

D.P.C.M. 15.10.2015

Interventi per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell'area di Bagnoli - Coroglio.

APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRENSIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DI DIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGLIO" (NA)"  
CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - CUP: C65E19000390001



Presidenza del Consiglio dei Ministri  
IL COMMISSARIO STRAORDINARIO DEL GOVERNO  
PER LA BONIFICA AMBIENTALE E RIGENERAZIONE URBANA  
DELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE  
BAGNOLI - COROGLIO



STAZIONE APPALTANTE



Funzione Servizi di Ingegneria

Direzione Area Tecnica  
Ambiente:  
Ing. Edoardo Robortella Stacul

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Lorenzo MORRA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

\_PROGER S.p.A. (mandataria)  
\_AMBIENTE S.p.A.  
\_RINA CONSULTING S.p.A.  
\_ARCADIS ITALIA S.r.l.

\_FINALCA INGEGNERIA S.r.l.  
\_3BA S.r.l.  
\_DHI SRL A SOCIO UNICO  
\_ASPS Servizi Archeologici s.n.c.

Coordinatore della Progettazione e Responsabile della Integrazione delle Relazioni Specialistiche PMI  
\_Ing. M. Balzarini (RINA)

Responsabile Paesaggio, Ambiente, Naturalizzazione, Agroalimentare, Zootecnica, Ruralità, Foreste (CAT.P.03)  
\_Ing. L. Rossi (ARCADIS)

Responsabile Paesaggio, Ambiente, Naturalizzazione, Agroalimentare, Zootecnica, Ruralità, Foreste (CAT.P.01)  
\_Ing. E. Scanferla (PROGER)

Responsabile Strutture (CAT. S.03)

\_Ing. A. Tomarchio (RINA)

Archeologo

\_Dott. F. Tiboni (ASPS)

Responsabile Paesaggistica

\_Ing. F. Tamburini (AMBIENTE)

Responsabile Aspetti Naturalistici e S.I.A.

\_Ing. L. Bertolé (ARCADIS)

Responsabile della Modellazione Numerica

\_Ing. A. Pedroncini (DHI)

Responsabile Impianti (CAT. IB.06)

\_Ing. G. Morlando (FINALCA)

Responsabile Acustica

\_Ing. C. Di Michele (PROGER)

Responsabile Geologia

\_Geol. M. Sandrucci (PROGER)

Coor. Sicurezza in fase di Progettazione

\_Ing. N. Sciarra (PROGER)

BIM MANAGER

\_Geom. G. Pietrolungo (PROGER)

Responsabile Rilievi

\_Geol. L. Bignotti (AMBIENTE)

Responsabile Indagini

\_Geol. M. Mannocci (AMBIENTE)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Rimozione Sedimenti

\_Geol. R. Costa (ARCADIS)

Resp. Test dimostrazione Tecno.

-Capping

\_Geol. P. Mauri (AMBIENTE)

## PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

ELABORATO	DATA	NOME	FIRMA
REDAITTO	08/2023	Geol. R. Costa (ARCADIS)	
VERIFICATO	08/2023	Ing. L. Rossi (ARCADIS)	<i>Lorenzo Rossi</i>
APPROVATO	08/2023	Ing. Edoardo Robortella Stacul	
DATA	08/2023		
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	SCALA
Rev. 0	20/07/2023	PRIMA EMISSIONE	-
Rev. 1	07/08/2023	REVISIONE 1	CODICE FILE
Rev. 2	-		2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01



CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - Rimozione Colmata e Bonifica Arenili - CUP: C65E19000390001 - Progettazione e Risanamento Sedimenti Marini

INVITALIA

APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRESIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DI DIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGGIO (NA)".

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01–Agosto 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	Prima Emissione	Geol. R. Costa (ARCADIS)	Ing. L. Rossi (ARCADIS)	Ing. E. Robortella Stacul	20/07/2023
1	Revisione 1	Geol. R. Costa (ARCADIS)	Ing. L. Rossi (ARCADIS)	Ing. E. Robortella Stacul	07/08/2023

All rights, including translation, reserved. No part of this document may be disclosed to any third party, for purposes other than the original, without written consent of RINA Consulting S.p.A.



PROGER



## INDICE

	Pagina
<b>INDICE DELLE TABELLE</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DEGLI ALLEGATI</b>	<b>4</b>
<b>ABBREVIAZIONI E ACRONIMI</b>	<b>5</b>
<b>1 PREMESSA</b>	<b>6</b>
1.1 PROCEDIMENTI AMMINISTRATIVI	7
1.2 CONTESTO AMMINISTRATIVO	8
1.3 OBIETTIVI DELL'INTERVENTO	9
1.4 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	11
1.4.1 Documentazione tecnico amministrativa	11
1.4.2 Riferimenti normativi e tecnici	11
1.4.3 Riferimenti tecnici e documentali	12
1.5 SINTESI PROGETTAZIONE NUOVA LINEA DI RIVA	13
<b>2 MODELLO CONCETTUALE</b>	<b>15</b>
2.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	22
2.1.1 Inquadramento geomorfologico	22
2.1.2 Inquadramento geologico	23
2.1.3 Inquadramento idrogeologico e MISE delle acque di falda	26
2.2 INDAGINI ESEGUITE	26
2.2.1 Arenile nord	29
2.2.2 Arenile sud	32
2.2.3 Sedimenti marini	35
2.3 TEST DI TRATTABILITÀ	38
2.3.1 Test di trattabilità con soil washing e desorbimento termico (2020)	38
2.3.2 Test di trattabilità con soil washing (2023)	39
2.3.3 Stima del possibile scenario di trattamento dei sedimenti escavati/dragati	44
2.4 LIMITI, VINCOLI ED INTERFERENZE PRESENTI	45
<b>3 STRATEGIA DI INTERVENTO</b>	<b>48</b>
3.1 CRITERI DI EQUILIBRIO E STABILITÀ FISICA	48
3.2 CRITERI AMBIENTALI	49
3.3 CRITERI DI SOSTENIBILITÀ	49
3.4 SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE	50
<b>4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b>	<b>51</b>
4.1 DATI DI BASE PROGETTUALI	51
4.2 SEQUENZA DI INTERVENTO	53
4.2.1 Fase 1: Attività di cantierizzazione	55
4.2.2 Fase 2: Opere propedeutiche	57
4.2.3 Fase 3: Verifica e/o aggiornamento dati progettuali	75
4.2.4 Fase 4: Attività di scavo e gestione materiali	75
4.2.5 Fase 5: Attività di dragaggio	86
4.2.6 Fase 6: Attività per la realizzazione delle opere di difesa della LdR progettuale	87
4.2.7 Fase 7: Attività di ripascimento	88
4.3 DETTAGLI DELLA GESTIONE DELLE MATERIE	89
4.4 GESTIONE DELLE INTERFERENZE	94

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

<b>5</b>	<b>COLLAUDO DEGLI INTERVENTI</b>	<b>99</b>
<b>6</b>	<b>MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI E PIANO DI MONITORAGGIO</b>	<b>101</b>
6.1	GENERALITÀ	101
6.2	MONITORAGGIO AMBIENTALE	101
<b>7</b>	<b>CRONOPROGRAMMA DEGLI INTERVENTI</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>STIMA DEI COSTI</b>	<b>105</b>

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1:	Sintesi dati di escavo, dragaggio e ripascimento per la realizzazione della LdR progettuale	14
Tabella 2.1:	Limiti di riferimento adottati per le analisi chimiche dei sedimenti degli Arenili Nord e Sud	27
Tabella 2.2:	Limiti di riferimento adottati per gli eluati dei test di cessione	28
Tabella 2.3:	Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Nord	31
Tabella 2.4:	Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Sud	34
Tabella 2.5:	Concentrazioni massime e medie rilevate nei sedimenti marini	36
Tabella 2.6:	Lotto A1. Riepilogo dei risultati dei test di trattabilità	42
Tabella 2.7:	Lotto A2. Riepilogo risultati dei test di trattabilità	42
Tabella 2.8:	Lotti A1 e A2. Riepilogo efficienze di abbattimento delle concentrazioni	43
Tabella 2.9:	Riduzione delle concentrazioni dei contaminanti attese post trattamento soil washing	45
Tabella 4.1:	Volumi di scavo	53
Tabella 4.2:	Strumentazione utilizzata per l'esecuzione dei rilievi	65
Tabella 4.3:	Software utilizzati per l'acquisizione, l'elaborazione e la restituzione dei rilievi	65
Tabella 4.4:	Coordinate dei punti di caratterizzazione preliminare	71
Tabella 4.5:	Set analitico da adottare per le analisi chimiche sui campioni di sedimento ai sensi del D.Lgs.152/06	72
Tabella 4.6:	Set analitico adottato per i test di cessione ai fini del riutilizzo del materiale	80
Tabella 4.7:	Set analitico adottato per il test di cessione per la verifica dell'idoneità al recupero ai sensi del DM 186/06 e s.m.i.	82
Tabella 4.8:	Set analitico adottato per il test di cessione per la verifica dell'ammissibilità in discarica ai sensi del D.Lgs. 121/2020	82
Tabella 4.9:	Set analitico adottato per la caratterizzazione del rifiuto	82
Tabella 4.10:	Tempistiche di scavo	85
Tabella 4.11:	Sondaggi e campioni considerati nella Microcella Nord per la valutazione della gestione dei materiali di scavo	90
Tabella 4.12:	Sondaggi e campioni considerati nella Zona Arenile Sud per la valutazione della gestione dei materiali di scavo	91
Tabella 4.13:	Gestione dei volumi di sedimenti naturali da scavare nella Microcella Nord	93
Tabella 4.14:	Gestione dei volumi di riporti della colmata da scavare nella Microcella Nord	94
Tabella 4.15:	Gestione dei volumi di sedimenti naturali da scavare nella Zona Arenile Sud	94
Tabella 4.16:	Coordinate dei piezometri presenti sugli arenili	97
Tabella 6.1:	Sintesi delle attività previste dal Piano di Monitoraggio Ambientale	102

### INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1:	Area inibita alla balneazione	9
Figura 1.2:	Aree di intervento	13
Figura 1.3:	Nuovo profilo di spiaggia emersa e sommersa	14
Figura 2.1:	Ubicazione dell'ARIN Bagnoli-Coroglio	15
Figura 2.2:	Stato attuale dell'Arenile Nord	17
Figura 2.3:	Stato attuale dell'Arenile Sud	19
Figure 2.4:	Tipologia e localizzazione delle indagini eseguite nel Piano di Caratterizzazione ABBaCo	21
Figura 2.5:	Carta geomorfologia (Fonte: [D5])	23
Figura 2.6:	Punti di indagine di interesse nell'Arenile Nord	30
Figure 2.7:	Punti di indagine di interesse nell'Arenile Sud	33

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Figure 2.8:	Ubicazione delle indagini e poligoni di Thiessen del progetto ABaCo all'interno della Microcella Nord	36
Figure 2.9:	Ubicazione delle indagini e poligoni di Thiessen del progetto ABaCo all'interno della Zona Arenile Sud	36
Figura 2.10:	Ubicazione Area E dell'Arenile Sud sottoposta a test pilota delle tecnologie di bonifica nel 2020	38
Figura 2.11:	Aree oggetto di test di dimostrazione tecnologica	40
Figura 2.12:	Riepilogo delle verifiche sulla recuperabilità delle matrici solide granulari	44
Figura 2.13:	Ubicazione pontile nord e diaframma Arenile Nord e Sud	46
Figura 2.14:	Impianto di alimentazione idrica e scarico CRIMA (fonte: elaborato T.2.06 Progetto di fattibilità tecnico economica infrastrutture e servizi)	47
Figura 2.15:	Ubicazione pozzi di ricarica della MISE della colmata nella zona nord del Pontile Nord	47
Figura 3.1:	Sezione tipologica della LdR progettuale	49
Figura 4.1:	Rappresentazione del volume di escavo in sezione e in pianta	52
Figura 4.2:	Schema di flusso di gestione dei materiali escavati	54
Figura 4.3:	Rappresentazione schematica dei percorsi dei materiali escavati	56
Figura 4.4:	Aree interessate possibili attività di decespugliamento	58
Figura 4.5:	Aree interessate dai rilievi nell'ambito dei test di dimostrazione tecnologica	62
Figura 4.6:	Fotomosaico ottenuto dall'elaborazione dei dati Side Scan Sonar per le aree indagate	63
Figura 4.7:	DTM ottenuto dal rilievo batimetrico multibeam	66
Figura 4.8:	Ubicazione indicativa dei punti di caratterizzazione preliminare – Microcella Nord	70
Figura 4.9:	Ubicazione indicativa dei punti di caratterizzazione preliminare – Zona Arenile Sud	71
Figura 4.10:	Ubicazione rappresentativa dei diaframmi	74
Figura 4.11:	Schema di suddivisione delle aree di scavo secondo una griglia regolare	77
Figura 4.12:	Interferenza tra scavo e diaframma Arenile Nord	96
Figura 4.13:	Interferenza tra scavo e diaframma Arenile Sud	96
Figura 4.14:	Ubicazione dei piezometri nell'Arenile Nord e Sud	98

## INDICE DEGLI ALLEGATI

Allegato 1. Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

<b>ARIN</b>	Area di Rilevante Interesse Nazionale
<b>ARPAC</b>	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania
<b>CdS</b>	Conferenza di Servizi
<b>ISPRA</b>	Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale
<b>ISS</b>	Istituto Superiore di Sanità
<b>LdR</b>	Linea di riva
<b>PdCC</b>	Piano di Caratterizzazione Complementare, Invitalia, luglio-ottobre 2022
<b>PFTE</b>	Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica
<b>PRARU</b>	Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

# 1 PREMESSA

Il presente documento è stato preparato nell'ambito dell'*Appalto misto di servizi di ingegneria e architettura per la progettazione definitiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per appalto integrato, comprensivo di servizi di indagini e di lavori di test di dimostrazione tecnologica, oltre ai servizi di direzione dei lavori e di coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferente all'intervento denominato "rimozione colmata, bonifica degli arenili emersi "Nord" e "Sud" e risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nell'Area di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)".*

Il contesto in cui si inseriscono gli interventi di appalto integrato suddetti è stato delineato dal Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli (PRARU), il cui Stralcio Urbanistico e relative Norme Tecniche Attuative (NTA) sono stati approvati nella Conferenza di Servizi (CdS) del 14 giugno 2019 e adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019.

Il PRARU prevede che saranno ricostituite le caratteristiche originarie del sito, alterate dalle precedenti attività industriali con, come obiettivo primario, il ripristino della balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito, tramite le seguenti azioni:

- ✓ Eliminazione degli scarichi incontrollati attualmente attivi
- ✓ Risanamento dei sedimenti inquinati a mare
- ✓ Ripascimento e bonifica degli arenili emersi
- ✓ Rimozione delle scogliere di protezione presso l'arenile Nord e Sud

Il PRARU prevede quindi una nuova configurazione della costa all'interno della baia con le seguenti caratteristiche:

- ✓ Rimozione integrale della colmata
- ✓ Valorizzazione del Pontile Nord.
- ✓ Demolizione dei tre pontili
  - Pontile Sud
  - Pontile Sala Pompe
  - Pontile Città delle Scienze
- ✓ Realizzazione spiaggia pubblica nel tratto di lungomare compreso tra l'Arenile Nord e l'Arenile Sud avente le seguenti caratteristiche:
  - 2 km di lunghezza
  - 60 m larghezza minima
  - 120 m larghezza massima
  - 21,3 ettari di superficie
  - Porto turistico a Nisida

Al fine di consentire di completare/realizzare tutti gli interventi necessari e prodromici alla piena rigenerazione urbana definita dal PRARU, INVITALIA ha predisposto il Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica per la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale delle aree a terra e dell'area marina nell'area del Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio (PFTE) sottoposto a Conferenza di Servizi preliminare conclusasi nell'agosto 2020.

Il PFTE è stato articolato sostanzialmente in tre principali linee di intervento:

- ✓ aree a terra, sia di proprietà di INVITALIA che di competenza in qualità di Soggetto Attuatore in quanto ricadenti all'interno dell'Area di Rilevante Interesse Nazionale (ARIN);
- ✓ MACROAREA 1: area di colmata, per la quale si deve intendere ricompresa anche la fascia degli arenili emersi a nord (arenile Bagnoli) e a sud (arenile Coroglio) nonché la porzione di sedimenti sui quali insiste l'area di colmata vera e propria;
- ✓ MACROAREA 2: area marina, comprendente le volumetrie di sedimenti sommersi ricadenti all'interno dell'ARIN, al netto di quelli di cui al punto precedente.

Il presente elaborato ha lo scopo di esplicitare per l'ambito di intervento "MACROAREA 1 – ARENILI EMERSI NORD E SUD" le attività di risanamento individuate, illustrandone le modalità di esecuzione, di collaudo e di monitoraggio nel tempo e dettagliando gli elementi tecnici adottati in attuazione delle linee generali di progetto riportate nel PFTE. Infatti, ferme restando le basi progettuali e la funzionalità delle opere descritte nel PFTE, nel presente documento sono state adottate soluzioni migliorative per alcuni aspetti operativi, attuate in conseguenza all'analisi delle alternative disponibili, scegliendo le soluzioni che meglio si adattano al contesto del sito e/o che risultano maggiormente efficienti ed efficaci al raggiungimento degli obiettivi di intervento.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 1.1 PROCEDIMENTI AMMINISTRATIVI

Di seguito viene riportato un elenco dei principali procedimenti amministrativi che si sono succeduti nel corso degli ultimi anni relativamente all'oggetto del presente documento:

- Piano di caratterizzazione integrativo delle aree a terra, che ha riguardato anche l'area della colmata – Conferenza dei servizi del **14 aprile 2016**.
- Piano di Caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio – Progetto ABBACO, approvato dal Commissario di Governo con Decreto del **26 settembre 2017** mentre i risultati del Piano di Caratterizzazione sono stati approvati con Decreto del Commissario di Governo del **13 novembre 2019**.
- Conferenza dei Servizi del 14 giugno 2019 per l'approvazione dello Stralcio Urbanistico e delle relative Norme Tecniche Attuative (di seguito NTA) del PRARU adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019. L'approvazione dello Stralcio Urbanistico e le relative NTA è l'atto formale a valle del quale è possibile procedere con tutti i successivi livelli di progettazione degli interventi di risanamento ambientale, infrastrutturazione e rigenerazione urbana.
- In data **12 febbraio 2020** è stato istituito il tavolo tecnico "*Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio*", con il fine, tra l'altro, di definire gli obiettivi di balneabilità, le proprietà di intervento e condividere le tecnologie di risanamento marino da sottoporre a test pilota;
- In data **24 giugno 2020** è stato trasmesso al Commissario Straordinario, con prot. n. 0091522 il "Progetto di Fattibilità Tecnica economica della Bonifica e Risanamento Ambientale" sia delle aree a terra che delle aree marine.
- Con verbale di chiusura della CdS prot. CSB 000077 del **13 agosto 2020** sono stati acquisiti i pareri espressi dagli Enti interessati nell'ambito del procedimento in oggetto.
- In data **22 febbraio 2022** è stata aggiudicata la gara per la Progettazione definitiva in oggetto e le relative attività, in via d'urgenza, sono state avviate in data **17 marzo 2022**;
- In data **29 aprile 2022** si è tenuta una seduta del tavolo Tecnico "*Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio*" nel corso della quale Invitalia, come previsto dai capitolati di gara, ha illustrato i seguenti documenti, già trasmessi al Commissario di Governo con nota prot. 0092143 del 07.04.2022:
  - Approccio metodologico per lo sviluppo dell'Analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona on shore della parte a mare;
  - Approccio metodologico per lo sviluppo dell'Analisi di rischio ecologica sito specifica per la zona off shore della parte a mare;
  - Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: "Capping";
  - Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: "Risanamento sedimenti marini";
- In data **4 maggio 2022** e **23 maggio 2022**, rispettivamente ISS e ISPRA/ARPAC hanno trasmesso i propri pareri relativi ai documenti su detti;
- In data **15 maggio 2022** si è tenuta una seduta del tavolo Tecnico "*Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio*" in cui, relativamente all'analisi di rischio per gli arenili e per la zona on shore, è stato stabilito, tra l'altro, di utilizzare lo strumento dell'analisi del rischio (AdR), da eseguirsi in modalità diretta, a fini previsionali;
- In data **15 giugno 2022** si è tenuta una seduta del tavolo Tecnico "*Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio*" nel corso della quale, ai fini dell'elaborazione del Progetto definitivo in oggetto, è stato concordato di
  - di procedere ad eseguire un Piano di Caratterizzazione integrativo degli Arenili, complementare rispetto alla caratterizzazione eseguita nel 2021 da Invitalia, che dovrà essere validato da ARPAC e che dovrà fornire utili informazioni anche ai fini della valutazione del rischio;
  - di utilizzare lo strumento dell'analisi del rischio (AdR), da eseguirsi in modalità diretta, a fini previsionali secondo modalità operative che saranno oggetto di successivi incontri;

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- In data **01 Luglio 2022** Invitalia ha trasmesso "la proposta di Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud al fine di recepire eventuali osservazioni/prescrizioni da parte degli Enti Competenti, preliminarmente alla fase esecutiva";
- In data **15 Luglio 2022** sono state avviate i lavori dei test di dimostrazione tecnologia su detti;
- In data **13 ottobre 2022** è stato trasmesso il parere ARPAC, condiviso con ISPRA nell'ambito del SNPA, relativo alla Proposta di Piano di Caratterizzazione su detta;
- In data **19 ottobre 2022**, è stato acquisito da Invitalia al prot. 0306847 del 20.10.2022, il parere ISS relativo alla Proposta di Piano di Caratterizzazione su detta;
- In data **01 dicembre 2022** Commissario ha espresso "parere favorevole relativamente alla proposta di Piano di caratterizzazione complementare dell'Arenile Nord e Sud come integrato con la documentazione inoltrata da Invitalia con nota prot. n. 0309540 del 24/10/2022 ovvero";
- In data **30 gennaio 2023** sono state avviate le attività del Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud.
- In data **05 aprile 2023** Invitalia ha trasmesso ad ARPAC, per le successive attività di validazione, i risultati del Piano di caratterizzazione suddetto.

### 1.2 CONTESTO AMMINISTRATIVO

Il Comune di Napoli, alla luce di quanto riportato nel parere dell'Istituto Superiore di Sanità n. 0036149-0040996 AMPP/IA.12 del 27/07/06 e del 19/07/06 n. 6591 e 9198, ha emesso le seguenti ordinanze di divieto di balneazione

- ✓ **Ordinanza Sindacale n. 1304 del 02 agosto 2006 – Divieto di balneazione area marino-costiera prospiciente il Sito di Interesse Nazionale Bagnoli-Coroglio. Inibizione temporanea delle parti di arenili cosiddette "a sud della colmata"**

In tale Ordinanza viene riportato che:

- Vista l'Ordinanza Sindacale n. 360 del 07.07.2006 relativa al divieto di balneazione
- **ORDINA a tutta la cittadinanza tutta è fatto divieto di balneazione sull'area marino costiera prospiciente il sito di interesse Nazionale Bagnoli Coroglio nonché di accedere e sostare sulle parti di arenili cosiddette a sud della colmata....**

.....

- ✓ **Ordinanza Sindacale n. 3 del 26/04/2022 - Individuazione acque di balneazione per la stagione balneare 2022**

In tale Ordinanza viene riportato che:

- Considerato: che per quanto riguarda le acque di balneazione permanentemente vietate ricadenti nel proprio territorio, il Servizio Tutela del Mare - struttura comunale competente al controllo della balneazione - con nota PG 314381 del 22/04/2022 **ha confermato per il 2022 i tratti di costa che già nel 2021 erano ritenuti permanentemente vietati alla balneazione per motivi diversi dall'inquinamento, compresi quelli di cui alla O.S. 1304 del 02 agosto 2006, con la quale è stata disposta l'interdizione della balneazione in tutta l'area marino costiera prospiciente il Sito di Interesse Nazionale Bagnoli/Coroglio.**
- **Rilevato che le aree marino costiere interdette con O.S. 1304/2006 possono essere riammesse alla balneazione solo a seguito del completamento delle operazioni di bonifica dei fondali.**
- Il Litorale di Bagnoli viene ricompreso nell'Allegato "B" - Acque non adibite alla balneazione e

Di seguito si riportano le coordinate relative all'area inibita alla balneazione e la relativa immagine.

Denominazione	Coordinate Inizio		Coordinate Fine		Lunghezza (metri)
Litorale di Bagnoli	40,81671	14,15920	40,79900	14,17218 2250	2250

Ordinanza sindacale - Individuazione acque di balneazione per la stagione balneare 2022. - Prot. n. 3 del 26/04/2022



Figura 1.1: Area inibita alla balneazione

### 1.3 OBIETTIVI DELL'INTERVENTO

Come auspicato nell'ambito del complessivo PRARU e in aderenza alle linee di indirizzo definite dal PTFE, gli interventi da attuare nella zona degli arenili emersi e dei sedimenti sottostanti la colmata sono finalizzati a garantire la piena fruibilità degli arenili stessi e la balneabilità del sito.

In particolare, l'aggiornamento del PRARU di Luglio 2021 ha declinato il seguente Obiettivo specifico e la conseguente azione da implementarsi

- **Obiettivo Specifico O.S. 1.2 - Procedere al risanamento delle aree marine che presentano alterazioni delle caratteristiche naturali**

*In linea con la nuova vocazione dell'area, saranno ricostituite le condizioni ambientali adeguate a garantire l'obiettivo di balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito e il relativo ecosistema marino. La balneabilità rappresenta una risorsa preziosa per la piacevolezza e la vivibilità dei luoghi per la popolazione, nonché un attrattore per lo sviluppo di vocazioni turistiche. Tale obiettivo si concretizzerà:*

- *per la parte sedimenti marini attraverso lo studio idrodinamico del paraggio, la caratterizzazione e calcolo dei volumi di sedimento inquinati e le conseguenti azioni di dragaggio e/o risanamento dei fondali;*

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- *per la parte colonna d'acqua attraverso la ricognizione e le conseguenti azioni correttive (tecniche e amministrative) sul sistema degli scarichi di reflui civili che a vario titolo insistono lungo il perimetro dell'area (tale attività rientra nelle competenze dell'Obiettivo Generale 3 Infrastrutture- idrico).*
- ✓ **Azione 1.2.1** - Risanamento ambientale delle aree a mare attraverso l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili.

Si chiarisce, quindi, che **l'obiettivo della presente progettazione, per quanto riguarda il comparto sedimenti marini emersi e sedimenti marini onshore, è il risanamento dei sedimenti stessi al fine di garantire la balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito e la ricostituzione delle condizioni ambientali mediante l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili.**

In tal senso nel PFTE era stato previsto quanto segue:

- ✓ Interventi ambientali su arenili emersi Nord e Sud (scenario 1):
  - ***Arenile Nord:** ripascimento ambientale con sabbia relitta o proveniente da cava terrestre con idonee caratteristiche colorimetriche e mineralogiche per l'intera superficie dell'arenile per una volumetria tale che, integrando la volumetria di sabbia già posta in opera nel corso dell'intervento del 2016, sia garantito uno spessore di 1 metro sul telo posto in opera nel corso del medesimo intervento del 2016;*
  - ***Arenile Sud:** ripascimento ambientale con sabbia relitta o proveniente da cava terrestre con idonee caratteristiche colorimetriche e mineralogiche per l'intera superficie dell'arenile che raccorderà l'arenile emerso all'intervento di risanamento dei sedimenti marini, previa messa in opera di telo TNT, avente le medesime caratteristiche del telo posto in opera nei precedenti interventi presso l'Arenile Nord, al fine di eliminare i rischi (di ingestione, di contatto dermico e di inalazione di vapori contaminati) legati alla presenza di sabbia contaminata presente al di sotto della sabbia pulita relitta posta in opera.*

Gli approfondimenti tecnici sviluppati a partire dalle considerazioni riportate nel PFTE hanno permesso di individuare quale elemento fondamentale della progettazione il concetto di **intervento "unitario"** in quanto i comparti ambientali (sedimenti emersi e sommersi e acque marine) risultano fortemente interconnessi tra loro e la contaminazione presente nelle singole matrici e comparti ambientali (sedimenti emersi e sommersi e acque marine), se non affrontata con sistemi di bonifica da attuare in maniera coordinata e unitaria tra i comparti ambientali, anche se per lotti funzionali, può condizionare l'esito dei singoli interventi nel caso venissero eseguiti con tempistiche molto diverse, a causa dei possibili fenomeni di cross-contamination.

Sulla base di tale concetto cardine è risultato evidente come la progettazione non potesse prescindere da una valutazione di dettaglio della interconnessione tra sedimenti emersi e sommersi al fine di identificare interventi efficaci e duraturi nel tempo. Infatti, considerando la natura "dinamica" dei sedimenti (emersi e sommersi) è necessaria una progettazione integrata che tenga conto della loro evoluzione nel tempo e permetta di agire correttamente su tutti i comparti che le caratterizzano, ovvero sul comparto "dinamico" e sul comparto "statico", intendendo con comparto "dinamico" quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che può essere soggetta, nel corso della sua vita utile, a movimentazione a seguito dell'azione del moto ondoso e con comparto "statico" quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che, nel corso della relativa vita utile, non subisce movimentazioni anche nelle condizioni di moto ondoso più gravose. Il comparto "dinamico" è stato individuato attraverso l'applicazione di apposita modellistica numerica monodimensionale (cfr. elaborato **2021E022INV-01-D-00-GE-RS-REL-11-00**) valutando la modifica del profilo trasversale di sabbia, principalmente per effetto del trasporto cross-shore, in diverse condizioni di mareggiata e di livello del mare. In particolare, si è fatto riferimento a mareggiate relative a tempi di ritorno pari a 1, 5, 10, 50 e 100 anni, anche tra loro combinate, e a condizioni di livello variabili, comprese tra il livello minimo di marea astronomica ed il livello estremo, incrementato del sovrizzo previsto a causa dei cambiamenti climatici.

Lo studio dei fenomeni evolutivi e dinamici dei sedimenti ha permesso di identificare sia un profilo della linea di riva (di seguito LdR) progettuale stabile e duraturo nel tempo, sia le opere di confinamento necessarie alla sua stabilità e durabilità, sia gli spessori del volume dinamico dei sedimenti nella configurazione di progetto, definendo quindi i limiti tridimensionali (in termini di perimetro e spessore) complessivi di intervento, aggiornati rispetto quanto preventivato preliminarmente nel PFTE. La progettazione è stata quindi affrontata in maniera unitaria per gli arenili emersi nord e sud, i sedimenti sottostanti la colmata (a valle della rimozione della colmata stessa) e sedimenti onshore prospicienti l'intera LdR progettuale, fino alla "profondità di chiusura".

Tale approccio innovativo, frutto di attività e studi essenzialmente multidisciplinari, consente di affrontare tutte le problematiche del sito in maniera coordinata ed efficiente e di raggiungere efficacemente l'obiettivo di piena fruibilità

degli arenili e di balneabilità a lungo termine, minimizzando opere correttive nel tempo e, pertanto, permettendo la sostenibilità tecnica ed economica degli investimenti previsti nei diversi interventi interconnessi tra loro.

## 1.4 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 1.4.1 Documentazione tecnico amministrativa

Per la progettazione degli interventi sono stati considerati alla seguente documentazione tecnica prodotta durante l'iter amministrativo sviluppato per il sito:

- [1] IAMC-CNR, 2005. Indagini nell'area dello stabilimento dell'ex ILVA (Arenile di Bagnoli) – Risultati preliminari. Istituto per l'Ambiente Marino Costiero – CNR, 2005, Napoli.
- [2] *"Caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio"*, Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali dell'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università Politecnica delle Marche, 2020
- [3] *"Progetto di Fattibilità Tecnico economica della Bonifica e Risanamento Ambientale"* (PFTE), Invitalia, maggio 2020
- [4] Documenti discussi nell'ambito del Tavolo Tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" del 29 aprile 2022:
  - Approccio metodologico per lo sviluppo dell'Analisi di rischio sanitaria sito specifica per gli arenili e la zona on shore della parte a mare;
  - Approccio metodologico per lo sviluppo dell'Analisi di rischio ecologica sito specifica per la zona off shore della parte a mare;
  - Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: "Capping";
  - Piano operativo dei test di dimostrazione tecnologica: "Risanamento sedimenti marini";
- [5] Parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM con oggetto *"Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022"*
- [6] Verbale del Tavolo Tecnico Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio del 29 aprile 2022
- [7] Parere ISS prot. AOO-ISS N.17248 DAS 01.00 del 04/05/2022 con oggetto: *"Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022"*.
- [8] Verbale Riunione Tavolo Tecnico "Risanamento marino" del 15/06/2022
- [9] *"Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud"*, Invitalia, luglio 2022
- [10] Parere ARPAC del 12/10/2022 con oggetto *"verbale di tavolo tecnico per espressione di parere"* per la valutazione del "Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud", Invitalia, luglio 2022
- [11] *"Piano di Caratterizzazione Complementare Arenile Nord e Sud"* rev.2, Invitalia, ottobre 2022

### 1.4.2 Riferimenti normativi e tecnici

Per la progettazione dell'intervento si è fatto riferimento alla normativa tecnica attualmente vigente in materia ed in particolare:

- [R1] D.M. 5 febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti a procedure semplificate di recupero ai sensi degli Art. 31 e 32 del D.Lgs. 05/02/1997, n. 22

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- [R2] D.M. 12 giugno 2002, n. 161 "Norme tecniche per il recupero agevolato dei rifiuti pericolosi, ex D.Lgs 22/1997 – Testo vigente
- [R3] Norma UNI 10802:2004: "Rifiuti – Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi. – campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluati"
- [R4] D.Lgs. 03.04.2006 n. 152: "Norme in materia ambientale" e ss.mm.ii.
- [R5] DM 186 del 05/04/2006. Regolamento recante modifiche al decreto ministeriale 5 febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22"
- [R6] D.Lgs. 09.04.2008 n. 81: "Attuazione dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro" e ss.mm.it.
- [R7] D.M. 27.09.2010: "Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 3 agosto 2005"
- [R8] Legge 1 ottobre 2012, n. 177 "Modifiche al decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di sicurezza sul lavoro per la bonifica degli ordigni bellici" (GU n. 244 del 18-10-2012 e GU n. 245 del 19-10-2012).
- [R9] D.M. 11 maggio 2015, n. 82 "Regolamento per la definizione dei criteri per l'accertamento dell'idoneità delle imprese ai fini dell'iscrizione all'albo delle imprese specializzate in bonifiche da ordigni esplosivi residuati bellici, ai sensi dell'articolo 1, comma 2, della legge 1° ottobre 2012, n. 177"
- [R10] D.M. 28 febbraio 2017 "Disciplina tecnica e procedurale dell'organizzazione del servizio di bonifica del territorio nazionale da ordigni esplosivi residuati bellici e delle connesse attività di sorveglianza e vigilanza, nonché della formazione del personale addetto alla ricerca e allo scoprimento di ordigni esplosivi residuati bellici."
- [R11] Ministero della Difesa "Direttiva Tecnica Bonifica Bellica Sistemica Terrestre", 2^ serie aa.vv. aggiornata al 20 gennaio 2020. <https://www.difesa.it/SGD-DNA/Staff/DT/GENIODIFE/Pagine/Bonifica-Terrestre.aspx>
- [R12] Ministero della Difesa "Direttiva Tecnica sulla Bonifica Bellica Sistemica Subacquea", 1^ serie aa.vv. aggiornata al 19 maggio 2020. <https://www.difesa.it/SGD-DNA/Staff/DT/GENIODIFE/Pagine/Bonifica-Subacquea.aspx>
- [R13] D.Lgs. 03.09.2020 n. 121: "Attuazione della direttiva (UE) 2018/850 che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti.
- [R14] D.Lgs. 23 febbraio 2023, n. 18: "Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. GU 06/03/2023"

### 1.4.3 Riferimenti tecnici e documentali

Per la progettazione dell'intervento si è fatto riferimento alla seguente documentazione tecnica presente in letteratura per la zona di interesse:

- [D1] Colantoni P., 1972 - Esalazioni vulcaniche sottomarine. In: COLANTONI P. et al.: Ricerche geologiche nel Golfo di Pozzuoli. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 83, 46-50, Roma
- [D2] Cocco E., de Magistris M.A. & De Pippo T. (1988) - Distribuzione e dispersione dei sedimenti nella piattaforma costiera del Golfo di Pozzuoli. Mem. Soc. Geol. It., 41, 983-993.
- [D3] Cocco E., De Pippo T., Efaicchio M.T. & Tarallo F. (1988) - Caratteri morfologici della piattaforma costiera del Golfo di Pozzuoli. Mem. Soc. Geol. It., 41, 995-1004.
- [D4] Cinque A., Russo F. & Pagano M. (1991) - La successione dei terreni di età post-romana delle Terme di Miseno (Napoli): nuovi dati per la storia e la stratigrafia del bradisisma puteolano. Boll. Soc. Geol. It., 110, 231-244.
- [D5] Russo F., Calderoni G., Lombardo M., 1998. Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli. Boll. Soc. Geol. It., 117, 21-38, Roma

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

[D6] Invitalia, 2019. Analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica delle aree Ex Ilva e Ex Italsider nel SIN di Bagnoli-Coroglio, Rev.3, Dicembre 2019

[D7] Ministero della Salute - Direzione generale della prevenzione sanitaria, 2016. Sintesi delle conoscenze relative all'esposizione e al profilo tossicologico - Amianto

[https://www.salute.gov.it/portale/temi/documenti/acquepotabili/parametri/Val\\_Amianto\\_documento\\_completo.pdf](https://www.salute.gov.it/portale/temi/documenti/acquepotabili/parametri/Val_Amianto_documento_completo.pdf)

### 1.5 SINTESI PROGETTAZIONE NUOVA LINEA DI RIVA

La progettazione della LdR progettuale prevede, in sintesi (per i dettagli si rimanda agli elaborati **2021E022INV-01-D-02-MA-RS-REL-01-00**, **2021E014INV-01-D-02-OM-RS-REL-01-00**, e **2021E014INV-01-D-02-RI-RS-REL-01-00**):

- ✓ la creazione della nuova linea di costa attestata su un profilo idrodinamicamente stabile nel lungo periodo, quale raccordo tra gli arenili esistenti;
- ✓ la realizzazione di un insieme di strutture a chiusura del sistema, con lo scopo di confinamento dell'area soggetta al risanamento, prevedendo un pennello di chiusura a nord e a sud della zona attualmente idrodinamicamente instabile raccordati ad una soglia di contenimento (barriera soffolta) da realizzarsi alla batimetrica - 5 m s.l.m.m. e un ulteriore pennello realizzato in corrispondenza dell'attuale pontile Nord.

Con tali strutture l'intera area di intervento di sviluppo longitudinale complessivo pari a 2 km è stata suddivisa in n.3 zone (si veda la seguente Figura 1.2)

- 1) **"Microcella Nord"**, di sviluppo longitudinale pari a 400 m, comprendente la zona emersa tra il pennello nord e il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile Nord) (costituita da una porzione della superficie ex PFTE dell'Arenile Nord e la porzione di Colmata a nord del Pontile Nord) e la zona marina antistante sino alla barriera soffolta;
- 2) **"Macrocella"**, di sviluppo longitudinale pari a 1.000 m, comprendente la zona emersa tra il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile Nord) e il Pennello sud (costituita dalla zona della colmata a sud del Pontile Nord) e la zona marina antistante sino alla barriera soffolta
- 3) **"Zona Arenile Sud"**, di sviluppo longitudinale pari a 600 m, comprendente l'intero Arenile Sud e la zona marina antistante sino alla profondità di chiusura.

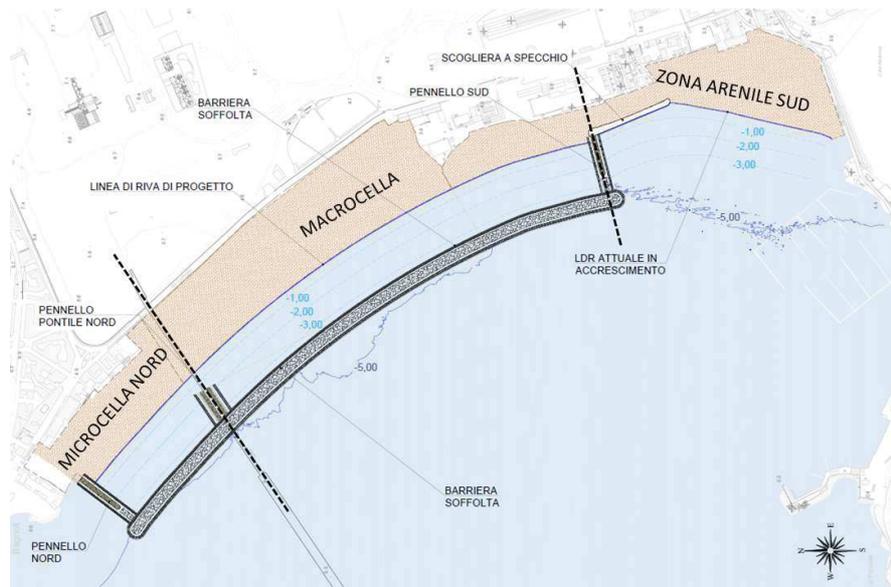


Figura 1.2: Aree di intervento

- ✓ la rimozione dello strato attivo di spiaggia, emersa e sommersa e il ripascimento con materiale conforme in modo da evitare che le mareggiate movimentino materiale potenzialmente contaminato e che vi sia

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

contatto diretto dei futuri fruitori della nuova spiaggia con sedimenti non conformi. Le caratteristiche granulometriche (D50) del materiale di prestito per la parte di ripascimento "attiva" saranno tali da rispettare la granulometria naturale e, al contempo, minimizzare i volumi di sabbia da approvvigionare e massimizzare gli effetti di stabilità.

Lo spessore di ripascimento è stato previsto pari ad almeno 1 m in corrispondenza dell'intera estensione della spiaggia emersa nella configurazione progettuale (Microcella Nord, Macrocella e Zona Arenile Sud).

La seguente Figura 1.3 mostra la sezione tipologica del nuovo profilo di spiaggia che sarà realizzato a valle delle rimozioni dello strato attivo e del ripascimento con materiale conforme.



**Figura 1.3: Nuovo profilo di spiaggia emersa e sommersa**

La seguente tabella sintetizza i volumi di escavo, dragaggio e ripascimento previsti in ciascuna delle aree di progettazione della nuova LdR.

Si precisa che l'escavo corrisponde al volume di sedimenti da rimuovere calcolati dal profilo attuale della spiaggia emersa e sommersa sino ad una quota pari alla base del volume dinamico o alla quota -2 m slm (al di sotto di tale quota -2 m slm il volume è stato considerato "di dragaggio")

L'escavo corrisponde quindi alle porzioni della Microcella Nord e della Zona Arenile Sud appartenenti al volume dinamico (determinato conservativamente adottando opportuni coefficienti di sicurezza) e che comprendono sia sedimenti emersi (attuale spiaggia dell'Arenile Nord e Sud), sia sedimenti sommersi nella fascia limitrofa alla LdR progettuale.

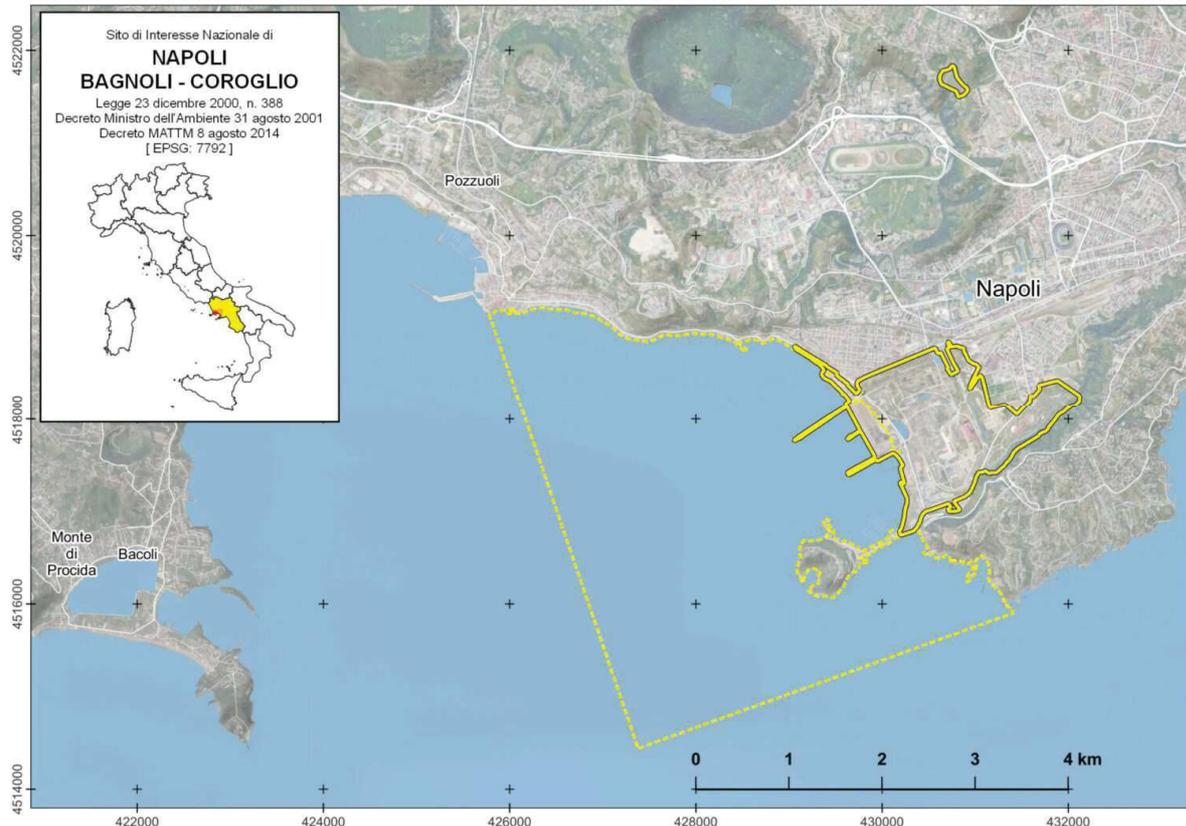
L'escavo nella zona di colmata non comprende gli ulteriori volumi di riporto che saranno oggetto delle attività di rimozione della colmata stessa, così come descritto nell'elaborato **2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00**.

**Tabella 1.1: Sintesi dati di escavo, dragaggio e ripascimento per la realizzazione della LdR progettuale**

Zona	Volume di escavo (m <sup>3</sup> )	Volume di dragaggio (m <sup>3</sup> )	Volume di ripascimento (m <sup>3</sup> )
<b>Microcella Nord</b>	59.700	54.000	207.500
<b>Macrocella</b>	147.500	334.500	861.500
<b>Zona Arenile Sud</b>	140.000	83.500	399.000

## 2 MODELLO CONCETTUALE

Il sito di interesse nazionale di Bagnoli-Coroglio è ubicato all'estremità sudoccidentale della città di Napoli, nell'area orientale del Golfo di Pozzuoli (Golfo di Napoli) tra la zona di Coroglio-Isola di Nisida e l'abitato di Pozzuoli (vedi Figura seguente).



Fonte: Perimetrazione dell'ARIN di Napoli Bagnoli-Coroglio (Gazzetta Ufficiale del 23-08-2014 n.195) dal Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche

Figura 2.1: Ubicazione dell'ARIN Bagnoli-Coroglio

Il territorio dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio costituisce parte integrante dei Campi Flegrei, una complessa area vulcanica, con caratteristiche di caldera di collasso (Rosi and Sbrana, 1987; Di Vito et al., 1999; Sacchi et al., 2104) che è stata attiva almeno negli ultimi ~ 60 ka BP (Pappalardo et al., 1999, Piochi et al., 2005 Scarpati et al., 2013).

La distribuzione dei sedimenti nel Golfo di Pozzuoli e nelle aree adiacenti è strettamente controllata dalle vicende climatiche e vulcanotettoniche della zona (Pennetta et al., 1984). Per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali dei sedimenti del Golfo di Pozzuoli, Colantoni et al. (1972) individuano tre zone, delle quali, la prima è di interesse per il presente lavoro.

Essa corrisponde alla piattaforma litorale, fino ai 15-20 m di profondità; ove sono presenti sabbie sia fini che grossolane, scarsamente cernite e con asimmetria positiva. Queste caratteristiche sono dovute alla composizione mineralogica ricca in pomici, indipendenti dal resto del sedimento per quanto riguarda la granulometria.

Le aree di interesse per il presente lavoro sono costituite dagli Arenili emersi Nord e Sud e, data la natura dinamica del comparto sedimenti marini emersi e sedimenti marini onshore, anche dai sedimenti marini antistanti i due arenili.

### Arenile Nord

Come indicato nel PFTE, l'Arenile Nord si colloca all'estremità settentrionale dell'ARIN, a nord rispetto alla colmata ed è storicamente suddivisibile in 3 sub-aree o lidi, identificati come:

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ Lido l'Arenile: confinante a sud con la colmata e a nord con il Lido Comunale, in concessione a privati;
- ✓ Lido Comunale: confinante a sud con l'Arenile e a nord con il Lido Fortuna;
- ✓ Lido Fortuna: confinante a sud con il lido Comunale e a nord con la così detta "rotonda", anch'esso in concessione a privati.

L'estremità Nord dell'arenile è caratterizzato infine da una piccola ansa costituita da un ulteriore arenile Belvedere, situato tra gli scarichi dell'Emissario Bagnoli e della Conca d'Agnano.

Nell'arenile Nord sono stati effettuati nel tempo alcuni interventi di risanamento ambientale sulla base degli esiti delle indagini condotte dal 1999 al 2014, in particolare:

- ✓ nel 2006-2009: INVITALIA (ex SIAP) ha redatto il "Progetto preliminare e definitivo di bonifica con misure di sicurezza degli arenili di Bagnoli – Coroglio", approvato il 28 febbraio 2006 in Conferenza dei Servizi decisoria ex art. 14 della Legge 241/90. Gli interventi eseguiti e collaudati nel 2009 hanno previsto:
  - Intervento di "Fase 0":
    - scavo dei sedimenti contaminati per uno spessore medio di 60 cm (20 cm sulla linea di battigia fino a 1 m a monte) e loro messa a dimora, in cumuli, sull'area di deposito preliminare;
    - fornitura e posa in opera, a fondo scavo, di un telo semi-permeabile in TNT, al fine di impedire il contatto tra i sedimenti contaminati che non vengono scavati ed i sedimenti puliti posti a sostituzione del materiale rimosso;
    - messa a dimora di sabbia pulita proveniente da cava per uno spessore di 1 metro;
    - messa in opera di una protezione spondale in massi;
  - Intervento di "Fase 1":
    - messa in opera di un diaframma plastico impermeabile a protezione degli arenili, corredato da trincea drenante per l'intercettazione delle acque di falda;
    - messa in opera di un impianto per l'emungimento dell'acqua di falda intercettata e di un impianto di trattamento delle acque stesse;
    - trattamento delle acque di falda.

Le attività suddette sono state certificate dalla Provincia di Napoli, ai sensi dell'art. 248 del D.Lgs. 152/06, con nota prot. 59 del 14/05/2009.

- ✓ nel 2016: INVITALIA ha dato corso ad un intervento di manutenzione per rendere fruibile ai fini della elioterapia il suddetto tratto di costa e ripristinare le condizioni di sicurezza della parte di spiaggia dell'arenile Nord di Bagnoli.

L'intervento di manutenzione è stato eseguito in particolare secondo le indicazioni dell'Istituto Superiore di Sanità che ha condotto un aggiornamento dell'Analisi di Rischio (Prot. 15/03/2016 – 0007513) la quale aveva concluso che *"dalle simulazioni effettuate non si evidenzia rischio, sia cancerogeno che tossico, sia per gli adulti che per i bambini, per tutte le vie di esposizione prese in considerazione"* (ingestione, contatto dermico, inalazione di vapori e poveri). *"Tale condizione di assenza di rischio si riferisce allo stato dei luoghi"* ovvero la presenza di un substrato di sabbia di riempimento con caratteristiche analoghe a quelle prelevate in sede di collaudo degli interventi di Bonifica con messa in Sicurezza condotte nel 2009.

In sintesi, le attività eseguite nel 2016 hanno previsto:

- posa in opera di un telo semi-permeabile in TNT, al fine di impedire il contatto tra la sabbia potenzialmente contaminata e la sabbia pulita di cui al successivo punto;
- ripascimento con sabbia con caratteristiche definite proveniente da cava che potesse assicurare la massima compatibilità con la sabbia posta in opera nel corso dell'intervento realizzato nel 2009 in considerazione del colore, granulometria, natura sedimentologica, chimismo, caratteristiche microbiologiche;
- ripristino della protezione spondale in massi presente sulla battigia e finalizzata ad impedire il contatto tra sedimenti marini e sabbia pulita posta in opera ed a protezione dell'intervento di ripascimento effettuato.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

L'immagine seguente mostra lo stato attuale dell'arenile Nord.



Figura 2.2: Stato attuale dell'Arenile Nord



Foto 1



Foto 2



Foto 3

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



Foto 4



Foto 5



Foto 6

### Arenile Sud

L'Arenile Sud è la porzione del litorale di Coroglio che si estende dal braccio di Nisida alla colmata e risulta antistante al vecchio Borgo marinaro denominato Borgo Coroglio, alla Città della Scienza e al Circolo ILVA.

Sulla base delle indagini condotte dal 2004, INVITALIA (ex SIAP) aveva redatto il "Progetto preliminare e definitivo di bonifica con misure di sicurezza degli arenili di Bagnoli – Coroglio", approvato il 28 febbraio 2006 in Conferenza dei Servizi decisoria ex art. 14 della Legge 241/90. Gli interventi non sono stati eseguiti.

L'Autorità Portuale di Napoli, organo competente sulle aree demaniali, con propria Ordinanza n. 19 del 2006, sulla scorta del parere ISS 09/02/2006-0007038, ha vietato, nell'area demaniale marittima facente parte del sito di interesse nazionale di Bagnoli-Coroglio, posta a sud della Colmata, "il transito di persone e/o mezzi, nonché qualsiasi altra attività connessa con l'uso del pubblico demanio marittimo.." ed ha inibito "l'accesso e la sosta alla cittadinanza tutta sugli arenili...nei quali può essere possibile un contatto diretto con la sabbia".

Nel 2017 l'area è stata oggetto di un intervento di pulizia dei rifiuti abbandonati.

L'immagine seguente mostra lo stato attuale dell'arenile Sud e alcune prese fotografiche dello stato di fatto di maggio 2023, da cui è possibile notare come attualmente tale arenile abbia una evoluzione in avanzamento rispetto il mare (si veda in particolare la Foto 11 in cui è possibile apprezzare un tratto di costa integrativa rispetto alla scogliera che delimitava in precedenza il confine dell'arenile verso mare).

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



Figura 2.3: Stato attuale dell'Arenile Sud

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### Sedimenti marini

I sedimenti marini appartenenti all'ARIN di Bagnoli-Coroglio sono stati oggetto di indagine nel periodo 2017-2018 nell'ambito della caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera eseguita dalla Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli<sup>1</sup>. L'indagine ha compreso il prelievo di 130 campioni all'interno del perimetro dell'ARIN, secondo griglie regolari (n. 51 maglie da 200x200 m, n. 26 maglie da 100x100 m e n. 21 maglie da 50x50 m), dei quali:

- ✓ n. 32 campioni superficiali (raccolti con benna)
- ✓ n. 98 carote di cui:
  - n. 42 di almeno 1 metro
  - n. 39 di almeno 2 metri
  - n. 17 di almeno 4 metri

La figura seguente mostra l'ubicazione delle indagini suddette.

