

CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI MARINI DEL CANALE DI ATTERRAGGIO AL PORTO REGIONALE DI GORO

A CURA DI:

ARPA SEZIONE PROVINCIALE DI FERRARA

Servizio Sistemi Ambientali

D.ssa Enrica Canossa, Dr. Alessandro Travagli, D.ssa Annalisa Ferioli

Ferrara, Maggio 2015

INDICE

1. Premessa.....	3
2. Ubicazione dell'intervento e piano di caratterizzazione dei sedimenti.....	4
3. Parametri ricercati	7
4. Risultato delle analisi	8
4.1. Analisi fisiche	9
4.2. Analisi chimiche	9
4.3. Analisi microbiologiche.....	11
4.4. Saggi ecotossicologici.....	12
5. Classificazione dei sedimenti da movimentare e opzioni di gestione	13
5.1. Classificazione dei sedimenti.....	14
5.1.1. Livelli Chimici e granulometria	14
5.1.2. Test ecotossicologici.....	16
5.2. Opzioni di gestione	17

APPENDICE: Sintesi dei dati relativi alla caratterizzazione dei campioni di sedimento (dati chimici, fisici, microbiologici ed ecotossicologici)

ALLEGATI: Rapporti di Prova

1. Premessa

Su incarico del Comune di Goro Servizio Lavori Pubblici (accettazione preventivo prot. Arpa PGFE/2015/1220 del 05/03/2015), la Scrivente Agenzia ha svolto, ai sensi delle norme vigenti e nell'ambito delle competenze ad essa assegnate, la caratterizzazione dei sedimenti relativi ai lavori di dragaggio sul canale di atterraggio al porto regionale di Goro.

Lo spunto normativo a cui si fa riferimento per la realizzazione del presente lavoro risulta essere **l'art. 109 del D. Lgs. 152/06 s.m.i.** *“Immersione in mare di materiale derivante da attività di escavo e attività di posa in mare di cavi e condotte”* e, considerato che tale disciplina normativa, ad oggi, non è stata seguita da disposizioni tecniche attuative, si è fatto riferimento al **Decreto Ministeriale del 24 gennaio 1996** *“Direttive inerenti le attività istruttorie per il rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 11 della legge 10 maggio 1976, n. 319 e successive modifiche ed integrazioni, relative allo scarico nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui, di materiali provenienti da escavo di fondali di ambienti marini o salmastri o di terreni litoranei emersi, nonché da ogni altra movimentazione di sedimenti in ambiente marino”*.

Per quanto concerne i compiti specifici assegnati ad Arpa, relativamente agli interventi disciplinati dall'art. 109 del D.Lgs. 152/06 e dal D.M. 24/01/96, si fa riferimento alla Determina n. 2048 del 27/02/2003 del Direttore Generale all'Ambiente Difesa del Suolo e della Costa della Regione Emilia-Romagna.

2. Ubicazione dell'intervento e piano di caratterizzazione dei sedimenti

L'intervento riguarda il dragaggio del canale di atterraggio al Porto di Goro per ripristinarne le condizioni di navigabilità (Figura 2.1).



Figura 2.1: Localizzazione delle aree di intervento

Come si evince dalla documentazione inviata dal Comune di Goro nel mese di febbraio 2015 (PGFE/2015/816 del 11/02/2015) l'intervento riguarda l'escavo di due tratti del canale di atterraggio al Porto Regionale di Goro (Figura 2.2):

1. dalla briccola B39/B41 alla B52/B50 per una lunghezza di circa 600 metri e un'area di 28.800 mq;
2. dalla briccola B71 alla B84 per una lunghezza pari a circa 1020 metri e un'area di 50.900 mq.

La profondità massima di escavo sarà di circa 1,50 metri e la sezione di progetto avrà una larghezza di fondo di circa 49 metri e una profondità di -4,00 metri rispetto al medio mare.

Complessivamente il volume di scavo sarà pari a circa 119.070 mc.

