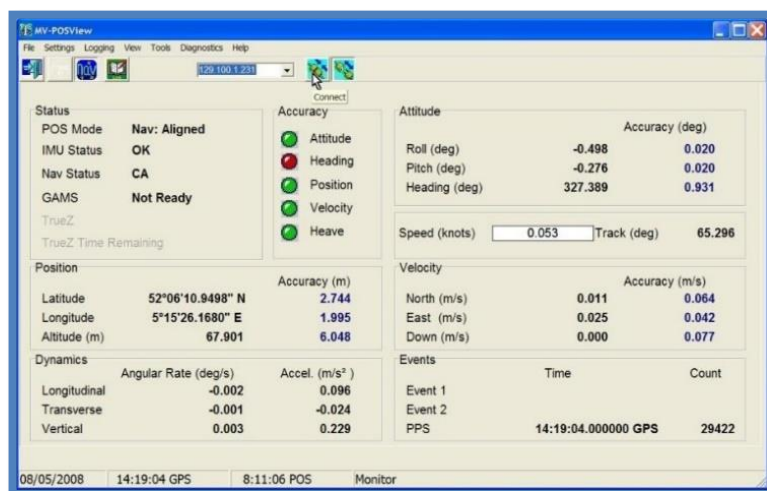


Figura 13. Software MV POSView

8.4 BENNA VAN VEEN

Per l'esecuzione della campagna di prelievo dei sedimenti superficiali, è stata messa a disposizione una benna di tipo Van Veen (versione da 25 Litri). Questa è formata da due valve contrapposte, incernierate centralmente, che vengono calate sul fondo in posizione di apertura. Successivamente, con la trazione del cavo portante si compie la chiusura delle "valve" che raccolgono e racchiudono il materiale. Terminata la fase di chiusura la benna viene recuperata in superficie e successivamente a bordo.



Figura 14. Benna in fase di lancio

CARATTERISTICHE TECNICHE BENNA VAN VEEN VERSIONE 25 Litri	
Materiale	Acciaio INOX 304
Dimensioni delle valve	540mm x 250mm (Altezza 270mm)
Accessori	Due pesi removibili di 2 Kg cadauno in ferro.
	Due sportelli d'ispezione
Peso in aria	34 Kg Minimo / 38 Kg Massimo (con tutte le masse applicate)

Tabella 12. Specifiche tecniche Van Veen

8.5 MOTOBARCA MAESTRALE PRIMO

L'imbarcazione utilizzata per questo progetto è il "Maestrale Primo", una Motobarca di proprietà della Subsea Fenix Srl ed armata dalla società di armatoria Fenix. Il Maestrale è iscritto al registro Mercantile Navi Minori di Ravenna come Moto Barca, ed ha ottenuto la licenza per eseguire lavori ed attività di Idrografia, Ispezioni ROV e Monitoraggio ambientale. La M/B che ha come porto base quello di Ravenna.

La motobarca è una pilotina costruita su scafo Nelson originale, completamente in vetroresina lunga 12,50m e larga 2,50m dotata di due motori entroborso da 520 CV l'uno. La motobarca è stata armata con un equipaggio dotato di esperienza e debitamente formato per questo tipo di attività al fine di poter contribuire in maniera attiva e sicura allo svolgimento delle attività geofisiche oggetto dell'incarico.



Figura 15 Motobarca Maestrale Primo

Il Maestrale è dotato di tutte le dotazioni di sicurezza necessarie per la navigazione entro le 6 miglia nautiche al fine di poter eseguire in maniera sicura e comoda i servizi oggetto dell'incarico. Grazie al profilo del suo scafo ha una notevole versatilità, eccellente manovrabilità a basse velocità anche in condizioni di bassa profondità dell'acqua. Grazie alle sue caratteristiche ed accessori, il Maestrale Primo può essere utilizzato per molti scopi (Geofisica – Idrografia - Ispezioni ROV – Indagini UXO - Operazioni con Sommozzatori – attività di campionamento ambientale – Avvistamento cetacei etc).

Le dimensioni e le caratteristiche costruttive della M/B ha permesso di allestire in maniera sicura e secondo i criteri richiesti dall'IHO e dal disciplinare tecnico per la standardizzazione dei rilievi idrografici, tutte le attrezzature necessarie, e di accogliere comodamente a bordo oltre all'equipaggio anche il personale tecnico impiegato, oltre ad avere la possibilità di poter imbarcare anche personale esterno (visitatori – cliente – rappresentante del cliente etc.).



Figura 16: Motobarca Maestrale Primo

9.0 RISULTATI AREA DEPOSITO TEMPORANEO

9.1 COORDINATE STAZIONI DI PRELIEVO CAMPIONI

Qui di seguito è riportata la tabella che indica nome, posizione, lunghezza della carota e tipologia di analisi a cui sottoporre i sedimenti.

ELENCO STAZIONI DI INDAGINE					
N° Campione	NOME STAZIONE	Longitudine	Latitudine	ALIQUOTA	PROCEDURA / SET
1	C0-N_DT	12 20 39.84	44 27 33.67	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
2	C0-S_DT	12 21 16.40	44 26 36.25	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
3	C3_DT	12 20 47.02	44 26 58.36	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
4	C4_DT	12 20 54.90	44 26 59.19	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016
5	C5_DT	12 21 20.83	44 27 00.09	0.00m – 0.50m	D.M. 173/2016

Tabella 13. Elenco delle stazioni di campionamento nuova area deposito temporaneo

9.2 MATERIALI E METODI

9.2.1 Variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua (misure CTD)

Le misure delle variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua sono state effettuate in situ per mezzo di una sonda multiparametrica (CTD) SBE 19 plus (Sea-Bird Electronics, Inc.). Munita dei sensori CTD standard (i.e., conducibilità, temperatura e pressione) la sonda è stata inoltre equipaggiata con sensori ausiliari di pH, ossigeno disciolto (DO), fluorescenza e torbidità.

Lo strumento è configurato con una pompa a flusso controllato che riduce la possibilità di insorgenza di picchi anomali di salinità e di DO. Tutti i sensori sono stati calibrati prima dell'utilizzo secondo procedure standard internazionali (UNESCO, 1988, 1993).

Le misure sono state eseguite secondo modalità standardizzate nazionali ICRAM (Cicero e Di Girolamo ,2001a). In particolare, come suggerito da ICRAM, la sonda è stata calata lungo la colonna d'acqua ad una velocità ridotta. Al fine di massimizzare la precisione delle misure, prima di ogni calata la sonda è stata mantenuta in superficie per il tempo necessario ad acclimatare i sensori. Tutte le misure sono state effettuate in continuo da circa 0.75 m sotto la superficie fino alla minor distanza possibile dal fondo, tale da mantenere lo strumento in condizioni di sicurezza evitando l'impatto con il substrato.

I dati acquisiti mediante sonda multiparametrica (CTD) sono permasti archiviati nella memoria interna fino al successivo download in laboratorio. Una volta scaricati, i dati sono stati processati per mezzo della suite di software Seasoft (Sea-Bird Scientific), secondo procedure standard internazionali (e.g., Fofonoff and Millard, 1983). Il processamento ha incluso opportune procedure di filtrazione dei dati (anche al fine di eliminare eventuali spike o altri eventi anomali), la loro mediazione per incrementi di profondità di 0.5 m ed il calcolo di variabili derivate (i.e., profondità e salinità), producendo output in formato ASCII.

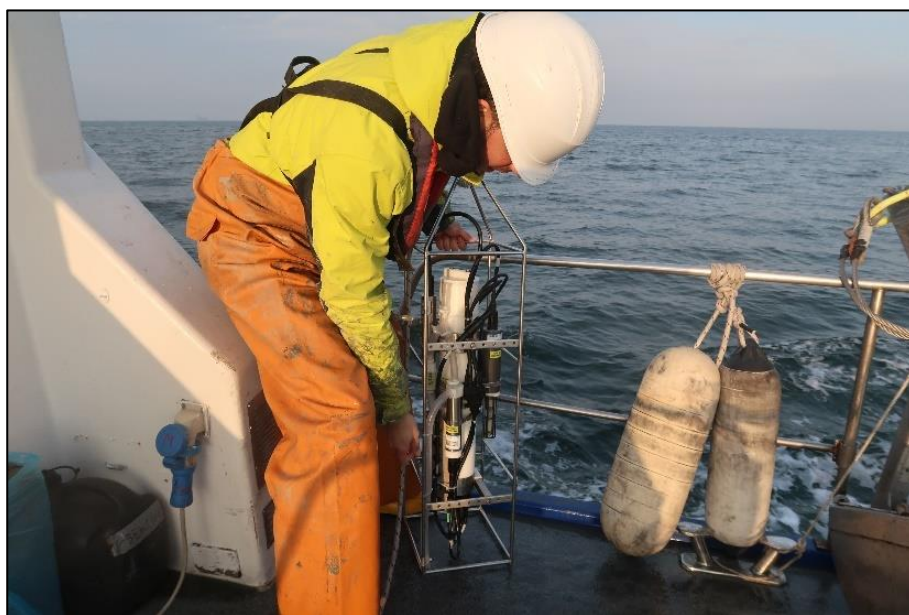


Figura 17: Utilizzo della sonda CTD durante i campionamenti a mare

9.2.2 Prelievo di campioni di sedimento

Il campionamento dei sedimenti marini è stato svolto utilizzando una benna Van Veen, in accordo con le procedure standard indicate da ICRAM (Cicero e Di Girolamo, 2001c). Presso ciascuna stazione si è proceduto al prelievo dei sedimenti mediante benna di volume di 25 L e superficie di presa 0.1 m².

Al fine di evitare contaminazioni incrociate, la benna è stata sempre sciacquata con acqua di mare immergendola ripetutamente in superficie prima del campionamento. La benna è stata calata fino al fondo e recuperata delicatamente in modo da permettere un corretto prelievo del sedimento.

Dopo il recupero a bordo, il contenuto della benna è stato ispezionato tramite appositi sportelli superiori, così da verificare l'accettabilità del campione, in accordo con le linee guida US-EPA (U.S. EPA, 2001).

I sedimenti prelevati con la prima bennata sono stati utilizzati per la descrizione macroscopica dei sedimenti, per le misure chimico-fisiche e per il prelievo di aliquote da destinare alle successive analisi di laboratorio sedimentologiche, chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche. Il contenuto delle tre successive bennate è stato dedicato alle determinazioni qualitative e quantitative del macro-zoobenthos.



Figura 18. Benna di Van-Veen

9.2.3 Caratterizzazione delle comunità macrozoobentoniche

I sedimenti prelevati mediante la seconda, terza e quarta calata della benna sono stati dedicati allo studio qualitativo e quantitativo del macro-zoobenthos, secondo la procedura descritta da ICRAM (Cicero e Di Girolamo, 2001d). Dopo ciascuna di queste tre operazioni, il contenuto della benna è stato setacciato mediante setacci in acciaio inox con maglia di 0.5 mm utilizzando un flusso d'acqua di mare a bassa intensità, per evitare danni agli organismi.

Al termine dell'operazione di setacciatura, il residuo è stato trasferito in contenitori in HDPE e fissato con soluzione di fissativo "Accustain Formalin Free Fixative" (10% di concentrazione finale). I campioni sono stati conservati a temperatura ambiente fino alle determinazioni di laboratorio.



Figura 19. Setacciatura dei sedimenti per la determinazione del macrozoobenthos

I contenitori per le indagini del macrobenthos sono stati adeguatamente etichettati al fine di rendere perfettamente riconoscibili il singolo campione e la singola replica riportando, in etichetta, le seguenti informazioni:

- **Campagna** – nome del progetto / località;
- **ID Stazione** – codice identificativo della stazione di campionamento;
- **Data** – data di campionamento;
- **Matrice** – sedimento;
- **Analisi** – Macrozoobenthos – RX (dove RX è il numero di replica: R1, R2 o R3).

9.2.4 Elaborazione dati biologici e calcolo indici di biodiversità

Su tutti i campioni di macrobenthos analizzati sono stati determinati: i) numero di individui totali e per specie, ii) numero di specie, iii) indice di diversità specifica (Shannon e Weaver, 1949), iv) indice di dominanza (Simpson, 1949), v) indice di ricchezza specifica (Margalef, 1958), vi) indice di equitabilità (i.e. evenness, Piélou 1966). Sono stati inoltre calcolati gli indici biotici AMBI e M-AMBI (Borja et al., 2000; Muxika et al., 2007).

9.2.5 Catena di custodia

Una specifica Catena di Custodia (CoC) è stata predisposta e associata ai campioni a partire dal momento del campionamento fino alla loro consegna al laboratorio incaricato sia per le analisi fisico-chimiche-ecotossicologiche e sia delle analisi del macrozoobenthos, in modo tale da garantire il mantenimento delle corrette modalità di conservazione durante le fasi di trasporto e monitorarne gli spostamenti.

La CoC è stata trasportata insieme ai campioni e consegnata al laboratorio di riferimento permettendo così di controllare la presenza ed il corretto stato dei campioni prima della loro accettazione.

9.3 RISULTATI

9.3.1 RILIEVO BATIMETRICO DELL'AREA DI DEPOSITO TEMPORANEO

Il rilievo batimetrico e la successiva generazione del DTM a maglia 0.25 m x 0.25 m hanno permesso di ricostruire in maniera dettagliata l'andamento della profondità nell'area oggetto di indagine e che sarà utilizzata come sito di deposito temporaneo dei sedimenti derivanti dall'escavo di un microtunnel.

Partendo dall'estremità verso terra le isobate variano in modo regolare e procedendo verso ovest.

Il fondo marino nell'area indagata si presenta omogeneo e sub pianeggiante, le profondità variano da batimetrica -9.7 m a -10.1 m.

Dall'analisi del DTM non si evidenziano forme e geometrie del fondale riconducibili a fenomeni erosivi o di trasporto dei sedimenti.

Qui di seguito sono riportate alcune immagini del DTM elaborato.

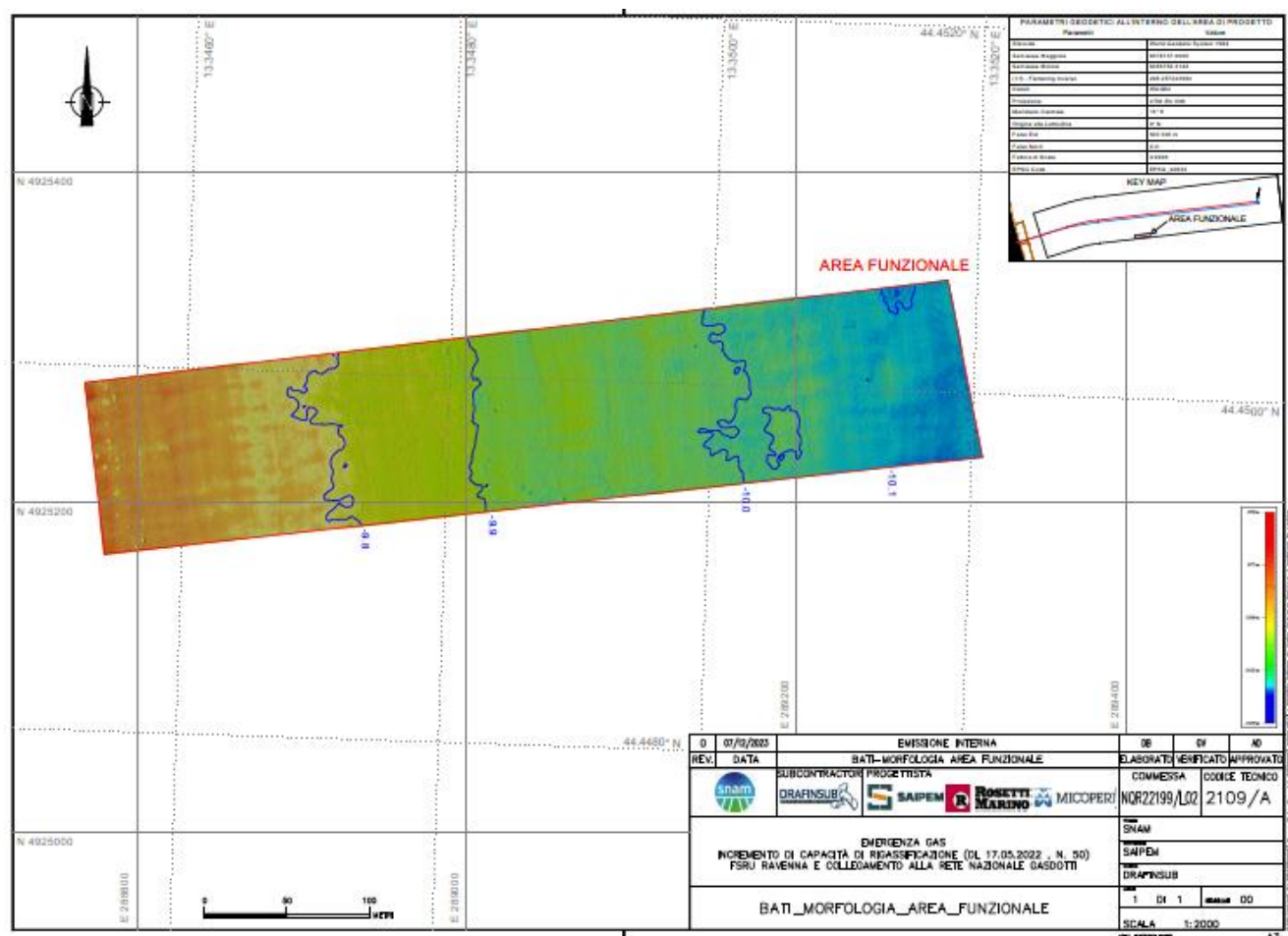


Figura 20. DTM dell'area di deposito temporaneo

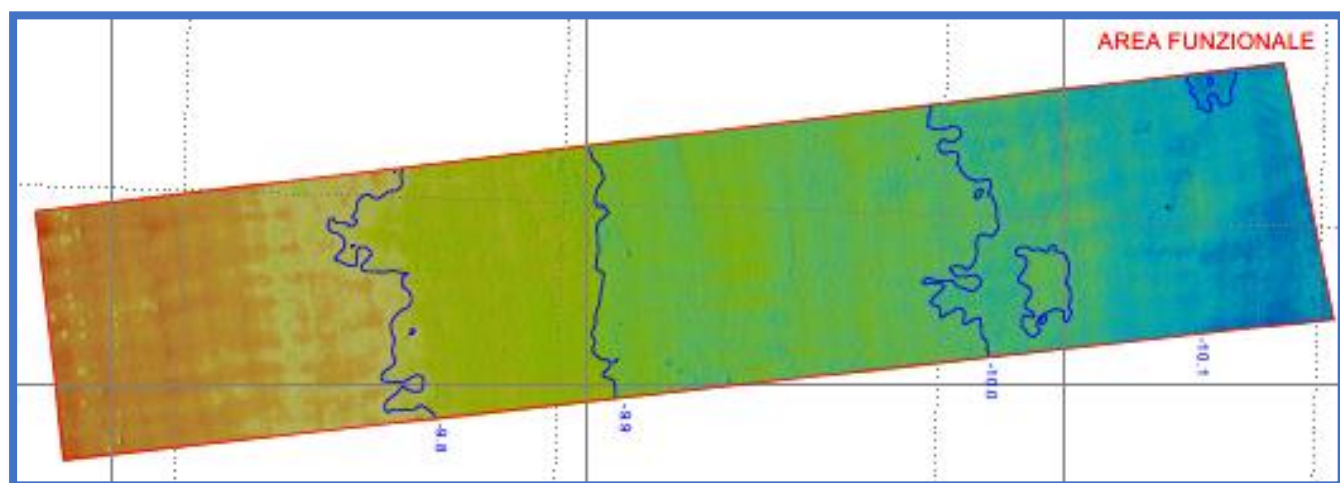


Figura 21. DTM dell'area di deposito temporaneo

9.3.2 RILIEVO SIDE SCAN SCANNER DELL'AREA DI DEPOSITO TEMPORANEO

Sull'area di indagine, e che sarà utilizzata da deposito temporaneo dei sedimenti derivanti dall'escavo di un microtunnel, è stata oggetto di un rilievo dei dati Side Scan Sonar (SSS) acquisiti contestualmente al rilievo MBES che ha consentito di verificarne la morfologia e di integrare il rilievo batimetrico con informazioni derivanti dall'interpretazione del fotomosaico prodotto.

Qui di seguito vengono riportate alcune viste di dettaglio dell'area di deposito.

Come già evidenziato del rilievo batimetrico, i dati rilevati con Side Scan Sonar confermano che l'area in oggetto ha una morfologia estremamente piatta e regolare, dall'analisi del fotomosaico non si evidenziano asperità, irregolarità o tracce a fondo mare derivanti da attività antropica (reti a strascico o solchi di ancora).

Analizzando il fotomosaico è possibile evidenziare alcune aree più chiare. Sulla base di rilievi analoghi e verifiche eseguite in aree non lontane da quella oggetto di questa campagna di rilievi, è verosimilmente plausibile supporre che le aree più chiare nel fotomosaico siano interessate dalla presenza in superficie di bioclasti (principalmente costituiti da gusci di bivalvi).

Tali depositi generano accumuli di spessore non significativo con una geometria a cordone che si estendono in direzione NE-SW.