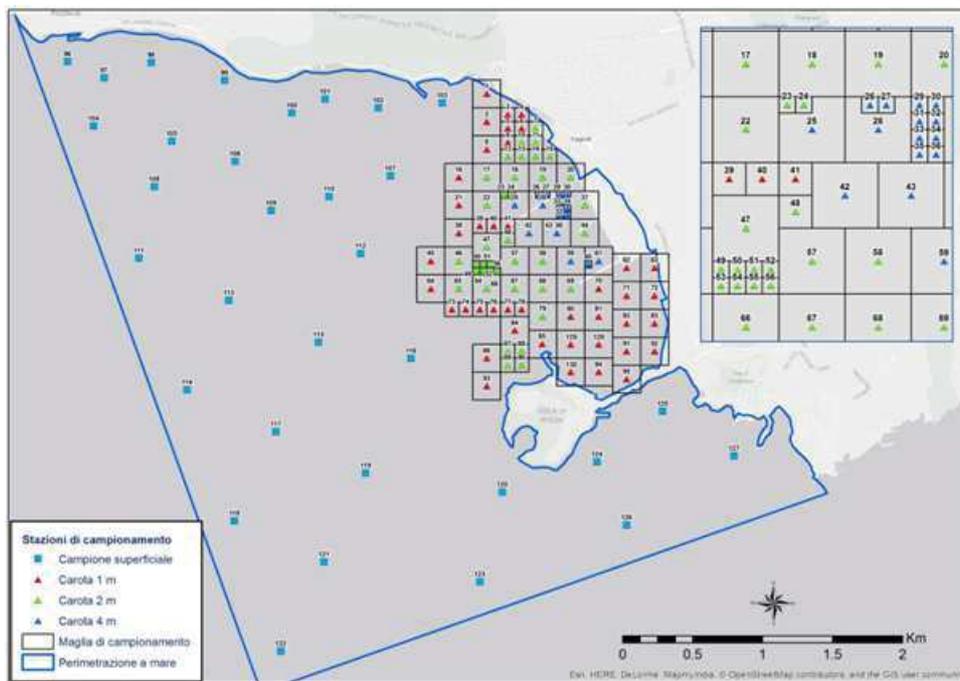


Figure 2.4: Tipologia e localizzazione delle indagini eseguite nel Piano di Caratterizzazione ABBAco

Gli esiti delle indagini sono stati descritti nella relazione "Sperimentazioni Pilota Finalizzata al "Restauro Ambientale e Balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio" (Progetto ABBAco) che, nelle conclusioni, riporta "Tutte le analisi effettuate mostrano un inquinamento generalizzato dei fondali, soprattutto nei pressi dell'ex sito industriale nella zona dei pontili e della colmata ed in direzione nord verso l'arenile. La contaminazione osservata è a carico soprattutto di

\*\*\*\*\*

<sup>1</sup> con Delibera CIPE n. 71/2016 Il Governo italiano ha finanziato il Progetto denominato ABBAco "Restauro ambientale e balneabilità del SIN Bagnoli-Coroglio" uno studio scientifico in grado di mettere in atto sperimentazioni a carattere multidisciplinare mirate a comprendere gli effetti ecologici ed ambientali delle fonti multiple acute e croniche di impatto che caratterizzano Bagnoli-Coroglio. La Stazione Zoologica Anton Dohrn nell'ambito del Progetto di Ricerca ABBAco ha elaborato un Piano di Campionamento delle aree coerente con i recenti dispositivi normativi emanati dal legislatore in materia di gestione di sedimenti e dragaggi (DECRETO 15 luglio 2016, n. 172 - Regolamento recante la disciplina delle modalità e delle norme tecniche per le operazioni di dragaggio nei siti di interesse nazionale, ai sensi dell'articolo 5-bis, comma 6, della legge 28 gennaio 1994, n. 84 e DECRETO 15 luglio 2016, n. 173 - Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini) Il Piano è stato approvato dal Commissario di Governo con Decreto del 26 settembre 2017. Le attività di prelievo di carote si sono concluse a dicembre 2017 e i risultati del Piano di Caratterizzazione sono stati approvati con Decreto del Commissario di Governo del 13 novembre 2019.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

*composti organici (idrocarburi pesanti, IPA) ma è da evidenziare l'elevata concentrazione di arsenico che merita ulteriori approfondimenti per stabilire l'origine dello stesso, anche se l'origine geogenica parrebbe prevalente in considerazione delle analisi statistiche effettuate. Inoltre, le analisi effettuate mostrano una contaminazione estesa anche ai sedimenti superficiali della porzione di fondale profondo di fronte all'impianto e in generale in gran parte dell'area indagata all'interno del perimetro del SIN, anche se nelle aree più esterne i livelli di contaminazione appaiono contenuti se confrontati con l'area tra i pontili e di fronte alla colmata. L'integrazione dei risultati delle analisi chimiche ed ecotossicologiche rivela una situazione di tossicità pesante e diffusa e una qualità dei sedimenti analizzati tale da farli includere per la maggior parte nelle tre classi peggiori, che richiedono forme controllate di gestione degli stessi, fino all'isolamento dall'ambiente marino e al conferimento in discarica; situazione che riguarda principalmente l'area del SIN indagata tramite vibrocarotaggio. La contaminazione, inoltre, pare interessare le componenti biologiche analizzate, con tendenza al bioaccumulo di IPA nei mitili nella zona più prossima ai pontili e alla colmata ed attivazione di risposte fisiologiche allo stress. Effetti si osservano anche in parte della componente della fauna ittica analizzata ed in particolare nella specie maggiormente associata ai sedimenti (la triglia) che mostra tendenza al bioaccumulo di IPA, anche se i livelli riscontrati non paiono al momento allarmanti, e comunque risposte fisiologiche e biochimiche allo stress indotto dagli inquinanti con attivazione dei sistemi di detossificazione e presenza di micronuclei, indicazione di genotossicità. Si evidenzia pertanto un ruolo dei sedimenti nel mediare la biodisponibilità, soprattutto degli IPA..... Va infine sottolineato come le analisi microbiologiche effettuate indichino che, anche in tempi recenti/recentissimi, l'area pare subire gli effetti di inquinamento da reflui di tipo urbano probabilmente provenienti dalle aree costiere circostanti".*

## 2.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

### 2.1.1 Inquadramento geomorfologico

Il territorio interessato dalla progettazione degli interventi di risanamento appartiene all'area di Bagnoli-Fuorigrotta che si estende per circa 7,5 Km<sup>2</sup> ed è delimitata ad occidente dalle pendici di Monte Sant'Angelo e Monte Spina (complesso eruttivo di Agnano), a sud-est dalla collina di Posillipo; questa si raccorda verso nord, in località La Loggetta, a un cambio di pendenza che separa l'area dall'adiacente piana di Soccavo attraverso la stretta de La Loggetta-Terracina.

Il profilo topografico della piana a NW presenta una concavità conseguente la sedimentazione di depositi di colata piroclastica da Agnano; a SE il profilo perde l'andamento morfologico concavo divenendo più ripido condizionato dal margine arretrato della caldera del Tufo Giallo Napoletano.

Tra gli abitati di Bagnoli e Cavalleggeri, al centro della piana si rileva a presenza del cono di Tufo relitto di Santa Teresa, alto 37 m s.l.m. e con un diametro di 350 m, oggi risulta poco visibile a causa dell'intensa antropizzazione dell'area.

Tra Fuorigrotta e la linea di costa, l'andamento regolare della piana è interrotto da una scarpata erosiva alta circa 2 m; questa, sulla base della tipica morfologia e per la presenza di depositi di spiaggia al suo piede, è stata identificata come "paleofalesia" (Rif. [D5]).

La paleofalesia delimita i due domini morfologici: il terrazzo alluvionale di Bagnoli-Fuorigrotta e la piana di Coroglio.

La figura seguente mostra la carta geomorfologica semplificata di Calderoni e Russo, 1998 (Rif. [D5]) nella quale sono cartografati gli elementi caratteristici sopra descritti.

RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

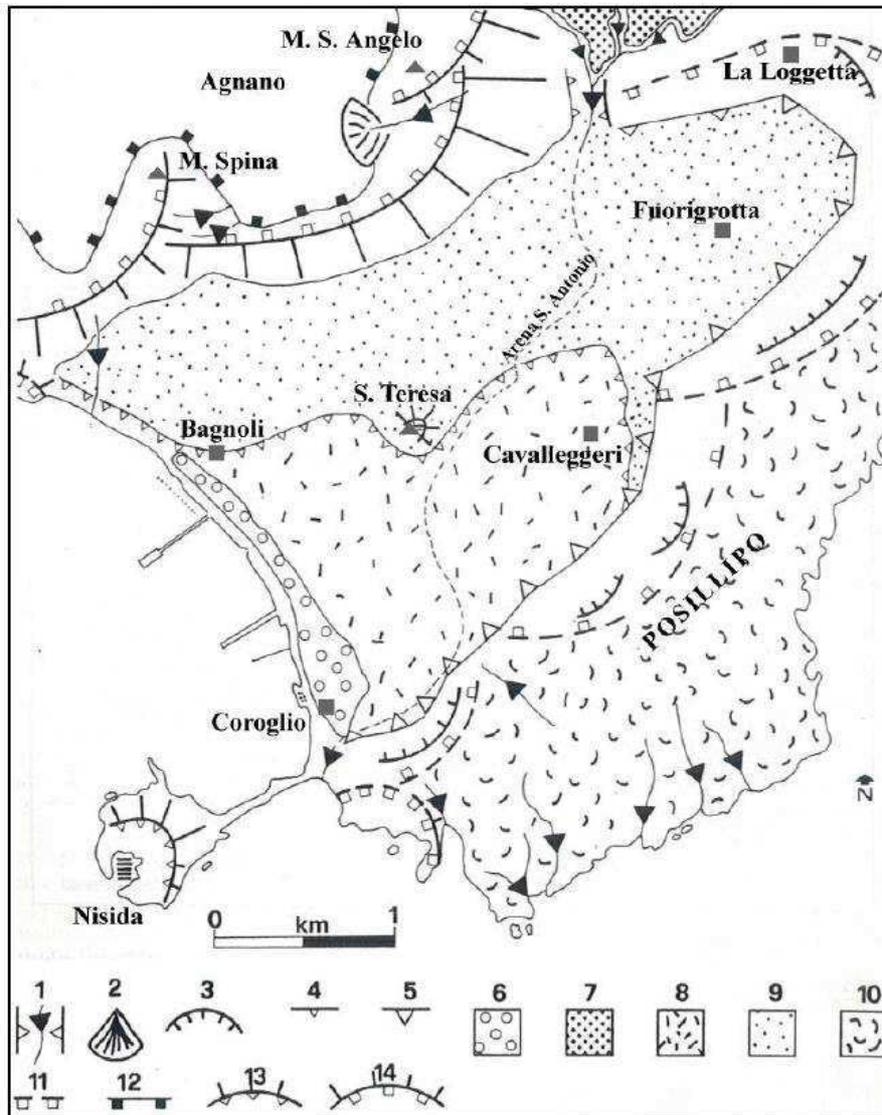


Figura 13 - Carta geomorfologica semplificata dell'area di Bagnoli-Fuorigrotta. Legenda:1) Valloni di erosione torrentizia; 2) conoidi alluvionali; 3) versanti interessati da erosione diffusa o di tipo franoso; 4) scarpata erosionale, "paleofalesia", che delimita il terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta; 5) scarpata erosionale dovuta all'arretramento del versante della caldera; 6) area occupata dalla duna costiera; 7) superficie terrazzata della piana di Soccavo; 8) piana di Coroglio; 9) terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta; 10) superficie strutturale del recinto calderico; 11) lineamenti sub arcuati di possibili recinti craterici coinvolti nella calderizzazione; 12) orlo craterico del campo di Agnano; 13) edifici vulcanici; 14) edifici vulcanici relitti (da Russo e Calderoni, 1998, modificata).

Figura 2.5: Carta geomorfologia (Fonte: [D5])

## 2.1.2 Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico il territorio interessato dalla progettazione degli interventi di risanamento fa parte integrante del sistema vulcanico dei Campi Flegrei, un sistema formato da vari vulcani ancora attivi soggetto al bradisismo. Secondo diversi autori, la morfologia attuale dell'area è il risultato di un'alternanza di eventi vulcanici costruttivi e distruttivi e/o processi tettonici talvolta coevi. L'intensa attività vulcanica e tettonica (bradisismo) degli

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

ultimi millenni, alternata alle oscillazioni del livello del mare hanno contribuito nel tempo al riempimento della depressione tettonica di Bagnoli, con depositi caratterizzati da una forte disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale. In particolare, si ritiene (Rif.[D5]) che la formazione della piana di Bagnoli Fuorigrotta abbia avuto inizio circa 12.000 anni fa a seguito dell'eruzione del "Tufo Giallo Napoletano" ed al collasso vulcano-tettonico che ha generato la "caldera flegrea". Successivamente, l'attività vulcanica di Agnano, avvenuta all'interno della caldera in due fasi distinte e collocate tra 11.000 e 3.500 anni fa, ha contribuito al riempimento della depressione con conseguente avanzamento della linea di costa e la formazione del terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta.

Nella parte centrale ed orientale della piana, il substrato è formato dal Tufo Giallo Napoletano che affiora lungo il margine della dorsale di Posillipo. La parte occidentale è invece dominata dalle vulcaniti di Agnano. Al di sopra delle successioni vulcaniche si rinviene una sequenza di sedimenti marini fossiliferi o di spiaggia, eolici, limno-palustri, vulcanoclastici, piroclastici e/o antropici.

L'area centrale della Piana di Bagnoli, si configura come una vasta e piatta depressione retrodunale delimitata verso mare da un cordone costiero. Tale depressione con caratteristiche deposizionali di tipo limno-palustre si è mantenuto come tale almeno dal Medioevo fino al 1800, quando è cominciata la bonifica e l'intensa antropizzazione. I processi di urbanizzazione ed industrializzazione hanno portato ad una completa trasformazione morfologica del territorio e di conseguenza del "naturale" substrato geologico. Un importante coltre di terreni di riporto formato anche da una componente di materiale litoide di provenienza "industriale" frammisto ai prodotti cineritici rimaneggiati hanno ricoperto in modo disuniforme l'intera piana a costituire un nuovo orizzonte litologico.

### Ex Area industriale e Colmata

L'ex area industriale di Bagnoli ha risentito dell'intensa attività vulcanica e tettonica (bradisismo) degli ultimi millenni, alternata alle oscillazioni del livello del mare, che hanno contribuito nel tempo al riempimento della depressione tettonica di Bagnoli, con depositi caratterizzati da una forte disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale. Pertanto, la depressione risulta colmata con prodotti di diversi ambienti deposizionali e diverse dinamiche sedimentologiche (oscillazioni del livello medio mare, alluvioni, lagune, paludi, eruzioni vulcaniche, etc.) che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica di questo settore di territorio.

Le stratigrafie dei sondaggi che si spingono oltre la coltre dei terreni di riporto evidenziano le circostanze sopra descritte, infatti, si rinvergono a diverse profondità sedimenti di origine marina, paleosuoli e sedimenti fini depositi in ambienti a bassa energia di carattere lagunare o palustre (torbe, limi).

L'area di colmata di Bagnoli venne realizzata nel periodo 1963 – 1965, con la funzione di ampliare le aree di stoccaggio per il carbone fossile, i rottami di ferro e semi lavorati delle acciaierie, con il riempimento a mare del tratto compreso tra i due pontili, Nord e Sud, e il tombamento della relativa fascia costiera.

Dal punto di vista stratigrafico la colmata è costituita da riporti di natura antropica prevalentemente rappresentati da sabbie, limi e subordinatamente da ghiaie e clasti e/o frammenti proveniente dalle attività industriali condotte nell'area ex-Ilva. I sondaggi realizzati in hanno mostrato che lo spessore della coltre dei riporti, insistente su un'area in pianta di 204.508 m<sup>2</sup>, oscilla da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 11 m, con una media pari a circa 5 m. Tale livello giace su sabbie ascrivibile all'antica spiaggia o fondali.

### Arenile Nord

Sulla base delle indagini effettuate in sito, in particolare quelle condotte da IAM-CNR nel 2005 (Rif.[1]) ed elaborate nel progetto di bonifica degli arenili condotto da Sviluppo Italia Attività Produttive S.p.a. nel 2006, il modello geologico dell'arenile Nord è risultato caratterizzato da una successione lito-stratigrafica così costituita:

- ✓ nei primi 6-7 metri dal p.c. sono presenti depositi prevalentemente sabbiosi, aventi granulometria variabile da medio-fine a medio-grossolana, a cui si intercalano lenti discontinue di depositi ghiaiosi e tufacei (tufo di colore ocra); questi ultimi sono caratterizzati da uno spessore massimo di un metro circa;
- ✓ a parte da 6-7 m dal p.c. fino alla profondità indicata di circa 20 metri, si rinviene un substrato di natura prevalentemente tufacea di colore grigio, che localmente presenta intercalazioni discontinue di lenti ghiaiose.

Alcune tomografie elettriche hanno permesso di valutare l'ingressione del cuneo salino in corrispondenza di tre distinte aree: Lido l'Arenile (zona più a sud dell'Arenile Nord, confinante con la Colmata), Lido Fortuna (zona più a nord dell'Arenile Nord) e Lido Comunale (zona compresa tra gli altri due lidi). Nell'area del Lido Fortuna già ad una profondità di 0,5 m dal piano campagna sembra verificarsi la presenza di acqua con caratteristiche di salinità ascrivibile ad acqua di mare. Diversamente per il Lido l'Arenile e Lido Comunale tale presenza si verifica tra i 2,0 ed i 4,0 m dal piano campagna.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Le indagini geotecniche condotte hanno permesso di schematizzare la successione lito-stratigrafica nella seguente rappresentazione:

- ✓ sino alla profondità compresa fra 6 e 7 metri è presente una sabbia di colore bruno e grigio, di riporto antropico ed in parte rimaneggiata dal mare, formata da materiali di varia provenienza, tra i quali prevalgono le terre derivanti dalla alterazione dei prodotti piroclastici che caratterizzano le zone circostanti ed in subordine gli scarti di attività edili e/o industriali;
- ✓ oltre i 7 metri sono ben riconoscibili i depositi di spiaggia e di basso fondale rappresentati da sabbie e piccoli ciottoli.

### Arenile Sud

Le indagini nel sottosuolo effettuate nell'arenile di Coroglio hanno mostrato la presenza di un banco di fanghi torbosi nerastri intercalati nei primi 10 m di spessore alle sabbie che formano il deposito litoraneo.

Tale deposito, molto soffice e comprimibile, è verosimilmente da ascrivere ad un locale episodio di sedimentazione in ambiente di lama costiera compresa all'interno di antichi tomboli che collegavano l'isola di Nisida alla terraferma. Lo strato torboso ha uno spessore massimo di 7 m circa e si assottiglia sino ad azzerarsi lungo i suoi margini.

Alla sua base sono presenti sabbie generalmente bene addensate contenenti ciottoli di materiale vulcanico, al di sopra si trovano ancora sabbie relativamente più soffici ed infine materiali di riempimento antropico in parte rimaneggiati dal mare.

### Sedimenti marini

In generale, nel Golfo di Pozzuoli, gli effetti della trasgressione marina olocenica (trasgressione Versiliana) si sono sommati a quelli dei moti bradisismici e vulcanotettonici che hanno portato alla sommersione o emersione di alcuni tratti di costa. Nel periodo 1982-1984 si sono verificate crisi bradisismiche che hanno determinato intense deformazioni nell'area di Pozzuoli ed un sollevamento della fascia costiera, più consistente nella zona occidentale e meno in quella orientale (0.2 m a Coroglio). Secondo Cinque et al., 1991 (Rif. doc. [D4]), l'entità massima degli sprofondamenti della fascia costiera puteolana, a causa di fenomeni di bradisismo, è stata di circa 10 m; il massimo abbassamento sarebbe avvenuto in epoca alto medioevale e successivamente sarebbe stata in parte recuperata, con fasi alterne, una quota stimata intorno ai 6-7 m.

Per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali dei sedimenti del Golfo di Pozzuoli, Colantoni et al. 1972 (Rif. doc. [D1]) individuano tre zone:

- ✓ la prima zona corrisponde alla piattaforma litorale, fino ai 15-20 m di profondità; qui sono presenti sabbie sia fini che grossolane, a pessimo classamento e asimmetria positiva. Queste caratteristiche sono dovute alla composizione mineralogica ricca in pomici, indipendenti dal resto del sedimento per quanto riguarda la granulometria;
- ✓ nella seconda zona, corrispondente alla scarpata (25-95 m), sono presenti sabbie e silt sabbiosi con classazione cattiva o pessima ed asimmetria sia positiva che negativa; anche in questo caso l'asimmetria positiva è da attribuire alla presenza di pomici grossolane;
- ✓ I sedimenti della terza zona, corrispondente alla depressione centrale, sono invece costituiti da silt argillosi, con cattiva classazione ed asimmetria positiva.

L'analisi della composizione mineralogica ha evidenziato che i granuli, che risultano poco elaborati e alterati, sono di origine vulcanica (sanidino, plagioclasti albitici, pirosseni e biotite); il vetro risulta la componente più abbondante. Tale composizione mineralogica permette di classificare il chimismo del vulcanesimo come trachitico o trachitico-alcalino. Molto probabilmente i materiali dei sedimenti marini provengono da trasformazione dei prodotti piroclastici che costituiscono gli affioramenti circostanti del Golfo di Pozzuoli.

Cocco et al. 1988 (Rif. doc. [D2] e [D3]) hanno studiato in dettaglio i sedimenti dell'area più costiera del golfo mediante l'analisi di 300 campioni compresi tra 0 e 30 m di profondità. I materiali sono risultati essere costituiti normalmente da sabbie, mentre la frazione pelitica aumenta nelle aree più protette, caratterizzate da bassa energia, come ad esempio presso Nisida. La migrazione dei sedimenti nel settore occidentale del golfo di Pozzuoli avviene sia in senso antiorario (verso Baia) che in senso orario (verso Pozzuoli); nel settore orientale i sedimenti tendono a migrare verso Nisida dove, per la presenza del promontorio, s'instaura una circolazione secondaria con andamento orario.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 2.1.3 Inquadramento idrogeologico e MISE delle acque di falda

I dati stratigrafici e le prove di permeabilità condotte nel tempo nel sito hanno permesso di stimare come l'acquifero dell'ARIN di Bagnoli sia caratterizzato da un sistema di due unità idrogeologiche sottostanti una coltre di riporti antropici non sempre interessata dalla falda. I dati convergono, dunque, verso un modello di circolazione monofalda a "due velocità" dato che dalle prove in situ risultano dei valori di conducibilità idraulica orizzontale differenti di quasi un ordine di grandezza:

- ✓ unità idrogeologica 1 (fino a 15 m da p.c.): costituita schematicamente da una litologia prevalentemente sabbioso limosa e/o limoso sabbiosa con coefficiente medio  $K_h = 2.87E-5$  m/s
- ✓ unità idrogeologica 2 (oltre 15 m da p.c.): costituita schematicamente da sabbia debolmente limosa-ghiaiosa alla quale è possibile attribuire un coefficiente medio  $K_h = 8.68E-5$  m/s

In corrispondenza dell'ARIN è stato realizzato un sistema di messa in sicurezza delle acque di falda (MISE), composto dai seguenti impianti:

- ✓ una Barriera costituita da n. 31 pozzi di emungimento, localizzati all'interno dell'area di Invitalia, e di n. 42 pozzi di ricarica localizzati sulla colmata, oggi non più attivi (c.d. "Barriera BF");
- ✓ n. 2 diaframmi plastici, localizzati rispettivamente sugli arenili nord e sud dell'ARIN Bagnoli Coroglio (c.d. "diaframmi plastici");
- ✓ un impianto di trattamento delle acque di falda provenienti dalla Barriera BF, localizzato all'interno dell'area di Invitalia (c.d. "TAF1"), oggi non più in funzione;
- ✓ un impianto di trattamento delle acque di falda provenienti dai diaframmi plastici, sito a via Coroglio sulla colmata (c.d. "TAF2").

È in corso da parte di Invitalia la progettazione, affidamento ed esecuzione di un nuovo sistema di messa in sicurezza delle acque di falda in sostituzione dell'esistente che sarà costituito da una nuova barriera idraulica (c.d. "Barriera Invitalia") ed un nuovo impianto di trattamento delle acque di falda (c.d. "TAF3"). Inoltre, vista l'obsolescenza dell'impianto TAF1, Invitalia ha progettato e realizzato un by-pass idraulico del TAF1 che dal luglio 2022 permette il collegamento della Barriera BF all'impianto TAF2, in attesa della realizzazione della nuova barriera Invitalia e del nuovo impianto di trattamento TAF3.

Le acque trattate dall'impianto TAF2 sono scaricate in pubblica fognatura a fronte delle autorizzazioni allo scarico rilasciate dall'ATO 2 Napoli-Volturno in data 5 agosto 2009 (Prot./SCA b. 3483/2009) e successivi rinnovi.

## 2.2 INDAGINI ESEGUITE

Per la progettazione degli interventi si è fatto riferimento ai dati chimici ricavati dalle indagini eseguite nel tempo negli Arenili Nord e Sud e sui sedimenti marini.

Le analisi hanno riguardato sia matrici ambientali solide (per sedimenti emersi e sommersi), sia matrici ambientali liquide (eluati dei test di cessione).

In analogia all'approccio utilizzato nella documentazione pregressa, e per le finalità del presente documento, i dati analitici disponibili per i sedimenti sono stati confrontati con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) nel suolo e sottosuolo, previsti dall'Allegato 5, alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 1 Colonna A per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" e Colonna B per i "Siti ad uso commerciale ed industriale". Per i contaminanti non normati dal D. Lgs.152/06 sono stati considerati, ove esistenti, i limiti di riferimento proposti dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS).

Inoltre, sono stati considerati i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio definiti dalla Segreteria tecnica presso il Ministero dell'Ambiente in data 20/05/01, in considerazione della evidente scarsa sostenibilità in termini di efficacia nel tempo di un eventuale intervento che permetta di spingere l'abbattimento delle concentrazioni a valori inferiori rispetto ad un fondo naturale già presente in sito o a valori che per i suoli non determinano la necessità di interventi di bonifica.

La tabella seguente sintetizza i limiti di riferimento adottati per i sedimenti degli Arenili Nord e Sud e delle zone marine antistanti.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**Tabella 2.1: Limiti di riferimento adottati per le analisi chimiche dei sedimenti degli Arenili Nord e Sud**

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale o <u>Limiti ISS</u>	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli-Coroglio
Antimonio	mg/Kg s.s.	10	30	-
Arsenico	mg/Kg s.s.	20	50	29
Bario	mg/Kg s.s.	150	1900	-
Berillio	mg/Kg s.s.	2	10	9
Cadmio	mg/Kg s.s.	2	15	-
Cobalto	mg/Kg s.s.	20	250	120
Cromo totale	mg/Kg s.s.	150	800	-
Cromo esavalente	mg/Kg s.s.	2	15	-
Mercurio	mg/Kg s.s.	1	5	-
Nichel	mg/Kg s.s.	120	500	-
Piombo	mg/Kg s.s.	100	1000	103
Rame	mg/Kg s.s.	120	600	-
Selenio	mg/Kg s.s.	3	15	-
Composti organostannici	mg/Kg s.s.	1	350	14
Tallio	mg/Kg s.s.	1	10	-
Vanadio	mg/Kg s.s.	90	250	100
Zinco	mg/Kg s.s.	150	1500	158
Cianuri	mg/Kg s.s.	1	100	-
Fluoruri	mg/Kg s.s.	100	2000	-
Benzo(a)antracene	mg/Kg s.s.	0,5	10	-
Benzo(a)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg s.s.	0,5	10	-
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg s.s.	0,5	10	-
Crisene	mg/Kg s.s.	5	50	-
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	10	-
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/Kg s.s.	0,1	5	-
Pirene	mg/Kg s.s.	5	50	-
Sommatoria IPA	mg/Kg s.s.	10	100	-
Naftalene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Acenaftilene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Acenaftene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Fluorene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Fenantrene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Antracene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Fluorantene	mg/Kg s.s.	<u>5</u>	<u>50</u>	-
Sommatoria PCB	mg/Kg s.s.	0,06	5	-
Benzene	mg/Kg s.s.	0,1	2	-
Etilbenzene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Xilene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Stirene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-
Toluene	mg/Kg s.s.	0,5	50	-

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale o <u>Limiti ISS</u>	D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli-Coroglio
Sommatoria solventi organici aromatici	mg/Kg s.s.	1	100	-
Idrocarburi C <sub>≤</sub> 12	mg/Kg s.s.	10	250	-
Idrocarburi C <sub>&gt;</sub> 12	mg/Kg s.s.	50	750	-
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/kg s.s.	10	100	-

Per quanto riguarda i limiti di riferimento per i contaminanti negli eluati dei test di cessione sono state considerate le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) previste dall'Allegato 5, alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 2 – Acque sotterranee. Per i contaminanti non normati dal D. Lgs.152/06 sono stati considerati, ove esistenti, i limiti di riferimento proposti per le acque sotterranee dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS).

Inoltre, sono stati considerati i Valori di fondo naturale approvati in sede di segreteria tecnica al MATTM nell'ambito dell'iter di autorizzazione dei progetti di Bagnoli Futura (parametri Arsenico 380 µg/l, Berillio: 9 µg/l, Ferro: 3106 µg/l, Manganese: 1104 µg/l e Piombo:19 µg/l) e il valore di fondo dei Fluoruri (4.000 µg/l), riportato nell'Analisi di rischio sito-specifica rev.3 del dicembre 2019 (Rif. [D6]) approvata in CdS di febbraio 2020.

La tabella seguente sintetizza i limiti di riferimento adottati.

**Tabella 2.2: Limiti di riferimento adottati per gli eluati dei test di cessione**

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli-Coroglio
Antimonio	µg/L	5	-
Arsenico	µg/L	10	380
Berillio	µg/L	4	9
Cadmio	µg/L	5	-
Cobalto	µg/L	50	-
Cromo totale	µg/L	50	-
Cromo esavalente	µg/L	5	-
Mercurio	µg/L	1	-
Nichel	µg/L	20	-
Piombo	µg/L	10	19
Rame	µg/L	1000	-
Selenio	µg/L	10	-
Monobutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-
Dibutilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-
Tributilstagno	µg/L	<u>2200</u>	-
Tallio	µg/L	2	-
Vanadio	µg/L	<u>50</u>	-
Zinco	µg/L	3000	-
Cianuri totali	µg/L	50	50
Indice di fenolo	µg/L	<u>0,5</u>	-
Fluoruri	µg/L	1500	4000
Solfati	mg/L	250	-
Benzo(a)antracene	µg/L	0,1	-
Benzo(a)pirene	µg/L	0,01	-
Benzo(b+j)fluorantene*	µg/L	0,1	-
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	0,01	-

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee o <u>Limiti ISS</u>	Valori di fondo naturale ARIN Bagnoli-Coroglio
Benzo(k)fluorantene	µg/L	0,05	-
Crisene	µg/L	5	-
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	0,01	-
Indenopirene	µg/L	0,1	-
Pirene	µg/L	50	-
Sommatoria IPA	µg/L	0,1	-
Naftalene	µg/L	<u>5</u>	-
Acenafilene	µg/L	<u>5</u>	-
Acenaftene	µg/L	<u>5</u>	-
Fluorene	µg/L	<u>5</u>	-
Fenantrene	µg/L	<u>5</u>	-
Antracene	µg/L	<u>5</u>	-
Fluorantene	µg/L	<u>5</u>	-
Sommatoria PCB	µg/L	0,01	-
Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	µg/L	350	-
Benzene	µg/L	1	-
Etilbenzene	µg/L	50	-
m,p-Xilene	µg/L	10	-
Stirene	µg/L	25	-
Toluene	µg/L	15	-
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-I-TEQ/L	0,000004	-
Amianto	Fibre/L	7000000 <sup>2</sup>	-

\* Considerato il Limite di riferimento definito per Benzo(b)fluorantene dal D.Lgs. 152/2006 Tab. 2 All. 5 Parte Quarta – Acque sotterranee

### 2.2.1 Arenile nord

Per lo sviluppo della progettazione sono stati considerati gli esiti delle seguenti indagini<sup>3</sup>:

- ✓ Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 tramite Appalto Specifico n.18, con la realizzazione di n. 12 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 36 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi ai sondaggi S1, S2, S3, S8 ubicati esternamente all'area di interesse per il risanamento degli arenili nella Microcella Nord; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.24 campioni prelevati da n.8 sondaggi;

\*\*\*\*\*

<sup>2</sup> Come specificato nel documento "Sintesi delle conoscenze relative all'esposizione e al profilo tossicologico Amianto" del Ministero della Salute Direzione generale della prevenzione sanitaria (Rif. [D7]) al cap. 6 - Valori guida per le acque potabili e soglia di contaminazione per acque sotterranee "Il Safe drinking water committee della National Academy of Sciences statunitense ha stimato, basandosi su studi tossicologici in vivo, un rischio tumorale per l'uomo associato a consumo di acque potabili contenenti una concentrazione di circa 7x10<sup>6</sup> fibre/litro nell'ordine di 1 caso addizionale di tumore gastrointestinale benigno ogni 100.000 abitanti<sup>21</sup>. Su tali basi, l'Agenzia per la protezione ambientale statunitense (USEPA) ha stabilito un limite massimo di contaminazione (maximum contaminant level, MCL) in acque destinate al consumo umano di 7 milioni di fibre di lunghezza superiori a 10 µm, avvertendo sul potenziale rischio di sviluppo di polipi intestinali benigni a seguito di esposizioni prolungate a concentrazioni superiori ai 7 MFL. Ad integrazione di quanto sopra, è anche da considerare che, nell'ambito del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., non è stato definito un valore soglia di contaminazione per acque sotterranee sebbene sia indirettamente richiamato l'attuale valore USEPA, sopra indicato"

<sup>3</sup> sono state escluse le indagini antecedenti in quanto il parere congiunto ISPRA-ARPAC prot. n. 062/2022 del 20/04/2022COM con oggetto "Tavolo tecnico "Risanamento ambiente marino-costiero nel SIN Bagnoli-Coroglio" relativo all'avvio della progettazione degli interventi di risanamento e gestione dei sedimenti marini. Richiesta di valutazione della documentazione tecnica presentata nel corso del tavolo tecnico del 29/04/2022" ha esplicitato che "Si fa presente che i dati delle caratterizzazioni ante 2009 non possono essere utilizzati per l'implementazione dell'Analisi di Rischio perché lo stato di contaminazione è fortemente influenzato dalle azioni del mare e del vento e delle acque sotterranee in relazione al trasporto dei contaminanti"

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ Caratterizzazione integrativa eseguita da Invitalia nel 2023 in attuazione del Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud dell'ottobre 2022, tramite Appalto Specifico n.2 con la realizzazione di n.25 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 102 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi ai sondaggi S1, S1/2, S2, S2/3, S3, S3-1, S3-2, S3-3 e S8 ubicati esternamente all'area di interesse per il risanamento degli arenili nella Microcella Nord; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.68 campioni prelevati da n.16 sondaggi.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione dei punti di indagine di interesse.



Figura 2.6: Punti di indagine di interesse nell'Arenile Nord

In entrambe le campagne di indagine è emerso come i principali contaminanti presenti nell'Arenile Nord siano quelli appartenenti alla famiglia degli Idrocarburi Policiclici Aromatici, Idrocarburi pesanti C>12 e gli Inorganici, con sporadiche e localizzate presenze di Idrocarburi leggeri C≤12 e Benzene.

La tabella seguente sintetizza gli esiti delle indagini del 2021 - 2023 riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei punti di indagine eseguiti nel sedimento insaturo e saturo all'interno dell'area definita dalla definizione della LdR progettuale, considerando:

- ✓ campioni insaturi: i campioni con top di prelievo a quote superiori al livello medio mare (> 0 m slm), considerando cautelativamente in questa categoria anche i campioni che si trovano a quota intermedia rispetto al piano di interfaccia insaturo/saturo, ovvero con bottom di prelievo a quote inferiori a 0 m slm;
- ✓ campioni saturi: i campioni con top di prelievo a quote inferiori al livello medio mare (0 m slm), ovvero che si trovano interamente all'interno dello strato saturo.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Le concentrazioni massime e medie dei campioni insaturi e saturi sono state confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroggio (si veda la Tabella 2.1).

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC col.A/Limiti ISS per destinazione d'uso verde pubblico, privato, residenziale o, se superiori, dei Valori di fondo.

**Tabella 2.3: Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Nord**

Parametro	u.d.m.	Arenile Nord			Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	max	media	max	media
pH	-	-	-	-	10,50	8,92	9,30	8,61
Conducibilità	µs/cm	-	-	-	391,00	123,21	706,00	216,64
Antimonio	mg/Kg	30	10	-	3,42	1,20	2,09	1,03
Arsenico	mg/Kg	50	20	29	<b>141,00</b>	24,28	<b>196,00</b>	<b>78,86</b>
Berillio	mg/Kg	10	2	9	4,57	1,57	<b>9,67</b>	3,62
Cadmio	mg/Kg	15	2	-	0,72	0,37	0,70	0,52
Cobalto	mg/Kg	250	20	120	7,28	2,85	9,39	3,74
Cromo totale	mg/Kg	800	150	-	103,00	9,07	22,80	6,60
Cromo esavalente	mg/Kg	15	2	-	1,00	0,67	1,00	0,69
Mercurio	mg/Kg	5	1	-	0,74	0,20	0,46	0,15
Nichel	mg/Kg	500	120	-	6,87	4,58	13,00	3,58
Piombo	mg/Kg	1000	100	103	<b>137,00</b>	27,37	<b>305,00</b>	<b>117,18</b>
Rame	mg/Kg	600	120	-	47,10	7,74	<b>237,00</b>	19,72
Selenio	mg/Kg	15	3	-	3,63	0,82	2,69	0,99
Stagno	mg/Kg	350	1	14	4,68	1,91	8,42	3,12
Composti organostannici	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tallio	mg/Kg	10	1	-	<b>6,54</b>	0,91	<b>1,73</b>	0,63
Vanadio	mg/Kg	250	90	100	<b>138,00</b>	26,42	78,60	40,40
Zinco	mg/Kg	1500	150	158	<b>253,00</b>	55,01	<b>548,00</b>	<b>163,42</b>
Cianuri	mg/Kg	100	1	-	0,50	0,32	0,50	0,43
Fluoruri	mg/Kg	2000	100	-	<b>219,00</b>	49,34	<b>306,00</b>	<b>118,90</b>
Benzo(a)antracene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>9,02</b>	<b>1,43</b>	<b>70,30</b>	<b>11,00</b>
Benzo(a)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>13,30</b>	<b>1,53</b>	<b>66,90</b>	<b>11,32</b>
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>10,30</b>	<b>2,63</b>	<b>63,60</b>	<b>19,55</b>
Benzo(b+j)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>16,60</b>	<b>2,28</b>	<b>82,40</b>	<b>13,99</b>
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>12,60</b>	<b>1,82</b>	<b>62,00</b>	<b>10,38</b>
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>3,88</b>	<b>0,70</b>	<b>19,20</b>	<b>4,13</b>
Crisene	mg/Kg	50	5	-	<b>10,10</b>	1,66	<b>49,00</b>	<b>10,44</b>
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>5,39</b>	<b>0,69</b>	<b>29,80</b>	<b>3,35</b>
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>1,82</b>	<b>0,24</b>	<b>12,40</b>	<b>1,94</b>
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>7,36</b>	<b>1,11</b>	<b>43,60</b>	<b>5,95</b>
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>3,55</b>	<b>0,51</b>	<b>19,00</b>	<b>2,46</b>
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>2,80</b>	<b>0,35</b>	<b>11,20</b>	<b>1,24</b>
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/Kg	5	0,1	-	<b>18,30</b>	<b>2,26</b>	<b>90,60</b>	<b>14,07</b>
Pirene	mg/Kg	50	5	-	<b>17,30</b>	2,52	<b>136,00</b>	<b>22,18</b>
Sommatoria IPA	mg/Kg	100	10	-	<b>72,60</b>	<b>11,62</b>	<b>453,00</b>	<b>75,57</b>
Naftalene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,17	0,04	0,70	0,15
Acenaftilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	1,61	0,20	2,22	0,54
Acenaftene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,19	0,04	1,70	0,52
Fluorene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	0,54	0,08	4,03	0,85

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	Arenile Nord			Concentrazioni nei campioni insaturi		Concentrazioni nei campioni saturi	
		Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	max	media	max	media
Fenantrene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	<b>6,41</b>	0,81	<b>56,00</b>	<b>7,06</b>
Antracene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	1,88	0,38	<b>13,70</b>	2,54
Fluorantene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	<b>21,60</b>	2,77	<b>159,00</b>	<b>25,42</b>
Benzene	mg/Kg	2	0,1	-	<b>0,12</b>	0,04	<b>0,11</b>	0,03
Etilbenzene	mg/Kg	50	0,5	-	0,04	0,01	0,03	0,01
Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	0,15	0,05	0,10	0,04
m,p-Xilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>0,5</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
o-Xilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>0,5</u>	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stirene	mg/Kg	50	0,5	-	0,00	0,00	0,01	0,00
Toluene	mg/Kg	50	0,5	-	0,32	0,06	0,24	0,07
Sommatoria solventi organici aromatici	mg/Kg	100	1	-	0,57	0,11	0,39	0,12
Idrocarburi totali	mg/Kg	-	-	-	246,00	94,70	2670,00	836,84
Idrocarburi C≤12	mg/Kg	250	10	-	<b>19,50</b>	8,71	<b>10,60</b>	7,94
Idrocarburi C>12	mg/Kg	750	50	-	<b>2649,00</b>	<b>139,43</b>	<b>2663,00</b>	<b>379,64</b>
Sommatoria PCB	mg/Kg	5	0,06	-	0,01	0,00	0,04	0,01
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-l- TEQ/kg	100	10	-	4,84	2,02	3,99	2,90
Amianto	-	-	-	-	Assente	Assente	Assente	Assente

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nelle campagne di indagine o sempre inferiore al limite di rilevabilità)

### 2.2.2 Arenile sud

Per lo sviluppo della progettazione sono stati considerati gli esiti delle seguenti indagini<sup>3</sup>:

- ✓ Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 tramite Appalto Specifico n.18 e n.25, con la realizzazione di un totale di n. 12 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 36 campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi ai sondaggi S12 e S13 ubicati esternamente all'area di interesse per il risanamento della Zona Arenile Sud; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.30 campioni prelevati da n.10 sondaggi;
- ✓ Caratterizzazione integrativa eseguita da Invitalia nel 2023 in attuazione del "Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud" dell'ottobre 2022, tramite Appalto Specifico n.2 con la realizzazione di n.21 sondaggi geognostici ambientali, dai quali sono stati prelevati n. 87 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Di questi, sono stati esclusi i dati relativi al sondaggio SUT1 ubicato esternamente all'area di interesse per il risanamento della Zona Arenile Sud; pertanto, sono stati considerati i risultati di n.84 campioni prelevati da n.20 sondaggi.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione dei punti di indagine di interesse.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

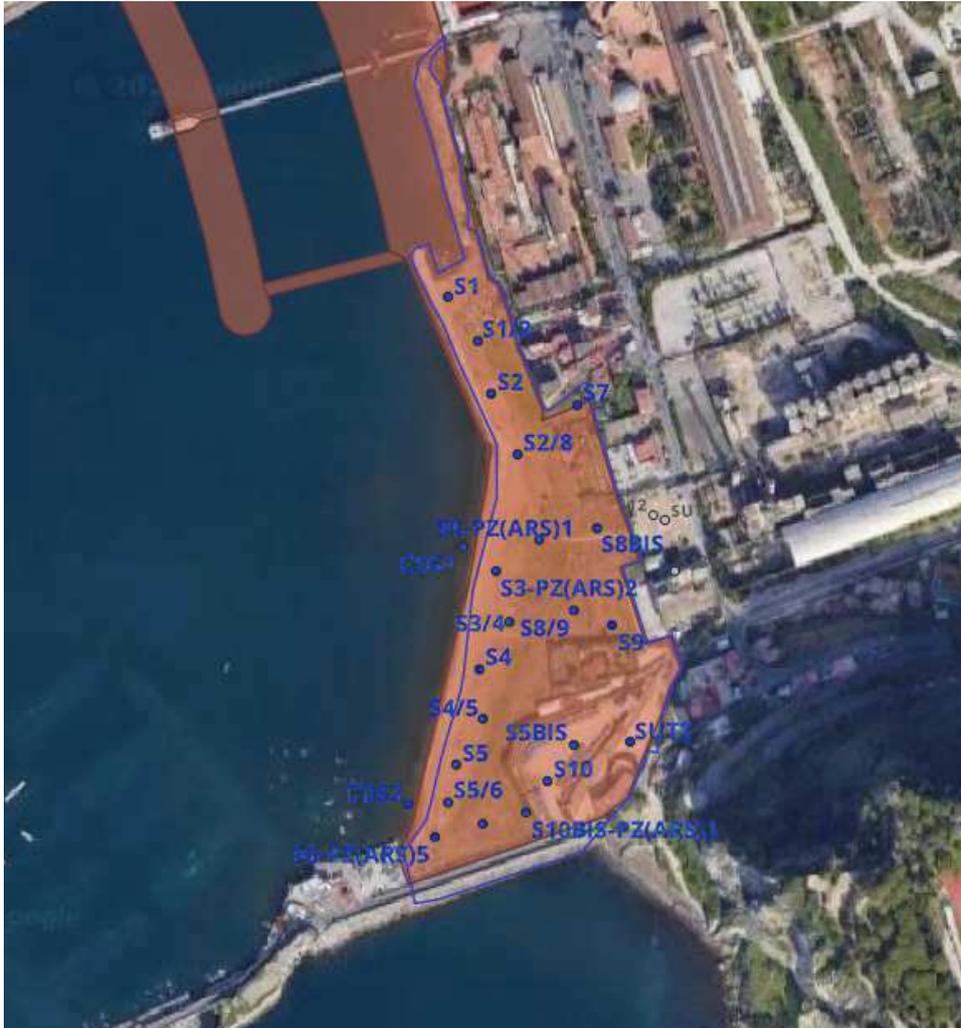


Figure 2.7: Punti di indagine di interesse nell'Arenile Sud

In entrambe le campagne di indagine è emerso come i principali contaminanti presenti nell'arenile nord siano quelli appartenenti alla famiglia degli Idrocarburi Policiclici Aromatici, Idrocarburi pesanti C>12 e gli Inorganici, con sporadiche e localizzate presenze di Idrocarburi leggeri C≤12, Benzene, PCB e PCDD/F.

La tabella seguente sintetizza gli esiti delle indagini del 2021 -2023 riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei punti di indagine eseguiti nel sedimento insaturo e saturo, considerando:

- ✓ campioni insaturi: i campioni con top di prelievo a quote superiori al livello medio mare (ovvero 0 m slm), considerando cautelativamente in questa categoria anche i campioni che si trovano a quota intermedia rispetto al piano di interfaccia insaturo/saturo, ovvero con bottom di prelievo a quote inferiori a 0 m slm;
- ✓ campioni saturi: i campioni con top di prelievo a quote inferiori al livello medio mare (0 m slm), ovvero che si trovano interamente all'interno dello strato saturo.

Le concentrazioni massime e medie dei campioni insaturi e saturi sono state confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 2.1).

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC col.A/Limiti ISS per destinazione d'uso verde pubblico, privato, residenziale o, se superiori, dei Valori di fondo.

**Tabella 2.4: Concentrazioni massime e medie rilevate nell'Arenile Sud**

Parametro	u.d.m.	Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	2021		2023	
					max	media	max	media
pH	-	-	-	-	n.d.	n.d.	10	8,27
Conducibilità	µs/cm	-	-	-	n.d.	n.d.	4530	394,63
Antimonio	mg/Kg	30	10	-	<b>25,2</b>	2,65	5,97	1,61
Arsenico	mg/Kg	50	20	29	<b>113</b>	<b>60,98</b>	<b>110</b>	<b>66,50</b>
Berillio	mg/Kg	10	2	9	6,24	3,49	6,35	4,02
Cadmio	mg/Kg	15	2	-	0,77	0,32	0,593	0,27
Cobalto	mg/Kg	250	20	120	21,4	5,11	16,4	5,39
Cromo totale	mg/Kg	800	150	-	<b>246</b>	15,23	<b>522</b>	17,44
Cromo esavalente	mg/Kg	15	2	-	1	1,00	0,132	0,04
Mercurio	mg/Kg	5	1	-	1,38	0,52	0,298	0,16
Nichel	mg/Kg	500	120	-	68,7	6,86	76,2	7,67
Piombo	mg/Kg	1000	100	103	<b>490</b>	<b>200,31</b>	<b>594</b>	<b>215,98</b>
Rame	mg/Kg	600	120	-	<b>1390</b>	<b>204,85</b>	<b>796</b>	<b>230,79</b>
Selenio	mg/Kg	15	3	-	2,32	0,63	1,57	0,49
Stagno	mg/Kg	350	1	14	<b>37</b>	8,42	n.d.	n.d.
Composti organostannici	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	3,13	1,23
Tallio	mg/Kg	10	1	-	<b>4,23</b>	0,80	<b>2,15</b>	0,85
Vanadio	mg/Kg	250	90	100	55,7	34,31	<b>105</b>	52,86
Zinco	mg/Kg	1500	150	158	<b>1380</b>	<b>386,59</b>	<b>1085</b>	<b>418,62</b>
Cianuri	mg/Kg	100	1	-	0,5	0,42	0,0926	0,03
Fluoruri	mg/Kg	2000	100	-	<b>224</b>	92,39	33,4	15,56
Benzo(a)antracene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>18,2</b>	<b>3,53</b>	<b>59,7</b>	<b>3,75</b>
Benzo(a)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>15,6</b>	<b>2,98</b>	<b>54,4</b>	<b>3,48</b>
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>21,8</b>	<b>4,18</b>	n.d.	n.d.
Benzo(b)fluorantene + benzo(j)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	n.d.	n.d.	<b>78,9</b>	<b>5,80</b>
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>9,31</b>	<b>2,01</b>	<b>24</b>	<b>1,82</b>
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	10	0,5	-	<b>7,35</b>	<b>1,32</b>	<b>19,1</b>	<b>1,35</b>
Crisene	mg/Kg	50	5	-	<b>22</b>	3,72	<b>56,5</b>	3,44
Dibenzo(a,e)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>1,58</b>	<b>0,46</b>	<b>9</b>	<b>0,56</b>
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>1,89</b>	<b>0,44</b>	<b>8,75</b>	<b>0,53</b>
Dibenzo(a,h)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>6,28</b>	<b>1,49</b>	<b>14,4</b>	<b>0,85</b>
Dibenzo(a,i)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>0,89</b>	<b>0,28</b>	<b>5,62</b>	<b>0,34</b>
Dibenzo(a,l)pirene	mg/Kg	10	0,1	-	<b>0,484</b>	<b>0,12</b>	<b>2,72</b>	<b>0,30</b>
Indeno(1,2,3-cd)pirene	mg/Kg	5	0,1	-	<b>10,5</b>	<b>2,19</b>	<b>57</b>	<b>3,89</b>
Pirene	mg/Kg	50	5	-	<b>37,6</b>	<b>5,86</b>	<b>102</b>	<b>5,67</b>
Sommatoria IPA	mg/Kg	100	10	-	<b>103</b>	<b>20,17</b>	<b>323</b>	<b>21,25</b>
Naftalene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	0,541	0,06
Acenaftilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	1,75	0,17
Acenaftene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	0,218	0,04
Fluorene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	1,1	0,10
Fenantrene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	<b>16,8</b>	1,16
Antracene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	<b>12,9</b>	0,83
Fluorantene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>	-	n.d.	n.d.	<b>155</b>	<b>7,73</b>
Benzene	mg/Kg	2	0,1	-	<b>0,101</b>	0,05	0,00561	0,00

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	u.d.m.	Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	2021		2023	
					max	media	max	media
Etilbenzene	mg/Kg	50	0,5	-	0,243	0,09	0,0656	0,01
Xilene	mg/Kg	50	0,5	-	0,206	0,09	0,401	0,06
m,p-Xilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>0,5</u>	-	0,0194	0,02	n.d.	n.d.
o-Xilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>0,5</u>	-	0,00842	0,01	n.d.	n.d.
Stirene	mg/Kg	50	0,5	-	0,0491	0,00	0,0248	0,01
Toluene	mg/Kg	50	0,5	-	0,0967	0,04	0,176	0,02
Sommatoria solventi organici aromatici	mg/Kg	100	1	-	0,0759	0,06	0,514	0,07
Idrocarburi totali	mg/Kg	-	-	-	1660	347,66	n.d.	n.d.
Idrocarburi C≤12	mg/Kg	250	10	-	<b>11</b>	3,51	<b>62</b>	<b>22,38</b>
Idrocarburi C>12	mg/Kg	750	50	-	<b>1661</b>	<b>344,34</b>	<b>852</b>	<b>148,00</b>
Sommatoria PCB	mg/Kg	5	0,06	-	<b>0,0786</b>	0,01	<b>23,8</b>	<b>7,05</b>
Sommatoria PCDD, PCDF	ng-l-TEQ/kg	100	10	-	n.d.	n.d.	<b>62,9</b>	4,73
Amianto	-	-	-	-	Assente	Assente	Assente	Assente

n.d. = concentrazione non determinata (parametro non ricercato nelle campagne di indagine o sempre inferiore al limite di rilevabilità)

### 2.2.3 Sedimenti marini

Per lo sviluppo della progettazione sono stati considerati gli esiti della caratterizzazione ambientale dell'area marina costiera eseguita nel 2017-2018 dalla Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli.

Ai fini del presente documento, tra tutti i punti di indagine realizzati, sono stati selezionati esclusivamente i punti prelevati all'interno della zona di progetto della nuova LdR ovvero:

- ✓ Microcella Nord: punti di indagine 15, 20 ubicati nella zona di dragaggio e, cautelativamente, anche i punti 7bis, 11bis, 14, limitrofi alla zona di intervento;
- ✓ Zona Arenile Sud: punti di indagine 72, 82, 83, 91, 92, 95 e, cautelativamente, anche il punto 71 limitrofo alla zona di intervento.

Le immagini seguenti mostrano i punti di indagine considerati e i poligoni di Thiessen associati a tali punti (tracciati nell'ambito del progetto ABBaCO) rispettivamente nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud.



## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**Figure 2.8: Ubicazione delle indagini e poligoni di Thiessen del progetto ABBAco all'interno della Microcella Nord**



**Figure 2.9: Ubicazione delle indagini e poligoni di Thiessen del progetto ABBAco all'interno della Zona Arenile Sud**

La tabella seguente sintetizza gli esiti delle indagini riportando, per ciascun contaminante, le concentrazioni massime e medie rilevate nei punti di indagine eseguiti.

Ai fini del presente documento, per valutare la possibilità di riutilizzo di tali sedimenti, le concentrazioni massime e medie suddette sono state confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio.

In tabella sono evidenziate in grassetto e in celle con campitura grigia le eccedenze delle CSC col.A/Limiti ISS per destinazione d'uso verde pubblico, privato, residenziale o, se superiori, dei Valori di fondo.