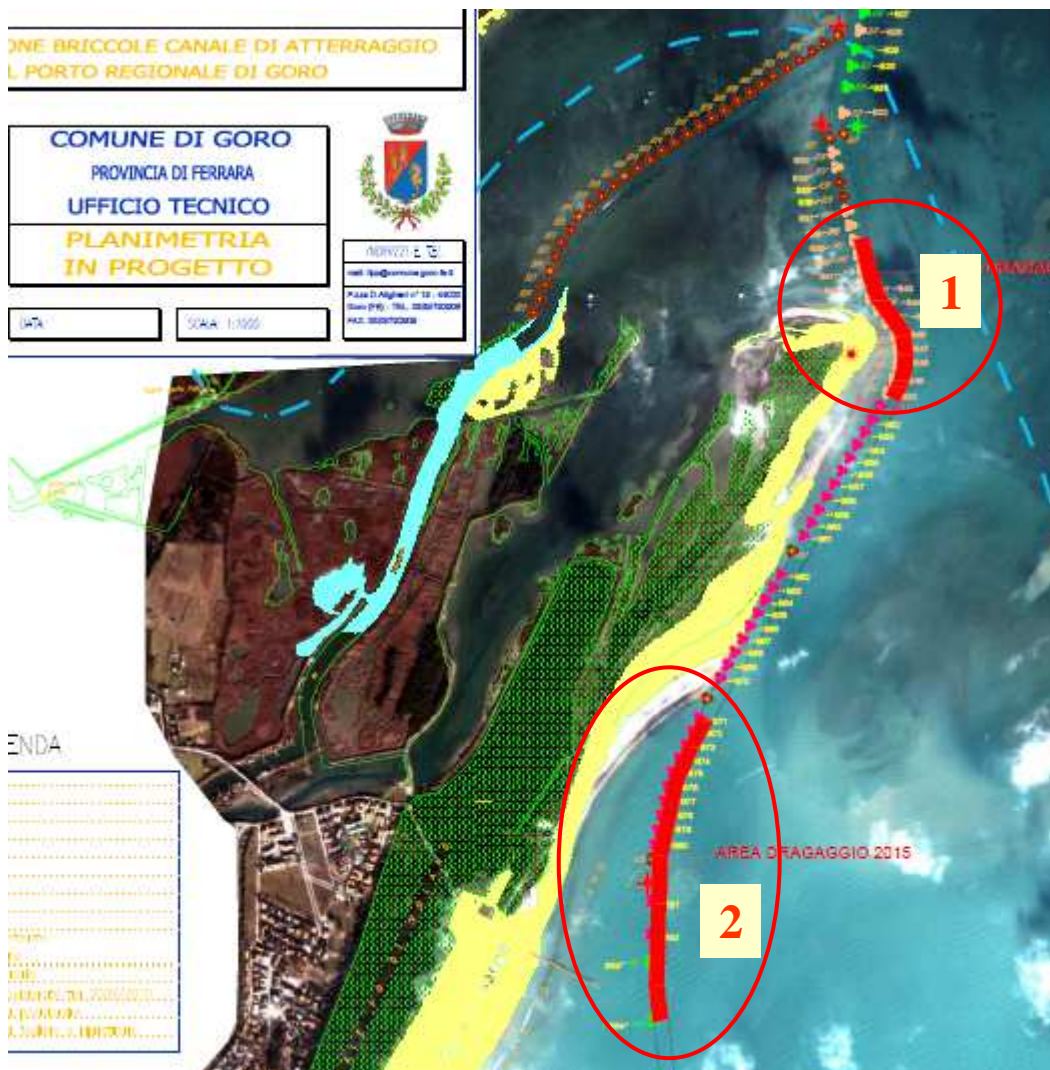


Figura 2.2: Tratti del canale di atterraggio al porto di Goro oggetto di intervento, evidenziati in rosso

Rispetto al piano di caratterizzazione dei sedimenti, l'area di scavo è stata suddivisa in **n.3 tratti unitari** omogenei individuati in base ai principi e ai criteri indicati nel D.M. del 24/01/1996 e in linea con quanto indicato nel Manuale ICRAM-APAT (2007). In ogni tratto sono stati individuati due punti di campionamento (Figura 2.3); in ciascun punto sono stati prelevati campioni superficiali e profondi; da tali prelievi si sono ottenute carote indisturbate di sedimento, con una lunghezza di circa 1,50 metri poi miscelati per ottenere i campioni medi composti rappresentativi di ciascun tratto (Tabella 2.1).

I campionamenti e la preparazione dei campioni sono stati eseguiti da operatori di Arpa – Sezione Prov.le di Ferrara e da operatori dell'Amministrazione Provinciale di Ferrara il giorno 12 marzo 2015.

I prelievi sono stati eseguiti per mezzo di un'imbarcazione con carotiere a infissione a percussione da cui si sono ottenute carote indisturbate di sedimento, con una lunghezza di circa 1,5 metri.

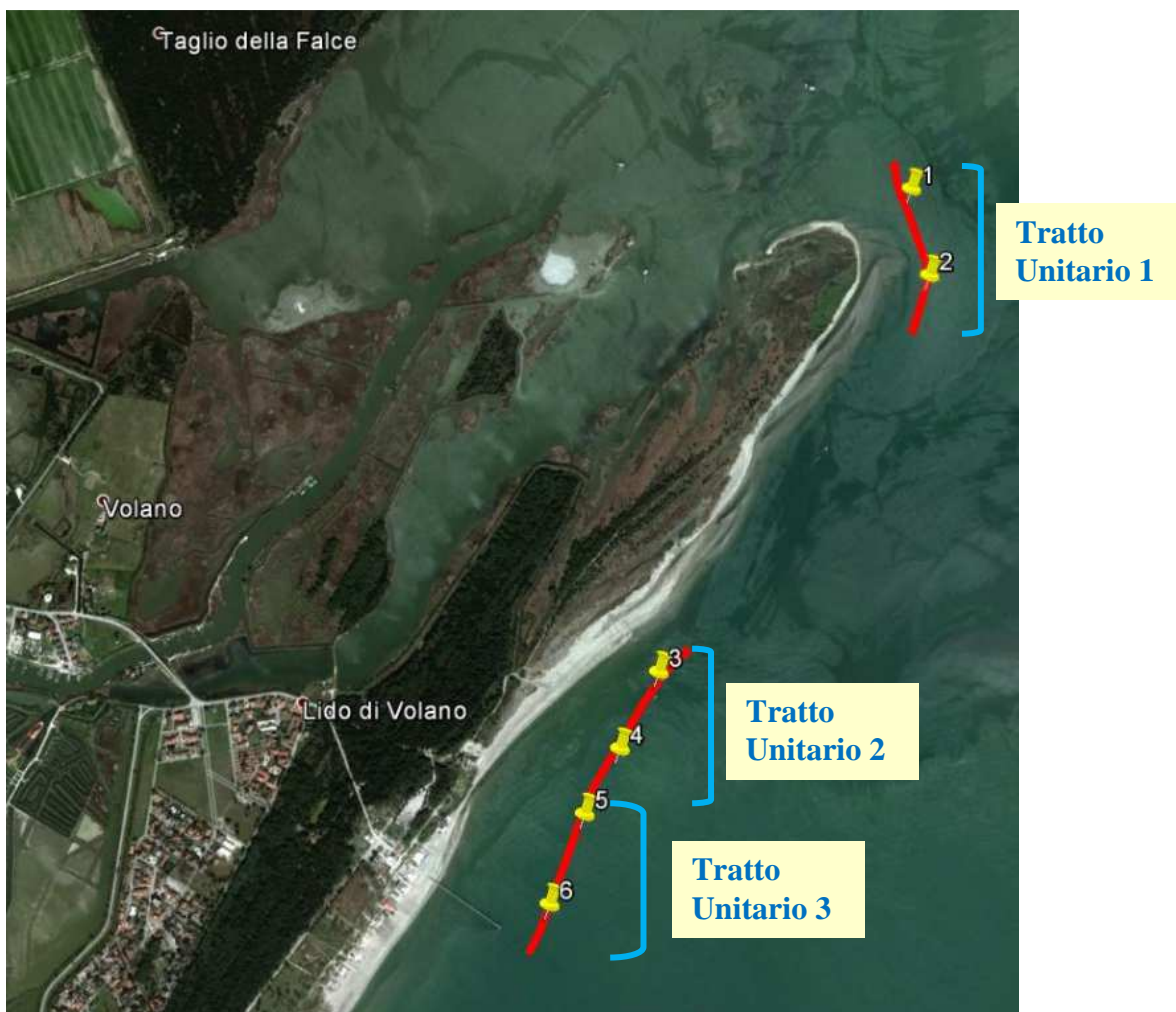


Figura 2.3: Localizzazione dei tratti unitari e dei punti di campionamento

Tabella 2.1: Quadro riassuntivo dei punti di campionamento nelle aree di scavo

Tratto Unitario	Punto di campionamento	N. prelievi	Profondità prelievo (cm)	N. campioni medio compositi
TU1	1	2 (superficiale e profondo)	0-50 / 100-150	2 (CAG1SUP,CAG1PROF)
	2	2 (superficiale e profondo)	0-50 / 100-150	
TU2	3	2 (superficiale e profondo)	0-50 / 100-150	2 (CAG2SUP,CAG2PROF)
	4	2 (superficiale e profondo)	0-50 / 100-150	
TU3	5	2 (superficiale e profondo)	0-50 / 100-150	2 (CAG3SUP,CAG3PROF)
	6	2 (superficiale e profondo)	0-50 / 100-150	

Le coordinate dei punti di prelievo espresse in gradi minuti decimali sono riportate in tabella 2.2.

