





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-COROGLIO (NA)".

## RELAZIONE GENERALE

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-GE-REL-01-01 Rev. 1 – Agosto 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	Emissione	D. Lesina	M. Balzarini	E. Robertella Stacul	07/2023
1	Aggiornamento	V. Montella	M. Balzarini	E. Robertella Stacul	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



ambiente  
consulenza & ingegneria  
esperienza per l'ambiente

ARCADIS

FINALCA  
ingegneria s.r.l.



3BA s.r.l.  
engineering and consulting



AS

## INDICE

	Pagina
<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
<b>1 PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2 STORIA DELL'INIZIATIVA</b>	<b>6</b>
<b>3 OBIETTIVI DEL PROGETTO</b>	<b>8</b>
<b>STUDI E INQUADRAMENTO</b>	<b>10</b>
<b>4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>10</b>
<b>5 INQUADRAMENTO AMMINISTRATIVO</b>	<b>14</b>
<b>6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO</b>	<b>16</b>
<b>7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>17</b>
<b>8 INQUADRAMENTO METEOMARINO</b>	<b>18</b>
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>19</b>
<b>9 PREMESSE</b>	<b>19</b>
9.1 IL PFTE	19
9.1.1 Sostenibilità Ambientale ed Economica	19
9.1.2 Stato di avanzamento della progettazione/esecuzione della componente "infrastrutture" nell'ambito del PRARU del SIN Bagnoli Coroglio	19
9.1.3 Stato di avanzamento della progettazione/esecuzione della componente "rigenerazione urbana" nell'ambito del PRARU del SIN Bagnoli Coroglio	20
9.1.4 Coordinamento del presente PFTE con il piano plano-volumetrico e la componente infrastrutture	22
9.1.5 Gestione del transitorio e attività di monitoraggio	22
9.1.6 Espropri ed occupazioni temporanee	23
<b>10 ASSUNZIONI</b>	<b>24</b>
10.1 LINEA DI RIVA, RIPASCIMENTO E OPERE DI PROTEZIONE E CONFINAMENTO	24
10.2 COLMATA (MACROAREA 1)	26
10.3 ARENILI EMERSI NORD E SUD (MACROAREA 1) E SEDIMENTI MARINI ON-SHORE / COMPARTO DINAMICO (MACROAREA 2)	28
10.4 TEST DI TRATTABILITÀ	30
10.4.1 Test di trattabilità con soil washing e desorbimento termico (2020)	30
10.4.2 Test di trattabilità con soil washing (2023)	31
10.4.3 Stima del possibile scenario di trattamento dei sedimenti escavati/dragati	35
<b>11 MODELLAZIONE NUMERICA INTEGRATA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DELLA LINEA DI COSTA</b>	<b>37</b>
<b>12 DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROGETTAZIONE DELLA LINEA DI RIVA</b>	<b>40</b>
12.1 IDENTIFICAZIONE DELLE AREE OGGETTO DI REALIZZAZIONE DELLA NUOVA LINEA DI RIVA, LAYOUT E RELATIVE OPERE DI STABILIZZAZIONE	42
12.2 PROGETTAZIONE CONCETTUALE DELLA SEZIONE TIPOLOGICA DEL RIPASCIMENTO	44
12.3 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI STABILIZZAZIONE	48
12.3.1 Pennello di Chiusura "Nord"	48
12.3.2 Setto "Intermedio"	49
12.3.3 Pennello di Chiusura "Sud"	49
12.3.4 Scogliera Sommersa	50

<b>13</b>	<b>CAPPING</b>		<b>52</b>
	13.1.1	Alterantive progettuali e criteri di scelta	53
	13.1.2	Relazione con altri ambiti progettuali	54
	13.1.3	Piano di sviluppo della progettazione	54
	13.1.4	Risultati attesi	54
	13.1.5	Test eseguiti	55
<b>14</b>	<b>OPERE A TERRA</b>		<b>58</b>
	14.1	ARENILI EMERSI NORD E SUD	58
	14.2	COLMATA	63
<b>15</b>	<b>STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE</b>		<b>66</b>
	15.1	PIANI DI MONITORAGGIO AMBIENTALE (PMA)	66
	15.1.1	PMA della colmata e degli arenili	66
	15.1.2	PMA del capping	68
<b>16</b>	<b>COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA</b>		<b>71</b>
<b>17</b>	<b>CRONOPROGRAMMA</b>		<b>74</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3-1:	Suddivisione area intervento	9
Figura 4-1:	Localizzazione del sito	10
Figura 4-2:	Localizzazione del sito	11
Figura 4-3:	Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli	12
Figura 4-4:	Inquadramento geografico del SIN di Bagnoli Coroglio: in alto immagine da Google Heart, in basso CTR elemento n°447153 NAPOLI – POSILLIPO, scala 1:5000 Regione Campania.	13
Figura 10-1:	Estratto dal PRARU - Tavola di suddivisione delle Macrozone a terra, in arancio la Colmata	26
Figura 10-2:	Ubicazione Area E dell'Arenile Sud sottoposta a test pilota delle tecnologie di bonifica nel 2020	30
Figura10-3:	Aree oggetto di test di dimostrazione tecnologica	32
Figura10-4:	Riepilogo delle verifiche sulla recuperabilità delle matrici solide granulari	35
Figura 12-1:	Stralcio Planimetria di progetto	41
Figura 12-2:	Nuova linea di costa	43
Figura 12-3:	Condizione iniziale per intervento di dragaggio e ripascimento (arenili pre-esistenti a valle dei salpamenti e della rimozione della colmata)	46
Figura 12-4:	Definizione delle superfici da raggiungere mediante escavo/dragaggio (comparto dinamico e scanno di imbasamento scogliera sommersa) e relativi volumi	46
Figura 12-5:	Sezione trasversale di spiaggia a seguito dell'intervento di escavo/dragaggio (comparto dinamico e scanno di imbasamento)	46
Figura 12-6:	Realizzazione della scogliera sommersa parallela a riva	47
Figura 12-7:	Realizzazione del ripascimento: sezione trasversale tipologica di progetto	47
Figura 12-8:	Individuazione aree e scogliera sommersa	48
Figura 12-9:	Particolari costruttivi Pennello di Chiusura "Nord"	49
Figura 12-10:	Particolari costruttivi Pennello di Chiusura "Sud"	50
Figura 12-11:	Particolari costruttivi Scogliera Sommersa	51
Figura 13-1:	Area interessata dall'intervento di Capping (retinata in azzurro)	52
Figura 13-2:	Struttura del Materassino Filtrante Reattivo	53
Figura 13-3:	Struttura del Materassino Filtrante Zavorrato	54
Figura 13-4:	Movimentazione e posa del Materassino.	55
Figura 13-5:	Movimentazione e posa del Materassino.	56
Figura 13-6:	Posizionamento, dettaglio degli elementi galleggianti e delle relative maniche	56
Figura14-1:	Rappresentazione del volume di escavo in sezione e in pianta	59
Figura14-2:	Rappresentazione schematica dei percorsi dei materiali escavati	61
Figura14-3:	Schema di flusso di gestione dei materiali escavati	62
Figura16-1:	Organizzazione cantiere	71
Figura16-2:	Campi base	72

## INDICE DELLE TABELLE

	Pagina
Tabella 10.1: Lotto A1. Riepilogo dei risultati dei test di trattabilità	33
Tabella 10.2: Lotto A2. Riepilogo risultati dei test di trattabilità	33
Tabella 10.3: Lotti A1 e A2. Riepilogo efficienze di abbattimento delle concentrazioni	34
Tabella 10.4: Riduzione delle concentrazioni dei contaminanti attese post trattamento soil washing	36
Tabella 14.1: Volumi di scavo nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud	59
Tabella 14.2: Sintesi volumi di dragaggio nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud	62
Tabella 14.3: Volumi di riporto della colmata	63
Tabella 14.4: Sintesi volumi di escavo e dragaggio nella Macrocella	64
Tabella 15.1: Sintesi delle attività previste dal PMA delle opere progettate nella Microcella Nord, nella Zona Arenile Sud e nella Macrocella	67

## INTRODUZIONE

### 1 PREMESSA

Nel periodo Maggio 2017 – Settembre 2018, sono state eseguite indagini di caratterizzazione integrative dell'area marina costiera prospiciente il sito di rilevante interesse nazionale di Napoli Bagnoli-Coroglio (principalmente Piano di caratterizzazione integrativo aree a terra che ha interessato anche la colmata e Piano di caratterizzazione area marina nell'ambito del progetto ABBACO) e, sulla scorta di tali esiti, Invitalia ha successivamente predisposto il documento "Progetto di Fattibilità Tecniche ed Economiche Bonifiche e Risanamento Ambientale del SRIN di Bagnoli-Coroglio" (PFTE).

Il PFTE è stato sottoposto a Conferenza di servizi preliminare conclusasi nell'agosto 2020 e, sulla base delle ipotesi di intervento ivi definite e dei pareri acquisiti, si è proceduto a definire le modalità operative per l'esecuzione dei test pilota su scala reale delle tecnologie potenzialmente applicabili al contesto marino propedeutiche allo sviluppo progettuale definitivo.

A seguito di aggiudicazione 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-COROGGIO (NA)", il Raggruppamento Temporaneo di Imprese (RTI) costituito da PROGER S.p.A. (mandataria), ARCADIS ITALIA S.r.l. (mandante e ausiliaria), AMBIENTE S.p.A. (mandante e ausiliaria), RINA CONSULTING S.p.A. (mandante), FINALCA INGEGNERIA S.r.l. (mandante), DHI SRL A SOCIO UNICO (mandante), 3BA S.r.l. (mandante), ASPS Servizi Archeologici s.n.c. di Laura Sanna e Francesco Tiboni (mandante), ha in carico la progettazione definitiva propria di questa relazione.

## 2 STORIA DELL'INIZIATIVA

Il Sito di Interesse Nazionale di "Bagnoli-Coroglio" - dichiarato Sito di rilevante interesse Nazionale con D.L. n. 133/2014, convertito in L. n. 164/2014 - è stato perimetrato dapprima con decreto del MATTM del 31 agosto 2001 e successivamente con decreto del MATTM in data 8 agosto 2014. L'area, che ha un'estensione di circa 249 ettari a terra, è localizzata a Napoli nel quartiere Bagnoli ed ha legato indelebilmente il suo nome al complesso siderurgico dell'ex Italsider, attivo dall'inizio del Novecento e dismesso negli anni Novanta del secolo scorso. L'insediamento del polo industriale ha profondamente modificato la struttura dell'area che si trova nel golfo di Pozzuoli, alle pendici della collina di Posillipo, in un'area molto suggestiva, unica dal punto di vista paesaggistico. La storia dell'area è stata segnata dallo sviluppo industriale fin dall'inizio del secolo scorso quando nel 1906 viene impiantata l'Ilva - Italsider che diviene uno dei più importanti poli siderurgici d'Italia. Negli anni '30 si aggiungono poi altre imprese quali l'Eternit e la Montecatini; negli anni '70 inizia la crisi del settore che porta a contrazioni continue fino alla dismissione dell'attività industriale nel corso degli anni '90.

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 Tecnico 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;
- ✓ 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 su detto.

### 3 OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il PRARU, aggiornato nel Luglio 2021, al fine del raggiungimento degli obiettivi di risanamento ambientale, ha definito i seguenti obiettivi specifici e le conseguenti azioni da implementare:

- ✓ **Obiettivo Specifico O.S. 1.3 - Bonificare e risanare la fascia costiera** : *In linea con la nuova vocazione dell'area, sarà realizzata una nuova linea di costa, attraverso la rimozione dell'area di colmata e interventi di bonifica/ripascimento degli arenili emersi da Nord a Sud. Saranno anche realizzati interventi di bonifica e risanamento ambientale della fascia costiera ("Waterfront"), il che richiede come azione la rimozione integrale dell'area di colmata.*
- ✓ **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: Questo intervento prevede il risanamento ambientale delle aree a mare attraverso l'utilizzo delle migliori tecniche possibili (BAT) a costi sostenibili:*
  - 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;
  - 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).