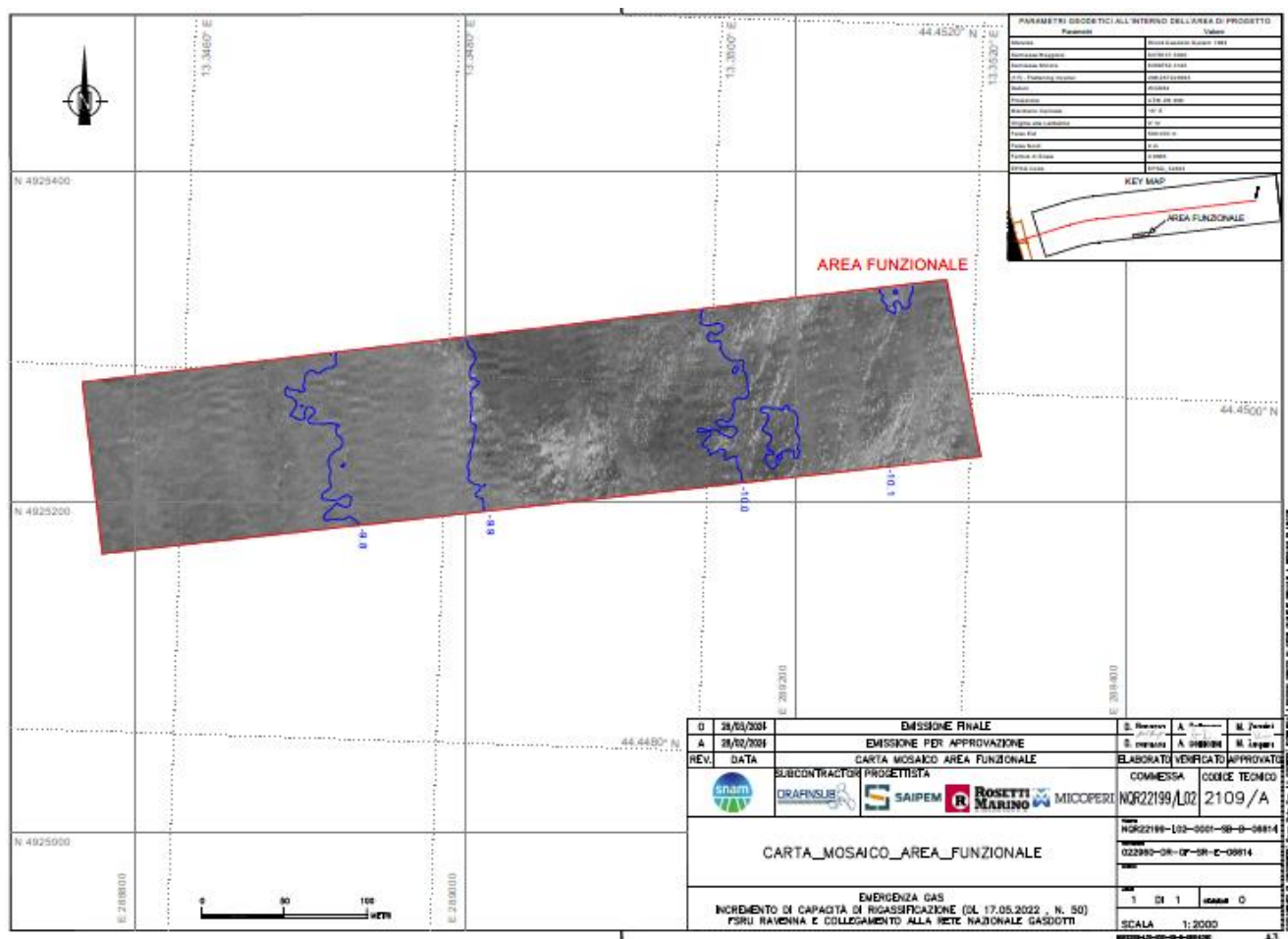


Figura 22. Fotomosaico Side Scan Sonar dell'area di deposito temporaneo

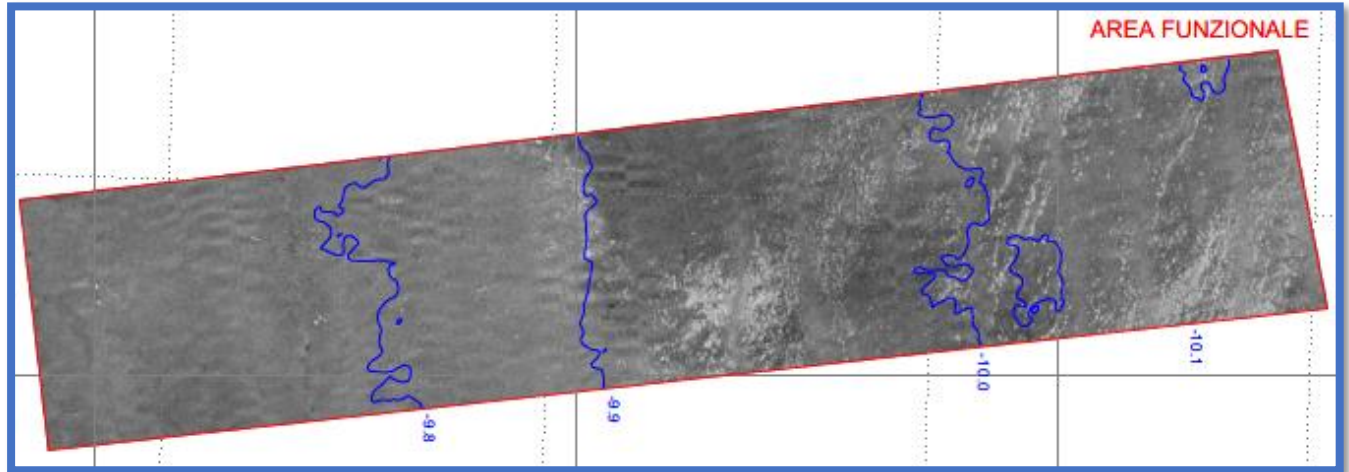


Figura 23. Fotomosaico dell'area di deposito temporaneo

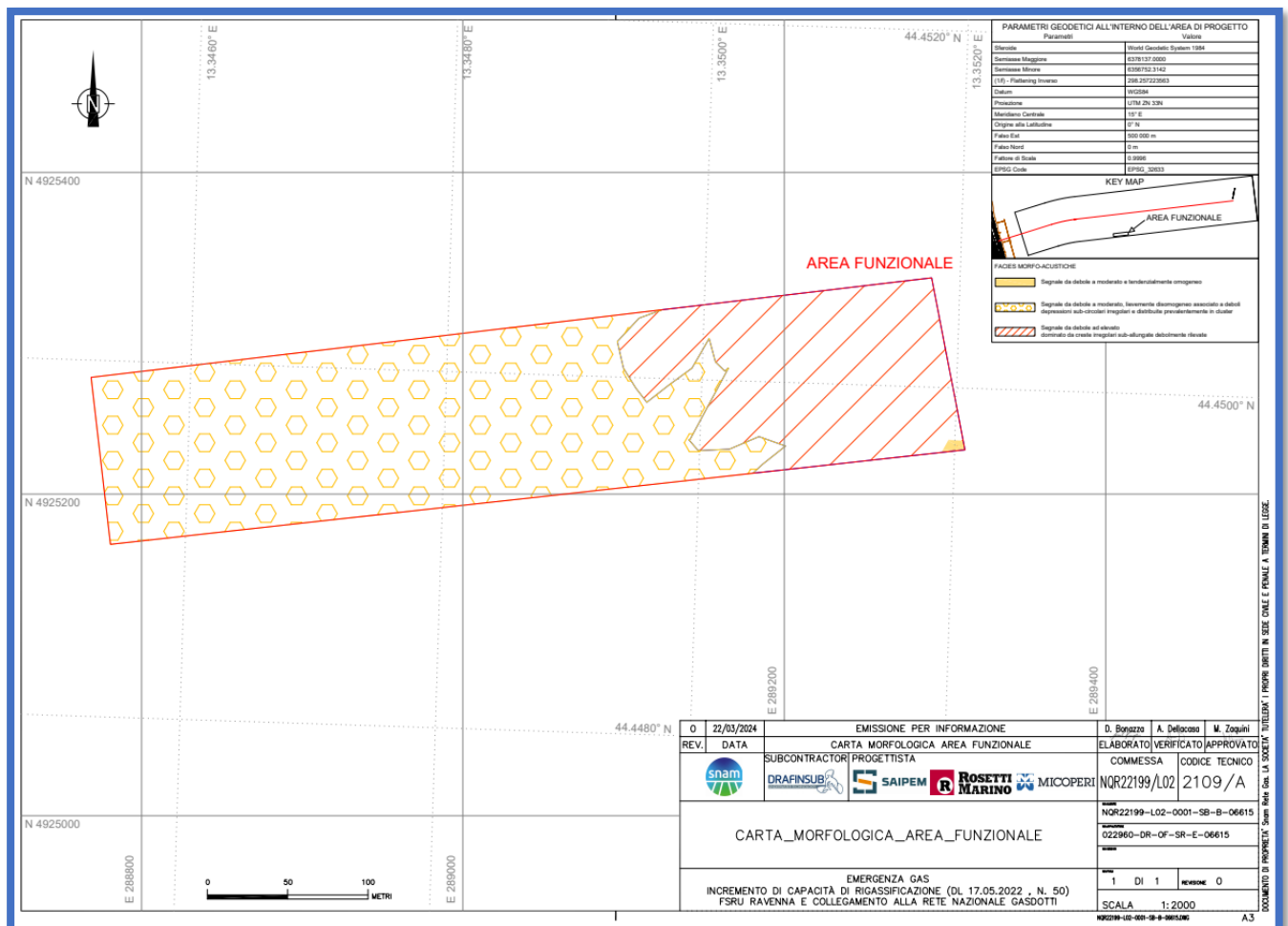


Figura 24. Carta morfologica dell'area funzionale

9.3.3 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DELLA COLONNA D'ACQUA

TEMPERATURA

La temperatura nell'area di studio ha esibito valori in crescita all'aumentare della profondità, mostrando la presenza di un termoclino localizzato approssimativamente tra 2 e 4 m al di sotto della superficie. Tale andamento documenta il fenomeno dell'inversione termica invernale che tipicamente si verifica nel Mare Adriatico in seguito al calo stagionale delle temperature atmosferiche, favorendo la formazione di uno strato d'acqua superficiale più fredda. I valori puntuali sono risultati compresi tra un minimo di 11.24 °C alla superficie della stazione di controllo Nord C0-N_DT ed un massimo di 13.66 °C nella stazione C5_DT, in prossimità del fondo.

Tra le stazioni posizionate nell'area di deponia e le due stazioni di controllo situate a Nord e a Sud di questa, sono state osservate differenze limitate, come evidenziato dai profili verticali della temperatura rilevati presso le singole stazioni di campionamento. Il valore medio della temperatura (12.71 ± 0.75 °C), associato al coefficiente di variazione percentuale (CV = 5.87%), ha confermato la presenza di variazioni termiche di modesta entità nelle acque esaminate.

SALINITA'

In ogni sito oggetto di campionamento, è stata riscontrata la presenza di uno strato d'acqua superficiale meno salino (< 33 PSU), il cui spessore è apparso aumentato gradualmente nel corso del tempo. In particolare, l'alocline è apparso posizionato tra i 2 e i 6 m. Complessivamente, i valori di salinità sono variati da un minimo di 32.13 PSU nella stazione di controllo Nord (C0-N_DT) in superficie, a un massimo di 35.14 PSU nella stazione C5_DT, al fondo.

I profili verticali di questa variabile hanno manifestato configurazioni molto simili tra loro, senza rilevare distinzioni evidenti tra le stazioni posizionate nell'area di deponia e le due stazioni di controllo (Nord e Sud). La salinità nell'area di studio, analogamente alla temperatura, ha presentato dunque variazioni di modesta entità, con un valore medio di 34.08 ± 1.01 PSU e un coefficiente di variazione percentuale pari al 2.97 %.

pH

Nelle acque costiere, il pH è prevalentemente influenzato dai contributi provenienti dalla costa, tra cui: apporti di acqua dolce che tendono a diluire l'alcalinità dell'acqua di mare; immissioni di nutrienti che favoriscono l'aumento della produttività e del pH; input di materia organica che possono innescare una crescita della respirazione biologica, con conseguente acidificazione (e.g., Carstensen and Duarte, 2019). In tutte le stazioni esaminate, il profilo del pH ha mostrato valori in lieve aumento al di sotto del termo-alocline. Un valore minimo di 8.13 è stato registrato nella stazione C0-N_DT, a circa metà della colonna d'acqua, mentre massimi di 8.21 sono stati rilevati al di sopra del termo-alocline nelle stazioni C3_DT, C4_DT, C5_DT e nel controllo Sud C0-N_DT. Tali valori risultano congruenti con quelli tipici delle acque marine costiere (e.g., Hinga, 2002).

La stazione di controllo Nord (C0-N_DT), è apparsa caratterizzata da un pH mediamente inferiore (8.14 ± 0.01) rispetto alle altre stazioni (8.19 ± 0.01). Tuttavia, l'entità di tale differenza è risultata ridotta, mettendo in luce,

come per le restanti variabili chimico-fisiche indagate, scarse variazioni tra l'area di deponia e i siti di controllo. Il pH medio dell'intera area di studio è risultato pari a 8.19 ± 0.02 , evidenziando una limitata variabilità, sottolineata anche dal coefficiente di variazione percentuale (0.27%).

FLUORESCENZA

In tutte le stazioni di campionamento, il profilo verticale della fluorescenza ha mostrato un picco sub-superficiale di concentrazione, posizionato a profondità variabili a seconda della stazione (2.5 – 5.0 m), seguito da un graduale decremento verso il fondo. I valori puntuali rilevati nelle singole stazioni sono oscillati tra $1.06 \mu\text{g L}^{-1}$ Chl-a (C0-S_DT, al fondo) e $6.73 \mu\text{g L}^{-1}$ Chl-a (C4_DT, al picco sub-superficiale).

Nonostante il picco sub-superficiale sia apparso più marcato presso la stazione C4_DT, la stazione di controllo Nord ha presentato una fluorescenza media più elevata rispetto alle restanti stazioni. Tuttavia, analogamente a quanto rilevato per la torbidità, la differenza tra il valore medio calcolato in questa stazione ($3.04 \pm 0.53 \mu\text{g L}^{-1}$ Chl-a) e quello ottenuto nelle ($2.64 \pm 0.97 \mu\text{g L}^{-1}$ Chl-a) è risultata di modesta entità.

Il valore medio calcolato per l'intera area di studio è risultato pari a $2.71 \pm 0.93 \mu\text{g L}^{-1}$ Chl-a; il coefficiente di variazione percentuale di questa variabile (34.26 %) si è rivelato come il più elevato tra tutte le variabili chimico-fisiche indagate nella colonna d'acqua, mettendo in luce una certa variabilità al momento del campionamento. Nel complesso, i valori registrati in questa indagine riflettono concentrazioni di clorofilla-a medio-basse, confermando l'assenza di eventi eutrofici significativi

OSSIGENO DISCIOLTO (DO)

La distribuzione del DO lungo la colonna d'acqua è risultata caratterizzata da un gradiente decrescente dei valori all'aumentare della profondità, più marcato al di sotto della profondità del termo-alocline. Nonostante il rispetto di questa tendenza generale, i profili verticali del DO rilevati nella stazione C4_DT hanno manifestato un picco sub-superficiale di concentrazione, posizionato a 3.5 m di profondità. Le singole concentrazioni di DO sono risultate comprese tra una minima di 5.68 mL L^{-1} (C5_DT, al fondo) e una massima di 6.57 mL L^{-1} (C4_DT, al picco posizionato a -3.4 m). Tali valori indicano una condizione di buona ossigenazione delle acque, in linea con il comportamento tipico di questa variabile nelle acque costiere nord-adriatiche. In tali aree, un aumento delle concentrazioni durante i mesi freddi è spesso attribuito all'aumento della solubilità dell'ossigeno legato alla diminuzione della temperatura e al rimescolamento della colonna d'acqua causato da un maggiore idrodinamismo (Ministero dell'Ambiente, Servizio Difesa del Mare – ICRAM, 2000).

Nel corso di questa indagine, l'area di studio ha presentato una concentrazione media di ossigeno disciolto (DO) pari a $6.04 \pm 0.27 \text{ mL L}^{-1}$, con un coefficiente di variazione percentuale del 4.43 %. Tali dati indicano variazioni limitate all'interno dell'area di studio, evidenziando l'assenza di differenze significative tra le stazioni posizionate nella futura area di deponia e i due siti di controllo (Nord e Sud).

Espresso come percentuale di saturazione, l'ossigeno disciolto ha mostrato una distribuzione molto simile a quella delle sue concentrazioni. Prevalentemente intorno al punto di saturazione (i.e., 100%) o lievemente

inferiori, le saturazioni percentuali hanno talvolta superato tale valore (max 107.69 %), suggerendo possibili contributi di ossigeno attraverso il processo fotosintetico.

TORBIDITA'

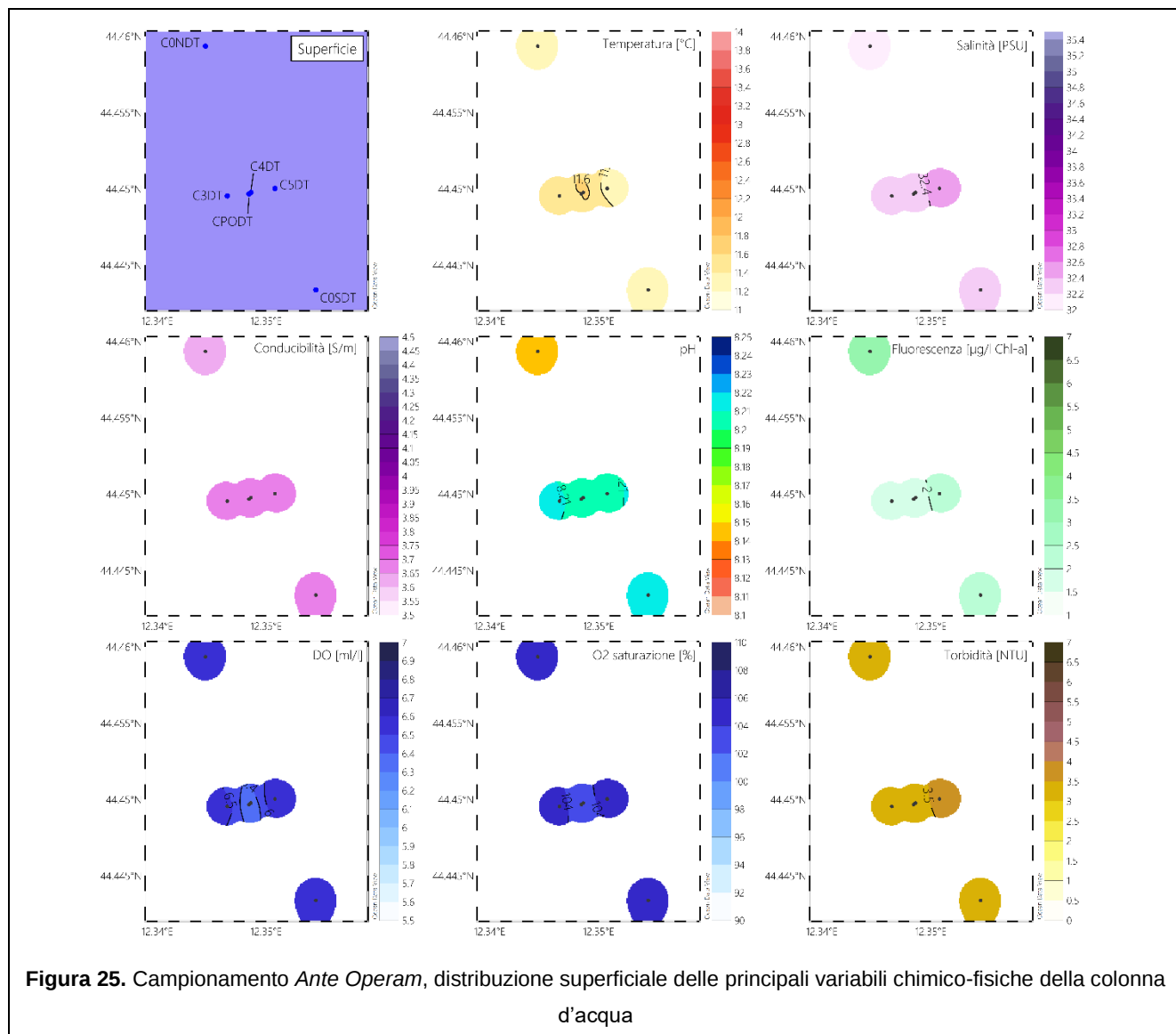
Le acque esaminate hanno manifestato una modesta torbidità, come testimoniato dal valor medio calcolato tra tutti i valori registrati nell'area di studio (3.44 ± 0.41 NTU). I profili verticali di questa variabile hanno evidenziato variazioni moderate lungo la colonna d'acqua. Per ciò che concerne i valori registrati nelle singole stazioni, un minimo di 2.98 NTU ed un massimo di 5.17 NTU sono stati registrati rispettivamente nella C3_DT, in prossimità della superficie, e nella C0-N_DT, al fondo.

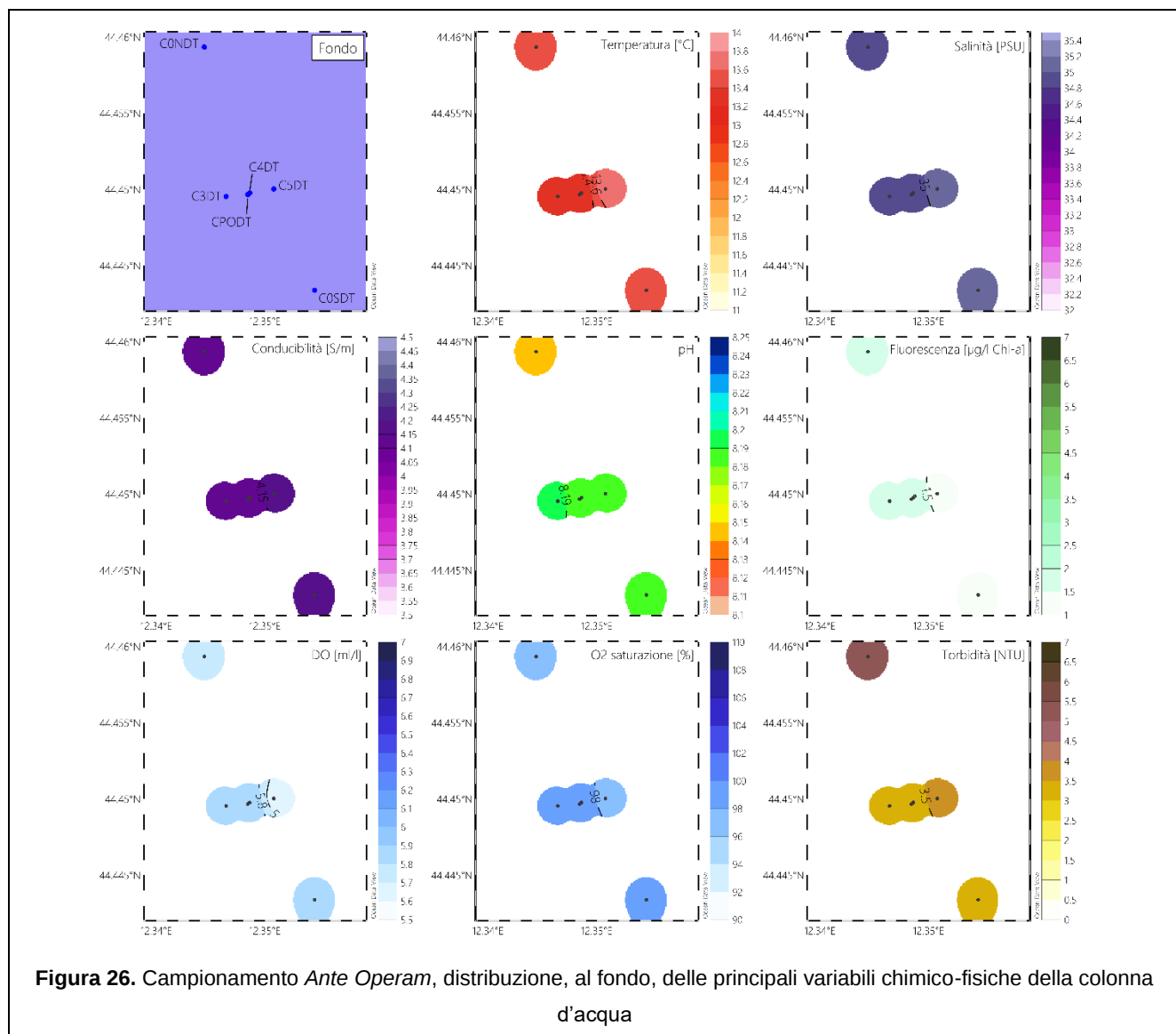
La stazione di controllo Nord (C0-N_DT) si è distinta dalle altre, presentando torbidità complessivamente più elevate (pur sempre modeste), crescenti verso il fondo. In questa stazione è stato rilevato un valore medio di torbidità pari a 3.99 ± 0.66 NTU, contro una media di 3.34 ± 0.23 calcolata per le restanti stazioni. Le variazioni osservate hanno comportato per la torbidità una maggiore variabilità rispetto alle variabili chimico-fisiche precedentemente discusse (CV = 11.90 %).