Tabella 2.2: Coordinate dei punti di prelievo

Punto di campionamento	Latitudine	Longitudine
1	44°49.147'	12°17.203'
2	44°49.004'	12°17.268'
3	44°48.291'	12°16.741'
4	44°48.159'	12°16.672'
5	44°48.046'	12°16.609'
6	44°47.894'	12°16.553'

Riguardo alle aree di deposito il Comune di Goro ha ipotizzato di depositare i sedimenti dragati in concessioni limitrofe all'area di intervento destinate all'allevamento di vongole. Tali aree non sono state caratterizzate in quanto per la loro valutazione si è fatto riferimento ai dati desunti dalla rete regionale di monitoraggio delle acque di transizione e ad altri studi realizzati recentemente nell'ambito della Sacca di Goro.

3. Parametri ricercati

Per la determinazione delle analisi da effettuare e dei parametri da ricercare si è fatto riferimento al D.M. 24/01/96, al Manuale ICRAM-APAT (2007) *“Manuale per la movimentazione di sedimenti marini”* e all'Allegato 1 del Decreto 14 aprile 2009, n. 56 *Regolamento recante “Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'art. 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo”*, pubblicato sulla G.U. n. 124 del 30 maggio 2009.

Su tutti i campioni sono state eseguite analisi chimico-fisiche e microbiologiche; sul campione superficiale del tratto 2 (CAG2SUP) sono stati inoltre eseguiti saggi ecotossicologici. Le analisi sono state condotte dai laboratori delle sezioni Arpa di Ferrara e di Ravenna. In Tabella 3.1 è riportato l'elenco dei parametri ricercati.

Tabella 3.1: Parametri ricercati nei sedimenti

Metalli	Pesticidi
Mercurio	Esaclorocicloesano alfa (HCH alfa)
Cadmio	Esaclorocicloesano beta (HCH beta)
Piombo	Esaclorocicloesano gamma (lindano)
Arsenico	Esaclorobenzene
Cromo totale	Aldrin
Cromo VI	Dieldrin
Rame	2,4' - DDE
Nichel	4,4' - DDE
Zinco	2,4' - DDD
Alluminio	4,4' - DDD
Microbiologici	2,4' - DDT
Coliformi totali	4,4' - DDT
Coliformi fecali	IPA
Streptococchi fecali	Naftalene
Escherichia coli	Acenaftilene
Salmonelle	Acenaftene
Spore di Clostridi Solfito-riduttori	Fluorene
Ecotossicologici	Fenantrene
<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 24h e 48h	Antracene
<i>Phaeodactylum tricoratum</i> - Test 72h	Fluorantene
<i>Artemia franciscana</i> - Test 14 gg	Pirene
Granulometria	Crisene
Scheletro >2mm	Benzo(a)antracene
Sabbia 2000-1000µm	Benzo(b)+(j)fluorantene
Sabbia 1000-500µm	Benzo(k)fluorantene
Sabbia 500-250µm	Benzo(a)pirene
Sabbia 250-125µm	Indeno(1,2,3-cd)pirene
Sabbia 125-63µm	Dibenzo(a,c)+(ah)antracene
Sabbia 63-50µm	Benzo(g,h,i)perilene
Limo 50-20µm	Sommatoria IPA
Limo 20-2µm	PCB
Argilla <2µm	sommatoria PCB
Idrocarburi	(sommatoria 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)
Idrocarburi C≤12	
Idrocarburi C>12	

4. Risultato delle analisi

La sintesi dei dati relativi alla caratterizzazione dei campioni di sedimento (dati chimici, fisici, microbiologici ed ecotossicologici) è riportata in Appendice.

4.1 Analisi fisiche

In tabella 4.1 sono riportati i risultati granulometrici dei campioni analizzati.

Tabella 4.1: Spettro granulometrico dei sedimenti oggetto di indagine

Tratto Unitario	Scheletro	Sabbia						Limo		Argilla
	>2mm	2000-1000µm	1000-500µm	500-250µm	250-125µm	125-63µm	63-50µm	50-20µm	20-2µm	<2µm
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CAG1SUP	2,3	1,1	0,7	6,5	66,9	14,2	3,8	0,3	3,0	3,5
CAG1PROF	2,0	1,6	1,1	4,5	54,3	14,3	5,7	5,0	8,0	5,5
CAG2SUP	0,4	0,4	0,2	2,4	51,0	41,4	0,6	1,0	1,5	1,5
CAG2PROF	1,9	1,1	0,6	9,3	66,3	16,5	0,1	0,3	3,5	2,3
CAG3SUP	0,9	0,7	0,2	0,5	59,7	31,9	2,9	0,3	<0,1	3,8
CAG3PROF	1,3	0,9	0,5	1,8	51,9	33,0	2,8	1,8	4,0	3,0

La componente sabbiosa è quella prevalente in tutti i campioni e, ad eccezione del campione profondo del tratto 1 (CAG1PROF), rappresenta oltre il 90% (figura 4.1).