L'obiettivo dell'intervento in oggetto ha lo scopo di:

- ricostituire una linea di riva stabile, che tenderà il più possibile alla linea di riva preliminarmente delineata dal PRARU, attraverso la rimozione della colmata e la posa di un ripascimento strutturale.
- di preservare le zone oggetto di risanamento (sia arenili emersi che sommersi) dai sedimenti provenienti dall'esterno del litorale Nord, delimitandole attraverso un sistema di contenimento composto da opere rigide;
- di consentire in sicurezza la piena fruibilità degli arenili emersi e la balneabilità dello specchio acqueo antistante

Con riferimento alle fonti finanziarie previste, l'area di intervento è stata suddivisa in due Macro Zone:

Macro Zona 1 - Colmata e arenili emersi;

Macro Zona 2- sedimenti marini sommersi

Ai fini della progettazione della nuova linea di riva e degli elementi e strutture di chiusura del sistema, l'area di intervento è stata suddivisa in tre zone, potenzialmente identificabili anche come lotti funzionali nei futuri interventi esecutivi:

- **"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);
- **"Macrocella"** (coincidente con la Macroarea 1), di sviluppo longitudinale pari a 1.000 m, comprendente la zona tra il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile Nord) e il Pennello sud;
- **"Zona Arenile Sud"** (ricadente nella Macroarea 2), di sviluppo longitudinale pari a 600 m, comprendente l'intero Arenile Sud.

All'interno delle aree di cui sopra sono oggetto del presente progetto le lavorazioni identificabili con il pennello di chiusura "Nord", il pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile); il pennello di chiusura "Sud": la scogliera sommersa, il ripascimento della spiaggia e il Capping con ricostruzione dell'habitat naturale.

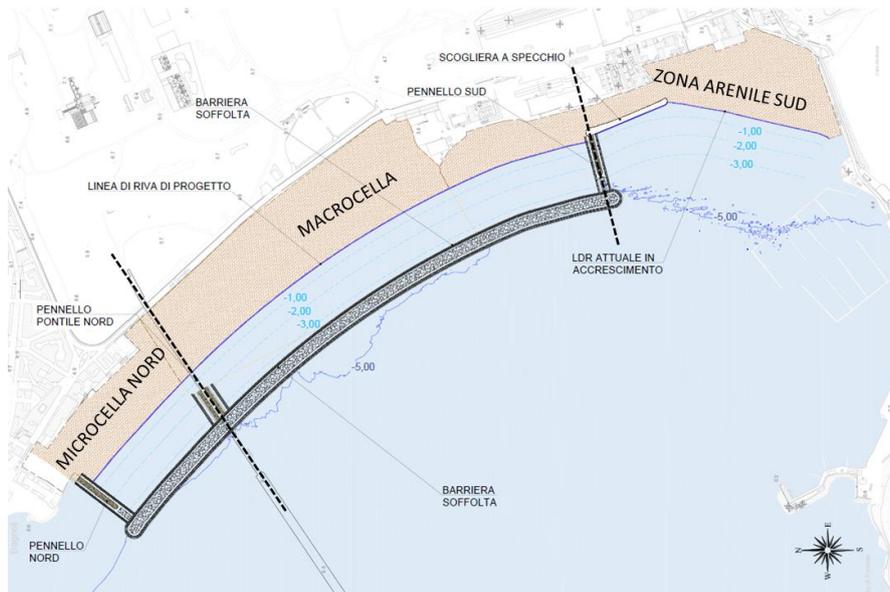


Figura 3-1: Suddivisione area intervento

## 4 STUDI E INQUADRAMENTO

### 4.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La piana di Bagnoli-Coroglio è un'area pianeggiante che affaccia sul Mar Tirreno nel settore orientale del Golfo di Pozzuoli, tra Pozzuoli e Napoli.

In particolare, l'area è delimitata ad ovest dal centro abitato di Bagnoli, a Nord da Fuorigrotta ad est dalla Collina di Posillipo e dall'Isola di Nisida, elemento di pregio paesaggistico. La piana e i rilievi che la circondano rappresentano parte integrante del complesso sistema vulcanico dei Campi Flegrei che, con la sua attività, ha determinato l'attuale configurazione strutturale del territorio.

La Piana di Bagnoli-Coroglio si sviluppa per circa 4 km, in senso SW-NE, in un territorio prevalentemente pianeggiante che va dalla linea di costa ad una quota di circa 50 m s.l.m. L'area ha una superficie di circa 7.5 km<sup>2</sup> e ha una forma quadrilatera trapezoidica.

L'area oggetto di intervento è densamente urbanizzata e presenta una viabilità sviluppata che si articola tra i diversi centri urbani: Bagnoli, Rione Cavalleggeri, Fuorigrotta e Posillipo. La viabilità dell'area è costituita da:

- Via Bagnoli e Via Diocleziano, al limite settentrionale del SIN
- Via Coroglio, tra la Colmata e l'area a terra, al limite occidentale del SIN.
- Via Pasquale Leonardi Cattolica e i suoi proseguimenti Via Cavalleggeri d'Aosta e Via Campegnà, in prossimità della Collina di Posillipo, al limite meridionale del SIN.
- Via Nisida che collega l'Isola di Nisida sia con il SIN che con la Discesa Coroglio e quindi con la Collina di Posillipo.
- Via Enrico Coccia, che attraversa nella parte centrale il SIN
- Le strade che fanno parte della rete stradale principale più vicine all'area sono: il tratto della Tangenziale di Napoli da Pozzuoli a Fuorigrotta e il tratto di SP 303 che comprende Via Solfatarà, Via San Gennaro Agnano, Viale John Fitzgerald Kennedy e Via Giulio Cesare
- Linea metropolitana dalla fermata Bagnoli – Agnano Terme, Agnano, Cavalleggeri Aosta, Napoli Campi Flegrei e Napoli Piazza Leopardi, che costeggia esternamente al perimetro del SIN gli abitati di Bagnoli, Rione Cavalleggeri e Fuorigrotta
- L'area portuale prossima al sito del Porto di Pozzuoli

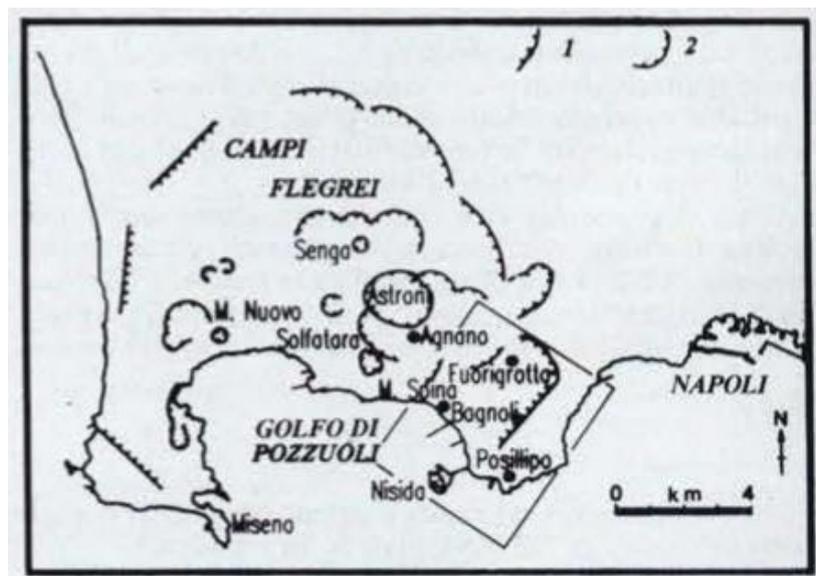


Figura 4-1: Localizzazione del sito

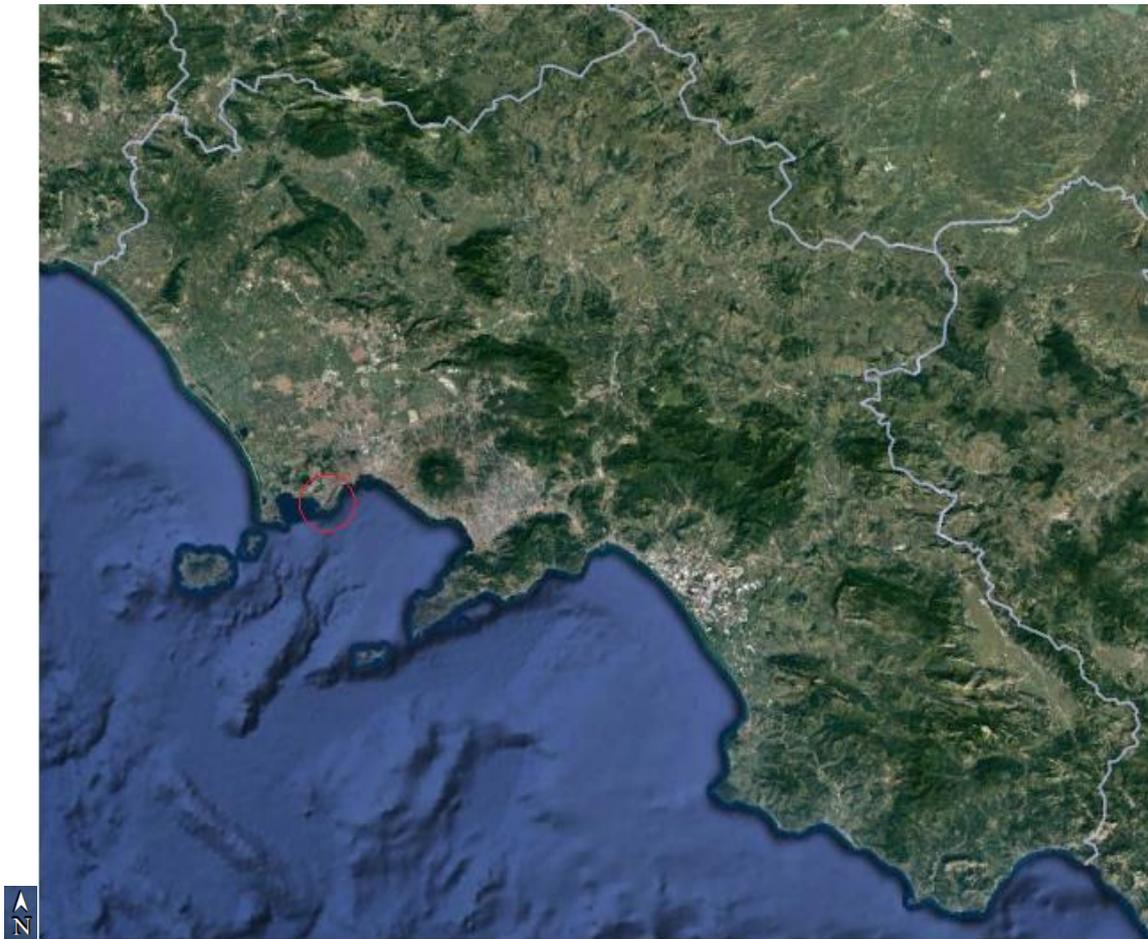


Figura 4-2: Localizzazione del sito

Il focus sulla viabilità è stato inserito sia in relazione alla possibile movimentazione dei materiali coinvolti nel processo di bonifica da/per le aree di trattamento e/o deposito, sia in relazione alle considerazioni esposte nel presente documento per valutare l'eventuale interazione dei luoghi oggetto dello studio rispetto alle particolari condizioni di rischio vulcanico.