TRASPARENZA (profondità del disco di Secchi)

In occasione della presente indagine, le acque oggetto di studio hanno presentato valori di profondità di scomparsa del disco di Secchi (trasparenza) compresi tra 1.3 e 1.7 m, con minimo e massimo osservati rispettivamente nelle stazioni C5_DT e C4_DT; in due delle sei stazioni indagate (C0-N_DT e C0-S_DT) il valore è risultato pari a 1.5 m. La media calcolata tra i dati registrati in tutte le stazioni di campionamento è risultata pari a 1.50 ± 0.14 (con coefficiente di variazione percentuale del 9.33 %).

I valori osservati riflettono una tendenza già riscontrata nell'area di studio, nella quale si registrano misure di trasparenza non di rado inferiori ai 3 m, con valori mediani frequentemente intorno a 1.5 m. Nello specchio d'acqua monitorato, una ridotta trasparenza delle acque è solitamente associata a fenomeni di risospensione dei sedimenti ad opera di fattori idrodinamici; inoltre, si registra una chiara influenza degli apporti terrigeni provenienti dai bacini imbriferi locali e settentrionali, in particolare da quello padano (Ministero dell'Ambiente, Servizio Difesa del Mare – ICRAM, 2000).





RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

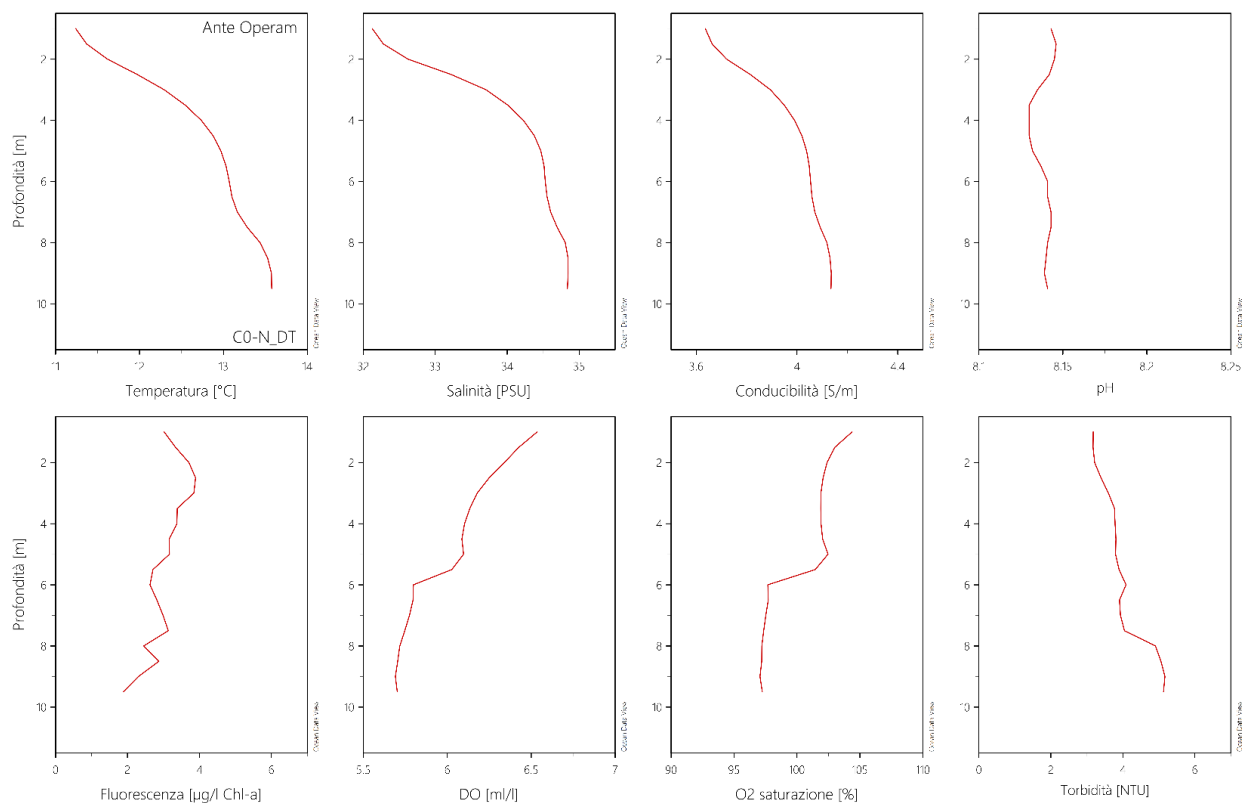


Figura 27. Campionamento *Ante Operam*, stazione C0-N_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

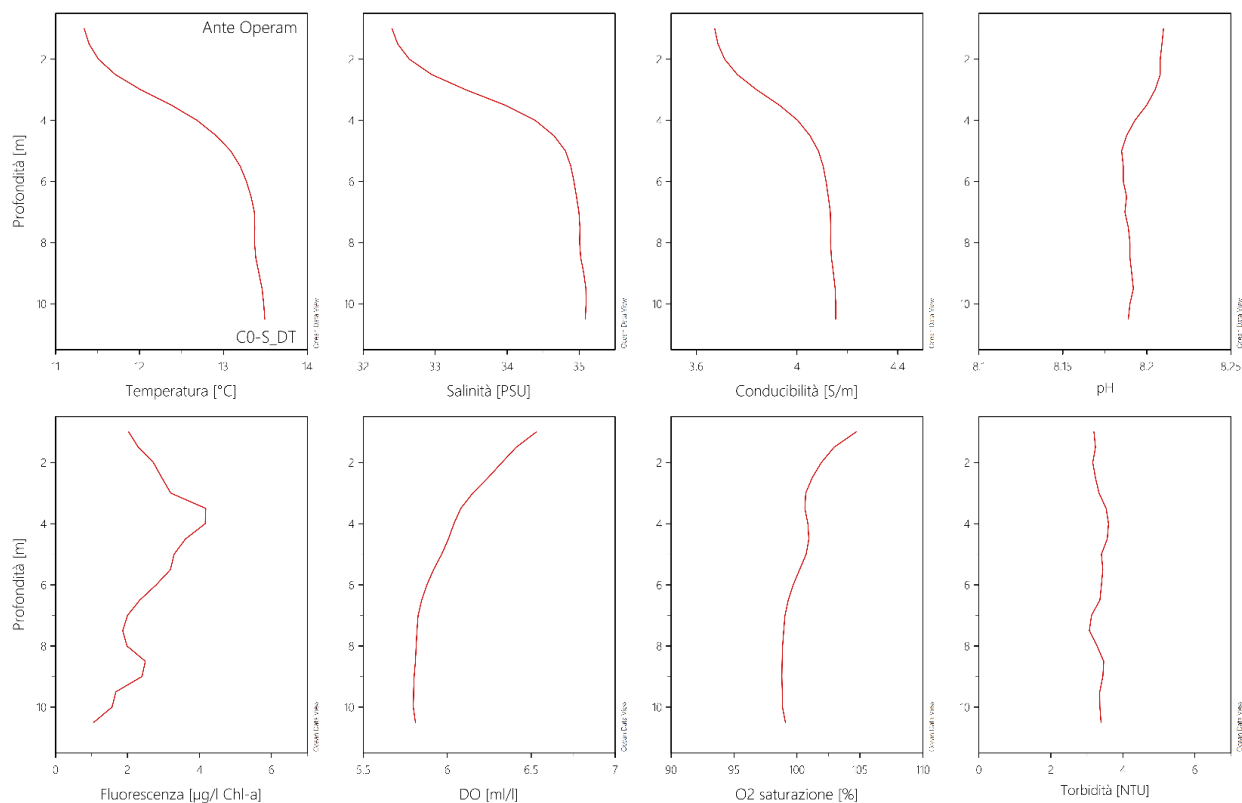


Figura 28. Campionamento *Ante Operam*, stazione C0-S_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

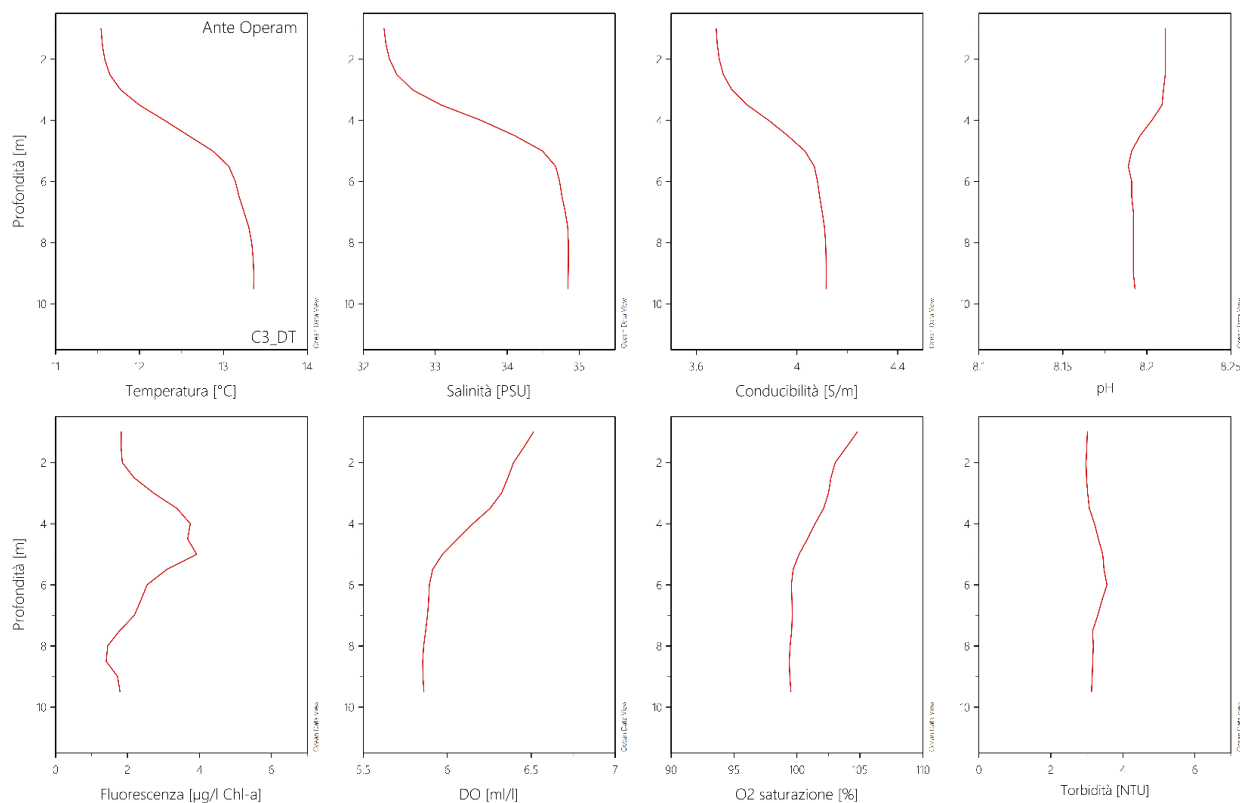


Figura 29. Campionamento *Ante Operam*, stazione C3_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua

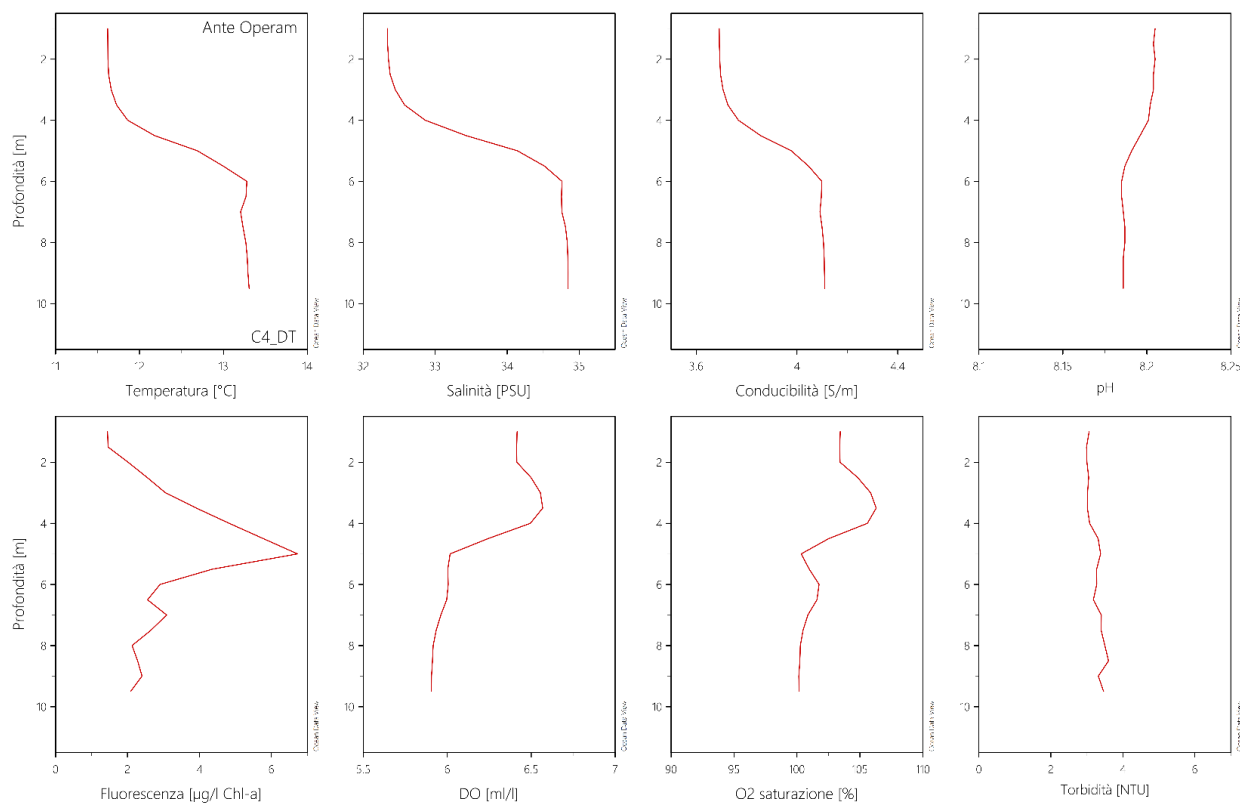


Figura 30. Campionamento *Ante Operam*, stazione C4_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

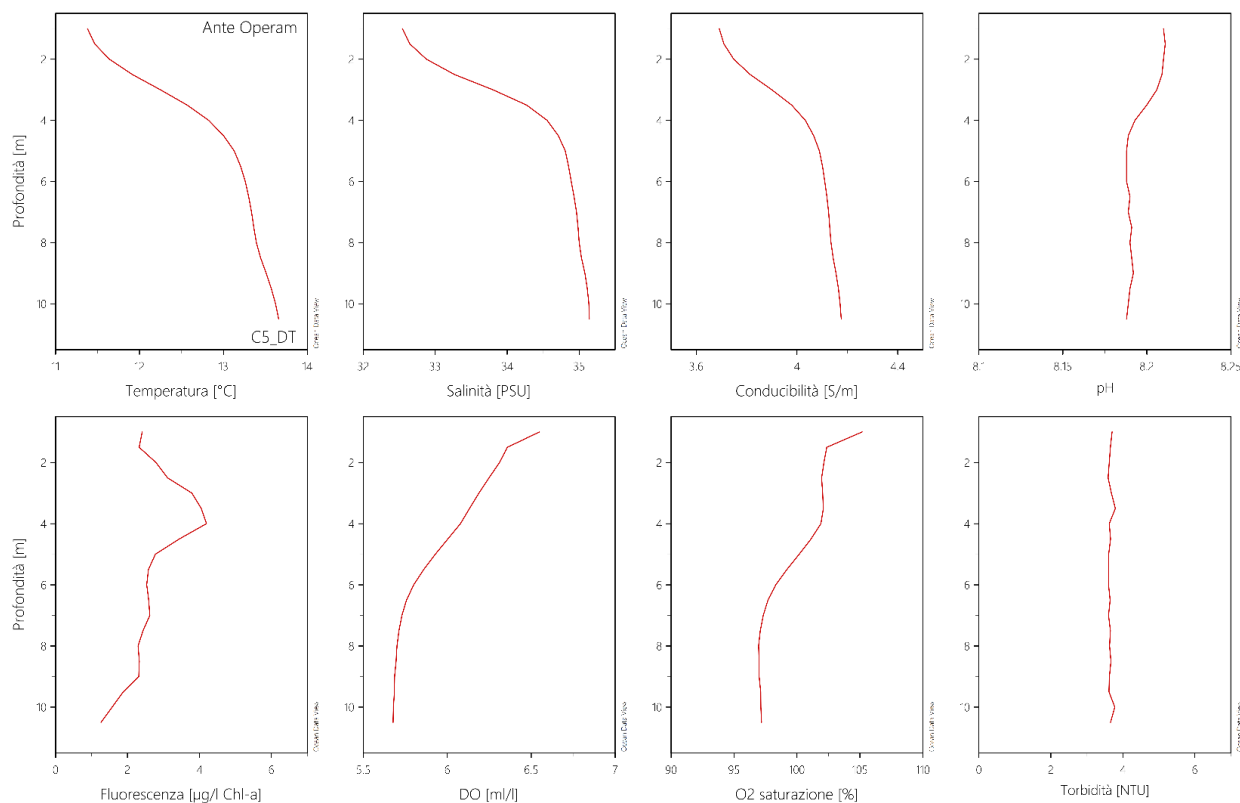


Figura 31. Campionamento *Ante Operam*, stazione C5_DT – profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua

ID Stazione	Data [gg/mm/aaaa]	Ora locale [hh:mm]	Latitudine N [GG pp.ddd]	Longitudine E [GG pp.ddd]	Profondità del fondale [m]	Profondità [m]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S m ⁻¹]	Salinità [PSU]	pH	DO [mL L ⁻¹]	O2 saturazione [%]	Fluorescenza [µg L ⁻¹ Chl-a]	Torbidità [NTU]	Trasparenza [Disco- Secchi, m]
C0-N_DT	07/12/2023	08:39	44 27.561	12 20.664	9,7	1,0	11,2404	3,636259	32,1256	8,143	6,5363	104,376	3,023434	3,1791	1,5
						1,5	11,3707	3,663467	32,2785	8,146	6,4265	103,007	3,337830	3,1728	
						2,0	11,6194	3,720956	32,6223	8,145	6,3404	102,389	3,708096	3,2193	
						2,5	11,9762	3,815188	33,2227	8,142	6,2503	102,081	3,896018	3,3965	
						3,0	12,2955	3,894762	33,7062	8,135	6,1789	101,902	3,848005	3,5994	
						3,5	12,5461	3,949649	34,0082	8,130	6,1348	101,899	3,386910	3,7710	
						4,0	12,7376	3,990450	34,2256	8,130	6,1035	101,922	3,378871	3,7863	
						4,5	12,8768	4,019713	34,3786	8,130	6,0874	102,045	3,159444	3,8098	
						5,0	12,9696	4,038085	34,4691	8,132	6,0980	102,476	3,169907	3,7992	
						5,5	13,0335	4,048914	34,5137	8,137	6,0277	101,454	2,711979	3,8946	
						6,0	13,0698	4,054100	34,5296	8,141	5,7993	97,693	2,626512	4,0897	
						6,5	13,1024	4,060030	34,5561	8,141	5,7964	97,726	2,821717	3,9070	
						7,0	13,1664	4,071286	34,6045	8,143	5,7754	97,530	2,992662	3,9367	
						7,5	13,2858	4,092491	34,6964	8,143	5,7478	97,357	3,136733	4,0469	
						8,0	13,4367	4,118951	34,8086	8,141	5,7175	97,211	2,453729	4,9073	
						8,5	13,5267	4,131511	34,8447	8,140	5,7053	97,204	2,876305	5,0620	
						9,0	13,5723	4,136364	34,8485	8,139	5,6918	97,067	2,309502	5,1694	
						9,5	13,5765	4,135609	34,8374	8,141	5,7025	97,251	1,884612	5,1327	

Tabella 14. Parametri CTD Rilevati in C0-N_DT

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

ID Stazione	Data [gg/mm/aaaa]	Ora locale [hh:mm]	Latitudine N [GG pp.ddd]	Longitudine E [GG pp.ddd]	Profondità del fondale [m]	Profondità [m]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S m ⁻¹]	Salinità [PSU]	pH	DO [mL L ⁻¹]	O2 saturazione [%]	Fluorescenza [µg L ⁻¹ Chl-a]	Torbidità [NTU]	Trasparenza [Disco- Secchi, m]
C0-S_DT	07/12/2023	10:17	44 26.604	12 21.273	10,8	1,0	11,3427	3,673210	32,3988	8,210	6,5313	104,705	2,036263	3,1970	1,5
						1,5	11,3998	3,686443	32,4781	8,209	6,4105	102,947	2,305692	3,2413	
						2,0	11,5110	3,713145	32,6415	8,208	6,3260	101,935	2,720821	3,1673	
						2,5	11,7131	3,763202	32,9512	8,208	6,2421	101,210	2,958973	3,2396	
						3,0	12,0150	3,839578	33,4243	8,205	6,1529	100,699	3,203341	3,3389	
						3,5	12,3791	3,929900	33,9693	8,200	6,0811	100,633	4,177743	3,5391	
						4,0	12,6862	4,002610	34,3888	8,193	6,0406	100,867	4,164878	3,6044	
						4,5	12,9139	4,051787	34,6509	8,188	6,0072	100,946	3,615295	3,5679	
						5,0	13,0869	4,085258	34,8110	8,185	5,9674	100,738	3,296823	3,4060	
						5,5	13,2005	4,104078	34,8853	8,186	5,9196	100,210	3,194038	3,4465	
						6,0	13,2751	4,115901	34,9287	8,186	5,8791	99,704	2,801487	3,4058	
						6,5	13,3302	4,124907	34,9632	8,188	5,8479	99,309	2,344571	3,3648	
						7,0	13,3691	4,132427	34,9984	8,187	5,8271	99,055	2,005246	3,1305	
						7,5	13,3743	4,134261	35,0107	8,189	5,8198	98,950	1,870882	3,0700	
						8,0	13,3716	4,133746	35,0082	8,190	5,8152	98,865	1,986089	3,2840	
						8,5	13,3865	4,136906	35,0242	8,190	5,8106	98,825	2,495233	3,4719	
						9,0	13,4238	4,144743	35,0638	8,191	5,8032	98,800	2,404964	3,4461	
						9,5	13,4616	4,151611	35,0937	8,192	5,8002	98,843	1,678409	3,3597	
						10,0	13,4806	4,153850	35,0972	8,190	5,7983	98,851	1,571581	3,3633	
						10,5	13,4933	4,154012	35,0868	8,189	5,8106	99,081	1,064695	3,3964	