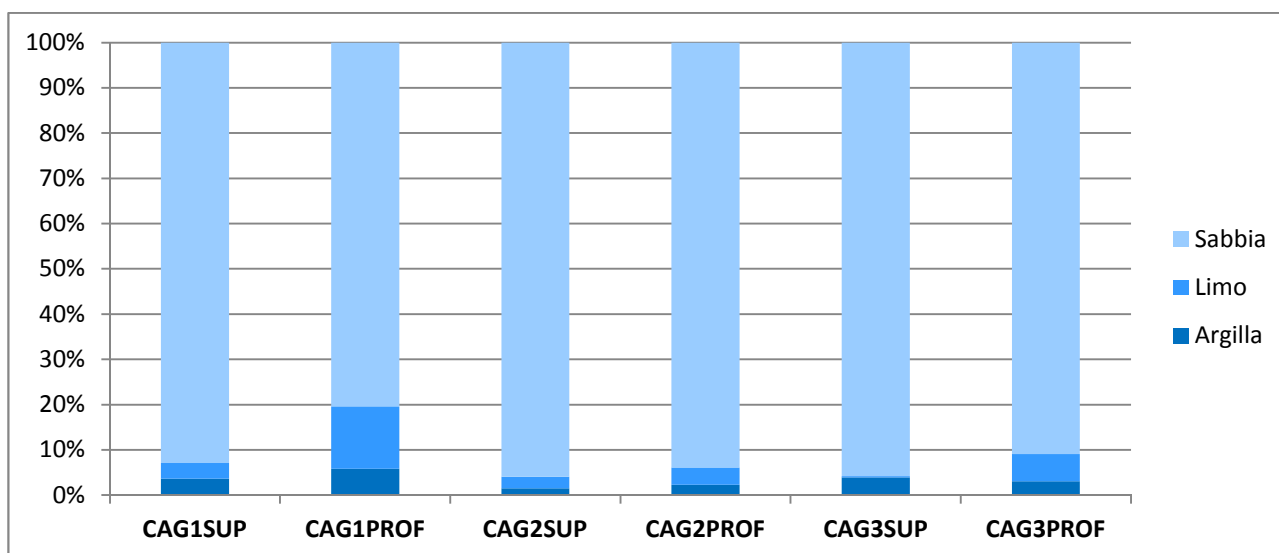


Figura 4.1: Frazioni granulometriche nei campioni analizzati

4.2 Analisi chimiche

La tabella 4.2 riporta il confronto fra i dati rilevati (metalli, pesticidi, IPA e PCB) e gli Standard di Qualità Ambientale (SQA-MA) dei sedimenti di acque marino-costiere e di transizione (Allegato 1 tabelle 2/A e 3/B del D.M. 56/09) finalizzato alla valutazione della qualità ambientale dei sedimenti prelevati nelle aree di scavo.

Relativamente ai metalli oltre ai valori di SQA vengono riportati in tabella anche i valori del fondo naturale-antropico desunti dalla “*Carta del fondo naturale-antropico della pianura emiliano-romagnola*” (Regione’Emilia-Romagna, 2013) relativi all’area oggetto di intervento definiti anche in base ad analisi pregresse effettuate nello stesso contesto territoriale.

Tabella 4.2: Concentrazione dei metalli, pesticidi, IPA e PCB nell'area di scavo (in rosso i superamenti rispetto al valore di SQA o al fondo naturale-antropico¹)

UdM	Metalli	SQA-MA (DM 56/09) FONDO NATURALE- ANTROPICO	CAG1 SUP	CAG1 PROF	CAG2 SUP	CAG2 PROF	CAG3 SUP	CAG3 PROF
mg/kg s.s.	Mercurio	0,3	0,1	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Cadmio	0,3	0,1	0,3	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Piombo	30 (≤50)	12	21	9	10	10	9
	Arsenico	12 (≤10)	6	11	7	7	7	7
	Cromo totale	50 (150)	79	105	98	86	100	94
	Cromo VI	2	1	0	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
	Nichel	30 (120)	61	79	65	63	60	72
Pesticidi								
µg/kg s.s.	Esaclorocicloesano alfa (HCH alfa)	0,2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Esaclorocicloesano beta (HCH beta)	0,2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Esaclorocicloesano gamma (lindano)	0,2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Esaclorobenzene	0,4	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Aldrin	0,2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Dieldrin	0,2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	DDE (1)	1,8	2,2	4,1	0,4	0,8	0,5	<0,10
	DDD (1)	0,8	<0,10	0,7	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	DDT (1)	1,0	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
IPA								
µg/kg s.s.	Naftalene	35	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Antracene	45	6	37	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Fluorantene	110	65	418	9	14	14	27
	Benzo(b)+(j)fluorantene	40 Benzo(b)fluorantene	23	157	4	9	6	16
	Benzo(k)fluorantene	20	16	90	3	5	5	10
	Benzo(a)pirene	30	33	210	4	9	8	19
	Indeno(1,2,3-cd)pirene	70	24	99	2	7	4	11
	Benzo(g,h,i)perilene	55	25	142	4	8	8	14
	Sommatoria IPA (2)	800	328	2105	43	83	75	158
PCB								
µg/kg s.s.	sommatoria PCB (3)	8	12	21	3	4	2	1

(1) sommatoria degli isomeri 2,4 e 4,4 di ciascuna sostanza; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero;

(2) la sommatoria IPA fa riferimento alla tabella 3/B del D.M. 56/09; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero;

(3) sommatoria dei 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, secondo la tabella 3/B del D.M. 56/09; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero

¹ Per i metalli *Piombo*, *Cromo* e *Nichel*

Dalla tabella 4.2 si evince che i campioni, superficiale e profondo, del Tratto Unitario 1 (CAG1SUP e CAG1PROF) registrano valori superiori all'SQA per alcuni parametri, in particolare:

- il campione CAG1SUP registra superamenti per DDE, *Benzo(a)pirene* e PCB (in sommatoria);
- il campione CAG2PROF mostra concentrazioni marcatamente superiori all'SQA per DDE, IPA (singoli e in sommatoria) e PCB (in sommatoria).

I campioni relativi ai Trattati Unitari 2 e 3 hanno concentrazioni inferiori agli SQA per tutti i parametri indagati.

L'analisi chimica è completata dalla ricerca degli idrocarburi (tabella 4.3), non normati dal D.M. 56/09; le concentrazioni rilevate non evidenziano situazioni di contaminazione da idrocarburi.

Tabella 4.3: Valori di idrocarburi distinti in leggeri ($C \leq 12$) e pesanti ($C > 12$)

UdM	PARAMETRI	CAG1SUP	CAG1PROF	CAG2SUP	CAG2PROF	CAG3SUP	CAG3PROF
mg/kg s.s.	Idrocarburi $C \leq 12$	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	0,15	<0,01
	Idrocarburi $C > 12$	44	29	25	37	16	19

4.3 Analisi microbiologiche

I risultati relativi ai parametri microbiologici ricercati nei sedimenti prelevati sono riportati in tabella 4.4.

In tutte le aree indagate non si registrano condizioni di inquinamento microbiologico.

Per una valutazione completa si rimanda comunque al parere di competenza dell'Ente sanitario preposto (AUSL).

Tabella 4.4: Quadro riepilogativo delle analisi microbiologiche

UdM	PARAMETRI	CAG1SUP	CAG1PROF	CAG2SUP	CAG2PROF	CAG3SUP	CAG3PROF
MPN/g s.s.	Coliformi totali	3	<1	<1	<1	<1	<1
	Coliformi fecali	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Streptococchi fecali	2	<1	<1	<1	1	<1
	Escherichia coli	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Salmonelle	<1	<1	<1	<1	<1	<1
UFC/g s.s.	Spore di Clostridi Solfito-riduttori	<5	<6	<5	<5	<5	<5

4.4 Saggi ecotossicologici

I test ecotossicologici sono stati eseguiti sui sedimenti superficiali medio-compositi del tratto unitario 2 (CAG2SUP) utilizzando le seguenti specie:

- *Brachionus plicatilis* (Rotiferi),
- *Phaeodactylum tricornutum* (Alghe),
- *Artemia franciscana* (Crostei).