**Tabella 2.5: Concentrazioni massime e medie rilevate nei sedimenti marini**

Parametro	u.d.m	Tab 1 B D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	Tab 1 A D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	VFN ARIN Bagnoli	Microcella Nord		Zona Arenile Sud	
					max	media	max	media
Alluminio	mg/Kg	-	-		95075,75	80119,94	92240,68	83787,07
Arsenico	mg/Kg	50	20	29	<b>129,55</b>	<b>74,88</b>	<b>77,67</b>	<b>56,97</b>
Cadmio	mg/Kg	15	2		<b>3,82</b>	0,8	0,7	0,5
Cromo totale	mg/Kg	800	150		43,29	25,41	27,45	19,56
Rame	mg/Kg	600	120		58,78	15,87	91,94	49,88
Ferro	mg/Kg	-	-		141800,91	70579,82	40477,91	34158,48
Mercurio	mg/Kg	5	1		0,62	0,15	0,64	0,13
Nichel	mg/Kg	500	120		94,14	14,7	12,08	7,24
Piombo	mg/Kg	1000	100	103	<b>515,97</b>	<b>147,57</b>	<b>234,97</b>	100,75
Vanadio	mg/Kg	250	90	100	<b>162,76</b>	<b>114,24</b>	<b>119,81</b>	99,23
Zinco	mg/Kg	1500	150	158	<b>824,69</b>	<b>299,83</b>	<b>302,08</b>	<b>176,08</b>

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	u.d.m	Tab 1 B	Tab 1 A	VFN ARIN Bagnoli	Microcella Nord		Zona Arenile Sud	
		D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>		max	media	max	media
MBT	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	0,06	0,02
DBT	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	0,06	0,02
TBT	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	0,04	0,01
Somma organostannici	mg/Kg	350	1	14	n.d.	n.d.	0,15	0,05
Sommatoria PCB	mg/Kg	5	0,06		0,004	0,004	<b>0,3753</b>	<b>0,1894</b>
2,4 DDD	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	0,0001	0,0001
4,4 DDD	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	0,003	0,0016
Somma DDD	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	0,0032	0,0016
2,4 DDE	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4 DDE	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Somma DDE	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,4 DDT	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	0,0002	0,0002
4,4 DDT	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	0,0012	0,0012
Somma DDT	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	0,0014	0,0014
Aldrin	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dieldrin	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Endrin	mg/Kg	2	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
a-HCH	mg/Kg	0,1	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
b-HCH	mg/Kg	0,5	0,01		n.d.	n.d.	0,0002	0,0002
g-HCH (Lindano)	mg/Kg	0,5	0,01		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Eptacloro epossido	mg/Kg	-	-		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
HCB	mg/Kg	-	-		n.d.	n.d.	0,0004	0,0004
Idrocarburi C<12	mg/Kg	250	10		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Idrocarburi C>12	mg/Kg	750	50		<b>615</b>	<b>173,39</b>	<b>334</b>	<b>82,14</b>
Naftalene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		1,11	0,303	0,0058	0,0037
Antracene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		<b>11,11</b>	2,52	1,4	0,39
Fenantrene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		<b>14,87</b>	3,76	3,46	0,92
Acenaftilene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		2,11	0,53	0,17	0,06
Acenaftene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		2,01	0,39	0,005	0,004
Fluorene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		1,24	0,31	0,19	0,06
Fluorantene	mg/Kg	<u>50</u>	<u>5</u>		<b>49,39</b>	<b>14,43</b>	<b>11,91</b>	3,5
Pirene	mg/Kg	50	5		<b>47,79</b>	<b>12,48</b>	<b>8,56</b>	2,59
Benzo(a)antracene	mg/Kg	10	0,5		<b>19,28</b>	<b>4,97</b>	<b>5,33</b>	<b>1,52</b>
Crisene	mg/Kg	50	5		<b>17,55</b>	4,5	4,79	1,38
Benzo(b)fluorantene	mg/Kg	10	0,5		<b>21,37</b>	<b>5,71</b>	<b>5,91</b>	<b>1,76</b>
Benzo(a)pirene	mg/Kg	10	0,1		<b>28,13</b>	<b>7,62</b>	<b>7,59</b>	<b>2,28</b>
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	10	0,5		<b>11,49</b>	<b>2,96</b>	<b>2,83</b>	<b>0,79</b>
Indeno(1,2,3,c,d)pirene	mg/Kg	5	0,1		<b>16,68</b>	<b>3,98</b>	<b>4,06</b>	<b>1,25</b>
Benzo(g,h,i)perilene	mg/Kg	10	0,1		<b>20,44</b>	<b>4,71</b>	<b>4,6</b>	<b>1,46</b>
Dibenzo(a,h)antracene	mg/Kg	10	0,1		<b>5,35</b>	<b>1,11</b>	<b>1,15</b>	<b>0,33</b>
Sommatoria IPA	mg/Kg	100	10		<b>265,31</b>	<b>70,18</b>	<b>61,9</b>	<b>18,31</b>
benzo(j)fluorantene	mg/Kg	<u>10</u>	<u>0,5</u>		<b>11,26</b>	<b>2,82</b>	<b>2,58</b>	<b>0,74</b>
benzo(e)pirene	mg/Kg	-	-		21,34	5,7	6,02	1,93
Sommatoria PCDD/PCDF	ng-l- TEQ/kg	100	10		<b>9800</b>	<b>9800</b>	<b>1340</b>	<b>1340</b>
Benzene	mg/Kg	2	0,1		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Toluene	mg/Kg	50	0,5		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Etilbenzene	mg/Kg	50	0,5		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
m,p-Xilene	mg/Kg	50	0,5		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	u.d.m	Tab 1 B	Tab 1 A	VFN ARIN Bagnoli	Microcella Nord		Zona Arenile Sud	
		D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>	D.Lgs. 152/2006 o <u>Limiti</u> <u>ISS</u>		max	media	max	media
o-Xilene	mg/Kg	50	0,5		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sommatoria BTEX	mg/Kg	100	1		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = concentrazione non determinata (parametro con valori inferiori al limite di rilevabilità in tutti i punti di indagine)

## 2.3 TEST DI TRATTABILITÀ

### 2.3.1 Test di trattabilità con soil washing e desorbimento termico (2020)

Nel 2020 il RTI composto da Ambienthesis SpA, Chelab srl e Ecologica Sud Servizi srl, nell'ambito dell'esecuzione di alcuni test pilota delle tecnologie di bonifica individuate nella fase di screening e potenzialmente applicabili per il risanamento ambientale dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio, ha eseguito un test di trattabilità di soil washing (SW) e desorbimento termico (DT) a scala pilota (presso impianto Geoter srl di Concamarise, VR) su un campione di circa 150 ton di sabbie prelevate sull'arenile Sud (denominata area E)<sup>4</sup>.

L'immagine seguente mostra le attività condotte nell'area E.



Figura 2.10: Ubicazione Area E dell'Arenile Sud sottoposta a test pilota delle tecnologie di bonifica nel 2020

Per quanto riguarda il SW, il test a scala pilota è stato preceduto da una fase di test a scala di laboratorio condotta presso il laboratorio VITO NV di Anversa- Belgio che ha individuato il miglior chemical da utilizzare per abbattere le contaminazioni.

\*\*\*\*\*

<sup>4</sup> La relazione finale dei test è disponibile sul sito internet INVITALIA, sezione Rilancio Bagnoli, elaborati Progetto Definitivo Bonifica Lotto 1 Fondiarie all'interno del sito di rilevante interesse nazionale di Bagnoli-Coroglio rev\_1: <https://www.invitalia.it/cosa-facciamo/rilanciamo-le-aree-di-crisi-industriale/rilancio-bagnoli/doc03---progetti-di-bonifica>

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Il materiale (150 ton/area), caratterizzato da una distribuzione granulometrica nettamente spostata verso la frazione sabbiosa (Fine < 0,063 mm 6%, Sabbie 92%, Ghiaie 1% e Ciottoli 1%) è stato sottoposto a 2 test di lavaggio distinti:

- ✓ 75 ton trattate solo con acqua a pH controllato (6 +/- 0,5);
- ✓ 75 ton trattate con acqua a pH controllato (6 +/- 0,5) e reagente Chelante EDTA (soluzione liquida al 40%).

Per ciascuna prova i tagli granulometrici prodotti in uscita dal trattamento sono stati i seguenti:

- ✓ fango: fino a 0,063 mm
- ✓ sabbia: 0,063-2 mm
- ✓ ghiaio: 2-20 mm
- ✓ ciottolo: 20-60 mm

Gli esiti del test hanno indicato:

- ✓ un potenziale recupero delle sole frazioni grossolane, mentre per le sabbie permangono eccedenze delle CSC del D.Lgs.152/06 Tab.1 colonna A o Valori di fondo dell'ARIN Bagnoli e, per Arsenico, anche delle CSC di Tab.1 colonna B;
- ✓ un potenziale rispetto dei limiti di cessione negli eluati;
- ✓ una certa corrispondenza tra i risultati del test condotto con acqua a pH controllato e con reagente con reagente Chelante EDTA.

Per quanto riguarda il DT gli esiti del test a scala pilota condotto sia a 550°C sia a 480-500°C hanno indicato:

- ✓ una discreta lavorabilità del materiale grazie della ridotta presenza di materiale a granulometria grossolana (ciottolo e ghiaia) che rende più difficoltoso il mantenimento delle temperature di processo;
- ✓ una efficiente rimozione delle frazioni organiche (IPA in particolare) con il raggiungimento delle CSC del D.Lgs.152/06 Tab.1 colonna A (mentre per i metalli, come prevedibile, la tecnologia non è risultata risolutiva);
- ✓ una generale conformità dei limiti di cessione negli eluati per le frazioni grossolane e fini.

L'ipotesi di un trattamento combinato SW e DT è stata elaborata su base matematica, simulando che le frazioni in uscita dal soil washing non conformi al recupero potessero essere ulteriormente trattate tramite desorbitore termico. Tale scenario ha mostrato un potenziale miglioramento qualitativo in tutte le frazioni in uscita grazie all' abbattimento degli idrocarburi residui non trattati completamente dal SW, associati, tuttavia a possibili peggioramenti delle concentrazioni negli eluati dei test di cessione in particolare nelle frazioni più grossolane.

### 2.3.2 Test di trattabilità con soil washing (2023)

Nell'ambito dell'Appalto misto di servizi di ingegneria e architettura per la progettazione definitiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per appalto integrato, comprensivo di servizi di indagini e di lavori di test di dimostrazione tecnologica, oltre ai servizi di direzione dei lavori e di coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferente all'intervento denominato "rimozione colmata, bonifica degli arenili emersi "Nord" e "Sud" e risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)", il RTI costituito da PROGER S.p.A, ARCADIS ITALIA S.r.l., AMBIENTE S.p.A., RINA CONSULTING S.p.A., FINALCA INGEGNERIA S.r.l., DHI SRL A SOCIO UNIC), 3BA S.r.l., ASPS Servizi Archeologici s.n.c. di Laura Sanna e Francesco Tiboni, è stato incaricato di eseguire test pilota di soil washing al fine di verificare la possibilità di recuperare i sedimenti delle aree a mare ricomprese nell'ARIN di Bagnoli-Coroglio.

I test pilota sono stati previsti sui sedimenti rimossi da 3 specifiche macroaree (denominate A, B e C), ubicate tra la linea di costa e la batimetrica - 5 m e selezionate all'interno dei poligoni di Thiessen che, nell'ambito del progetto ABBaCo, erano risultati maggiormente contaminati (si veda anche la seguente Figura 2.11):

- ✓ Macroarea A: specchio acqueo antistante l'Arenile Nord;
- ✓ Macroarea B: specchio acqueo antistante la Colmata;
- ✓ Macroarea C: specchio acqueo antistante l'Arenile Sud.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

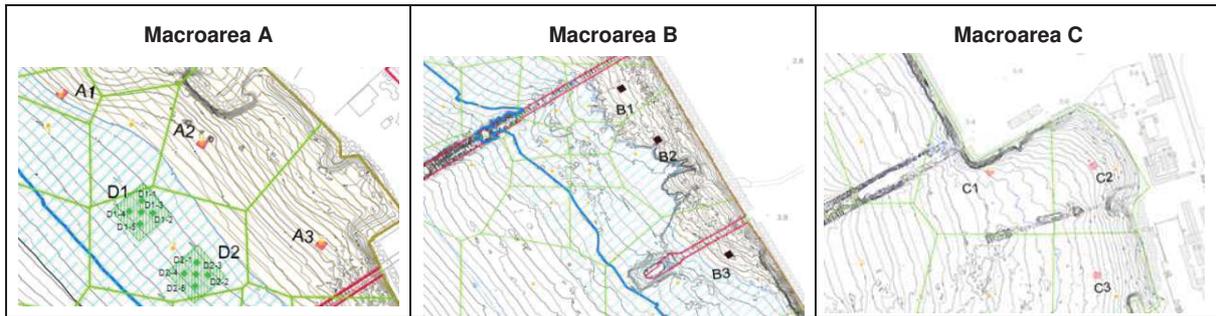


Figura 2.11: Aree oggetto di test di dimostrazione tecnologica

I test pilota sono stati eseguiti in due fasi:

- ✓ Fase I: Esecuzione di test pre-trattabilità a scala di laboratorio;
- ✓ Fase II: Esecuzione di test di trattabilità a scala industriale.

I test di trattabilità a scala di laboratorio (**FASE I**) sono stati condotti dalla Società Semataf S.r.l. con sede legale in Via Germania 10/O a Borgo Venusio (PT) su campioni di sedimenti prelevati sui Lotti A2 (scelto per la presenza di significative concentrazioni di Idrocarburi Policiclici Aromatici e inorganici) e Lotto B3 (scelto per le significative concentrazioni di inorganici).

I test sono stati eseguiti simulando il completo ciclo di trattamento industriale dell'impianto SW della Società. I materiali prodotti dallo svolgimento del test (matrici solide, rifiuti solidi, rifiuti liquidi) sono stati sottoposti a determinazione analitica di laboratorio per verificare sia la possibilità di certificare la materia solida come materia prima seconda (prevalentemente sabbia), sia l'ammissibilità a smaltimento dei residui solidi e liquidi prodotti a valle del trattamento presso la Piattaforma Semataf. Di seguito si riassumono le considerazioni della Società relativamente ai campioni trattati:

- ✓ Lotto A2: Le analisi chimiche condotte dal laboratorio privato di Semataf sui materiali derivanti dal trattamento, prevalentemente sabbie, hanno mostrato che per la materia prima seconda non è possibile concludere positivamente il processo di end of waste per il superamento del parametro Fluoruri nei test di cessione. Le analisi chimiche condotte sui rifiuti solidi (fanghi) hanno mostrato che non sono ammissibili a smaltimento presso la Piattaforma Semataf, per il superamento del parametro Cloruri nei test di cessione, mentre quelle condotte sui rifiuti liquidi hanno mostrato l'ammissibilità a smaltimento.
- ✓ Lotto B3: Le analisi chimiche condotte dal laboratorio privato di Semataf sui materiali derivanti dal trattamento, prevalentemente sabbie, hanno mostrato che per la materia prima seconda è possibile concludere positivamente il processo di end of waste. Le analisi chimiche sui rifiuti solidi (fanghi) e sui rifiuti liquidi hanno mostrato sono ammissibili a smaltimento presso la Piattaforma Semataf.

In ragione di queste risultanze, delle prospettabili difficoltà comunicate dall'impianto Semataf in merito al trattamento e completamento del processo di End of Waste, della difficoltà di poter accettare materiali qualitativamente peggiori rispetto del Lotto B3, il test di trattabilità a scala industriale (**FASE II**) è stato eseguito presso l'impianto Ladurner Remedia Srl ubicato a Mira (VE) in Via Bastiette 23, autorizzato con Determina n° 50904 del 09/06/2017 della città metropolitana di Venezia, modificata con Determina n° 47882 del 25/06/2018 e ulteriormente e sostanzialmente modificata con Determina n° 541 / 2021 prot. 2021 / 13287 del 16/03/2021. L'impianto è costituito da diversi elementi e processi, di seguito sintetizzati:

- ✓ tramoggia di carico dotata di griglia separatrice ribaltabile e sottostante nastro trasportatore. La griglia ha la funzione di separare ed estrarre meccanicamente elementi di elevata pezzatura (ad esempio blocchi cementizi, rocce, legni) e nel disgregare le zolle più compatte del materiale escavato;
- ✓ deferrizzatore a nastro, con magneti potenza kW 2,2, avente lo scopo di separare e recuperare eventuali manufatti metallici caratterizzati da proprietà magnetiche;
- ✓ sfangatrice a pale "KISA" che consente un'energica azione meccanica di disgregazione del materiale da trattare, con regolazione della velocità di rotazione degli alberi porta pale e dell'inclinazione di lavoro della macchina;

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ vaglio orizzontale a doppio albero con reti in poliuretano e impianto a doccia su tutti i piani, con spruzzatori, per separare i granuli a maggiore diametro;
- ✓ vaglio vibrante sgocciolatore;
- ✓ gruppo ciclonatura con vasca "GRF" ed idrociclone;
- ✓ n. 2 celle di attrizione con filtro idrociclone e n.2 vasche. Nelle celle di attrizione la miscela sabbia/acqua proveniente dal gruppo di ciclonatura primario va ad alimentare la prima camera della cella di attrizione. Lo sfregamento reciproco tra i granuli di sabbia porta ad un distacco degli inquinanti adesi sulla superficie esterna dei granuli stessi. La torbida viene poi sospinta da alberi a palette attraverso le due vasche della cella stessa e poi convogliata al gruppo di risciacquatura finale;
- ✓ gruppo recupero fini, costituito da pompa centrifuga orizzontale con girante, idrociclone, vaglio vibrante sgocciolatore ad azionamento elettromeccanico con masse eccentriche regolabili e piano vagliante con pannelli in poliuretano;
- ✓ vaglio a banana per la ulteriore separazione delle piccole particelle organiche in sospensione;

Inoltre, la linea di trattamento della frazione superiore a 2 mm comprende anche:

- ✓ separatore a pulsazione SETZ MACHINE (per classi di densità);
- ✓ vaglio vibrante inclinato ed impianto a doccia su tutti i piani, con spruzzatori calibrati. (cd. vaglio ad umido)

La linea acque processo – estrazione fini è costituita da un sistema a circolo chiuso con un impianto di trattamento acque dedicato, finalizzato principalmente alla estrazione delle parti fini (fanghi) in modo che l'acqua ricircolata continui ad avere caratteristiche chimico-fisiche idonee per esercitare l'azione di lavaggio sui materiali trattati, e costituito dalle seguenti sezioni:

- ✓ sezione vasca di reazione e sollevamento torbida costituita da un serbatoio da 75 m<sup>3</sup>;
- ✓ sezione condizionamenti chimici costituita da un impianto di preparazione e dosaggio latte di calce, con un dissolvente di capacità 2 m<sup>3</sup> collegato ad un silo autoportante da 55 m<sup>3</sup> per lo stoccaggio della calce idrata in polvere, in esterno al capannone;
- ✓ sezione chiarificazione acque costituita da n. 2 sedimentatori cilindrici statici a flusso verticale di 210.000 litri cadauno;
- ✓ sezione di omogeneizzazione e pompaggio fanghi dal fondo del chiarificatore, costituita da n. 1 vasca da 20 m<sup>3</sup> con agitatore;
- ✓ sezione di disidratazione fanghi costituita da n. 1 filtropressa a 61 piastre con impianto di lavaggio automatico delle tele e scarico del materiale filtro pressato;
- ✓ sezione di ulteriore di depurazione delle acque di lavaggio (già chiarificate) composta da vasca di equalizzazione-sedimentazione e batteria di filtrazione.

Alla data di redazione del presente documento il test di trattabilità è stato completato a scala industriale sui Lotti A1 e A2 della Macroarea A.

Per ciascun lotto sono state effettuati test di lavaggio in due repliche di trattamento distinte, dividendo i cumuli in due volumi uguali:

- ✓ Lotto A1: prove eseguite su circa 100 ton a replica;
- ✓ Lotto A2: prove eseguite su circa 75 ton a replica.

Le prime repliche sono state eseguite effettuando le operazioni di lavaggio ad acqua a pH controllato. Le seconde repliche sono state eseguite effettuando le medesime operazioni di lavaggio ad acqua a pH controllato del protocollo di trattamento individuato per le prime repliche con l'aggiunta di una fase di stimolazione del processo di ossidazione chimica dei sedimenti post-lavaggio con Perossido di Idrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CAS N° 7722-84-1). Il prodotto, selezionato in ragione delle elevate concentrazioni di composti idrocarburici, è stato utilizzato in soluzione molto concentrata, di circa il 35%, irrorata sulla frazione sabbiosa trattata uscente dall'impianto e potenzialmente recuperabile.

I risultati del test hanno indicato:

- ✓ per la replica 1 (lavaggio ad acqua a pH controllato):

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- Lotto A1: una percentuale di abbattimento delle concentrazioni dei parametri non conformi in ingresso pari a circa il 36%.
- Lotto A2: una percentuale di abbattimento delle concentrazioni dei parametri non conformi in ingresso pari a circa il 58%.
- ✓ per la replica 2 (lavaggio ad acqua a pH controllato con l'aggiunta post-lavaggio di Perossido di Idrogeno):
  - Lotto A1: una percentuale di abbattimento delle concentrazioni dei parametri non conformi in ingresso pari a circa il 70%.
  - Lotto A2: una percentuale di abbattimento delle concentrazioni dei parametri non conformi in ingresso pari a circa il 60%.

In generale, il trattamento a scala industriale ha mostrato una moderata efficacia nel ridurre la contaminazione riscontrata in partenza nei Lotti A1 ed A2 per riguardare le CSC definite dal D.Lgs. 152/06 di Tabella 1 colonna A o Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli, mentre permette di raggiungere i valori definiti dalla colonna B.

L'aggiunta di Perossido di Idrogeno nei materiali post-trattamento si è rivelata più efficace nell'abbattere alcuni parametri specifici: in particolare, per il Lotto A1 l'aggiunta del reagente ha permesso la riduzione delle concentrazioni di Zinco e di alcuni Idrocarburi Policiclici Aromatici alle CSC Colonna A o Valori di Fondo (si veda la Tabella 2.6). Per il Lotto A2, il cui trattamento con il solo lavaggio ad acqua ha mostrato una significativa efficacia, in particolare per Cadmio, Mercurio e alcuni Idrocarburi Policiclici Aromatici, si è riscontrato che l'aggiunta di Perossido di Idrogeno nei materiali post-trattamento non ha apportato significativi benefici in termini di abbattimento (inoltre, per alcuni analiti, si è registrata una anomala inversione nel tenore della concentrazione, si veda la Tabella 2.7).

**Tabella 2.6: Lotto A1. Riepilogo dei risultati dei test di trattabilità**

Parametro	u.m.	CSC Col. A / Valore di fondo (VF)*	Ingresso	Lotto A1 – Replica 1 Uscita	Lotto A1 – Replica 2 Uscita
Arsenico (As)	mg/kg	29 *	64	61	31,1
Zinco (Zn)	mg/kg	158 *	229	254	137
Benzo(a)antracene	mg/kg	0,5	2,2	1,49	0,46
Benzo(a)pirene	mg/kg	0,1	2,6	1,54	0,54
Benzo(b)fluorantene	mg/kg	0,5	2,2	1,14	0,54
Benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0,1	1,87	0,85	0,48
Dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0,1	0,47	0,161	0,098
Pirene	mg/kg	5	5,2	2,9	1,18
Sommatoria IPA	mg/kg	10	20	11	4,4

**Tabella 2.7: Lotto A2. Riepilogo risultati dei test di trattabilità**

Parametro	u.m.	CSC Col. A / Valore di fondo (VF)*	Ingresso	Lotto A2 – Replica 1 Uscita	Lotto A2 – Replica 2 Uscita
Arsenico (As)	mg/kg	29 *	79	43,7	44,1
Cadmio (Cd)	mg/kg	2	7,9	0,64	0,29
Mercurio (Hg)	mg/kg	1	1,86	0,18	<0,21
Piombo (Pb)	mg/kg	103 *	510	149	160
Zinco (Zn)	mg/kg	158 *	1510	451	444
Benzo(a)antracene	mg/kg	0,5	6,5	3,8	2,3
Benzo(a)pirene	mg/kg	0,1	10,4	4,2	3,2
Benzo(b)fluorantene	mg/kg	0,5	8	3,1	2,8
Benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0,1	6,7	2,3	2,6
Dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0,1	1,3	0,85	0,45
Pirene	mg/kg	5	19	9,9	7,6
Sommatoria IPA	mg/kg	10	70	31	25
Idrocarburi Pesanti C>12 (C12÷C40)	mg/kg	50	99	78	142

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

La tabella seguente riepiloga le percentuali di abbattimento delle concentrazioni dei contaminanti eccedenti le CSC di Tabella 1 Colonna A rilevate nei sedimenti marini prelevati nel Lotto A1 e nel Lotto A2 e l'efficienza media complessiva stimabile per i due Lotti.

**Tabella 2.8: Lotti A1 e A2. Riepilogo efficienze di abbattimento delle concentrazioni**

Parametro	Abbattimento massimo nel Lotto A1 [%]	Abbattimento massimo nel Lotto A2 [%]	Efficienza media di abbattimento delle concentrazioni nei Lotti A1 e A2 [%]
Arsenico	51%	45%	48%
Cadmio		96%	96%
Mercurio		90%	90%
Piombo		71%	71%
Zinco	40%	71%	55%
Idrocarburi C>12		21%	21%
Pirene	77%	60%	69%
Benzo(a)antracene	79%	65%	72%
Benzo(b)fluorantene	75%	65%	70%
Benzo(a)pirene	79%	69%	74%
Benzo(g,h,i)perilene	74%	66%	70%
Dibenzo(a,h)antracene	79%	65%	72%
Sommatoria IPA	78%	64%	71%

In sintesi, quindi, nell'ottica di un eventuale riutilizzo in sito dei materiali trattati tramite soil washing, sulla base dei primi test completati alla data di redazione del presente documento, è possibile osservare che (si veda anche la Figura 2.12):

- ✓ tutti gli eluati prodotti durante i test di cessione sono conformi ai i limiti di cui all'Allegato 3 del D.M. 05/02/1998 o ai Valore di Fondo dell'ARIN di Bagnoli (questi ultimi significativi, in particolare, per il parametro Fluoruri, il cui limite è pari a 4 mg/l);
- ✓ i materiali del Lotto A2, indipendentemente dalle modalità di trattamento selezionate, risultano sempre recuperabili in siti a destinazione d'uso commerciale/industriale;
- ✓ i materiali del Lotto A1 risultano recuperabili in siti a destinazione d'uso commerciale/industriale applicando la tipologia di trattamento prevista in Replica 2.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

	MATRICE SOLIDA POST-TRATTAMENTO		MATRICE SOLIDA POST-TRATTAMENTO		MATRICE SOLIDA POST-TRATTAMENTO		MATRICE SOLIDA POST-TRATTAMENTO	
	Lotto A1 - Replica 1		Lotto A2 - Replica 1		Lotto A1 - Replica 2		Lotto A2 - Replica 2	
	Confronto con CSC (D.Lgs. 152/06)		Confronto con CSC (D.Lgs. 152/06)		Confronto con CSC (D.Lgs. 152/06)		Confronto con CSC (D.Lgs. 152/06)	
	CSC Col A	CSC Col B	CSC Col A	CSC Col B	CSC Col A	CSC Col B	CSC Col A	CSC Col B
NON CONFORMITA'	ANALITI NON CONFORMI	ANALITI NON CONFORMI	ANALITI NON CONFORMI	ANALITI CONFORMI	ANALITI NON CONFORMI	ANALITI CONFORMI	ANALITI NON CONFORMI	ANALITI CONFORMI
	Arsenico (As)	Arsenico (As)	Arsenico (As)		Arsenico (As)		Arsenico (As)	
	Zinco (Zn)		Zinco (Zn)		Benzo(a)pirene		Piombo (Pb)	
	Benzo(a)antracene		Benzo(a)antracene		Benzo(b)fluorantene		Zinco (Zn)	
	Benzo(a)pirene		Benzo(a)pirene		Benzo(g,h,i)perilene		Benzo(a)antracene	
	Benzo(b)fluorantene		Benzo(a)pirene				Benzo(b)fluorantene	
	Benzo(g,h,i)perilene		Benzo(b)fluorantene				Benzo(g,h,i)perilene	
	Dibenzo(a,h)antracene		Dibenzo(a,h)antracene				Dibenzo(a,h)antracene	
	Sommatoria IPA		Pirene				Sommatoria IPA	
			Sommatoria IPA				Idrocarburi Pesanti C>12	
		Idrocarburi Pesanti C>12						
NON CONFORMITA'	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE	TEST CESSIONE
	Lotto A1 Replica 1	Lotto A1 Replica 1	Lotto A2 Replica 1	Lotto A2 Replica 1	Lotto A1 Replica 2	Lotto A1 Replica 2	Lotto A2 Replica 2	Lotto A2 Replica 2
	ANALITI CONFORMI	ANALITI CONFORMI	ANALITI CONFORMI*	ANALITI CONFORMI*	ANALITI CONFORMI	ANALITI CONFORMI	ANALITI CONFORMI*	ANALITI CONFORMI*
ESITO COMPLESSIVO	NON RECUPERABILE	NON RECUPERABILE	NON RECUPERABILE	RECUPERABILE	NON RECUPERABILE	RECUPERABILE	NON RECUPERABILE	RECUPERABILE

\* Fluoruri non conformi ai D.M. 05/02/1998 (1,5 mg/l) ma conformi ai Valori di fondo naturale (4 mg/l)

Figura 2.12: Riepilogo delle verifiche sulla recuperabilità delle matrici solide granulari

### 2.3.3 Stima del possibile scenario di trattamento dei sedimenti escavati/dragati

Come illustrato nei paragrafi precedenti, i test di soil washing del 2020 hanno mostrato un potenziale recupero delle sole frazioni grossolane, mentre per le sabbie sono rimaste eccedenze delle CSC del D.Lgs.152/06 Tab.1 colonna A o Valori di fondo dell'ARIN Bagnoli e, per Arsenico, anche delle CSC di Tab.1 colonna B. Il trattamento con desorbimento termico si è dimostrato estremamente efficiente nella rimozione delle frazioni organiche, in particolare per gli IPA, permettendo di raggiungere le CSC del D.Lgs.152/06 Tab.1 colonna A, mentre non è risultato risolutivo, come prevedibile, per l'abbattimento dei metalli.

Le ulteriori prove di soil washing eseguite nei 2023 hanno mostrato una efficienza media di abbattimento della concentrazione dei contaminanti rilevati nei sedimenti marini antistanti all'Arenile Nord variabile tra il 21 e il 96% (si veda la Tabella 2.8). Ulteriori sperimentazioni saranno condotte affinando il sistema di trattamento sulla base dei primi risultati ricavati dal trattamento dei Lotti A1 e A2.

Considerando di poter raggiungere una efficienza di abbattimento almeno pari ai valori medi determinati per i contaminanti eccedenti le CSC in ingresso ai test eseguiti sui Lotti A1 e A2 (Tabella 2.8), è possibile stimare una riduzione delle concentrazioni medie dei sedimenti oggetto di escavo/dragaggio. La tabella seguente riporta tali concentrazioni medie post-trattamento ricavate applicando le percentuali di abbattimento della Tabella 2.8 alle concentrazioni medie pre-trattamento determinate considerando:

- ✓ le analisi eseguite nell'ambito del progetto ABBaCO sui sedimenti marini prelevati nelle zone prospicienti l'Arenile Nord (punti di indagine 7/bis, 11/bis, 14, 15 e 20), l'Arenile Sud (punti di indagine 62, 63, 71, 72, 82, 83, 91, 92 e 95) e antistanti la colmata (punti di indagine 30, 37, 44 e 61);
- ✓ le analisi eseguite nel 2021-2023 sugli Arenili Nord e Sud;
- ✓ le analisi eseguite nel 2017-2021 sui sedimenti sottostanti la colmata.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**Tabella 2.9: Riduzione delle concentrazioni dei contaminanti attese post trattamento soil washing**

Parametro	CSC di Tab.1 Col A D.Lgs. 152/06 o Valori di Fondo ARIN	Concentrazione media pre-trattamento			Efficienza media di abbattimento **	Concentrazione media post-trattamento		
		zona Arenile Nord	zona Colmata	zona Arenile Sud		zona Arenile Nord	zona Colmata	Arenile Sud
Arsenico	29*	44,50	86,82	71,11	48%	23,14	45,15	36,98
Cadmio	2	0,38	1,49	0,24	96%	0,02	0,06	0,01
Mercurio	1	0,14	0,08	0,26	90%	0,01	0,01	0,03
Piombo	103*	81,24	263,10	224,47	71%	23,56	76,30	65,10
Zinco	158*	159,17	669,99	434,31	55%	71,63	301,49	195,44
Idrocarburi C>12	50	273,72	363,29	272,61	21%	216,24	287,00	215,36
Pirene	5	11,43	10,65	8,96	69%	3,54	3,30	2,78
Benzo(a)antracene	0,5	5,07	5,75	5,43	72%	1,42	1,61	1,52
Benzo(b)fluorantene	0,5	6,69	5,90	7,51	70%	2,01	1,77	2,25
Benzo(a)pirene	0,1	6,06	4,96	5,23	74%	1,58	1,29	1,36
Benzo(g,h,i)perilene	0,1	4,44	2,99	2,96	70%	1,33	0,90	0,89
Dibenzo(a,h)antracene	0,1	0,86	0,67	0,77	72%	0,24	0,19	0,22
Sommatoria IPA	10	44,68	18,23	33,24	71%	12,96	5,29	9,64

Note  
 \* Valori di Fondo ARIN di Bagnoli-Coroglio  
 \*\* Calcolata come media dell'efficienza determinata per i singoli parametri nei test eseguiti sul Lotto A1 e sul Lotto A2

Come evidente dalla tabella, i parametri che mediamente risultano eccedere le CSC di Tabella 1 Colonna A o i Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli post-trattamento sono quelli organici Idrocarburi C>12 e IPA ai quali si aggiunge anche lo Zinco e l'Arsenico nei materiali che saranno oggetto di escavo/dragaggio in corrispondenza della colmata e dell'Arenile Sud.

Considerando l'ottima performance del desorbimento termico nella rimozione delle frazioni organiche nell'ambito del test del 2020, si ipotizza che i parametri organici eccedenti le CSC di Tabella 1 Colonna A post lavaggio possano essere portati a conformità tramite un intervento combinato di soil washing e desorbimento termico.

Per quanto riguarda le concentrazioni dei parametri Arsenico e Zinco, pari al massimo a 2 volte i limiti di fondo naturale definiti per l'ARIN, i prossimi test di soil washing che saranno eseguiti nelle altre macroaree potranno verificare il quadro emerso per i Lotti A1 e A2 ed eventualmente incrementare l'efficienza di abbattimento utilizzando differenti tempi di contatto nelle celle di attrizione e con il reagente già risultato mediamente efficace su tali contaminanti.

Sulla base di quanto sopra, cautelativamente, in questa fase di progettazione definitiva, si stima che, a seguito di un trattamento combinato di soil washing e desorbimento termico, possa essere recuperato circa il 50% dei sedimenti escavati e dragati dalle aree di intervento, da riutilizzare per le attività di ripascimento necessarie alla creazione della nuova linea di riva.

## 2.4 LIMITI, VINCOLI ED INTERFERENZE PRESENTI

Nella progettazione si è tenuto conto dei seguenti **limiti di intervento e interferenze**:

1. le aree oggetto di intervento negli Arenili Nord e Sud sono quelle che costituiranno la nuova spiaggia secondo i limiti definiti dalla LdR progettuale.

Sono quindi incluse anche le zone oggi oggetto di concessione ad uso temporaneo (oggi zone commerciali/ricreative o adibite a parcheggi), solo parzialmente indagate nelle campagne di caratterizzazione del 2021-2023<sup>5</sup>, in corrispondenza delle quali sarà realizzata la nuova spiaggia in aderenza a quanto previsto dal PRARU. Rispetto al confine dell'Arenile Nord previsto dal PFTE è stata stralciata l'area di spiaggia posta nella zona più a nord (i cosiddetti Arenile Agnano e Arenile Collettore Bagnoli), isolando l'area di progetto dalle

\*\*\*\*\*

<sup>5</sup> in quanto contraddistinte da caratteristiche granulometriche peculiari differenti dagli arenili veri e propri

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

eventuali contaminazioni dovute alla presenza dello scarico di piena dell'emissario di Bagnoli e la scogliera adiacente a via di Pozzuoli, mentre è stata inclusa la porzione di colmata ubicata a nord del Pontile Nord.

2. gli interventi sono interferenti con le seguenti opere/strutture esistenti che dovranno essere preservate:

- pontile nord zona colmata;
- diaframmi e le trincee drenanti presenti sull'arenile nord e sud;

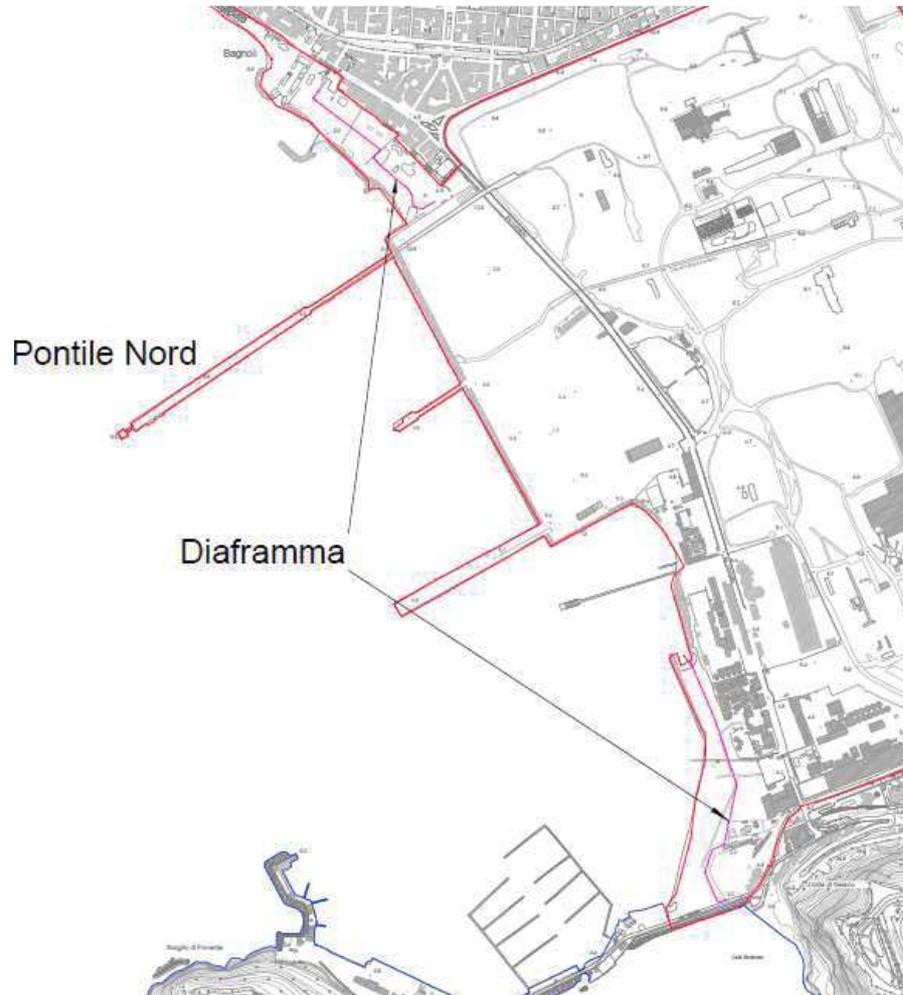


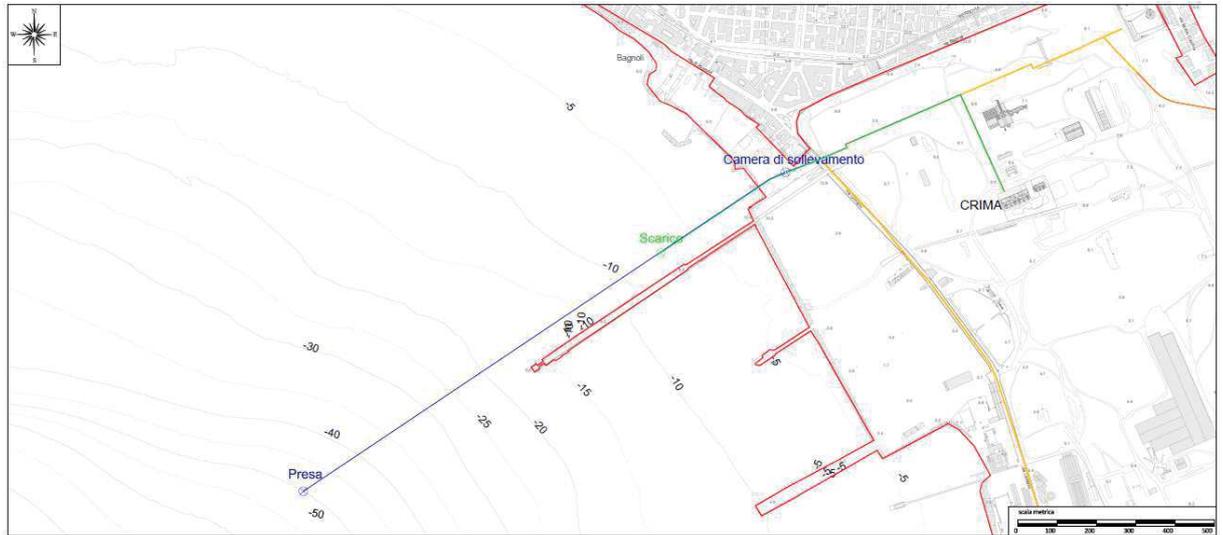
Figura 2.13: Ubicazione pontile nord e diaframma Arenile Nord e Sud

3. gli interventi sono interferenti con le seguenti opere/strutture che saranno realizzate in altri ambiti del progetto di rigenerazione dell'ARIN di Bagnoli Coroglio (infrastrutture, reti idriche, trasportistiche ed energetiche) e che dovranno essere preservate:

- tubazioni previste per l'impianto di alimentazione idrico e scarico CRIMA (immagine seguente)

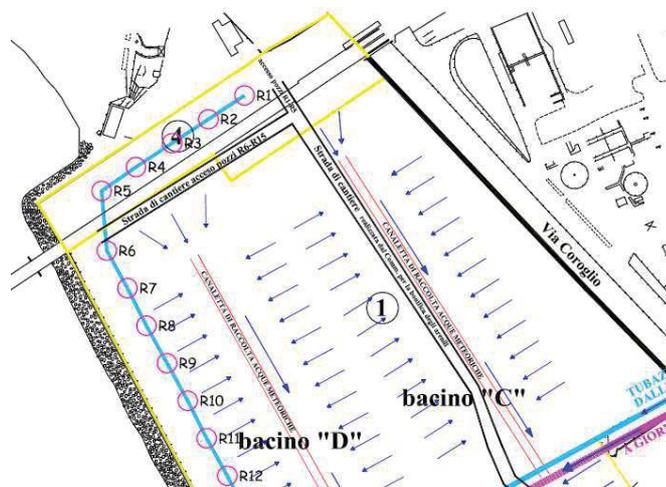
## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



**Figura 2.14: Impianto di alimentazione idrica e scarico CRIMA (fonte: elaborato T.2.06 Progetto di fattibilità tecnico economica infrastrutture e servizi)**

4. gli interventi sono interferenti con i piezometri esistenti in corrispondenza degli Arenili Nord e Sud e con i pozzi di ricarica della MISE<sup>6</sup> della colmata ubicati nella zona a nord del Pontile Nord (si veda l'immagine seguente) ed oggi non più attivi.



**Figura 2.15: Ubicazione pozzi di ricarica della MISE della colmata nella zona nord del Pontile Nord**

\*\*\*\*\*

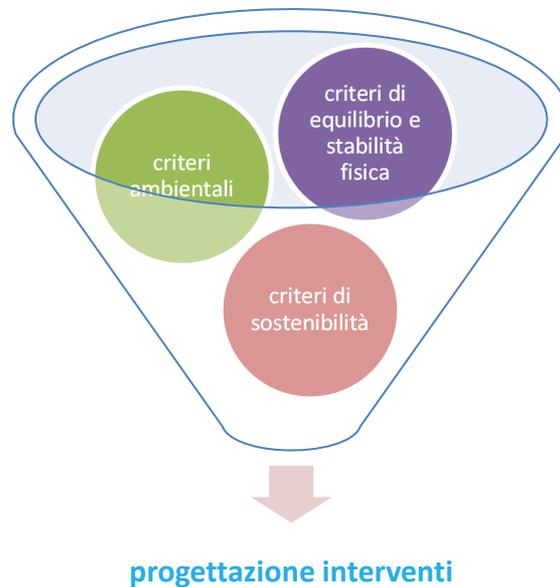
<sup>6</sup> La messa in sicurezza di emergenza dell'area di colmata ha comportato la realizzazione di:

- l'impermeabilizzazione completa dell'area di colmata avente lo scopo di impedire l'eventuale percolazione in falda dei contaminanti presenti nel mezzo non saturo;
- una barriera idraulica di emungimento costituita da una batteria di pozzi con interasse di 50 m, avente lo scopo di intercettare la falda contaminata proveniente dall'entroterra;
- una barriera idraulica di ricarica costituita da una batteria di n° 42 pozzi ubicati lungo i limiti costieri della colmata

### 3 STRATEGIA DI INTERVENTO

La progettazione degli interventi di risanamento degli arenili che dovranno essere oggetto della piena fruibilità come stabilito dal PTFE e PRARU, è stata definita sulla base di tre criteri principali:

1. **Criteri di equilibrio e stabilità fisica:** gli interventi si realizzeranno in corrispondenza delle matrici ambientali delimitate dalla LdR progettuale, che permetterà l'effettiva configurazione stabile e duratura degli arenili emersi e sommersi e dei vincoli/interferenze sia presenti attualmente, sia derivanti dalla definizione della LdR stessa;
2. **Criteri ambientali:** gli interventi (sia in termini di tecnologia di intervento, sia in termini di estensione orizzontale/verticale di intervento) sono stati scelti in maniera tale che lo stato qualitativo delle matrici ambientali nello scenario post-intervento sia compatibile con un livello di rischio sanitario accettabile, valutata con un'AdR diretta post-intervento;
3. **Criteri di sostenibilità:** gli interventi sono stati scelti in funzione di una valutazione costi-benefici delle differenti tecnologie di intervento applicabili, nell'ottica di una minimizzazione dell'uso di risorse naturali e della massimizzazione del recupero dei materiali già presenti in sito.



Di seguito si riporta il percorso metodologico adottato al fine di procedere in maniera efficace e sostenibile alla definizione degli interventi di risanamento per il sito sulla base dei criteri suddetti.

#### 3.1 CRITERI DI EQUILIBRIO E STABILITÀ FISICA

La prima attività condotta per la corretta progettazione degli interventi è stata la definizione di una LdR progettuale che permettesse di ottenere un profilo di costa stabile nel tempo. L'efficacia del risanamento degli arenili emersi e sommersi, infatti, non può prescindere dalla necessità di assicurare la durabilità e permanenza nel tempo degli effetti degli interventi che saranno attuati. Tale durabilità attualmente non è garantita dall'instabilità della linea di costa oggi presente.

La definizione della LdR progettuale ha portato alla identificazione dei seguenti elementi necessari alla progettazione degli interventi di risanamento secondo i criteri di equilibrio e stabilità fisica:

- ✓ la superficie stabile della fascia litoranea;
- ✓ il volume dinamico, ovvero la porzione della fascia litoranea in cui per un certo spessore il materiale è interessato da continua movimentazione;
- ✓ le eventuali strutture di difesa costiera.

L'immagine seguente schematizza la superficie stabile della LdR progettuale e il volume dinamico sopra indicati.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

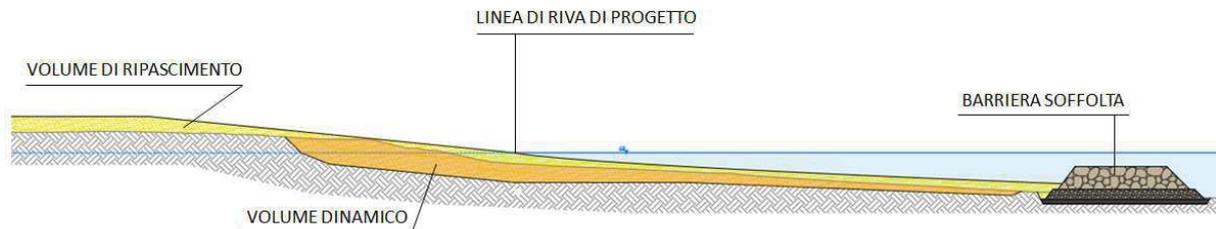


Figura 3.1: Sezione tipologica della LdR progettuale

La sovrapposizione di tali elementi con il profilo attuale della fascia litoranea ha permesso di valutare:

1. le zone di dragaggio;
2. le zone di escavo;
3. le zone ripascimento.

**Il progetto di risanamento considera pertanto le azioni volte allo scavo (escavo e dragaggio dei sedimenti emersi e sommersi) e ripascimento necessari per la stabilità della LdR progettuale e gli opportuni interventi per preservare le strutture di difesa costiera.**

### 3.2 CRITERI AMBIENTALI

Il progetto di risanamento, oltre ad essere vincolato alla necessità di essere duraturo nel tempo e quindi basarsi sulla LdR progettuale stabile, dovrà permettere la piena fruizione delle matrici ambientali. Pertanto, coerentemente con quanto previsto dal PFTE, gli interventi dovranno essere in grado di assicurare un rischio sanitario accettabile per i possibili recettori umani che frequenteranno le aree.

Tale valutazione è stata eseguita applicando un'AdR sanitaria che, partendo dalle basi definite dalle precedenti AdR già condotte nel 2006 e 2016 da ISS, tiene conto delle osservazioni già emerse nell'ambito dei Tavoli Tecnici tenutisi con gli Enti competenti e dell'evoluzione dell'approccio metodologico legato all'interconnessione con gli altri criteri progettuali previsti.

**Il progetto di risanamento è supportato pertanto dalla valutazione del rischio per i possibili fruitori delle diverse zone della fascia litoranea progettuale.**

### 3.3 CRITERI DI SOSTENIBILITÀ

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti, il progetto di risanamento dei sedimenti emersi e sommersi contiene importanti interventi di scavo e ripascimento.

Secondo i criteri di sostenibilità ambientale, nell'ottica di una minimizzazione dell'uso di risorse naturali e della massimizzazione del recupero dei materiali già presenti in sito, nel progetto sono valutate possibili soluzioni tecnologiche che permettano di trattare il materiale di scavo e recuperarlo anziché procedere con lo smaltimento diretto.

Per perseguire tali obiettivi sono stati analizzati i test tecnologici eseguiti in altri comparti ambientali e/o in altri ambiti quali

- ✓ i test di soil washing e desorbimento termico eseguiti nel 2020 dal RTI composto da Ambienthesis SpA, Chelab srl e Ecologica Sud Servizi srl (si veda il par. 2.3.1), in particolare quelli eseguiti su un campione di circa 150 ton di sabbie prelevate sull'Arenile Sud;
- ✓ i test di soil washing eseguiti nel 2023 (si veda il par. 2.3.2) per verifica dell'applicabilità del trattamento ai sedimenti marini presenti sino alla batimetrica -5 m da p.c.

Considerando di applicare un trattamento combinato di soil washing – desorbimento termico (si veda il par. 2.3.3), cautelativamente, in questa fase di progettazione definitiva, si stima di poter recuperare circa il 50% dei sedimenti escavati e dragati dalle aree di intervento, da riutilizzare per le attività di ripascimento necessarie alla creazione della nuova linea di riva.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**Il progetto di risanamento pertanto prevede il trattamento dei sedimenti tramite tecnologia di soil washing e desorbimento termiche al fine di poterne riutilizzare una quota parte per il ripascimento e/o in altre aree dell'ARIN con idonea destinazione d'uso. Inoltre, è stato previsto il salpamento di tutte le scogliere radenti esistenti e la ricollocazione (previo adeguato trattamento di lavaggio ove necessario) dei relativi elementi lapidei in seno alla scogliera sommersa.**

### 3.4 SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE

La progettazione è stata sviluppata secondo le seguenti fasi:

1. Definizione della LdR progettuale e delle caratteristiche dimensionali del Volume dinamico
2. Sovrapposizione della LdR progettuale e del Volume dinamico con la LdR attuale
3. Identificazione e descrizione degli interventi nelle differenti zone di azione: zone di dragaggio, zone di escavo, zone di ripascimento e definizione delle modalità di scavo nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud in funzione di:
  - estensioni delle aree di intervento a terra e a mare;
  - presenza di vincoli/interferenze nelle zone di escavazione;
  - ubicazione delle aree tecniche di cantiere ove stoccare e trattare il materiale escavato.
4. Quantificazione delle volumetrie di scavo e definizione di:
  - piano scavi
  - piano di gestione dei materiali
  - piano di gestione delle interferenze
5. Sviluppo dell'analisi di rischio in modalità diretta per la verifica della possibile fruizione delle aree nello scenario futuro, a valle delle attività di realizzazione della LdR progettuale

## 4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Come anticipato in premessa, considerando la natura "dinamica" dei sedimenti emersi e sommersi è stata necessaria una progettazione integrata che tenesse conto della loro evoluzione nel tempo e permettesse di agire correttamente su tutti i comparti che le caratterizzano, ovvero sul comparto "dinamico" e sul comparto "statico".

A livello generale, quindi, la progettazione dell'intervento è stata definita al fine di ottenere il risanamento complessivo del sito (sia del comparto dinamico sia del comparto statico) ed è supportata dalla procedura di Analisi di Rischio (AdR) che ha permesso la verifica dell'accettabilità del rischio da esposizione di eventuali contaminazioni residue a valle dell'applicazioni degli interventi (si veda elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01**).

Ai fini della corretta progettazione ed esecuzione degli interventi di risanamento è stata necessaria la preliminare progettazione e definizione della nuova Linea di Riva "stabile" (LdR progettuale) e dei sistemi di confinamento della stessa che, insieme, permettono di rendere "permanenti" gli interventi progettati, i cui dettagli sono riportati negli elaborati **2021E014INV-01-D-02-OM-RS-REL-01-00 (Relazione Tecnica - Dimensionamento del Ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione)**, **2021E014INV-01-D-02-RI-RS-REL-01-00 (Relazione Illustrativa - Intervento di Ripascimento e relative opere di stabilizzazione)**, **2021E022INV-01-D-02-MA-DE-DEM-05-00 (Relazione tecnico-descrittiva dragaggi)** e sintetizzati nel par. 1.5.

**Si precisa che il presente documento illustra nel dettaglio le attività di bonifica tramite scavi ed escavi degli arenili nord e sud, attività che sono da intendersi integrate con le opere di dragaggio, le opere rigide di confinamento e le attività di ripascimento che, complessivamente, permetteranno di ottenere il risanamento complessivo dell'ambito di intervento del PFTE denominato "MACROAREA 1 – ARENILI EMERSI NORD E SUD"**

### 4.1 DATI DI BASE PROGETTUALI

Nel presente documento sono state considerate le zone afferenti agli Arenili Nord e Sud nei limiti perimetrali definiti dalla progettazione della nuova spiaggia.