Tabella 15. Parametri CTD Rilevati in C0-S_DT

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

ID Stazione	Data [gg/mm/aaaa]	Ora locale [hh:mm]	Latitudine N [GG pp.ddd]	Longitudine E [GG pp.ddd]	Profondità del fondale [m]	Profondità [m]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S m ⁻¹]	Salinità [PSU]	pH	DO [mL L ⁻¹]	O2 saturazione [%]	Fluorescenza [µg L ⁻¹ Chl-a]	Torbidità [NTU]	Trasparenza [Disco- Secchi, m]
C3_DT	07/12/2023	11:01	44 26.973	12 20.784	9,8	1,0	11,5415	3,679788	32,2892	8,211	6,5140	104,799	1,828141	3,0147	1,6
						1,5	11,5567	3,683746	32,3143	8,211	6,4563	103,920	1,826402	3,0023	
						2,0	11,5858	3,691438	32,3638	8,211	6,3959	103,043	1,856051	2,9825	
						2,5	11,6476	3,707595	32,4671	8,211	6,3616	102,692	2,189470	2,9918	
						3,0	11,7765	3,741380	32,6825	8,210	6,3238	102,501	2,730047	3,0243	
						3,5	12,0014	3,803290	33,0845	8,209	6,2547	102,121	3,379442	3,0732	
						4,0	12,2990	3,887713	33,6346	8,203	6,1534	101,445	3,750576	3,2155	
						4,5	12,5862	3,963553	34,1050	8,196	6,0623	100,837	3,674318	3,3243	
						5,0	12,8720	4,030789	34,4885	8,191	5,9721	100,169	3,927322	3,4428	
						5,5	13,0656	4,068878	34,6744	8,189	5,9131	99,691	3,088374	3,4773	
						6,0	13,1424	4,082047	34,7291	8,191	5,8936	99,556	2,548665	3,5607	
						6,5	13,1886	4,090040	34,7625	8,191	5,8894	99,600	2,376053	3,4217	
						7,0	13,2468	4,100569	34,8089	8,192	5,8825	99,630	2,194779	3,3037	
						7,5	13,3035	4,109602	34,8423	8,192	5,8718	99,585	1,780826	3,1635	
						8,0	13,3376	4,113813	34,8507	8,192	5,8600	99,458	1,451788	3,1836	
						8,5	13,3542	4,115469	34,8510	8,192	5,8539	99,390	1,410824	3,1647	
						9,0	13,3622	4,116082	34,8493	8,192	5,8556	99,433	1,726833	3,1499	
						9,5	13,3607	4,115499	34,8449	8,193	5,8617	99,531	1,796143	3,1298	

Tabella 16. Parametri CTD Rilevati in C3_DT

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

ID Stazione	Data [gg/mm/aaaa]	Ora locale [hh:mm]	Latitudine N [GG pp.ddd]	Longitudine E [GG pp.ddd]	Profondità del fondale [m]	Profondità [m]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S m ⁻¹]	Salinità [PSU]	pH	DO [mL L ⁻¹]	O2 saturazione [%]	Fluorescenza [µg L ⁻¹ Chl-a]	Torbidità [NTU]	Trasparenza [Disco- Secchi, m]
C4_DT	07/12/2023	12:23	44 26.987	12 20.915	9,6	1,0	11,6219	3,691749	32,3358	8,205	6,4166	103,438	1,447717	3,0638	1,7
						1,5	11,6227	3,692091	32,3382	8,204	6,4145	103,407	1,462240	2,9911	
						2,0	11,6256	3,693673	32,3509	8,205	6,4150	103,430	2,020807	3,0037	
						2,5	11,6330	3,696690	32,3736	8,204	6,4999	104,831	2,553102	3,0508	
						3,0	11,6643	3,706898	32,4454	8,204	6,5558	105,849	3,056236	3,0191	
						3,5	11,7286	3,726159	32,5764	8,202	6,5689	106,294	3,917469	3,0160	
						4,0	11,8604	3,767443	32,8615	8,201	6,4957	105,591	4,829854	3,0803	
						4,5	12,1809	3,855412	33,4285	8,196	6,2427	102,519	5,782553	3,3169	
						5,0	12,6904	3,977321	34,1422	8,191	6,0175	100,336	6,728732	3,3855	
						5,5	12,9985	4,046175	34,5196	8,187	6,0037	100,982	4,356527	3,2725	
						6,0	13,2792	4,098701	34,7619	8,185	6,0062	101,763	2,906879	3,2775	
						6,5	13,2695	4,096997	34,7544	8,185	5,9972	101,585	2,560678	3,1812	
						7,0	13,2054	4,091413	34,7599	8,186	5,9627	100,871	3,088684	3,4029	
						7,5	13,2341	4,099712	34,8121	8,187	5,9345	100,487	2,649612	3,4000	
						8,0	13,2684	4,105617	34,8365	8,187	5,9170	100,275	2,129483	3,5014	
						8,5	13,2854	4,108104	34,8442	8,186	5,9126	100,240	2,284478	3,6057	
						9,0	13,2943	4,109253	34,8468	8,186	5,9062	100,152	2,408241	3,3223	
						9,5	13,3077	4,110464	34,8458	8,186	5,9058	100,172	2,088817	3,4683	

Tabella 17. Parametri CTD Rilevati in C4_DT

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

ID Stazione	Data [gg/mm/aaaa]	Ora locale [hh:mm]	Latitudine N [GG pp.ddd]	Longitudine E [GG pp.ddd]	Profondità del fondale [m]	Profondità [m]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S m ⁻¹]	Salinità [PSU]	pH	DO [mL L ⁻¹]	O2 saturazione [%]	Fluorescenza [µg L ⁻¹ Chl-a]	Torbidità [NTU]	Trasparenza [Disco- Secchi, m]
C5_DT	07/12/2023	09:37	44 27.002	12 21.047	11,0	1,0	11,3819	3,691499	32,5437	8,210	6,5495	105,180	2,409059	3,7034	1,3
						1,5	11,4680	3,709921	32,6480	8,211	6,3587	102,374	2,326983	3,6544	
						2,0	11,6429	3,749145	32,8765	8,210	6,3116	102,138	2,792191	3,6247	
						2,5	11,9159	3,814365	33,2684	8,209	6,2488	101,960	3,116916	3,5939	
						3,0	12,2497	3,900275	33,8007	8,206	6,1894	102,041	3,792651	3,6818	
						3,5	12,5696	3,979160	34,2703	8,200	6,1333	102,093	4,052238	3,7936	
						4,0	12,8247	4,033311	34,5562	8,193	6,0787	101,902	4,199676	3,6260	
						4,5	13,0019	4,066502	34,7105	8,189	6,0042	101,116	3,440694	3,6596	
						5,0	13,1302	4,089149	34,8082	8,188	5,9296	100,186	2,776566	3,6093	
						5,5	13,2063	4,101366	34,8542	8,188	5,8601	99,195	2,585070	3,6052	
						6,0	13,2610	4,110566	34,8910	8,188	5,8006	98,321	2,536849	3,6052	
						6,5	13,3024	4,118743	34,9303	8,190	5,7574	97,696	2,591094	3,6479	
						7,0	13,3362	4,125645	34,9644	8,189	5,7306	97,328	2,624362	3,6043	
						7,5	13,3623	4,130371	34,9850	8,191	5,7130	97,094	2,435425	3,6556	
						8,0	13,3928	4,135179	35,0022	8,190	5,7008	96,957	2,294885	3,6334	
						8,5	13,4448	4,143602	35,0338	8,191	5,6962	97,001	2,330820	3,6713	
						9,0	13,5103	4,155031	35,0813	8,192	5,6868	96,999	2,316437	3,6290	
						9,5	13,5715	4,164556	35,1147	8,190	5,6859	97,125	1,883819	3,6170	
						10,0	13,6219	4,171682	35,1353	8,189	5,6802	97,140	1,578446	3,7766	
						10,5	13,6591	4,176119	35,1426	8,188	5,6784	97,188	1,265293	3,6616	

Tabella 18. Parametri CTD Rilevati in C5_DT

9.3.4 ANALISI DEL MACROBENTHOS

ABBONDANZA E DIVERSITA' DEL MACROBENTHOS

Nel corso della presente indagine sono stati individuati, in totale, 3560 organismi appartenenti a 84 differenti taxa, i quali sono stati identificati in massima parte fino al livello di specie. Come mostrato in **Figura 32**, il gruppo tassonomico più abbondante è risultato quello degli anellidi (phylum Annelida), che ha costituito il 40.42 % del numero totale di organismi rinvenuti (i.e., abbondanza totale), seguito dal phylum Mollusca (i.e. 39.78 % dell'abbondanza totale). Il primo è risultato rappresentato principalmente dalla classe dei policheti (i.e., Polychaeta) e, in proporzione minore (i.e., 2.64 % del totale degli anellidi), da organismi appartenenti alla classe degli oligocheti (i.e., Oligochaeta). Il terzo gruppo maggiormente rappresentato in termini di abbondanza è risultato quello dei crostacei (i.e. 19.38 % sul totale). Anche in termini di numero di specie totali, i tre gruppi dominanti sono risultati quello degli anellidi, dei molluschi e dei crostacei (rispettivamente con il 46.43%, 33.33% e 11.90% di specie sul totale). Gli altri gruppi tassonomici riscontrati (phyla Cnidaria, Nemertea, Echinodermata, Nematoda e Platyhelminthes) hanno fornito un ridotto contributo sia all'abbondanza totale (nel complesso 0.42 %) che al numero di specie totali (complessivamente 8.33 %).

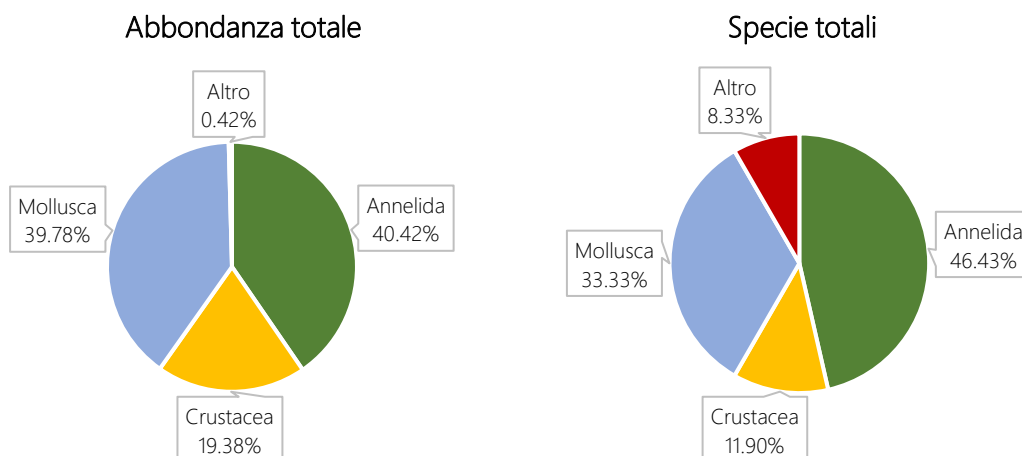


Figura 32. Principali gruppi tassonomici riscontrati: abbondanze totali (%) a sinistra; numero di specie totali (%) a destra.

La rappresentazione grafica del plot nMDS (Figura 33), derivante dalla matrice specie / abbondanza della comunità macrobentonica analizzata, evidenzia una distinzione spaziale tra la stazione di controllo posizionata a Nord dell'area di studio (C0-N_DT) e le restanti stazioni (C3_DT, C4_DT, C5_DT e la stazione di controllo C0-S_DT). Queste ultime, benché manifestino una certa separazione grafica, presentano una maggiore affinità reciproca rispetto alla C0-N_DT. Nel complesso, dall'analisi della varianza (PERMANOVA) non sono emerse differenze statisticamente significative tra le diverse stazioni di campionamento ($p > 0.05$). Lo scostamento osservato potrebbe presumibilmente derivare dalla presenza di microeterogeneità all'interno della matrice sedimentaria, attribuibile a variazioni nella composizione granulometrica e alla conseguente formazione di nicchie ecologiche distinte.

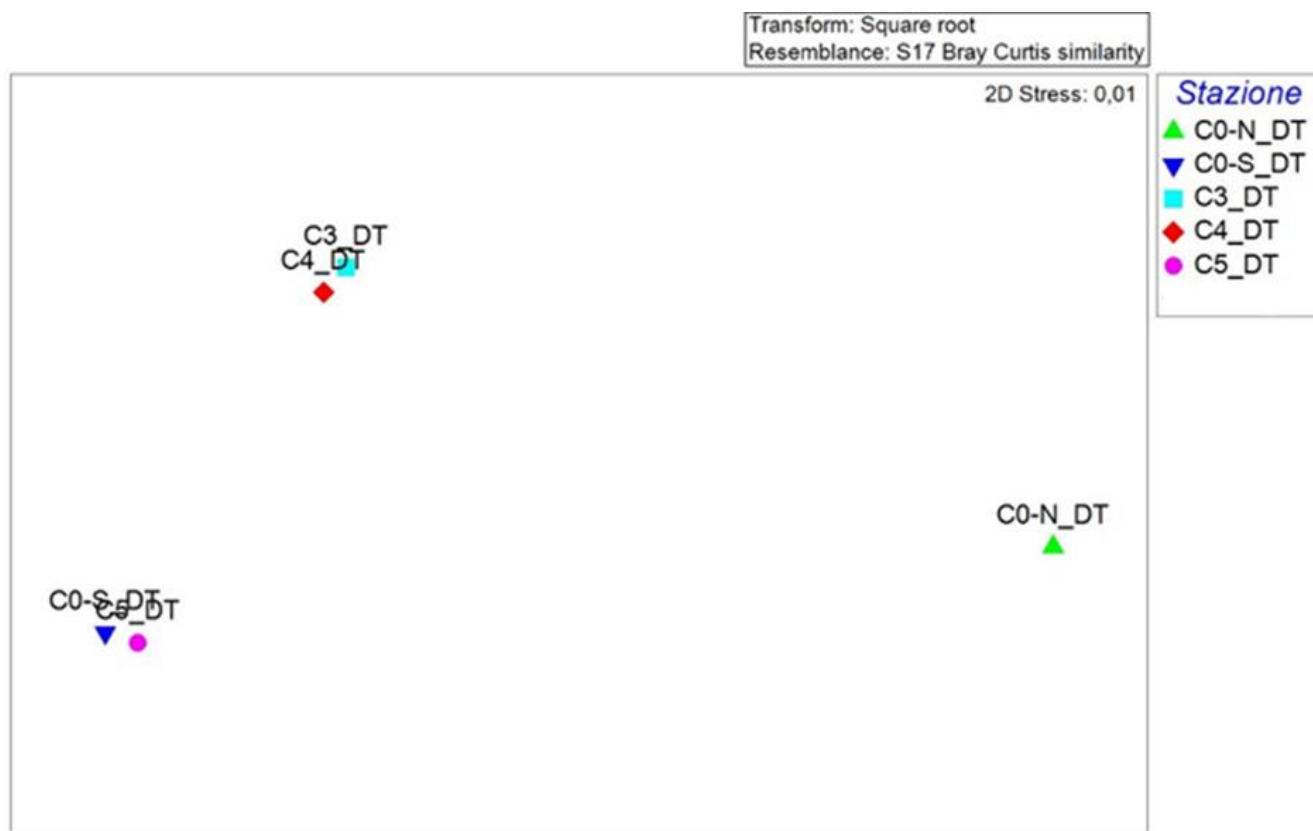


Figura 33. nMDS plot raffigurante la distribuzione spaziale delle differenti stazioni ricavato dalla matrice specie / abbondanza

In **Figura 34** sono graficamente illustrati i valori delle abbondanze medie (N° ind. m^{-2}), con le rispettive deviazioni standard, ed il numero di specie totali, in ciascuna stazione di campionamento. I valori di abbondanza totale, apparsi elevati in tutte le stazioni, sono risultati compresi tra un minimo di 1610 ± 648 ind. m^{-2} nella stazione C3_DT ed un massimo di 2627 ± 683 ind. m^{-2} nel sito di controllo meridionale (C0-S_DT). Valori elevati sono stati osservati anche per quanto concerne il numero di specie osservate, denotando una condizione relativamente simile fra tutti i siti oggetto di studio (min. 37 specie nella stazione C3_DT; max 51 specie nel sito di controllo C0-S_DT).

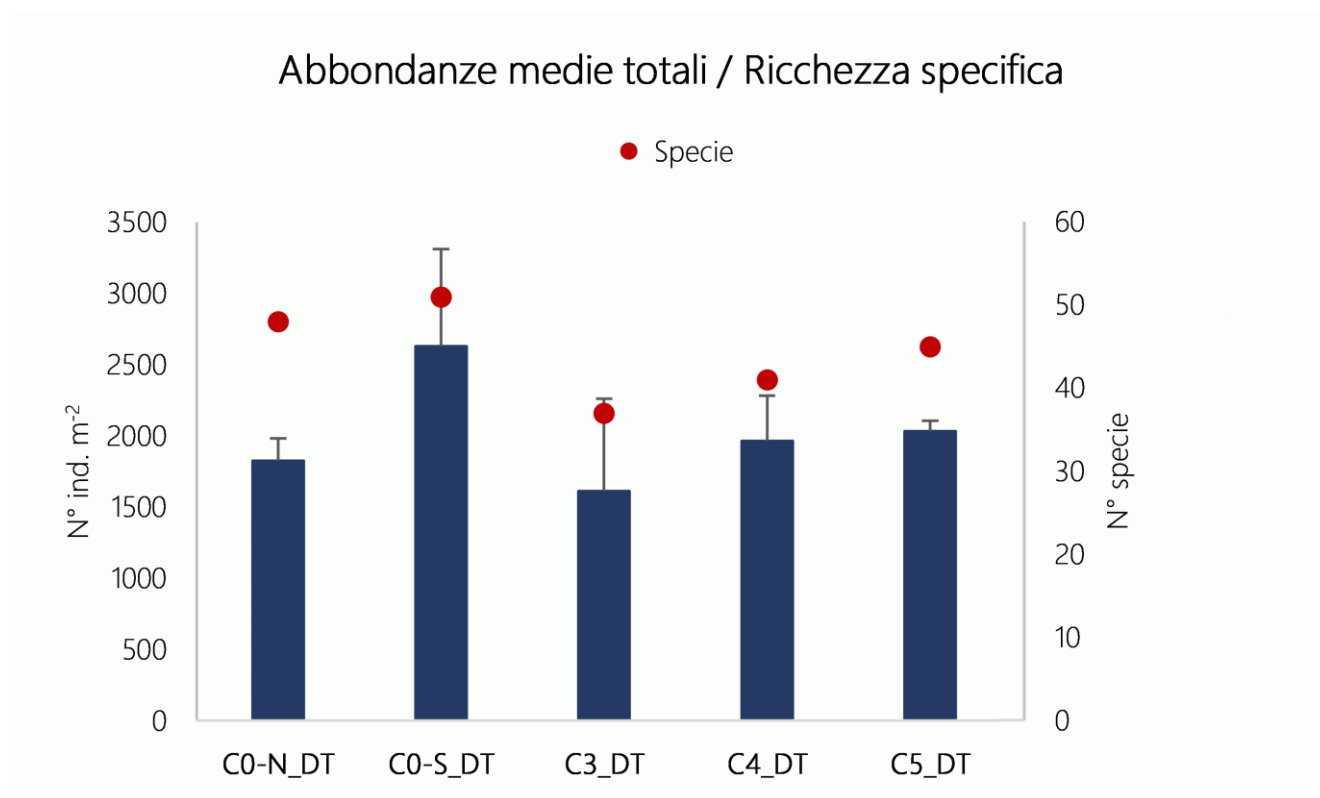


Figura 34. Abbondanze medie totali del macrobenthos (ind. m⁻²), con rispettive deviazioni standard, e ricchezza specifica (numero assoluto di specie) nelle 5 stazioni esaminate

In **Tabella 19** sono riportati i valori assoluti del numero di specie (S), quelli medi delle abbondanze (N° ind. m⁻²) e i valori degli indici strutturali: indice di diversità di Shannon Wiener H'(log_e), indice di equitabilità di Pielou (J'), indice di dominanza di Simpson (Lambda) e indice di ricchezza specifica di Margalef (d), con le rispettive deviazioni standard.

Stazione	S	N - ds		d - ds		J' - ds		H'(log _e) - ds		Lambda - ds	
C0-N_DT	48	1823	160	6.26	0.36	0.75	0.03	2.91	0.13	0.10	0.02
C0-S_DT	51	2627	683	6.35	0.83	0.69	0.10	2.73	0.25	0.12	0.06
C3_DT	37	1610	648	4.875	0.43	0.63	0.06	2.26	0.25	0.20	0.07
C4_DT	41	1963	317	5.275	0.61	0.65	0.08	2.43	0.37	0.18	0.07
C5_DT	45	2030	75	5.777	0.59	0.73	0.10	2.79	0.28	0.11	0.08

Tabella 19. Valori assoluti del numero di specie (S), valori medi delle abbondanze (N), valori degli indici di Shannon Wiener H'(log_e), Pielou (J'), Simpson (Lambda) e Margalef (d), con le rispettive deviazioni standard (ds)

Nello specifico, sia l'indice di diversità di Shannon-Wiener (H'), sia quello di equitabilità di Pielou (J') hanno mostrato valori molto simili tra le differenti stazioni (Figura 35). Per entrambi gli indici sono stati registrati valori più bassi in corrispondenza del sito C3_DT (H': 2.26 ± 0.25; J': 0.63 ± 0.06) e valori più alti in corrispondenza della stazione di controllo C0-N_DT (H': 2.91 ± 0.13; J': 0.75 ± 0.03). I risultati ottenuti suggeriscono, nel complesso, una certa dominanza di alcune specie all'interno della comunità investigata e livelli di diversità elevati.

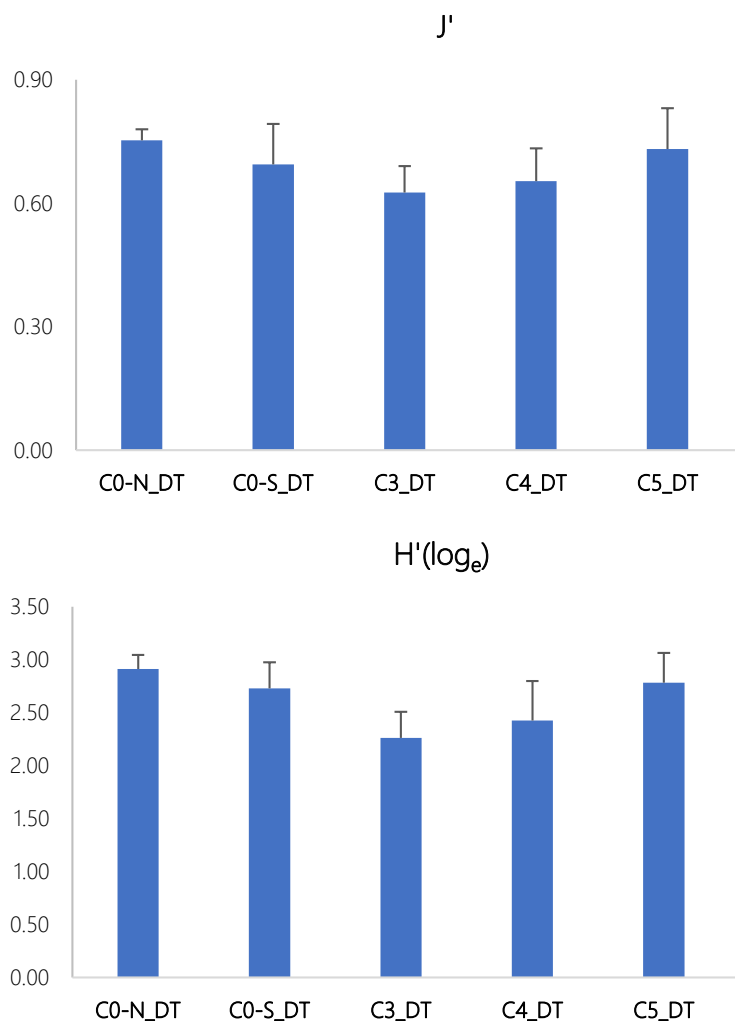


Figura 35. Andamento dei valori degli indici di Pielou (J'), in alto, e dell'indice diversità $H'(\log_e)$, in basso, della comunità macrobentonica. Sono rappresentati i valori medi caratterizzanti ogni stazione con le rispettive deviazioni standard

Esaminando le stazioni di campionamento singolarmente, la struttura della comunità macrobentonica ha evidenziato una elevata similarità tra le 5 stazioni di campionamento (Figura 36). Nello specifico, le singole stazioni hanno tutte presentato una netta predominanza dei molluschi bivalvi e policheti, soprattutto nelle stazioni di controllo. Negli altri siti, infatti, i crostacei erano meglio rappresentati all'interno della comunità, seppur in maniera limitata rispetto ai primi. I *phyla* Cnidaria, Echinodermata, Nematoda, Nemertea e Platyhelminthes non hanno invece contribuito in modo significativo alla complessità della struttura di comunità (i.e. numero di taxa).