Dai risultati ottenuti (tabella 4.5) non si osservano situazioni di tossicità.

Tabella 4.5: Risultati dei test ecotossicologici dei sedimenti superficiali del campione CAG2SUP

UdM	PARAMETRI	CAG2SUP
%	Brachionus plicatilis - Test 24h (LC20)	>100
	Brachionus plicatilis - Test 24h (LC50)	>100
	Brachionus plicatilis - Test 24h (%mort.)	6,67
	Brachionus plicatilis - Test 48h (LC20)	>100
	Brachionus plicatilis - Test 48h (LC50)	>100
	Brachionus plicatilis - Test 48h (%mort.)	6,67
	Phaeodactylum tricornutum -Test 72h (EC20)	>90
	Phaeodactylum tricornutum -Test 72h (EC50)	>90
	Phaeodactylum tricornutum -Test 72h (%inib.)	0
	Artemia franciscana - Test 14 gg (LC20)	>100
	Artemia franciscana - Test 14 gg (LC50)	>100
	Artemia franciscana - Test 14 gg (%mortalità)	7,69

5. Classificazione dei sedimenti da movimentare e opzioni di gestione

Per classificare il materiale da scavare in relazione all'utilizzo più idoneo, si è seguita l'indicazione metodologica riportata nel Manuale ICRAM-APAT (2007).

Il Manuale riporta una casistica delle possibili opzioni di gestione rispetto alle classi di qualità dei sedimenti caratterizzati (tabella 5.1).

Tabella 5.1: Classi di qualità del materiale caratterizzato e opzioni di gestione compatibili (tabella 2.2 del Manuale ICRAM-APAT)

Classe	Opzioni di gestione
A1	Sabbie (pelite < 10%) da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ripascimento di arenili (previa verifica compatibilità con il sito di destinazione); 2. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero comprese le deposizioni finalizzate al ripristino della spiaggia sommersa; 3. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 4. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 5. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 6. Immersione in mare.
A2	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero compresa la deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa (solo nel caso di prevalente composizione sabbiosa). 2. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 3. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 4. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 5. Immersione in mare.
B1	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 2. Deposizione in bacini di contenimento che assicurino il trattenimento di tutte le frazioni granulometriche del sedimento (incluso il riempimento di banchine).
B2	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 2. Deposizione all'interno di bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Smaltimento presso discarica a terra.
C1	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale secondo la seguente priorità: 1. Rimozione in sicurezza e avvio di specifiche attività di trattamento e/o particolari interventi che limitino l'eventuale diffusione della contaminazione; 2. Rimozione in sicurezza e deposizione in bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Rimozione in sicurezza e smaltimento presso discarica a terra
C2	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale la cui rimozione e gestione devono essere valutate caso per caso.

La definizione della Classe di Qualità nelle aree indagate è effettuata considerando il risultato dei test ecotossicologici, i livelli chimici rilevati e la granulometria dei sedimenti.

Per quanto riguarda i parametri chimici i principali riferimenti (desunti dal Manuale ICRAM-APAT) sono costituiti:

- dal **Livello Chimico di Base (LCB)** della tabella 2.3A del Manuale. Per ciò che concerne gli “elementi in tracce” i valori riportati in tabella 2.3A rappresentano una situazione ‘media’ nel

contesto nazionale, non contemplando tipologie di sedimenti provenienti da aree con arricchimenti naturali particolarmente evidenti. Per ciò che riguarda i metalli, la tabella riporta due valori di LCB a seconda delle caratteristiche granulometriche e tenendo conto delle più comuni esigenze gestionali;

- dal **Livello Chimico Limite (LCL)** della tabella 2.3B del Manuale, salvo variazioni di carattere locale per ciò che concerne gli “elementi in tracce”, che tengano conto delle caratteristiche geochemiche ed ecotossicologiche di specifici tratti di costa, da stabilire a cura delle Amministrazioni competenti per territorio, previo parere del Ministero, sulla base di criteri tecnico-scientifici.

Per quanto riguarda i saggi ecotossicologici si è fatto riferimento alla tabella 2.4 del Manuale “Requisiti ecotossicologici del sedimento” integrata con la nota del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio DPN n. 7932 del 09/04/2009 “Programma di monitoraggio dell’ambiente marino costiero 2008-2009 - Comparto sedimenti – Saggi di tossicità: tabella per la classificazione di tossicità e modifica lista parametri”.

5.1. Classificazione dei sedimenti

5.1.1 Livelli Chimici e granulometria

La tabella 5.3 riporta il confronto fra i valori misurati nell’area di indagine, i Livelli Chimici di Base (LCB) e i Livelli Chimici Limite (LCL) previsti dal Manuale ICRAM-APAT. In rosso sono indicati i superamenti rispetto ai LCB e LCL.

In merito alla valutazione dei metalli, in aderenza a quanto previsto dal Manuale, viene considerato anche il valore di fondo naturale-antropico, indicato con il colore verde nella tabella 5.3.

Per il confronto tra le concentrazioni di metalli e i valori di LCB i campioni sono classificati in funzione del contenuto in “**pelite**” ovvero della frazione granulometrica inferiore ai 63 µm, come di seguito riportato in tabella:

Tabella 5.2: Frazione pelitica nei sedimenti indagati

Tratto Unitario	Sabbia	Limo		Argilla	Pelite
	63-50µm	50-20µm	20-2µm	<2µm	(<63µm)
	%	%	%	%	%
CAG1SUP	3,8	0,3	3,0	3,5	11
CAG1PROF	5,7	5,0	8,0	5,5	24
CAG2SUP	0,6	1,0	1,5	1,5	5
CAG2PROF	0,1	0,3	3,5	2,3	6
CAG3SUP	2,9	0,3	<0,1	3,8	7
CAG3PROF	2,8	1,8	4,0	3,0	12

Tabella 5.3: Confronto tra i valori rilevati nei sedimenti delle aree di scavo e i valori LCB - LCL riportati nel Manuale ICRAM-APAT considerando per i metalli i valori del fondo naturale-antropico (testo rosso valori superiori al LCB o al fondo naturale-antropico, cella rossa valori superiori a LCL)