Sono quindi incluse anche le zone oggi oggetto di concessione ad uso temporaneo (oggi zone commerciali/ricreative o adibite a parcheggi), solo parzialmente indagate nelle campagne di caratterizzazione del 2021-2023, in corrispondenza delle quali sarà realizzata la nuova spiaggia in aderenza a quanto previsto dal PRARU.

Rispetto al confine dell'Arenile Nord previsto dal PFTE è stata stralciata l'area di spiaggia posta nella zona più a nord (i cosiddetti Arenile Agnano e Arenile Collettore Bagnoli), isolando l'area di progetto dalle eventuali contaminazioni dovute alla presenza dello scarico di piena dell'emissario di Bagnoli e la scogliera adiacente a via di Pozzuoli, mentre è stata inclusa la porzione di colmata ubicata a nord del Pontile Nord.

Nel presente documento, pertanto, si illustrano i dettagli delle attività di bonifica e risanamento degli Arenili Nord e Sud i cui confini planimetrici sono rappresentati da (si veda la schematizzazione indicativa riportata in Figura 1.2):

- ✓ Microcella Nord:
  - confine NO: limite del lido comunale Bagnoli
  - confine NE: limite degli edifici commerciali e residenziali accessibili da via Coroglio
  - confine SE: Pontile Nord ubicato in area colmata (limite sud della cosiddetta "microcella Nord")
  - confine SO: linea di confine dell'escavo necessario alla creazione della nuova LdR progettuale
- ✓ Zona Arenile Sud:
  - confine N: pennello sud progettato per la stabilità della LdR progettuale (limite sud della cosiddetta "macrocella")
  - confine E: limite degli edifici commerciali e residenziali accessibili da via Coroglio
  - confine S: via Nisida
  - confine O: linea di confine dell'escavo necessario alla creazione della nuova LdR progettuale

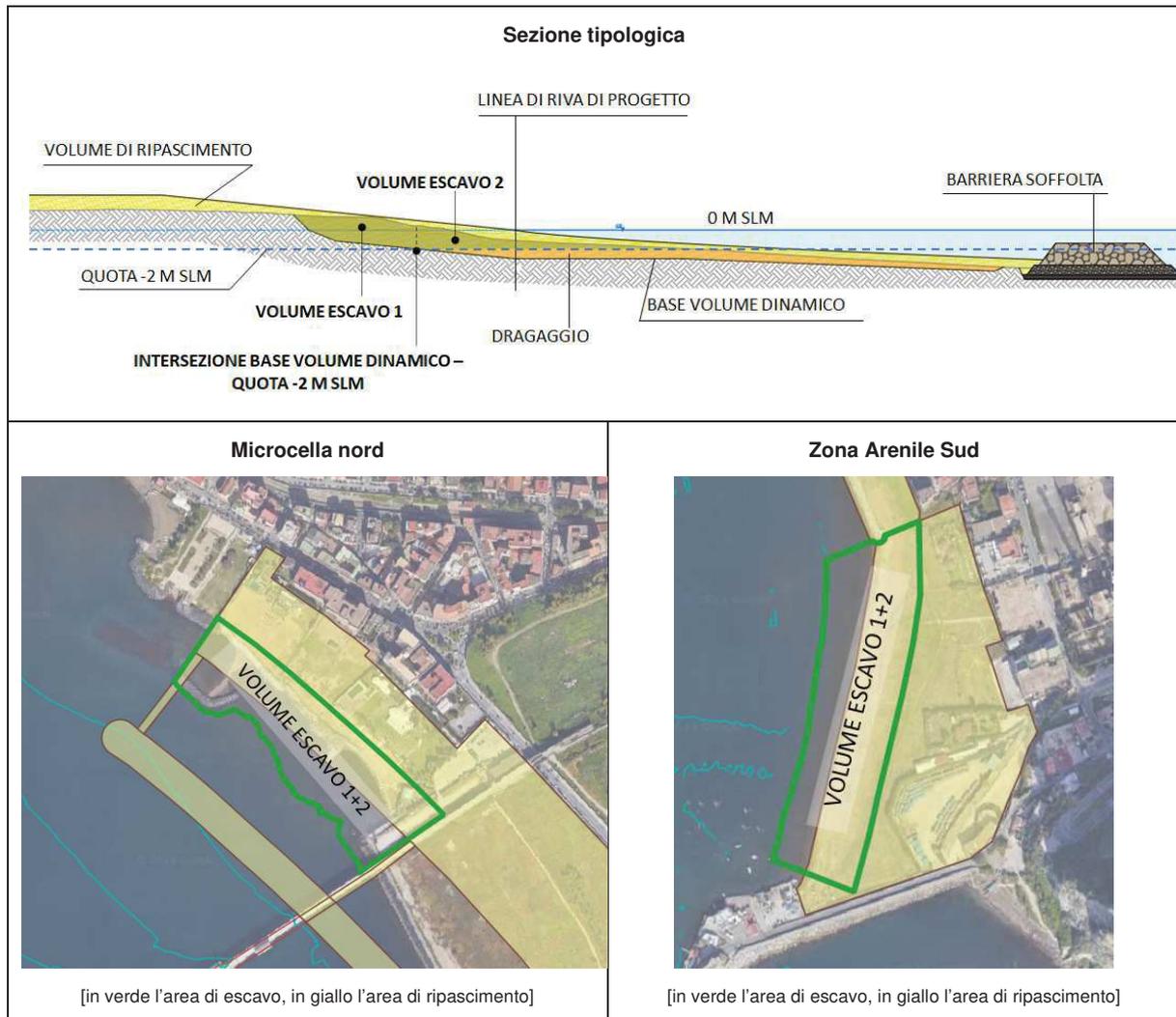
Le volumetrie dei materiali di scavo dalle due aree (Microcella Nord e Zona Arenile Sud) sono state definite nelle elaborazioni condotte nell'ambito della progettazione della nuova LdR e corrispondono ai volumi di escavo sintetizzati nella Tabella 1.1 del par. 1.5, calcolati dal profilo attuale della spiaggia emersa e sommersa sino ad una quota pari alla base del volume dinamico o alla quota -2 m slm, cioè definibili come somma di:

**RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI**

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- 1) [VOLUME 1] volumi di sedimenti calcolati considerando la superficie del piano campagna attuale e la superficie di base del volume dinamico nella zona retrostante il punto di intersezione tra la base del volume dinamico e la quota - 2 m slm;
- 2) [VOLUME 2] volumi di sedimenti calcolati considerando la superficie del piano campagna attuale o la superficie batimetrica attuale e la quota di -2m slm nella zona antistante il punto di intersezione tra la base del volume dinamico e la quota - 2 m slm.

Le immagini seguenti mostrano l'ubicazione dei due volumi sopra indicati nella sezione tipologica e la superficie totale di escavo in pianta nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud.



**Figura 4.1: Rappresentazione del volume di escavo in sezione e in pianta**

Ad essi vanno aggiunti, per la Microcella Nord, i volumi afferenti alla rimozione della colmata nella porzione a nord del Pontile Nord.

La tabella seguente sintetizza le volumetrie complessive di scavo che corrispondono, per la Zona Arenile Sud, ai volumi di escavo riportati nella Tabella 1.1 del par. 1.5 mentre, per la Microcella Nord, alla somma di:

- ✓ volumetria di sedimenti naturali da escavare nella Microcella Nord per la realizzazione della LdR progettuale (comprendente i sedimenti dell'Arenile Nord e i sedimenti sottostanti la colmata appartenenti al volume dinamico);

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ volumetria di riporti da scavare nell'ambito della rimozione della colmata nella zona a nord del Pontile Nord.

**Tabella 4.1: Volumi di scavo**

Tipologie di volumi	Volume di scavo (m <sup>3</sup> in banco)	
	Microcella Nord	Zona Arenile Sud
volumetria di sedimenti naturali da escavare per la realizzazione della LdR progettuale [VOLUME 1 + 2]	59.700	140.000
volumetria di riporti da scavare nell'ambito della rimozione della colmata (zona a nord del Pontile Nord)	19.600	-
<b>Totale (m<sup>3</sup>)</b>	<b>79.300</b>	<b>140.000</b>

## 4.2 SEQUENZA DI INTERVENTO

L'intervento di risanamento degli Arenili Nord e Sud sarà eseguito secondo una sequenza di attività descritte nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

A livello generale le attività di realizzazione della LdR progettuale e, quindi, le attività di risanamento, procederanno in parallelo sia nella Microcella Nord sia nella Zona Arenile Sud e anticiperanno le attività di risanamento della Macrocella, sfruttando le aree della colmata come zona di deposito e trattamento dei sedimenti escavati.

Prima di avviare le attività di risanamento vere e proprie sarà necessario

1. **Fase 1:** procedere con la preparazione delle aree tecniche di cantiere che saranno realizzate in due zone: un deposito preliminare sarà installato in corrispondenza della colmata e un altro deposito sarà installato all'interno dell'ex area industriale in maniera tale da ripartire le volumetrie suddette in diversi flussi e minimizzare le interferenze con via Coroglio;
2. **Fase 2:** eseguire alcune opere propedeutiche quali:
  - a. pulizia delle aree di lavoro;
  - b. bonifica bellica sia delle aree a terra, sia delle aree a mare;
  - c. rilievi topografici e batimetrici
  - d. caratterizzazione preliminare delle aree non oggetto di escavo;
  - e. messa in sicurezza del Pontile Nord.
3. **Fase 3:** verificare ed eventualmente aggiornare la progettazione degli interventi sulla base dei rilievi topografici/batimetrici e dei risultati delle analisi di caratterizzazione svolte.

A valle delle attività sopra elencate potranno essere eseguite le opere di risanamento (**Fase 4**) che comprenderanno:

- a) rilievi e tracciamenti iniziali per pianificare la movimentazione dei materiali e permetterne la tracciabilità;
- b) l'escavo delle volumetrie di materiali riportate nella Tabella 4.1 precedente. Saranno adottate tecniche di scavo differenti in funzione dell'ubicazione delle diverse aree di escavo:
  - ✓ la zona di escavo a terra sarà risanata tramite escavatori cingolati che opereranno direttamente dalla spiaggia. La stessa metodologia sarà applicata per lo scavo dei riporti di colmata presenti nella zona a nord del Pontile Nord;
  - ✓ la zona di escavo a mare sarà risanata tramite le tecniche che si utilizzeranno per il dragaggio dei sedimenti marini (draga dotata benna mordente bivalve ermetica montata su motopontone).
- c) la movimentazione e il trattamento dei materiali secondo differenti flussi in funzione della loro posizione iniziale (a terra o a mare) e della loro qualità (materiali conformi o non conformi ai limiti definiti dal D.Lgs.152/06 e dai Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli- Coroglio);

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

d) la gestione delle acque di dewatering dei sedimenti escavati a mare.

Più in dettaglio, la gestione del materiale prevede che il materiale proveniente dall'escavo della zona a terra della Microcella Nord e dallo scavo della porzione di colmata a nord del Pontile Nord sia inviato al deposito preliminare predisposto nell'ex stabilimento. Il materiale proveniente dagli escavi a mare e dall'escavo a terra della Zona Arenile Sud saranno invece inviati al deposito predisposto in corrispondenza della colmata.

Il materiale abbancato nei due depositi preliminari sarà sottoposto ad analisi chimiche di laboratorio per verificare la possibilità di riutilizzo all'interno dell'ARIN nelle aree con adeguate destinazioni d'uso. I materiali non conformi saranno avviati a trattamento (impianto soil washing/desorbimento termico installato nel cantiere della colmata e impianto di vagliatura installato nel cantiere dell'ex stabilimento). A valle del trattamento, saranno ripetute le analisi di laboratorio sui volumi trattati e, in funzione degli esiti analitici, i flussi potranno essere indirizzati verso le aree di riutilizzo nella zona ex industriale (per i volumi conformi) e verso gli impianti di smaltimento/recupero off-site (per i volumi non conformi, previa caratterizzazione ai fini dell'identificazione del codice EER e della verifica dei requisiti di ammissibilità in discarica/recupero).

Le acque di dewatering dei materiali di escavo delle aree a mare saranno inviate ad un impianto trattamento acque che sarà installato in corrispondenza dell'area di cantiere realizzata sulla colmata.

Di seguito si sintetizza lo schema di flusso di gestione dei materiali escavati.

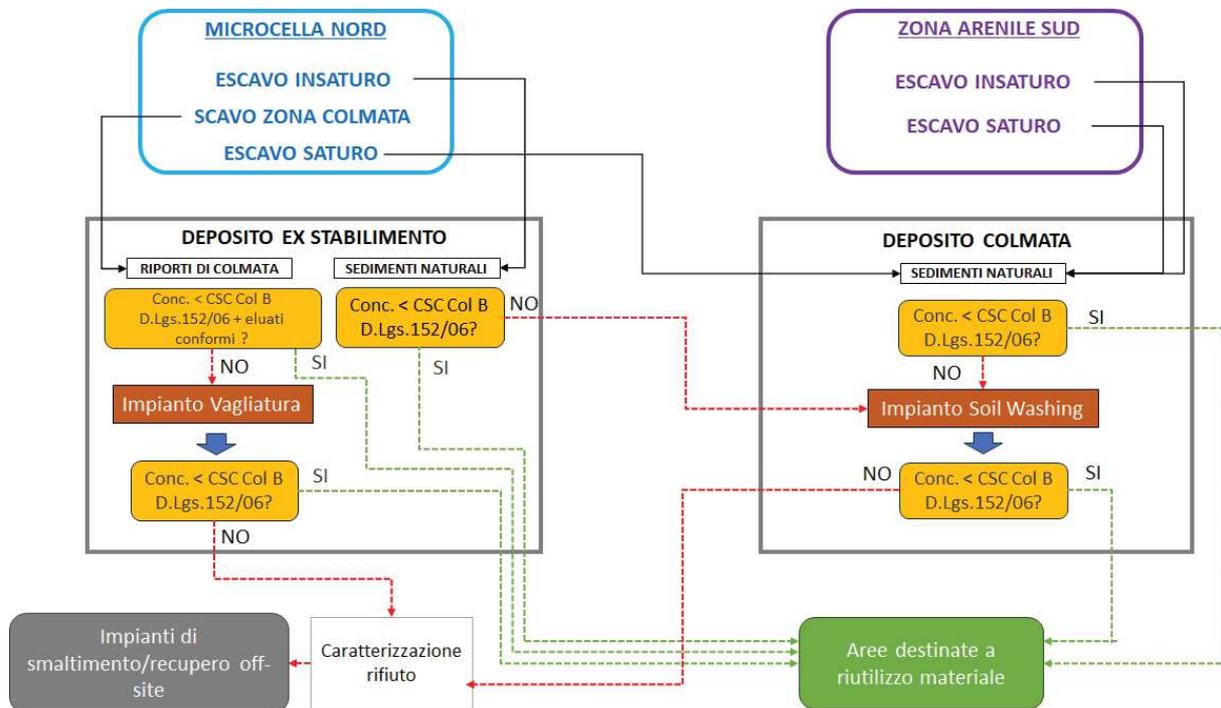


Figura 4.2: Schema di flusso di gestione dei materiali escavati

Le attività di escavo saranno seguite dalle attività di dragaggio (**Fase 5**) che, sinteticamente, comprenderanno un dragaggio per la formazione del piano di posa degli scanni di imbasamento dei pennelli e della barriera soffolta nella Microcella Nord e un dragaggio a tergo della futura barriera soffolta per sostituzione con materiali conformi del volume dinamico e/o sostituzione arenili emersi esistenti (nella zona arenile sud).

A valle delle operazioni di escavo e dragaggio saranno realizzate le opere rigide (**Fase 6**) di protezione della LdR comprendenti n. 3 pennelli trasversali (pennello chiusura nord, pennello-setto Pontile Nord, pennello chiusura sud) e n. 1 scogliera sommersa parallela a riva nella zona della Microcella Nord.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Terminata l'installazione delle opere rigide potrà essere realizzato il ripascimento (**Fase 7**) con materiale caratterizzato da sabbie conformi alle CSC di Tab.1 Col.A del D.Lgs.152/06 e/o ai Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio e con  $D_{50} = 0,40$  mm necessario per la stabilità delle aree attive, esposte al moto ondoso.

Si precisa che nel presente documento è stata riportata una sintesi delle attività previste nelle Fasi 5, 6 e 7, oggetto di elaborati progettuali specifici a cui si rimanda per la visione completa di dettaglio.

### 4.2.1 Fase 1: Attività di cantierizzazione

L'area di cantiere e il deposito preliminare dei materiali di escavo saranno realizzati all'interno dell'ARIN, considerando quest'ultimo come un unico "sito" di progetto e comprenderanno sia un deposito e un'area di trattamento da realizzarsi in corrispondenza dell'ex Stabilimento Italsider di Bagnoli, sia un deposito e un'area di trattamento da realizzarsi in corrispondenza della colmata, in maniera tale da ripartire le volumetrie in diversi flussi e minimizzare le interferenze con via Coroglio.

Nello specifico:

- ✓ in corrispondenza della colmata (il cui risanamento sarà eseguito a valle delle operazioni da condurre sugli arenili) saranno ospitate le baie di stoccaggio dei volumi provenienti dalle zone di escavo ubicate a mare, scavati tramite le medesime tecniche eseguite per il dragaggio dei sedimenti marini. Tali volumi saranno infatti trasportati tramite betta di appoggio al motopontone sino al pontile sud, ove sarà effettuato il carico del materiale su autocarro che si occuperà del trasporto e scarico finale nelle vasche di dewatering opportunamente realizzate (replicando quanto eseguito nell'ambito dei test di dimostrazione tecnologica condotti in sito nel 2022-2023).

Inoltre, il deposito temporaneo in area di colmata riceverà anche i volumi provenienti dalle zone di escavo ubicate a terra nella Zona Arenile Sud (tramite autocarri di trasporto che percorreranno via Coroglio per circa 700 m, dall'uscita del cantiere all'ingresso della colmata). Tale scelta deriva dalla possibilità di minimizzare le successive movimentazioni dei materiali in funzione del loro stato qualitativo. Infatti, i volumi non conformi ai limiti di riferimento saranno trattati tramite impianto soil washing/desorbimento termico, che sarà installato anch'esso nel cantiere ubicato in corrispondenza della colmata.

- ✓ in corrispondenza dell'ex Stabilimento Italsider di Bagnoli saranno realizzate le baie di stoccaggio che ospiteranno i volumi provenienti dalle zone di escavo ubicate a terra nella Microcella Nord. Tali volumi saranno infatti trasportati tramite autocarri dall'area di cantiere al deposito temporaneo creando un opportuno varco nella recinzione dell'ex area industriale di fronte all'ingresso dell'Arenile Nord. Creando un incrocio semaforizzato, gli autocarri potranno attraversare via Coroglio occupando la carreggiata solo per il tempo strettamente necessario al transito da un varco all'altro, minimizzando l'interferenza.

Pertanto, in sintesi, l'area di cantiere che sarà realizzata sulla colmata (di seguito "deposito colmata") e che riceverà i volumi di escavo a mare della Microcella Nord e dell'escavo (a mare e a terra) della Zona Arenile Sud sarà costituita da:

- un deposito di stoccaggio di 45.600 m<sup>2</sup>, caratterizzato da n.13 baie da 2.000 m<sup>3</sup> l'una e n.2 baie da 1.800 m<sup>3</sup> l'una, consentendo quindi la ricezione di una volumetria complessiva di materiali pari a 29.600 m<sup>3</sup>;
- l'area tecnica di trattamento dei sedimenti non conformi tramite impianto soil washing/desorbimento termico.

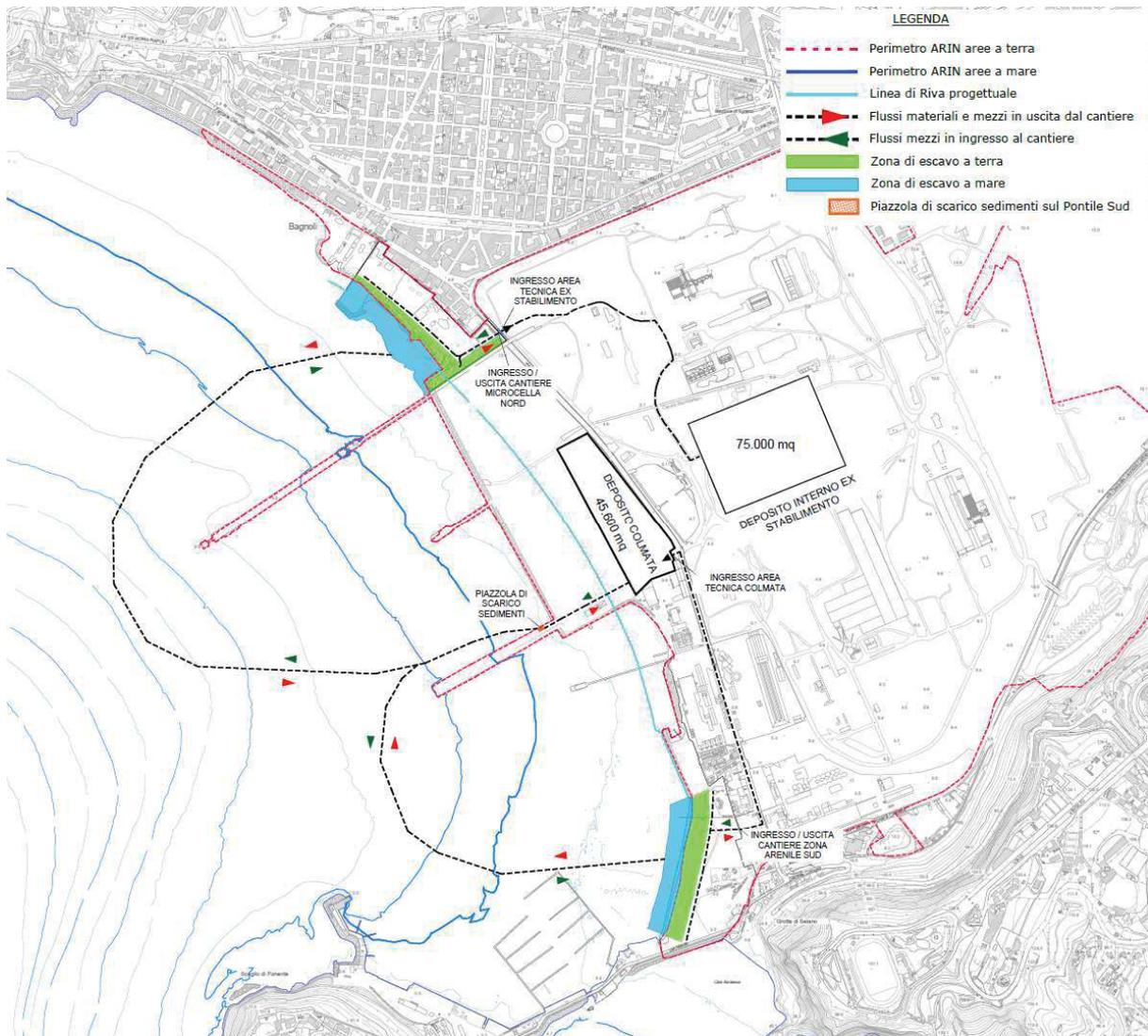
L'area di cantiere che sarà realizzata nell'ex Stabilimento Italsider di Bagnoli (di seguito "deposito ex stabilimento") che riceverà i volumi di escavo a terra della Microcella Nord, compresi i riporti della porzione di colmata a nord del Pontile Nord, sarà costituita da:

- un'area di stoccaggio di circa 75.000 m<sup>2</sup>, caratterizzata da:
  - n.20 baie da 5.000 m<sup>3</sup> l'una (per un volume complessivo di stoccaggio pari a 100.000 m<sup>3</sup>) destinate allo stoccaggio dei materiali scavati;
  - n.20 baie da 3.500 m<sup>3</sup> l'una (per un volume complessivo di stoccaggio pari a 70.000 m<sup>3</sup>) destinate allo stoccaggio dei materiali post trattamento e dei rifiuti in attesa del conferimento off-site;
- l'area tecnica di trattamento tramite vagliatura dei riporti non conformi provenienti dalla rimozione della porzione di colmata a nord del Pontile Nord (inclusa nella Microcella Nord);

L'immagine seguente mostra lo schema dei percorsi che seguiranno i diversi materiali escavati.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



**Figura 4.3: Rappresentazione schematica dei percorsi dei materiali escavati**

Al fine di proteggere i materiali dall'azione di dilavamento esercitata dalle acque meteoriche e al fine di evitare eventuali risospensione di polveri ad opera dei venti, saranno previsti opportuni sistemi di copertura di tutte le aree di lavoro.

I depositi temporanei saranno anche dotati di pesa e impianto di lavaggio ruote, oltre ai baraccamenti necessari alle attività delle maestranze e opportune aree parcheggio.

La cantierizzazione comprenderà anche la realizzazione delle seguenti opere:

- ✓ il collegamento delle aree di bonifica degli arenili con le aree di deposito mediante l'allestimento di almeno n. 1 varco in corrispondenza della zona di accesso dell'arenile nord, tale da ottimizzare i flussi di scavo anche in caso di contemporaneità delle attività di bonifica delle due aree;
- ✓ la predisposizione della viabilità suddivisa tra:
  - viabilità dei mezzi d'opera tra le aree di risanamento e le aree di deposito;

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- viabilità all'interno dell'ex stabilimento per il trasporto dei materiali dall'area di deposito alla viabilità esterna (per il collegamento successivo gli impianti di destino finale).
- ✓ la delimitazione delle aree di lavoro con apposita recinzione per la separazione delle differenti aree di cantiere;
- ✓ l'allestimento di presidi ambientali e relativi allacciamenti (fog cannon, irrigatori, cisterne di raccolta, ecc.).

### 4.2.2 Fase 2: Opere propedeutiche

Prima di iniziare le attività di scavo dei sedimenti nelle aree di progetto sarà necessario condurre alcune operazioni preliminari che permetteranno anche la verifica ed eventuale aggiornamento dei dati progettuali esposti al par. 4.1. Nello specifico, sarà necessario eseguire:

- ✓ la pulizia delle aree a terra e dei fondali delle zone a mare prospicienti la Microcella Nord e l'Arenile Sud le cui superfici ricadono all'interno delle zone di scavo. Nella zona a mare la pulizia delle aree sarà affiancata dalle attività di archeologia subacquea per la verifica della presenza di possibili strutture archeologiche sommerse;
- ✓ il rilievo topografico e batimetrico delle superfici ricadenti all'interno delle zone di scavo. Il rilievo dovrà essere ripetuto anche al termine delle attività di scavo al fine di verificare l'effettiva rimozione dei sedimenti secondo i dati progettuali;
- ✓ la bonifica da ordigni esplosivi e residuati bellici sia delle aree a terra, sia delle aree a mare;
- ✓ la caratterizzazione dei sedimenti emersi nelle aree non oggetto di escavo
- ✓ la messa in sicurezza del Pontile Nord.

Di seguito si descrivono le attività sopra elencate.

#### 4.2.2.1 Pulizia delle aree a terra ed eventuale decespugliamento

Prima di iniziare le attività di scavo sarà eseguita la preliminare pulizia delle aree di lavoro con la rimozione e la gestione a norma di legge degli eventuali rifiuti e materiali interferenti con le superfici delle aree di lavoro.

Nel caso sia necessario, sarà eseguito un decespugliamento con adeguato mezzo meccanico, cingolato o gommato, dotato di braccio adeguato alla lavorazione e opportunamente munito di apparato falciante conforme alle disposizioni di legge vigenti. Eventualmente l'attività potrà essere completata a mano.

Durante le attività di decespugliamento si provvederà ad una bagnatura delle piste di cantiere e delle aree di lavoro al fine di evitare l'innalzamento di polveri.

La sterpaglia rimossa dovrà essere allontanata dall'area di lavoro, caratterizzata ai fini del successivo smaltimento e assegnazione codice E.E.R. e smaltita secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. (codice E.E.R. presunto 20 02 01 – rifiuti biodegradabili o codice E.E.R. 20 01 38 – Legno diverso da quello di cui alla voce 20 01 37 se ad alta matrice legnosa. Se contenenti sostanze pericolose codice E.E.R. 20 01 37 Legno contenente sostanze pericolose).

Nel caso in cui durante le operazioni di decespugliamento venissero rinvenuti rifiuti abbandonati nell'area si procederà con:

- la loro caratterizzazione e classificazione ai fini dell'assegnazione di idoneo codice E.E.R.;
- nel caso risultassero contaminati da amianto, dovrà essere adottata una procedura di lavaggio ed incapsulamento, tramite utilizzo di una apposita vasca amovibile, con filtrazione delle acque di risulta. I rifiuti così trattati potranno essere classificati ed avviati allo smaltimento.

Le immagini seguenti mostrano le aree in cui si prevede possano essere oggetto di attività di decespugliamento; le superfici coinvolte sono pari a:

- ✓ Microcella Nord: circa 10.000 m<sup>2</sup>
- ✓ Zona Arenile Sud: circa 9.000 m<sup>2</sup>



Figura 4.4: Aree interessate possibili attività di decespugliamento

#### 4.2.2.2 Bonifica da ordigni esplosivi e residuati bellici delle aree a terra

Preliminarmente a qualsiasi attività di scavo e di investigazione del sottosuolo, è prevista la Bonifica Sistemica Terrestre (BST) che, come indicato dalla "Direttiva Tecnica GEN BST 001 Ed. 2020" (rif. doc.[R11]) consiste nell'insieme delle attività di ricerca, individuazione e scoprimento di residuati bellici inesplosi posti sulla superficie del terreno o interrati, effettuate in maniera sistematica al fine di garantire che ogni parte del volume di terreno sul quale saranno condotte successivamente delle attività antropiche sia scevro da ordigni che costituiscano un potenziale rischio per l'incolumità di persone e beni sia mobili che immobili.

Gli apparati di ricerca utilizzati dovranno essere in grado di rilevare efficacemente, mediante chiari segnali acustici e strumentali, la presenza nel terreno di residuati bellici inesplosi, quali Rilevatori di metalli ad induzione elettromagnetica (Active Metal Detector), Magnetometri (Passive Metal Detector) e Georadar (GPR - Ground Penetrating Radar).

La BST si articola in bonifica superficiale e bonifica profonda. Nel sito in esame tali attività dovranno essere realizzate attraverso modalità di ricerca sia superficiale che profonda per permettere l'escavo secondo gli spessori progettuali.

La bonifica superficiale consiste nelle attività di ricerca, localizzazione e scoprimento di ordigni bellici nonché di tutte le masse metalliche presenti superficialmente sul terreno e all'interno di uno strato di profondità massima di cm. 100. Dovrà essere eseguita secondo la seguente procedura:

- ✓ suddivisione dell'area da bonificare in "campi" numerati delle dimensioni di m. 50 x 50, a sua volta suddivisi in "strisce" della larghezza massima di m. 0,80, identificate da lettere.

Ciascuna area così delimitata, dovrà essere rilevata sui quattro vertici con sistema GPS; tale strumentazione dovrà presentare caratteristiche tecniche in grado di fornire una precisione di posizionamento planimetrico pari  $\pm$  a 3 cm. Il rilievo così realizzato dovrà essere elaborato tramite planimetrie in formato cartaceo e informatizzato (dwg e shapefile) e tabelle cartacee ed informatizzate (formato excel);

- ✓ l'attività di ricerca sarà condotta procedendo per "strisce" successive, esplorando tutta la superficie interessata mediante l'apparato di ricerca passato lentamente al di sopra di essa, ad una distanza massima dal suolo non superiore a 5 centimetri;

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ nel caso di rilevazione della presenza di una interferenza magnetica in un determinato punto, in corrispondenza di esso si dovrà procedere con lo scavo di avvicinamento, che dovrà essere eseguito a mano a distanza inferiore di 50 centimetri dalla sorgente dell'anomalia magnetica, in maniera da portare allo scoperto l'oggetto metallico che origina la stessa.

La bonifica profonda ha lo scopo di ricercare, individuare e localizzare ordigni esplosivi residuati bellici presenti all'interno di un determinato volume di terreno che dovrà essere soggetto a scavi oppure ad attività invasive come il movimento di mezzi d'opera, ad una certa profondità dal piano di campagna, normalmente superiore a cm. 100. Dovrà essere eseguita secondo la seguente procedura:

- ✓ suddivisione dell'area da bonificare in "campi" numerati della dimensione di m. 50 x 50 (la stessa adottata per la bonifica superficiale), a loro volta suddivisi in quadrati aventi il lato di m. 2,80 (o dimensione inferiore in caso di diffuse anomalie magnetiche con conseguente riduzione anche della profondità di indagine);
- ✓ perforazione al centro di ciascun quadrato (determinato dall'incrocio delle diagonali), a mezzo di trivella non a percussione, di un foro di diametro maggiore rispetto a quello della sonda dell'apparato di ricerca e comunque, per motivi di sicurezza, non superiore a cm. 20. Tale foro dovrà avere inizialmente una profondità di cm. 100 (o quota inferiore come detto in precedenza) dal piano campagna, corrispondente alla quota garantita con la bonifica superficiale, preliminarmente eseguita;
- ✓ inserimento della sonda dell'apparato di ricerca nel foro fino a raggiungere il fondo di questo; l'apparato, predisposto ad una maggiore sensibilità radiale, sarà capace di garantire la rilevazione di masse ferromagnetiche interrate entro un raggio di m. 2 (o distanza inferiore in caso di diffuse interferenze ferromagnetiche);
- ✓ effettuazione di una seconda perforazione fino a profondità di cm. 300 (o quota inferiore in caso di diffuse interferenze ferromagnetiche con conseguente riduzione anche della profondità di indagine), qualora l'apparato non abbia segnalato interferenze;
- ✓ prosecuzione con perforazioni progressive di cm. 200 per volta (o quota inferiore in caso di diffuse interferenze ferromagnetiche con conseguente riduzione anche della profondità di indagine), indagando il foro con la sonda dell'apparato rilevatore come in precedenza descritto, fino al raggiungimento della quota prevista. Qualora si riscontri un substrato roccioso prima del raggiungimento della profondità prevista, ci si attesterà a tale quota riscontrata.
- ✓ segnalazione dei fori che hanno generato segnali di intensità tale da poter essere riconducibili a possibili ordigni bellici, mediante picchetto in legno di altezza m. 1 riportate in sommità un triangolo capovolto di colore rosso. Tali fori dovranno essere marcati anche sulla pianta dell'area.
- ✓ escavazione mediante mezzo meccanico, nel rispetto delle specifiche norme di legge sulla sicurezza, per la messa in luce della massa che genera l'anomalia ferromagnetica, da eseguire iniziando dalla superficie in posizione laterale rispetto al segnale riscontrato avvicinandosi allo stesso fino ad una distanza di sicurezza valutata dal rastrellatore con l'ausilio dello strumento, successivo scavo a mano per l'avvicinamento e lo scoprimento della massa che genera l'anomalia ferromagnetica;

L'impresa specializzata dovrà garantire, nell'attestato di bonifica bellica, un ulteriore metro oltre la profondità raggiunta con i fori trivellati.

La bonifica profonda potrà essere condotta anche con le seguenti metodiche:

- ✓ mediante penetrometri con sonda magnetometrica integrata: tale tecnica risulta particolarmente idonea per l'impiego nelle adiacenze di strutture inamovibili contenenti intelaiature metalliche che possano dare origine ad interferenze ferromagnetiche a priori non differenziabili da quelle prodotte da un eventuale ordigno bellico interrato;
- ✓ mediante scavo meccanico a strati: applicata in terreni caratterizzati dalla presenza diffusa di anomalie magnetiche che rendono scarsamente efficace la bonifica superficiale classica nonché il metodo delle trivellazioni;
- ✓ mediante scavo manuale a strati: adeguata allo scoprimento di masse metalliche interrate in luoghi ove, per problemi operativi (esempio: elevata probabilità di presenza di un ordigno bellico in luogo urbanizzato) ovvero mancanza di sufficiente spazio, non sia opportuno/possibile l'uso di mezzi meccanici.

Poiché il materiale attraversato durante la BST potrà essere saturo, come previsto dalla "Direttiva Tecnica GEN BST 001 Ed. 2020" (rif. doc.[R11]) in presenza di acqua non ricadente nella tipologia della bonifica sistematica

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

subacquea descritta nel paragrafo 4.2.2.8, gli apparati di ricerca utilizzati dovranno essere idonei ad operare all'interno dell'acqua fino alla profondità prevista nelle perforazioni.

Al termine delle attività dovrà essere redatta la planimetria dell'area oggetto della ricerca, georeferenziata, in formato cartaceo e digitale (.dwg e shapefile), nella quale siano riportate in modo univoco i percorsi effettivamente investigati e le aree oggetto di indagine superficiale e profonda.

L'iter autorizzativo che dovrà essere svolto prevede quanto di seguito descritto.

Tutte le attività di bonifica sistematica terrestre dovranno essere eseguite mediante imprese specializzate (ditte B.C.M) iscritte all'Albo istituito con D.M. 11 maggio 2015, n. 82 e sono soggette all'emissione del Parere Vincolante dell'Autorità Militare competente per territorio. Tale Parere Vincolante viene emesso, su delega di Ministro della Difesa alla Direzione dei Lavori e del Demanio (GENIODIFE), dagli Organi Esecutivi Periferici (OEP) territorialmente competenti (nel caso specifico il 10° Reparto Infrastrutture di Napoli).

Ai fini dell'ottenimento del Parere Vincolante allo svolgimento della BST, dovrà essere presentato all'OEP una specifica istanza con annesso il Documento Unico di Bonifica Bellica Sistematica Terrestre (DUB), redatto utilizzando le modalità tecnico-operative tratte dall'elenco in annesso IV della "Direttiva Tecnica GEN BST 001 Ed. 2020" sottoscritto dal Dirigente Tecnico BCM dell'impresa specializzata incaricata del servizio, in possesso di brevetto di specializzazione in corso di validità, e dal Soggetto Interessato o suo delegato. L'OEP, dopo aver proceduto a verificare la regolarità del DUB, emetterà, entro il termine di 30 giorni dalla data di acquisizione al protocollo, il proprio Parere Vincolante.

Il soggetto interessato, una volta ricevuto il parere vincolante positivo o positivo con riserve da parte dell'Autorità Militare potrà dare mandato all'impresa specializzata di avviare le attività di BST.

L'impresa potrà iniziare tali attività solo dopo aver notificato agli enti/soggetti indicati in appendice I dell'annesso III della "Direttiva Tecnica GEN BST 001 Ed. 2020", la data di inizio nonché l'elenco dettagliato del personale (comprensivo del numero di brevetto BCM), dei mezzi, delle attrezzature e degli apparati di ricerca (compresi i numeri di targa e matricola) che saranno impiegati nello svolgimento dello specifico servizio BST.

Nell'esecuzione del servizio BST, l'impresa dovrà attenersi scrupolosamente al Parere Vincolante emanato dall'OEP, ivi comprese le eventuali variazioni/implementazioni ricevute in caso di Parere Vincolante Positivo con riserve. Ogni variante al DUB, in termini di aree da sottoporre a bonifica o modalità tecnico-operative dovrà essere preventivamente approvata dall'OEP.

Una volta ultimate le operazioni di BST, entro e non oltre 20 giorni, l'impresa specializzata dovrà inviare all'OEP "l'Attestato di Bonifica Bellica" con la quale dichiarerà di aver eseguito le prestazioni in conformità al parere vincolante positivo rilasciato dall'OEP, ivi comprese le eventuali variazioni/implementazioni ricevute in caso di Parere Vincolante positivo con riserve, assumendosi la responsabilità di eventuali danni alle persone ed alle cose, comunque derivanti da imperfetta esecuzione delle attività, prima, durante e dopo le operazioni di verifica effettuate dal Ministero della Difesa.

L'OEP, nei termini di 30 giorni dalla data di ricezione dell'Attestato di Bonifica Bellica, effettuati i dovuti controlli, provvederà a restituire all'impresa specializzata l'Attestato, debitamente vistato e corredato della validazione dell'Amministrazione Difesa (A.D.) sul corretto svolgimento del servizio di BST e permetterà la liberalizzazione dell'area sotto il profilo bellico in base all'esito delle verifiche di carattere documentale e/o controlli in situ eseguiti.

L'Attestato di Bonifica Bellica, debitamente vistato dall'A.D. e la relativa validazione del servizio BST, sono le uniche certificazioni che, insieme, attestano la conclusione delle attività di BST e la conformità o meno dell'esecuzione del servizio di BST al parere vincolante positivo emanato dall'OEP.

In caso di individuazione e scoprimento di presunto ordigno l'impresa specializzata dovrà:

- ✓ sospendere immediatamente le attività di ricerca;
- ✓ effettuare tempestiva comunicazione all'OEP ed agli Organi di Pubblica Sicurezza locali per i successivi adempimenti previsti dalle vigenti disposizioni in materia di Bonifica Bellica Occasionale fornendo, qualora le condizioni di sicurezza lo permettano, tutte le possibili indicazioni, ivi comprese eventuali immagini anche in formato digitale;
- ✓ porre in atto, in condizioni di sicurezza, idonea segnaletica di pericolo intorno all'ordigno bellico nonché tutti gli accorgimenti ritenuti necessari, da valutare di volta in volta in funzione dei luoghi e della tipologia dell'ordigno, per evitare che estranei possano avvicinarsi all'ordigno ed allo scavo effettuato.

Le attività di BST potranno essere riprese solo dopo l'intervento di personale specializzato dell'A.D. preposto alla successiva neutralizzazione dell'ordigno.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 4.2.2.3 Rilievo topografico dei sedimenti emersi

Prima dell'inizio dell'attività di scavo dei sedimenti dovrà essere eseguito il rilievo topografico dell'area di progetto che, insieme al rilievo che sarà eseguito al termine delle attività, permetterà la verifica dell'effettiva volumetria del sedimento rimosso.

Il rilievo topografico dei sedimenti emersi dovrà essere realizzato mediante transetti di misura, ciascuno pressoché ortogonale alla LdR progettuale, distribuiti opportunamente lungo la costa da indagare. La distanza planimetrica tra un transetto perpendicolare alla LdR e l'altro dovrà avere interasse non superiore a 20 m; inoltre, dovranno essere eseguiti anche transetti con andamento subparallelo alla LdR, in numero non inferiore a 3.

Lato terra, i transetti dovranno essere estesi fino al piede delle strutture antropiche di delimitazione del litorale (edifici, muri di confine, recinzioni), lato mare invece dovranno raggiungere almeno la linea di costa.

Lungo ogni singolo transetto i punti di rilievo dovranno avere una distanza non superiore a 2 m.

Il rilievo topografico della spiaggia emersa dovrà essere eseguito, con mezzi, tecnologie e metodologie idonee a garantire una precisione pari a:  $\pm 3$  cm planimetricamente  $\pm 5$  cm altimetricamente

Oltre al rilievo dei sedimenti emersi sarà eseguito anche il rilievo della linea di riva. Tale rilievo, da eseguirsi con GPS ad alta precisione, dovrà essere effettuato con mare calmo in un arco di tempo complessivamente non superiore a tre giorni, al fine di evitare continue modifiche della stessa, determinando almeno un punto ogni 2 m o meno qualora la morfologia della spiaggia lo richieda.

Nel caso non venga utilizzato uno strumento che consente di percorrere la stessa direttrice sulla quota zero in tempo reale, l'operatore dovrà battere sempre almeno tre punti sopra e sotto la linea di riva distanti tra loro al massimo 30 cm che consentiranno di ottenere per interpolazione la posizione della linea di riva relativa allo zero assoluto.

La restituzione della linea di riva dovrà indicare anche la presenza di tratti inerodibili costituiti da opere di difesa (barriere radenti, pennelli, pontili, ecc.), tratti o emergenze rocciose naturali (costituenti la linea di riva o ubicate nelle sue vicinanze sia a terra che a mare) o artificiali. Il margine di tali tratti dovrà essere individuato, sia in corrispondenza del l.m.m. che al piede lato mare e comunque si dovranno fornire tutte le informazioni utili in modo da poterli definire con un elevato grado di dettaglio.

Il sistema di riferimento in base al quale dovranno essere restituiti i dati è WGS84, proiezione UTM, fuso 33N.

Il rilievo sarà inquadrato sui punti geodetici della rete trigonometrica italiana dell'Istituto Geografico Militare (IGM) o su quelli di raffittimento collaudati. Nel caso si usino servizi di correzione della posizione (NRTK) bisognerà specificare il datum rispetto al quale tali servizi operano. Il datum verticale dovrà essere riferito allo 0 IGM.

Il rilievo dovrà permettere di identificare gli elementi di interferenza da preservare quali diaframmi e trincee drenanti presenti sull'Arenile Nord e Sud e, se realizzate prima delle attività di cui al presente lavoro, tubazioni/camera di sollevamento previste per l'impianto di alimentazione idrico e scarico CRIMA (cfr. par. 2.3).

### 4.2.2.4 Rilievo morfologico propedeutico alla pulizia dei fondali marini

Il rilievo dovrà essere effettuato sui fondali delle aree interessate dalle operazioni di rimozione selettiva attraverso l'utilizzo di un sonar a scansione laterale (Side Scan Sonar - SSS) digitale equipaggiato con sistema di acquisizione ad alta frequenza (minimo 400kHz) a copertura dell'intera area. Il rilievo dovrà essere finalizzato alla definizione della morfologia del fondale presente, all'individuazione di eventuale presenza di relitti o oggetti imprevisti (corpi morti, catenarie, rifiuti, ecc.) rinvenuti sul fondo e che siano tali da ostacolare o ritardare il normale avanzamento del lavoro e all'individuazione di biocenosi protette.

Tutti gli strumenti dovranno essere interfacciati ad un sistema di navigazione e ad un sistema di posizionamento. Per il corretto funzionamento del SSS, l'imbarcazione impiegata per i rilievi dovrà essere munita di opportuno verricello idrografico.

Ad integrazione di quanto sopra, dovrà essere eseguita un'indagine diretta tramite operatore subacqueo finalizzata all'individuazione di biocenosi protette e censimento di oggetti (corpi morti, catenarie, rifiuti) e/o di reperti, attraverso apposite schede monografiche. In caso di individuazione di biocenosi protette all'interno delle aree operative sarà necessario procedere alla loro rimozione e ricollocazione in un'area non soggetta ad intervento.

Le attività inoltre dovranno svolgersi in presenza di un archeologo per la verifica della presenza di possibili strutture archeologiche sommerse.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### Attività già eseguite in sito

Nell'ambito dei test di dragaggio e capping eseguiti nel periodo compreso tra luglio e settembre 2022 in corrispondenza delle aree denominate A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1 e D2, è stato effettuato dalla società PRIMSA s.r.l. un rilievo Side Scan Sonar (SSS) mediante l'utilizzo del sonar EDGETECH 4125.

L'immagine seguente mostra l'ubicazione delle aree oggetto di rilievo.



**Figura 4.5: Aree interessate dai rilievi nell'ambito dei test di dimostrazione tecnologica**

La figura seguente mostra il fotomosaico ottenuto dall'elaborazione dei singoli sonogrammi per tutte le aree. Le diverse risposte acustiche dello strumento sono caratteristiche del tipo di substrato presente.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



**Figura 4.6:** Fotomosaico ottenuto dall'elaborazione dei dati Side Scan Sonar per le aree indagate

Dal rilievo eseguito è stato possibile verificare che i fondali dell'area a nord del Pontile nord (in corrispondenza delle aree A1, A2, A3, D1 e D2), sono caratterizzati da sedimento sabbioso molto fine, che corrisponde ad un segnale di ritorno (backscatter) debole. Nella zona centrale (aree B1, B2 e B3 situate sotto costa) è risultato presente un fondale prevalentemente roccioso tufaceo; tale evidenza è stata confermata anche nell'ambito della BSS descritta al par. 4.2.2.8. L'area C1 situata nella zona a sud del Pontile Sud e ai piedi della scogliera è risultata invece caratterizzata da sedimento prevalentemente sabbioso, mentre le aree C2 e C3 hanno mostrato la presenza di sedimento fangoso.

### 4.2.2.5 Pulizia dei fondali

Prima dell'inizio delle attività, gli oggetti imprevisti (corpi morti, catenarie, rifiuti, ecc.) o relitti rinvenuti sul fondo delle aree interessate dalle operazioni di dragaggio che siano tali da ostacolare o ritardare il normale avanzamento del lavoro, dovranno essere rimossi, tramite idonei mezzi d'opera.

Nell'interesse della riuscita dell'opera e della sua economia saranno effettuati tutti i salpamenti necessari sia all'asciutto sia in acqua. Il materiale salpato sarà trasportato al sito di carico sui mezzi per il trasporto a rifiuto in discarica terrestre autorizzata.

Se durante l'esecuzione dei lavori dovessero essere rinvenuti oggetti di valore artistico o archeologico sarà necessario segnalarlo tempestivamente alle Autorità competenti, tenendo presente che gli oggetti rinvenuti rimarranno di proprietà dello Stato.

### **Attività già eseguite in sito**

Nell'ambito dei test di dragaggio e capping eseguiti nel periodo compreso tra luglio e settembre 2022 in corrispondenza delle aree denominate A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1 e D2, l'ispezione e pulizia dei fondali ha portato al solo recupero di rifiuti di età moderna, escludendo la presenza di elementi di possibile interesse culturale dispersi sul tetto topografico del fondo. Di seguito si riportano alcune prese fotografiche delle attività di asportazione dei rifiuti e dello stato dei fondali nelle aree di test.

**RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI**

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



Attività di recupero dei rifiuti raccolti (foto F. Tiboni - ASPSP)



Rifiuti raccolti nell'area di test "B3" (foto F. Tiboni - ASPSP)



Rifiuti raccolti nell'area di test "B2" (foto F. Tiboni - ASPSP)



Rifiuti raccolti nell'area di test "D1" (foto F. Tiboni - ASPSP)



Riprese del fondo in corrispondenza dell'area di test "B2"  
(video Prisma Srl)



Riprese del fondo in corrispondenza dell'area di test "C1"  
(video Prisma Srl)

**4.2.2.6 Rilievo batimetrico**

Prima dell'inizio dell'attività di dragaggio dei sedimenti e al termine delle attività dovrà essere eseguito il rilievo batimetrico dell'area di progetto, propedeutici alla verifica dell'effettiva volumetria del sedimento rimosso.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Il rilievo comprenderà anche una o più aree "di controllo" esterne a quella di progetto in maniera tale da verificare la differenza di quota nelle operazioni di dragaggio.

I rilievi dovranno essere eseguiti secondo quanto prescritto dal Disciplinare Tecnico I.I. 3176 per l'Ordine Speciale Nazionale e i dati batimetrici dovranno avere un'incertezza orizzontale totale (IOT) <0.50 m e un'incertezza verticale totale (IVT) (secondo apposita formula) < 1% della profondità.

Per raggiungere tali risultati sarà necessario utilizzare una strumentazione adeguata ovvero:

- ✓ Ecoscandaglio multibeam (non interferometrico) ad alta risoluzione e ad alta frequenza (>450 kHz) con angolo del fascio di 0.5° (across angle) e 1° (along angle).
- ✓ Copertura totale dell'area da rilevare con sovrapposizione (overlap) tra le linee adiacenti non inferiore al 25%
- ✓ Sistema di posizionamento GNSS con modalità RTK
- ✓ Sistema integrato di assetto (IMU), di posizionamento e di direzione (precisione heave  $\pm 0.05m$ , precisione pitch e roll  $\pm 0.02^\circ$  e precisione heading  $\pm 0.02^\circ$ )
- ✓ Sonda SVP
- ✓ Correzione dei dati batimetrici devono essere corretti con i dati provenienti da un mareografo locale (es. Rete Mareografica Nazionale) e confrontati con i dati di marea acquisiti mediante RTK (RTK tide).
- ✓ Software idrografico di acquisizione, di elaborazione e di restituzione cartografica con calcolo a priori e a posteriori dell'Incertezza Verticale e Orizzontale su tutta l'area del rilievo o su porzioni rappresentative.
- ✓ Modulo di calcolo dei volumi rispetto ad una superficie di riferimento (quota di progetto o superficie di escavo)
- ✓ Sistema di riferimento di acquisizione e restituzione WGS84, proiezione UTM, fuso 33N
- ✓ Report di calibrazione della strumentazione (calibrazione sensore di direzione e patch test per il multibeam)
- ✓ Verifica del sistema di posizionamento GNSS su almeno un caposaldo

I rilievi devono essere eseguiti da personale di comprovate capacità specifiche acquisite da formazione professionale adeguata e da esperienza tecnica maturata sul campo (surveyor con almeno 5 anni di esperienza e responsabile rilievi con almeno 10 anni di esperienza).

Il rilievo dovrà permettere di identificare gli elementi di interferenza con le operazioni di escavo a mare e dragaggio (cfr. tubazioni previste per l'impianto di alimentazione idrico e scarico CRIMA indicate al par. 2.3, da preservare nel caso in cui siano realizzati prima delle operazioni previste dal presente elaborato).

### Rilievi eseguiti in sito

Nell'ambito dei test di dragaggio e capping eseguiti nel periodo compreso tra luglio e settembre 2022 in corrispondenza delle aree denominate A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1 e D2, i rilievi batimetrici sono stati eseguiti dalla società PRIMSA s.r.l. (il 28 e 29 luglio 2022 nelle aree A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, D1 e D2 e il 23 settembre 2022 nelle aree C2 e C3, a causa della presenza di numerose imbarcazioni nella zona di interesse nella precedente survey), impiegando la strumentazione sintetizzata nelle tabelle seguenti.