Figura 4-3: Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli

Nella cartografia ufficiale italiana (IGM) il sito risulta inquadrato nella serie 25V scala 1:25.000 tavoletta 184 III Nord Est "Pozzuoli". Per quanto riguarda la nuova produzione ufficiale (IGM serie 25) il sito ricade nella tavoletta alla scala 1:25.000 numero 447 II "Napoli". Sempre all'interno della produzione cartografica nazionale, ma alla scala 1:50000 (IGM Serie 50), l'area è ricompresa nel Foglio 446-447 "Napoli"; mentre ricade nel Foglio 184 "Napoli" per la carta al 1:100.000 delle serie 100/V e 100/L. Infine, per quanto riguarda la produzione cartografica della Regione Campania e della Provincia di Napoli, il sito è contenuto all'interno degli Elementi 447142 "Pozzuoli" e 447153 "Napoli - Posillipo" della Carta Tecnica Numerica della Provincia di Napoli alla scala 1:5.000 (Fig.3).

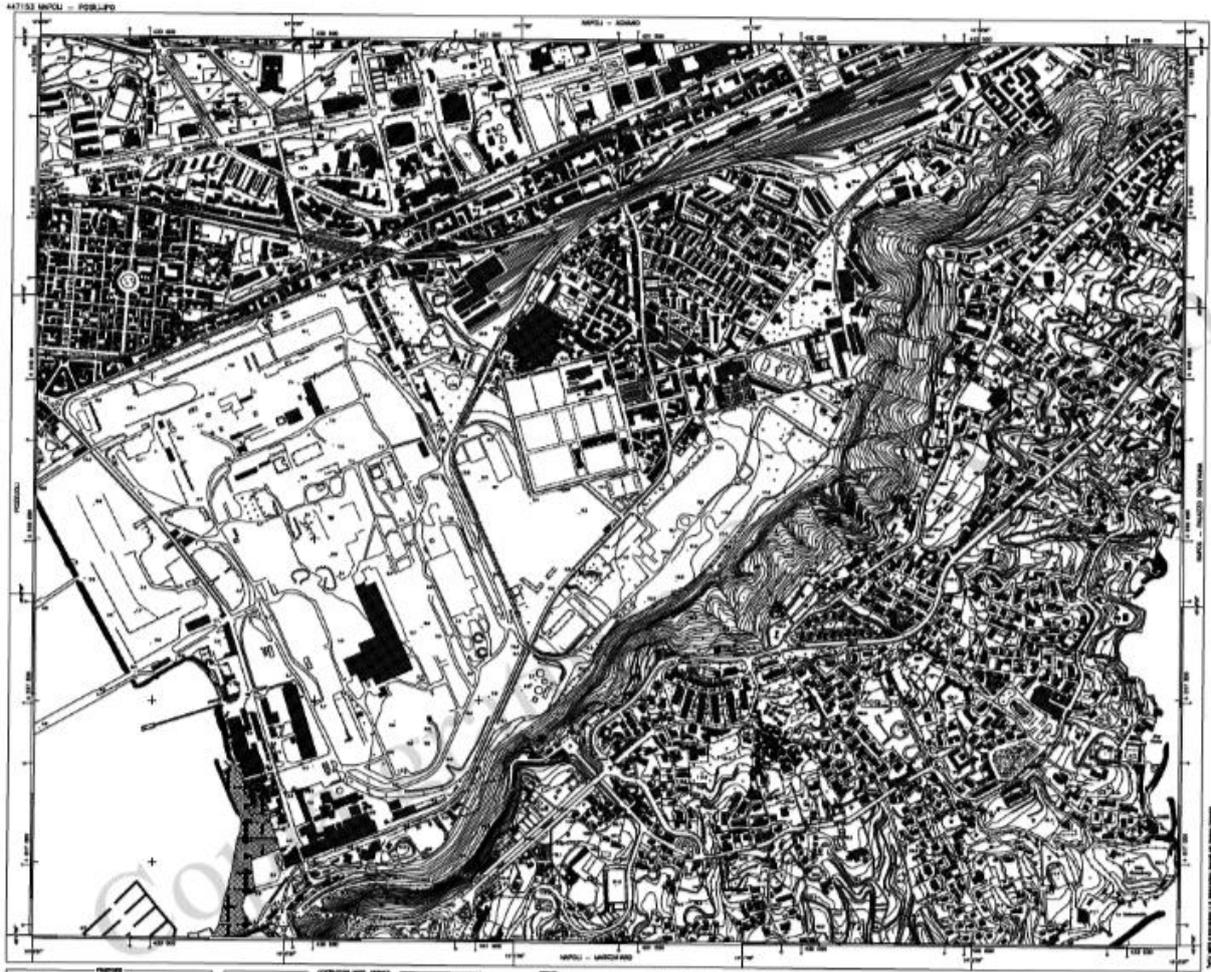


Figura 4-4: Inquadramento geografico del SIN di Bagnoli Coroglio: in alto immagine da Google Heart, in basso CTR elemento n°447153 NAPOLI – POSILLIPO, scala 1:5000 Regione Campania.

## 4.2 INQUADRAMENTO AMMINISTRATIVO

Il risanamento ambientale della piana di Bagnoli, sito industriale dal 1906 al 1994, comprendente le operazioni di smantellamento e rimozione, le demolizioni nonché il risanamento ambientale delle aree dalla presenza di inquinanti, veniva demandato, dapprima, con delibera CIPE del 13 aprile 1994 (adottata in attuazione dell'art. 4 della L. 18 aprile 1984, n. 80) alla società ILVA in liquidazione S.p.A., e, quindi, con il D.L. 20 settembre 1996, n. 486, convertito nella L. 18 novembre 1996, n. 582, all'Istituto per la Ricostruzione Industriale – IRI, anche per il tramite di società da quest'ultimo partecipate; l'IRI affidava la missione di realizzare le opere di risanamento alla società di scopo Bagnoli S.p.A.

Con la L. 23 dicembre 2000, n. 388 (Legge finanziaria 2001) l'area veniva poi ricompresa tra i siti ad alto rischio ambientale per i quali rivestivano carattere di urgenza i necessari interventi di risanamento ambientale e, conseguentemente, veniva istituito Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Bagnoli-Coroglio. In particolare, il SIN Bagnoli-Coroglio è stato perimetrato, dapprima, con decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (di seguito MATTM) del 31 agosto 2001 e, quindi, con successivo decreto del medesimo MATTM in data 8 agosto 2014.

Ai sensi della L. 388/2000, il Comune di Napoli acquisiva la proprietà delle aree oggetto di intervento, subentrando alla società Bagnoli S.p.A. nelle relative attività di risanamento ambientale; pertanto, in attuazione della delibera del Consiglio Comunale n. 40 del 18 febbraio 2002, il 24 aprile 2002 veniva costituita la società di trasformazione urbana a partecipazione pubblica BagnoliFutura S.p.A., alla quale veniva affidato il compito di realizzare gli interventi di risanamento ambientale e di riconversione post industriale. Alla BagnoliFutura S.p.A. veniva trasferita la proprietà delle aree del SIN Bagnoli-Coroglio già del Comune di Napoli.

Con decreto del 31 luglio 2003, adottato dal MATTM di concerto con il Ministero dell'Economia e delle Finanze, veniva approvato il piano di risanamento ambientale presentato da BagnoliFutura.

Nel 2013, il Tribunale penale di Napoli, nell'ambito di procedimenti penali per diversi reati, tra i quali, il disastro ambientale, ha sottoposto a sequestro preventivo alcune delle aree del SIN Bagnoli-Coroglio ubicate nella ex area industriale ILVA e ITALSIDER (quali Parco dello Sport, l'area destinata a futuro Parco Urbano, comprese le archeologie industriali ivi ricadenti, e l'area di colmata con impianto di disinquinamento delle acque di falda), nominando contestualmente un custode giudiziario "dinamico" delle aree sequestrate. Con successivo provvedimento dello stesso Tribunale penale in data 21 novembre 2014, il custode precedentemente nominato è stato poi surrogato nella persona del Direttore Generale della Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque del MATTM. Il sequestro delle aree disposto dal Tribunale è ancora vigente in alcune porzioni di aree.

Nel 2014 è stata deliberata la messa in liquidazione e successivamente dichiarato il fallimento di BagnoliFutura.

Con l'art. 33 del D.L. 12 settembre 2014, n. 133, convertito nella L. 11 novembre 2014, n. 164, sono state emanate disposizioni inerenti il risanamento ambientale e rigenerazione urbana delle aree del SIN Bagnoli-Coroglio (rinominato Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio), così come perimetrato, da ultimo, con il citato D.M. 8 agosto 2014. Alla formazione, approvazione e attuazione del relativo **Programma di risanamento ambientale e di rigenerazione urbana** (di seguito "PRARU"), sono preposti un Commissario Straordinario di Governo (di seguito Commissario), nominato con D.P.C.M. del 3 settembre 2015, e un Soggetto Attuatore, nominato con D.P.C.M. del 15 ottobre 2015 nell'Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa S.p.A. ("INVITALIA"). In forza del combinato disposto del citato art. 33 e D.P.C.M., da ultimo modificato con D.P.C.M. 7 marzo 2018, INVITALIA è divenuta proprietaria delle aree e degli immobili già di BagnoliFutura in fallimento.

L'art. 33 sopra richiamato statuisce che spetti ad INVITALIA il compito di predisporre e presentare al Commissario una Proposta di Programma per il Risanamento Ambientale e Rigenerazione Urbana (di seguito "PRARU"). Tale PRARU viene sottoposto all'esame delle amministrazioni competenti convocate in Conferenza dei Servizi. All'esito della citata Conferenza, il Programma viene adottato dal Commissario e, successivamente, approvato con Decreto del Presidente della Repubblica previa deliberazione del Consiglio dei Ministri (art.33, comma 10).

Con Decreto Legge del 17 ottobre 2016, n. 189, convertito, con modificazioni, con la Legge 15 dicembre 2016, n. 229, è stata introdotta, all'articolo 30, comma 15, una speciale disposizione a tutela della legalità. In particolare, detta normativa prescrive che nelle procedure di gara per gli affidamenti degli interventi relativi alle attività concernenti il risanamento ambientale dell'area di rilevante interesse nazionale Bagnoli-Coroglio di cui all'art. 33 del DL 133/2014, può essere previsto che la partecipazione sia subordinata ai soli operatori iscritti nelle liste di cui all'art. 1, comma 52, della Legge n.190 del 2012 (cosiddette "white list").

In data 19 luglio 2017 è stata sottoscritta tra il Governo Italiano – nella persona del Ministro per la Coesione Territoriale – la Regione Campania e il Comune di Napoli un Accordo Inter Istituzionale per l'aggiornamento del Programma di risanamento ambientale e rigenerazione urbana di cui all'art. 33 del DL 133/2014 citato. La Cabina

di Regia, che si è riunita il 4 agosto 2017, ha approvato il sopra citato Accordo Inter istituzionale con i suoi contenuti tecnici, disponendo l'aggiornamento del Programma, mediante l'istituzione degli appositi "Tavoli tecnici" (per le infrastrutture, per il risanamento ambientale, per l'urbanistica e per i Fondi Europe) previsti dall'Accordo citato, per la definizione dei contenuti di dettaglio del Programma di risanamento ambientale e rigenerazione urbana.

Con nota prot.9407 del 14/02/2018-INV, acquisita al prot.3791/DVA del 14/02/2018, successivamente integrata con nota acquisita al prot.DVA\_2018\_0005443 del 06/04/2018, la società INVITALIA S.p.A., ha presentato istanza per una valutazione preliminare ai sensi dell'art.6 comma 9 del D. Lgs 152/2006 relativa al progetto "*Intervento di rimozione della colmata a mare di Bagnoli*". L'intervento in questione, ricadente nelle aree ex ILVA ed ex ITALSIDER del Sito di Interesse Nazionale "Bagnoli-Coroglio", è parte del Programma di Risanamento Ambientale e Rigenerazione Urbana già sottoposto a VAS. Si è ritenuto che l'intervento proposto dovesse essere sottoposto a Valutazione di Impatto Ambientale di competenza statale, nell'ambito di un progetto unico comprendente anche altri interventi, anche se afferenti a tipologie progettuali diverse, insistenti nella stessa area e ad esso connessi.