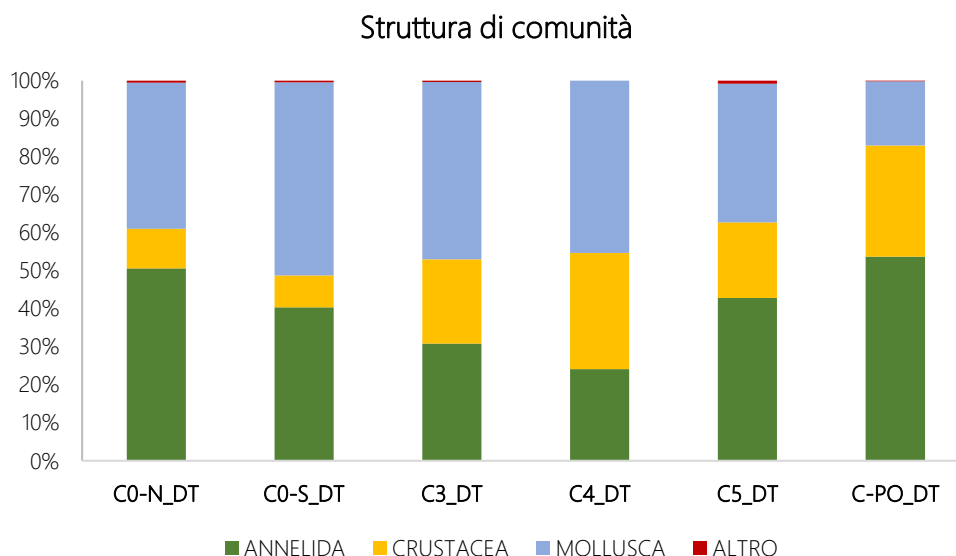


Figura 36. Struttura della comunità macrozoobentonica nei sedimenti investigati

In tutte le stazioni di campionamento è stata riscontrata la presenza di una biocenosi di transizione tra le Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC) e i Fanghi Terrigeni Costieri (VTC), secondo la classificazione di Pérès & Picard (1964). Tale biocenosi è risultata caratterizzata dalla presenza sia di organismi sabulicoli che di specie prettamente fangofile come i policheti *Aricidea (Acmira) assimilis* (Figura 37a) e *Aricidea (Aricidea) pseudoarticulata* (Figura 37b). Fa eccezione la stazione di controllo C0-N_DT in cui è stata riscontrata una biocenosi tipica delle SFBC, con l'esclusiva e caratteristica presenza del mollusco bivalve *Chamelea gallina*. Tra le specie peculiari di sedimenti sabbiosi sono state riscontrate il polichete *Micronephthys longicornis* e soprattutto i molluschi bivalvi *Peronidia albicans* e *Macomangulus tenuis*. Mentre, tra le specie fangofile identificate, oltre a quelle descritte in precedenza, si segnala la presenza dei bivalvi *Varicorbula gibba* e *Anadara transversa*, dei policheti *Nephtys hombergii*, *Mediomastus capensis* e *Pseudoleiocardia fauveli* e dell'anfipode *Ampelisca sarsi* (Figura 37c).



Figura 37. *Aricidea (Acmira) assimilis* (a), *Aricidea (Aricidea) pseudoarticulata* (b), *Ampelisca sarsi* (c)

VALUTAZIONE DELLO STATO DI QUALITA' ECOLOGICA

Un'analisi specifica è stata effettuata al fine di verificare lo stato di qualità ecologica delle acque attraverso il calcolo degli AMBI ed M-AMBI. In base all'applicazione dell'indice M-AMBI (Tabella 20), lo stato ecologico è risultato "elevato" in tutte le stazioni investigate (valori di M-AMBI compresi tra 0.86 e 1.00).

Tabella 20. Risultati del calcolo dell'indice M-AMBI nelle sei stazioni in esame

Stazioni	AMBI	H'	S	M-AMBI	Stato
Cattivo	6	0	0	0	Cattivo
Elevato	0.5	4	30	1	Elevato
C0-N_DT	1.09	4.20	48	1.00	Elevato
C0-S_DT	2.67	3.94	51	0.98	Elevato
C3_DT	2.16	3.26	37	0.86	Elevato
C4_DT	2.42	3.50	41	0.89	Elevato
C5_DT	2.19	4.02	45	0.98	Elevato

In Tabella 21 sono riassunte, per ciascuna stazione, le percentuali di organismi appartenenti ai 5 gruppi di sensibilità / tolleranza, i valori di AMBI e la percentuale di organismi non attribuiti ad alcun gruppo ecologico. La percentuale di organismi non assegnati ad alcun gruppo ecologico (N.A.) si è rivelata sempre inferiore al limite critico del 20 %. Mediante l'applicazione dell'indice AMBI, basato sulla composizione in gruppi ecologici della comunità macrobentonica, tutte le stazioni di campionamento hanno esibito uno stato ambientale "leggermente disturbato", ad eccezione della stazione di controllo C0-N_DT in cui lo stato risultava "indisturbato".

Tabella 21. Risultati dell'applicazione dell'indice AMBI (Classificazione del disturbo); sono riportate le percentuali degli organismi appartenenti ai 5 gruppi ecologici e percentuali di non attribuiti ad alcun gruppo ecologico, ricchezza di specie e diversità

Stazioni	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Media AMBI	Classificazione del disturbo	S	H'	N.A. (%)
C0-N_DT	49.90	36.20	5.10	8.40	0.40	1.09	Indisturbato	48	4.20	0.00
C0-S_DT	29.60	14.00	3.00	50.40	2.90	2.67	Leggermente disturbato	51	3.94	0.10
C3_DT	38.90	13.30	2.70	43.70	1.40	2.16	Leggermente disturbato	37	3.26	0.00
C4_DT	36.90	13.40	3.90	44.20	1.50	2.42	Leggermente disturbato	41	3.50	0.20
C5_DT	37.70	19.30	6.80	33.10	3.10	2.19	Leggermente disturbato	45	4.02	0.30

CONSIDERAZIONI ECOLOGICHE GENERALI

L'analisi dei profili verticali delle principali variabili chimico-fisiche della colonna d'acqua ha rivelato un contesto oceanografico caratterizzato da moderate condizioni di stratificazione termica e di salinità, evidenziate dalla presenza di un termo-aloclino situato a 2-6 m di profondità.

La modesta entità della stratificazione osservata non ha presumibilmente ostacolato gli scambi lungo la colonna d'acqua, comportando una modesta variabilità delle restanti variabili chimico-fisiche indagate. Tra queste, l'ossigeno disciolto (DO) e la torbidità occupano un ruolo di rilievo, rientrando tra gli elementi chiave che influenzano i recettori ambientali nelle acque marino-costiere. In particolare, le concentrazioni di DO hanno riflettuto una condizione di buona ossigenazione, con saturazioni percentuali che in superficie hanno indicato una lieve sovrasaturazione d'ossigeno, suggerendo possibili contributi fotosintetici. Le concentrazioni rilevate sono risultate sempre marcatamente superiori ai valori proposti da alcuni autori come soglia per uno stato di ipossia: 2 mL L⁻¹ (Diaz and Rosenberg, 1995; Wu, 2002) o 2 mg L⁻¹ (ovvero 1.4 mL L⁻¹ secondo Rabalais, et al., 1999; Justić, et al., 2003).

Una torbidità elevata e persistente, accompagnata da una un'eccessiva velocità di sedimentazione, può influire significativamente sugli ecosistemi bentonici, come evidenziato in diversi studi (e.g., Berry, et al., 2003). Tuttavia, i modesti valori di torbidità riscontrati suggeriscono una buona trasparenza nelle acque oggetto dello studio, indicando l'assenza di apporti terrigeni significativi e la stabilità delle condizioni meteo-oceanografiche durante il periodo di campionamento.

L'analisi della fluorescenza ha rivelato valori modesti, indicativi di concentrazioni di clorofilla-a situate nel range medio-basso. Questa osservazione si allinea con la fase invernale del ciclo fitoplanctonico nel Mare Adriatico settentrionale, caratterizzata da una limitata disponibilità di nutrienti e da un'attività fotosintetica ridotta (e.g., Mc Kinney, 2007).

Complessivamente, l'area di studio ha manifestato condizioni oceanografiche stabili, tipiche delle acque costiere nord-adriatiche nel periodo invernale (McKinney, 2007). La stazione di controllo posizionata a Nord dell'area di deponia ha registrato temperature e salinità superficiali lievemente inferiori rispetto alle altre stazioni, distinguendosi anche per valori medi di pH più bassi. Tale stazione ha inoltre mostrato torbidità e fluorescenza medie superiori rispetto alle stazioni nell'area di deponia e al controllo Sud. Tuttavia, la modesta entità di tali variazioni suggerisce l'assenza di differenze significative tra l'area di impatto e i siti di controllo.

Le analisi sul popolamento macrobentonico campionato nelle aree oggetto della presente indagine hanno rivelato, nel complesso, la presenza di una biocenosi di transizione caratterizzata da una comunità composta sia da specie sabulicole, tipiche delle biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC), che da specie prettamente fangofile, caratteristiche dei Fanghi Terrigeni Costieri (VTC).

Nel complesso, sono stati osservati elevati valori sia in termini di abbondanza che in termini di numero di specie e diversità in tutte le stazioni investigate; non sono state osservate specie indicatrici di rilevante stress ambientale o di interesse conservazionistico. Lo studio della struttura di comunità ha rivelato una condizione molto simile fra

le 5 stazioni, dominate principalmente da molluschi bivalvi e policheti. Il popolamento macrobentonico è risultato composto in prevalenza dai bivalvi *Macomangulus tenuis*, *Peronidia albicans*, *Anadara transversa* e *Chamelea gallina*; quest'ultima, specie di grande rilevanza commerciale e molto sensibile al disturbo (I gruppo), è risultata presente esclusivamente nella stazione di controllo C0-N_DT (biocenosi a SFBC). Altri organismi riscontrati con elevate percentuali di abbondanza sul totale sono stati i policheti *Aricidea* (*Acmira*) *assimilis*, *Aricidea* (*Aricidea*) *pseudoarticulata* e *Nephtys hombergii*.

Di rilevante importanza è stato il riconoscimento di specie indicatrici di arricchimento organico come il bivalve *Varicorbula gibba* e i policheti Capitellidi *Mediomastus capensis* e *Pseudoleiocapitella fauveli*. In particolare, *V. gibba* oltre ad essere considerata una specie indicatrice di arricchimento organico, è anche indicatrice di condizioni anossiche (Diaz & Rosenberg, 1995; Hrs-Brenko, 2006) e instabilità del sedimento (Pérès & Picard, 1964), ed è caratteristica dei Fanghi Terrigeni Costieri. Nel presente caso di studio, tuttavia, sebbene si segnali la presenza di tali specie in abbondanze più o meno considerevoli, si riscontrano condizioni ecologiche elevate. Questo è dovuto sia ad una sovrapposizione degli habitat (i.e., sedimenti caratterizzati da sabbia limosa o limo sabbioso) sia ad una elevata presenza dell'anfipode *Ampelisca sarsi*. Numerosi lavori (e.g., Occhipinti, et al., 2005), hanno infatti evidenziato come la competizione interspecifica tra il bivalve *V. gibba* e gli anfipodi del genere *Ampelisca* risulti particolarmente accentuata, trattandosi in entrambi i casi di organismi filtratori / depositivi. *A. sarsi*, attraverso la sua attività di bioturbazione, consente una rapida ossigenazione del sedimento, favorendo un incremento dei processi di nitrificazione (Sanders, et al., 2007). L'attività fossoria di questo crostaceo (bioturbazione del sedimento), quando presente con elevate abbondanze, tende a favorire un aumento della complessità dell'habitat, creando nicchie ecologiche per lo sviluppo e l'insediamento di altre specie più sensibili e intolleranti alle condizioni anossiche. Per tali ragioni, il genere *Ampelisca* è stato accreditato in diversi studi come "facilitatore" nella strutturazione della comunità e come bioindicatore di recupero ambientale (e.g., Gómez-Gesteira & Dauvin, 2000).

Il calcolo dell'indice AMBI ha fornito valori riconducibili ad un ambiente "leggermente disturbato" in tutte le stazioni, tranne che per la stazione di controllo C0-N_DT, nella quale l'ambiente è stato classificato come "indisturbato". Inoltre, il calcolo dell'indice M-AMBI ha permesso di attribuire a tutte le stazioni uno stato di qualità dell'ambiente marino "elevato".

In conclusione, tutte le stazioni di campionamento risultano godere di uno stato della qualità ecologica che ricade marcatamente al di sopra del limite Buono / Sufficiente, ai sensi della Direttiva 2000/60/EC e del D.M. 260/2010.

9.3.5 CARATTERISTICHE CHIMICO FISICHE

GRANULOMETRIA, T.O.C., pH e Potenziale di ossidoriduzione (ORP)

Le analisi granulometriche effettuate sui campioni di sedimento, hanno confermato una tessitura prevalentemente pelitica e pelitico-sabbiosa con tenori di sabbia compresi tra 11.9% e 37.9% (rilevato in un unico campione).

Il contenuto di silt varia tra 42.6% e 59.0%, mentre la frazione argillosa assume valori compresi tra 19.5% e 31.8%.

Le concentrazioni del Carbonio Organico Totale (TOC) sono risultate con valori compresi tra 0.21% e 0.78%.

I valori misurati di pH e ORP (potenziale di ossidoriduzione) espresso come Eh sono stati misurati in campo e riportati nel verbale che viene allegato alla presente relazione, sono comunque indicati anche all'interno della tabella qui di seguito inserita.

CARATTERISTICHE FISICHE	STAZIONI DI CAMPIONAMENTO				
	C0-N-DT	C5-DT	C4-DT	C3-DT	C0-S-DT
% Ghiaia (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
% Sabbia (%)	23,9	11,9	19,9	17,2	37,9
% Silt (%)	52,1	59	48,3	54,5	42,6
% Argilla (%)	24	29,1	31,8	28,3	19,5
Frazione grossolana (>63 um) (%)	23,9	11,9	19,9	17,2	37,9
Frazione <2,0 mm > 1,0 mm (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Frazione <1,0 mm > 0,5 mm (%)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Frazione 0,50 mm > 0,25 mm (%)	< 0.1	< 0.1	0,2	< 0.1	1,2
Frazione 0,25 mm > 0,20 mm (%)	0,3	0,1	1,4	< 0.1	4,1
Frazione 0,20 mm > 0,125 mm (%)	4,8	2,5	8,5	2,6	14,3
Frazione 0,125 mm > 0,063 mm (%)	18,8	9,3	9,8	14,6	18,3
Frazione pelitica (<63 um) (%)	76,1	88,1	80,1	82,8	62,1
Umidità (da calcolo) (%)	34,8	39,2	50,7	38,5	24,9
Peso specifico (Kg/dm ³)	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9
pH	8.17	7.72	8.17	8.16	8.11
O.R.P. (eH) (mV)	-73.7	-62.4	-69.2	-60.8	-61.3

Tabella 22 – Principali frazioni granulometriche, potenziale di ossidoriduzione e pH e caratteristiche fisiche

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Sono di seguito riportate le fotografie dei campioni prelevati.

Maggiori informazioni e la descrizione del campione al momento del prelievo sono contenute nelle schede di campionamento riportate all'ALLEGATO 2 di questo report.