**Tabella 4.2: Strumentazione utilizzata per l'esecuzione dei rilievi**

EQUIPAGGIAMENTO STRUMENTI	
Posizionamento	Ricevitore GNSS serie GEOMAX ZENITH35 PRO, GNSS/INS Applanix OceanMaster
Assetto (MBES)	GNSS/INS Applanix OceanMaster
Ecoscandaglio (MBES)	NORBIT WINGHEAD i77h
Sonda di velocità (MBES)	Sonda Conductivity, Temperature, Depth (CTD) Sontek CastAway e Sonda AML Oceanographic SV•XchangeTM
Side Scan Sonar	Edgetech 4125

**Tabella 4.3: Software utilizzati per l'acquisizione, l'elaborazione e la restituzione dei rilievi**

SOFTWARE	
Multibeam	Teledyne PDS 2000 4.4.3.0, WBMS GUI 10.4.9, POSPac MMS 8.6

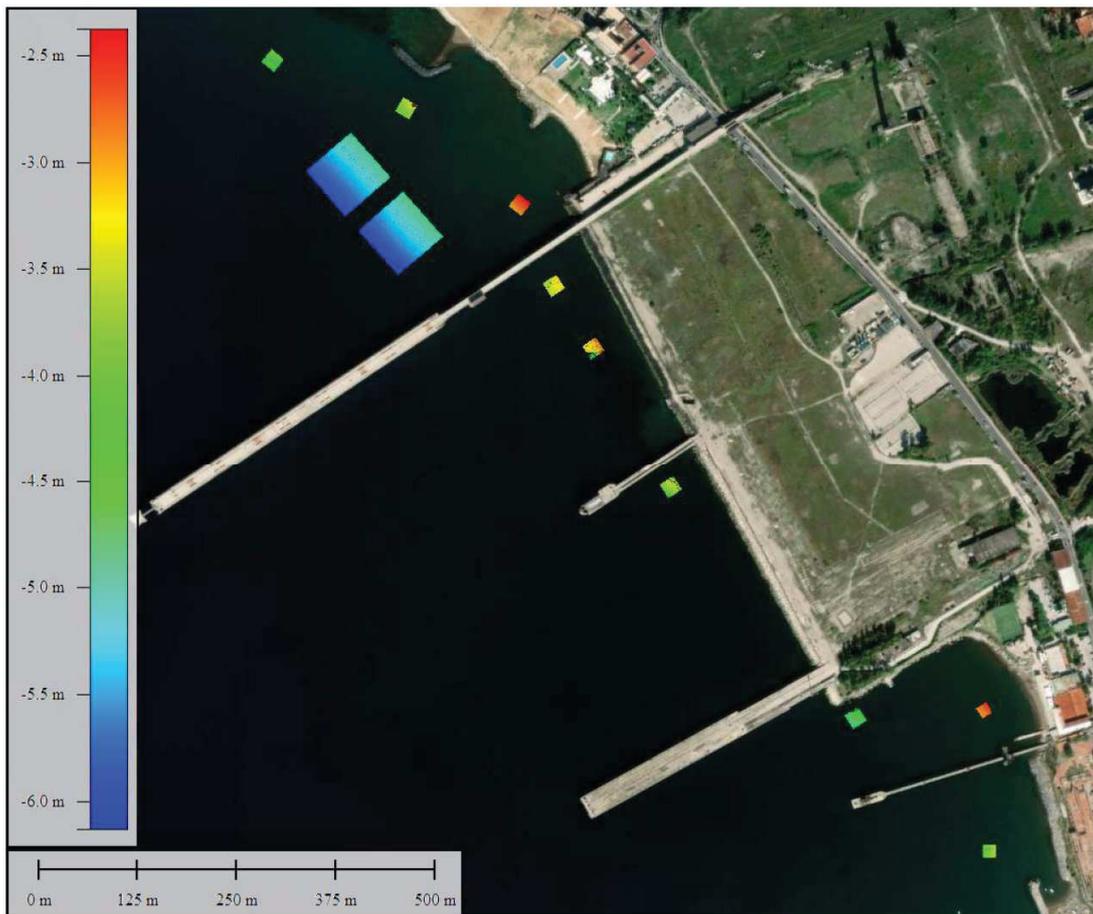
**RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI**

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**SOFTWARE**

Side Scan Sonar	Discover 4125, SonarWiz 7
Altri software	ConveRgo 2.05, Analyst 2018 Cloud, QGIS 3.22.8

Il DTM ottenuto dal rilievo batimetrico eseguito per mezzo dell'ecoscandaglio di tipo multibeam ad alta risoluzione Norbit Winghead i77h è rappresentato nella figura seguente.



**Figura 4.7: DTM ottenuto dal rilievo batimetrico multibeam**

**4.2.2.7 Attività di Archeologia subacquea delle aree a mare**

Le attività a mare dovranno svolgersi in presenza di un archeologo per la verifica della presenza di possibili strutture archeologiche sommerse e dell'adeguatezza delle condizioni del fondale alle attività in progetto.

Potrà essere replicata la metodologia già seguita nell'ambito dei test di dragaggio marino, eseguiti tra i mesi di luglio e settembre 2022. In tale occasione, durante le indagini e i rilievi strumentali condotti in ambiente sommerso e le attività di verifica e pulizia dei fondali delle aree interessate dai test, sono state effettuate le attività di assistenza archeologica subacquea da parte di ASPS Servizi Archeologici s.n.c. di L. Sanna & F. Tiboni, parte del raggruppamento di imprese titolari dell'appalto, sotto la direzione scientifica della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il comune di Napoli, nella persona del funzionario responsabile per territorio dott. E.A. Stanco.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Le attività sono state condotte in due fasi:

- ✓ nella prima fase sono stati analizzati i dati grezzi e gli esiti delle indagini strumentali (rilievi Side Scan Sonar – SSS ed i rilievi Multi Beam Echo Sounder – MBES), condotte nelle aree oggetto di indagine dal personale della società PRIMSA s.r.l. incaricata dell'esecuzione dei rilievi morfo-batimetrici (si vedano i precedenti par. 4.2.2.4 e 4.2.2.6), al fine di verificare l'eventuale presenza, all'interno delle diverse zone esaminate, di possibili elementi di interesse archeologico che potessero essere in qualche modo interferiti dalle lavorazioni previste a progetto;
- ✓ nella seconda fase sono stati eseguiti sopralluoghi subacquei, insieme ai sommozzatori della società PRIMSA s.r.l., al fine di verificare che le attività di pulizia delle aree di fondali necessarie per la programmazione dei test di rimozione dei sedimenti fossero realizzate in corrispondenza di aree prive di elementi di possibile interesse archeologico semi affioranti o dispersi sul tetto topografico dello strato di fondo.

Di seguito si riportano le conclusioni delle attività condotte:

*“Le attività di assistenza archeologica subacquea condotte nell'ambito delle indagini a mare realizzate in corrispondenza delle aree oggetto della progettazione dei sistemi di rimozione e trattamento dei sedimenti marini in corrispondenza dell'area di Bagnoli-Coroglio nel periodo compreso tra luglio e settembre 2022 hanno permesso di escludere la presenza di elementi di interesse archeologico esposti o affioranti dal tetto topografico del fondo.*

*In particolare, la possibilità di esaminare i rilievi MBES e SSS delle zone di progetto non ha portato al rinvenimento di anomalie o targets di dimensioni o forme tali da suggerire la possibile presenza di elementi di carattere archeologico, quand'anche erratici.*

*Anche l'esame visivo delle aree, condotto in immersione diretta durante le fasi di pulizia, ha escluso la presenza di elementi di possibile interesse archeologico nell'area.*

*Del resto, l'attuale livello superficiale del fondo sembra essere riconducibile nelle forme e nella composizione all'esito delle attività industriali che hanno interessato la zona durante il secolo scorso.*

*In particolare, la presenza di sedimenti sovraconsolidati di età contemporanea consente di escludere che eventuali elementi di interesse archeologico possano oggi trovarsi esposti nell'intera area oggetto della progettazione della bonifica. È invece più probabile che i resti di età storica, anche antica, possano trovarsi al di sotto di questo strato di sedimento, a quote quindi molto più basse di quelle attuali.”*

Le indagini suddette hanno permesso la redazione della Valutazione Preventiva dell'Interesse Archeologico ai sensi dell'art. 25 del D. Lgs 50/2016 (elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-RS-REL-06-00**), a cui si rimanda per i dettagli.

### 4.2.2.8 Bonifica da ordigni esplosivi e residuati bellici delle aree a mare

La bonifica bellica dovrà essere eseguita anche aree a mare oggetto di escavo e dragaggio. Come indicato dalla "Direttiva Tecnica GEN BSS 001 Ed. 2020" (rif. doc.[R12]) per bonifica bellica sistematica subacquea s'intende *l'insieme delle attività di ricerca, individuazione e scoprimento di ordigni esplosivi residuati bellici, con esclusione di qualsiasi attività sugli stessi, condotte sotto la superficie di mari, laghi, fiumi o altri corsi d'acqua, la cui profondità comporta la necessità di impiegare apparecchiature per l'immersione e/o particolari attrezzature subacquee, finalizzate all'eliminazione di detti ordigni che rappresentano un rischio potenziale per la pubblica incolumità, per l'utilizzo in sicurezza del sito, nonché per eventuali opere da realizzare, ovvero per la sicurezza delle maestranze impiegate in operazioni di scavo o altre attività di carattere invasivo condotte sui fondali.*

Gli apparati di ricerca utilizzati dovranno essere idonei a rilevare efficacemente, mediante chiari segnali acustici e/o strumentali, la presenza sul fondo marino e relativo sottofondo, di oggetti metallici, quali mine, ordigni, bombe, proiettili, residuati bellici esplosivi di ogni genere e tipo, interi o loro parti, alle profondità stabilite. Gli apparati di ricerca da utilizzare dovranno essere pertanto individuati tra i seguenti: Elettromagnetometro (metal detector subacqueo), Magnetometro fluxgate (apparato con sonda combinata), Magnetometro o gradiometro, Sonar a scansione laterale (Side Scan Sonar).

Le imbarcazioni utilizzate nella BSS dovranno essere a bassa incidenza magnetica complete degli equipaggiamenti di sicurezza e aiuti al galleggiamento, secondo quanto disposto dalla normativa vigente in materia, nonché delle dotazioni minime quali il GPS nautico fisso accompagnato da ecoscandaglio, il ricevitore VHF e trasmettitore VHF (preferibilmente fissi), l'anemometro, il batiscopio, la bussola magnetica o elettronica. Inoltre, al fine di consentire una corretta pianificazione ed esecuzione dell'attività di ricerca dovrà disporre dell'ausilio di software atti all'elaborazione e alla restituzione dei dati, nonché software di navigazione completi di cartografia aggiornata, tali da permettere di effettuare la navigazione con guida in linea e segnalazione del fuori rotta, consentire di disegnare

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

linee di navigazione, rotte, poligoni oltre che utilizzare cartografia di sfondo. Tali programmi dovranno essere interfacciabili almeno con gli strumenti principali di bordo, quali GPS, eco-scandagli, magnetometri, girobussola ecc., nonché registrarne i dati ed elaborare gli stessi in tempo reale.

La bonifica potrà essere condotta con le seguenti metodiche (tutte le attività che prevedono l'esecuzione di operazioni subacquee dovranno essere condotte in rispetto al disposto dalla Norma Tecnica UNI11366):

- ✓ ricerca mediante traino sensore del magnetometro fluxgate (apparato con sonda combinata), percorrendo con l'imbarcazione rotte parallele con spaziatura massima di 1 m, trainando il sensore dell'apparato di ricerca immerso e collegato all'unità centrale allocata a bordo e sovrapponendo le strisciate di acquisizione almeno del 50%;
- ✓ ricerca mediante operatore subacqueo e tracciato a traversino, percorrendo corridoi opportunamente preparati tramite delimitazione della zona da esplorare con gavitelli, posizionamento sul fondo due cime – dette longheroni – opportunamente appesantite (lunghezza massima di 200 m e distanti l'una dall'altra al massimo 20 m) e posizionando una cima detta "traversino" al di sotto dei longheroni e in maniera perpendicolare a questi. L'operatore tecnico subacqueo qualificato "Rastrellatore BCM-SUB", munito di apparato di ricerca, dovrà percorrere il corridoio spostandosi da un longherone all'altro, seguendo il traversino da un'estremità all'altra, per poi spostare il terminale del traversino di 1 m lungo il longherone e procedere in senso opposto;
- ✓ ricerca mediante operatore subacqueo e tracciato circolare, simile al precedente ma con l'operatore subacqueo che percorre l'area da indagare lungo il raggio di una superficie circolare dal centro, verso la circonferenza. Una zavorra costituirà il centro della circonferenza tracciata da un raggio costituito da una cima ("traversino"), della lunghezza massima di metri 20;
- ✓ ricerca mediante magnetometro o gradiometro, tramite utilizzo di sensori immersi e navigazione di linee teoriche equidistanti l'una dall'altra con spaziatura tale da ottenere dei corridoi d'indagine di larghezza costante fino alla copertura totale della superficie di sedimento prefissata e con sovrapposizioni delle strisciate di acquisizione di almeno il 50%. L'attività dovrà procedere con l'elaborazione dei dati magnetometrici acquisiti mediante l'analisi delle tracce di navigazione e le misure magnetiche rilevate e l'interpretazione delle stesse con la definizione dell'elenco e posizioni di quanto ha generato variazione del campo magnetico;
- ✓ ricerca mediante esplorazione a strati, che permette di ricercare, individuare e localizzare ordigni presenti all'interno di un determinato volume di sedimento marino che dovrà essere successivamente sottoposto ad escavi, quali dragaggi. Tale attività comprenderà due fasi lavorative, alternando la ricerca tramite le modalità riportate nei punti precedenti e l'asportazione del volume di sedimento esplorato;
- ✓ ricerca mediante perforazione del sedimento, che permette di individuare e localizzare ordigni esplosivi residuati bellici presenti all'interno di un determinato volume di sedimento marino che dovrà essere successivamente sottoposto ad azioni invasive da parte di mezzi meccanici, quali potrebbero essere i carotaggi, l'infissione di palancole o gli escavi. Per la fase operativa sarà necessario anche l'utilizzo di attrezzature meccaniche in grado di incrementare la pressione di un fluido (aria/acqua) e spezzoni di asta cava amagnetica di differente diametro, assemblati in maniera concentrica, necessari per la perforazione e l'alloggiamento dei sensori.
- ✓ ricerca mediante *Side Scan Sonar* trainato, da abbinare alle modalità precedentemente descritte e da eseguire tramite la navigazione di linee teoriche equidistanti l'una dall'altra con spaziatura tale da ottenere dei corridoi d'indagine di larghezza costante fino alla copertura totale della superficie di sedimento prefissata e con sovrapposizioni delle strisciate di acquisizione di almeno il 50%;
- ✓ impiego del *remote operated vehicle* (R.O.V.) ovvero sistemi robotizzati, filo guidati dalla superficie.

In combinazione agli strumenti di ricerca sopra elencati, potranno inoltre essere effettuate le indagini morfo batimetriche e stratigrafiche dei fondali tramite l'esecuzione di rilievi batimetrici con ecoscandagli *multibeam*, per un'accurata mappatura del fondale marino, e rilievi sismo-stratigrafici mediante *Sub Bottom Profiler*, per la descrizione del substrato del fondale marino.

L'attività di rimozione manuale o meccanica del sedimento che occulta le masse metalliche rilevate dagli apparati di ricerca, consentendone il riconoscimento a vista da parte del Rastrellatore BCM-SUB o mediante videocamera installata sul R.O.V. è detta "scopimento". Tale attività dovrà essere condotta eseguendo degli scavi sottomarini a strati in maniera tale da rimuovere livelli sempre più profondi di sedimento, comunque non superiori all'accertata capacità d'indagine degli strumenti di ricerca, fino al raggiungimento del target. Lo scavo a strati dovrà prevedere

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

l'installazione di opportune opere provvisorie di sostegno e protezione delle pareti di scavo in maniera tale da garantire le operazioni in assoluta sicurezza.

L'iter autorizzativo che dovrà essere svolto prevede quanto di seguito descritto.

Tutte le attività di bonifica sistematica subacquea dovranno essere eseguite mediante imprese specializzate iscritte all'albo delle Imprese Specializzate in Bonifica da Ordigni Esplosivi Residuati Bellici e sono soggette all'emissione del Parere Vincolante da parte del Comando Logistico della Marina Militare di Napoli (MARICOMLOG), su delega di Ministro della Difesa alla Direzione dei Lavori e del Demanio (GENIODIFE).

Ai fini dell'ottenimento del parere vincolante necessario per lo svolgimento della bonifica bellica sistematica subacquea, dovrà essere presentata all'autorità militare competente una specifica istanza completa del Documento unico di bonifica bellica sistematica subacquea (DUB) redatto utilizzando le modalità tecnico-operative tratte dall'elenco in annesso III della "Direttiva Tecnica GEN BSS 001 Ed. 2020" sottoscritto dal Dirigente Tecnico BCM-SUB dell'impresa specializzata incaricata del servizio, in possesso di brevetto di specializzazione in corso di validità e dal Soggetto Interessato o suo delegato. Il Comando Logistico della Marina Militare di Napoli, dopo aver proceduto a verificare la regolarità del DUB, emetterà, entro il termine di 30 giorni dalla data di acquisizione al protocollo, il proprio Parere Vincolante.

Il soggetto interessato, una volta ricevuto il parere vincolante positivo – DUB approvato – da parte dell'Autorità Militare potrà dare mandato all'impresa specializzata di avviare le attività di BSS.

L'impresa specializzata potrà iniziare le attività di bonifica bellica sistematica solo dopo aver notificato agli Enti Territorialmente Competenti la data d'inizio attività nonché l'elenco dettagliato del personale coinvolto (comprensivo del numero di brevetto BCM-SUB) delle imbarcazioni, delle attrezzature e degli apparati di ricerca (compresi i numeri di targa/matricola) che saranno impiegati, oltre alla disponibilità delle aree.

Nello stesso giorno di termine delle attività di BSS, l'impresa specializzata esecutrice dovrà inviare al Comando Logistico della Marina Militare la comunicazione di fine attività (o sospensione nel caso di esecuzione parziale dell'attività). Inoltre, entro 15 giorni dal termine delle attività dovrà trasmettere il relativo Attestato di Bonifica Bellica Sistematica Subacquea dichiarando di aver eseguito le prestazioni in conformità al DUB approvato ed allegando la documentazione di cantiere (rapporti giornalieri e rapporti d'immersione) ed elaborati grafici.

Il Comando Logistico, nei termini di 30 giorni dalla data di ricezione dell'Attestato di Bonifica Bellica Sistematica Subacquea, effettuati i dovuti controlli, provvederà a restituire all'impresa specializzata l'Attestato, debitamente vistato e corredato della validazione dell'Amministrazione Difesa (A.D.) sul corretto svolgimento del servizio di BSS e permetterà la liberalizzazione dell'area sotto il profilo bellico in base all'esito delle verifiche di carattere documentale e/o controlli in situ eseguiti.

L'Attestato di Bonifica Bellica Sistematica Subacquea, debitamente vistato dall'A.D. e la relativa validazione del servizio BSS, sono le certificazioni che permettono di poter considerare scevro da ordigni residuati bellici il volume di sedimento oggetto delle attività di bonifica bellica.

In caso di rinvenimento di presunti ordigni residuati bellici o parte di essi, l'impresa specializzata dovrà effettuare tempestiva comunicazione alla locale Capitaneria di Porto e per conoscenza al Comando Logistico della Marina Militare, per i successivi adempimenti previsti delle vigenti disposizioni in materia di Bonifica Bellica Occasionale. Inoltre, qualora le condizioni di sicurezza lo permettano, dovrà provvedere al posizionamento di apposito dispositivo atto alla segnalazione dell'ordigno al personale specializzato della Marina Militare che interverrà per il suo successivo riconoscimento e/o neutralizzazione.

Le attività di bonifica bellica sistematica subacquea potranno essere riprese successivamente all'intervento degli assetti specializzate delle Forze Armate preposti alla neutralizzazione degli ordigni esplosivi.

### **Attività già eseguite in sito**

Nell'ambito dei test di dimostrazione tecnologica, nel periodo compreso tra il 09/01/2023 e il 13/01/2023, è stata eseguita una BSS dalla società MASSAROTTI CAV. GIULIO S.R.L. utilizzando la seguente apparecchiatura:

- ✓ apparato di ricerca: Foerster Ferex 4.032API (magnetometro fluxgate);
- ✓ apparecchiatura di supporto: GPS Garmin 72H, R.O.V. CHASING M2;
- ✓ attrezzatura subacquea: Sorbona con Motopompa RAMNAY, telecamera Sub, attrezzatura per perforare con Motocompressore Honda

La BSS superficiale è stata eseguita in corrispondenza delle seguenti aree:



## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

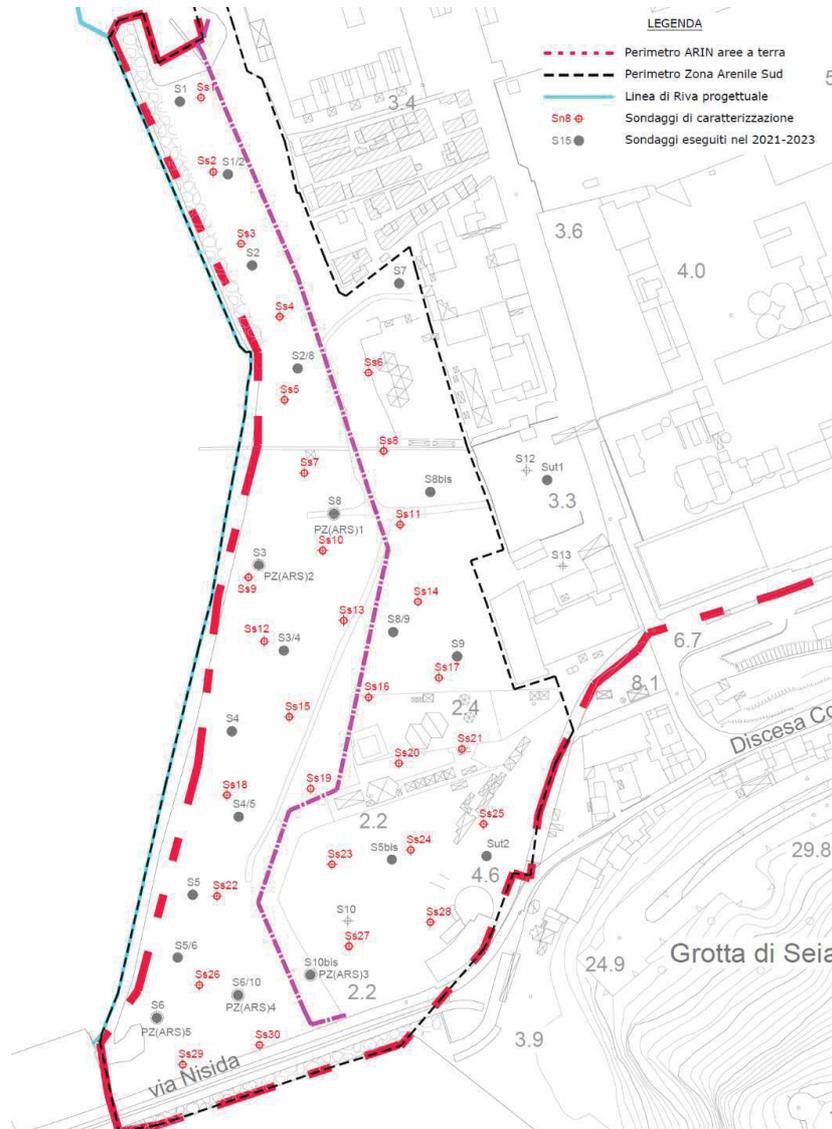


Figura 4.9: Ubicazione indicativa dei punti di caratterizzazione preliminare – Zona Arenile Sud

Le coordinate dei punti di indagine sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 4.4: Coordinate dei punti di caratterizzazione preliminare

Microcella Nord			Zona Arenile Sud		
ID sondaggio	X (WGS84 UTM33)	Y (WGS84 UTM33)	ID sondaggio	X (WGS84 UTM33)	Y (WGS84 UTM33)
Sn1	429498,106	4518507,270	Ss1	430235,657	4517273,442
Sn2	429479,464	4518478,147	Ss2	430241,894	4517235,420
Sn3	429448,311	4518437,593	Ss3	430256,012	4517198,702
Sn4	429509,334	4518452,106	Ss4	430275,552	4517161,463
Sn5	429471,316	4518420,496	Ss5	430278,044	4517118,937
Sn6	429539,765	4518425,576	Ss6	430320,610	4517132,836
Sn7	429505,339	4518387,876	Ss7	430288,052	4517081,491

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Microcella Nord			Zona Arenile Sud		
ID sondaggio	X (WGS84 UTM33)	Y (WGS84 UTM33)	ID sondaggio	X (WGS84 UTM33)	Y (WGS84 UTM33)
Sn8	429571,148	4518400,586	Ss8	430328,313	4517092,794
Sn9	429535,489	4518361,590	Ss9	430259,757	4517027,712
Sn10	429588,057	4518363,598	Ss10	430297,383	4517041,839
Sn11	429565,640	4518335,304	Ss11	430336,647	4517055,136
Sn12	429621,649	4518339,502	Ss12	430267,769	4516994,965
Sn13	429595,383	4518309,374	Ss13	430308,031	4517005,603
Sn14	429651,800	4518313,216	Ss14	430345,671	4517015,186
Sn15	429625,534	4518283,088	Ss15	430280,453	4516956,346
Sn16	429681,950	4518286,930	Ss16	430320,714	4516966,318
Sn17	429655,684	4518256,802	Ss17	430356,318	4516976,291
Sn18	429738,367	4518290,773	Ss18	430248,836	4516916,374
Sn19	429712,101	4518260,645	Ss19	430291,280	4516919,614
Sn20	429732,030	4518243,270	Ss20	430336,011	4516932,578
Sn21	429696,453	4518221,259	Ss21	430367,954	4516939,877
Sn22	429648,348	4518188,618	Ss22	430243,840	4516864,757
			Ss23	430302,072	4516880,953
			Ss24	430342,001	4516888,267
			Ss25	430378,935	4516901,564
			Ss26	430234,856	4516819,213
			Ss27	430310,723	4516839,067
			Ss28	430351,983	4516851,367
			Ss29	430226,430	4516778,571
			Ss30	430265,373	4516788,577

I saggi/sondaggi saranno eseguiti sino alla profondità massima di 5 m da p.c. nella Microcella Nord e sino a 3 m da p.c. nella Zona Arenile Sud, ovvero fino al riscontro del livello saturo. I percorsi sanitari attivi in sito nello scenario post-intervento, infatti, sono rappresentati dall'inalazione vapori outdoor e risultano applicabili esclusivamente per le sorgenti insature, che sono state considerate cautelativamente con spessore pari a 5 m nell'Arenile Nord e pari a 3 m nell'Arenile Sud.

Da ciascun saggio/sondaggio saranno prelevati campioni rappresentativi degli orizzonti 0-1 m, 1-3 m e 3-5 m nella Microcella Nord e degli orizzonti 0-1 m e 1-3 m nella Zona Arenile Sud, per un totale di 66 campioni nella Microcella Nord e di 60 campioni nella Zona Arenile Sud.

Il campionamento e la preparazione del campione per le successive analisi seguiranno procedure standardizzate e saranno condotte a cura di personale tecnico di laboratorio specializzato. Le analisi saranno eseguite da un laboratorio accreditato, con applicazione di metodiche convenzionali.

Per ogni campione dovrà essere prelevato n. 1 barattolo in vetro da 1 l di materiale setacciato a 2 cm da sottoporre ad analisi di laboratorio ricercando il seguente set analitico (il medesimo di quello applicato nell'ambito della caratterizzazione complementare del 2023).

**Tabella 4.5: Set analitico da adottare per le analisi chimiche sui campioni di sedimento ai sensi del D.Lgs.152/06**

Parametro	Metodo
pH	DM 13/09/99 SO n° 185 GU n° 248 21/10/99 Met III.1
Conducibilità	DM 13/09/99 SO n° 185 GU n° 248 21/10/99 Met IV.1
Fluoruri	CNR IRSA 14 Q 64 Vol. 2 1985
Cianuri	CNR IRSA 17 Q 64 Vol. 3 1992
Antimonio, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Tallio, Vanadio, Zinco, Mercurio	EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2018
Cromo esavalente	CNR IRSA 16 Q 64 Vol. 3 1985
Composti organostannici	UNI EN ISO 23161 : 2018

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	Metodo
Benzene ,Etilbenzene, Stirene, Toluene, Xilene Sommatoria organici aromatici	EPA 5035A 2002 + EPA 8260D 2018
Idrocarburi Pesanti C >12	ISPRA Man 75 2011
Idrocarburi C<12 (6<C<12)	EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007
Acenaftene, Acenaftilene, Antracene, Benzo(A)Antracene, Benzo(A)Pirene, Benzo(B)Fluorantene + Benzo(J)Fluorantene, Benzo(G,H,I)Perilene, Benzo(K)Fluorantene, Crisene, Dibenzo(A,E)Pirene, Dibenzo(A,H)Antracene, Dibenzo(A,H)Pirene, Dibenzo(A,I)Pirene, Dibenzo(A,L)Pirene, Fenantrene, Fluorantene, Fluorene, Indenopirene, Naftalene, Pirene Sommatoria IPA (da calcolo)	EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018
PCB 101, PCB 105, PCB 110, PCB 114, PCB 118, PCB 123, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 157, PCB 169, PCB 170, PCB 180, PCB 189, PCB 30, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 28 + PCB 31, PCB 128 + PCB 167 Sommatoria PCB	EPA 3546 2007 + EPA 8270E 2018
1,2,3,4,6,7,8 - eptacloro dibenzodiossina 1,2,3,4,6,7,8 - eptacloro dibenzofurano 1,2,3,4,7,8 - esacloro dibenzodiossina 1,2,3,4,7,8 - esacloro dibenzofurano 1,2,3,4,7,8,9 - eptacloro dibenzofurano 1,2,3,6,7,8 - esacloro dibenzodiossina 1,2,3,6,7,8 - esacloro dibenzofurano 1,2,3,7,8 - pentacloro dibenzodiossina 1,2,3,7,8 - pentacloro dibenzofurano 1,2,3,7,8,9 - esacloro dibenzodiossina 1,2,3,7,8,9 - esacloro dibenzofurano ottacloro dibenzofurano ottacloro dibenzodiossina 2,3,7,8 - tetracloro dibenzofurano 2,3,7,8 - tetracloro dibenzodiossina 2,3,4,7,8 - pentacloro dibenzofurano 2,3,4,6,7,8 - esacloro dibenzofurano	EPA 1613B 1994
Sommatoria PCDD, PCDF	EPA 1613B 1994 + NATO CCMS Report n° 176 1988, EPA 1613B 1994 + UNEP/POPS/COP.3/INF/27 11/04/2007
Amianto	DM 06-09-1994 Allegato 3

Le analisi saranno confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio (si veda la Tabella 2.1).

I nuovi dati analitici saranno confrontati con i valori massimi considerati nelle elaborazioni dell'AdR già condotta e, qualora si evidenziassero contaminanti con eccedenze dei limiti di riferimento aggiuntivi e/o concentrazioni superiori ai valori massimi riscontrati nelle campagne precedenti, sarà implementata una nuova analisi di rischio in modalità diretta secondo la procedura, le equazioni, i parametri di esposizione e le assunzioni già adottate nell'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01**.

Nel caso in cui il nuovo rischio calcolato risulti accettabile, l'intervento sugli arenili sarà considerato confermato nelle modalità previste dalla progettazione della nuova LdR (a meno di modifiche determinate da valutazioni topografiche/batimetriche).

Al contrario, nel caso in cui il nuovo rischio calcolato risulti non accettabile, l'intervento sugli arenili sarà aggiornato estendendo gli scavi alle porzioni di arenile che hanno mostrato le criticità nella nuova AdR.

#### 4.2.2.10 Messa in sicurezza del Pontile Nord

Il risanamento della Microcella Nord prevede anche lo scavo della porzione di colmata ubicata a nord del Pontile Nord.

Al fine di permettere le operazioni di scavo è stata prevista la realizzazione di opere di sostegno da realizzarsi tramite l'installazione di diaframmi in calcestruzzo a nord e a sud del pontile (si veda immagine seguente).

Nello specifico, si prevede la realizzazione di due file di diaframmi a distanza di 1m dal pontile, con le seguenti caratteristiche:

- ✓ Spessore 0,8 m
  - ✓ Lunghezza 20 m
  - ✓ Calcestruzzo C25/30 con le seguenti proprietà
- |   |  |
|---|--|
| Resistenza caratteristica a compressione: | $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ MPa}$   |
| Resistenza media a compressione:          | $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90 \text{ MPa}$  |
| Modulo Elastico:                          | $E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447.16 \text{ MPa}$                              |
| Resistenza di calcolo a compressione:     | $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$ |
| Resistenza a trazione media:              | $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.55 \text{ MPa}$  |
| Resistenza a trazione:                    | $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ MPa}$   |
| Resistenza a trazione di calcolo:         | $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa}$  |

Come elemento di contrasto in testa ai diaframmi è stata prevista una trave in calcestruzzo di dimensioni 0,5m x 0,5m e interasse 3m.



Figura 4.10: Ubicazione rappresentativa dei diaframmi

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Si rimanda all'elaborato **2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00** per la visione di dettaglio delle opere di protezione e confinamento del materiale presente al di sotto del pontile nord, comprensivo dei calcoli di verifiche strutturali e di stabilità.

### 4.2.3 Fase 3: Verifica e/o aggiornamento dati progettuali

A seguito della realizzazione dei rilievi topografici delle aree a terra e dei rilievi batimetrici delle aree a mare dovrà essere effettuata la verifica delle volumetrie di scavo/ripascimento previste per la creazione della LdR progettuale e le quote di fondo scavo/quote di ripascimento previste dalle sezioni interpretative degli elaborati **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-05-00** e **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-07-00**.

Inoltre, come illustrato nel par. 4.2.2.9 precedente, a seguito della caratterizzazione delle aree a terra, sarà verificata l'AdR già condotta (si veda l'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01**) considerando che:

- ✓ nel caso in cui i parametri eccedenti i valori di riferimento siano i medesimi di quelli considerati nei calcoli dell'AdR già condotta e le concentrazioni rilevate siano inferiori alle massime utilizzate nei calcoli dell'AdR già condotta, i presupposti e le conclusioni dell'AdR suddetta rimarranno confermati;
- ✓ nel caso in cui vi siano parametri aggiuntivi eccedenti i valori di riferimento rispetto a quelli considerati nei calcoli dell'AdR già condotta e/o le concentrazioni rilevate siano superiori alle massime utilizzate nei calcoli dell'AdR già condotta, l'AdR dovrà essere rielaborata verificando il rischio associato ai nuovi parametri e/o concentrazioni massime.

Nel caso sia necessario, quindi, dovrà essere effettuato un aggiornamento sia delle planimetrie e sezioni di progetto, sia della stima della volumetria dei materiali da gestire.

### 4.2.4 Fase 4: Attività di scavo e gestione materiali

La fase 4 comprende tutte le attività di escavo e gestione dei materiali e sarà realizzata secondo il seguente processo:

- ✓ esecuzione dei rilievi preliminari per i tracciamenti delle zone di lavoro;
- ✓ escavo dei sedimenti (a terra e a mare) e scavo dei riporti della porzione di colmata a nord del Pontile Nord (da rimuovere nell'ambito delle attività previste per la Microcella Nord) e movimentazione dei materiali rimossi verso le baie di stoccaggio / vasche di disidratazione.
- ✓ gestione dei materiali escavati nei depositi temporanei che comprende:
  - disidratazione dei cumuli saturi e gestione delle acque di disidratazione;
  - caratterizzazione dei materiali per verifica dell'eventuale riutilizzo (in quanto conformi alle CSC Tab1A o B del D.lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di Fondo ARIN di Bagnoli-Coroglio e, per i riporti di colmata, con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 o Valori di Fondo ARIN di Bagnoli-Coroglio) o della necessità di trattamento (in quanto non conformi alle CSC Tab1B del D.lgs.152/06).
  - trattamento dei sedimenti naturali mediante soil washing/desorbimento termico e trattamento dei riporti della porzione di colmata a nord del Pontile Nord mediante vagliatura;
  - caratterizzazione finale dei materiali trattati per verifica dell'eventuale riutilizzo (in quanto conformi alle CSC Tab1A o B del D.lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di Fondo ARIN di Bagnoli-Coroglio) o per attribuzione codice E.E.R. ai fini dello smaltimento/recupero off-site (per i materiali non conformi alle CSC Tab1B del D.lgs.152/06);
  - carico e trasporto dei materiali presso le aree di riutilizzo finale (per i materiali riutilizzabili in quanto conformi alle CSC Tab1A o B del D.lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di Fondo ARIN di Bagnoli-Coroglio) o conferimento a smaltimento/recupero off-site (per i materiali non conformi alle CSC Tab1B del D.lgs.152/06).

#### 4.2.4.1 Rilievi e tracciamenti iniziali

Preliminarmente all'inizio delle attività di scavo, sulla base del rilievo plano-altimetrico dello stato di fatto e delle planimetrie di progetto (eventualmente aggiornate), verrà eseguita la delimitazione delle aree di asportazione a terra, mediante infissione di picchetti lungo il perimetro.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Inoltre, dovrà essere elaborata la documentazione di dettaglio con la pianificazione preliminare della sequenza delle attività da eseguire sia a terra, sia a mare: saranno quindi redatte specifiche mappe con il modello di escavo previsto, in cui ciascuna subarea (celle/strisce) sarà identificata tramite le coordinate dei vertici e le profondità di escavo.

In tal modo sarà possibile rintracciare in ogni momento il materiale escavato delle singole subaree e, tramite l'aggiornamento delle planimetrie di cantiere, verificare le volumetrie dei materiali escavati/ancora da escavare.

Il sistema di riferimento in base al quale dovranno essere restituiti i dati è WGS84, proiezione UTM, fuso 33N.

### 4.2.4.2 Rimozione dei sedimenti e dei riporti di colmata nella zona nord

Secondo quanto definito dalle elaborazioni condotte nell'ambito della progettazione della nuova LdR il volume complessivo di materiale da rimuovere è pari a 79.300 m<sup>3</sup> nella Microcella Nord e a 140.000 m<sup>3</sup> nella zona Arenile Sud.

L'attività di scavo dei materiali sarà avviata solo successivamente all'ottenimento degli esiti della caratterizzazione preliminare, i cui riscontri analitici permetteranno, eventualmente, di rivedere le volumetrie di scavo come illustrato al par. 4.2.3.

L'intervento è stato progettato considerando i limiti areali riportati nelle planimetrie di progetto (elaborati **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-04-00**, **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-05-00**, **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-06-00** e **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-07-00**); tuttavia la geometria e le profondità reali degli scavi di bonifica terranno conto di:

- ✓ eventuali vincoli ai confini del sito e strutture di delimitazione di limiti di proprietà (recinzioni, muro di confine, ecc.);
- ✓ il reale spessore di scavo, che sarà da verificare ed eventualmente rivalutare in dettaglio a seguito delle indagini di caratterizzazione preliminare e dei rilievi topografici / batimetrici condotti.

Lo scavo sarà realizzato con tecniche differenti in funzione dell'ubicazione delle aree di lavoro:

- ✓ per le aree a terra (13.400 m<sup>2</sup> nella Microcella Nord, 15.400 m<sup>2</sup> nella Zona Arenile Sud) si prevede di utilizzare escavatori cingolati operando dalla spiaggia e sulla colmata;
- ✓ per le aree a mare (20.300 m<sup>2</sup> nella Microcella Nord, 15.800 m<sup>2</sup> nella Zona Arenile Sud) si prevede di utilizzare gli stessi mezzi che opereranno il dragaggio dei sedimenti marini.

Di seguito si descrivono le due attività di scavo nelle modalità previste; tale metodologia potrà essere revisionata in fase di progettazione esecutiva.

#### **Escavo da terra**

Si prevede di effettuare lo scavo secondo strisce ortogonali al lato mare in arretramento da mare verso terra di larghezza pari a 40 m. A loro volta le singole strisce saranno suddivise in "celle" di scavo di estensione pari a circa 1600 m<sup>2</sup> disposte secondo una maglia regolare pari a 40 m x 40 m. La scelta di operare lo scavo secondo celle disposte sulla base di una griglia regolare è motivata dalle seguenti considerazioni:

- ✓ fornire all'impresa geometrie di semplice esecuzione in fase operativa;
- ✓ consentire la tracciabilità, la georeferenziazione e la agevole individuazione dei piani di fondo per un confronto immediato tra le quote di fondo scavo presunte e quelle di effettiva rimozione, facilitando il riscontro dei volumi di scavo.

Per la Microcella Nord, le celle di scavo afferenti alla porzione di colmata a nord del Pontile Nord dovranno essere tenute separate dalle rimanenti celle permettendo, quindi, l'asportazione dei riporti della colmata in maniera selettiva, evitando la miscelazione di riporti con sedimenti naturali.

L'estensione areale delle celle e la volumetria proposte potranno essere revisionate in fase di progettazione esecutiva. La seguente figura mostra l'esempio di una griglia regolare di possibile adozione (40 m x 40 m) e l'indicazione delle strisce di scavo (lungo la direzione ortogonale lato mare, identificate dai numeri 1 ÷ 10 nella Microcella Nord e 1 ÷ 14 nella Zona Arenile Sud) e celle di scavo (identificate all'incrocio delle strisce 1 ÷ 10 e delle strisce semi-parallele alla linea di costa A ÷ F nella Microcella Nord e all'incrocio delle strisce 1 ÷ 15 e delle strisce semi-parallele alla linea di costa A ÷ H nella Zona Arenile Sud).



## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ creare opportune rampe di accesso (preferibilmente realizzate in scavo e pertanto costituite da sedimenti oggetto di scavi successivi) di ridotta pendenza e fronti di scavo con altezza non critica per la stabilità geotecnica.

Poiché lo spessore massimo di escavo è pari a circa 4 m, la procedura di scavo sopra descritta prevede la possibilità di effettuare la rimozione anche dei sedimenti saturi presenti al di sotto del livello medio mare operando da terra.

Potrà essere effettuata una "finitura" dello scavo tramite i mezzi che eseguiranno l'escavo a mare e il dragaggio dei sedimenti marini, utilizzando quindi un escavatore con benna mordente bivalve ermetica montata su motopontone. Tale metodologia potrà essere revisionata in fase di progettazione esecutiva prevedendo eventualmente l'esecuzione dell'intero escavo con tecniche di dragaggio da mare verso terra.

Tutti i mezzi di scavo dovranno essere dotati di sistemi di manovra che permettano il controllo accurato dei profili di scavo.

Il materiale escavato sarà caricato su autocarri e trasportato nelle baie di stoccaggio presenti nel deposito ex stabilimento (per i materiali provenienti dalla Microcella Nord) e nel deposito sulla colmata (per i materiali provenienti dalla Zona Arenile Sud), ove saranno sottoposti a caratterizzazione in cumulo per la definizione del corretto flusso di gestione.

Nell'ambito delle attività da svolgersi nella Microcella Nord dovrà essere prestata particolare cura a non miscelare i riporti derivanti dalla rimozione della porzione della colmata presente a nord del Pontile Nord con i sedimenti naturali sottostanti i riporti.

I cassoni degli autocarri dovranno essere a tenuta al fine di evitare la perdita di sedimento (in particolare il materiale saturo) nel percorso compreso tra il cantiere e le aree di deposito.

### Escavo da mare

L'escavo da mare avverrà tramite l'utilizzo di un escavatore con benna ambientale da mc 12 (benna mordente bivalve ermetica) montato su motopontone di stazza lorda da 60 a 100 t.

Il materiale escavato sarà trasportato tramite betta a tramoggia da 200 m<sup>3</sup> alla piazzola di scarico dei sedimenti che sarà allestita in corrispondenza del Pontile Sud della colmata. Il materiale sarà quindi caricato su autocarri a tenuta e trasportato all'interno delle vasche di stoccaggio del deposito temporaneo della colmata.

In prossimità delle aree di escavo, sarà predisposto un sistema di controllo della risospensione dei sedimenti che prevede la messa in opera di barriere fisiche del tipo silt curtains/screens. Le barriere flessibili saranno adagiate sull'acqua, dotate di una serie di galleggianti sulla superficie e di una catena di ancore/zavorre sul fondo. Sarà adottata una protezione completa e dunque le barriere si estenderanno dalla superficie fino al fondo in modo da contenere i sedimenti e ridurre sia la diffusione nella colonna d'acqua superiore che il movimento al fondo.

Poiché l'efficacia dei silt curtains/screens è determinata principalmente dalle condizioni idrodinamiche della zona, come le correnti ed il vento, le altezze d'onda e l'escursione dei livelli di marea, prima di dare avvio degli scavi saranno valutate le condizioni meteo-marine per verificare la possibilità o meno di iniziare le attività in sicurezza.

### 4.2.4.3 Movimentazione dei materiali rimossi

Il materiale rimosso sarà movimentato e trasportato nelle aree di deposito temporaneo predisposte nell'ex stabilimento e nella colmata, in funzione delle aree di produzione:

- ✓ i volumi provenienti dall'escavo a terra della Microcella Nord saranno inviati nelle baie/vasche di stoccaggio nel deposito ex stabilimento;
- ✓ gli altri volumi escavati saranno invece conferiti alle baie/vasche di stoccaggio del deposito sulla colmata.

Durante il trasporto su terra dalle aree di escavo ai depositi temporanei saranno adottate tutte le accortezze al fine di prevenire la perdita di materiale, tra cui: copertura del carico, uso di cassoni a tenuta durante la movimentazione dei materiali saturi, limitazione del grado di riempimento del cassone, adottando un adeguato franco di sicurezza.

Preliminarmente alla fase di rimozione del materiale sarà definita l'effettiva successione temporale degli interventi e il percorso dei mezzi utilizzati per il conferimento dei materiali alle baie/vasche di stoccaggio, limitando le manovre complessive.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 4.2.4.4 Disidratazione materiali saturi

I materiali saturi depositati nelle vasche di stoccaggio subiranno una disidratazione naturale che, dai test di dimostrazione tecnologica eseguiti in sito, ha dimostrato di essere molto efficace in tempi piuttosto brevi.

Le acque di drenaggio, seguendo la pendenza delle vasche, scoleranno a gravità verso la canalina di raccolta delle acque collegata a due pozzetti di rilancio. I pozzetti di rilancio saranno attrezzati con idonee pompe sommerse operanti in attacco e stacca su controllo di livello nel pozzetto, in modo da poter rilanciare le acque a cisterne di accumulo. Dalle cisterne di accumulo le acque saranno inviate all'impianto trattamento acque che sarà installato in corrispondenza del cantiere sulla colmata.

### 4.2.4.5 Caratterizzazione in cumulo dei materiali rimossi

I materiali costituenti i cumuli dovranno essere caratterizzati al fine di un loro possibile riutilizzo in sito in modo tale da valutare la corretta modalità di gestione.

Ai fini del campionamento si farà riferimento alle seguenti norme:

- ✓ Norma UNI 10802:2013 "Rifiuti - Campionamento manuale, preparazione del campione ed analisi degli eluati";
- ✓ Norma UNI EN 14899:2006 "Caratterizzazione dei rifiuti - Campionamento dei rifiuti - Schema quadro di riferimento per la preparazione e l'applicazione di un piano di campionamento";
- ✓ Norma UNI CEN/TR 15310-1 "Caratterizzazione dei rifiuti – Campionamento dei rifiuti – Parte 1: Guida alla selezione e applicazione dei criteri per il campionamento in diverse condizioni";
- ✓ Norma UNI/TR 11682:2017 "Rifiuti - Esempi di piani di campionamento per l'applicazione della UNI 10802:2013".

Per effettuare un campionamento rappresentativo sarà necessario che il campione sia costituito da un numero di incrementi significativo in rapporto alla dimensione di ciascun cumulo di materiale da caratterizzare.

L'incremento rappresenta la quantità di materiale ottenuta attraverso una singola operazione di campionamento. Esso non verrà analizzato singolarmente, ma combinato con gli altri incrementi formerà il campione composito.

Vista la dimensione del cumulo di ciascuna baia si procederà con un mezzo meccanico di adeguate dimensioni al fine di poter prelevare degli incrementi su tutto il volume del cumulo. In particolare, gli incrementi saranno prelevati lungo verticali a diversa quota in modo da garantire la rappresentatività del campione.

La dimensione dell'incremento dovrà essere tale da ridurre al minimo o escludere gli errori causati dalla variabilità di base del materiale, determinata dalle differenze tra le singole particelle. La dimensione minima dell'incremento è dettata dalla capacità del mezzo campionatore. Nel caso si ritiene che ogni incremento debba avere una massa minima non inferiore a 1 chilogrammo. Per ciascun cumulo verranno quindi realizzati n. 30 incrementi che andranno a costituire il campione da analizzare.

Gli incrementi che costituiranno il campione saranno prelevati mediante escavatore con benna rovescia delle dimensioni massime di 500 mm di larghezza, possibilmente priva di denti.

Il campionamento sarà eseguito da personale specializzato, che provvederà a registrare su apposito verbale, tutte le informazioni necessarie per la completa e univoca identificazione del rifiuto di riferimento; la registrazione, inoltre, includerà tutte le informazioni riportate al punto 6.2 della Norma UNI EN 14899.

Gli incrementi unitari saranno pertanto uniti ed omogeneizzati tra loro per costituire il campione medio composito rappresentativo del volume di scavo, dal quale ottenere, per quartatura, il campione da sottoporre ad analisi di laboratorio e altre aliquote necessarie ad eventuali controanalisi.

Per ogni campione dovrà essere prelevato n. 1 barattolo in vetro da 1 l di materiale setacciato a 2 cm da sottoporre ad analisi di laboratorio ricercando il set analitico di Tabella 4.5 presentata nel par. 4.2.2.9 (il medesimo di quello applicato nell'ambito della caratterizzazione complementare del 2023).

Le analisi saranno confrontate con i limiti del D.Lgs. 152/2006 Tab. 1 All. 5 Parte Quarta (Col B - Siti ad uso commerciale ed industriale e Col A - Siti ad uso verde pubblico, privato, residenziale) o, per i parametri non normati D.Lgs. 152/2006, con i Limiti proposti da ISS e con i Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroggio (si veda la Tabella 2.1).

Per i cumuli di riporti provenienti dalla porzione di colmata a nord del Pontile Nord, oltre al campione suddetto, dovrà essere prelevato un'ulteriore aliquota di materiale tal quale in n. 1 barattolo in vetro da 0,5 kg finalizzata

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

all'esecuzione del test di cessione di cui al D.M. 05/02/1998 ricercando il seguente set analitico (il medesimo di quello applicato nell'ambito della caratterizzazione complementare del 2023).

**Tabella 4.6: Set analitico adottato per i test di cessione ai fini del riutilizzo del materiale**

Parametro	Metodo
Fluoruri	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003
Cianuri	UNI EN ISO 14403-2: 2013
Antimonio, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Tallio, Vanadio, Zinco, Mercurio	EPA 6020B 2014
Cromo esavalente	EPA 7199 1996
Monobutilstagno, Dibutilstagno, Tributilstagno	UNI EN ISO 17353:2006
Benzene, Etilbenzene, Stirene, Toluene, m,p-Xilene	EPA 5030C 2003 + EPA 8260D 2018
Idrocarburi C6-C10	ISPRA Man 123:2015 met.A
Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	EPA 5035A 2002 + EPA 8015C 2007
Acenaftene, Acenaftilene, Antracene, Benzo(A)Antracene, Benzo(A)Pirene, Benzo(B+J)Fluorantene, Benzo(G,H,I)Perilene, Benzo(K)Fluorantene, Crisene, Dibenzo(A,E)Pirene, Dibenzo(A,H)Antracene, Fenantrene, Fluorantene, Fluorene, Indenopirene, Naftalene, Pirene Sommatoria IPA (da calcolo)	EPA 3510C 1996 + EPA 8270E 2018
PCB 101, PCB 105, PCB 114, PCB 118, PCB 123, PCB 126, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 157, PCB 169, PCB 170, PCB 180, PCB 183, PCB 189, PCB 52 ,PCB 77, PCB 81 ,PCB 28 + PCB 31 ,PCB 128 + PCB 167 Sommatoria PCB (da calcolo)	EPA 3510C 1996 + EPA 8270E 2018
1,2,3,4,6,7,8 - eptacloro dibenzodiossina 1,2,3,4,6,7,8 - eptacloro dibenzofurano 1,2,3,4,7,8 - esacloro dibenzodiossina 1,2,3,4,7,8 - esacloro dibenzofurano 1,2,3,4,7,8,9 - eptacloro dibenzofurano 1,2,3,6,7,8 - esacloro dibenzodiossina 1,2,3,6,7,8 - esacloro dibenzofurano 1,2,3,7,8 - pentacloro dibenzodiossina 1,2,3,7,8 - pentacloro dibenzofurano 1,2,3,7,8,9 - esacloro dibenzodiossina 1,2,3,7,8,9 - esacloro dibenzofurano ottacloro dibenzofurano ottacloro dibenzodiossina 2,3,7,8 - tetracloro dibenzofurano 2,3,7,8 - tetracloro dibenzodiossina 2,3,4,7,8 - pentacloro dibenzofurano 2,3,4,6,7,8 - esacloro dibenzofurano	EPA 1613B 1994
Sommatoria PCDD, PCDF	EPA 1613B 1994 + NATO/CCMS I-TEF 1988
Amianto	MI031:2022 rev.00

In conformità con la prassi seguita negli altri progetti INVITALIA dell'ARIN Bagnoli approvati, ai fini del riutilizzo dei materiali di riporto della colmata, oltre al rispetto delle CSC di Tab. 1 Col A e B del D.Lgs. 152/2006 o dei Limiti proposti da ISS e dei Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio, dovrà essere verificato che verificare che le concentrazioni dei contaminanti analizzati negli eluati rispettino i limiti del DM 5 febbraio 1998 o, se superiori, i Valori di fondo naturale dell'ARIN di Bagnoli (Tabella 2.2).

Le volumetrie dei materiali appartenenti alle celle che avranno mostrato la conformità ai limiti sopra indicati potranno essere inviate al possibile riutilizzo nelle aree con specifica destinazione d'uso che saranno individuate dalla D.L. all'interno dell'ARIN. Gli altri materiali escavati saranno invece conferiti alle baie del deposito temporaneo dedicate

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

alla gestione dei materiali in attesa di trattamenti di soil washing/desorbimento termico (per i sedimenti naturali) e vagliatura (per i riporti di colmata).

### 4.2.4.6 Trattamento dei materiali non conformi

I materiali che risulteranno non conformi al riutilizzo saranno sottoposti a due differenti trattamenti in funzione della tipologia di materiale:

- ✓ i sedimenti naturali saranno sottoposti a trattamento soil washing/desorbimento termico;
- ✓ i riporti della porzione di colmata a nord del Pontile Nord saranno sottoposti a vagliatura.

L'impianto soil washing/desorbimento termico sarà posizionato in corrispondenza dell'area cantiere sulla colmata; pertanto, i sedimenti escavati dalla zona a terra della Microcella Nord (trasportati nel deposito ex stabilimento) dovranno essere movimentati dalle baie di stoccaggio dell'ex stabilimento al cantiere ubicato sulla colmata, percorrendo piste interne alla zona ex industriale e attraversando via Coroglio in corrispondenza dei varchi esistenti nella zona meridionale della colmata. Per l'attraversamento potrà essere regolamentato il traffico tramite opportuni impianti semaforici minimizzando le interferenze con la viabilità.

Si rimanda all'elaborato **2021E022INV-01-D-12-IM-RS-REL-01-00** per la descrizione di dettaglio degli impianti.

### 4.2.4.7 Caratterizzazione del materiale a valle dei trattamenti

La caratterizzazione del materiale a valle dei trattamenti avverrà in cumuli nelle baie di stoccaggio predisposte per ospitare il materiale trattato tramite soil washing/desorbimento termico o vagliatura suddivise tra baie dedicate al materiale lavato o al sopravaglio potenzialmente riutilizzabili e i materiali di risulta dei trattamenti stessi (es. fanghi disidratati dal soil washing e sottovaglio), da inviare presso impianti di smaltimento/recupero off-site.

Ai fini del campionamento si farà riferimento alle seguenti norme:

- ✓ Norma UNI 10802:2013 "Rifiuti - Campionamento manuale, preparazione del campione ed analisi degli eluati";
- ✓ Norma UNI EN 14899:2006 "Caratterizzazione dei rifiuti - Campionamento dei rifiuti - Schema quadro di riferimento per la preparazione e l'applicazione di un piano di campionamento";
- ✓ Norma UNI CEN/TR 15310-1 "Caratterizzazione dei rifiuti – Campionamento dei rifiuti – Parte 1: Guida alla selezione e applicazione dei criteri per il campionamento in diverse condizioni"
- ✓ Norma UNI/TR 11682:2017 "Rifiuti - Esempi di piani di campionamento per l'applicazione della UNI 10802:2013"

Il campionamento sarà eseguito da personale specializzato, con modalità analoghe a quelle indicate nel precedente par. 4.2.4.5 tramite prelievo di incrementi unitari, successivamente omogeneizzati e quartati.