In data 14 giugno 2019 si è tenuta la Conferenza dei Servizi 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.

Si sono succedute nel mentre una serie di tavoli tecnici tematici e specifiche conferenze di servizi che hanno consentito di procedere all'approvazione di importanti documenti progettuali come di seguito evidenziato:

- ✓ Piano di caratterizzazione integrativo delle aree a terra – Conferenza dei servizi del 14 aprile 2016
- ✓ Completamento degli interventi di bonifica in area Ex eternit – Conferenza dei servizi del 5 aprile 2018, conclusasi con determinazione motivata prot. CSB 0000002-P del 13 febbraio 2019
- ✓ Analisi di rischio sito specifica delle aree ex ILVA e ex ITALSIDER – Conferenza dei servizi del 23 settembre 2019, conclusasi con determinazione motivata prot. CSB 0000011-P del 22 gennaio 2020
- ✓ Piano di caratterizzazione dell'aree marine - Il Piano è stato 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.

Inoltre, INVITALIA, con nota prot. n. 11333 del 04.08.2017, ha trasmesso al MATTM un documento di screening delle tecnologie di bonifica potenzialmente applicabili nel contesto in esame, in cui indicava le tecnologie di bonifica off site (Soil washing – Desorbimento termico) e in situ (Ossidazione chimica e Bio- Phytoremediation) da sottoporre a test dimostrativi.

Il MATTM, con nota prot. 17472/STA del 24.08.2017 ha chiesto parere tecnico ad ISPRA, all'Istituto Superiore di Sanità ed al Consiglio Nazionale delle Ricerche, successivamente con nota prot. 26795/STA del 13/12/2017 ha trasmesso il parere tecnico inviato da ISPRA con nota prot. n. 52762 del 24.10.2017, ed ha chiesto l'invio dei pareri tecnici ancora mancanti, ponendo come limite temporale per la chiusura dell'istruttoria tecnica il 22 dicembre 2017. In considerazione del fatto che, sia entro la data indicata dal MATTM che successivamente, non sono pervenuti ulteriori pareri tecnici si è ritenuta conclusa l'istruttoria tecnica.

### 4.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Lo studio geologico è stato realizzato attraverso tre fasi di lavoro:

- Ricerca e analisi della documentazione bibliografica
- Acquisizione ed interpretazione delle campagne di indagini geognostiche realizzate negli anni nel sito per diversi scopi
- Definizione del modello geologico tecnico di progetto

Dal presente studio sono quindi state caratterizzate dal punto di vista geologico-tecnico le tre aree che compongono il SIN:

- l'area di colmata è composta da tre differenti strati: il primo strato, quello più superficiale e sottile, è formato da riporto eterogeneo costituito da sabbia limosa, alla base di questo strato si trova un telo di HDPE; il secondo strato più spesso, rappresentante il corpo della colmata, è costituito da terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa oppure da sabbia debolmente limosa/limo sabbioso tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei ed eterometrici. Infine, lo strato di base, rappresentante il sedimento naturale, è costituito principalmente da sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia limosa. Per quanto riguarda la soggiacenza della falda invece, dalle analisi fatte per il PFTE, questa risulta trovarsi a pochi metri dal p.c., con valori variabili da 0.5m in prossimità della costa e gradualmente crescenti fino a 3m dal p.c. al limite della colmata.
- Le aree a terra sono caratterizzate da materiale di riporto fortemente eterogeneo soprastante strati di terreno costituiti principalmente da granulometrie limoso sabbiose, sabbioso limose e ghiaiose. Anche in questo settore la falda è superficiale con valori di soggiacenza che variano da 3 a 11 m dal p.c. andando dalla fascia prossima alla colmata verso il limite settentrionale del sito.
- l'area a mare ricadente nel perimetro del SIN è caratterizzata da forti eteropie sia in senso verticale che laterale. In prevalenza questo settore del sito è caratterizzato da litologie sabbiose con granulometrie variabili da fini a grossolane con buon grado di compattazione.

Il territorio del sito non risulta caratterizzato da rischi legati al dissesto idrogeologico, se non nell'area del SIN confinante con la Collina di Posillipo; invece, non è altrettanto stabile per quel che concerne il rischio Vulcanico. L'area rientra completamente nel cratere dei Campi Flegrei ed è compresa nella zona rossa perimetrata dal dipartimento della protezione civile e dalla Regione Campania (OPCM del 2016).

Il territorio naturale in cui oggi sorge il SIN è stato fortemente modificato dallo sviluppo industriale e urbano che dai primi anni del '900 ha caratterizzato l'area occidentale di Napoli. Dall'analisi dei dati è emerso come importanti volumi di terreni risultino inquinati in tutti i settori del sito, così come purtroppo a volte la contaminazione ha raggiunto gli strati naturali sotto l'area a terra e sotto la colmata e in parte riguardando anche i sedimenti marini. Per questo la definizione dell'evoluzione di fenomeni geologici attraverso uno studio multidisciplinare che integra informazioni qualitative e quantitative è fondamentale per capire come lo sviluppo del progetto si possa integrare con i rischi che insistono sul territorio.

## 4.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto lito-stratigrafico appena descritto si traduce, dal punto di vista idrogeologico, nella presenza di un acquifero poroso, di natura prevalentemente detritico-piroclastica, delimitato alla base dal substrato tufaceo e/o localmente da depositi marini pressoché impermeabili.

La successione idrostratigrafica è caratterizzata da orizzonti a diverso grado di "permeabilità relativa"; i diversi litotipi assumono forma pressoché lenticolare e discontinua, se di origine vulcanica o continentale, ovvero geometrie più regolari e continue, se di origine marina. Il flusso, tipico dei mezzi continui, risulta particolarmente influenzato dall'eterogeneità e dall'anisotropia dei litotipi costituenti l'acquifero. Ciò comporta che, localmente, le acque sotterranee tendono ad interdigitarsi in più livelli idrici tra loro interconnessi, mediante flussi di drenanza e/o soluzioni di continuità negli orizzonti meno permeabili.

Le ricostruzioni piezometriche evidenziano, nelle prime decine di metri di acquifero, la presenza di un modello idrodinamico che, a scala di bacino, è riconducibile ad un sistema a circolazione idrica sotterranea "unitaria" ("monofalda"); le diverse falde, laddove presenti, risultano caratterizzate da flussi unidirezionali, da gradienti piezometrici simili (se non disturbati da fattori antropici), da limitate differenze di carico piezometrico, oltre che dalle anzidette interconnessioni.

Localmente i deflussi idrici sotterranei più superficiali, diretti verso mare, sono condizionati localmente dalle opere profonde e dalle infrastrutture di servizio dell'area industriale dell'ex Ilva. Per contro, i circuiti idrici sotterranei relativamente più profondi, e non interferenti con le suddette opere, sembrano seguire un deflusso indisturbato diretto comunque verso mare.

## 4.5 INQUADRAMENTO METEOMARINO

In riferimento al moto ondoso ed alla circolazione, si è reso necessario costruire modelli numerici di dettaglio, in grado di simulare per il sito di Bagnoli-Coroglio le variabili di interesse ad elevata risoluzione. In particolare, sono stati sviluppati due diversi modelli, descritti nel seguito in maniera sintetica.

Un modello bidimensionale per la rappresentazione dei campi d'onda all'interno del Golfo di Pozzuoli, mediante l'applicazione del modulo MIKE 21 SW – Spectral Waves di DHI. Questa analisi, condotta a partire dai dati di onda estratti dal database MWM – Mediterranean Wind and Wave Model, ha permesso di ricostruire le condizioni ondometriche (in termini di altezza d'onda significativa, periodo e direzione media di propagazione delle onde) per un periodo di 43 anni.

I risultati del modello d'onda mettono in evidenza che le onde provenienti da Sud-Est raggiungono la zona al largo del Golfo di Pozzuoli già molto attenuate, grazie alla protezione offerta dalla Penisola Sorrentina. Per queste onde l'area in studio è ulteriormente protetta dall'isola di Nisida che crea un effetto schermante fino al litorale di Bagnoli. Le onde più alte provengono dal settore SSO: le direzioni comprese tra 160°N e 240°N presentano infatti un fetch molto elevato, non risultano schermate né dall'isola di Capri (più a Est), né dall'isola di Ischia (più a Ovest) e sono pressoché perpendicolari al tratto costiero centrale del Golfo di Pozzuoli. Queste condizioni arrivano però in corrispondenza dell'area in studio attenuate grazie sia al processo di rifrazione, ossia alla tendenza dei fronti d'onda a ruotare per disporsi parallelamente alla linea di riva, sia alla protezione offerta dall'isola di Nisida. Infine, le onde provenienti da OSO raggiungono il Golfo di Pozzuoli attenuate dall'isola di Ischia e di Procida, ma hanno una direzione pressoché perpendicolare al tratto costiero in studio dove, pertanto, il fenomeno della rifrazione è pressoché assente. In questo caso le onde presentano altezze molto basse lungo la costa Settentrionale ed Occidentale sia grazie alla protezione offerta da Capo Miseno, sia al fenomeno di rifrazione che è importante in questa zona per queste direzioni di attacco del moto ondoso.

L'altro modello è quello idrodinamico tridimensionale (MIKE 3 HD – Hydrodynamics di DHI) ad alta risoluzione che utilizza come condizioni al contorno i dati del modello di circolazione generale disponibile per il Mar Mediterraneo nell'ambito del Servizio Europeo Copernicus (Copernicus Marine Environment Monitoring Service – CMEMS). Questo modello si è reso necessario in quanto il database CMEMS presenta una risoluzione tale da non riuscire a rappresentare in maniera accurata non solo il Golfo, ma anche le isole ed i promontori che lo delimitano, che influenzano notevolmente l'idrodinamica dell'area in studio. Il modello costruito copre pertanto un'area vasta e presenta una risoluzione tale da rappresentare accuratamente la complessa morfologia costiera della zona, nel rispetto di tempi computazionali accettabili.

Il Golfo di Napoli è un bacino di forma semi-circolare situato nella zona orientale del Mar Tirreno, protetto dalla circolazione di largo dalle isole che lo circondano: Ischia e Procida a Nord, Capri e la penisola di Sorrento a Sud. Il meccanismo di generazione della corrente all'interno del golfo risulta principalmente dovuto al vento, ai gradienti di densità ed ai flussi di calore all'interfaccia aria-acqua, nonché alle interazioni con le correnti Atlantiche e Levantine incanalate dai canali di Sicilia e Sardegna. La presenza del Vesuvio e delle altre colline a protezione della città di Napoli giocano un ruolo fondamentale nella concentrazione del vento proveniente da Nord-Est sul golfo prospiciente, con la conseguente generazione di una corrente diretta *offshore* che, specialmente nei mesi invernali, favorisce il ricambio d'acqua del Golfo. Quando invece il vento spira da Sud-Ovest, la circolazione risulta essere caratterizzata dalla presenza di due macrostrutture: una ciclonica ed una anticiclonica, dirette per lo più verso l'interno del golfo, determinando l'intrusione di acqua dall'esterno verso costa. La presenza di caratteristiche orografiche particolari, quali lo stretto tra l'Isola di Capri ed il promontorio di Sorrento, dà origine a correnti all'interno del golfo provenienti da Sud-Est. Quando la corrente Tirrenica è diretta verso Nord-Ovest, si sviluppa un flusso quasi parallelo alla Bocca Grande (compresa tra Capri ed Ischia), entrando nel Golfo di Napoli dalla Bocca Piccola (compresa tra il Promontorio di Sorrento e Capri) e muovendosi verso Ischia. Nel Golfo di Castellammare si forma un vortice anticiclonico ampio, ma caratterizzato da basse velocità. Al contrario, quando la corrente Tirrenica si muove verso Sud-Est, superate le Isole di Procida e Ischia, essa si sviluppa nel settore di largo, parallelamente a costa, per fuoriuscire attraverso lo stretto tra l'Isola di Capri e la Penisola Sorrentina. Questa corrente genera una separazione con la parte interna del Golfo di Napoli, creando una condizione che impedisce il ricambio delle acque costiere e favorisce le condizioni di ristagno. All'interno del Golfo, nella zona più di largo, si genera un vortice ciclonico, mentre la Baia di Napoli ed il Golfo di Castellammare presentano strutture anticicloniche.