UdM	Parametri	LCB (pelite<10% / pelite>10%)	LCL	CAG1 SUP pelite =11%	CAG1 PROF pelite =24%	CAG2 SUP pelite =5%	CAG2 PROF pelite =6%	CAG3 SUP pelite =7%	CAG3 PROF pelite =12%
		FONDO NATURALE- ANTROPICO							
	Metalli								
mg/kg s.s.	Mercurio	0,20 / 0,40	0,8	0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Cadmio	0,20 / 0,35	0,8	0,11	0,29	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Piombo	25 / 40 (≤50)	70	12	21	9	10	10	9
	Arsenico	17 / 25	32	6	11	7	7	7	7
	Cromo totale	50 / 100 (150)	360	79	105	98	86	100	94
	Rame	15 / 40 (≤60)	52 (≤60)	11	26	8	9	8	9
	Nichel	40 / 70 (120)	75 (120)	61	79	65	63	60	72
	Zinco	50 / 100 (150)	170	62	99	59	57	56	56
	Pesticidi								
µg/kg s.s.	Esaclorocicloesano gamma (lindano)	0,3	1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	Dieldrin	0,7	4,3	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	DDE(1)	2,1	3,7	2,2	4,1 (4)	0,4	0,8	0,5	<0,10
	DDD(1)	1,2	7,8	<0,10	0,7	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	DDT(1)	1,2	4,8	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	IPA								
µg/kg s.s.	Naftalene	35	391	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Acenaftene	7	89	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Fluorene	21	144	<2,0	2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Fenantrene	87	544	16	141	<2,0	4	3	<2,0
	Antracene	47	245	6	37	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Fluorantene	113	1494	65	418	9	14	14	27
	Pirene	153	1398	56	344	9	12	13	26
	Crisene	108	846	25	187	5	6	6	15
	Benzo(a)antracene	75	693	31	227	4	8	8	18
	Benzo(a)pirene	80	763	33	210	4	9	8	19
	Dibenzo(a,c)+(a,h) antracene	6 Dibenzo(a,h) antracene	135 Dibenzo(a,h) antracene	7	48	<2,0	<2,0	<2,0	3
Sommatoria IPA(2)	900	4000	328	2105	43	83	75	158	
	PCB								
µg/kg s.s.	sommatoria PCB(3)	5	189	12	21	3	4	2	1

(1) sommatoria degli isomeri 2,4 e 4,4 di ciascuna sostanza; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero;

(2) la sommatoria IPA fa riferimento alla tabella 3/B del D.M. 56/09; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero;

(3) sommatoria dei 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, secondo la tabella 3/B del D.M. 56/09; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero.

(4) considerando l'incertezza di misura valutata in base ai Rapporti di Prova il valore è da considerarsi compreso tra LCB e LCL con una probabilità maggiore del 95%

Dalla tabella 5.3 si evince che i campioni, superficiale e profondo, del Tratto Unitario 1 (CAG1SUP e CAG1PROF) registrano valori superiori a LCB per alcuni parametri, in particolare:

- il campione CAG1SUP registra superamenti del LCB per DDE, *Dibenzo(a,c)+(a,h)antracene* e per PCB (in sommatoria);
- il campione CAG2PROF mostra concentrazioni marcatamente superiori a LCB per la quasi totalità dei singoli IPA, per gli IPA in sommatoria e per i PCB in sommatoria; registra inoltre una concentrazione di DDE superiore a LCL (4,1 µg/kg s.s. rispetto al limite pari a 3,7 µg/kg s.s.) che però, considerando l'incertezza di misura valutata sulla base dei Rapporti di Prova, risulta compresa fra LCB e LCL.

I campioni relativi ai Trattati Unitari 2 e 3 hanno concentrazioni inferiori a LCB per tutti i parametri indagati.

5.1.2 Test ecotossicologici

Le risultanze analitiche relative alle analisi ecotossicologiche sono state valutate sulla base dei criteri di classificazione riportati in tabella 5.4, così come indicato dal Manuale ICRAM-APAT.

Tabella 5.4: Classi di tossicità adottate nella valutazione dei risultati ecotossicologici

SPECIE	CLASSE A Tossicità assente o trascurabile	CLASSE B Tossicità media	CLASSE C Tossicità alta	CLASSE D Tossicità molto alta
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	EC20 ≥ 90%	EC20 < 90% e EC50 > 100%	40% ≤ EC50 < 100%	EC50 < 40%
<i>Brachionus plicatilis</i>	EC20 ≥ 90%	EC20 < 90% e EC50 > 100%	40% ≤ EC50 < 100%	EC50 < 40%
<i>Artemia franciscana</i>	EC20 ≥ 90%	EC20 < 90% e EC50 > 100%	40% ≤ EC50 < 100%	EC50 < 40%

I risultati dei test hanno portato a classificare i campioni analizzati come segue:

Tabella 5.5: Attribuzione della Classe di tossicità al campione superficiali del tratto unitario 2

SPECIE	CAG2SUP
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	EC20 > 90%
<i>Brachionus plicatilis</i>	EC20 > 100%
<i>Artemia franciscana</i>	EC20 > 100%
	CLASSE A

I risultati ottenuti conducono a classificare il campione all'interno della Classe A.

Tali risultati possono ragionevolmente essere estesi al campione profondo, viste le caratteristiche sostanzialmente confrontabili con quelle dei sedimenti superficiali indagati.

Il risultato conferma anche l'esito di recenti indagini effettuate nel Tratto unitario 1 (Caratterizzazione dei sedimenti marini ai fini dell'escavo del canale di atterraggio al Porto Regionale di Goro effettuata nel 2013).

5.2. Opzioni di gestione

La lettura integrata dei risultati ottenuti dai test ecotossicologici, dai livelli chimici e dalla granulometria dei sedimenti (tabella 5.6) al fine dell'attribuzione della Classe di Qualità nelle aree indagate deve essere confrontata con i criteri riportati nella tabella 2.5 del Manuale ICRAM-APAT, che definisce 12 possibili casi appartenenti a 6 classi di qualità (tabella 5.7).