Per il materiale potenzialmente riutilizzabile dovrà essere prelevato un campione setacciato a 2 cm in n. 1 barattolo in vetro da 1 kg, da sottoporre ad analisi per la verifica di conformità alle CSC di Tab. 1 Col A e B del D.Lgs. 152/2006 o Limiti proposti da ISS e Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli-Coroglio.

Inoltre, nel caso si verificassero eccedenze dei limiti di riferimento, saranno prelevati i seguenti campioni ai fini della definizione del corretto canale di smaltimento presso impianti off-site:

- ✓ n. 1 barattolo in vetro da 0,5 kg per il test di cessione di cui al D.M. 05/02/1998 per la verifica dell'idoneità del materiale al recupero (ai sensi del DM 186/06 e s.m.i.);
- ✓ n. 1 barattolo in vetro da 0,5 kg per il test di cessione di cui al D.Lgs 121/2020 per verifica della corrispondenza ai criteri di ammissibilità in discarica;
- ✓ n. 3 barattoli da 1 kg per l'analisi di caratterizzazione del rifiuto ai sensi della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Per ogni campione di fango da soil washing e sottovaglio saranno prelevati esclusivamente i campioni sopra elencati per la definizione del corretto canale di smaltimento presso impianti off-site.

Le analisi saranno eseguite da un laboratorio accreditato, con applicazione di metodiche già riportate in Tabella 4.5 per la caratterizzazione del materiale ai sensi del D.Lgs.152/06 e i seguenti set analitici da adottare per il test di cessione di verifica dell'idoneità del materiale al recupero (Tabella 4.7), per il test di cessione per la verifica della corrispondenza ai criteri di ammissibilità in discarica (Tabella 4.8) e per la caratterizzazione del rifiuto (Tabella 4.9).

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**Tabella 4.7: Set analitico adottato per il test di cessione per la verifica dell'idoneità al recupero ai sensi del DM 186/06 e s.m.i.**

Parametro	Metodo
Arsenico, Bario, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Vanadio, Zinco	UNI EN 12457-2:2004 + EPA 6020B:2014
pH	UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN ISO 10523:2012
Solfati, Nitrati, Fluoruri, Cloruri	UNI EN 12457+UNI EN ISO 10304-1
Cianuri	UNI EN 12457-2:2004 + APHA Standard methods 23rd 4500 CN F
Richiesta chimica di ossigeno (COD)	UNI EN 12457-2: 2004 + ISO 15705: 2002
Amianto	UNI EN 12457-2:2004+M.I.NA031
pH	UNI EN ISO 10523: 2012

**Tabella 4.8: Set analitico adottato per il test di cessione per la verifica dell'ammissibilità in discarica ai sensi del D.Lgs. 121/2020**

Parametro	Metodo
Antimonio, Arsenico, Bario, Cadmio, Cromo Totale, Mercurio, Molibdeno, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Zinco	UNI EN 12457-2:2004 + EPA 6020B:2014
Cloruri, Solfati, Fluoruri	UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN ISO 10304-1
Indice di fenolo	UNI EN 12457-2:2004 + APAT CNR IRSA 5070 Man 29 2003
Carbonio organico disciolto (DOC)	UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 1484:1999
Solidi totali disciolti	UNI EN 12457-2:2004 + UNI EN 15216: 2008

**Tabella 4.9: Set analitico adottato per la caratterizzazione del rifiuto**

Parametro	Metodo
pH	CNR IRSA 1 Q 64 Vol 3 1985 + APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003
Sostanza secca (Residuo a 105°C)	UNI EN 14346:2007 Met A
Residuo a 600 °C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984 Notiziario 2 2008
Densità'	CNR IRSA 3 Q 64 Vol 2 1984
Carbonio organico totale (TOC)	UNI EN 13137:2002 Met A
Infiammabilità	Regolamento 30 maggio 2008, n. 440/2008/CE
Bi (Bismuto)	UNI EN 15309:2007
Tipologia	MP-02343-IT 2020 Rev.1
Stato fisico	MP-02343-IT 2020 Rev.1
Colore	MP-02343-IT 2020 Rev.1
Odore	MP-02343-IT 2020 Rev.1
Bicarbonati	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 IV.2 + APAT CNR IRSA 2010 Man 29 2003
Carbonati	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 IV.2 + APAT CNR IRSA 2010 Man 29 2003
Idrossidi	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 IV.2 + APAT CNR IRSA 2010 Man 29 2003

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	Metodo
Fosforo totale (P)	UNI EN 13657:2004 + EPA 6010D 2018
Alluminio (Al), Antimonio (Sb), Argento (Ag), Arsenico (As), Bario (Ba), Berillio (Be), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cromo totale (Cr), Ferro (Fe), Manganese (Mn), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Nichel (Ni), Piombo (Pb), Potassio (K), Rame (Cu), Selenio (Se), Sodio (Na), Stagno (Sn), Tallio (Tl), Tellurio (Te), Vanadio (V), Zinco (Zn)	UNI EN 13657:2004 + EPA 6010D 2018
Cromo esavalente (CrVI)	UNI EN ISO 15192: 2021
Bromuri, Cloruri, Fluoruri, Nitrati, Solfati	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met IV.2
Benzene, Etilbenzene, Stirene, Toluene, (m+p)-Xilene, o-Xilene, Cumene, n-propilbenzene, 1,2,4-Trimetilbenzene, 1,3,5-Trimetilbenzene, Alfa-Metilstirene, 4-Ter-butiltoluene	EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018
Naftalene, Acenaftilene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene, Pirene, Benzo(a)antracene, Crisene, Benzo(b+j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(a)pirene, Indeno(1,2,3-cd)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Benzo(g,h,i)perilene, Dibenzo(a,e)pirene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,i)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Benzo(e)pirene	EPA 3550C 2007 + EPA 8270E 2018
Sommatoria idrocarburi policiclici aromatici (parere ISS 35653 del 6/8/10 All.1)	EPA 3550C 2007+ EPA 8270E 2018 + MADEP-VPH-18- 2.1 Rev 2.1 2018
1,1,1,2-Tetracloroetano, 1,1,1-Tricloroetano, 1,1,2,2-Tetracloroetano, 1,1,2-Tricloroetano, 1,1-Dicloroetano, 1,1-Dicloroetilene, 1,1-Dicloropropene, 1,2,3-Tricloropropano, 1,2-Dibromo-3-cloropropano, 1,2-Dibromoetano, 1,2-Dicloroetano, 1,2-Dicloropropano, 1,3-Dicloropropano, 2,2-Dicloropropano, 2,3-Dicloropropene, 2-Cloro-1,3-butadiene (Beta-cloroprene), 3-cloropropene, Benzilcloruro, Bis(2-cloroisopropil)etere, Bromoclorometano, Bromodichlorometano, Bromoformio, Bromometano, Cis-1,2-dicloroetilene, Cis-1,3-Dicloropropene, Cloroetano, Cloroformio, Clorometano, Cloruro di vinile, Dibromoclorometano, Dibromometano, Dichlorometano, Esaclorobutadiene, Esacloroetano, Tetracloroetilene, Tetraclorometano, Trans-1,2-dicloroetilene, Trans-1,3-Dicloropropene, Tricloroetilene, Triclorofluorometano, 1,3-Butadiene, 2-Esanone, 4-Vinilcicloesene, Acetone, Acetonitrile, Acrilonitrile, n-Butile acetato, Cicloesano, Etere etilico, Diisobutil chetone, Etanolo, Etile Acetato+Metiletilchetone, Isobutanol, Isobutile acetato, Isoprene, Isopropanolo, Isopropil acetato, Metile acetato, Metile acrilato, Metilmetacrilato, Metilisobutilchetone, Metilterbutiletere (MTBE), n-Butanolo, n-esano, n-Propile acetato, Sec-Butanolo, Ter-butanolo (alcol terbutilico), Acetato di vinile, Clorobenzene, 1,2-Diclorobenzene, 1,3-Diclorobenzene, 1,4-Diclorobenzene	EPA 5021A 2014 + EPA 8260D 2018
2-Butossietanolo, 2-Metossietile acetato	EPA 3585:1996 + EPA 8260D:2018
m-cloronitrobenzene, Nitrobenzene, 1,2-Dinitrobenzene, 1,3-Dinitrobenzene, 1,4-Dinitrobenzene, (o+p)-Cloronitrobenzene, p-nitrotoluene, o-Nitrotoluene, 2,3-Dinitrotoluene, 2,6-Dinitrotoluene, 2,4-Dicloronitrobenzene, 2,4-Dinitrotoluene, 2,5-Dicloronitrobenzene, 3,4-dicloronitrobenzene, 1,2,3-tricloro-4-nitrobenzene, Pentacloronitrobenzene, 1,2,4-Triclorobenzene, Fenolo, (m+p)-Cresolo, o-Cresolo, 2-Etilfenolo, 2-Fenilfenolo, 2,4-Dimetilfenolo, 2,4,6-Trimetilfenolo, 2-Clorofenolo, (3+4)-Clorofenolo, 2,4-Diclorofenolo, 3,5-Diclorofenolo, 2,6-Diclorofenolo, 2,4,6-Triclorofenolo, (2,3,4,6 + 2,3,4,5)-Tetraclorofenolo, Pentaclorofenolo e suoi sali ed esteri, 4-Cloro-3-Metilfenolo, Anilina, Difenilammina, o-anisidina, m-anisidina, p-anisidina, Benzidina, p-Cloroanilina, 5-cloro-2-metilanilina, 3,3'-Dimetossibenzidina, o-nitroanilina, m-nitroanilina, p-nitroanilina, 3-	EPA 3550C 2007 + EPA 8270E 2018

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	Metodo
Metilanilina, N,N-dietilanilina, 2,4-dicloroanilina, 2-cloro-5-nitroanilina, (o+p)-toluidina, 3,4-Dicloroanilina, 2,2',4,4'-Tetrabromodifenil etero, 3,3',4,4'-Tetrabromodifenil etero, 2,2',4,5'-Tetrabromodifenil etero, 2,3',4,4'-Tetrabromodifenil etero, 2,3',4',6-Tetrabromodifenil etero, 2,2',3,4,4'-Pentabromodifenil etero, 2,2',4,4',5-Pentabromodifenil etero, 2,2',4,4',6-Pentabromodifenil etero, 2,3',4,4',6-Pentabromodifenil etero, 3,3',4,4',5-Pentabromodifenil etero, 2,2',3,4,4',5-Esabromodifenil etero, 2,2',4,4',5,5'-Esabromodifenil etero, 2,2',4,4',5,6'-Esabromodifenil etero, 2,3,3',4,4',5-Esabromodifenil etero, 2,2',3,4,4',5,6-Eptabromodifenil etero, 2,2',3,4,4',6,6'-Eptabromodifenil etero, 2,3,3',4,4',5,6-Eptabromodifenil etero, Decabromodifenil etero, Sommatoria polibromodifenil eteri, Dicofol, 4,4'-DDT, Aldrin, alfa-Endosulfan, Alfa-esaclorocicloesano (Alfa-HCH), Beta-Endosulfan, Beta-esaclorocicloesano (Beta-HCH), Clordano, Clordecone, Delta-esaclorocicloesano (Delta-HCH), Dieldrin, Endosulfan, Sommatoria Endosulfan, Endrin, Gamma-esaclorocicloesano (Lindano), Eptacloro, Esabromobifenile, Esaclorobenzene, Mirex, Pentaclorobenzene, Toxafene, Esabromociclododecano, 2,4,4'-TrCB (PCB-28)+2,4',5-TrCB (PCB-31), 2,2',5,5'-TeCB (PCB-52), 2,2',3,5',6-PeCB (PCB-95), 2,2',4,4',5-PeCB (PCB-99), 2,2',4,5,5'-PeCB (PCB-101), 2,3,3',4',6-PeCB (PCB-110), 2,2',3,3',4,4'-HxCB (PCB-128), 2,2',3,4,4',5'-HxCB (PCB-138), 2,2',3,4',5,5'-HxCB (PCB-146), 2,2',3,4',5,6'-HxCB (PCB-149), 2,2',3,5,5',6'-HxCB (PCB-151), 2,2',4,4',5,5'-HxCB (PCB-153), 2,2',3,3',4,4',5-HpCB (PCB-170), 2,2',3,3',4',5,6-HpCB (PCB-177), 2,2',3,4,4',5,5'-HpCB (PCB-180), 2,2',3,4,4',5',6-HpCB (PCB-183), 2,2',3,4',5,5',6-HpCB (PCB-187), Sommatoria policlorobifenili (PCB)	
Policlorobifenili (PCB), Policlorotrifenili (PCT), Policloronaftaleni totali (PCN)	EPA 3550C 2007 + EPA 8082A 2007
2,3,7,8-TCDD, 1,2,3,7,8-PeCDD, 1,2,3,4,7,8-HxCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD, 2,3,7,8-TCDF, 1,2,3,7,8-PeCDF, 2,3,4,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,7,8-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,7,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF, Equivalente di tossicità WHO-TEQ (2006)	EPA 8280B 2007
Cloroalcani C10÷C13	MP-02511-IT 2020 Rev.1.0
Idrocarburi Leggeri C<=12 (C5÷C12)	EPA 5021A 2014 + EPA 8015C 2007
Idrocarburi Pesanti C>12 (C12÷C40), Oli minerali (C10-C40)	UNI EN 14039:2005
Idrocarburi (sommatoria idrocarburi leggeri C<12 e idrocarburi pesanti C>12)	EPA 5021A:2014 + EPA 8015C:2007 + UNI EN 14039:2005
Idrocarburi Alifatici C5÷C8, Dipentene	MADEP-VPH-18-2.1 Rev 2.1 2018
Contenuto di amianto (SEM)	DM 06/09/1994 GU n° 288 10/12/1994 All 1 Met B
Acido perfluorottansolfonico (PFOS), N-etil-eptadecafluoro ottan sulfonamide (N-Et-FOSA), N-etil-eptadecafluoro ottan sulfonamide etanolo (N-Et-FOSE), N-metil-eptadecafluoro ottan sulfonamide (N-Me-FOSA), N-metil-eptadecafluoro ottan sulfonamide etanolo (N-Me-FOSE), Somma PFOS e suoi derivati (secondo Reg. (UE) 2019/1021)	ASTM D7968-17a

#### 4.2.4.8 Carico e trasporto finale dei materiali a valle dei trattamenti

Una volta completata la fase di caratterizzazione del materiale trattato, i volumi di materiale conformi ai limiti di Tabella 2.1 saranno caricati su automezzi e conferiti presso le aree di riutilizzo che saranno individuate dalla D.L. all'interno dell'ARIN.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

I volumi non conformi, saranno caricati sui mezzi per il conferimento presso impianti di smaltimento/recupero off-site.

In entrambi i casi la fase di carico dei materiali avverrà tramite l'ausilio di pale meccaniche. I cassoni per il trasporto dei materiali off-site saranno di tipo telonato, adatti al trasporto di terreni contaminati.

Il carico dei materiali avverrà per fasi temporali diverse in modo da liberare tutte le baie di stoccaggio progressivamente e renderle disponibili per ospitare nuovo materiale escavato.

### 4.2.4.9 Tempistiche di scavo previste

La produttività dello scavo sarà regolata in base alle capacità delle aree di deposito e ai quantitativi giornalieri di rifiuti e di materiale che potranno essere conferiti a destinazione.

Quale tasso di scavo si stima una produttività oraria pari a:

- ✓ circa 500 m<sup>3</sup>/giorno nella fascia di escavo a terra della Microcella Nord, operando con una squadra di lavoro composta da n.1 escavatore, 1 autocarro da 15 m<sup>3</sup> e una pala di carico a supporto della movimentazione del materiale escavato durante il periodo di viaggio dell'autocarro dal cantiere alle baie di deposito e ritorno. Per soddisfare la produttività attesa si stima un numero di viaggi di automezzi per il trasporto dei materiali dal cantiere alle baie di stoccaggio pari a 34 al giorno;
- ✓ circa 1.000 m<sup>3</sup>/giorno nella fascia di escavo a terra della Zona Arenile Sud, operando con 2 squadre di lavoro composte ciascuna da n.1 escavatore, 1 autocarro da 15 m<sup>3</sup> e una pala di carico a supporto della movimentazione del materiale escavato durante il periodo di viaggio dell'autocarro dal cantiere alle baie di deposito e ritorno. Per soddisfare la produttività attesa si stima un numero di viaggi di automezzi per il trasporto dei materiali dal cantiere alle baie di stoccaggio pari a 68 al giorno (34 viaggi al giorno per ciascun autocarro);
- ✓ circa 1.500 m<sup>3</sup>/giorno nelle fasce di escavo a mare, operando con n.1 motopontone dotato di escavatore con benna ambientale da 12 m<sup>3</sup> e n.1 betta a tramoggia da 200 m<sup>3</sup> per il trasporto del materiale presso il deposito sulla colmata. Per soddisfare la produttività attesa si stima un numero di viaggi della betta di appoggio per il trasporto dei materiali dal cantiere al pontile sud pari a 8 al giorno.

Ciascuna squadra a terra opererà per 8 ore/giorno per circa 22 giorni al mese, mentre la squadra che opererà a mare sarà composta da maestranze che saranno organizzate su n.2 turni da 8 ore/giorno (per un totale di 16 ore/giorno di lavoro) per circa 22 giorni al mese.

Considerando le volumetrie totali dei materiali da escavare nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud suddivisibili in 30% nelle aree a terra e 70% nelle aree a mare, si stimano le tempistiche di scavo riportate nella tabella seguente.

**Tabella 4.10: Tempistiche di scavo**

Zona	Tipologia di scavo	Volume di scavo (m <sup>3</sup> in banco)	Tempi di scavo (giorni)
<b>Microcella Nord</b>	Scavo riporti di colmata a nord del Pontile Nord	19.600	43
	Escavo sedimenti naturali a terra (30% del totale)	17.910	39
	Escavo sedimenti naturali a mare (70% del totale)	41.790	32
	Volumi totali	79.300	
<b>Zona Arenile Sud</b>	Escavo sedimenti naturali a terra (30% del totale)	42.000	48
	Escavo sedimenti naturali a mare (70% del totale)	98.000	75
	Volumi totali	140.000	

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 4.2.5 Fase 5: Attività di dragaggio

Le attività di escavo a mare saranno realizzate insieme alle attività di dragaggio che, sinteticamente, comprenderanno un dragaggio per la formazione del piano di posa degli scanni di imbasamento dei pennelli e della barriera soffolta nella Microcella Nord e un dragaggio a tergo della futura barriera soffolta per sostituzione del volume dinamico e/o sostituzione arenili emersi esistenti (nella zona arenile sud).

La descrizione di dettaglio delle attività di dragaggio è riportata nell'elaborato **2021E022INV-01-D-02-MA-DE-DEM-05-00**.

In sintesi, il dragaggio sarà eseguito attraverso l'impiego di draga meccanica equipaggiata con benna bivalve meccanica a chiusura ermetica da 12 mc, montata su motopontone. Il materiale dragato e caricato su una betta di appoggio sarà poi trasferito su apposito mezzo terrestre per il successivo trasporto e scarico in area individuata all'interno del cantiere sulla colmata.

In generale, l'intervento di dragaggio può essere suddiviso in tre macrofasi: escavo, trasporto e deposito. Tali macrofasi, operativamente, si possono schematizzare nelle seguenti fasi esecutive adottate per l'intervento in esame:

- ✓ navigazione e posizionamento della draga meccanica a benna mordente nell'area di prelievo;
- ✓ esecuzione delle operazioni di dragaggio meccanico ambientale consistenti nell'escavo e successivo sollevamento del materiale mediante benna mordente bivalve a chiusura ermetica;
- ✓ sversamento del materiale dragato contenuto nella benna su betta operante in affiancamento alla draga;
- ✓ ritorno al sito di dragaggio: tutto il materiale presente sulla betta di appoggio viene caricato sul mezzo terrestre e la stessa betta ritorna a vuoto sul sito di prelievo dove ricomincia il ciclo di dragaggio.

Per il sito in oggetto è stata prevista l'esecuzione di un dragaggio di tipo ambientale che, grazie alla tecnologia impiegata, consente di mitigare gli effetti sull'ecosistema, in quanto permette:

- ✓ la massima riduzione della risospensione dei sedimenti e della torbidità;
- ✓ la minimizzazione delle perdite di materiale (spill);
- ✓ l'ottimizzazione della densità del materiale dragato, con conseguente minimizzazione della quantità d'acqua rimossa insieme al sedimento;
- ✓ l'elevata precisione nel posizionamento e accuratezza del profilo di scavo.

La draga meccanica di tipo ambientale che si prevede di impiegare sarà equipaggiata con apposita strumentazione che garantisce:

- ✓ il controllo in tempo reale dell'efficacia delle modalità esecutive e dell'evoluzione dell'intervento;
- ✓ la regolazione del grado di riempimento della benna;
- ✓ l'adozione di una velocità adeguata di lavoro;
- ✓ la chiusura ermetica della benna.

Il trasporto del materiale dragato con betta dovrà avvenire adottando tutti gli accorgimenti finalizzati a prevenire e/o ridurre al minimo la perdita di materiale durante il tragitto attraverso il controllo, anche automatizzato, dell'effettiva chiusura delle porte di scarico, la copertura del carico, la limitazione del grado di riempimento grazie all'adozione in un adeguato franco di sicurezza.

Le operazioni di dragaggio ambientale meccanico dovranno essere eseguite previo confinamento dell'area di intervento con barriere antitorbidità e prevedendo rilievi periodici delle aree stesse mediante sistema Multibeam.

I tassi di produzione massimo (Pm) e medio (Po) per la draga meccanica da impiegarsi per l'esecuzione del dragaggio di progetto sono stati stimati pari a:

Pm = 108,00 mc/h

Po = 91,80 mc/h

#### 4.2.6 Fase 6: Attività per la realizzazione delle opere di difesa della LdR progettuale

A valle delle operazioni di escavo e dragaggio saranno realizzate le opere rigide di protezione della LdR comprendenti, la cui descrizione di dettaglio è riportata nell'elaborato **2021E014INV-01-D-02-OM-RS-REL-01-00**.

In sintesi, gli interventi previsti per il ripristino del tratto di litorale di Bagnoli coprono un'estensione di litorale di circa 2.0 km e consistono nella realizzazione delle seguenti opere:

Opere di stabilizzazione trasversali (pennelli ortogonali alla linea di riva):

- ✓ Pennello di chiusura "Nord": coincidente con l'armatura di foce in sinistra idraulica dello scolmatore, assume la duplice funzione di assicurare officiosità idraulica alla suddetta foce nonché garantire la separazione fisica dell'area oggetto di realizzazione della nuova linea di riva mediante ripascimento con sedimenti privi di contaminanti dalle aree esterne caratterizzate da sedimenti nativi (contaminati); esso coincide quindi con la conterminazione laterale fisica settentrionale dell'area di realizzazione della nuova linea di riva;
- ✓ Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile): sfruttando la presenza del pontile Nord esistente, quest'opera trasversale consente la parzializzazione dell'area di intervento misto, suddividendola in due celle con conseguente incremento delle condizioni di stabilità (in particolar modo della cella più piccola, situata a nord del setto intermedio);
- ✓ Pennello di chiusura "Sud": radicato in corrispondenza della testata settentrionale della storica "scogliera a mosaico", assume la medesima funzione di conterminazione del pennello di chiusura "Nord", garantendo adeguate condizioni di stabilità al ripascimento e il necessario isolamento rispetto alle aree esterne; esso coincide quindi con la delimitazione laterale fisica meridionale dell'area di realizzazione della nuova linea di riva.

Opere di stabilizzazione longitudinali (scogliera parallela alla linea di riva):

- ✓ Scogliera Sommersa: al fine di garantire, nell'area oggetto di realizzazione della nuova linea di riva (i.e. fra i due pennelli di chiusura), le medesime condizioni di stabilità riconosciute nella zona meridionale già allo stato attuale, è stato necessario realizzare una barriera frangiflutti longitudinale, interamente sommersa, la cui sezione è stata ottimizzata mediante modellistica numerica.

Nello specifico, previa approfondita caratterizzazione meteomarina del paraggio, è stato possibile verificare sotto quali condizioni la linea di riva "PRARU" potesse essere resa stabile sul lungo termine all'interno dell'area di intervento come sopra determinata; tali condizioni, scientificamente individuate, risultano garantite grazie alla previsione progettuale di una scogliera sommersa, imbasata sulla batimetrica media -5,00 m. s.l.m. e con sviluppo parallelo alla nuova linea di riva, avente berma orizzontale superiore di larghezza pari a 20 m e sommergenza pari a -1,50 m s.l.m.m.; tale scogliera garantisce condizioni tendenziali di stabilità del litorale a tergo del tutto comparabili con le condizioni rilevate nel tratto riconosciuto stabile a sud (ove infatti non è prevista alcuna opera rigida di stabilizzazione).

I Pennelli di chiusura Nord e Sud avranno una lunghezza pari a circa 100 m con berma superiore posta a quota 2.50 m s.l.m.m., e sommersi per un ulteriore tratto variabile fino a raccordarsi alla barriera sommersa. Tale tratto sommerso avrà la berma superiore posta a quota -0.5m s.l.m.m; i raccordi tra la parte emersa e la parte sommersa avranno pendenza 2:1.

Entrambi i pennelli saranno realizzati con massi naturali di III categoria (3-7 tonnellate), con uno stato filtro in massi naturali di I categoria(50-1500kg) ed infine imbasati su uno strato di tout venant (50-500kg). Essi avranno il compito di intercettare ed arrestare il trasporto solido per tutta la lunghezza degli stessi fino alla barriera sommersa, oltre che comportare una riduzione della velocità della corrente, tale da diminuire il trasporto solido in sospensione.

Il Pennello o Setto "Intermedio" è stato previsto sfruttando considerando che il mantenimento del Pontile Nord (al contrario degli altri pontili di cui si prevede la demolizione) ha permesso di inserire un elemento stabilizzatore all'area di ripascimento senza alcun impatto paesaggistico, in quanto collocato al di sotto dell'impalcato del pontile stesso. Vista l'impossibilità di estendere le operazioni di rimozione della colmata (e successivi dragaggi/escavi degli arenili pre-esistenti) alle aree sottostanti il pontile, che risulta realizzato su una fitta rete di pali in c.a., interconnessi e controventati fra loro anche trasversalmente, saranno realizzati due setti paralleli in adiacenza ai due lati del pontile stesso (interasse costante pari a 10 m), che consentiranno l'isolamento del sedime ivi presente. In corrispondenza della colmata tali setti saranno realizzati mediante diaframmi/paratie in cemento armato, che saranno poi sostituiti a mare da due palancoati a partire dalla fine della colmata e fino al raggiungimento dei fondali immediatamente antistanti la scogliera sommersa; in questo modo si ottiene il doppio effetto di "isolare" il sedime

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

di giacitura dei pali del pontile evitando la necessità di rimuoverlo nonché evitando la necessità di costruzione delle opere interferenti (scogliera).

La Scogliera Sommersa, di estensione pari a circa 1200m e posta ad una distanza dalla nuova linea di riva pari a 142.5 m, sarà realizzata con massi di III categoria (3-7 tonnellate), con uno stato filtro in massi naturali di I categoria(50-1500kg) ed infine imbasata su uno strato di tout venant (50-500kg).

Nell'ottica di un'economia circolare che massimizzi il riuso di risorse non rinnovabili, è stato previsto il salpamento di tutte le scogliere radenti esistenti e la ricollocazione (previo adeguato trattamento di lavaggio ove necessario) dei relativi elementi lapidei in seno alla scogliera sommersa.

### 4.2.7 Fase 7: Attività di ripascimento

Terminate l'installazione delle opere rigide potrà essere realizzato il ripascimento con materiale caratterizzato da sabbie conformi alle CSC di Tab.1 Col.A del D.Lgs.152/06 e ai Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio e con  $D_{50} = 0,40$  mm necessario per la stabilità delle aree attive, esposte al moto ondoso.

Prima dell'esecuzione del ripascimento, sarà posato un geotessile di separazione tra il materiale in posto e il materiale di ripascimento stesso.

La descrizione di dettaglio della progettazione delle attività di ripascimento è riportata nell'elaborato **2021E014INV-01-D-02-RI-RS-REL-01-00**.

In generale, la progettazione è stata sviluppata in maniera tale da ottenere una spiaggia che funga anche da ricoprimento in sicurezza degli arenili (emersi e sommersi) originari, al fine di permettere la balneabilità in piena sicurezza della cittadinanza. Nel dettaglio:

- ✓ per la corretta sequenza concettuale di progettazione del ripascimento la superficie iniziale è stata resa coincidente con lo stato di fatto degli arenili emersi e sommersi, a valle dei salpamenti di tutte le scogliere esistenti nonché della totale rimozione della colmata (parte satura e parte insatura);
- ✓ è stata quindi considerata la scogliera sommersa e la posizione della nuova linea di riva tratta dal layout-plan di progetto; la parte sommersa del ripascimento è stata definita dal profilo di DEAN (connesso con un  $D_{50}$  progettuale pari a 0,40 mm); la parte emersa è stata definita da una pendenza pari a 1:20 fino al raggiungimento della quota berma pari a +4,00 m s.l.m.m. (area nord colmata) e + 3,50 m s.l.m.m. (area sud colmata), che rimane costante verso monte;
- ✓ attraverso l'applicazione di apposita modellistica numerica monodimensionale (elaborato **2021E022INV-01-D-00-GE-RS-REL-12-00**) è stata valutata la modifica del profilo trasversale di sabbia, principalmente per effetto del trasporto cross-shore, in diverse condizioni di mareggiata e di livello del mare.

In particolare, si è fatto riferimento a mareggiate relative a tempi di ritorno pari a 1, 5, 10, 50 e 100 anni, anche tra loro combinate, e a condizioni di livello variabili, comprese tra il livello minimo di marea astronomica ed il livello estremo, incrementato del sovralzato previsto a causa dei cambiamenti climatici. Tale applicazione modellistica ha consentito di definire l'inviluppo dei massimi scavi ("linea degli inviluppi"), garantendo così l'individuazione del Comparto Dinamico, ovvero di quella parte del volume di spiaggia emersa e sommersa che può essere movimentato nelle condizioni più gravose durante la vita utile dell'intervento;

- ✓ ai fini di ottenere delle condizioni che permettano il calcolo di un rischio sanitario accettabile per i possibili fruitori della spiaggia (sulla base dei modelli ed elaborazioni riportate nell'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01**), è stato verificato ove la linea degli inviluppi intercetta il fondale originario (sedimenti nativi) ad una quota inferiore a 100 cm (minima quota che permette le adeguate condizioni di sicurezza). In questi tratti, è stato previsto il dragaggio dei sedimenti nativi fino a ottenere le condizioni di sicurezza volute;
- ✓ nelle aree in cui è risultato necessario provvedere al dragaggio è stato considerato un ulteriore off-set di 50 cm per garantire il risultato tenendo conto del c.d. "over-dredging"; la superficie così ottenuta è stata infine regolarizzata e semplificata in pianta al fine di fornire una superficie di dragaggio tecnicamente regolare ed eseguibile.

L'approccio sopra descritto ha consentito di definire il progetto di dragaggio ed escavo dei sedimi originari sommersi ed emersi in maniera tale che il successivo ripascimento presenti, in ogni punto e in ogni momento della propria vita utile, uno spessore (potenza dello strato di sabbia di prestito priva di contaminanti) tale da garantire i fruitori del nuovo litorale nei confronti dei rischi connessi alle caratteristiche di contaminazione dei sedimenti originari.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Il materiale di prestito per la realizzazione sia della nuova linea di riva (area di ripascimento propriamente detto, ricompresa fra i due pennelli di chiusura – Microcella Nord e Macrocella) che per la ricostruzione del litorale con mantenimento dell'attuale giacitura della linea di riva (Zona Arenile Sud) sarà pari a circa 1.400.000 m<sup>3</sup> di sabbia e dovrà soddisfare le seguenti caratteristiche:

- ✓ dal punto di vista granulometrico, si prevede un D50 = 0,40 mm (sabbia media) e comunque non inferiore a detto valore, da garantirsi quantomeno nel Comparto Dinamico e nella zona della spiaggia attiva per tutto lo spessore del ripascimento;
- ✓ dal punto di vista analitico, la sabbia dovrà rispettare i limiti di Tab. 1 Colonna "A" del D.Lgs. 152/06 (limiti per "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale"), e, per alcuni parametri (Arsenico, Berillio, Cobalto, Piombo, Organostannici, Vanadio e Zinco), i Valori di Fondo definiti per il Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Bagnoli. Per quanto concerne i parametri ecotossicologici previsti dal DM 173/2016 (e non dal D.Lgs 152/06) sarà necessario che l'Appaltatore esegua specifiche analisi sulle fonti di approvvigionamento effettivamente selezionate.

### 4.3 DETTAGLI DELLA GESTIONE DELLE MATERIE

Per la valutazione della gestione dei diversi flussi di materiali derivanti dagli scavi sono stati considerati gli esiti delle indagini ambientali già eseguite nelle diverse zone di intervento.

I materiali di scavo sono inquadrabili all'interno della disciplina del DPR 120/2017 e sono definibili come "terre e rocce da scavo" ai sensi dell'art. 2 comma c del DPR 120/2017, ovvero "il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera, tra le quali: scavi in genere (sbancamento, fondazioni, trincee); perforazione, trivellazione, palificazione, consolidamento; opere infrastrutturali (gallerie, strade); rimozione e livellamento di opere in terra. Le terre e rocce da scavo possono contenere anche i seguenti materiali: calcestruzzo, bentonite, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato, purché le terre e rocce contenenti tali materiali non presentino concentrazioni di inquinanti superiori ai limiti di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per la specifica destinazione d'uso".

Ai fini del riutilizzo dei materiali è necessario che siano rispettati i requisiti di qualità ambientale che, per il sito in oggetto, sono quelli indicati al Titolo V "TERRE E ROCCE DA SCAVO NEI SITI OGGETTO DI BONIFICA", per i quali l'art. 26 specifica che "1. L'utilizzo delle terre e rocce prodotte dalle attività di scavo di cui all'articolo 25 all'interno di un sito oggetto di bonifica è sempre consentito a condizione che sia garantita la conformità alle concentrazioni soglia di contaminazione per la specifica destinazione d'uso o ai valori di fondo naturale.[...]"

Pertanto, i materiali oggetto di escavo per la creazione della LdR progettuale dovranno essere analizzati al fine di verificare la possibilità di riutilizzarli all'interno del sito, tramite il confronto tra le concentrazioni misurate nelle campagne di indagine eseguite e le CSC di Tab. 1 colonne A e B del D.Lgs.152/06 o i Limiti ISS per i parametri non normati dal D.Lgs.152/06 o, se superiori, i Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio.

Inoltre, poiché la porzione di colmata inserita nella Microcella Nord è costituita da riporti, in conformità con la prassi seguita negli altri progetti INVITALIA dell'ARIN Bagnoli approvati, è necessario anche verificare che le concentrazioni dei contaminanti analizzati negli eluati dei test di cessione eseguiti rispettino i limiti del DM 5 febbraio 1998 o, se superiori, i Valori di fondo naturale approvati in sede di segreteria tecnica al MATTM nell'ambito dell'iter di autorizzazione dei progetti di Bagnoli Futura (parametri Arsenico 380 µg/l, Berillio: 9 µg/l, Ferro: 3106 µg/l, Manganese: 1104 µg/l e Piombo:19 µg/l) e il valore di fondo dei Fluoruri (4.000 µg/l), riportato nell'Analisi di rischio sito-specifica rev.3 del dicembre 2019 approvata in CdS di febbraio 2020.

Per i materiali con contaminanti in concentrazione eccedenti le CSC di Tab. 1 colonna B / Limiti ISS, non riutilizzabili, saranno valutati i possibili flussi di gestione sulla base della conformità degli eluati ai limiti di ammissibilità in discarica per rifiuti inerti, non pericolosi e pericolosi indicati nel D.Lgs. n.121 del 3 settembre 2020 oppure, per un eventuale recupero, ai limiti del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006.

A livello preliminare è stata eseguita una valutazione di massima dei profili di gestione sulla base dei risultati delle indagini eseguite sugli Arenili Nord e Sud nel 2021 e 2023, i cui dettagli sono riportati nell'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-01-00**, delle analisi eseguite nel 2017 sui sedimenti marini nell'ambito del progetto ABBAcO e nel periodo 2017-2021 sui sedimenti sottostanti la colmata.

Nello specifico, sulla base dei risultati delle analisi di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs.152/06 e dei test di cessione eseguiti (quest'ultimi sono stati eseguiti esclusivamente sui sedimenti degli arenili e sottostanti la colmata) è stato possibile identificare:

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- ✓ i campioni con concentrazione dei contaminanti inferiori alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo;
- ✓ i campioni con concentrazione dei contaminanti superiore alle CSC Tab.1 Col. A e/o Valori di fondo ma inferiore alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS;
- ✓ i campioni con concentrazione dei contaminanti superiori alle CSC Tab.1 Col. B.

In questo caso i campioni sono stati valutati in funzione della conformità degli eluati dei test di cessione con i limiti di ammissibilità in discarica e per un eventuale recupero. Si precisa che tale valutazione è stata possibile esclusivamente sulla base delle indagini eseguite sui sedimenti degli arenili e della colmata in quanto per i sedimenti marini non sono disponibili test di cessione.

Si precisa inoltre che, non essendo disponibili analisi specifiche di classificazione del rifiuto ai sensi dell'All D parte IV del D.Lgs.152/06, il destino individuato è da considerarsi "indicativo" e sarà verificato in fase di caratterizzazione del rifiuto in cumulo a seguito della identificazione del codice E.E.R. e della conferma dei requisiti di ammissibilità in discarica sopracitati.

L'analisi suddetta è stata eseguita sui campioni appartenenti ai sondaggi degli arenili ubicati all'interno dell'area di escavo a terra e prelevati entro i primi 5 m da p.c. (rappresentativi quindi degli spessori di escavo che risulteranno al massimo pari a circa 4 m) e sui campioni di sedimenti marini prelevati in prossimità della linea di riva. Le tabelle seguenti sintetizzano i sondaggi e i campioni considerati nella valutazione della gestione dei materiali di scavo rispettivamente della Microcella Nord e dell'Arenile Sud.

**Tabella 4.11: Sondaggi e campioni considerati nella Microcella Nord per la valutazione della gestione dei materiali di scavo**

Microcella Nord					
Sondaggio	Matrice indagata	Anno indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	
S6	Arenile Nord	2021	0,30	1,00	
S6	Arenile Nord	2021	1,00	3,00	
S6	Arenile Nord	2021	3,00	5,00	
S7	Arenile Nord	2021	0,30	1,00	
S7	Arenile Nord	2021	1,00	3,00	
S7	Arenile Nord	2021	3,00	5,00	
S4	Arenile Nord	2021	0,30	1,00	
S4	Arenile Nord	2021	1,00	3,00	
S4	Arenile Nord	2021	3,00	5,00	
S5	Arenile Nord	2021	0,30	1,00	
S5	Arenile Nord	2021	1,00	3,00	
S5	Arenile Nord	2021	3,00	5,00	
SUT3	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
SUT3	Arenile Nord	2023	1,00	2,00	
SUT3	Arenile Nord	2023	2,00	5,00	
S7	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	
S7	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
S5/6-PZ(ARN)4	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	
S5/6-PZ(ARN)4	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
S5/6-PZ(ARN)4	Arenile Nord	2023	1,00	2,00	
S5/6-PZ(ARN)4	Arenile Nord	2023	2,00	5,00	
S6	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	
S6	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
S6/7	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	
S6/7	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
S6/7	Arenile Nord	2023	1,00	1,90	
S6/7	Arenile Nord	2023	1,90	5,00	
S4/5-PZ(ARN)2	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Microcella Nord					
Sondaggio	Matrice indagata	Anno indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	
S4/5-PZ(ARN)2	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
S4/5-PZ(ARN)2	Arenile Nord	2023	1,00	2,10	
S4/5-PZ(ARN)2	Arenile Nord	2023	2,10	5,00	
S5	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	
S5	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
S4	Arenile Nord	2023	0,00	0,10	
S4	Arenile Nord	2023	0,00	1,00	
7/bis	Sed marini nella microcella N	2017	0,00	0,50	
11/bis	Sed marini nella microcella N	2017	0,00	0,50	
11/bis	Sed marini nella microcella N	2017	0,50	1,00	
11/bis	Sed marini nella microcella N	2017	1,00	1,50	
11/bis	Sed marini nella microcella N	2017	1,50	2,00	
14	Sed marini nella microcella N	2017	0,00	0,50	
14	Sed marini nella microcella N	2017	0,50	1,00	
14	Sed marini nella microcella N	2017	1,00	1,50	
14	Sed marini nella microcella N	2017	1,50	2,00	
15	Sed marini nella microcella N	2017	0,00	0,50	
15	Sed marini nella microcella N	2017	0,50	1,00	
15	Sed marini nella microcella N	2017	1,00	1,50	
15	Sed marini nella microcella N	2017	1,50	2,00	
20	Sed marini nella microcella N	2017	0,00	0,50	
20	Sed marini nella microcella N	2017	0,50	1,00	
20	Sed marini nella microcella N	2017	1,00	1,50	
20	Sed marini nella microcella N	2017	1,50	2,00	

Tabella 4.12: Sondaggi e campioni considerati nella Zona Arenile Sud per la valutazione della gestione dei materiali di scavo

Zona Arenile Sud					
Sondaggio	Matrice indagata	Anno indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A	
S3	Arenile Sud	2021	0,30	1,00	
S3	Arenile Sud	2021	1,00	3,00	
S3	Arenile Sud	2021	3,00	5,00	
S8	Arenile Sud	2021	0,30	1,00	
S8	Arenile Sud	2021	1,00	3,00	
S8	Arenile Sud	2021	3,00	5,00	
S4	Arenile Sud	2021	0,30	1,00	
S4	Arenile Sud	2021	1,00	3,00	
S4	Arenile Sud	2021	3,00	5,00	
S5	Arenile Sud	2021	0,30	1,00	
S5	Arenile Sud	2021	1,00	3,00	
S5	Arenile Sud	2021	3,00	5,00	
S6	Arenile Sud	2021	0,30	1,00	
S6	Arenile Sud	2021	1,00	3,00	
S6	Arenile Sud	2021	3,00	5,00	
S4	Arenile Sud	2023	0,00	1,00	
S5	Arenile Sud	2023	0,00	1,00	

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Zona Arenile Sud				
Sondaggio	Matrice indagata	Anno indagine	Quota prelievo campione (m da p.c.) DA	Quota prelievo campione (m da p.c.) A
S6-PZ(ARS)5	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S3-PZ(ARS)2	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S8-PZ(ARS)1	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S2/8	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S2/8	Arenile Sud	2023	1,00	1,60
S2/8	Arenile Sud	2023	1,60	5,00
S3/4	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S3/4	Arenile Sud	2023	1,00	2,00
S3/4	Arenile Sud	2023	2,00	5,00
S4	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S5	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S6-PZ(ARS)5	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S4/5	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S4/5	Arenile Sud	2023	1,00	1,80
S4/5	Arenile Sud	2023	1,80	5,00
S5/6	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S5/6	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S5/6	Arenile Sud	2023	1,00	1,80
S5/6	Arenile Sud	2023	1,80	5,00
S6/10-PZ(ARS)4	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S6/10-PZ(ARS)4	Arenile Sud	2023	0,00	1,00
S6/10-PZ(ARS)4	Arenile Sud	2023	1,00	1,70
S6/10-PZ(ARS)4	Arenile Sud	2023	1,70	5,00
S3/4	Arenile Sud	2023	0,00	0,30
S3/4	Arenile Sud	2023	0,30	1,00
S2/8	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S3-PZ(ARS)2	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S8-PZ(ARS)1	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S3/4	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
S4/5	Arenile Sud	2023	0,00	0,10
71	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50
72	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50
82	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50
83	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50
91	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50
92	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50
95	Sed marini nella Zona Sud	2017	0,00	0,50

Oltre alle valutazioni suddette, è stata considerata anche la porzione di colmata posta a nord del Pontile Nord che sarà rimossa nell'ambito delle attività da eseguirsi nella Microcella Nord. La valutazione dei quantitativi complessivi di scavo di rimozione e di gestione dei materiali della colmata, sia in termini complessivi, sia discretizzati nelle aree a nord e a sud del Pontile Nord è riportata in **Allegato 1**.

Sulla base dei risultati delle analisi eseguite sui campioni suddetti è stato possibile ricavare le seguenti informazioni:

- ✓ Per i sedimenti naturali della Microcella Nord:
  - il 15% dei campioni analizzati è risultato conforme alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo;
  - il 31% dei campioni è risultato conforme alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS;

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

- il 54% dei campioni è risultato non conforme alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS. Nello specifico:
  - il 17% è risultato conferibile in discarica per rifiuti non pericolosi (eluati dei test di cessione conformi alla Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020);
  - il 37% è risultato conferibile a recupero (eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006).
- ✓ Per i riporti della porzione di colmata a nord del Pontile Nord ed appartenente alla Microcella Nord:
  - il 16% del volume è risultato conforme alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo;
  - il 32% del volume è risultato conforme alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo;
  - il 53% del volume è risultato non conforme alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS. Nello specifico:
    - il 43% è risultato conferibile in discarica per rifiuti non pericolosi (eluati dei test di cessione conformi alla Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020);
    - il 9% è risultato conferibile a recupero (eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006).
- ✓ Per l'Arenile Sud:
  - nessun campione è risultato conforme alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo
  - il 15% dei campioni è risultato conforme alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS;
  - l'85% dei campioni è risultato non conforme alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS. Nello specifico:
    - il 27 % è risultato conferibile in discarica per rifiuti non pericolosi (eluati dei test di cessione conformi alla Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020);
    - il 58% è risultato conferibile a recupero (eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006).

In maniera preliminare, pertanto, si stimano i quantitativi di materiale da gestire negli scavi riportati nella tabella seguente.

**Tabella 4.13: Gestione dei volumi di sedimenti naturali da scavare nella Microcella Nord**

Microcella Nord			
Tipologia di Gestione	Caratteristiche del materiale	Volume stimato (m3)	Note
Materiale con possibile riutilizzo in sito	Materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo	8.955	15% del volume totale di scavo (59.700 m <sup>3</sup> )
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito nelle aree con destinazione d'uso industriale – commerciale	Materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS	18.507	31% del volume totale di scavo (59.700 m <sup>3</sup> )
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	Materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020	10.149	17% del volume totale di scavo (59.700 m <sup>3</sup> )
Materiale da inviare a recupero	Materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006	22.089	37% del volume totale di scavo (59.700 m <sup>3</sup> )

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

**Tabella 4.14: Gestione dei volumi di riporti della colmata da scavare nella Microcella Nord**

Microcella Nord			
Tipologia di Gestione	Caratteristiche del materiale	Volume stimato (m3)	Note
Materiale con possibile riutilizzo in sito	Materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo e con eluati del test di cessione conformi ai limiti del DM05/02/98 e/o Valori di fondo	3.100	16% del volume totale di scavo (19.600 m <sup>3</sup> )
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito nelle aree con destinazione d'uso industriale – commerciale	Materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati del test di cessione conformi ai limiti del DM05/02/98 e/o Valori di fondo	6.200	32% del volume totale di scavo (19.600 m <sup>3</sup> )
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	Materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020	8.500	43% del volume totale di scavo (19.600 m <sup>3</sup> )
Materiale da inviare a recupero	Materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006	1.800	9% del volume totale di scavo (19.600 m <sup>3</sup> )

**Tabella 4.15: Gestione dei volumi di sedimenti naturali da scavare nella Zona Arenile Sud**

Zona Arenile Sud			
Tipologia di Gestione	Caratteristiche del materiale	Volume stimato (m3)	Note
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito nelle aree con destinazione d'uso industriale – commerciale	Materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS	21.000	15% del volume totale di scavo (140.000 m <sup>3</sup> )
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	Materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020	37.800	27% del volume totale di scavo (140.000 m <sup>3</sup> )
Materiale da inviare a recupero	Materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006	81.200	58% del volume totale di scavo (140.000 m <sup>3</sup> )

## 4.4 GESTIONE DELLE INTERFERENZE

Come anticipato al par. 2.3, le opere in progetto sono interferenti con:

1. Pontile Nord ubicato in corrispondenza della colmata;

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

2. diaframmi e trincee drenanti presenti sull'Arenile Nord e Sud;
3. tubazioni previste per l'impianto di alimentazione idrico e scarico CRIMA;
4. piezometri e pozzi presenti nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud.

### Interferenza con Pontile Nord

Per quanto attiene alla prima interferenza, come descritto sinteticamente al par. 4.2.2.10 ed illustrato nel dettaglio nell'elaborato **2021E014INV-01-D-01-CO-RS-REL-01-00**, il Pontile Nord sarà oggetto di messa in sicurezza tramite la realizzazione di diaframmi a nord e a sud del pontile stesso (ad una distanza di circa 1 m dal pontile) che permetterà di effettuare gli scavi in prossimità di esso senza arrecare problemi strutturali.

### Interferenza con diaframmi e opere di MISE

Per quanto riguarda i diaframmi e le trincee drenanti presenti in corrispondenza dell'arenile nord e sud quali opere di MISE da mantenere e preservare, vi sono dei minimi tratti che interferiranno con le zone di scavo. Pertanto, già nell'ambito del rilievo topografico propedeutico all'intervento dovrà essere prestata particolare attenzione nella identificazione e segnalazione tramite apposite paline/picchetti del tracciato effettivo del diaframma/trincea drenante. In prossimità del diaframma, lo scavo dovrà essere condotto con opportune modalità che permettano di salvaguardare l'integrità e la funzionalità del sistema di MISE.

Nelle seguenti Figura 4.12 e Figura 4.13 è mostrata l'area di escavo (in giallo) e il tracciato del diaframma (in magenta) e la zona di interferenza (in rosso).

Sono inoltre indicate le posizioni delle stazioni di sollevamento a servizio della MISE, attualmente già recintate ed interdette all'accesso come mostrato nelle immagini seguenti.



## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



In giallo il confine dell'area di escavo, in magenta il tracciato del diaframma

Figura 4.12: Interferenza tra scavo e diaframma Arenile Nord



In giallo il confine dell'area di escavo, in magenta il tracciato del diaframma

Figura 4.13: Interferenza tra scavo e diaframma Arenile Sud

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### **Interferenza con le tubazioni previste per l'impianto di alimentazione idrico e scarico CRIMA**

Le tubazioni previste per l'impianto di alimentazione idrico e scarico CRIMA intercederanno la zona meridionale dell'Arenile Nord. Sarà necessario un coordinamento con le maestranze che si occupano delle attività previste negli altri ambiti del progetto di rigenerazione dell'ARIN di Bagnoli Coroglio (infrastrutture, reti idriche, trasportistiche ed energetiche). Nel caso in cui le attività di scavo del presente progetto sia realizzate a valle della installazione della tubazione CRIMA, si agirà nella medesima modalità indicata per l'interferenza con il diaframma, tramite l'identificazione e picchettamento del tracciato e scavo da realizzare con opportune modalità che permettano di salvaguardare l'integrità e la funzionalità della tubazione.

### **Interferenza con i piezometri / pozzi esistenti**

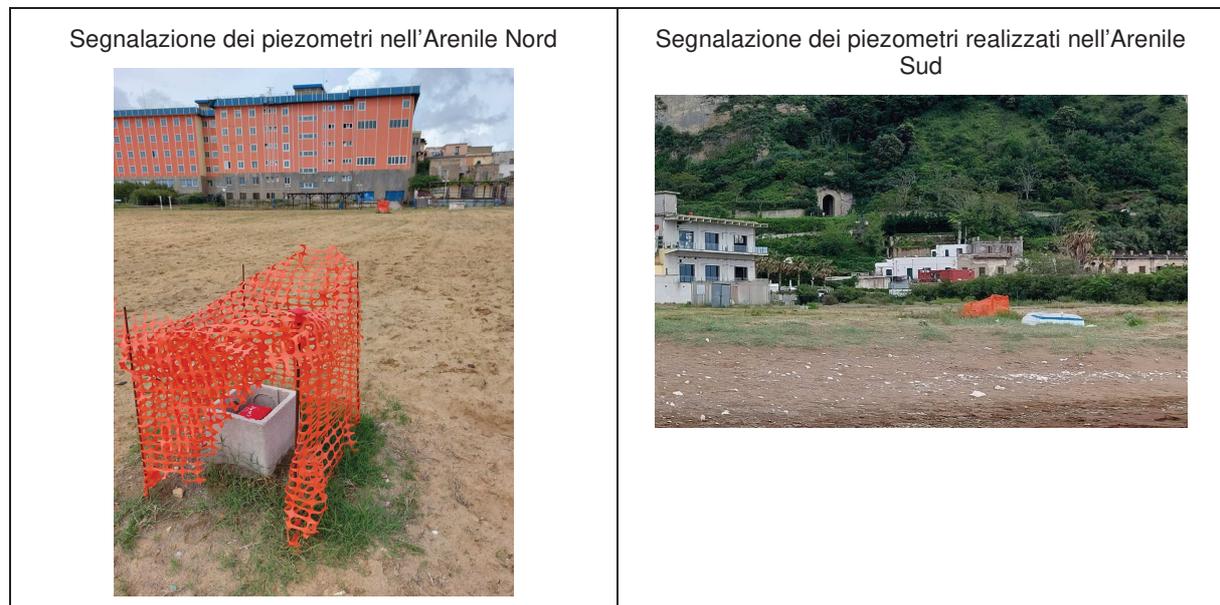
In corrispondenza della porzione di colmata a nord del Pontile Nord sono presenti alcuni pozzi di ricarica del sistema di MISE realizzati nel 2001 ed oggi non più attivi. L'appaltatore dovrà procedere con la demolizione dei pozzi insieme alle attività di rimozione della colmata, separando i materiali di risulta in flussi differenti rispetto a quelli dei riporti, procedendo alla loro caratterizzazione a norma di legge e al conferimento off-site.

In corrispondenza dell'Arenile Nord e Sud sono presenti alcuni piezometri, la maggior parte dei quali sono stati realizzati durante l'Appalto Specifico n.2 del 2023 nell'ambito delle indagini previste dal Piano di caratterizzazione complementare di Invitalia (Rif. doc. [11]); nello specifico:

- ✓ nell'Arenile nord sono stati installati n. 4 piezometri profondi 10 m da p.c. e denominati S4/5-PZ(ARN)2, S5/6-PZ(ARN)4, S9-PZ(ARN)1, S10-PZ(ARN)3;
- ✓ nell'Arenile sud sono stati installati n. 5 piezometri profondi 10 m da p.c. e denominati S3-PZ(ARS)2, S6-PZ(ARS)5, S6/10-PZ(ARS)1, S10BIS-PZ(ARS)3.

In corrispondenza dell'Arenile Sud è presente anche il piezometro preesistente Pz25 profondo 20 m da p.c. e realizzato nel 2019 nell'ambito dell'Appalto Specifico n.3.

Attualmente i piezometri sono segnalati tramite recinzione provvisoria arancione come mostrato nelle prese fotografiche seguenti.



Le coordinate dei piezometri sono riportate nella tabella seguente.