## PROGETTO DEFINITIVO

### 5 PREMESSE

#### 5.1 IL PFTE

Nel presente capitolo vengono descritti i principi generali che sono stati adottati nel PFTE dell'agosto 2020, per lo sviluppo delle bonifiche e risanamento ambientale del SIN Bagnoli Coroglio in coerenza con gli obiettivi del PRARU e nel rispetto della normativa vigente. Nel capitolo vengono altresì descritte i criteri specifici delle diverse tipologie di infrastrutture sia in termini tecnici che funzionali.

##### 5.1.1 Sostenibilità Ambientale ed Economica

Il cardine del programma di risanamento ambientale e rigenerazione urbana del SIN Bagnoli – Coroglio è la sostenibilità nelle sue componenti ambientale ed economica affinché gli interventi previsti abbiano un impatto positivo nel lungo termine assicurando un'economicità di gestione e manutenzione delle opere realizzate.

Di conseguenza il PFTE è stato orientato secondo i seguenti principi:

- Sviluppo di soluzioni basate sulla semplicità di realizzazione e di manutenzione;
- Resilienza rispetto alle sollecitazioni ambientali (bradisismo, dissesto idrogeologico, cambiamento climatico, etc.) ed antropiche (numero visitatori stimato nell'ordine di circa 10 milioni anno);
- Utilizzo delle risorse locali disponibili (terreno, risorse idriche, risorse energetiche, etc.);

I successivi livelli di progettazione dovranno tenere conto anche dei seguenti principi:

- Gestione integrata con gli interventi legati alla componente infrastrutture e rigenerazione urbana;
- Utilizzo di materiali a basso impatto provenienti dalla filiera del riciclo e inseribile nella stessa filiera a termine del ciclo vita.
- Adozione di piani di manutenzione e di gestione che contengano esplicito riferimento alle stime dei costi e i livelli di servizio attesi per assicurare una funzionalità continuativa ed efficiente delle infrastrutture.

##### 5.1.2 Stato di avanzamento della progettazione/esecuzione della componente "infrastrutture" nell'ambito del PRARU del SIN Bagnoli Coroglio

Invitalia ha redatto il "Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Infrastrutture e Servizi" (di seguito PFTE Infrastrutture) in rispondenza alle previsioni dello stralcio urbanistico del PRARU e sulla base del "Masterplan idrico" relativo al bacino idrografico di Napoli Occidentale di cui il SIN di Bagnoli-Coroglio è parte integrante, e dello "Studio trasportistico", entrambi prodotti all'esito del "Tavolo tecnico idrico" e del "Tavolo tecnico trasporti" istituiti in data 19 luglio 2017 dall'Accordo Interistituzionale sottoscritto tra il Governo italiano – nella persona del Ministro per la Coesione Territoriale – la Regione Campania e il Comune di Napoli.

Gli interventi previsti dal PFTE Infrastrutture rientrano tra quelli finanziati dalla Delibera n. 11/2018 e la Delibera n. 13/2019 con cui il CIPE ha approvato il secondo e il terzo Addendum del Piano Operativo Ambiente FSC 2014-2020, articolato in Assi di cui il n. 2 è finalizzato a "Tutelare l'ambiente e a promuovere l'uso efficiente delle risorse" mediante specifiche Linee di Azione, tra le quali, l'azione "2.1.1 – Interventi di Bonifica aree inquinate" e l'azione "2.2.1- Interventi per il miglioramento del servizio idrico integrato per usi civili e riduzione delle perdite di rete e di acquedotto.

Il Commissario straordinario di Governo, inoltre, ha individuato ulteriori disponibilità a valere su risorse già assegnate al medesimo con D.L. 185/2015 convertito con L. 9/2016 al fine di garantire adeguata copertura finanziaria per la realizzazione degli interventi previsti dal "Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Infrastrutture e Servizi".

L'Accordo di Programma "Per la realizzazione di interventi di messa in sicurezza, bonifica, riqualificazione urbana e interventi riguardanti il servizio idrico integrato nell'area di rilevante interesse nazionale di Bagnoli Coroglio con risorse del Fondo per lo Sviluppo e la Coesione 2014-2020", sottoscritto in data 3 marzo 2020, tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, – Direzione Generale per il Risanamento Ambientale (DG RiA) e Direzione Generale per la Sicurezza del Suolo e dell'Acqua (DG SuA), il Commissario Straordinario di Governo e Invitalia, approvato con Decreto Direttoriale n. 12/RIA del 6 marzo 2020 e registrato presso la Corte dei

Conti il 20 marzo u.s. con n. 977 disciplina, tra gli altri, gli interventi previsti dal "Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica Infrastrutture e Servizi" in oggetto.

Il Commissario straordinario di Governo ha indetto con nota del 28 aprile 2020 la Conferenza dei Servizi Preliminare ai sensi del comma 3 dell'Art.14 L.241/90 per il PFTE Infrastrutture e che tutti i soggetti in indirizzo o comunque interessati sono invitati a far pervenire proprie determinazioni congruamente motivate entro il 12 giugno 2020.

Tenuto conto che il PRARU prevede all' Obiettivo Generale 2: "Creare un sistema di infrastrutture intelligenti in grado di assicurare il supporto alla piena valorizzazione dell'area e garantire un'elevata resilienza ai cambiamenti territoriali", di conseguenza Invitalia intende restituire all'uso collettivo l'area bonificata mediante la realizzazione e la gestione di un adeguato sistema infrastrutturale all'interno del SIN Bagnoli- Coroglio in stretto coordinamento con le infrastrutture esterne al fine di garantire la piena integrazione e continuità con il tessuto urbano esterno. Le infrastrutture rappresentano, infatti, il raccordo fondamentale tra la bonifica e la rigenerazione urbana di Bagnoli ed assicurano l'adeguata accessibilità e fruibilità delle aree con le relative destinazioni d'uso nel rispetto delle specificità territoriali e paesaggistiche esistenti. Di conseguenza il PFTE Infrastrutture redatto dal Invitalia prevede:

- La realizzazione di un sistema infrastrutturale modulare, scalabile e resiliente alle condizioni ambientali sito specifiche (bradisismo, dissesto idrogeologico, etc.) e ai cambiamenti climatici;
- La realizzazione di un sistema infrastrutturale che sia anche un "dimostratore tecnologico" a livello nazionale ed internazionale per il trasferimento delle tecnologie afferenti ai diversi settori (energia, idrico, trasporti, TLC);
- Il conseguimento della sostenibilità ambientale ed economica degli interventi attraverso lo sviluppo di soluzioni basate sulla semplicità di realizzazione e di manutenzione, la gestione integrata ed intelligente delle diverse infrastrutture/sistemi e la massimizzazione nell'utilizzo delle risorse locali disponibili (terreni, idriche, energetiche, economiche, scientifiche).

Il PFTE Infrastrutture sviluppato da Invitalia ha evidenziato, oltre alla presenza di notevoli vincoli naturali e paesaggistici (dissesto idrogeologico, bradisismo, etc.), anche la necessità di risolvere numerose e complesse interferenze tra le infrastrutture per la previsione nell'area, oltre delle tradizionali urbanizzazioni primarie, anche di grandi collettori fognari, quali Arena Sant'Antonio e Collettrice di Pianura, impianti di pretrattamento dei reflui con condotte prementi di rilancio all'Emissario di Cuma, impianti di trattamento delle acque di falda inquinate. Ulteriori interferenze sono correlate al prolungamento della metropolitana Linea 6 dal deposito Campegna fino a Nisida con quattro nuove fermate ed infine con l'elettrificazione dell'area e, in particolare con la linea AT, la linea MT e la Cabina Primaria.

Alla luce di quanto appena premesso, Invitalia intende assicurare, sia in fase di progettazione che di realizzazione, la massima integrazione del progetto di infrastrutturazione con il progetto di elettrificazione dell'area SIN Bagnoli-Coroglio , il progetto di bonifica ed il progetto di rigenerazione urbana (Parco Urbano, Parchi di Quartiere e Waterfront) attraverso un stretto coordinamento tecnico, funzionale e temporale affinché l'attuazione del disegno unitario previsto nel PRARU sia fortemente presidiato sotto ogni aspetto e tutte le interferenze siano preventivamente analizzate e risolte.

Attualmente è in corso di redazione il progetto definitivo afferente all'intervento denominato "Infrastrutture, Reti Idriche, Trasportistiche Ed Energetiche, dell'area Del Sito Di Interesse Nazionale Di Bagnoli Coroglio";

Infine, occorre l'obbligo anche di segnalare che il PRARU prevede la realizzazione della "Smart City Bagnoli" con la sperimentazione di applicazioni innova ve in grado di innalzare costantemente il livello di resilienza e sostenibilità ambientale ed economica dell'area.

### 5.1.3 Stato di avanzamento della progettazione/esecuzione della componente "rigenerazione urbana" nell'ambito del PRARU del SIN Bagnoli Coroglio

A seguito dell'approvazione dello stralcio urbanistico del PRARU per Bagnoli del 14 giugno 2019 e del successivo DPR di approvazione del mese di agosto si è consolidata la linea di sviluppo di Bagnoli, che prevede un sistema integrato cultura, paesaggio, commercio e turismo, che garantisca azioni di tutela, valorizzazione delle risorse naturali, culturali e del paesaggio urbano.

L'elemento cardine dell'intero processo è il Concorso Internazionale di idee pubblicato nel mese di settembre 2019, alla cui scadenza dei termini sono state presentate 36 candidature, sia nazionali che internazionali. La presentazione delle proposte da parte dei selezionati concorrenti si concluderà indicativamente entro il mese di agosto 2020.

Il Concorso servirà a definire il futuro assetto del parco e delineare l'assetto planivolumetrico complessivo dell'area per la sua massima valorizzazione naturale e paesaggistica.

Si intende dare corpo a questa visione attraverso la realizzazione di un insediamento a bassa densità, connotato da un'alta qualità ambientale, i cui elementi chiave sono il verde ed un'offerta differenziata di nuove attività residenziali, commerciali e terziarie.

Il cuore del nuovo insediamento è il grande parco urbano di circa 120 ettari che si candida a divenire il nuovo polmone verde di Napoli. Un attrattore che al suo interno ospiterà manufatti di archeologia industriale, spazi per la ricerca, attività per lo sport e il tempo libero e che, attraverso i suoi 2 km di waterfront, è un ideale collegamento con il mare del golfo di Napoli.

La definizione planivolumetrica della proposta vincitrice sarà poi approvata dalla Conferenza di Servizi di cui all'art. 33 del D.L. n. 133/2014, che costituirà parte integrante del Norma Tecniche di Attuazione, indicativamente per la fine del 2020.

Solo a seguito di tale approvazione sarà possibile procedere con le progettazioni delle singole fondiarie definite nell'area e poi alla successiva realizzazione degli interventi.

Parallelamente all'attività del Concorso sono in corso valutazioni ed approfondimenti sulla rifunzionalizzazione delle opere esistenti, realizzate da Bagnolifutura che comprendono:

- Porta del Parco;
- Turtle Point;
- Parco dello Sport.

Le tre opere sono state realizzate avvalendosi dei finanziamenti concessi dalla Regione Campania a valere sui fondi del Programma Operativo Regionale (POR) Campania 2000-2006 e del POR Campania 2007-2013.

Porta del parco è un'attrezzatura pubblica integrata e deve tale denominazione al suo ruolo di cerniera tra il grande Parco Urbano, che sorgerà nell'area dell'ex complesso siderurgico Italsider, e il quartiere di Bagnoli.