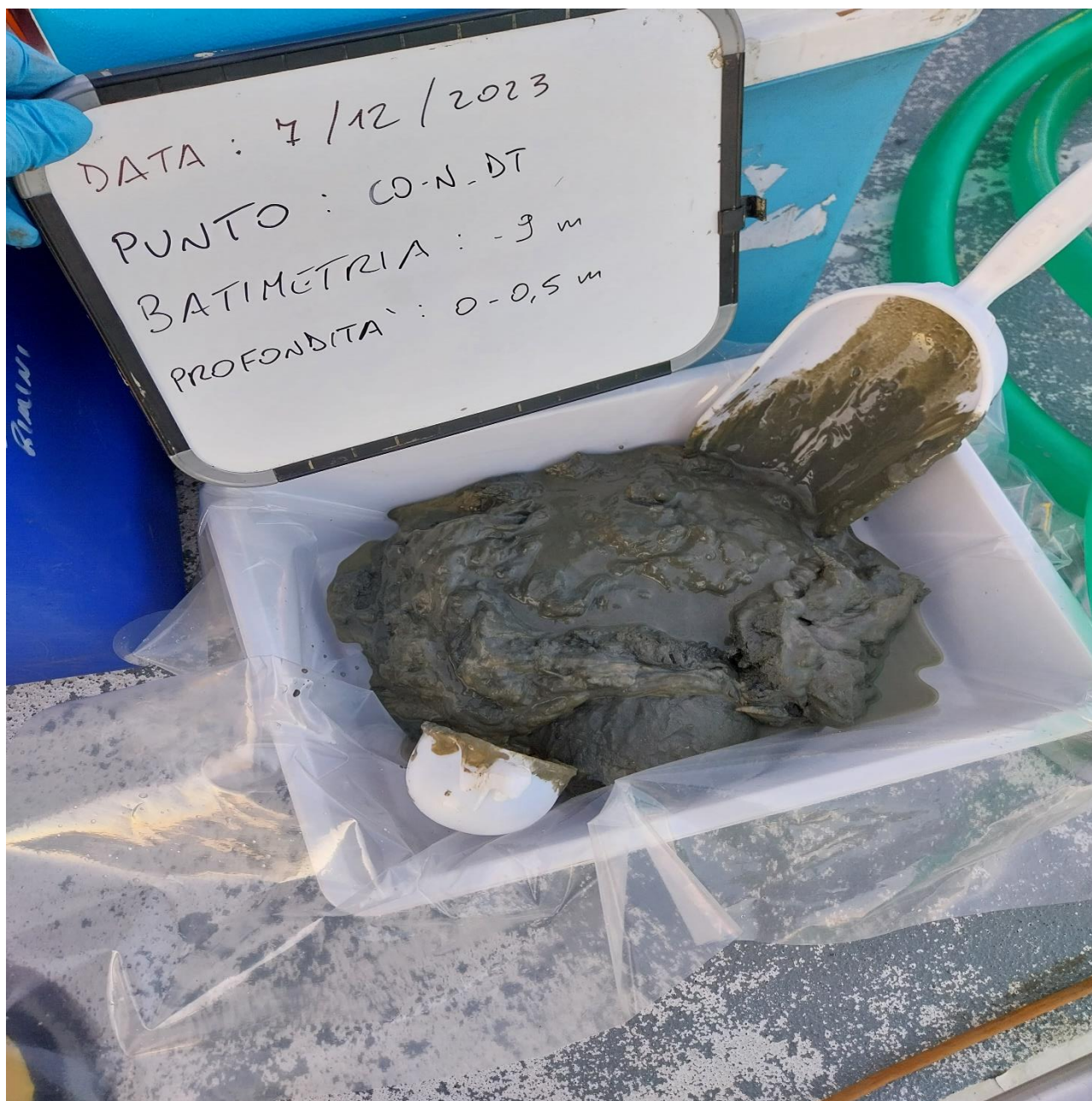


Figura 38. Foto campione CO-N-DT



Figura 39. Foto campione CO-S-DT

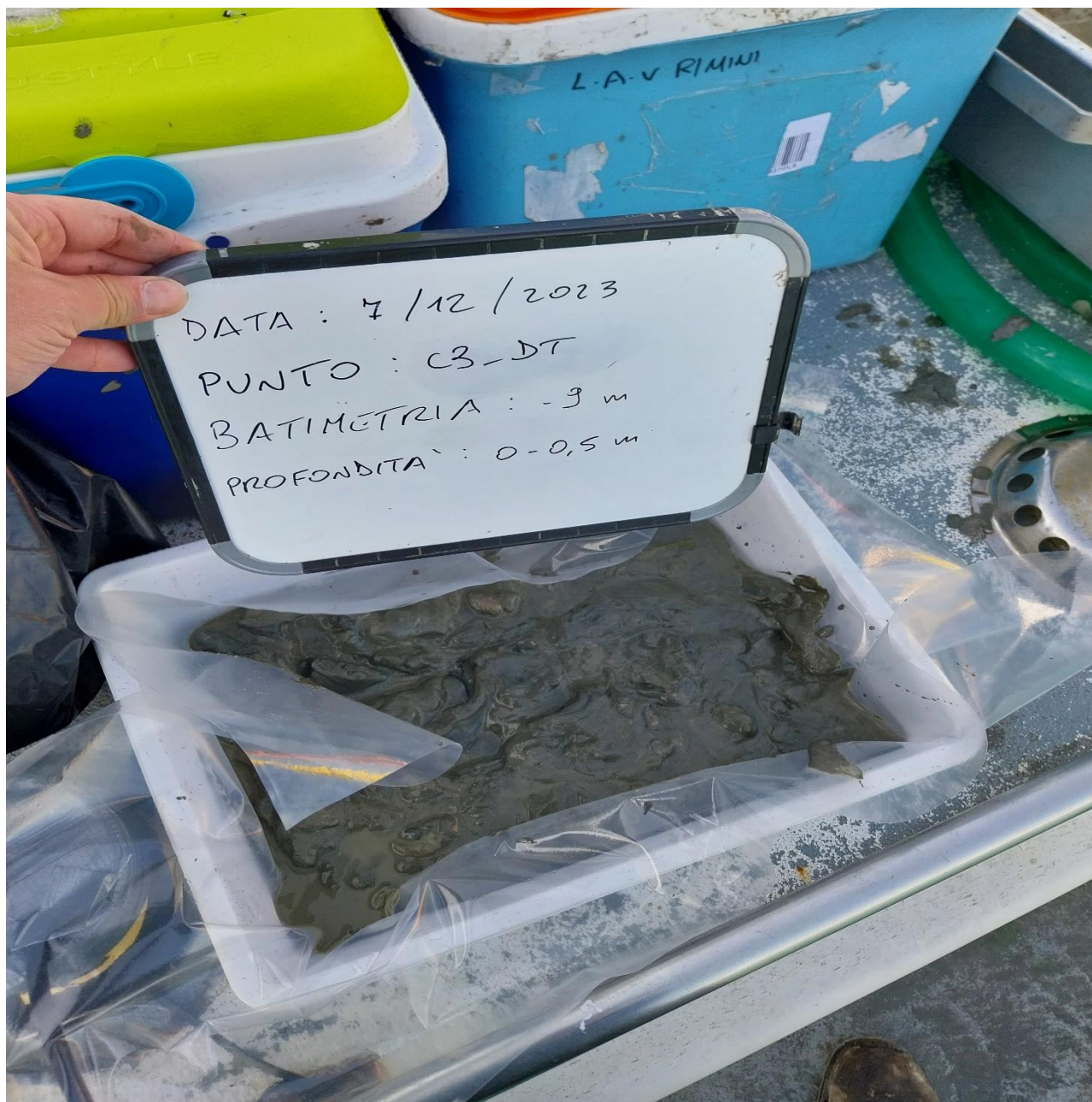


Figura 40. Foto campione C3-DT

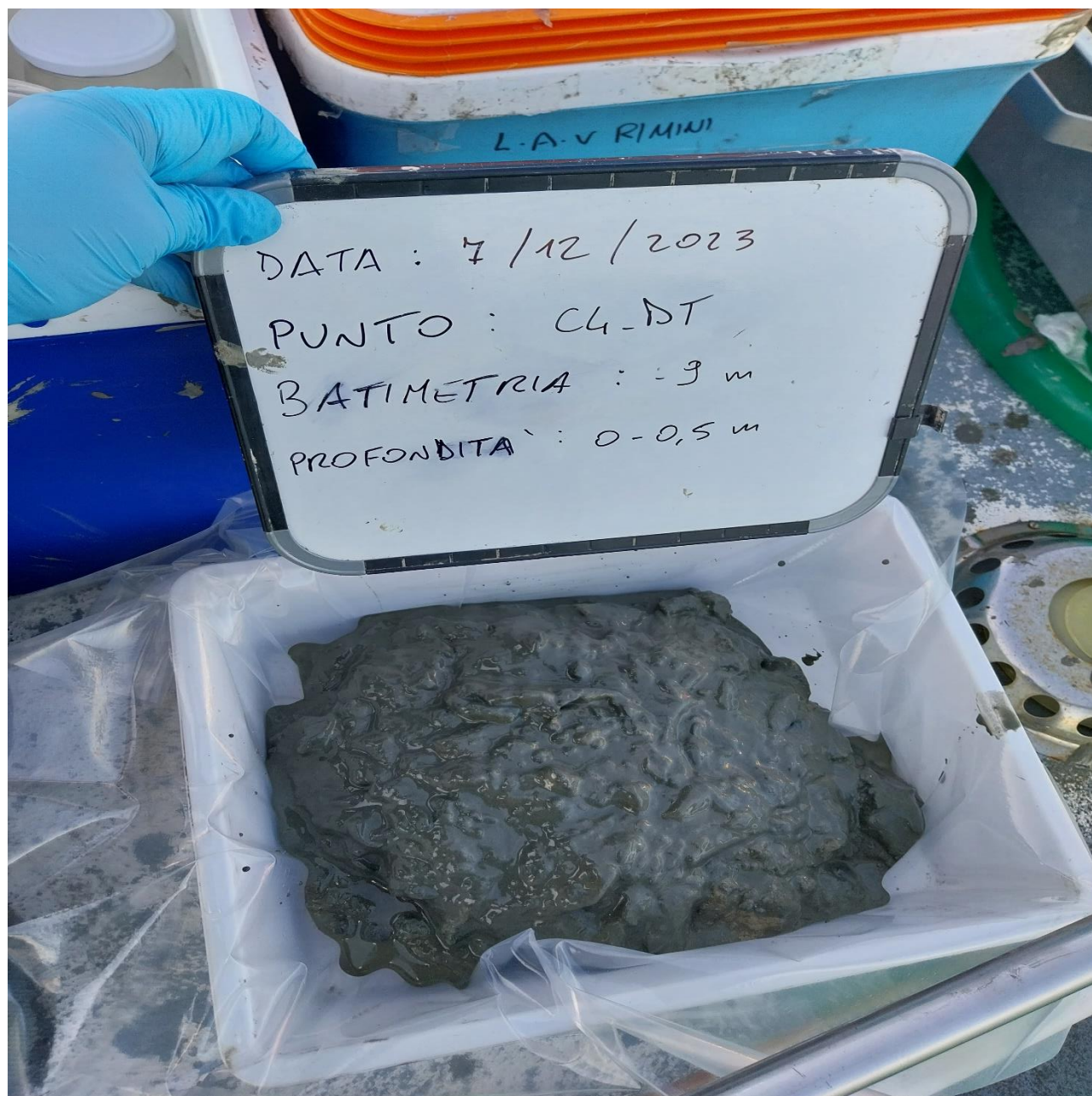


Figura 41. Foto campione C4-DT

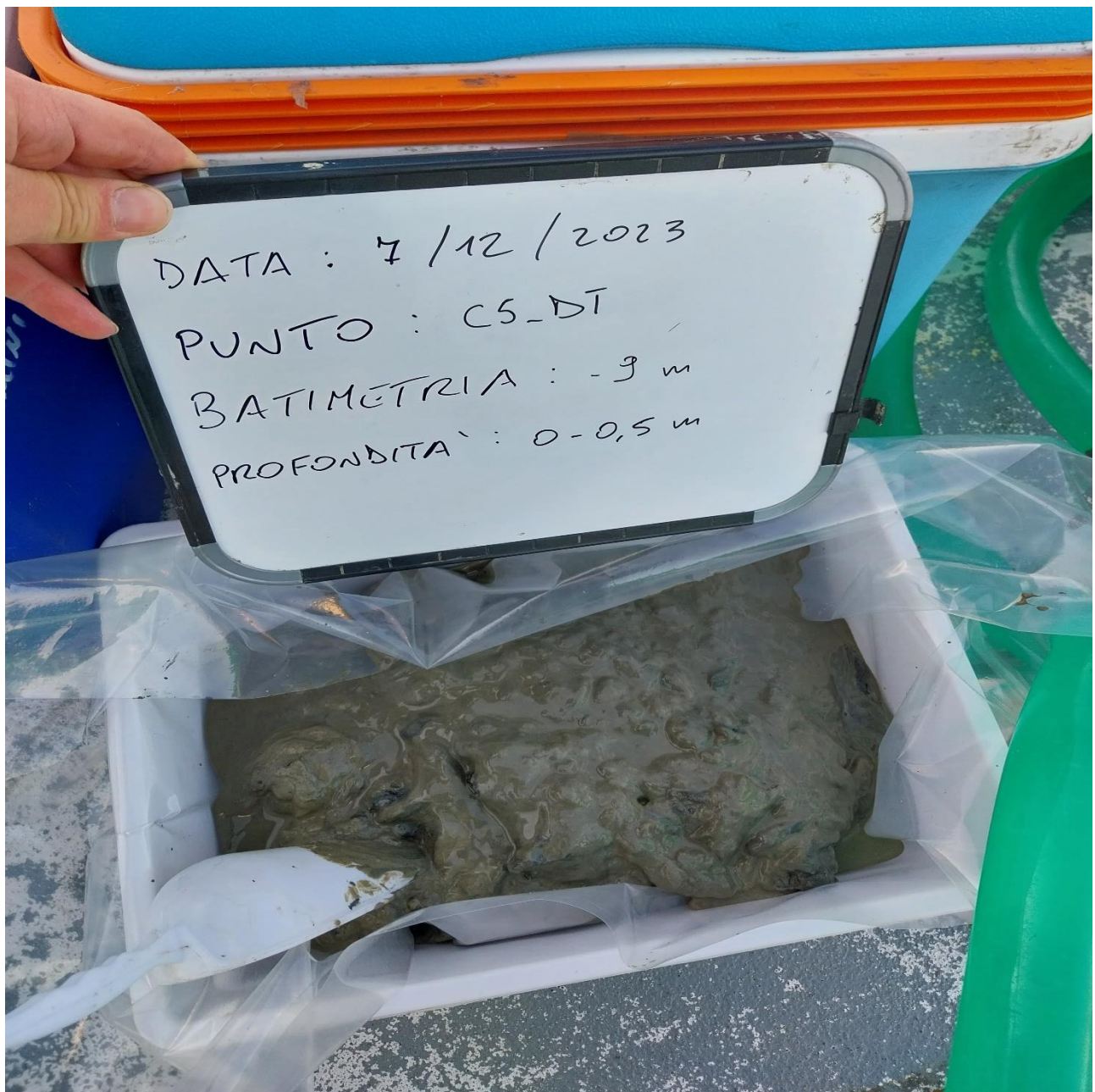


Figura 42. Foto campione C5-DT

METALLI

Le concentrazioni di tutti i metalli ricercati, nei vari livelli indagati, sono risultati inferiori ai limiti L1 previsti dal DM 173/2016 (fig.1), solo il Nichel ed il Cromo totale mostrano per tutti i campioni analizzati concentrazioni comprese tra il limite L1 ed il limite L2.

PARAMETRO	L1	L2
Elementi in tracce	[mg kg⁻¹] p.s.	
Arsenico	12	20
Cadmio	0,3	0,80
Cromo	50	150
Rame	40	52
Mercurio	0,3	0,80
Nichel	30	75
Piombo	30	70
Zinco	100	150
Contaminanti organici	[µg kg⁻¹] p.s.	
Composti organostannici	5 ⁽¹⁾	72 ⁽²⁾
Σ PCB ⁽³⁾	8	60
Σ DDD ⁽⁴⁾	0,8	7,8
Σ DDE ⁽⁴⁾	1,8	3,7
Σ DDT ⁽⁴⁾	1,0	4,8
Clordano	2,3	4,8
Aldrin	0,2	10 ⁷
Dieldrin	0,7	4,3
Endrin	2,7	10
α-HCH	0,2	10 ⁷
β-HCH	0,2	10 ⁷
γ-HCH (Lindano)	0,2	1,0
Eptacloro epossido	0,6	2,7
HCB	0,4	50 ⁷
Σ IPA(16) ⁽⁵⁾	900	4000
Antracene	24	245
Benzo[a]antracene	75	500
Benzo[a]pirene	30	100
Benzo[b]fluorantene	40	500 ⁷
Benzo[k]fluorantene	20	500 ⁷
Benzo[g,h,i]perilene	55	100 ⁷
Crisene	108	846
Indenopirene	70	100 ⁷
Fenantrene	87	544
Fluorene	21	144
Fluorantene	110	1494
Naftalene	35	391
Pirene	153	1398

Note: 1) Riferito al solo TBT; 2) Riferito alla sommatoria MBT, DBT, TBT; 3) Come sommatoria dei congeneri: 28, 52, 77, 81, 101, 118, 126, 128, 138, 153, 156, 169, 180; 4) Come sommatoria degli isomeri 2,4- e 4,4-; 5) Come sommatoria dei 16 IPA di maggiore rilevanza ambientale indicati da USEPA; 7) Concentrazione valida solo per attività di ripascimento emerso.

Figura 43. Livelli chimici di riferimento nazionali (Tabella 2.5 Allegato Tecnico D.M. 173/2016)

In particolare, il Cromo con valori sempre compresi tra il limite L1 ed il limite L2 con concentrazioni comprese tra 33.0 e 59.0 (mg/kg.p.s.), mentre il Nichel con valori compresi tra 34.4 e 50.1 (mg/kg.p.s.).

L'Arsenico (As) sempre inferiore al limite L1(12mg/kg.s.s.) con valori compresi tra 5.3 e 7.7 mg/kg.s.s.

Il Cadmio (Cd) sempre inferiore al limite L1 (0.3 mg/kg.s.s.) con concentrazioni comprese tra 0,099 mg/kg.s.s. e 0.16 mg/kg.s.s..

Il Mercurio (Hg) sempre inferiore al limite L1 (0.3 mg/kg.s.s.) con concentrazioni comprese tra 0.032 mg/kg.s.s. e 0.087 mg/kg.s.s..

Il Piombo (Pb) sempre inferiore al limite L1 (30 mg/kg.s.s.) con concentrazioni comprese tra 9.3 mg/kg.s.s. e 16.0 mg/kg.s.s.

Il Rame (Cu) sempre inferiore al limite L1 (40 mg/kg.s.s.) con concentrazioni comprese tra 15.0 mg/kg.s.s. e 28.0 mg/kg.s.s.

Lo Zinco (Zn) sempre inferiore al limite L1 (100 mg/kg.s.s.) con concentrazioni comprese tra 49.0 mg/kg.s.s. e 73.0 mg/kg.s.s.

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (I.P.A.)

Per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici, la quasi totalità dei campioni ha dato concentrazioni inferiori ai limiti stabiliti dal D.M. 173/2016.

A livello di sommatoria dei 16 IPA di maggiore rilevanza ambientale il valore ottenuto per tutti i campioni risulta inferiore al limite L1 previsto.

Policlorobifenili (P.C.B.)

I Policlorobifenili (PCB) nella loro sommatoria, sono risultati con concentrazioni molto basse, inferiori al limite di rilevabilità e quindi anche al di sotto del limite L1 (8µg/kg s.s.).

9.3.6 ANALISI CHIMICO FISICHE INTEGRATIVE COME DA TABELLA 8.2 DEL PMA

In aggiunta alle analisi previste dal DM 173/2016 nei siti di campionamento sono state presi in considerazione anche gli analiti previsti dalla Tabella 8-2 del PMA rev5, eseguibili nella matrice dei sedimenti.

I risultati delle analisi eseguite sui cinque campioni sono riportate nella tabella qui di seguito riportata.

ANALISI	STAZIONI DI CAMPIONAMENTO				
	CO-N-DT	C5-DT	C4-DT	C3-DT	CO-S-DT
Umidità (da calcolo) (%)	34,8	39,2	50,7	38,5	24,9
Peso specifico (Kg/dm ³)	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9
Azoto totale (% s.s.)	< 0.1	< 0.1	0,12	< 0.1	< 0.1
Fosforo totale (mg/Kg s.s.)	479	488	496	524	441
Alluminio (mg/Kg s.s.)	18800	15300	16800	18500	12600
Benzo(j)fluorantene (µg/Kg s.s.)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Esaclorobutadiene (µg/Kg s.s.)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Alaclor (µg/Kg s.s.)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Clorfenvinfos (µg/Kg s.s.)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Clorpirifos (µg/Kg s.s.)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Endosulfan (alfa) (µg/Kg s.s.)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Endosulfan (beta) (µg/Kg s.s.)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
2,3,3',4,4'-Pentaclorobifenile (PCB 105) (µg/Kg s.s.)	0,135	0,296	0,215	0,199	0,0682
2,3,4,4',5-Pentaclorobifenile (PCB 114) (µg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
2,3',4,4',5'-Pentaclorobifenile (PCB 123) (µg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
2,3,3',4,4',5'-Esaclorobifenile (PCB 157) (µg/Kg s.s.)	0,0135	< 0.01	0,0171	< 0.01	< 0.01
2,3',4,4',5,5'-Esaclorobifenile (PCB 167) (µg/Kg s.s.)	0,0255	0,0987	0,028	< 0.01	0,0152
2,2',3,3',4,4',5-Eptaclorobifenile (PCB 170) (µg/Kg s.s.)	0,114	0,296	0,174	0,199	0,0575
2,2',3,4,4',5,5'-Eptaclorobifenile (PCB 180) (µg/Kg s.s.)	0,25	0,592	0,422	0,497	0,122
2,3,3',4,4',5,5'-Eptaclorobifenile (PCB 189) (µg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
2,4,6-Triclorofenolo (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
2,4-Diclorofenolo (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Pentaclorofenolo (mg/Kg s.s.)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005

ANALISI	STAZIONI DI CAMPIONAMENTO				
	CO-N-DT	C5-DT	C4-DT	C3-DT	CO-S-DT
4-Cloro-3-metilfenolo (mg/Kg)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Triclorometano (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Tetracloruro di carbonio (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Bromodiclorometano (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Dibromoclorometano (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Tribromometano (mg/Kg s.s.)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

9.3.7 CARATTERISTICHE ECOTOSSICOLOGICHE

SAGGIO BIOLOGICO CON VIBRIO FISCHERI IN FASE SOLIDA

Vibrio fischeri (*Aliivibrio fischeri*) è un batterio marino Gram-negativo ed eterotrofo, appartenente alla famiglia delle Vibrionaceae. È una specie cosmopolita, ma con maggior diffusione nelle fasce temperate e subtropicali.

Il sistema Microtox® è un test biologico di tossicità acuta basato sulla misura della bioluminescenza naturale di questa specie. Poiché in presenza di contaminanti l'emissione di luce da parte di *V. fischeri* diminuisce, l'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 della sostanza o della matrice testata.

Il sistema di misura risulta piuttosto versatile in quanto è applicabile a matrici naturali, in particolare acquose (acqua interstiziale, elutriato, ecc.) e solide (fanghi, sedimenti), nonché a soluzioni acquose di sostanze tossiche pure sia organiche che inorganiche.

Questo saggio è stato applicato entro 7 giorni dal campionamento direttamente alla fase solida, preparata per semplice centrifugazione refrigerata (1200xg a 4°C per 30'), eliminando successivamente l'acqua interstiziale come sovranatante.

Il metodo utilizzato è riconducibile al protocollo standard ISO 11348 (2006). In particolare, ai campioni di sedimento centrifugato è stato applicato il protocollo Solid Phase Test (SPT) con la procedura Large Sample Method (Azur Environmental, 1995) organizzato con 9-12 diluizioni e 3 controlli a seconda della granulometria del campione. Il test prevede una prima esposizione di 20 minuti durante i quali i batteri si trovano a diretto contatto con il sedimento ed una seconda fase di ulteriori 10 minuti in cui la risospensione batterica viene incubata nel luminometro.

Poiché il test in fase solida viene effettivamente applicato sulla frazione granulometrica < 1 mm e poiché la componente naturale della tossicità è funzione della frazione pelitica, l'analisi granulometrica è stata necessaria per la valutazione del reale livello di tossicità acuta. L'emissione della bioluminescenza è stata misurata all'interno del luminometro M500, dotato di pozzetti termostatati a 15 °C per i controlli e i campioni, e a 4°C per il reagente. La relazione dose risposta, ovvero concentrazione del campione-inibizione della bioluminescenza, è stata elaborata mediante il software dedicato (Microtox Omni™ v. 1.16).

SAGGIO BIOLOGICO CON PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM

In accordo con il protocollo standard US EPA (1991) per l'esecuzione dei saggi in fase liquida, l'elutriato è stato preparato entro 14 giorni dalla data di campionamento. Così come indicato nel protocollo (US EPA 1991), quattro parti di acqua di mare filtrata sono state combinate in peso con una parte di sedimento; dopo agitazione per 1 h a 400 giri/min, la fase liquida è stata raccolta e centrifugata per 20 min a 1200xg.

Sub-campioni di surnatante sono stati congelati e utilizzati nei vari test, in modo da impiegare sempre lo stesso campione nel corso dei vari esperimenti. Il congelamento, infatti, non altera in modo significativo le caratteristiche dei nutrienti (NO_3 e PO_4) della fase liquida (Clementson e Wayte, 1992) e non determina differenze significative

tra la tossicità di campioni di matrici acquose appena estratte o congelate (Carr e Chapman, 1995). Il congelamento è pertanto un passaggio indispensabile per garantire la confrontabilità fra i dati sperimentali, in quanto permette di stoccare adeguatamente i sub-campioni rendendoli disponibili per la ripetizione del saggio in periodi diversi.

La metodica del saggio algale è stata aggiornata nella norma UNI ISO 10253 (2006) che prevede l'utilizzo di *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, o *Skeletonema costatum*.

Entrambe le alghe possono essere impiegate utilizzando tale protocollo per saggi con elutriati, estratti da sedimento intero, con acqua sovranatante o interstiziale. Per i campioni in esame, il saggio biologico è stato eseguito con *P. tricornutum*.

Il principio del test consiste nell'esporre una coltura algale pura in fase di crescita esponenziale per diverse generazioni a concentrazioni note di campione, in condizioni fisico-chimiche standardizzate e con un definito e omogeneo apporto di nutrienti. Al termine del periodo d'incubazione viene confrontata la crescita algale nel campione con quella del controllo.

Le colture cellulari madri sono state mantenute in opportuno mezzo di crescita con periodici rinnovi per mantenerle nella fase di crescita esponenziale. A partire dalla coltura madre, una precoltura con una densità cellulare compresa tra 2×10^3 e 10^4 cells/ml è stata preparata 2-4 giorni prima dell'inizio del test ed incubata alle stesse condizioni previste per il test.

La densità cellulare raggiunta dalla precoltura è stata poi valutata immediatamente prima dell'utilizzo, per la preparazione della coltura di inoculo a densità cellulare definita.

L'elutriato ottenuto da ciascun campione di sedimento è stato testato tal quale. Un'aliquota della coltura di inoculo è stata quindi addizionata alla soluzione test (elutriato puro) insieme ad una appropriata quantità di mezzo di coltura concentrato.

La soluzione così ottenuta, con una densità cellulare compresa tra 8×10^3 e 1.2×10^4 cells/ml, è stata distribuita in triplice replica in piastre monouso sterili a 6 pozzetti (Environment Canada, 1992) e posta per 72h in camera termostatica a $20 \pm 2^\circ\text{C}$, con regime di illuminazione continua del tipo cool white e con una intensità compresa tra 7.000 e 8.000 lux.

Acqua di mare naturale filtrata, è stata considerata come controllo negativo. In contemporanea, un controllo positivo è stato effettuato utilizzando bicromato di potassio ($K_2Cr_2O_7$) come tossico di riferimento per controllare la procedura e la sensibilità del test.

Al termine del prefissato periodo di incubazione è stata determinata la crescita algale di ogni replicato, attraverso letture al microscopio ottico.

SAGGIO BIOLOGICO CON ACARTIA TONSA

Per il saggio biologico con *Acartia tonsa* è stato seguito il protocollo UNICHIM M.U. 2366.

Per l'esecuzione dei saggi in fase liquida l'elutriato è stato preparato entro 10 giorni dalla data di campionamento del sedimento tal quale conservato a 4 °C al buio e a -20 °C quando non saggiato entro le 24 ore.

La preparazione è avvenuta utilizzando quattro parti di acqua di mare filtrata combinate in peso con una parte di sedimento; dopo agitazione per 1 h a 400 giri/min, la fase liquida è stata raccolta e centrifugata per 20 min a 1200g.

Sub-campioni di surnatante sono stati congelati e utilizzati nei vari test, in modo da impiegare sempre lo stesso campione nel corso dei vari esperimenti. Il congelamento, infatti, non altera in modo significativo le caratteristiche dei nutrienti (NO₃ e PO₄) della fase liquida (Clementson e Wayte, 1992) e non determina differenze significative tra la tossicità di campioni di matrici acquose appena estratte o congelate (Carr e Chapman, 1995). Il congelamento è pertanto un passaggio indispensabile per garantire la confrontabilità fra i dati sperimentali, in quanto permette di stoccare adeguatamente i sub-campioni rendendoli disponibili per la ripetizione del saggio in periodi diversi.

Il test di embriotossicità è stato condotto con copepode marino *Acartia tonsa* (reperibile tutto l'anno e particolarmente disponibile in ambiente in marzo/aprile e ottobre/novembre in Alto Adriatico) e la matrice sottoposta alla valutazione ecotossicologica è stata l'elutriato testato tal quale (100%), preparato come già descritto precedentemente.