**Tabella 4.16: Coordinate dei piezometri presenti sugli arenili**

Arenile	ID piezometro	X (WGS84 UTM33)	Y (WGS84 UTM33)
Nord	S9-PZ(ARN)1	429493,013	4518439,655
Nord	S4/5-PZ(ARN)2	429476,889	4518415,945

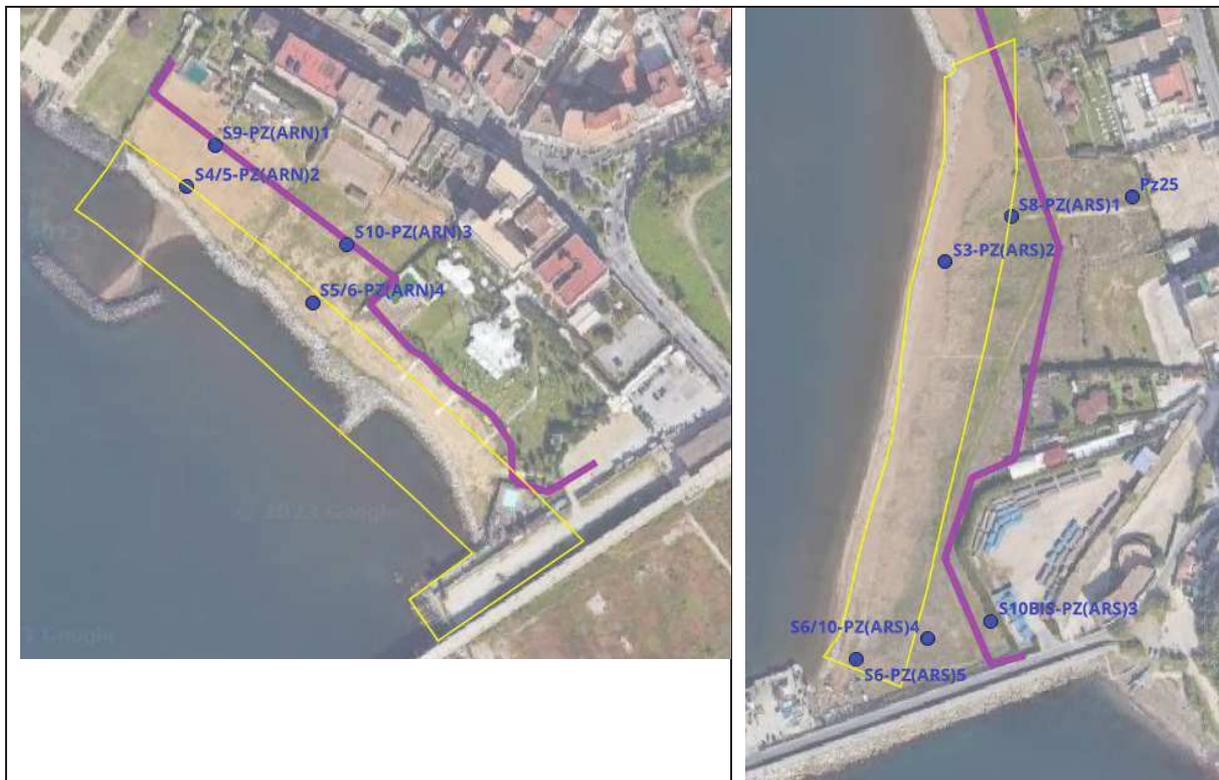
**RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI**

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Arenile	ID piezometro	X (WGS84 UTM33)	Y (WGS84 UTM33)
Nord	S10-PZ(ARN)3	429567,958	4518383,029
Nord	S5/6-PZ(ARN)4	429548,475	4518349,535
Sud	S8-PZ(ARS)1	430303,046	4517060,691
Sud	S3-PZ(ARS)2	430265,008	4517034,264
Sud	S10BIS-PZ(ARS)3	430291,092	4516824,430
Sud	S6/10-PZ(ARS)4	430254,453	4516814,057
Sud	S6-PZ(ARS)5	430213,330	4516802,414
Sud	Pz25	430372,828	4517072,321

L'ubicazione planimetrica è mostrata nelle figure successive, da cui è possibile osservare che i piezometri che saranno interferenti con le attività di escavo sono:

- ✓ S4/5-PZ(ARN)2 e S5/6-PZ(ARN)4 nell'Arenile nord;
- ✓ S3-PZ(ARS)2 e S6-PZ(ARS)5 nell'Arenile sud (mentre il piezometro S6/10-PZ(ARS)1 è ubicato al limite dell'area di scavo lungo la direzione est).



**Figura 4.14: Ubicazione dei piezometri nell'Arenile Nord e Sud**

L'appaltatore dovrà verificare con la DL l'eventuale necessità di preservazione dei piezometri presenti e, nel caso, picchettare e definire un'area 0,50m x 0,50m perimetrale ai piezometri evidenziandola con segnaletica di superficie (nastro segnalatore ad alta visibilità) in maniera tale da evitare danneggiamenti durante le attività di scavo.

## 5 COLLAUDO DEGLI INTERVENTI

Il collaudo degli interventi di risanamento che saranno applicati alle matrici arenili sarà realizzato con i seguenti obiettivi:

- 1) Verifica del raggiungimento delle quote di fondo scavo e dello spessore di ripascimento previsti dalla realizzazione della LdR progettuale;
- 2) Verifica della qualità del materiale di ripascimento (costituente il volume dinamico) a conferma del rispetto delle CSC di Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 o Limiti ISS o Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio nella zona emersa e nella zona sommersa fino alla batimetrica -2 m (in tal modo risulteranno confermate le ipotesi alla base dell'AdR sanitario-ambientale descritte nell'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01**);

Il primo obiettivo sarà verificato tramite realizzazione di rilievi topografici/batimetrici, da confrontare con quelli eseguiti nell'ambito delle opere propedeutiche di Fase 2 e da verificare con le quote riportate negli elaborati **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-05-00** e **2021E014INV-01-D-01-AR-AM-PLA-07-00**, eventualmente aggiornati a seguito della Fase 3, come specificato al par. 4.2.3.

Il secondo obiettivo sarà verificato tramite il prelievo di campioni rappresentativi dello strato di materiale di ripascimento post-intervento e la realizzazione di analisi chimiche di laboratorio per la verifica della conformità CSC di Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 o Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio oppure, se eccedenti, tramite la valutazione del rischio in modalità diretta delle concentrazioni misurate.

Nello specifico, la procedura che dovrà essere adottata è la seguente:

- ✓ prelievo di campioni di arenili e sedimenti marini da punti di indagine da concordare preventivamente con gli Enti di controllo (ad esempio sulla base di una griglia regolare 50 m x 50 m). Il prelievo sarà ripetuto nel tempo eseguendo n.2 campagne semestrali nel primo anno post-intervento e n.1 campagna nell'anno successivo, considerato che il Codice dei contratti pubblici dispone che il certificato di collaudo ha carattere provvisorio e assume carattere definitivo dopo due anni dalla sua emissione.

I campioni saranno prelevati in duplice aliquota (una per le analisi di parte, una per le analisi eseguite in contraddittorio dal Laboratorio dell'Ente di controllo);

- ✓ realizzazione delle analisi chimiche di laboratorio secondo il set analitico che sarà concordato preventivamente con gli Enti di controllo. Indicativamente si potrà eseguire lo stesso set analitico adottato nel Piano di Caratterizzazione complementare degli Arenili Nord e Sud dell'ottobre 2022 eseguito da Invitalia nel 2023;
- ✓ nel caso in cui le analisi chimiche (acquisite sia dal Laboratorio di parte, sia dal Laboratorio dell'Ente di controllo) risultino in tutte le campagne di indagine conformi alle CSC di Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 o Limiti ISS o Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio, l'intervento sugli arenili, sui sedimenti sottostanti la colmata e sui sedimenti marini sarà considerato "collaudato".
- ✓ nel caso in cui le analisi chimiche (acquisite sia dal Laboratorio di parte, sia dal Laboratorio dell'Ente di controllo) mostrino delle eccedenze delle CSC di Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 o Limiti ISS o Valori di Fondo dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio, sarà implementata un'analisi di rischio in modalità diretta secondo la procedura, le equazioni, i parametri di esposizione e le assunzioni già adottate nell'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-IS-REL-03-01**, per la matrice/le matrici che avranno mostrate le eccedenze suddette.

Le sostanze indice saranno costituite dai contaminanti che, in almeno un punto di indagine, eccederanno i limiti di riferimento e, a seconda della numerosità dei punti di indagine e dei dati acquisiti, la concentrazione rappresentativa delle sostanze indice potrà essere valutata secondo un approccio statistico (ovvero calcolando il valore UCL95% dei dati disponibili) oppure sarà posta pari al valore massimo rilevato da entrambi i laboratori;

- ✓ nel caso in cui il rischio calcolato risulti accettabile in tutte le campagne di indagine, l'intervento sugli arenili sarà considerato "collaudato".

Al contrario, nel caso in cui il rischio calcolato risulti non accettabile in almeno una campagna, l'intervento sugli arenili non potrà considerarsi "collaudato" e sarà quindi valutato nel dettaglio il/i percorso/i di esposizione e la/le sostanza/e indice responsabili della identificazione di tale risultato. Sarà anche valutato l'eventuale effetto di fonti di contaminazione primaria ancora oggi presenti nel sito e che non sono oggetto dello specifico intervento di bonifica degli arenili e sedimenti marini (quali ad esempio scarichi civili, effetti legati alle attività portuali e al passaggio di imbarcazioni ecc.). Sulla base di tali

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

valutazioni, unicamente nel caso di esclusione della presenza di fonti esterne responsabili della contaminazione residua, saranno eventualmente implementati interventi integrativi per rimuovere le passività residue. A valle di tali interventi integrativi sarà ripetuta la procedura di collaudo suddetta, sino ad ottenere un rischio accettabile.

## 6 MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI E PIANO DI MONITORAGGIO

### 6.1 GENERALITÀ

Per quanto concerne l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi e le conseguenti procedure e attrezzature atte a garantire, per tutta la durata dell'intervento, il rispetto delle norme per la prevenzione degli infortuni e la tutela della salute dei lavoratori, si rimanda allo specifico Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e/o al Piano Operativo Sicurezza che saranno redatti così come previsto dagli articoli n. 100 e 28 del D.Lgs. 81/08.

Il piano conterrà le disposizioni di coordinamento e l'indicazione delle procedure e degli apprestamenti destinati a garantire la sicurezza e la salute degli addetti.

In particolare:

- ✓ apprestamenti, infrastrutture, mezzi logistici e di protezione collettiva necessari in relazione alla specificità dell'opera ed alla sua localizzazione;
- ✓ misure relative ai rischi risultanti dalla presenza di più imprese e/o lavoratori autonomi;
- ✓ prescrizioni correlate alla complessità dell'opera ed alle eventuali fasi critiche;
- ✓ disciplina delle interferenze tra le varie fasi;
- ✓ prescrizioni relative all'uso dei DPI;
- ✓ modalità di cooperazione, coordinamento e reciproca informazione tra le imprese e/o lavoratori autonomi.

Il cantiere verrà mantenuto ordinato, pulito e sgombro da impedimenti al fine di permettere un facile accesso alle vie di fuga agli automezzi, alle maestranze ed eventualmente ai mezzi di soccorso.

In ogni caso:

- ✓ l'ingresso al cantiere sarà consentito solo al personale autorizzato;
- ✓ il transito dei mezzi all'esterno dell'area di cantiere sarà organizzato, per quanto possibile, in modo tale da minimizzare le interferenze con la viabilità urbana;
- ✓ le attività saranno condotte nel rispetto della normativa vigente in materia di inquinamento acustico;
- ✓ il cantiere sarà dotato delle attrezzature antincendio e antinfortunistiche previste dalla normativa vigente.

Inoltre:

- ✓ nelle aree di cantiere saranno preliminarmente demoliti e/o rimossi eventuali ostacoli che interferiscono con la realizzazione dell'opera e verranno allacciate le utenze (elettriche, idrauliche) eventualmente disponibili in adiacenza;
- ✓ preliminarmente alle attività di scavo, sarà effettuata una verifica in sito, assieme al personale della DL, per un'accurata analisi sui servizi e sottoservizi (tubazioni, cavi elettrici ed altro) presenti, che vanno ad interferire con le attività previste.

### 6.2 MONITORAGGIO AMBIENTALE

Prima, durante e dopo le attività di cantiere è stata prevista la realizzazione di un piano di controllo ambientale finalizzato alla verifica degli impatti delle opere in progetto sulle matrici ambientali di interesse per il sito in esame.

L'elaborato **2021E014INV-01-D-01-CO-AM-REL-01-01** riporta il dettaglio delle attività da eseguire prima, durante e dopo la realizzazione delle opere progettate nella Microcella Nord, nella Zona Arenile Sud e nella Macrocella, la cui sintesi è riportata nella tabella seguente.

Considerando le opere in progetto, le matrici ambientali potenzialmente impattate e, quindi, oggetto di monitoraggio sono: atmosfera, acqua di mare, rumore, morfologia del sito (topografia e batimetria), biodiversità. Per ciascuna di queste matrici ambientali sono state previste campagne di monitoraggio con cadenza periodica da eseguirsi nelle fasi ante operam, in corso d'opera e post operam in funzione dell'interazione che potranno avere con le opere di progetto.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Il piano potrà essere revisionato/integrato in fase di progettazione esecutiva sulla base delle osservazioni che potranno essere espresse nell'ambito della procedura di valutazione di impatto ambientale a cui le attività di risanamento saranno sottoposte e a seguito del necessario preventivo coordinamento con gli Enti di controllo.

**Tabella 6.1: Sintesi delle attività previste dal Piano di Monitoraggio Ambientale**

Matrice ambientale monitorata	Attività di monitoraggio previste		
	Ante operam	In corso d'opera	Post operam
Atmosfera (qualità dell'aria)	Monitoraggio delle polveri, Nox e CO in corrispondenza di n.5 postazioni ubicate in corrispondenza dei principali recettori sensibili <u>Frequenza</u> : n.2 campagne semestrali della durata di 10 giorni da attuarsi nell'anno precedente all'avvio dei lavori	Monitoraggio delle polveri in corrispondenza di n.5 postazioni ubicate in corrispondenza dei principali recettori sensibili <u>Frequenza</u> : n.2 campagne/anno della durata di 10 giorni da attuarsi in corrispondenza delle lavorazioni più impattanti	-
Acqua di mare	Monitoraggio delle acque di mare in postazioni ubicate in corrispondenza delle batimetriche -2, -4 e -6 m in transetti perpendicolari alla linea di costa <u>Frequenza</u> : n.1 campagna da attuarsi 3 mesi prima dell'avvio dei lavori	Monitoraggio delle acque di mare in postazioni ubicate in corrispondenza delle batimetriche -2, -4 e -6 m in transetti perpendicolari alla linea di costa <u>Frequenza</u> : n.2 campagne/anno da attuarsi durante le attività di escavo a mare, prevedendo una coppia di stazioni di monitoraggio posizionate monte/valle delle panne antitorbidità installate durante l'esecuzione dei lavori	Monitoraggio delle acque di mare in postazioni ubicate in corrispondenza delle batimetriche -2, -4 e -6 m in transetti perpendicolari alla linea di costa <u>Frequenza</u> : n.2 campagne semestrali da attuarsi nel primo anno post-operam e n.1 campagna nel secondo anno post-operam
Rumore	Monitoraggio del rumore in corrispondenza delle stesse n.5 postazioni previste per il monitoraggio dell'aria, ubicate in corrispondenza dei principali recettori sensibili <u>Frequenza</u> : n.2 campagne semestrali da attuarsi nell'anno precedente all'avvio dei lavori	Monitoraggio del rumore in corrispondenza delle stesse n.5 postazioni previste per il monitoraggio dell'aria, ubicate in corrispondenza dei principali recettori sensibili <u>Frequenza</u> : n.2 campagne/anno da attuarsi in corrispondenza delle lavorazioni più impattanti	-
Morfologia del sito oggetto di risanamento	Rilievo topografico e batimetrico delle aree di risanamento <u>Frequenza</u> : n.1 campagna da attuarsi prima dell'avvio dei lavori	-	Rilievo topografico e batimetrico delle aree di risanamento <u>Frequenza</u> : n.2 campagne da attuarsi dopo 1 e 5 anni la chiusura dei lavori

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Matrice ambientale monitorata	Attività di monitoraggio previste		
	Ante operam	In corso d'opera	Post operam
Biodiversità	<p>Indagine di campo da parte di un tecnico biologo per la verifica di:</p> <p>Flora e Vegetazione: 1) Specie di interesse conservazionistico; 2) Localizzazione (puntuale o areale) delle popolazioni e rilievi fitosociologici per le comunità vegetali presenti; 3) Presenza di neofite invasive.</p> <p>Fauna: 1) Presenza avifauna nidificante e stanziale; 2) Presenza avifauna migratoria; 3) Presenza erpetofauna.</p> <p><u>Frequenza</u>: n.1 campagna da attuarsi prima dell'avvio dei lavori</p>	<p>Sopralluoghi visivi di un biologo incaricato di verificare eventuali intrusioni di specie animali nelle aree di cantiere</p> <p><u>Frequenza</u>: n.1 campagna / anno</p>	<p>Indagine di campo da parte di un tecnico biologo per la verifica di:</p> <p>Flora e Vegetazione: 1) Specie di interesse conservazionistico; 2) Localizzazione (puntuale o areale) delle popolazioni e rilievi fitosociologici per le comunità vegetali presenti; 3) Presenza di neofite invasive.</p> <p>Fauna: 1) Presenza avifauna nidificante e stanziale; 2) Presenza avifauna migratoria; 3) Presenza erpetofauna.</p> <p><u>Frequenza</u>: n.3 campagne da attuarsi dopo 1 anno, 3 anni e 5 anni dalla chiusura dei lavori</p>

## 7 CRONOPROGRAMMA DEGLI INTERVENTI

Il cronoprogramma complessivo delle attività di risanamento previste per gli ambiti di intervento "MACROAREA 1 – COLMATA, ARENILI EMERSI NORD E SUD" e "MACROAREA 2 - AREA MARINA" è riportato nell'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-EC-CRO-01-01**.

La durata complessiva delle opere di risanamento degli arenili è pari a circa 22 mesi, comprensiva dei tempi di scavo indicati nella Tabella 4.10 riportata nel par. 4.2.4.9 e di:

- ✓ Cantierizzazione
- ✓ Opere propedeutiche
- ✓ Movimentazioni dei materiali escavati e trattamento con soil washing /desorbimento termico / vagliatura
- ✓ Caratterizzazioni in cumulo durante le diverse fasi di gestione dei materiali escavati
- ✓ Dragaggi
- ✓ Realizzazione opere rigide di difesa della LdR progettuale
- ✓ Ripascimenti

La stima non tiene in considerazione i tempi di eventuale revisione progettuale a seguito della caratterizzazione preliminare e delle attività di monitoraggio da attuarsi ante e post operam.

## RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO DEGLI ARENILI

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 8 STIMA DEI COSTI

La stima dei costi complessiva delle attività di risanamento previste per gli ambiti di intervento "MACROAREA 1 – COLMATA, ARENILI EMERSI NORD E SUD" e "MACROAREA 2 - AREA MARINA" è riportata nei seguenti elaborati:

<b>Computo metrico estimativo</b>	<b>2021E014INV-01-D-00-GE-EC-ECO-01-01</b>
<b>Elenco prezzi e Analisi prezzi</b>	<b>2021E014INV-01-D-00-GE-EC-ECO-02-01</b>
<b>Quadro dell'incidenza percentuale della quantità di manodopera</b>	<b>2021E014INV-01-D-00-GE-EC-ECO-03-01</b>
<b>Quadro economico</b>	<b>2021E014INV-01-D-00-GE-EC-ECO-04-00</b>

## **Allegato 1**

### **Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata**

**Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-  
REL-01-01–Agosto 2023**



CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - Rimozione Colmata e Bonifica Arenili - CUP: C65E19000390001 - Progettazione e Risanamento Sedimenti Marini

INVITALIA

APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRESIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DI DIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGGIO (NA)".

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

All rights, including translation, reserved. No part of this document may be disclosed to any third party, for purposes other than the original, without written consent of RINA Consulting S.p.A.



PROGER



ambiente  
consulenza & ingegneria  
esperienza per l'ambiente

ARCADIS

FINALCA  
ingegneria.srl

3BA s.r.l.  
engineering and consulting



AS

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### INDICE

	Pagina
<b>INDICE DELLE TABELLE</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>3</b>
<b>1   PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2   RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STATIGRAFICO</b>	<b>6</b>
2.1   DEFINIZIONE DEL GEODATABASE	6
2.1.1   Analisi dei dati dalle indagini eseguite	6
2.1.2   Creazione del geodatabase della colmata	8
2.1.3   Elaborazione dati con software EVS	12

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1:	Parametri griglia di interpolazione	13
Tabella 2.2:	Coordinate perimetro colmata	14
Tabella 2.3:	Stima dei volumi elaborati con EVS	19
Tabella 2.4:	Stima dei volumi ubicati a nord e sud del pontile ed elaborati con EVS	23
Tabella 2.5:	Stima del volume complessivo della colmata ripartito tra insaturo e saturo	26
Tabella 2.6:	Stima dei volumi elaborati con EVS ripartiti tra insaturo e saturo	26
Tabella 2.7:	Stima del volume complessivo della colmata ripartito tra insaturo e saturo senza la porzione di volume al di sotto del pontile nord	28
Tabella 2.8:	Stima dei volumi elaborati con EVS ripartiti tra insaturo e saturo e divisi tra nord e sud del pontile	28

### INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1:	Panoramica di tutte le indagini, utilizzate per la ricostruzione stratigrafica 3D, eseguite in area di colmata con sovrapposizione al rilievo LIDAR 2022.	7
Figura 2-2:	Interpolazione dello spessore di capping (a sinistra); aree impermeabilizzate (a destra, da "Caratterizzazione e Messa in Sicurezza dell'area di Colmata – Tavola 3: Aree impermeabilizzate", febbraio 2017)	8
Figura 2-3:	Interpolazione della superficie topografica (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)	9
Figura 2-4:	Interpolazione della superficie di interfaccia colmata – sedimenti naturali sottostanti (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing).	10
Figura 2-5:	Interpolazione della superficie piezometrica marzo 2019(m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)	11
Figura 2-6:	Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate (dall'alto: superficie topografica di cui al paragrafo 2.1.2.1; superficie piezometrica e superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti di cui al paragrafo 2.1.2.2)	11
Figura 2-7:	Griglia di interpolazione (a sinistra Modello Colmata; a destra Modello Classificazione)	14
Figura 2-8:	Superficie di separazione colmata – sedimenti naturali	15
Figura 2-9:	Modello "Classificazione"	16
Figura 2-10:	Capping	16
Figura 2-11:	Materiale da riutilizzare in sito	17
Figura 2-12:	Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale	17
Figura 2-13:	Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti	18
Figura 2-14:	Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	18
Figura 2-15:	Materiale da inviare a recupero	18
Figura 2-16:	Modello "Colmata"	19
Figura 2-17:	Riporto con scorie, loppe e minerali fossili	19
Figure 2-18:	Modello "Classificazione" da cui è stata rimossa la porzione di volume sottostante al pontile nord	20
Figura 2-19:	Capping a sud del pontile nord	20
Figura 2-20:	Materiale da riutilizzare in sito ubicato a nord e sud del pontile	21
Figura 2-21:	Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale ubicato a nord e sud del pontile	21
Figura 2-22:	Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti ubicato a nord e sud del pontile	22
Figura 2-23:	Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi ubicato a nord e sud del pontile	22

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Figura 2-24:	Materiale da inviare a recupero ubicato a nord e sud del pontile	22
Figura 2-25:	Modello "Colmata" da cui è stata rimossa la porzione di volume sotto al Pontile Nord	23
Figura 2-26:	Riporto con scorie, loppe e minerali fossili ubicato a nord e sud del pontile	23
Figura 2-27:	Superficie piezometrica (marzo 2019) elaborata con EVS	24
Figura 2-28:	Volume di colmata insaturo	25
Figura 2-29:	Volume di colmata saturo	25
Figure 2-30:	Volume colmata insaturo ubicato a sud del pontile nord	26
Figure 2-31:	Volume colmata insaturo ubicato a nord del pontile nord	27
Figure 2-32:	Volume colmata saturo ubicato a sud del pontile nord	27
Figure 2-33:	Volume saturo ubicato a nord del pontile nord	28

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

# 1 PREMESSA

Il presente documento è stato preparato nell'ambito dell'*Appalto misto di servizi di ingegneria e architettura per la progettazione definitiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per appalto integrato, comprensivo di servizi di indagini e di lavori di test di dimostrazione tecnologica, oltre ai servizi di direzione dei lavori e di coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferente all'intervento denominato "rimozione colmata, bonifica degli arenili emersi "Nord" e "Sud" e risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nell'Area di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)"* e descrive il processo di valutazione dei quantitativi complessivi dei materiali di riporto presenti nella colmata allo scopo di progettare le operazioni di scavo di rimozione e prevederne la corretta gestione .

Per l'elaborazione dei modelli tridimensionali sono stati utilizzati i seguenti software:

- ✓ Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC.) adatto per la mappatura, modellazione e analisi dei dati;
- ✓ Earth Volumetric Studio (C TECH Development Corporation) adatto per la ricostruzione tridimensionale delle aree oggetto di indagine.

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

## 2 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STATIGRAFICO

Il modello tridimensionale della colmata è stato elaborato mediante l'analisi dei **dati chimici e stratigrafici** raccolti nelle seguenti campagne d'indagine:

- ✓ Sondaggi esplorativi eseguiti nel 1997; di questi, n. 2 sondaggi attrezzati a piezometro (PFR3, PFR10).
- ✓ Rilevamento geologico, idrogeologico e geochimico (Fase 1) eseguito nel 1999 dalla Società Bagnoli S.p.A. consistente in oltre 300 carotaggi a maglia 25 x 25 m che hanno interessato i riporti e il sottostante sedimento naturale.
- ✓ Rilevamento geologico, geochimico e idrogeologico (Fase 2), eseguito nel 2000 con la realizzazione di 80 carotaggi spinto fino al materiale naturale saturo; di questi, n. 3 sondaggi attrezzati a piezometro (PFR-F12/2, PFR-F15/2, PFR-F6/2), sono stati utilizzati nella ricostruzione della superficie piezometrica.
- ✓ Piano di caratterizzazione, redatto da ISPRA ed eseguito da Invitalia nel 2017, che ha previsto l'esecuzione di n. 15 sondaggi approfonditi anche oltre il materiale costituente la colmata.
- ✓ Piano di caratterizzazione di dettaglio realizzato da Invitalia nel 2018 con la realizzazione di n. 66 sondaggi geognostici e 64 prove penetrometriche eseguiti per la maggior parte nei materiali costituenti colmata.
- ✓ Caratterizzazione integrativa dei sedimenti sottostanti la colmata eseguita da Invitalia nel 2021 nell'ambito dell'Appalto Specifico n.18.
- ✓ Sondaggi realizzati da Invitalia nel 2019 nell'ambito dell'Appalto Specifico n. 3; di cui n. 3 sono stati attrezzati a piezometro (Pz26, Pz27, Pz28);
- ✓ Sondaggi realizzati nel 2011 nell'ambito del piano di nuova messa in sicurezza delle acque di falda; di cui n. 1 (PFRS3), è stato attrezzato a piezometro;

L'intera mole dei dati disponibili è stata utilizzata per la definizione della volumetria complessiva della colmata da rimuovere, aggiornando la valutazione già presentata nel PFTE (che non comprendeva i dati relativi alle indagini del 2021).

Inoltre, i rilievi effettuati in corrispondenza dei piezometri sopra citati sono stati utilizzati nella ricostruzione della superficie piezometrica del sito e le indagini condotte dal 2017 al 2021 hanno permesso di effettuare una valutazione delle caratteristiche qualitative dei materiali da rimuovere ai fini della loro corretta gestione.

Per la gestione dei dati, il loro studio e l'analisi, si è proceduto ad una completa digitalizzazione degli stessi attraverso l'utilizzo del software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC.) e la creazione di un geodatabase tramite il software EVS pro (sviluppato dalla C TECH Development Corporation).

### 2.1 DEFINIZIONE DEL GEODATABASE

Ai fini di ricostruire il modello tridimensionale della colmata mediante *software* specialistici è stato necessario raccogliere e catalogare tutte le informazioni presenti sia di carattere stratigrafico che qualitativo in un geodatabase. Nei paragrafi successivi verranno descritti i criteri adottati.

#### 2.1.1 Analisi dei dati dalle indagini eseguite

Con l'obiettivo di stimare i quantitativi di materiale da rimuovere dalla colmata e di definirne i flussi di gestione, tutte le indagini geognostiche eseguite a partire dal 1997 sono state analizzate nel dettaglio. In particolare, per la definizione del modello concettuale della colmata, sono state considerate le seguenti campagne di indagine:

1. 1997 – n. 17 sondaggi denominati "PFR x" (n.2 dei n.19 sondaggi totali realizzati non sono stati considerati in quanto ubicati esternamente alla colmata)
2. 1999 – n. 308 sondaggi denominati "PFR xx/xx" (n.21 dei n. 329 sondaggi totali non sono stati considerati in quanto ubicati esternamente alla colmata e/o in quanto non è disponibile la stratigrafia)
3. 2000 – n. 80 sondaggi denominati "PFR F-xx/xx"
4. 2011 – n. 1 sondaggio attrezzato a piezometro denominato "S3" (utile alla definizione della superficie piezometrica al paragrafo 2.1.2.3)
5. 2017 – n. 15 sondaggi denominati "S x"
6. 2018 – n. 66 sondaggi denominati "CL x"

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

7. 2019 – n. 3 sondaggi attrezzati a piezometro denominati "Pz26", "Pz27" e "Pz28" (utili alla definizione della superficie piezometrica al paragrafo 2.1.2.3)
8. 2021 – n. 56 sondaggi denominati "SA x"
9. 2021 – n. 12 sondaggi denominati "SG x"

per un totale di n. 558 sondaggi.

Per la definizione dei limiti superiore (superficie topografica) ed inferiore (superficie di interfaccia tra riporti e sedimenti naturali) della colmata, utili alla perimetrazione del modello ed al calcolo dei volumi, i sondaggi sono stati inseriti all'interno di un sistema di riferimento cartografico omogeneo in coordinate proiettate WGS 84 / UTM zone 33N (EPSG:32633), utilizzato anche per la geolocalizzazione del sito dal rilievo topografico LiDAR 3D a 5 m del 2022 dal quale, per mezzo del software QGIS, sono state estrapolate le quote delle bocche foro in m .s.l.m. per tutte le verticali d'indagine considerate.



Figura 2-1: Panoramica di tutte le indagini, utilizzate per la ricostruzione stratigrafica 3D, eseguite in area di colmata con sovrapposizione al rilievo LIDAR 2022.

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

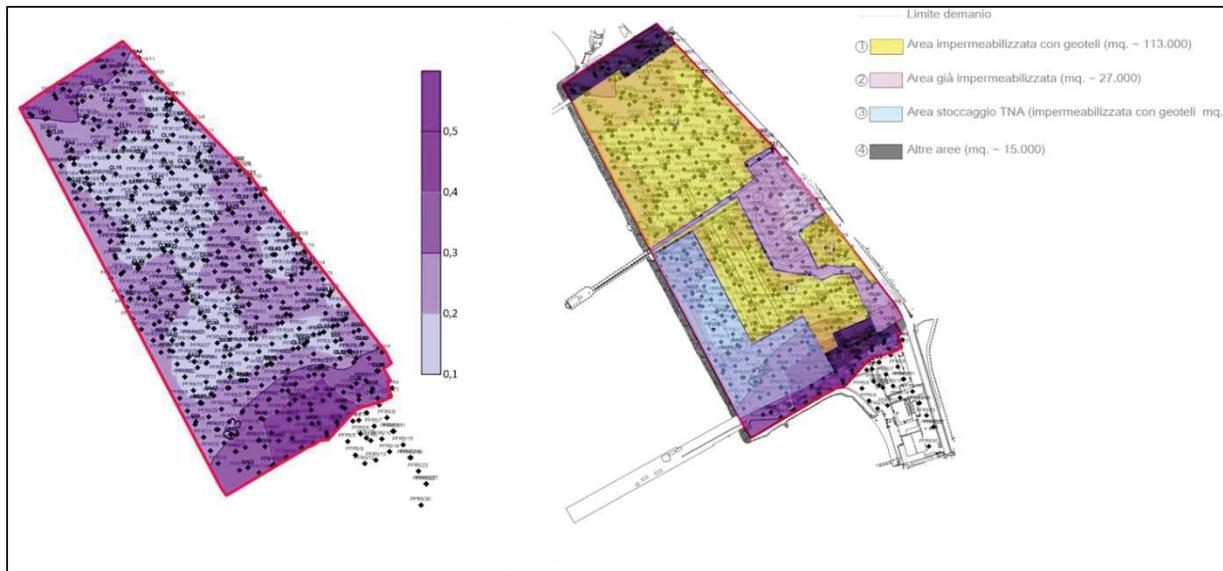
Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 2.1.2 Creazione del geodatabase della colmata

Per la creazione del geodatabase utile alla caratterizzazione ed alla stima volumetrica del materiale di riporto costituente la colmata sono stati anzitutto considerati gli spessori litostratigrafici descritti nei report stratigrafici di ciascun sondaggio (1997-2021); in particolare, per categorizzare in dettaglio il materiale di riporto, ove la descrizione stratigrafica conteneva informazioni rilevanti in termini di inclusioni (i.e. loppe e/o scorie), gli spessori originari sono stati ulteriormente suddivisi.

Inoltre, per i sondaggi denominati "PFR", effettuati "pre-capping" dal 1997 al 2000, la quota topografica Z della bocca foro (m s.l.m.) è stata rivaluta con l'obiettivo di ottenere la corretta profondità degli spessori dei materiali di riporto in riferimento all'attuale conformazione morfologica del sito.

Tale operazione è stata effettuata prendendo in considerazione tutti i sondaggi "post-capping" (2017-2021), in cui era presente nella descrizione stratigrafica il riferimento al telo in HDPE del capping (per un totale di n. 121 verticali d'indagine) e, mediante l'utilizzo del software Surfer, interpolando (tramite *Kriging*) gli spessori soprastanti al telo in maniera tale da ricostruire gli spessori del capping su tutta la superficie della colmata. L'interpolazione effettuata con Surfer è risultata comparabile con le informazioni progettuali disponibili sulla ubicazione e tipologia delle aree impermeabilizzate (si veda immagine seguente).



**Figura 2-2: Interpolazione dello spessore di capping (a sinistra); aree impermeabilizzate (a destra, da "Caratterizzazione e Messa in Sicurezza dell'area di Colmata – Tavola 3: Aree impermeabilizzate", febbraio 2017)**

Considerando l'errore operativo dovuto alle modalità di carotaggio è stato considerato un range di variabilità dello spessore del materiale di riporto sopra capping nell'ordine dei 10 cm, per cui sono state individuate delle macroaree in cui il bottom del capping è situato a 0,1-0,2-0,3-0,4-0,5 m dal p.c.

Sulla base di suddetti spessori, ai sondaggi effettuati pre-capping (1997-1999-2000) è stata attribuita una nuova quota topografica Z (m s.l.m.) e, di conseguenza, sono state rivalutate anche le quote degli spessori stratigrafici rinvenuti in ciascun sondaggio.

È stato quindi creato un unico geodatabase in cui, a partire da tutti i n. 558 sondaggi, il materiale di riporto costituente la colmata è stato suddiviso in n. 4 categorie:

- Materiale sopra capping.
- Pavimentazione.
- Riporto con scorie e/o loppe.
- Riporto generico.

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

In particolare, ad ogni sondaggio e per ciascun materiale è stato attribuito uno specifico spessore e, di conseguenza, la relativa profondità del top dello strato a partire dalla quota Z della bocca foro.

I dati del geodatabase sono stati quindi utilizzati per la ricostruzione tramite software Surfer della superficie topografica della colmata, della superficie di interfaccia colmata/sedimenti naturali sottostanti e della superficie piezometrica come descritto di seguito.

### 2.1.2.1 Superficie topografica

Per la ricostruzione della superficie topografica sono state utilizzate le quote Z (m s.l.m.) dei n. 558 sondaggi estrapolate a partire dal rilievo LIDAR 2022 e corrette come specificato in precedenza per tener conto della presenza del capping.

La digitalizzazione del dato, effettuata mediante interpolazione geostatistica con metodo *Kriging*, ha evidenziato delle anomalie morfologiche dovute principalmente alla presenza del pontile Nord e della vegetazione a Sud della colmata, che hanno influenzato la restituzione del rilievo LIDAR 2022, in quanto non appaiono coerenti con la reale conformazione del sito. Per questo motivo, le quote Z dei sondaggi denominati PFR10, PFR16, PFR1/16, PFR2/2, PFR3/3, PFR7/13, PFR11/6, PFR11/15, PFR12/9, PFR12/11, PFR12/12, PFR16/2, PFR16/4, PFR16/11, PFR-F15/2, PFR-F2/2, SA21, SA3, SA36, SA4 e SA52 sono state modificate sulla base delle quote dei sondaggi circostanti, in maniera tale da ottenere una superficie topografica rappresentativa dell'area di studio.

L'immagine seguente mostra la superficie topografica della colmata ricavata dalla elaborazione condotta con Surfer mediante metodo geostatistico *Kriging*.

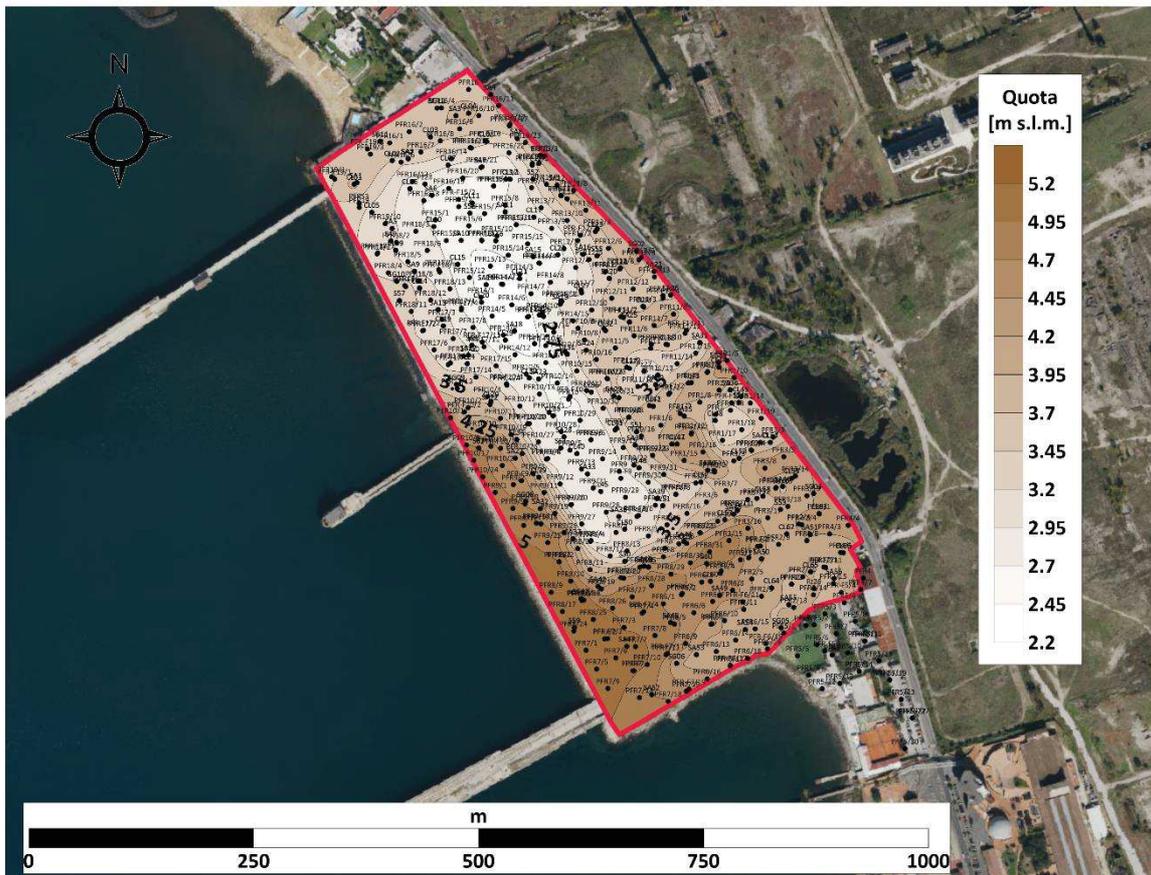


Figura 2-3: Interpolazione della superficie topografica (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 2.1.2.2 Superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti

Per la determinazione della superficie di interfaccia tra materiali di riporto presenti nella colmata e sedimenti naturali sottostanti sono stati considerati i dati dei sondaggi delle campagne di indagine più recenti (2018-2021), realizzate a valle della messa in sicurezza della colmata tramite capping<sup>1</sup>, selezionando unicamente quelli che sono arrivati ad intercettare l'orizzonte di separazione tra riporti e sedimenti naturali, per un totale n. 124 verticali d'indagine.

L'immagine seguente mostra la superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti ricavata dalla elaborazione condotta con Surfer mediante metodo geostatistico *Kriging*.

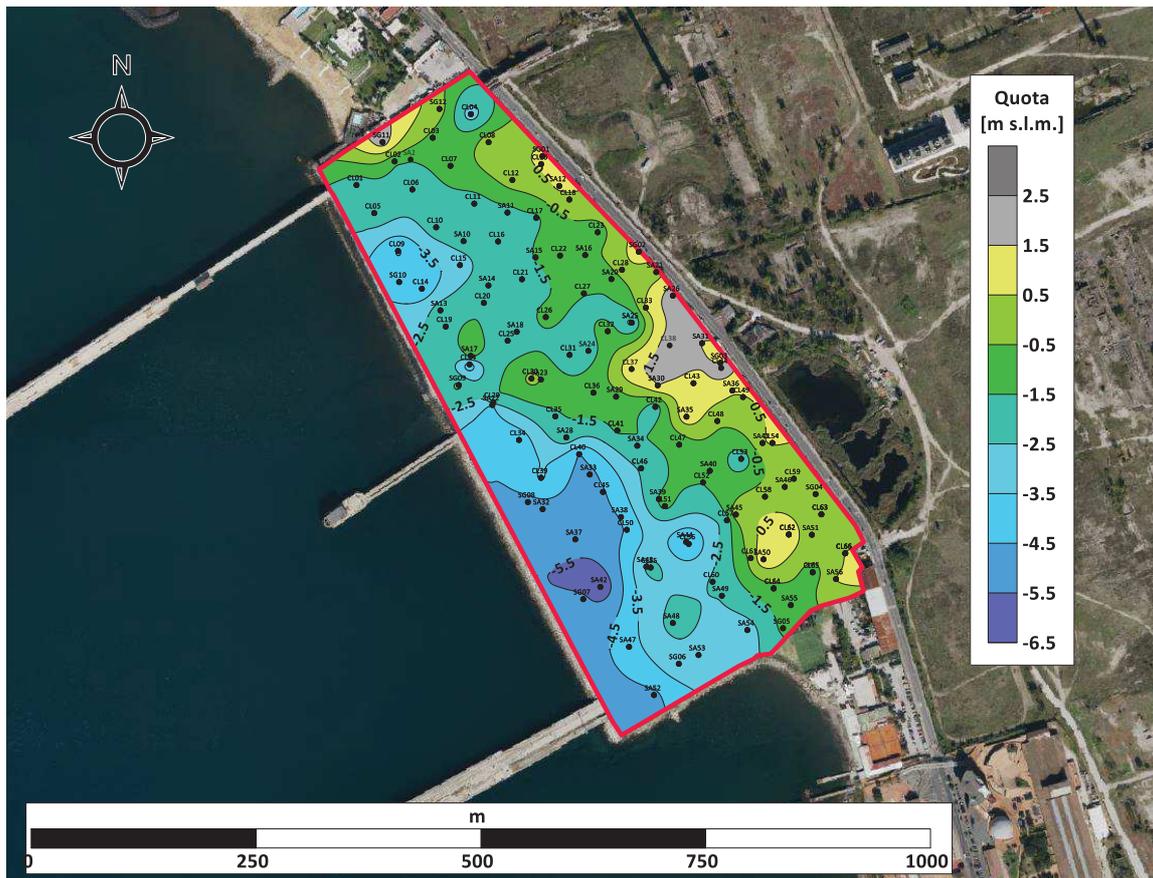


Figura 2-4: Interpolazione della superficie di interfaccia colmata – sedimenti naturali sottostanti (m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing).

### 2.1.2.3 Superficie piezometrica

Per la ricostruzione della superficie piezometrica, utile alla stima del volume di riporto saturo, sono stati considerati i dati freaticometrici misurati nei piezometri PFRF-12/2, PFRF-15/2, PFRF-6/2, PFRS3, PFR10, PFR3, Pz26, Pz27 e Pz28 nella campagna di monitoraggio eseguita nel mese di marzo 2019 in condizioni statiche, ovvero con la barriera idraulica inattiva.

Le immagini seguenti mostrano i risultati dell'interpolazione della superficie piezometrica di marzo 2019 eseguita mediante metodo geostatistico *Kriging*, in pianta (Figura 2-5: Interpolazione della superficie piezometrica marzo 2019) e tramite visualizzazione tridimensionale (Figura 2-6: Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate).

\*\*\*\*\*

<sup>1</sup> l'interpolazione effettuata utilizzando tutti i n. 560 sondaggi disponibili avrebbe portato a identificare una superficie disomogenea, a causa di informazioni litostratigrafiche discordanti tra sondaggi vicini realizzati in anni differenti, in particolare tra quelli realizzati prima e dopo la messa in sicurezza della colmata tramite capping.

**Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata**

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

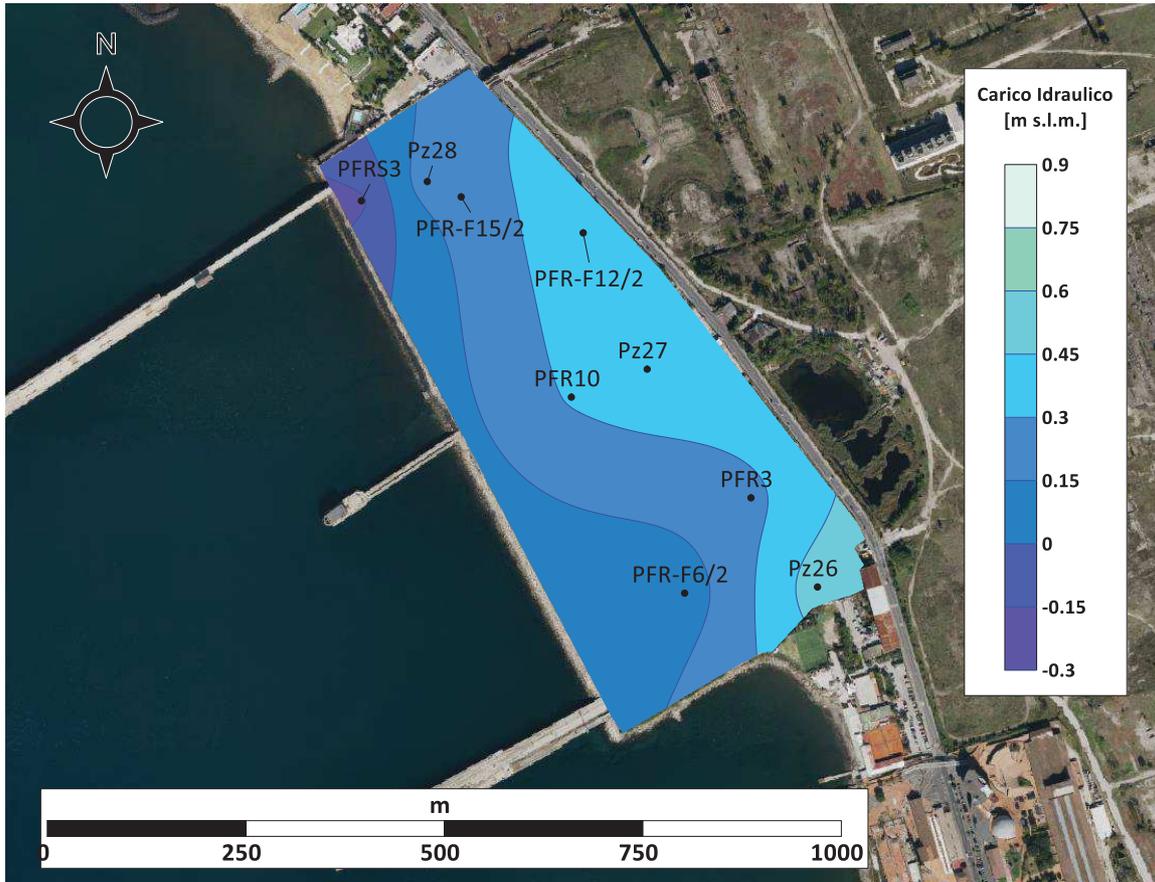


Figura 2-5: Interpolazione della superficie piezometrica marzo 2019(m s.l.m.). (Fonte foto aerea: Microsoft Bing)

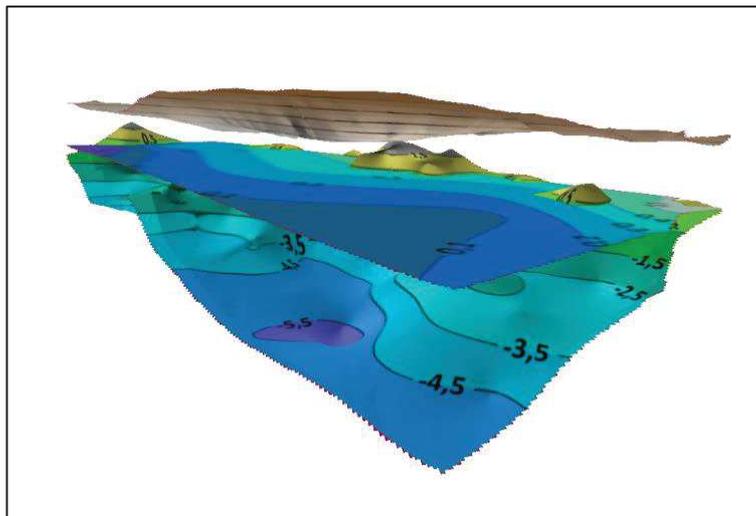


Figura 2-6: Visualizzazione tridimensionale (con esagerazione verticale 15x) delle superfici digitalizzate (dall'alto: superficie topografica di cui al paragrafo 2.1.2.1; superficie piezometrica e superficie di interfaccia colmata-sedimenti naturali sottostanti di cui al paragrafo 2.1.2.2)

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 2.1.3 Elaborazione dati con software EVS

Per la caratterizzazione tridimensionale dei principali materiali, che costituiscono la colmata, è stato utilizzato il programma EVS (*Earth Volumetric Studio*) che ha permesso di realizzare due modelli tridimensionali rappresentativi del caso in esame.

1. Il primo modello (Modello "Colmata") è stato elaborato con i dati stratigrafici ottenuti dalle indagini geologiche realizzate tra il 1997 ed il 2017 (in totale n. 423 sondaggi), escludendo i sondaggi del 2018, le cui stratigrafie non permettono di qualificare nel dettaglio gli elementi costituenti il riporto della colmata, e i sondaggi del 2021 che hanno caratterizzato esclusivamente il sedimento sottostante la colmata.

Da tale modello è stato possibile quantificare volumetricamente i quattro orizzonti costituenti il materiale di colmata:

- a. Materiale sopra capping;
  - b. Pavimentazione;
  - c. Riporto con scorie, loppe e minerali fossili;
  - d. Riporto generico.
2. Il secondo modello (Modello "Classificazione") è stato elaborato sulla base dei risultati delle analisi chimiche (analisi di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06 e test di cessione) delle indagini più recenti, realizzate in conformità alla normativa attualmente vigente (indagini effettuate dal 2017 al 2021, per un in totale n. 137 sondaggi denominati CL01+CL66 e S49+S63 e SA1+SA56).

Da tale modello è stato possibile definire le possibili destinazioni finali del materiale scavato valutando le possibilità di gestione secondo la seguente procedura:

- I. In primo luogo, è stato verificato il rispetto delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) previsti dall'Allegato 5, alla Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 1 Colonna A per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" e Colonna B per i "Siti ad uso commerciale ed industriale". Per i contaminanti non normati dal D. Lgs. 152/06 sono stati considerati, ove esistenti, i limiti di riferimento proposti dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS). Inoltre, sono stati considerati i valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli definiti dalla Segreteria tecnica presso il Ministero dell'Ambiente in data 20/05/01.

Considerando che la colmata è costituita dai riporti, è stata anche verificata la conformità degli eluati dei test di cessione ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e ai Valori di fondo naturale dell'ARIN di Bagnoli-Coroglio<sup>2</sup>.

Sulla base di tale primo criterio è stato definito:

- il volume di materiale che potrebbe essere riutilizzato in sito: orizzonti con concentrazione inferiore alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo ed eluati con concentrazioni inferiore ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo;
  - il volume di materiale che potrebbe essere trattato e/o riutilizzato in sito nelle aree a destinazione d'uso industriale/commerciale: orizzonti con concentrazione superiore alle CSC Tab.1 Col. A e/o Valori di fondo ma inferiore alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS ed eluati con concentrazioni inferiore ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo.
- II. Per i materiali con concentrazioni superiore alle CSC Tab.1 Col. B e/o con eluati non conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo sono stati valutati i possibili flussi di conferimento off-site sulla base della conformità degli eluati ai limiti di ammissibilità in discarica indicati nel D.lgs. 121 del 3 settembre 2020 oppure, per un eventuale recupero, ai limiti del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006.

Non essendo disponibili analisi specifiche di classificazione del rifiuto ai sensi dell'All. D parte IV del D.Lgs.152/06, il destino individuato è quindi da considerarsi "indicativo" e dovrà essere

\*\*\*\*\*

<sup>2</sup> Limiti approvati in sede di segreteria tecnica al MATTM nell'ambito dell'iter di autorizzazione dei progetti di Bagnoli Futura (parametri Arsenico 380 µg/l, Berillio: 9 µg/l, Ferro: 3106 µg/l, Manganese: 1104 µg/l e Piombo:19 µg/l) e il valore di fondo dei Fluoruri (4.000 µg/l), riportata nell'Analisi di rischio sito-specifica rev.3 del dicembre 2019 approvata in CdS di febbraio 2020

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

verificato in fase di caratterizzazione preliminare del materiale prima degli scavi di rimozione della colmata identificando il codice EER e valutando i requisiti di ammissibilità in discarica sopracitati.

Sulla base del test di cessione, quindi, sono stati individuati<sup>3</sup>:

- i volumi conferibili a discarica per rifiuti inerti (DI);
- i volumi conferibili a discarica per rifiuti non pericolosi (DNP);
- i volumi conferibili ad impianto di recupero.

Poiché le analisi eseguite sul materiale di riporto hanno interessato campioni anche non contigui nel sondaggio, per identificare il destino degli orizzonti per i quali non è disponibile la caratterizzazione sito specifica è stata applicata la seguente procedura:

- nel caso in cui l'orizzonte è risultato intercluso tra due orizzonti caratterizzati con il medesimo destino, lo stesso è stato assegnato anche all'orizzonte non caratterizzato;
- nel caso in cui l'orizzonte è risultato confinante con due orizzonti caratterizzati da destini differenti è stato assegnato il destino dell'orizzonte più rappresentativo a seguito della verifica visiva della stratigrafia e della fotografia della cassetta catalogatrice del sondaggio di riferimento.

Le volumetrie ricavate nei due modelli sono state ripartite in sature/insature considerando la superficie piezometrica del marzo 2019 (scenario statico ovvero considerando la barriera idraulica presente in sito inattiva).