Attualmente tale struttura, che presenta importanti infiltrazioni di acqua provenienti dalla copertura, è oggetto di un "Avviso esplorativo per la sollecitazione di proposte ai sensi dei commi 15 e 16 dell'articolo 183 del d.lgs. n. 50/2016 per il centro fitness e benessere e il centro informativo/espositivo nel complesso denominato Porta del parco".

In particolare, Invitalia ha individuato i seguenti lotti per i quali sollecita la presentazione di proposte per la valorizzazione e la gestione:

- Centro Fitness e Benessere
- Centro Informativo/Espositivo.

Sono ancora attualmente in corso interlocuzioni e sopralluoghi con i proponenti, per procedere poi con la scelta della soluzione da mettere in gara per il completamento della procedura.

L'ex Turtle Point, progettato e realizzato anch'esso con fondi pubblici, per essere un centro ricerche sulle tartarughe marine, ma mai entrato in funzione e fortemente vandalizzato.

Invitalia, nell'estate del 2019, ha consegnato alla Stazione Zoologica Anton Dohrn la struttura situata nell'ex area di Bagnoli, con n atto che costituisce il primo passo concreto per il rilancio dell'area di Bagnoli.

Il complesso diventerà una Marine Farm and Factory che si candida a essere la più grande infrastruttura europea nell'ambito della produzione di organismi per la ricerca marina, di biotecnologie marine e dell'acquacoltura innovativa.

Parco dello sport, realizzato negli anni '90, su una superficie di circa 20 ettari doveva diventare un grande centro sportive, sotto la collina di Posillipo, da consegnare ai cittadini di Napoli.

Il centro oggi si presenta con caratteristiche di degrado e di abbandono totali, essendo stati oggetto di atti vandalici e furti.

Attualmente è in corso l'approfondimento sull'opera per delineare gli obiettivi di recupero e rifunzionalizzazione da riportare all'interno di un Avviso esplorativo per la sollecitazione di proposte, come già fatto per Parco dello sport.

### 5.1.4 Coordinamento del presente PFTE con il piano plano-volumetrico e la componente infrastrutture

Dal momento che il PRARU si declina in diversi e complessi interventi di risanamento ambientale delle diverse matrici suolo, falda, mare e sedimenti, interventi di infrastrutturazione primaria e secondaria interna ed esterna nonché interventi di rigenerazione urbana che sarà attuata secondo un piano planovolumetrico - oggetto di un Concorso Internazionale d'Idee pubblicato il 12 settembre 2019 - in lotti corrispondenti alle diverse aree tematiche, al Parco Urbano ed al waterfront, si è resa necessaria un'intensa attività di coordinamento in fase progettuale con i referenti delle diverse progettazioni al fine di garantire una costante armonizzazione e sincronizzazione delle stesse. Nel PFTE è stata, pertanto sviluppata un'opportuna analisi tecnica e funzionale per l'individuazione e la risoluzione delle interferenze e la definizione dei vincoli di progetto da trasferire sulle altre progettazioni.

Nella fattispecie è fondamentale chiarire sin da subito il coordinamento del PFTE con il progetto di infrastrutture in base al quale alcuni scavi di terreno vengono computati nel relativo PFTE (vedasi Relazione Trasportistica e Relazione Idraulica), rappresentando solo una quota parte del totale dei terreni scavati ed oggetto di bonifica. Inoltre, il PFTE ha tenuto conto dei seguenti elementi che sono stati ampiamente trattati nel PFTE Infrastrutture:

- future urbanizzazioni previste nell'area interne ed esterne al SIN Bagnoli Coroglio con le diverse destinazioni d'uso, così come meglio definite nello Stralcio Urbanistico;
- Progettazione dell'elettrificazione dell'area del SIN Bagnoli Coroglio in alta e media tensione a carico di Terna e di e-Distribuzione (in qualità di concessionario unico per l'area del Comune di Napoli). A tal fine è stato istituito un tavolo tecnico di confronto con le due società ed è in programma la sottoscrizione di un Accordo di Programma per meglio definire il coordinamento delle fasi di progettazione e realizzazione delle opere necessarie all'elettrificazione dell'area;
- Progettazione della nuova barriera idraulica facente parte del sistema di messa in sicurezza della acqua di falda;
- Progetto di rifunzionalizzazione del Turtle Point dove si è insediata lo Stazione Zoologica Anton Dohrn che prevede la realizzazione di due condotte per la presa a mare e il successivo scarico delle acque marine utilizzate per le attività di ricerca, una vasca di carico e una viabilità dedicata;

### 5.1.5 Gestione del transitorio e attività di monitoraggio

Il tema della sostenibilità ambientale ed economica è centrale nello sviluppo dell'area e, pertanto, è stata studiata nella attuale fase di progettazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale indicando soluzioni costruttive e le predisposizioni da adottare in linea con i seguenti **obiettivi generali**:

- assicurare all'intera area un carattere resiliente rispetto alle sollecitazioni naturali ed antropiche;
- assicurare che gli interventi da realizzarsi, ed i servizi ad esse afferenti, siano gestiti in stretto coordinamento con il resto della città, e che, quindi, siano mirati a supportare l'ottimizzazione nell'utilizzo di tutte le risorse, naturali e umane;
- sperimentare nell'area modelli e tecnologie di intervento innovativi, anche con l'ausilio degli intervenuti aggiornamenti delle BAT, in grado di assicurare una manutenzione ordinaria e straordinaria tempestiva ed efficiente;
- assicurare che il fine ciclo vita delle opere e delle attrezzature da realizzarsi nell'area comporti dei costi di dismissione ridotti e, laddove possibile, consenta di avviare alla filiera del riciclo anche tramite l'impiego di nuovi materiali a basso impatto ambientale;
- promuovere interventi in grado non solo di innalzare la qualità della vita dei cittadini e la qualità dell'ambiente, ma anche l'attrattività del territorio stesso per incentivare la nascita di nuove iniziative pubbliche e private in grado di portare "valore aggiunto" in termini sviluppo economico ed occupazionale.

I successivi livelli di progettazione definitiva ed esecutiva dovranno:

- prevedere nel dettaglio le soluzioni tecnologiche di sensori/attuatori di monitoraggio per le diverse componenti ambientali che possano consentire una manutenzione predittiva e preventiva dell'intera area;
- raccordarsi con gli interventi di monitoraggio definiti nel Rapporto Ambientale della VAS e sviluppati nel relativo Piano di monitoraggio.

Nel PFTE la gestione del transitorio è stata introdotta tra i fattori utilizzati nell'analisi multi-scenario delle soluzioni progettuali al fine di garantire la funzionalità delle infrastrutture e dei servizi essenziali già esistenti nell'area durante la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale. Con transitorio, infatti, si intende il periodo di tempo che intercorre tra la realizzazione/adequamento di un'opera/intervento con relativo collaudo (o eventuale dismissione di un'opera esistente) ed il successivo rilascio al Comune di Napoli, o soggetto terzo indicato da questo.

I criteri per la riconsegna al Comune di Napoli e/o ad altri soggetti da parte di INVITALIA degli interventi/terreni realizzati/bonificati e, quindi il termine ultimo del periodo transitorio potranno essere disciplinati da specifici Accordi di Programma tra Commissario, Comune di Napoli ed INVITALIA nonché da atti di regime ordinario.

### 5.1.6 Espropri ed occupazioni temporanee

Al fine di analizzare tutte le conseguenze derivanti dalle scelte progettuali adottate nel PFTE si è approfondita anche la tematica degli espropri, delle occupazioni temporanee o delle sdemanializzazioni che si renderanno necessarie per l'esecuzione di indagini e/o rilievi nei successivi livelli di progettazione e per l'esecuzione dei lavori di bonifica e risanamento ambientale.

Una parte delle aree interne al SIN interessate dagli interventi di bonifica coinvolge aree di proprietà di privati tra cui:

- **BASI 15 srl (ex CEMENTIR).** Area in cui si collocheranno anche importanti infrastrutture in progetto sia idrauliche (scarico a mare dell'Arena Sant'Antonio, condotte prementi, etc.) che trasportistiche (prolungamento della Linea 6, sebbene questa infrastruttura non sia ricompresa nell'attuale PFTE).
- **Borgo Coroglio.** Tale area costituisce il vecchio borgo marinaro adiacente all'arenile sud, oggetto di interventi di demolizione e riqualificazione urbana, previa caratterizzazione ambientale ed eventuale bonifica.
- **Cavone degli Sbirri.** Tale area privata è esterna alle aree oggetto del PRARU (come già evidenziato nella documentazione di accompagnamento della VAS approvata). È attualmente coinvolta in attività preliminari di caratterizzazione eseguite direttamente dal proprietario dell'area (vedasi successivo paragrafo nel Capitolo 6 Bonifiche aree a terra).

Per tutte le aree da espropriare sarà privilegiata la possibilità di addivenire ad una cessione consensuale che, come previsto dalla normativa vigente, prevede agevolazioni a favore del cedente. Tale approccio, ove necessario ed opportuno, sarà attivato anche in anticipo rispetto alle procedure espropriative in modo da anticipare la disponibilità delle aree.

La mappatura delle aree che saranno oggetto di occupazione temporanea, esproprio o sdemanializzazione sono riportate nell'elaborato grafico "Inquadramento catastale generale con perimetro SIN" (nome file "2015E051INV\_FTE\_AMB\_TT.1.01").

## 6 ASSUNZIONI

Nel seguito si riportano le assunzioni progettuali adottate. Per un maggior approfondimento si rimanda al documento metodologico di progettazione.

Si premette che gli approfondimenti tecnici sviluppati a partire dalle considerazioni riportate nel PRARU e 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 del risanamento complessivo del sito di Bagnoli 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 risultata 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" 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-11-01**) 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 sovralzato 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 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. L'intervento di creazione della nuova LdR prevede pertanto attività di rimozione dei sedimenti emersi e sommersi appartenenti al volume dinamico e il ripascimento con materiale conforme alle CSC previste dall'All.5, Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06, Tabella 1 Colonna A per i "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" o ai Valori di fondo naturale dell'ARIN Bagnoli e con caratteristiche granulometriche che massimizzino la stabilità della costa. Lo spessore di ripascimento è stato previsto pari ad almeno 1 m in corrispondenza dell'intera estensione della spiaggia emersa nella configurazione progettuale.

Per il materiale esistente, non oggetto delle opere di realizzazione della LdR, è stata condotta l'Analisi di Rischio per verificare l'accettabilità del rischio sanitario per i futuri fruitori del sito e per valutare l'interconnessione con le acque di mare antistanti alla nuova LdR.

La progettazione è stata affrontata, quindi, da un lato in maniera unitaria per gli arenili emersi nord e sud, per la rimozione della colmata, per i sedimenti sottostanti la colmata (a valle della rimozione della colmata stessa) e i sedimenti onshore prospicienti l'intera linea di riva progettuale, fino alla "profondità di chiusura", alla luce delle considerazioni su esposte, ma andando ad identificare, già in questa fase, dei potenziali lotti funzionali per i futuri interventi esecutivi.

Tale approccio ha consentito di affrontare tutte le problematiche del sito in maniera coordinata ed efficiente e al fine 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.