Gli organismi vengono collocati all'interno di una camera termostata, gli esemplari scelti vengono posti in acquari di vetro contenenti acqua di mare dotati di un sistema di areazione e di filtraggio. Periodicamente vengono controllati temperatura ($16 \pm 2^\circ\text{C}$), salinità (33‰ - 36‰), pH (7,8 - 8,2), ammoniaca e nitrati. In questo modo sono mantenuti in condizioni stabili.

La fase vera e propria del test consiste nell'ottenere gli zigoti attraverso l'unione della sospensione spermatica (concentrazione desiderata) con la sospensione di uova in un rapporto spermatozoi: uova di 10:1. Il saggio di embriotossicità viene eseguito esponendo una concentrazione fissa di uova fecondate alla soluzione test in cella termostatica al buio, a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ per 48h, al fine di garantire che tutti gli zigoti raggiungano lo stadio di larva nel controllo negativo.

Oltre ai campioni e al controllo negativo, viene allestito un controllo positivo con un tossico di riferimento (nitrato di rame) per controllare la sensibilità dell'organismo test. I campioni e il controllo positivo sono allestiti in 3 repliche, il controllo negativo in 6 repliche. Dopo il tempo di esposizione previsto il test viene fermato con fissativo di Lugol ed etanolo. La stima della percentuale di larve normali avviene contando 100 larve. L'effetto tossico del campione viene determinato dalla percentuale di embrioni malformati rispetto a un controllo di acqua di mare applicando la correzione di Abbott (ASTM, 1995). Il test viene considerato valido se la percentuale di larve normo formate nel controllo è superiore all' 80% del totale degli embrioni contati.

La misura dei livelli di concentrazione dell'ammonio è stata eseguita su tutti gli elutriati testati in quanto tale composto potrebbe interferire significativamente con la corretta esecuzione del saggio di embriotossicità: tale

ipotesi è attualmente oggetto di indagine in una ricerca congiunta tra ISPRA, ARPA Marche e Università Politecnica delle Marche sui sedimenti del porto di Ancona.

Per ogni campione di elutriato, un'aliquota di 4 mL è stata pretrattata per l'abbattimento dei cloruri, specie chimica che interferisce con l'analisi dell'ammonio, mediante uno specifico kit (Hach-Lange LCW 925) che ne prevede la precipitazione sotto forma di sali di argento, fino ad un massimo di 20000 mg/L con l'utilizzo di una siringa precaricata dei reattivi necessari consente di trattenere il precipitato al suo interno, separandolo dalla soluzione campione.

9.3.8 CLASSIFICAZIONE DELLA QUALITÀ DEI SEDIMENTI

I risultati analitici ottenuti per i sedimenti sono stati elaborati mediante il software SediQualsoft 109.0®, applicando i criteri di integrazione ponderata che sono stati recepiti dal DM n. 173 del 15 luglio 2016 “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”. La successiva integrazione con i risultati ecotossicologici ha permesso di determinare la classificazione della qualità dei sedimenti mediante la procedura descritta nell'allegato tecnico del DM 173/2016.

CLASSI DI PERICOLO CHIMICO

I criteri di integrazione ponderata elaborano un indice di pericolo chimico complessivo basato sul confronto tra le concentrazioni delle sostanze misurate nei sedimenti ed i riferimenti normativi nazionali L1 e L2 (DM 173/2016), che valuta il numero dei contaminanti che eccedono tali riferimenti, la pericolosità di tali parametri, e l'entità dei superamenti misurati. Viene dunque abbandonata la logica del mero superamento del valore tabellare, anche minimo e da parte di un unico parametro, come principio fondamentale per la classificazione chimica.

Tutti i parametri chimici di cui è prevista l'analisi, hanno un “peso” (da 1 a 1.3) a seconda che non siano contemplati dalla Direttiva 2013/39/UE (peso 1), o che al contrario siano inseriti nella lista delle sostanze “prioritarie” (peso 1.1) o in quella delle sostanze “pericolose e prioritarie” (peso 1.3). Il diverso peso assegnato ai vari composti ha lo scopo di conferire una maggiore rilevanza nella classificazione chimica dei sedimenti alla variazione di quegli inquinanti che siano caratterizzati da una più elevata tossicità, tendenza al bioaccumulo e persistenza nell'ambiente (Piva et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

L'elaborazione dei dati chimici inizia con il confronto delle concentrazioni misurate per ciascun parametro rispetto ai valori indicati nei riferimenti normativi. In funzione del riferimento, per ciascun parametro chimico analizzato, viene calcolata la variazione rispetto al limite, ovvero il Ratio To Reference (RTR) (equazione 3 del flow-chart di Figura 34); il valore di RTR viene corretto in funzione del “peso” del contaminante per ottenere un valore di RTRw (equazione 4), al fine di enfatizzare l'importanza

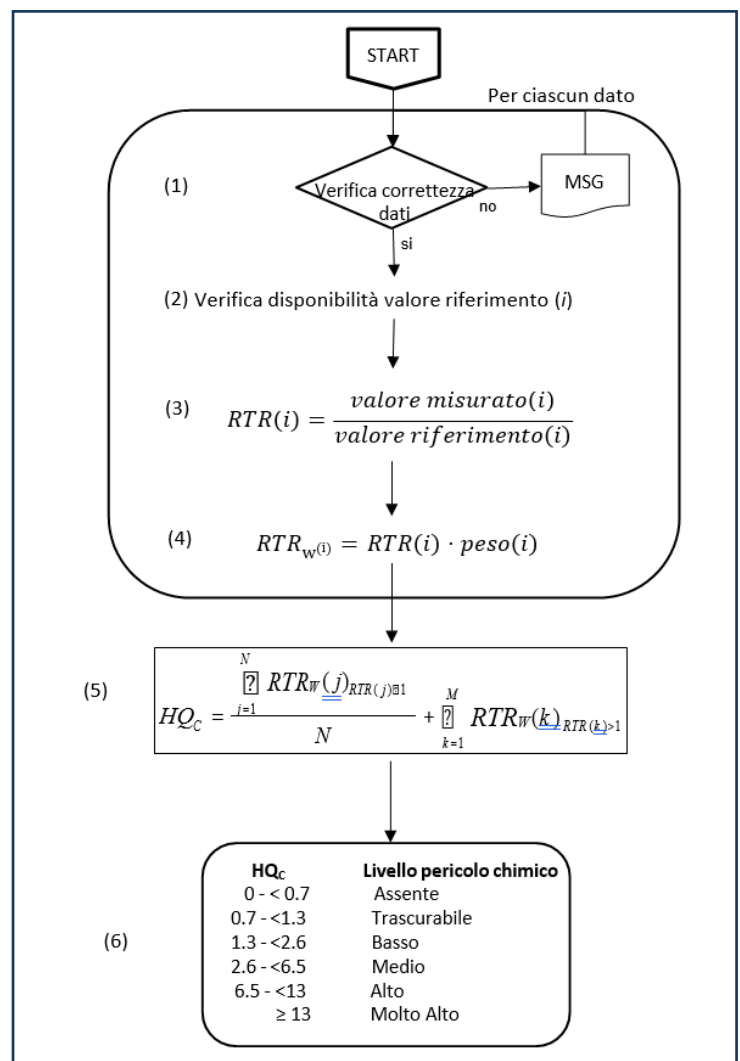


Figura 44. Processo di elaborazione dei dati chimici

delle variazioni osservate per i contaminanti più pericolosi. Il calcolo dell'indice di pericolo quantitativo (Hazard Quotient), specifico per la caratterizzazione chimica dei sedimenti (HQC), è ottenuto dalla media di tutti gli RTRw dei parametri con $RTR \leq 1$ (cioè valori inferiori rispetto al limite del riferimento), addizionato con la sommatoria Σ degli RTRw di tutti i contaminanti con $RTR > 1$ (equazione 5), dove N e M sono il numero dei parametri con RTR rispettivamente $\leq$ o > 1 , mentre j e k sono indici che permettono di ripetere il calcolo per N o M volte (Piva et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

L'indice chimico HQC è assegnato ad una classe di pericolo (da assente a molto alto), identificata da un diverso colore: Assente/bianco se $HQC < 0.7$; Trascurabile/verde se $0.7 \geq HQC < 1.3$; Basso/azzurro se $1.3 \geq HQC < 2.6$; Medio/giallo se $2.6 \geq HQC < 6.5$; Alto/rosso se $6.5 \geq HQC < 13$; Molto Alto/nero se $HQC \geq 13$ (equazione 6).

CLASSI DI PERICOLO CHIMICO RISPETTO AI VALORI DI HQc	
HQc	CLASSE DI PERICOLO
0 - < 0.7	ASSENTE
0.7 - < 1.3	TRASCURABILE
1.3 - < 2.6	BASSO
2.6 - < 6.5	MEDIO
6.5 - < 13.0	ALTO
≥ 13.0	MOLTO ALTO

Tabella 23 – Classi di pericolo chimico rispetto ai valori HQc

Di seguito tabelle scaturite dalla elaborazione mediante software SediQualsoft 109.0 del pericolo chimico dei livelli superficiali dei campioni oggetto di caratterizzazione.

AREA DEPOSITO TEMPORANEO								
Campione	L1	L2	HQ (L1)	Max % contr a HQ (L1)	N. param. non conformi (L1)	HQ (L2)	Max % contr a HQ (L2)	N. param. non conformi (L2)
C3-DT/000-050	BASSO	ASSENTE	1.37	100 - Ni	1	0.07		0
C4-DT/000-050	MEDIO	ASSENTE	3.74	51.7 - Somma DDT	2	0.13		0
C5-DT/000-050	MEDIO	ASSENTE	3.17	60.3 - Ni	2	0.12		0
CO-N-DT/000-050	MEDIO	ASSENTE	3.67	53.3 - Ni	2	0.12		0
CO-S-DT/000-050	BASSO	ASSENTE	2.08	100 - Ni	1	0.12		0

Tabella 24 – Elaborazione Sediqualsoft109.0 del rischio chimico L1/L2 dei campioni

Caratterizzazione chimica

HQ

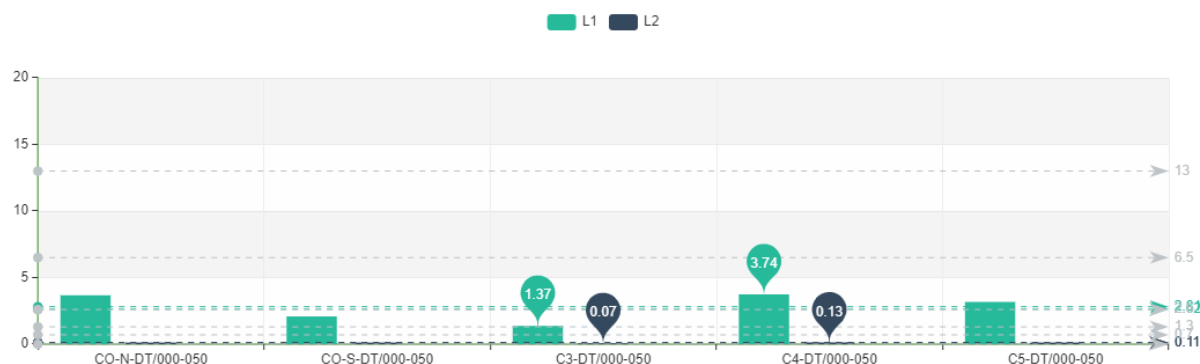
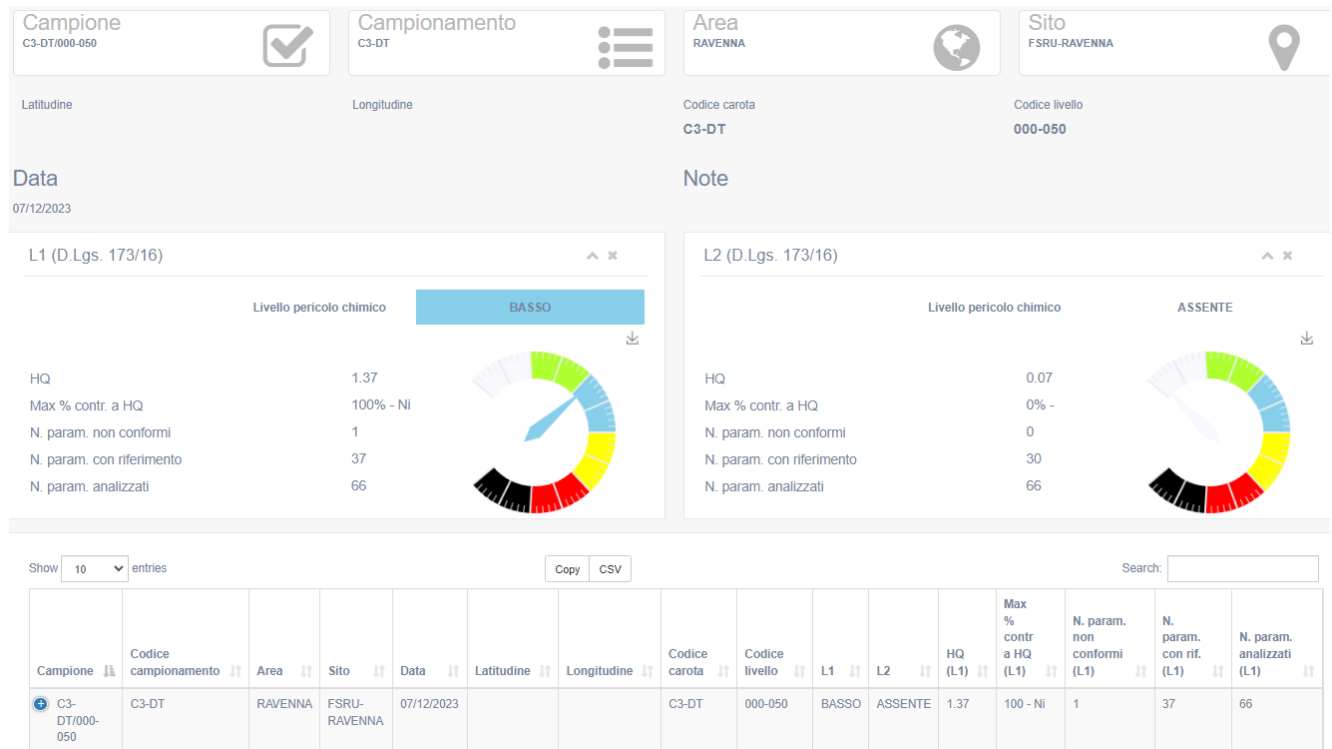


Figura 45. Elaborazione Sediqualsoft109.0 del rischio chimico L1/L2 dei campioni

Nelle immagini successive sono stati riportati i dati scaturiti dalla elaborazione mediante software SediQualSoft 109.0 del pericolo chimico di tutti i campioni (livelli superficiali e livelli profondi) delle aree oggetto di caratterizzazione.

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA


 Show 10 entries

Copy CSV

Search:

Campione	Codice campionamento	Area	Sito	Data	Latitudine	Longitudine	Codice carota	Codice livello	L1	L2	HQ (L1)	Max % contr a HQ (L1)	N. param. non conformi (L1)	N. param. con rif. (L1)	N. param. analizzati (L1)
C3-DT/000-050	C3-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023			C3-DT	000-050	BASSO	ASSENTE	1.37	100 - Ni	1	37	66

Figura 46. Elaborazione del rischio chimico campione C3-DT/000-050


 Show 10 entries

Copy CSV

Search:

Campione	Codice campionamento	Area	Sito	Data	Latitudine	Longitudine	Codice carota	Codice livello	L1	L2	HQ (L1)	Max % contr a HQ (L1)	N. param. non conformi (L1)	N. param. con rif. (L1)	N. param. analizzati (L1)
C4-DT/000-050	C4-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023			C4-DT	000-050	MEDIO	ASSENTE	3.74	51.7 - Somma_DDT	2	37	66

Figura 47. Elaborazione del rischio chimico campione C4-DT/000-050

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA


 Show 10 entries

Copy CSV

Search:

Campione	Codice campionamento	Area	Sito	Data	Latitudine	Longitudine	Codice carota	Codice livello	L1	L2	HQ (L1)	Max % contr a HQ (L1)	N. param. non conformi (L1)	N. param. con rif. (L1)	N. param. analizzati (L1)
C5-DT/000-050	C5-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023			C5-DT	000-050	MEDIO	ASSENTE	3.17	60.3 - Ni	2	37	66

Figura 48. Elaborazione del rischio chimico campione C5-DT/000-050


 Show 10 entries

Copy CSV

Search:

Campione	Codice campionamento	Area	Sito	Data	Latitudine	Longitudine	Codice carota	Codice livello	L1	L2	HQ (L1)	Max % contr a HQ (L1)	N. param. non conformi (L1)	N. param. con rif. (L1)	N. param. analizzati (L1)
CO-N-DT/000-050	CO-N-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023			CO-N-DT	000-050	MEDIO	ASSENTE	3.67	53.3 - Ni	2	37	66

Figura 49. Elaborazione del rischio chimico campione CO-N-DT/000-050

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA



CLASSI DI PERICOLO ECOTOSSICOLOGICO

L'elaborazione dei risultati ecotossicologici dei sedimenti è stata effettuata applicando i criteri di integrazione ponderata che sono stati recepiti dal D.M. n. 173 del 15 luglio 2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini".

Tali criteri considerano aspetti importanti e caratteristiche specifiche dei singoli saggi biologici utilizzati nella batteria, tra cui la rilevanza tossicologica della risposta biologica misurata, l'entità e la significatività statistica della differenza di effetto tra campione e controllo, la sensibilità della specie testata, la tipologia di esposizione (acuta o cronica) e la matrice testata. In questo senso, per ciascuno dei saggi previsti nelle diverse tipologie di batterie è prevista una "soglia" di effetto che rappresenta la variazione minima ritenuta biologicamente significativa per ciascuna condizione sperimentale, e dei "pesi" che vengono attribuiti a ciascun saggio in funzione della rilevanza biologica dell'end-point misurato, della durata dell'esposizione, della matrice testata (Piva et al., 2011; Benedetti et al., 2012).

Vengono di seguito descritti i passaggi e le procedure di calcolo per l'integrazione dei risultati e la formulazione del giudizio di tossicità di cui è riportato uno schema complessivo nella tabella III.

- ✓ Dopo la verifica dei dati, per ciascun saggio biologico viene calcolato l'effetto (E_i), inteso come variazione percentuale dell'endpoint misurato, compensato tramite la correzione di Abbott rispetto alle variazioni osservate nel controllo (equazione 2 del flow chart di Figura 34);
- ✓ L'effetto E_i viene corretto in base alla significatività statistica della variazione rispetto ai controlli, applicando il coefficiente Z (punto 3).
- ✓ Questa correzione riduce progressivamente il peso complessivo di un saggio non statisticamente significativo, ma non ne elimina completamente il contributo alla batteria;
- ✓ Ciascun effetto (E_i) moltiplicato per il suo coefficiente Z , viene rapportato con la "soglia" specifica per quel saggio (equazione 4); l'effetto corretto (E_{iw}) così ottenuto indica di quante volte la variazione misurata in un saggio supera quella ritenuta biologicamente rilevante;
- ✓ Solo per determinati saggi, quando sia possibile ottenere un eventuale effetto ormetico (come nel caso della bioluminescenza batterica o della crescita algale), viene assegnato un valore di E_{iw} pari a 0 se l'effetto ormetico è $< 40\%$, 1.25 se l'effetto ormetico è $> 40\%$ ma $< 100\%$, pari a 1.5 se l'effetto ormetico è $> 100\%$;
- ✓ L'indice di pericolo complessivo della batteria di saggi ecotossicologici (Hazard Quotient, HQBatteria) viene calcolato come sommatoria degli effetti pesati (E_{iw}) dei singoli saggi (equazione 5 del flow-chart), ulteriormente corretti secondo il fattore W_2 che corrisponde al prodotto dei pesi assegnati in funzione della rilevanza biologica dell'endpoint considerato, della rilevanza ecologica della matrice testata, dell'esposizione acuta o cronica degli organismi.

Per l'attribuzione del livello di pericolo derivante dalla batteria di saggi ecotossicologici, il valore ottenuto per l'indice HQBatteria è normalizzato ad una scala compresa tra 0 e 10 (equazione 6), dove 1 corrisponde al valore di soglia della batteria (cioè il valore di HQ che si otterrebbe se tutti i saggi della batteria mostrassero un effetto pari alla rispettiva soglia) e 10 corrisponde al valore massimo della batteria (quando tutti i saggi mostrano il 100% di effetto). A seconda del valore dell'HQBatteria normalizzato, il livello di pericolo ecotossicologico viene attribuito ad una classe di gravità (da assente a molto alto), identificata da un diverso colore: Assente/bianco se HQBatteria <1; Basso/azzurro se HQBatteria ≥1 e <1.5; Medio/giallo se HQBatteria ≥1.5 e <3; Alto/rosso se HQBatteria ≥ 3 e <6; Molto Alto/nero se HQBatteria ≥6 (punto 6 del flow chart).

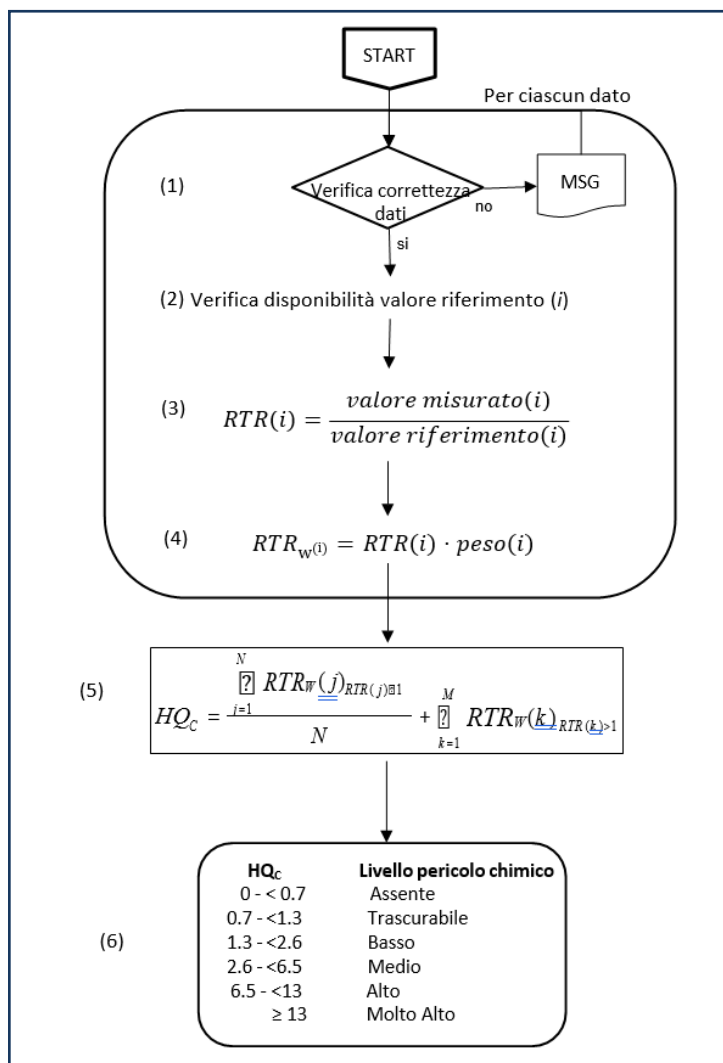


Figura 51. Processo di elaborazione dei dati Ecotossicologici

CLASSI DI PERICOLO ECO-TOSSICOLOGICO (HQ/BATTERIA)	
HQ BATTERIA	CLASSE DI PERICOLO
< 1.0	ASSENTE
≥ 1.0 ÷ 1.5	BASSO
≥ 1.0 ÷ 1.5	MEDIO
≥ 1.5 ÷ 3.0	ALTO
≥ 3.0 ÷ 6.0	MOLTO ALTO

Tabella 25 – Flow chart di elaborazione e Classi di pericolo eco-tossicologico (HQ/batteria)

Di seguito sono riportate le tabelle estratte dalla elaborazione mediante software SediQualsoft 109.0 del pericolo ecotossicologico (HQ/batteria) dei livelli superficiali delle aree oggetto di caratterizzazione (tabella).