Sulla base di quanto sopra descritto, sono state quantificate le seguenti tipologie di materiali:

- ✓ Materiale costituente il capping realizzato nel 2001, per il quale non sono disponibili analisi chimiche specifiche (né analisi di caratterizzazione ai sensi del D.Lgs.152/06 né test di cessione) e che si ipotizza possa essere interamente recuperato;
- ✓ Materiale con possibile riutilizzo in sito (materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo);
- ✓ Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito nelle aree con destinazione d'uso industriale – commerciale (materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo);
- ✓ Materiale da conferire a discarica per inerti (materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella 2 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020);
- ✓ Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi (materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020);
- ✓ Materiale da inviare a recupero (materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n°186 del 05/04/2006).

### 2.1.3.1 Definizione dei criteri di interpolazione

Per la ricostruzione tridimensionale dei modelli "Colmata" e "Classificazione" è stata definita una griglia di interpolazione alle differenze finite, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 2.1: Parametri griglia di interpolazione

Parametro	Dimensione
Coordinate di origine	X: 430260,00 - Y: 4517700,00
Dimensione celle	10x10 m
Estensione X	75 celle
Estensione Y	35 celle

\*\*\*\*\*

<sup>3</sup> si precisa che nessun campione prelevato nella colmata è risultato da conferire in discarica per rifiuti pericolosi

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Parametro	Dimensione
Rotazione	120 gradi

La griglia permette di interpolare correttamente il dominio di interesse, che corrisponde al perimetro della colmata (linea rossa mostrata nella figura seguente)

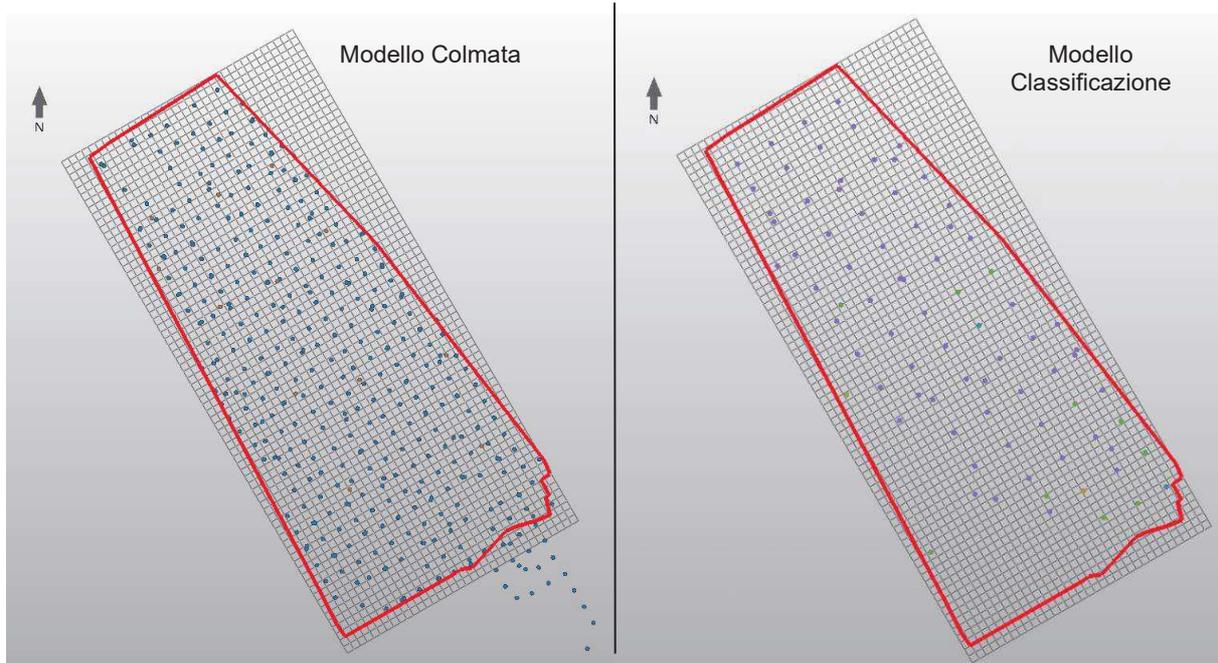


Figura 2-7: Griglia di interpolazione (a sinistra Modello Colmata; a destra Modello Classificazione)

Si precisa che, come rappresentato nella figura precedente, n. 13 sondaggi ubicati nella porzione a sud-est della colmata non sono stati utilizzati per la definizione del modello, in quanto non ricadono all'interno del dominio di interesse. Nella sottostante Tabella sono riassunte le coordinate del perimetro/confine dell'area di colmata:

Tabella 2.2: Coordinate perimetro colmata

Progressivo	X	Y
1	429785,294	4518289,675
2	429994,285	4518067,438
3	430214,655	4517780,479
4	430222,557	4517762,286
5	430210,907	4517753,903
6	430221,301	4517734,632
7	430217,198	4517730,122
8	430222,806	4517708,117
9	430207,570	4517701,18
10	430175,566	4517691,542
11	430164,606	4517686,285
12	430120,438	4517637,59

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Progressivo	X	Y
13	430104,188	4517635,834
14	430100,236	4517631,665
15	429954,009	4517547,087
16	429943,243	4517562,306
17	429920,782	4517607,085
18	429632,742	4518152,892
19	429618,541	4518180,566
20	429643,731	4518199,174

Nei due modelli sono stato utilizzati due metodi di interpolazione differente:

- ✓ il modello "Colmata" è stato interpolato utilizzando il metodo geostatistico *Kriging*. Questo criterio ha un approccio probabilistico, il quale associa ad ogni cella il materiale che con maggiore probabilità si può trovare in quella posizione;
- ✓ il modello "Classificazione" è stato elaborato con il metodo *Nearest Neighbor* che si basa sul principio di vicinanza. Ovvero, il materiale di ogni singola cella è funzione del materiale più vicino alla cella stessa.

La base inferiore di entrambi i modelli, necessaria per la stima dei volumi dei diversi orizzonti che compongono la colmata, corrisponde alla superficie di separazione colmata – sedimenti naturali sottostanti, ricostruita utilizzando i sondaggi terebrati tra il 2018 ed il 2021 come illustrato al par. 2.1.2.2. Nella seguente figura è rappresentata la superficie di separazione elaborata con il programma EVS:

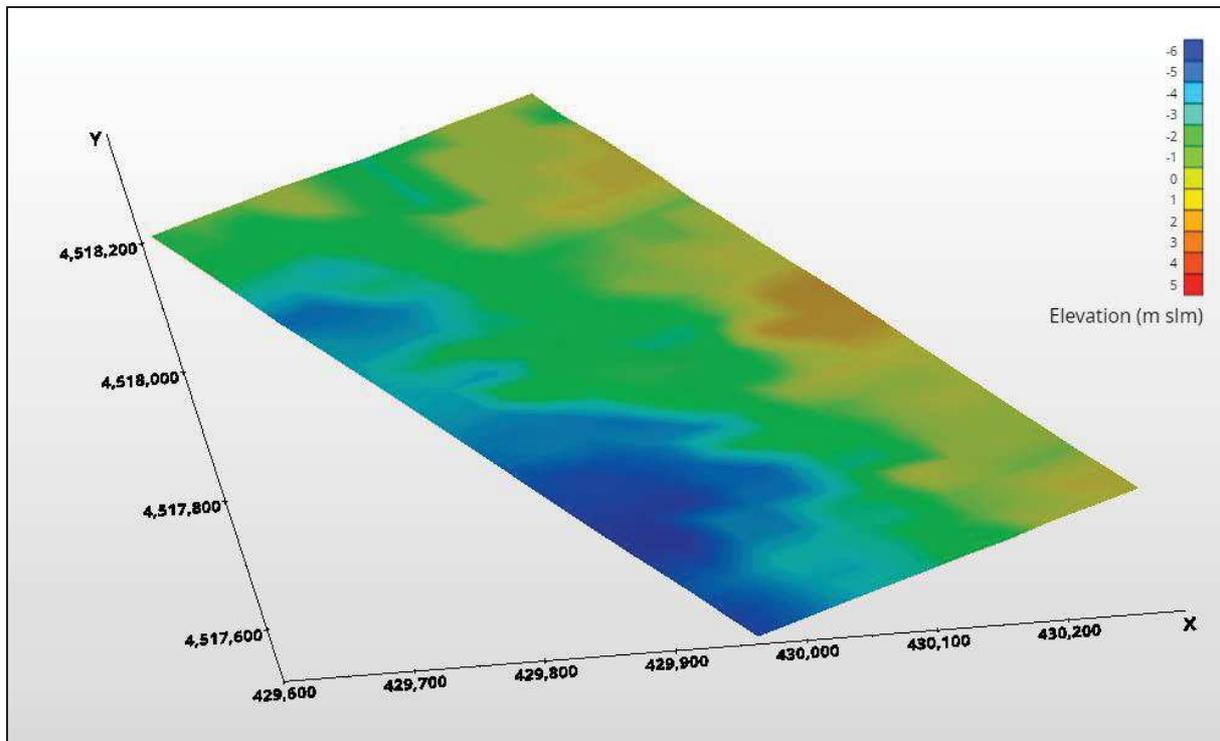


Figura 2-8: Superficie di separazione colmata – sedimenti naturali

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

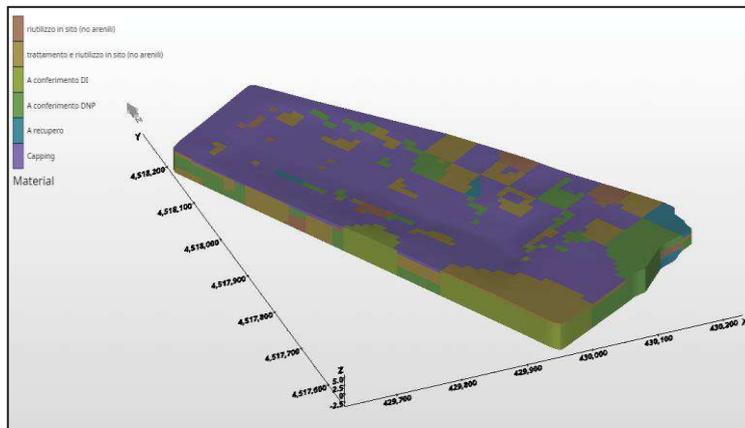
Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

### 2.1.3.2 Ricostruzione tridimensionale della colmata

Per la ricostruzione tridimensionale della colmata e la stima dei volumi dei principali orizzonti che la costituiscono sono stati utilizzati i confini tridimensionali precedentemente definiti:

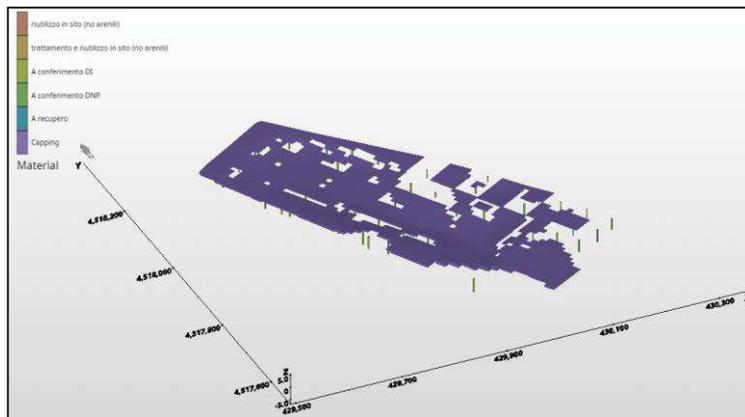
- ✓ il perimetro della colmata (i cui limiti sono riportati in Tabella 2.1)
- ✓ la superficie del piano campagna (si veda par. 2.1.2.1)
- ✓ la superficie di separazione colmata-sedimenti (si veda par. 2.1.2.2).

Nelle seguenti figure sono rappresentate le distribuzioni tridimensionali con un'esagerazione verticale di 5 volte dei sei orizzonti che compongono il modello "Classificazione" e la distribuzione del materiale di riporto con scorie, loppe e minerali fossili determinato con il modello "Colmata".



Modello tridimensionale della "Classificazione" della colmata, elaborato con il metodo *Nearest Neighbor*, basato sul criterio di vicinanza, che determina una ricostruzione a blocchi.

Figura 2-9: Modello "Classificazione"



La figura rappresenta la distribuzione tridimensionale del *capping* realizzato nel 2001, il quale non è continuo.

Figura 2-10: Capping

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

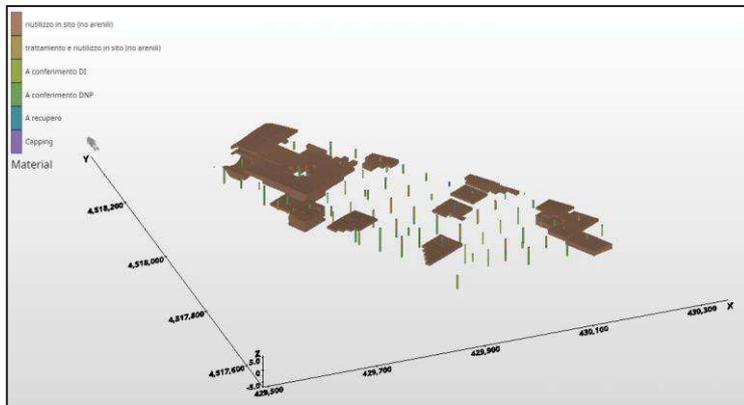


Figura 2-11: Materiale da riutilizzare in sito

La figura rappresenta l'ubicazione del materiale da riutilizzare in sito, ovvero materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo.

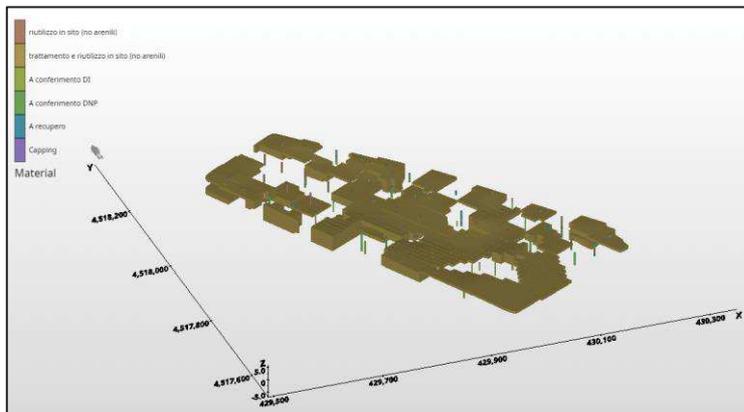
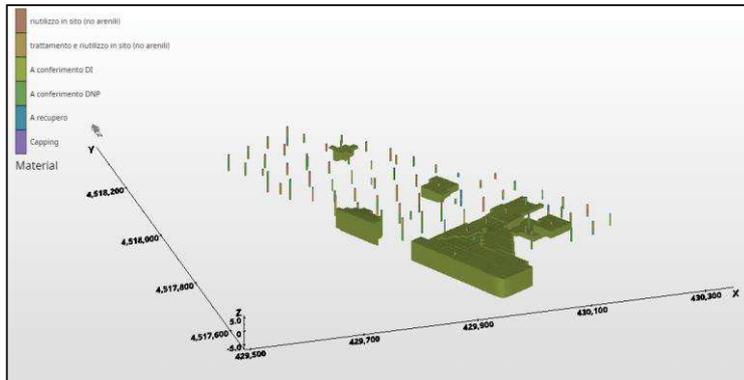


Figura 2-12: Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale

La figura riporta l'andamento del materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale, ovvero materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo.

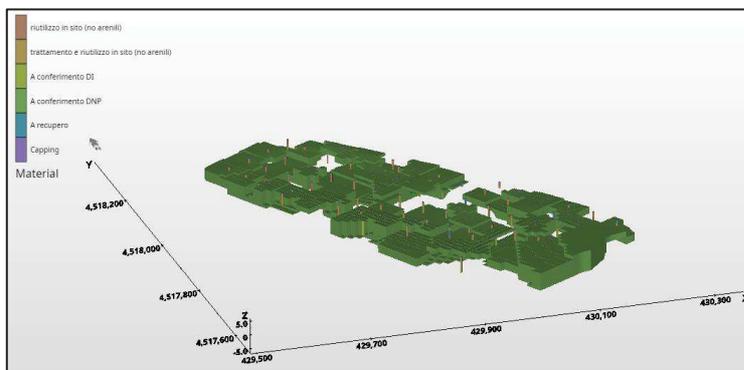
## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



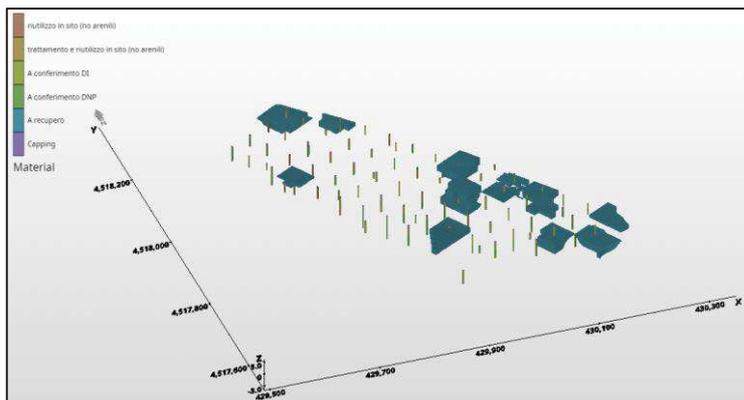
La figura rappresenta l'ubicazione del materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti, ovvero materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella 2 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020.

Figura 2-13: Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti



La figura rappresenta l'andamento del materiale da inviare a discarica per rifiuti non pericolosi, ovvero materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020.

Figura 2-14: Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi



La figura rappresenta l'ubicazione del materiale da inviare a recupero, ovvero materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n° 186 del 05/04/2006.

Figura 2-15: Materiale da inviare a recupero

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

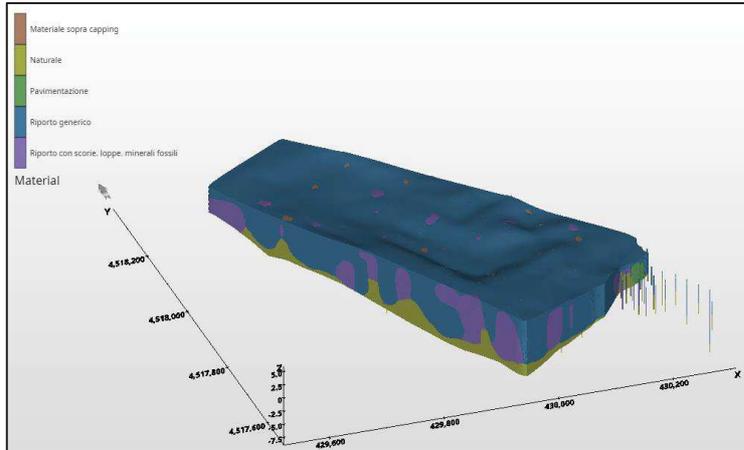


Figura 2-16: Modello "Colmata"

Modello tridimensionale della colmata, elaborato con il metodo *Kriging*, basato sul criterio geostatistico, ovvero che associa ad ogni cella il materiale che con maggiore probabilità si può trovare in quella posizione.

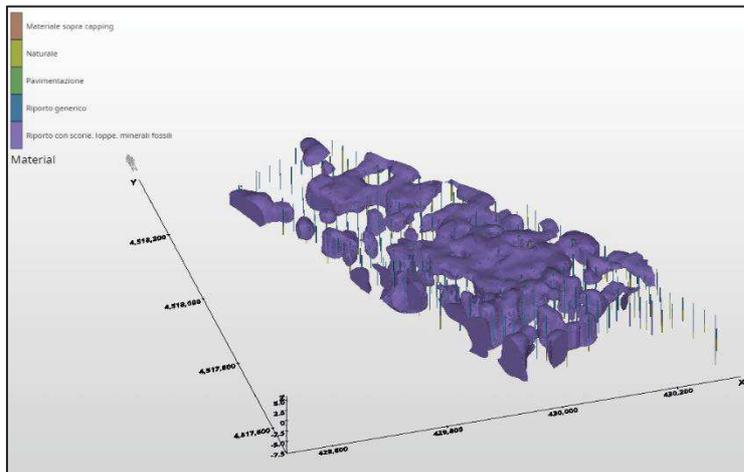


Figura 2-17: Riporto con scorie, loppe e minerali fossili

La figura rappresenta l'ubicazione del materiale di riporto contenete scorie, loppe e minerali fossili. La ricostruzione tridimensionale di questo orizzonte è stata eseguita utilizzando i sondaggi terebrati tra il 1997 ed il 2017.

L'elaborazione dei due modelli ha permesso di effettuare la stima volumetrica riportata nella tabella seguente:

Tabella 2.3: Stima dei volumi elaborati con EVS

Orizzonte	Volume (mc)
<b>Corpo Colmata</b>	<b>1.282.000</b>
Capping	51.000
Riporto con scorie, loppe e minerali fossili	402.000
Riporto generico	829.000
Materiale da riutilizzare in sito	107.800
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale	307.200
Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti	204.500
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	547.300
Materiale da inviare a recupero	64.200

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

L'elaborazione sopra riportata è stata ulteriormente affinata in quanto gli approfondimenti progettuali hanno portato a valutare la necessità di procedere con una messa in sicurezza del Pontile Nord tramite l'installazione di due diaframmi perimetrali (a circa 2 m di distanza dal pontile) a protezione e confinamento del materiale presente al di sotto del pontile stesso e ai fini di consentirne lo scavo nelle zone prospicienti.

Nelle seguenti figure sono rappresentate le distribuzioni tridimensionali dei modelli "Colmata" e "Classificazione" rielaborati escludendo la zona del pontile:

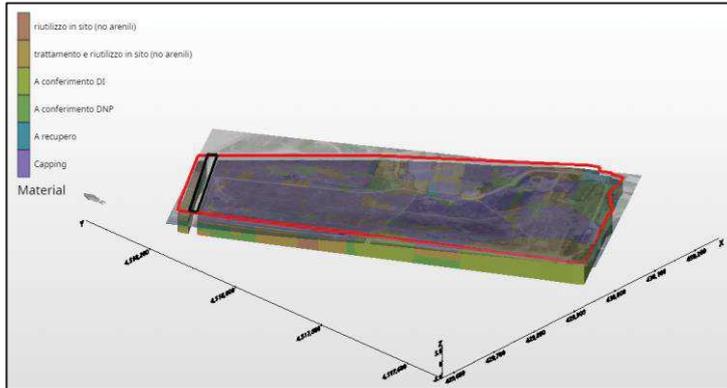


Figure 2-18: Modello "Classificazione" da cui è stata rimossa la porzione di volume sottostante al pontile nord

Modello tridimensionale della "Classificazione" della colmata da cui è stata rimossa la porzione di volume ubicata al di sotto del Pontile Nord. Il modello è stato elaborato con il metodo *Nearest Neighbor*, basato sul criterio di vicinanza, che determina una ricostruzione a blocchi.

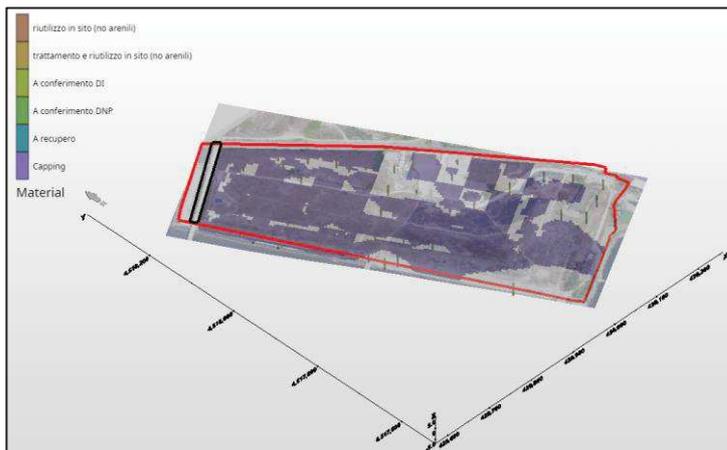
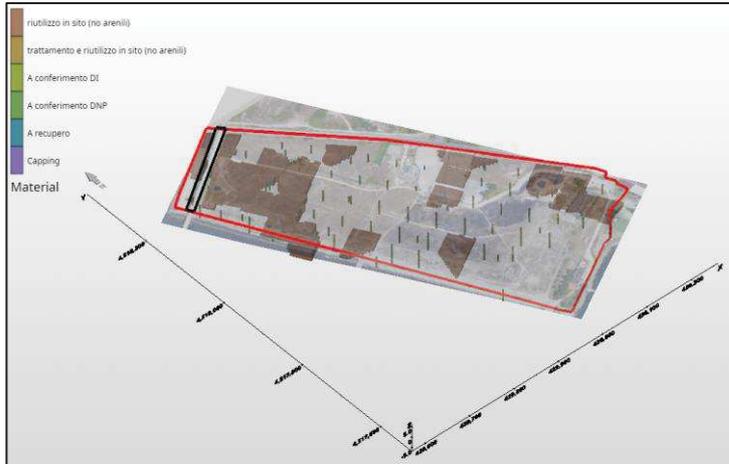


Figura 2-19: Capping a sud del pontile nord

La figura rappresenta la distribuzione tridimensionale del *capping* realizzato nel 2001 che interessa solo la porzione a sud del pontile e non è continuo sulla superficie.

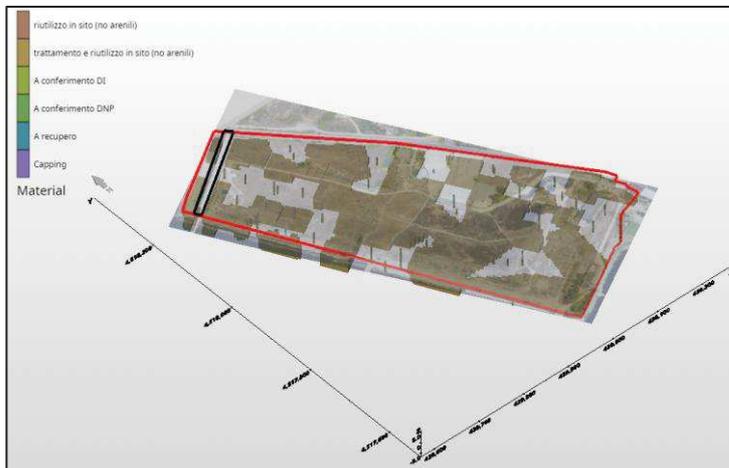
## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



**Figura 2-20: Materiale da riutilizzare in sito ubicato a nord e sud del pontile**

La figura rappresenta l'ubicazione del materiale da riutilizzare in sito, ovvero materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. A del D.Lgs.152/06 e/o Limiti ISS e/o Valori di fondo e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo. Questa tipologia di materiale interessa sia la porzione nord sia quella a sud del pontile.



**Figura 2-21: Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale ubicato a nord e sud del pontile**

La figura riporta l'andamento del materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale, ovvero materiali conformi alle CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e con eluati dei test di cessione conformi ai limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo. Come si evince dall'immagine, il materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale - industriale interessa sia la porzione a nord sia a sud del pontile.

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023



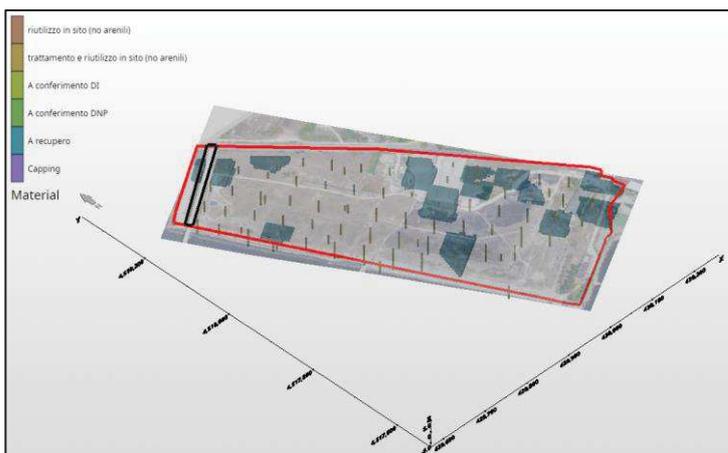
**Figura 2-22: Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti ubicato a nord e sud del pontile**

La figura rappresenta l'ubicazione del materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti, ovvero materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella 2 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020. Questa tipologia di materiale interessa solo la porzione sud della colmata.



**Figura 2-23: Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi ubicato a nord e sud del pontile**

La figura rappresenta l'andamento del materiale da inviare a discarica per rifiuti non pericolosi, ovvero materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella 5 All.4 del D.Lgs. 121 del 3 settembre 2020. Come si evince dall'immagine, il materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi interessa sia la porzione a nord sia a sud del pontile.



**Figura 2-24: Materiale da inviare a recupero ubicato a nord e sud del pontile**

La figura rappresentata l'ubicazione del materiale da inviare a recupero, ovvero materiali eccedenti le CSC Tab.1 Col. B e/o Limiti ISS e/o con eluati dei test di cessione eccedenti i limiti del DM 5 febbraio 1998 e/o Valori di fondo ma conformi ai limiti di Tabella di All.3 del DM Ambiente n° 186 del 05/04/2006. Il materiale da inviare a recupero è presente sia a nord sia a sud del pontile.

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

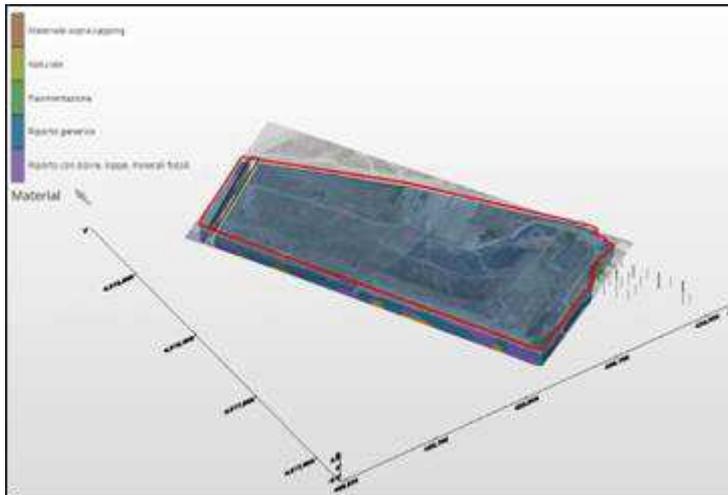


Figura 2-25: Modello "Colmata" da cui è stata rimossa la porzione di volume sotto al Pontile Nord

Modello tridimensionale della colmata, elaborato con il metodo *Kriging*, basato sul criterio geostatistico, ovvero che associa ad ogni cella il materiale che con maggiore probabilità si può trovare in quella posizione. Dal modello è stata rimossa la porzione di volume sottostante al pontile nord.

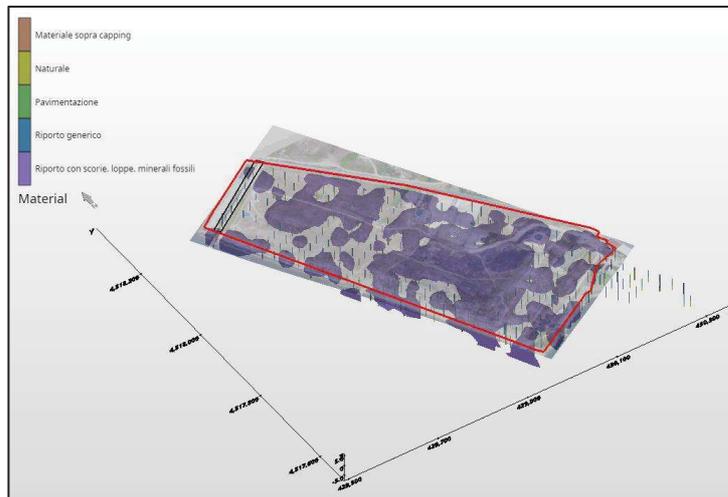


Figura 2-26: Riporto con scorie, loppe e minerali fossili ubicato a nord e sud del pontile

La figura rappresenta l'ubicazione del materiale di riporto contenete scorie, loppe e minerali fossili. La ricostruzione tridimensionale di questo orizzonte è stata eseguita utilizzando i sondaggi terebrati tra il 1997 ed il 2017. Come si evince dall'immagine, il materiale di riporto con scorie, loppe e minerali fossili interessa sia la porzione di volume a nord sia a sud del pontile.

La stima volumetrica dei materiali presenti a nord e a sud del pontile ricavata dai modelli "Colmata" e "Classificazione" è riportata nella tabella seguente.

Tabella 2.4: Stima dei volumi ubicati a nord e sud del pontile ed elaborati con EVS

Orizzonte	Volume (mc)	Volume a sud del pontile nord (mc)	Volume a nord del pontile nord(mc)
<b>Corpo Colmata</b>	<b>1.264.000</b>	<b>1.244.400</b>	<b>19.600</b>
Capping	51.000	51.000	0
Riporto con scorie, loppe e minerali fossili	396.800	394.000	2.800
Riporto generico	816.200	799.400	16.800
Materiale da riutilizzare in sito	102.900	99.800	3.100
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale	302.600	296.400	6.200
Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti	204.500	204.500	0

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Orizzonte	Volume (mc)	Volume a sud del pontile nord (mc)	Volume a nord del pontile nord(mc)
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	540.500	532.000	8.500
Materiale da inviare a recupero	62.500	60.700	1.800

### 2.1.3.3 Determinazione del volume insaturo e saturo

Determinata la ricostruzione tridimensionale della colmata è stato possibile ripartire la volumetria in orizzonte insaturo e orizzonte saturo utilizzando la superficie piezometrica di marzo 2019 elaborata come indicato al par. 2.1.2.3.

Nella seguente figura è rappresentata la superficie di piezometrica elaborata con il programma EVS:

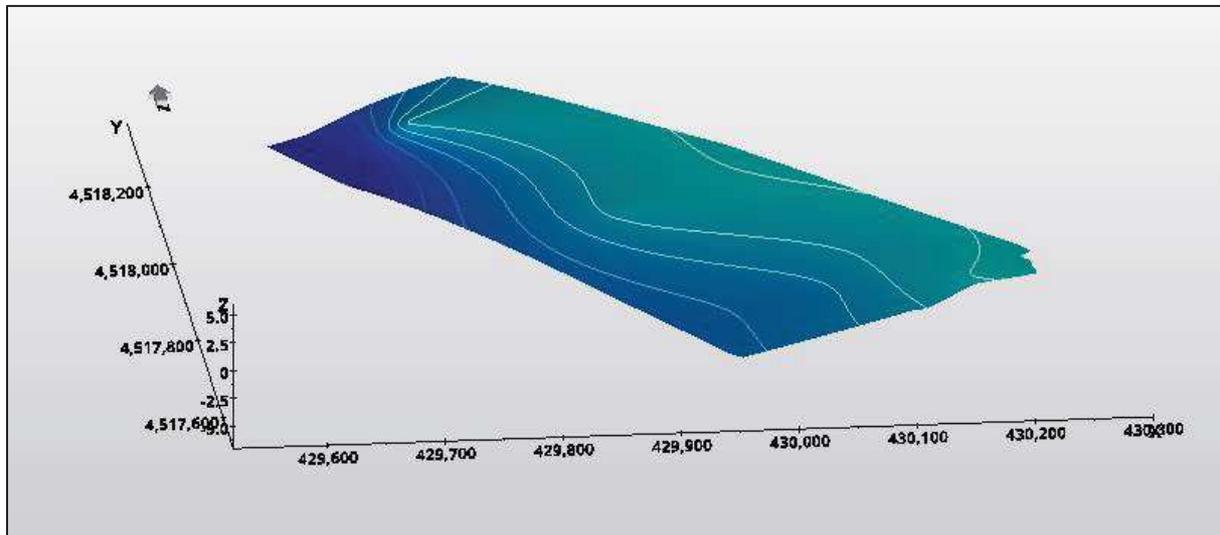


Figura 2-27: Superficie piezometrica (marzo 2019) elaborata con EVS

La superficie piezometrica è stata utilizzata come superficie di taglio dei modelli EVS così da poter stimare il volume di colmata insaturo e saturo.

### Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

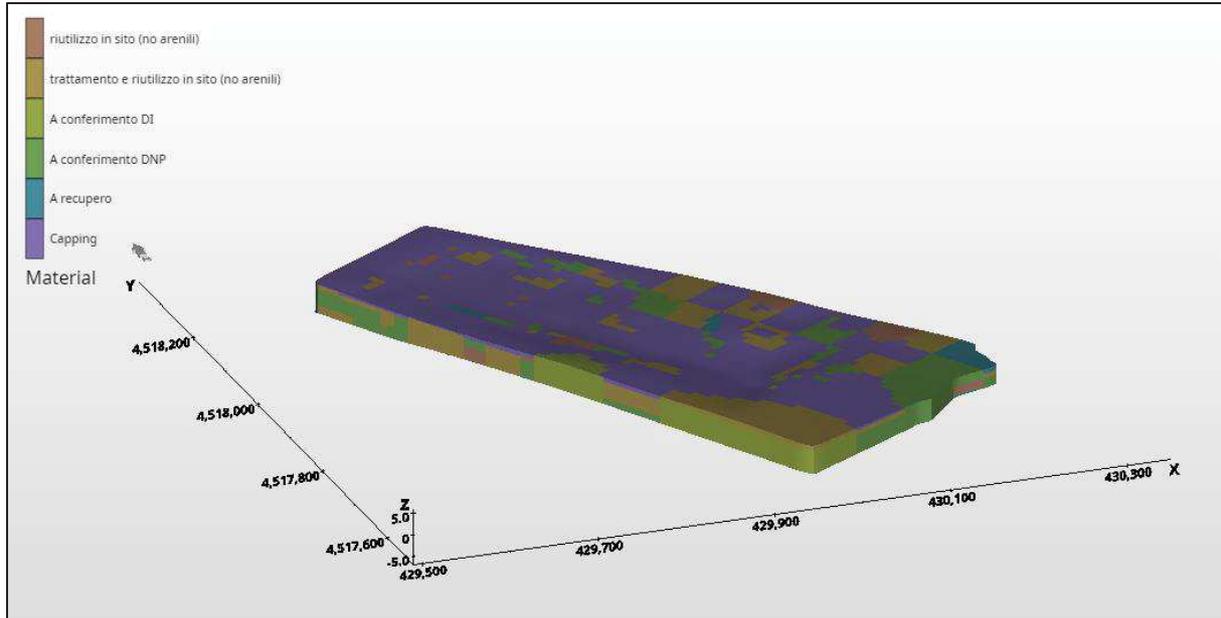


Figura 2-28: Volume di colmata insaturo

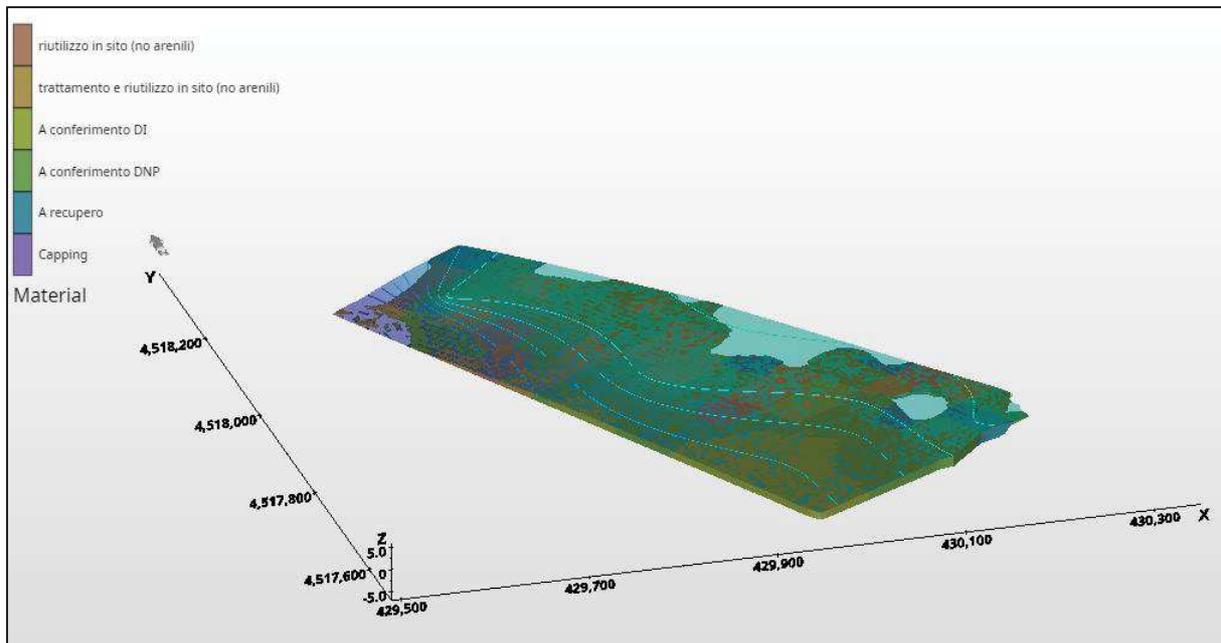


Figura 2-29: Volume di colmata saturo

L'interpolazione tra i Modelli "Colmata" e "Classificazione" e la piezometria di marzo 2019 ha permesso di determinare sia la volumetria complessiva della colmata sia la volumetria dei flussi di gestione dei materiali suddivisi tra insaturo e saturo (si vedano le tabelle seguenti).

### Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

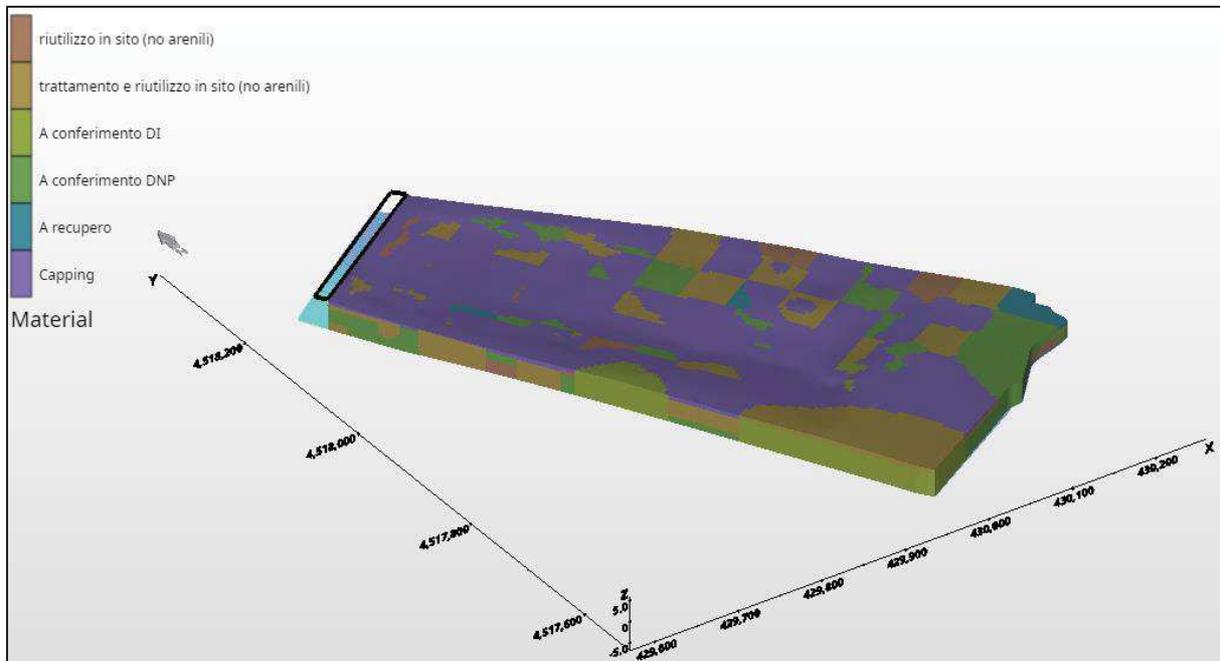
**Tabella 2.5: Stima del volume complessivo della colmata ripartito tra insaturo e saturo**

Orizzonte	Volume (mc)	Percentuale sul totale (%)
Volume insaturo	934.000	73%
Volume saturo	348.000	27%

**Tabella 2.6: Stima dei volumi elaborati con EVS ripartiti tra insaturo e saturo**

Orizzonte	Volume insaturo		Volume saturo	
	(mc)	Percentuale sul totale (%)	(mc)	Percentuale sul totale (%)
<b>Corpo Colmata</b>	<b>934.000</b>	<b>73%</b>	<b>348.000</b>	<b>27%</b>
Capping	51.000	100%	0	0%
Riporto con scorie, loppe e minerali fossili	318.000	79%	84.000	21%
Riporto generico	565.000	68%	264.000	32%
Materiale da riutilizzare in sito	92.800	86%	15.000	14%
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale	250.600	82%	56.600	18%
Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti	146.700	72%	57.800	28%
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	347.700	64%	199.600	36%
Materiale da inviare a recupero	45.200	70%	19.000	30%

Anche in questo caso la stima dei volumi è stata rielaborata rimuovendo la porzione di colmata al di sotto del pontile nord, non oggetto di scavo. Per la determinazione del volume saturo ed insaturo è stata utilizzata la superficie piezometrica del marzo 2019.



**Figure 2-30: Volume colmata insaturo ubicato a sud del pontile nord**

### Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

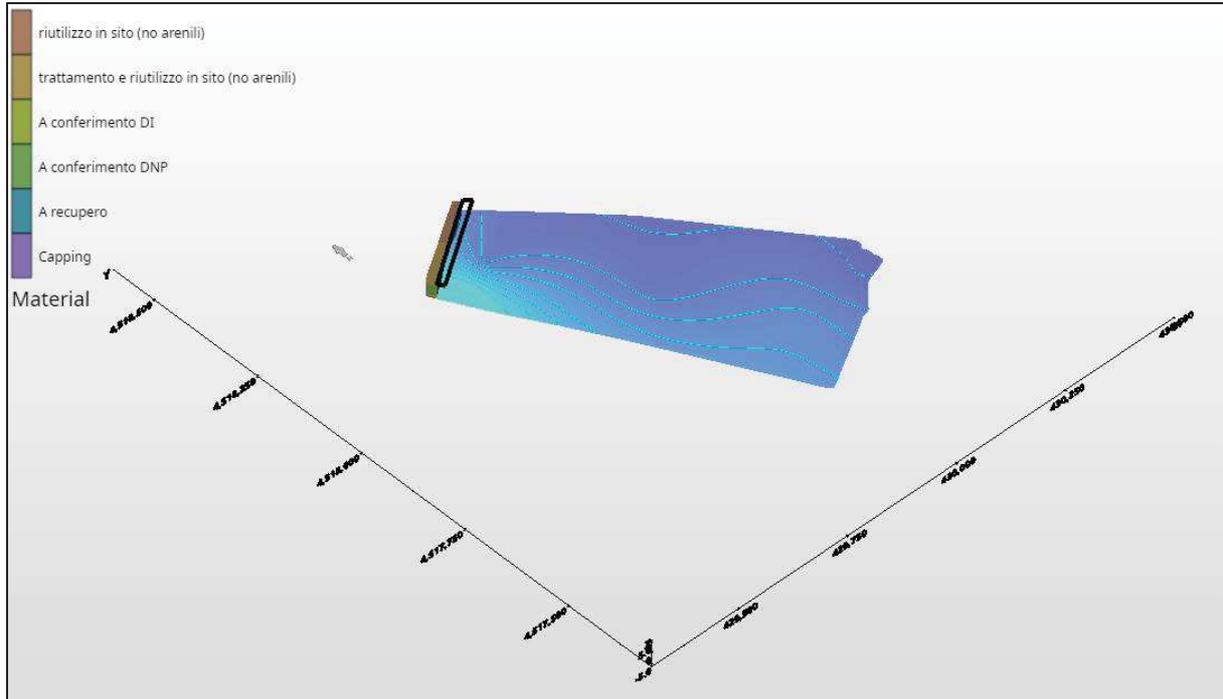


Figure 2-31: Volume colmata insaturo ubicato a nord del pontile nord

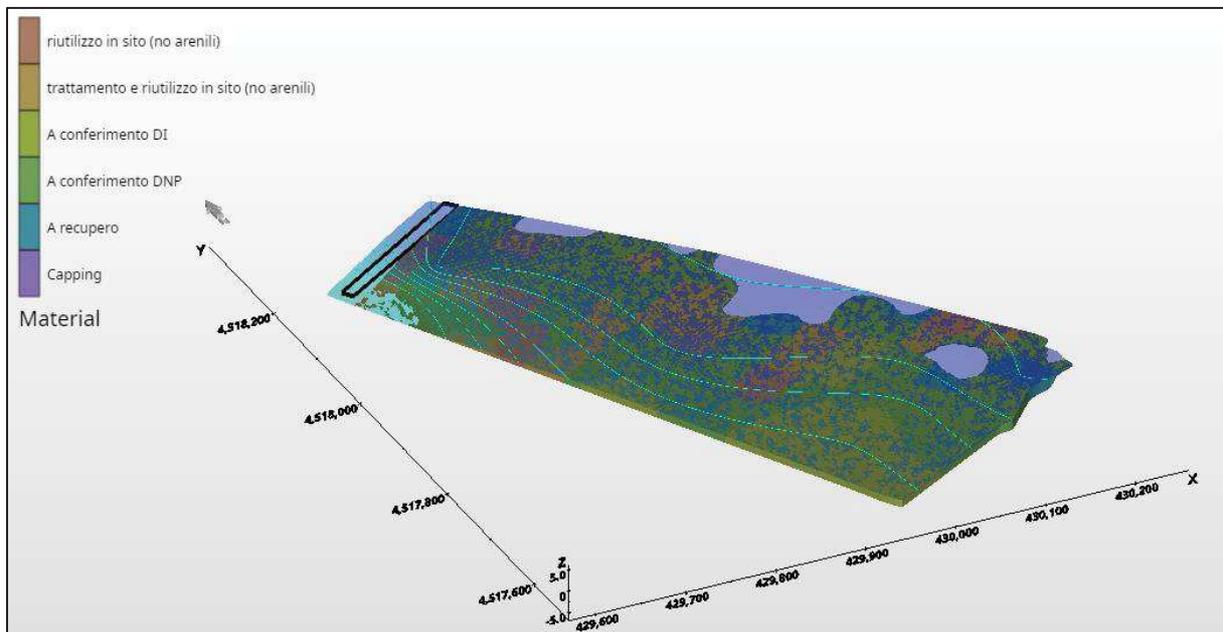


Figure 2-32: Volume colmata saturo ubicato a sud del pontile nord

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

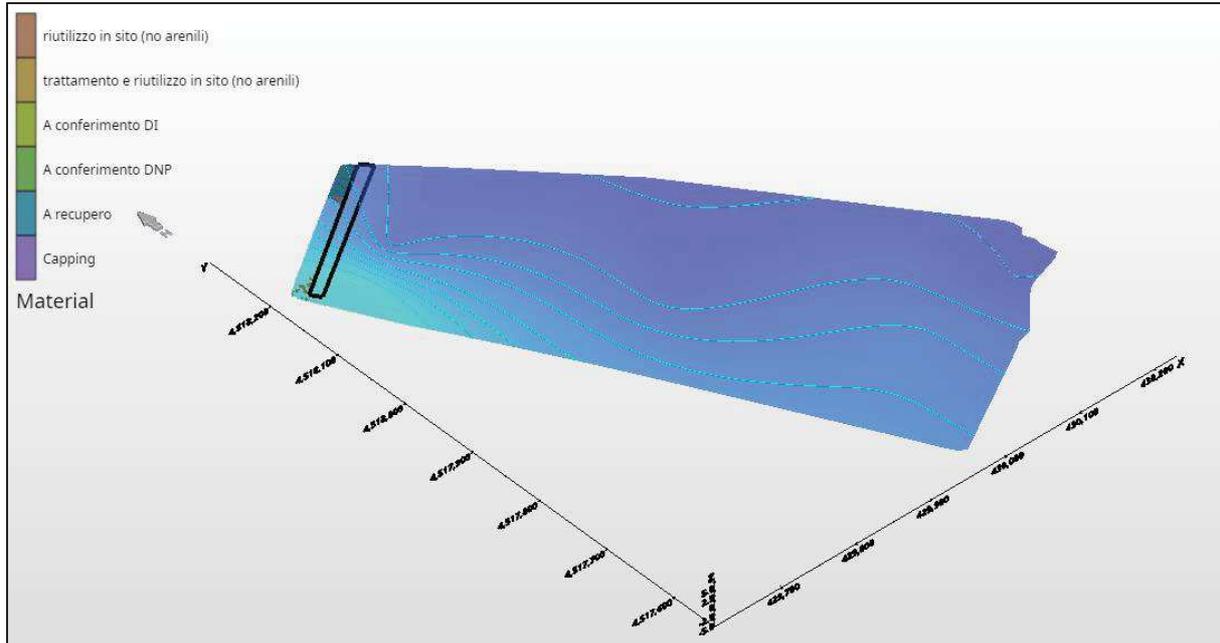


Figure 2-33: Volume saturo ubicato a nord del pontile nord

Le tabelle seguenti sintetizzano le volumetrie complessive delle porzioni di colmata a nord e a sud del pontile suddivise tra insaturo e saturo.

Tabella 2.7: Stima del volume complessivo della colmata ripartito tra insaturo e saturo senza la porzione di volume al di sotto del pontile nord

Orizzonte	Volume (mc)	Percentuale sul totale (%)	Volume a sud del pontile (mc)	Volume a nord del pontile (mc)
Volume insaturo	921.100	73%	903.100	12.900
Volume saturo	342.900	27%	341.300	5.100

Tabella 2.8: Stima dei volumi elaborati con EVS ripartiti tra insaturo e saturo e divisi tra nord e sud del pontile

Orizzonte	Volume insaturo		Volume saturo		Volume a sud del pontile		Volume a nord del pontile	
	(mc)	Percentuale sul totale (%)	(mc)	Percentuale sul totale (%)	Insaturo (mc)	Saturo (mc)	Insaturo (mc)	Saturo (mc)
<b>Corpo Colmata</b>	921.100	73%	342.900	27%	903.100	341.300	18.000	1.600
Capping	51.000	100%	0	0%	51.000	0	0	0
Riporto con scorie, loppe e minerali fossili	312.800	79%	84.000	21%	310.000	84.000	2.800	0
Riporto generico	557.300	68%	258.900	32%	542.100	257.300	15.200	1.600
Materiale da riutilizzare in sito	89.200	87%	13.700	13%	86.200	13.600	3.000	100
Materiale da inviare ad eventuale trattamento e/o riutilizzo in sito in aree ad uso commerciale-industriale	246.400	81%	56.200	19%	240.200	56.200	6.200	0
Materiale da inviare a discarica per rifiuti inerti	146.700	72%	57.800	28%	146.700	57.800	0	0

## Allegato 1 - Definizione dei volumi da gestire nella rimozione della colmata

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-01-AR-RS-REL-01-01-Agosto 2023

Orizzonte	Volume insaturo		Volume saturo		Volume a sud del pontile		Volume a nord del pontile	
	(mc)	Percentuale sul totale (%)	(mc)	Percentuale sul totale (%)	Insaturo (mc)	Saturo (mc)	Insaturo (mc)	Saturo (mc)
Materiale da conferire a discarica per rifiuti non pericolosi	343.000	63%	197.500	37%	335.200	196.800	7.800	700
Materiale da inviare a recupero	44.800	72%	17.700	28%	43.800	16.900	1.000	800