### 6.1 LINEA DI RIVA, RIPASCIMENTO E OPERE DI PROTEZIONE E CONFINAMENTO

Le scelte progettuali sono partite da alcune assunzioni, da porre a base di qualsiasi ragionamento e che a loro volta derivano da studi pregressi, indicazioni e dati necessari allo sviluppo delle attività. A seguire se ne riporta la sintesi:

1. la linea di costa a cui tendere è quella delineata preliminarmente dal PRARU nel 2020;
2. l'assetto della nuova linea di costa dovrà attestarsi su un profilo idrodinamicamente stabile nel lungo periodo, quale raccordo tra gli arenili esistenti;
3. dovranno essere recepite le osservazioni pervenute dai vari Enti relativamente al PFTE e al Tavolo Tecnico "Risanamento marino-costiero" attivato dal Commissario medesimo con nota prot. prot. CSB-0000016-P-31/01/2020 dovrà essere garantita nel tempo una condizione di stabilità della linea di riva;
4. dovrà essere previsto un sistema di strutture a chiusura del sistema, con lo scopo di confinamento dell'area soggetta al risanamento. Particolare attenzione dovrà essere posta all'apporto di sedimenti provenienti dall'esterno del litorale Nord, non facente parte dell'intervento di bonifica;
5. dovrà essere rimosso lo strato "attivo" di spiaggia, emersa e sommersa e si dovrà procedere con il ripascimento in modo da evitare che le mareggiate movimentino materiale non bonificato;
6. Le caratteristiche granulometriche (D50) del materiale di prestito per la parte di ripascimento "attiva" a cui si farà riferimento dovranno essere tali da rispettare la granulometria naturale e al contempo minimizzare i volumi di sabbia e massimizzare gli effetti di stabilità.
7. Periodo di ritorno di progetto  $T_r = 100$  anni per l'intervento di ripascimento affinché le mareggiate più impetuose non vadano a movimentare il materiale costituente il "core" della spiaggia di progetto a protezione del materiale non bonificato.
8. Soglia di contenimento basata sulla batimetria – 5 m s.l.m.m. con sommergenza della berma superiore pari a 1.5 m s.l.m.m., al fine di garantire una adeguata conterminazione della zona di realizzazione della nuova spiaggia (sommersa) dalle aree esterne adiacenti verso il largo. Essa creerà una "perched beach" (spiaggia "sospesa), e sarà composta da massi naturali adeguatamente dimensionati.

## 6.2 COLMATA (MACROAREA 1)

Al fine di raggiungere l'obiettivo di ottenere il risanamento complessivo del sito di Bagnoli, il PRARU prevedeva la rimozione integrale della colmata (la cui ubicazione è riportata nell'immagine seguente) mediante scavo, cernita, carico, trasporto e recupero/smaltimento, previa conterminazione dei tre lati a contatto con il mare attraverso un sistema di palancole.



Figura 6-1: Estratto dal PRARU - Tavola di suddivisione delle Macrozone a terra, in arancio la Colmata

Sulla base della suddivisione riportata in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** di cui alla Figura 8-8 la rimozione integrale della colmata è stata progettata in due fasi spazialmente e temporalmente distinte: la prima che prevede la rimozione della porzione a nord del Pontile Nord insieme agli interventi previsti nella Microcella Nord e la seconda che prevede la rimozione della residua porzione (preponderante) insieme agli interventi previsti nella Macrocella.

A tale scopo è stato necessario progettare un sistema di stabilizzazione/confinamento dei materiali presenti al di sotto del Pontile Nord in maniera tale da poter procedere con gli interventi di rimozione nelle due zone (Microcella Nord e Macrocella) in maniera efficace e in sicurezza.

Per definire nel dettaglio gli interventi di rimozione sono stati analizzati i seguenti dati chimici e stratigrafici derivanti dalle indagini eseguite nel tempo in corrispondenza della colmata:

- Sondaggi esplorativi eseguiti nel 1997.
- Rilevamento geologico, idrogeologico e geochimico (Fase 1) eseguito nel 1999 dalla Società Bagnoli S.p.A. consistente in oltre 300 carotaggi a maglia 25x25 che hanno interessato i riporti e i sedimenti insaturi e l'installazione di 6 piezometri fino a -5m rispetto al livello di falda.
- Rilevamento geologico, geochimico e idrogeologico (Fase 2), eseguito nel 2000 con la realizzazione di 80 carotaggi che hanno interessato riporti e i sedimenti saturi.
- Piano di caratterizzazione, redatto da ISPRA ed eseguito da Invitalia nel 2017, che ha previsto l'esecuzione di n. 15 sondaggi. I risultati di tale piano sono stati validati positivamente dal SNPA nel luglio 2018.
- Piano di Caratterizzazione di dettaglio realizzato da Invitalia nel 2018 con la realizzazione di n.66 sondaggi geognostici e 64 prove penetrometriche.
- Caratterizzazione dei sedimenti sottostanti la colmata eseguita da Invitalia nel 2021 nell'ambito dell'Appalto Specifico n.18.

Lo studio e l'analisi di tali dati, eseguiti attraverso la loro completa digitalizzazione in un geodatabase e tramite il software EVS pro, sviluppato dalla C TECH Development Corporation, ha permesso la quantificazione dei volumi di scavo necessari alla completa rimozione della colmata.

Stimata la volumetria dei materiali da rimuovere, la progettazione è stata sviluppata tenendo conto dei seguenti limiti di intervento e interferenze:

1. Interferenze con le seguenti opere/strutture che dovranno essere preservate:
  - pontile nord;
  - opere di sostegno che verranno realizzate preventivamente allo scavo;
2. Interferenze con le seguenti opere/strutture che dovranno essere demolite:
  - Pontile Sud
  - Pontile sala pompe
  - Alveo Canale Bianchettaro
  - Fabbricato ex mensa aziendale
  - Fabbricato ex uffici personale e cabina elettrica
  - Vasca interrata ex impianto acque
  - Fondazioni ex bilici
  - Fondazioni ex centralina di carico e distribuzione nafta
  - Fondazione e nastri 48, 48a e 49
  - Aree impermeabilizzate
  - Scogliera e muro di contenimento
3. Interferenze con le opere di messa in sicurezza delle acque di falda (MISE), composto dai seguenti elementi:
  - una Barriera costituita da n. 31 pozzi di emungimento, localizzati all'interno dell'ex sito siderurgico, 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");
  - un sistema di impermeabilizzazione della superficie della colmata realizzato al fine di minimizzare la lisciviazione dei contaminanti operata dalle acque meteoriche e di ruscellamento.

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.

Alla luce di quanto sopra, la barriera di ricarica, ricadente interamente nell'area di colmata, sarà completamente rimossa. Per quanto riguarda l'impianto TAF2, prima della sua demolizione sarà necessario il completamento della nuova barriera Invitalia e del nuovo impianto di trattamento TAF3.

### 6.3 ARENILI EMERSI NORD E SUD (MACROAREA 1) E SEDIMENTI MARINI ON-SHORE / COMPARTO DINAMICO (MACROAREA 2)

Facendo riferimento agli aspetti finanziari, gli interventi sui sedimenti naturali sono stati suddivisi in MACROAREA 1 (arenili emersi nord e sud e colmata) e MACROZONA 2 (sedimenti sommersi all'interno dell'area marina) è stata sviluppata nel presente progetto, come anticipato, considerando la necessità di un intervento unitario, agendo sull'intero comparto dinamico ovvero sui sedimenti emersi e sommersi che, per effetto delle mareggiate, si miscelano continuamente, individuando dei potenziali lotti funzionali per i futuri interventi esecutivi.

A tale scopo sono state sviluppate azioni di intervento da realizzarsi in progressione negli arenili emersi e sommersi compresi all'interno delle aree Microcella Nord e Zona Arenile Sud che porteranno, oltre al risanamento del sito, alla creazione della nuova linea di riva stabile nel tempo.

La progettazione degli interventi ha considerato le caratteristiche qualitative e fisiche degli arenili emersi e sommersi ricavate dai risultati delle seguenti indagini:

Arenile nord e sud:

- Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 nell'ambito dell'Appalto Specifico n.18 e n.25;
- Caratterizzazione integrativa prevista dal documento Invitalia "Piano di Caratterizzazione Complementare" del luglio-ottobre 2022 ed eseguita da Invitalia nel 2023.

Sedimenti sottostanti la colmata:

- Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2017-2018-2021.

Sedimenti marini:

- Dati raccolti nell'ambito del progetto ABBaCO nei punti di indagini più vicini alla linea di riva progettuale e all'interno del volume dinamico.

Nella progettazione sono state considerate quali aree di intervento le zone che sono state definite dai limiti della nuova linea di riva progettuale. Pertanto, rispetto ai perimetri degli arenili ex PFTE, sono state considerate 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>1</sup>, in corrispondenza delle quali sarà realizzata la nuova spiaggia in aderenza a quanto previsto dal PRARU. È stata invece 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.

Nella progettazione è stata sviluppata tenendo conto dei seguenti limiti di intervento e interferenze:

1. Interferenze con le seguenti opere/strutture che dovranno essere preservate:
  - pontile nord zona colmata;
  - diaframmi e le trincee drenanti presenti sull'arenile nord e sud;
2. Interferenze con 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

\*\*\*\*\*

<sup>1</sup> in quanto contraddistinte da caratteristiche granulometriche peculiari differenti dagli arenili veri e propri

3. Interferenze con i piezometri esistenti in corrispondenza degli Arenili Nord e Sud e con i pozzi di ricarica della MISE della colmata ubicati nella zona a nord del Pontile Nord ed oggi non più attivi.

Il risanamento del sito, oltre ad essere vincolato alla necessità di essere duraturo nel tempo e quindi basarsi sulla linea di riva progettuale stabile, deve permettere la piena fruizione delle matrici ambientali e pertanto, a tal scopo, coerentemente con quanto previsto dal PFTE, il progetto è stato supportato dalla valutazione del rischio per i possibili fruitori delle aree nello scenario futuro post-intervento. L'analisi di rischio (AdR) è stata elaborata partendo dalle basi definite dalle precedenti AdR già condotte nel 2006 e 2016 da ISS e tenendo 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.

Nell'AdR, oltre alla verifica del rischio sanitario connesso con la balneabilità futura, è stata considerata anche l'attuale qualità delle acque marine onshore, sebbene il risanamento delle stesse sarà una conseguenza degli effetti degli interventi eseguiti sulle altre matrici ambientali (arenili, sedimenti sottostanti la colmata, sedimenti marini onshore-volume dinamico) e dipenderà anche in maniera sostanziale dell'interruzione delle altre fonti di contaminazione presenti nel sito (condotte a mare di scarichi civili, effetti delle attività portuali e del passaggio di imbarcazioni ecc.).

Per la verifica del rischio associato alla matrice acque marine onshore sono stati considerati i seguenti dati:

- Caratterizzazione eseguita da Invitalia nel 2021 nell'ambito dell'Appalto Specifico n° 19: monitoraggio di n. 8 stazioni di campionamento, disposte in 4 transeetti perpendicolari alla linea di costa, realizzato a cadenza mensile da febbraio 2021 fino a ottobre 2021 con il prelievo e analisi di campioni disturbati (D) e indisturbati (I);
- Analisi eseguite da RTI a febbraio e marzo 2023 su campioni Superficiali e Profondi (punti di monitoraggio ubicati alle batimetriche -1, -2, -4, -5 e -6 m);
- Analisi di campioni di colonna d'acqua prelevati nell'ambito della Caratterizzazione integrativa prevista dal documento Invitalia "Piano di Caratterizzazione Complementare" (Pdcc) del luglio-ottobre 2022 ed eseguita da Invitalia nel 2023

## 6.4 TEST DI TRATTABILITÀ

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti, il progetto di creazione della nuova linea di riva e 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 seguente par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), 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 seguente par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) per verifica dell'applicabilità del trattamento ai sedimenti marini presenti sino alla batimetrica -5 m da p.c.

### 6.4.1 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>2</sup>.

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



Figura 6-2: Ubicazione Area E dell'Arenile Sud sottoposta a test pilota delle tecnologie di bonifica nel 2020

\*\*\*\*\*

<sup>2</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>

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.

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
- ✓ ghiaino: 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.