Tabella 5.6: Lettura integrata della granulometria dei sedimenti e dei risultati delle indagini chimiche ed ecotossicologiche

CAMPIONE	FRAZIONE PELITICA	ANALISI CHIMICHE		CLASSE DI TOSSICITA'
		VALORI ≤ LCB	LCB < VALORI ≤ LCL	
CAG1SUP	>10%		X	A
CAG1PROF	>10%		X	
CAG2SUP	<10%	X		
CAG2PROF	<10%	X		
CAG3SUP	<10%	X		
CAG3PROF	>10%	X		

Tabella 5.7: Quadro riassuntivo dei possibili casi sulla base delle risposte chimiche ed ecotossicologiche (tabella 2.5 del Manuale ICRAM-APAT)

CHIMICA	COLONNA ECO-TOSSICOLOGIA	CASI	CLASSE	NOTE	
VALORI ≤ LCB	A ¹	1	A1	¹ Per questi materiali sabbiosi (pelite < 10%), l'esecuzione delle analisi ecotossicologiche è da valutare caso per caso.	
	A	2	A2 ³	² Si suggeriscono approfondimenti per l'individuazione dell'agente responsabile della tossicità (es. TIE).	
	B ²	3		³ Nel caso questi materiali abbiano una prevalente composizione sabbiosa (da valutare caso per caso) potranno essere utilizzati anche per attività di ripristino della spiaggia sommersa.	
	C ²	6	B1 ⁴	B2 ⁴	⁴ In base alla assenza (B1) o presenza (B2) di tossicità (colonna C) dell'elutriato.
	D ²	9	B2 ⁵	C1 ⁵	⁵ In base alla assenza (B2) o presenza (C1) di tossicità (colonna D) dell'elutriato.
LCB < VALORI ≤ LCL	A	4	A2 ⁶	⁶ Con questi materiali di classe A2 è consentito l'utilizzo per "ricostruzione della spiaggia sommersa" (di cui al punto 1. della tabella 2.2) solo se la componente sabbiosa è prevalente ed i valori chimici dei contaminanti organici risultano ≤ LCB (tabella 2.3A).	
	B	5	B1 ⁷	B2 ⁷	⁷ In base alla assenza (B1) o presenza (B2) di tossicità (colonna B) dell'elutriato.
	C ²	7	B2		
	D ²	10	B2 ⁸	C1 ⁸	⁸ In base alla assenza (B2) o presenza (C1) di tossicità (colonna D) dell'elutriato.
VALORI > LCL	A ⁹ o B ⁹	8	B2		⁹ Considerata la relativa bassa tossicità di questi materiali, si suggerisce di valutare la possibilità di determinare Livelli Chimici "locali" o approfondimenti analitici tali da giustificare un eventuale miglioramento della classe.
	C ²	11	C1 ¹⁰	C2 ¹⁰	¹⁰ In base alla assenza (C1) o presenza (C2) di tossicità (colonna C) dell'elutriato.
	D	12	C2		

*esecuzione analisi ecotossicologiche da valutare caso per caso

Per quanto attiene alla caratterizzazione dei sedimenti provenienti dall'area oggetto di scavo, i risultati delle analisi sopra esposte hanno portato ad attribuire i campioni a 2 Classi:

- **Classe A1**

Caso 1 (CAG2SUP, CAG2PROF, CAG3SUP)

- *pelite < 10%*
- *le concentrazioni delle sostanze chimiche risultano inferiori o uguali ai valori LCB (eventualmente corretti secondo i valori chimici locali)*
- *le risposte ottenute dall'esecuzione dei saggi biologici con le 3 specie-test risultano in classe A*

Le opzioni di gestioni relative alla Classe A1 sono:

A1	<p>Sabbie (pelite < 10%) da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ripascimento di arenili (previa verifica compatibilità con il sito di destinazione) 2. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero comprese le deposizioni finalizzate al ripristino della spiaggia sommersa. 3. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale. 4. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente). 5. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata). 6. Immersione in mare
-----------	---

- **Classe A2**

Caso 2 (CAG3PROF)

- *pelite > 10%*
- *le concentrazioni delle sostanze chimiche risultano inferiori o uguali ai valori LCB (eventualmente corretti secondo i valori chimici locali)*
- *le risposte ottenute dall'esecuzione dei saggi biologici con le 3 specie-test risultano in classe A*

Si osserva tuttavia che l'elemento che differenzia la classificazione di tale campione rispetto ai campioni appartenenti al Caso 1 è esclusivamente il contenuto di pelite, che in questo specifico caso è risultato solo di poco superiore al 10% (12%).

Caso 4 (CAG1SUP, CAG1PROF)

- *pelite > 10%*
- *le concentrazioni delle sostanze chimiche risultano inferiori o uguali ai valori LCL e superiori ai valori LCB (eventualmente corretti secondo i valori chimici locali)*
- *le risposte ottenute dall'esecuzione dei saggi biologici con le 3 specie-test risultano in classe A*

Le opzioni di gestioni relative alla Classe A2 sono:

A2	<p>Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero compresa la deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa (solo nel caso di prevalente composizione sabbiosa) 2. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale. 3. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente). 4. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata). 5. Immersione in mare.
-----------	--

Relativamente all'opzione di gestione 1 l'utilizzo per ricostruzione della spiaggia sommersa è ammesso solo se la componente sabbiosa è prevalente ed i valori chimici dei contaminanti organici risultano inferiori a LCB (vedi nota 6 della tabella 5.7), condizione quest'ultima non soddisfatta per i sedimenti dei campioni CAG1SUP e CAG1PROF in quanto registrano superamenti per PCB, DDE e IPA.

Riassumendo, rispetto al progetto proposto e alle analisi condotte, preso a riferimento il percorso metodologico proprio del Manuale ICRAM-APAT le opzioni di gestione delle aree oggetto di scavo sono riportate in tabella 5.8:

Tabella 5.8: Classificazione dei sedimenti oggetto di intervento

TRATTO UNITARIO	CAMPIONE	CHIMICA	CLASSE DI TOSSICITA'	CASO	CLASSE
TU 1	CAG1SUP	LCB<VALORI ≤ LCL	A	4	A2(*)
	CAG1PROF	LCB<VALORI ≤ LCL	A	4	A2(*)
TU 2	CAG2SUP	VALORI ≤ LCB	A	1	A1
	CAG2PROF	VALORI ≤ LCB	A	1	A1
TU 3	CAG3SUP	VALORI ≤ LCB	A	1	A1
	CAG3PROF	VALORI ≤ LCB	A	2	A2

(*) ad esclusione dell'utilizzo per "ripristino della spiaggia sommersa"

In conclusione, i sedimenti del tratto n.2 e n.3, sia quelli superficiali che quelli profondi, sono prevalentemente sabbiosi e di buona qualità.

In merito alle opzioni di gestione e alle finalità del progetto, **i sedimenti di entrambi i tratti (n.2 e n.3) sono idonei alla deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa.**

In merito ai sedimenti del **tratto n.1**, sia superficiali che profondi, anch'essi caratterizzati da una prevalente componente sabbiosa ma con concentrazioni di contaminanti organici superiori ai Livelli Chimici di Base, le possibili opzioni gestionali prevedono **la ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero con esclusione della deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa.**

In merito alle valutazioni microbiologiche e alla compatibilità con le attività legate alla molluschicoltura si rimanda alle valutazioni della competente Autorità sanitaria.