AREA DEPOSITO TEMPORANEO SEDIMENTI MICROTUNNEL

Campione	Area	Sito	Codice campionamento	Codice livello	HQ Batteria	Livello di pericolo ecotossicologico	N. Saggi	% elutriato	Note	Dettagli
C3-DT/000-050	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	C3-DT	000-050	0.06	ASSENTE	3	100		Q
C4-DT/000-050	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	C4-DT	000-050	0.26	ASSENTE	3	23		Q
C5-DT/000-050	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	C5-DT	000-050	0.17	ASSENTE	3	0		Q
CO-N-DT/000-050	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	CO-N-DT	000-050	0.06	ASSENTE	3	100		Q
CO-S-DT/000-050	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	CO-S-DT	000-050	0.32	ASSENTE	3	35		Q

Showing 1 to 5 of 5 entries

Previous 1 Next

Caratterizzazione ecotossicologica

HQ

Saggi ecotox



Tabella 26 – Elaborazione del pericolo ecotossicologico del totale dei campioni superficiali

Livello di pericolo ecotossicologico									
ASSENTE									
HQ batteria (norm scala 1:10)	0.1								
N. Saggi	3								
HQ batteria	0.28								
Soglia HQ batteria	4.9								
HQ batteria max	29.69								
% elutriato	100								

Show 10 entries

Copy CSV

Search:

Campione	Latitudine	Longitudine	Codice campionamento	Area	Sito	Data	Codice carota	Codice livello	Specie	Endpoint	Matrice	Tempo esposizione
C3-DT/000-050			C3-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023	C3-DT	000-050	Acartia_tonsa	Mortalita	Elutriato	Cronica
C3-DT/000-050			C3-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023	C3-DT	000-050	Phaeodactylum_tricomutum	Crescita_algale	Elutriato	Cronica
C3-DT/000-050			C3-DT	RAVENNA	FSRU-RAVENNA	07/12/2023	C3-DT	000-050	Aliivibrio_fischeri	Bioluminescenza	Sedimento_intero	Acuta

Figura 52. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C3-DT/000_050

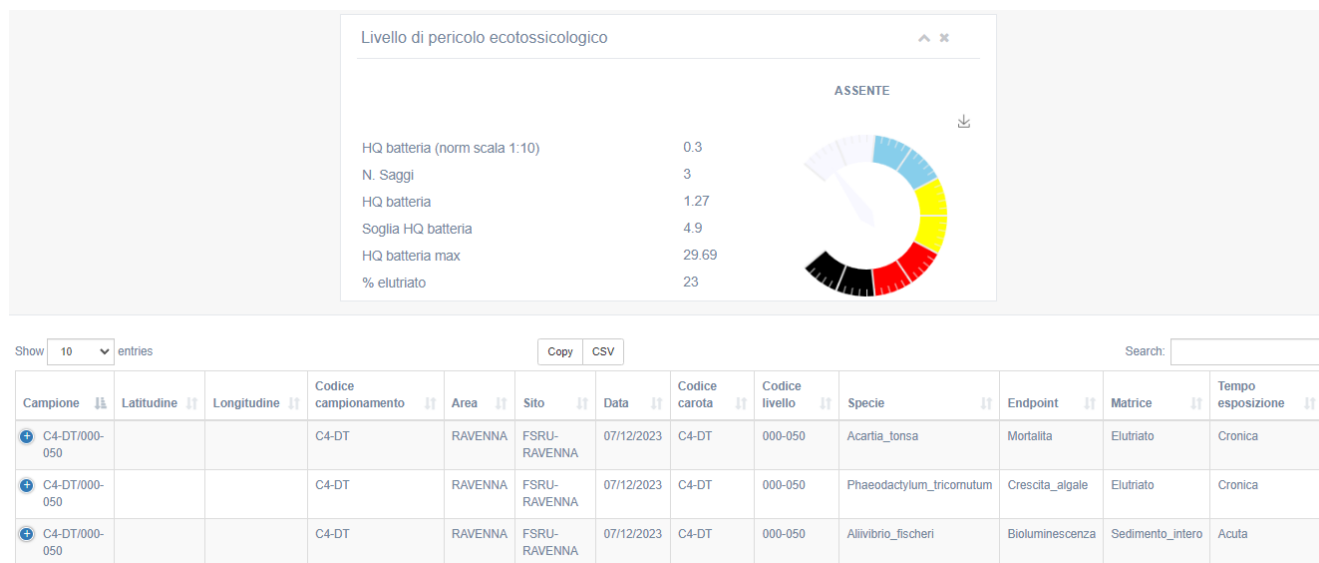


Figura 53. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C4-DT/000_050

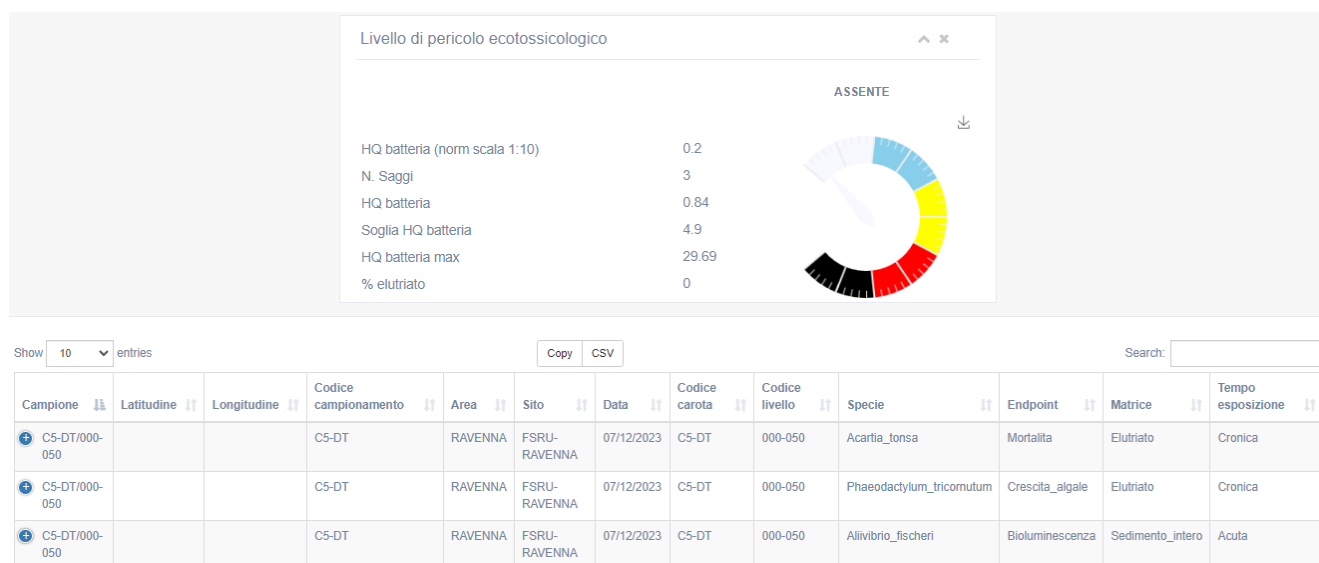


Figura 54. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C5-DT/000_050

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

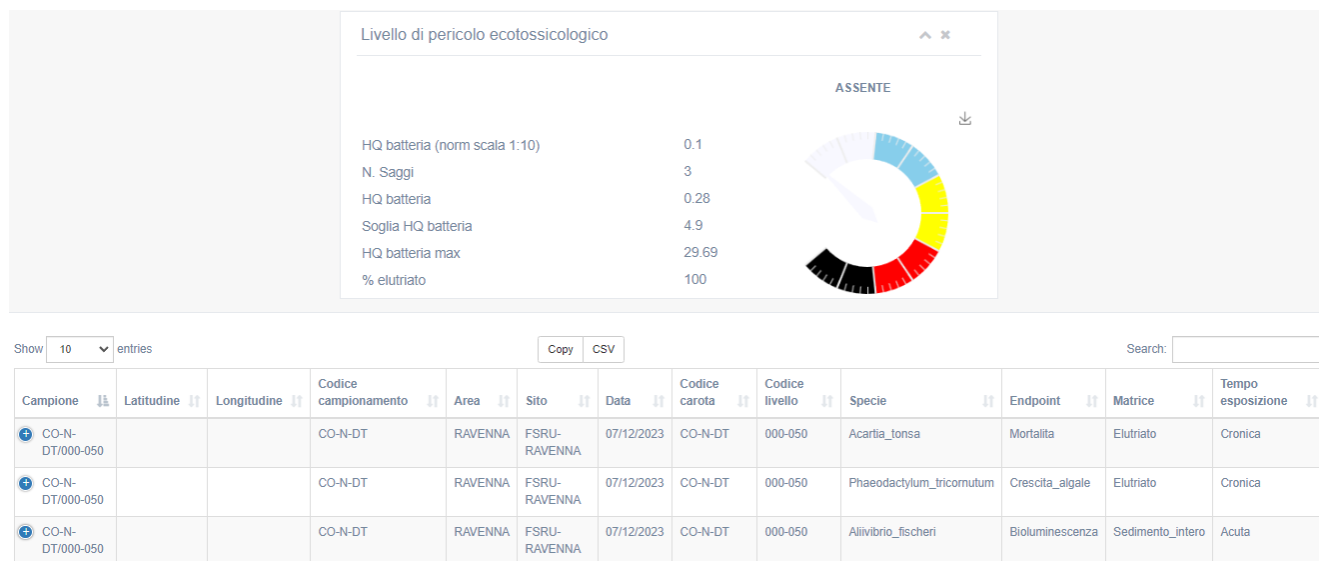


Figura 55. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C0-N-DT/000_050

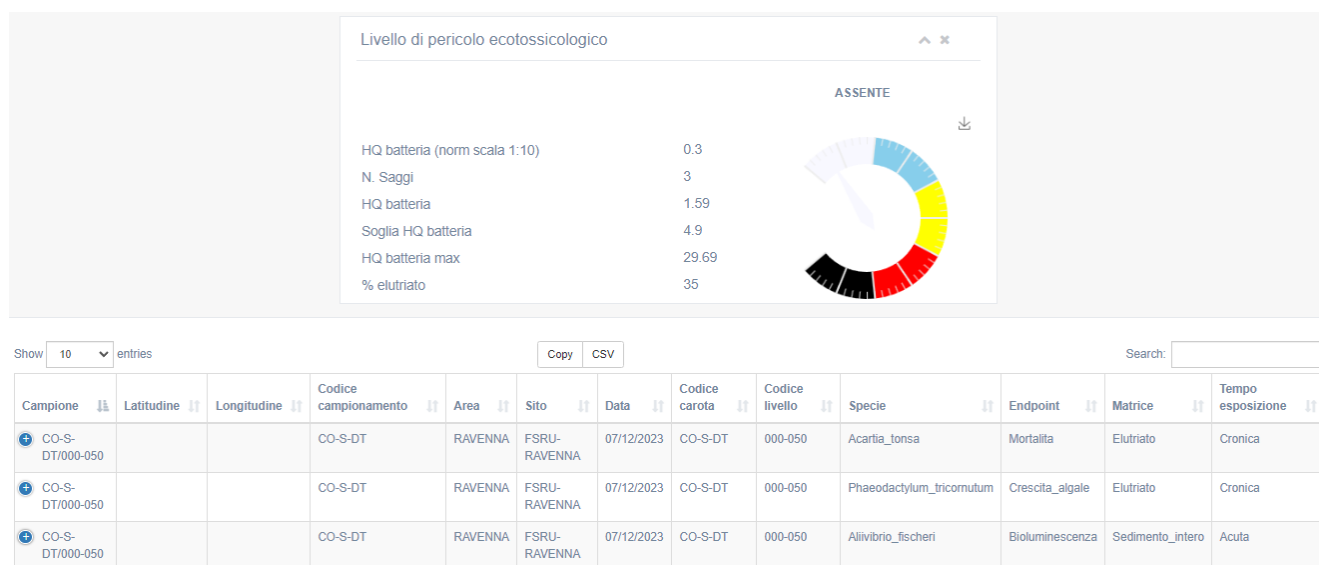


Figura 56. Elaborazione del rischio ecotossicologico del campione C0-S-DT/000_050

CRITERI DI INTEGRAZIONE PONDERATA PER L'ELABORAZIONE DELLA CLASSE DI QUALITÀ DEI SEDIMENTI

L'attribuzione della Classe di Qualità dei sedimenti è data dall'integrazione della classificazione chimica ed ecotossicologica ottenuta attraverso l'applicazione dei criteri di integrazione ponderata descritti in precedenza.

La classificazione ponderata, che determina le successive opzioni di gestione, è stata determinata in accordo alla procedura descritta nell'Allegato tecnico del D.M. 173 del 2016.

CLASSIFICAZIONE DELLA QUALITÀ DEI SEDIMENTI SECONDO I CRITERI DI INTEGRAZIONE PONDERATA (HQC = HAZARD QUOTIENT CHIMICO)		
CLASSE DI PERICOLO ECOTOSSICOLOGICO	CLASSIFICAZIONE CHIMICA	CLASSE DI QUALITÀ DEL MATERIALE
ASSENTE	HQC (L2) ≤ Trascurabile	A
	Basso ≤ HQC (L2) ≤ Medio	B
	HQC (L2) = Alto	C
	HQC (L2) > Alto	D
BASSO	HQC (L1) ≤ Basso	A
	HQC (L1) ≥ Medio e HQC (L2) ≤ Basso	B
	Medio ≤ HQC (L2) ≤ Alto	C
	HQC (L2) > Alto	D
MEDIO	HQC (L2) ≤ Basso	C
	HQC (L2) ≥ Medio	D
ALTO	HQC (L2) ≤ Basso	D
	HQC (L2) ≥ Medio	E

Tabella 27 – Classificazione della Qualità dei sedimenti secondo i criteri di integrazione ponderata (HQC = Hazard Quotient chimico)

La valutazione integrata prevede cinque Classi di Qualità che vanno dalla A alla E con le rispettive opzioni di gestione dei materiali classificati. La Classe A corrisponde ai sedimenti di qualità ambientale più elevata mentre la E identifica la Classe di qualità peggiore che prevede un'eventuale rimozione in sicurezza del sedimento dall'ambiente marino dopo la valutazione di rischio. Nella tabella a seguire sono riportate le opzioni di gestione compatibili con ognuna delle cinque classi di Qualità del sedimento.

OPZIONI DI GESTIONE DEI SEDIMENTI	
CLASSE	OPZIONE
A	➤ RIPASCIMENTO della spiaggia emersa con pelite $\leq 10\%$ o altro valore stabilito su base regionale; ➤ RIPASCIMENTO della spiaggia sommersa con frazione sabbiosa prevalente; ➤ IMMERSIONE DELIBERATA IN AREE MARINE NON COSTIERE (oltre 3 mn); ➤ IMMERSIONE IN AMBIENTE CONTERMINATO MARINO COSTIERO.
B	➤ IMMERSIONE DELIBERATA IN AREE MARINE NON COSTIERE (oltre 3 mn) con monitoraggio ambientale; ➤ IMMERSIONE IN AMBIENTE CONTERMINATO in ambito portuale incluso capping, con monitoraggio ambientale;
C	➤ IMMERSIONE IN AMBIENTE CONTERMINATO in ambito portuale in grado di trattenere tutte le frazioni granulometriche del sedimento, incluso capping all'internodi aree portuali con idonee misure di monitoraggio ambientale;
D	➤ IMMERSIONE IN AMBIENTE CONTERMINATO IMPERMEABILIZZATO, con idonee misure di monitoraggio ambientale;
E	➤ EVENTUALE RIMOZIONE IN SICUREZZA DELL'AMBIENTE MARINO DOPO VALUTAZIONE DI RISCHIO, secondo quanto previsto dalla normativa vigente;

Tabella 28 – Opzioni di gestione dei sedimenti in relazione alla classe di qualità del sedimento

Nella tabella seguente, vengono riassunte le classi di pericolo chimico, le classi di pericolo ecotossicologico ed il risultato della elaborazione con il software "SEDIQUALSOFT109.0" con la classificazione di qualità dei materiali di tutti i campioni superficiali oggetto di indagine

INDICI DI QUALITÀ - CLASSI DI PERICOLO CHIMICO ED ECOTOSSICOLOGICO % PELITE								
CAMPIONE	CLASSE DI PERICOLO ECOTOSSICOLOGICO	% ELUTRATO	CLASSIFICAZIONE CHIMICA	% PELITE	CLASSE DI QUALITÀ DEL SEDIMENTO	OPZIONE GESTIONE	CODICE CAMPIONAMENTO	LIVELLO
C3-DT/000-050	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	48.1	A	NOTA 1	C3-DT	000_050
C4-DT/000-050	ASSENTE	22.57	HQc(L2) <= Trascurabile	84.7	A	NOTA 1	C4	000_050
C5-DT/000-050	ASSENTE	0	HQc(L2) <= Trascurabile	84.7	A	NOTA 1	C5	000_050
CO-N-DT/000-050	ASSENTE	10	HQc(L2) <= Trascurabile	66.8	A	NOTA 1	CO-N	000_050
CO-S-DT/000-050	ASSENTE	35.17	HQc(L2) <= Trascurabile	86.1	A	NOTA 1	CO-S	000_050
NOTA 1: "Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso (Allegato tecnico. Nota 7 Tab 2.5)"								

Tabella 29 – Indici di qualità, classi di pericolo chimico ed ecotossicologico e % Pelite

CLASSIFICAZIONE DI QUALITÀ DEI MATERIALI ANALIZZATI				
AREA (LIVELLO) CODICE CAMPIONE	CLASSE PERICOLO ECOTOSSICOLOGICO	CLASSE PERICOLO CHIMICO	% PELITE	CLASSE QUALITÀ DEL MATERIALE
C3-DT/000-050	ASSENTE	TRASCURABILE	48.1	A
C4-DT/000-050	ASSENTE	TRASCURABILE	84.7	A
C5-DT/000-050	ASSENTE	TRASCURABILE	84.7	A
CO-N-DT/000-050	ASSENTE	TRASCURABILE	66.8	A
CO-S-DT/000-050	ASSENTE	TRASCURABILE	86.1	A

Tabella 30 – Classificazione di qualità dei materiali analizzati

Tutti i campioni corrispondenti ai livelli superficiali e profondi analizzati nella fase di caratterizzazione, sono risultati in classe di qualità "A" e quindi movimentabili con le opzioni di gestione previste dal D.M. 173/2016. Da tenere in considerazione nella futura progettazione insieme ad eventuali prescrizioni che saranno fissate dagli Enti Autorizzativi al fine di minimizzare e mitigare gli impatti.

10.0 DATI CONSEGNATI

10.1 ELABORATI FINALI

A conclusione della campagna svolta, i dati raccolti sono stati utilizzati per la realizzazione di una serie di elaborati finali che verranno consegnati al cliente a completamento del servizio in oggetto. Questi sono stati consegnati esclusivamente su supporto digitale al fine di ridurre l'impatto ambientale della campagna di rilievo.

All'interno della tabella qui sotto riportata vengono elencati tutti gli elaborati, i dati e gli allegati che verranno consegnati.

ELABORATO FINALE	ALLEGATO	FORMATO	SUPPORTO
RELAZIONE TECNICA FINALE	N/A	.PDF	DIGITALE
RAPPORTI DI PROVA	1	.PDF	DIGITALE
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E SCHEDE DI CAMPIONAMENTO	2	.PDF	DIGITALE
TAVOLE RILIEVI BATIMETRICI E MORFOLOGICI	3	.PDF	DIGITALE
SCHEDE TECNICHE STRUMENTAZIONE	4	.PDF	DIGITALE

Tabella 31 – Elenco Elaborati Prodotti

BIBLIOGRAFIA

- ✓ ARPAT, 1998. Metodologia di saggio algale per il controllo dei corpi idrici e delle acque di scarico: 191 pp.
- ✓ ASTM (1995). Standard guide for conducting static acute toxicity tests with echinoid embryos- E 1563-95. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 1029-1046
- ✓ ASTM, 2016. Standard Test Method for Automated Analyses of Cells-the Electrical Sensing Zone Method of Enumerating and Sizing Single Cell Suspensions- F2149-16. American Society for Testing and Materials, Philadelphia
- ✓ Azur Environmental, 1995. Microtox acute toxicity basic test procedures, 63
- ✓ Benedetti, M., Ciapriani, F., Piva, F., Onorati, F., Fattorini, D., Notti, A., Ausili, A., Regoli, F., 2012. A multidisciplinary weight of evidence approach toward polluted sediments: integrating sediment chemistry, bioavailability, biomarkers responses and bioassays. Environment International, 38, pp. 17-28
- ✓ Carr, R.S., Chapman, D.C. 1995. Comparison of methods for conducting marine and estuarine sediment porewater toxicity tests – extraction, storage and handling techniques. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 28, 69–77
- ✓ Clementson L. A. and Wayte S. E. 1992. The effects of frozen storage of open-ocean seawater sample on the concentration of dissolved Phosphate and Nitrate. Water Research, 26 (9): 1171-1176
- ✓ DM 173 del 15 luglio 2016. Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini. GU Serie Generale n.208 del 06-09-2016 - Suppl. Ordinario n. 40
- ✓ ICES (2013). International Council for the Exploration of the Sea. doi.org/10.17895/ices.pub.5082
- ✓ IRSA, 1978. Metodologia di saggio algale per lo studio della contaminazione delle acque marine.
- ✓ IRSA-CNR, Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque n. 39 - IT ISSN 0390-6329. Milano
- ✓ ISO (2006). Water quality: determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (luminescent bacteria test) – part 3: method using freeze-dried bacteria. ISO/CD 11348-3.
- ✓ ISO International Organization for Standardization 2006. Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*. International Standard ISO/DIS 102531. ISO, Genève, Switzerland.
- ✓ Piva F., Ciapriani F., Onorati F., Benedetti M., Fattorini D., Ausili A., Regoli F. 2011. Assessing sediment hazard through a Weight of Evidence approach with bioindicator organisms: a practical model to elaborate data from sediment chemistry, bioavailability, biomarkers and ecotoxicological bioassays. Chemosphere 83: 475-485.
- ✓ UNI EN ISO 10253, 2006. Water quality – Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*.
- ✓ USEPA (1991). Earle-Standard Operating Procedure Conducting the Sea Urchin *Arbacia punctulata* Fertilization Test. Environmental Research Laboratory, Narragansett, RI, pp 125-131.