APPENDICE

Dati chimici, fisici, microbiologici ed ecotossicologici dei campioni di sedimento

UdM	PARAMETRI	CAG1SUP	CAG1PROF	CAG2SUP	CAG2PROF	CAG3SUP	CAG3PROF
%	Residuo a 105°C	71,12	62,85	76,22	74,25	76,08	75,70
%	Umidità a 105°C	28,88	37,15	23,78	25,75	23,92	24,30
	Metalli						
mg/kg s.s.	Mercurio	0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
mg/kg s.s.	Cadmio	0,11	0,29	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
mg/kg s.s.	Piombo	11,8	20,8	8,5	10,0	9,8	8,6
mg/kg s.s.	Arsenico	5,9	11,3	6,83	6,5	6,9	7,2
mg/kg s.s.	Cromo totale	79,4	104,5	98,2	85,8	99,7	94,0
mg/kg s.s.	Cromo VI	0,51	0,43	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
mg/kg s.s.	Rame	11,4	25,8	8,29	8,6	7,9	9,2
mg/kg s.s.	Nichel	60,5	79,2	64,6	63,2	59,7	72,1
mg/kg s.s.	Zinco	62,0	99,1	59,4	56,8	56,0	56,3
mg/kg s.s.	Alluminio	15500	24600	18620	15510	16950	17950
	Idrocarburi						
mg/kg s.s.	Idrocarburi C<=12	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	0,15	<0,01
mg/kg s.s.	Idrocarburi C>12	44	29	25	37	16	19
	Pesticidi						
µg/kg s.s.	Esaclorocicloesano alfa (HCH alfa)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	Esaclorocicloesano beta (HCH beta)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	Esaclorocicloesano gamma (lindano)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	Esaclorobenzene	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	Aldrin	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	Dieldrin	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	2,4' - DDE	0,42	0,67	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	4,4' - DDE	1,8	3,4	0,42	0,75	0,50	<0,10
µg/kg s.s.	2,4' - DDD	<0,10	0,67	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	4,4' - DDD	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	2,4' - DDT	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
µg/kg s.s.	4,4' - DDT	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
	IPA						
ng/g s.s.	Naftalene	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
ng/g s.s.	Acenaftilene	<2,0	3,1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
ng/g s.s.	Acenaftene	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
ng/g s.s.	Fluorene	<2,0	2,4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
ng/g s.s.	Fenantrene	16,4	141	<2,0	4,0	3,2	<2,0
ng/g s.s.	Antracene	5,5	37,1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
ng/g s.s.	Fluorantene	64,9	418	8,6	14,2	13,7	26,9
ng/g s.s.	Pirene	56,2	344	8,6	12,3	12,8	26
ng/g s.s.	Benzo(a)antracene	30,9	227	4,4	7,7	8,3	17,7
ng/g s.s.	Crisene	25,3	187	4,6	6,3	5,9	14,7
ng/g s.s.	Benzo(b)+(j)fluorantene	23,3	157	3,9	8,6	5,8	16,4
ng/g s.s.	Benzo(k)fluorantene	16,4	89,8	2,7	5,3	4,9	10,1
ng/g s.s.	Benzo(a)pirene	33,1	210	3,5	8,7	8,1	18,6
ng/g s.s.	Indeno(1,2,3-cd)pirene	24,4	98,7	2,2	7,0	3,9	10,5
ng/g s.s.	Dibenzo(a,c)+(a,h)antracene	6,6	48,0	<2,0	<2,0	<2,0	3,2
ng/g s.s.	Benzo(g,h,i)perilene	24,8	142	4,0	8,2	7,9	13,9
ng/g s.s.	Sommatoria IPA (I)	328	2105	42,5	83,3	74,5	158
	PCB						
ng/g s.s.	Sommatoria PCB(2)	12,0	21,4	3,39	3,79	2,44	1,15

UdM	PARAMETRI	CAG1SUP	CAG1PROF	CAG2SUP	CAG2PROF	CAG3SUP	CAG3PROF
	Analisi microbiologiche						
MPN/g s.s.	Coliformi totali	3	<1	<1	<1	<1	<1
MPN/g s.s.	Coliformi fecali	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MPN/g s.s.	Streptococchi fecali	2	<1	<1	<1	1	<1
MPN/g s.s.	Escherichia coli	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MPN/g s.s.	Salmonelle	<1	<1	<1	<1	<1	<1
UFC/g s.s.	Spore di Clostridi Solfito-riduttori	<5	<6	<5	<5	<5	<5
	Analisi ecotossicologiche						
%	<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 24h (LC20)			>100			
%	<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 24h (LC50)			>100			
%	<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 24h (%mort.)			6,67			
%	<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 48h (LC20)			>100			
%	<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 48h (LC50)			>100			
%	<i>Brachionus plicatilis</i> - Test 48h (%mort.)			6,67			
%	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> -Test 72h (EC20)			>90			
%	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> -Test 72h (EC50)			>90			
%	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> -Test 72h (%inib.)			0			
%	<i>Artemia franciscana</i> - Test 14 gg (LC20)			>100			
%	<i>Artemia franciscana</i> - Test 14 gg (LC50)			>100			
%	<i>Artemia franciscana</i> - Test 14 gg (%mortalità)			7,69			
	Analisi granulometrica						
%	Scheletro>2mm	2,3	2,0	0,4	1,9	0,9	1,3
%	Sabbia 2000-1000µm	1,1	1,6	0,4	1,1	0,7	0,9
%	Sabbia 1000-500µm	0,7	1,1	0,2	0,6	0,2	0,5
%	Sabbia 500-250µm	6,5	4,5	2,4	9,3	0,5	1,8
%	Sabbia 250-125µm	66,9	54,3	51,0	66,3	59,7	51,9
%	Sabbia 125-63µm	14,2	14,3	41,4	16,5	31,9	33,0
%	Sabbia 63-50µm	3,8	5,7	0,6	0,1	2,9	2,8
%	Limo 50-20µm	0,3	5,0	1,0	0,3	0,3	1,8
%	Limo 20-2µm	3,0	8,0	1,5	3,5	<0,1	4,0
%	Argilla<2µm	3,5	5,5	1,5	2,3	3,8	3,0

(1) la sommatoria IPA fa riferimento alla tabella 3/B del D.M. 56/09; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero;

(2) sommatoria dei 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, secondo la tabella 3/B del D.M. 56/09; ai fini di tale sommatoria i valori delle singole sostanze inferiori al limite di quantificazione sono considerati zero