#### 6.4.2 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)", l' RTI incaricato della presente progettazione ha eseguito anche 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 Figura6-3):

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

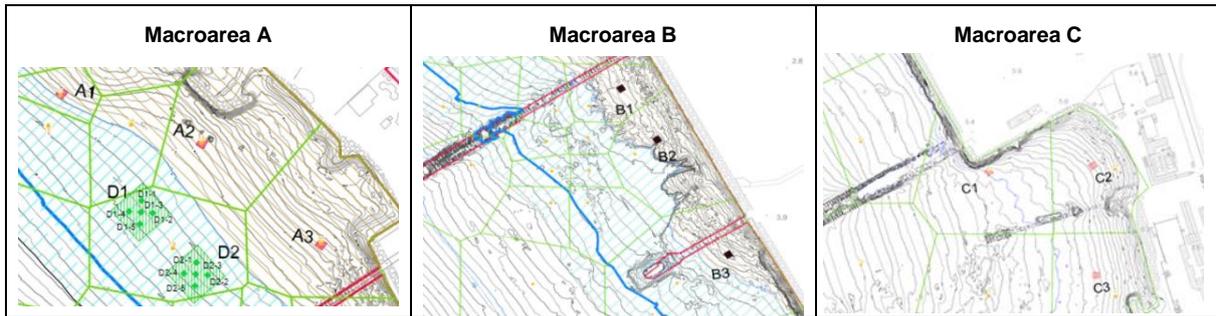


Figura6-3: Aree oggetto di test di dimostrazione tecnologica

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.

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 idrocarburi, 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):
  - 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 raggiungere 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 6.1). Per il Lotto A2, il cui trattamento con il solo lavaggio ad acqua ha mostra 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 6.2).

Tabella 6.1: 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 6.2: 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

Parametro	u.m.	CSC Col. A / Valore di fondo (VF)*	Ingresso	Lotto A2 – Replica 1 Uscita	Lotto A2 – Replica 2 Uscita
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

La tabella seguente riassume 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 6.3: 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 Figura6-4):

- ✓ 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.

	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		Zinco (Zn)		Benzo(b)fluorantene		Zinco (Zn)	
	Benzo(a)pirene		Benzo(a)antracene		Benzo(g,h,i)perilene		Benzo(a)antracene	
	Benzo(b)fluorantene		Benzo(a)pirene		Benzo(b)fluorantene		Benzo(a)pirene	
	Benzo(g,h,i)perilene		Benzo(b)fluorantene		Benzo(g,h,i)perilene		Benzo(b)fluorantene	
	Dibenzo(a,h)antracene		Benzo(g,h,i)perilene		Dibenzo(a,h)antracene		Benzo(g,h,i)perilene	
	Sommatoria IPA		Dibenzo(a,h)antracene		Sommatoria IPA		Dibenzo(a,h)antracene	
			Pirene		Idrocarburi Pesanti C>12		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 al D.M. 05/02/1998 (1,5 mg/l) ma conformi ai Valori di fondo naturale (4 mg/l)

Figura6-4: Riepilogo delle verifiche sulla recuperabilità delle matrici solide granulari

### 6.4.3 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 6.3). 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 6.3), 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 6.3 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.

Tabella 6.4: 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.

## 7 MODELLAZIONE NUMERICA INTEGRATA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DELLA LINEA DI COSTA

A supporto e verifica delle scelte progettuali relative alla sistemazione della linea di riva per il sito Bagnoli-Coroglio a seguito della rimozione dell'attuale colmata è stato applicato un complesso sistema di modellistica numerica mediante l'utilizzo dei codici di simulazione numerica MIKE sviluppati da DHI, che rappresentano senza dubbio la suite di codici di calcolo più avanzata e completa per l'ambiente marino.

Come già esposto, la configurazione progettuale individuata ha dovuto tenere conto di molteplici aspetti; i principali possono essere così sintetizzati:

- ✓ rispettare l'esigenza di creare una superficie minima di spiaggia da dedicare alla balneazione;
- ✓ progettare una linea di riva che si avvicini il più possibile a quella individuata nel 2017 dal Programma di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana (PRARU);
- ✓ minimizzare le opere rigide di difesa trasversali a costa, in considerazione del parere negativo espresso a tal proposito nel 2020 dalla Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Napoli;
- ✓ delimitare la zona bonificata in modo che non si verifichi il trasporto di sedimenti dalle aree limitrofe non bonificate;
- ✓ considerare la presenza del collettore di Bagnoli a Nord dell'attuale colmata e di numerosi scarichi nella zona più settentrionale dell'area di intervento;
- ✓ creare una configurazione della linea di costa stabile nel tempo.

Le valutazioni preliminari a supporto della sistemazione della linea di costa derivano dall'analisi dei risultati del modello monodimensionale LitDrift di DHI che consente, per una serie di profili trasversali di spiaggia rappresentativi, di calcolare la direzione prevalente del trasporto sedimentario e la cosiddetta fascia attiva, ossia la zona delimitata da una profondità oltre la quale le correnti litoranee sono meno intense e frequenti ed il trasporto *longshore* di sedimenti può considerarsi trascurabile. I risultati hanno mostrato come nel tratto in esame il trasporto netto sia diretto da Sud verso Nord e si concentri in una fascia entro i 4.5 m circa di profondità.

Questa prima applicazione è stata utile anche per calcolare, per ciascun profilo, l'orientazione di equilibrio, ovvero l'orientazione della linea di riva per cui il trasporto netto risulta nullo. Tale orientazione è risultata differire leggermente rispetto a quanto indicato nel PRARU.

Sulla base di queste attività preliminari è stato possibile definire, in accordo con la Committenza, una configurazione progettuale preliminare che prevede la realizzazione di una barriera sommersa (berma posta a -1.5 m rispetto al livello medio mare) sulla batimetrica di circa 5 m e di due pennelli trasversali di chiusura, prevalentemente emersi ma con un ultimo tratto sommerso in prossimità della barriera: un pennello Nord, con radice prossima alla foce del canale scolmatore di Bagnoli (sponda sinistra), ed un pennello Sud, con radice posta in corrispondenza della testata della cosiddetta barriera radente "a mosaico". Infine, con lo scopo di garantire una maggiore stabilità della linea di riva, si è prevista la realizzazione, in corrispondenza dell'attuale pontile Nord, di un pennello emerso esteso fino alla barriera: il pontile, attualmente su pali, di cui non è prevista la rimozione, verrà modificato nel primo tratto in modo da garantire al nuovo arenile di potersi "appoggiare" alla struttura, ma senza determinare un ulteriore impatto dal punto di vista paesaggistico.

Per il tratto meridionale del paraggio (arenile Sud), che risulta già molto protetto dalla penisola di Nisida e presenta condizioni di relativa stabilità, gli interventi prevedono la sola bonifica dei sedimenti, senza inserimento di opere rigide di difesa.

Il tratto più settentrionale (a Nord dello scolmatore di Bagnoli) non rientra nel progetto di sistemazione costiera prevalentemente in virtù della presenza di numerosi scarichi a mare, che renderebbero molto complesso il ripristino di condizioni di balneabilità e, allo stesso tempo, la garanzia del mantenimento dell'efficienza idraulica degli scarichi stessi.

Questa configurazione progettuale determina l'individuazione di tre microcelle: "Nord", compresa tra il pennello Nord di chiusura ed il pontile esistente, "Centrale", in corrispondenza dell'attuale colmata, e "Sud", compresa tra la scogliera radente a mosaico esistente e Nisida. Le dinamiche evolutive di queste tre microcelle sono state simulate mediante l'applicazione del modello monodimensionale *LitLine* di DHI, per la quantificazione degli avanzamenti e degli arretramenti della linea di riva a lungo termine. Questa applicazione modellistica ha confermato per la microcella Sud e per quella Nord una condizione di sostanziale stabilità: a Sud il trasporto è assai ridotto grazie alla

protezione naturale garantita da Nisida, mentre il tratto maggiormente esposto è stabilizzato dalla presenza della scogliera radente; a Nord, essendo la microcella di ridotte dimensioni, racchiusa tra due pennelli ed una barriera sommersa, l'apporto/perdita di materiale è trascurabile. Per quanto riguarda la zona centrale, il modello ha messo in evidenza la necessità di prevedere un'orientazione della linea di riva leggermente ruotata (in senso antiorario) rispetto a quella individuata dal PRARU, al fine di massimizzare la stabilità a lungo termine.

L'attività di bonifica lungo tutto il litorale oggetto dell'intervento prevede il dragaggio del materiale contaminato ed il successivo ripascimento dalla quota di 4 m (quota della berma di spiaggia emersa) per un'estensione trasversale a costa tale da comprendere l'intera fascia attiva, ossia indicativamente fino alla profondità di circa 5 m. In particolare, il volume che deve essere dragato per escludere il rischio che, in caso di eventi meteomarinari intensi, parte del materiale non bonificato possa essere movimentato, viene valutato sulla base di:

- ✓ andamento del profilo naturale di spiaggia;
- ✓ andamento del profilo di ripascimento, ossia profilo che segue la legge di Dean per la parte sommersa e profilo con una pendenza 1:20 per la spiaggia emersa;
- ✓ identificazione del "comparto dinamico", ovvero dello spessore di spiaggia (emersa e sommersa) che può essere interessato da processi morfodinamici (prevalentemente per effetto del trasporto trasversale – *cross shore*) in caso di mareggiate intense. Gli spessori di massimo approfondimento previsti in caso di mareggiata sono successivamente, a favore di sicurezza, incrementati di 1 m per tenere conto di un adeguato "franco di sicurezza".

Per l'individuazione e la quantificazione del comparto dinamico è stato applicato il modello monodimensionale *Profile Evolution* di DHI, che consente di calcolare l'evoluzione di un profilo di spiaggia sotto l'azione di diverse condizioni di mareggiata e livelli marini di riferimento. In particolare, il comparto dinamico è stato definito come l'inviluppo dei massimi approfondimenti del fondale che si possono verificare a causa del trasporto *cross-shore* generato dalle mareggiate. Si evidenzia che questa analisi è stata sviluppata in riferimento alla configurazione progettuale finale, ossia considerando i profili di spiaggia post-ripascimento e la presenza della barriera sommersa, che attenua l'energia del moto ondoso incidente. Questo studio ha permesso di concludere che, nelle condizioni di mareggiata e livello del mare più cautelative, si crea un approfondimento del profilo tra le quote di -1.5 m e +3.0 m s.l.m.m.

Il ripascimento verrà eseguito al fine di creare una spiaggia regolare e cilindrica. Il diametro medio di riferimento previsto è pari a 0.4 mm, lievemente superiore al diametro medio attuale che caratterizza il profilo di spiaggia; la scelta di tale valore deriva dalla necessità di considerare le esigenze di stabilità della spiaggia, di fruibilità della stessa, nonché le caratteristiche delle potenziali fonti di prestito del materiale.

Queste ulteriori analisi hanno permesso di fissare, previa condivisione con la Committenza, la configurazione progettuale definitiva, oggetto di verifica finale mediante l'utilizzo della piattaforma modellistica MIKE 21 di DHI, che consente di simulare i campi di onda, corrente e trasporto solido potenziale per una serie di onde rappresentative. A partire dall'analisi dei risultati del modello di propagazione della serie di oltre 40 anni di moto ondoso dal largo fino a costa, sono state identificate 6 onde rappresentative, ciascuna con una frequenza di accadimento annuale, provenienti da diversi settori direzionali. Per queste condizioni d'onda sono stati simulati tutti i processi che intervengono nella propagazione dal largo verso costa, tra cui shoaling, rifrazione, attrito al fondo, frangimento, mediante l'applicazione del modello bidimensionale MIKE 21 SW – *Spectral Waves* di DHI. Questo modello ha consentito di riprodurre, oltre alla variabilità del moto ondoso sottocosta, anche i campi di *radiation stress*, ossia le tensioni tangenziali al fondo che determinano la formazione delle correnti litoranee. Tali correnti sono state simulate, per ciascuna condizione d'onda, con l'utilizzo del modello bidimensionale MIKE 21 HD – *Hydrodynamics* di DHI, che consente di riprodurre i campi idrodinamici (velocità e direzioni di corrente) nell'area in studio, mettendo in evidenza le zone caratterizzate da maggiore idrodinamismo, dalla calma o dalla presenza di vortici. Infine, mediante l'applicazione del modello bidimensionale MIKE 21 ST – *Sand Transport* di DHI è stato valutato il trasporto solido potenziale associato ai campi di onda e corrente precedentemente ricostruiti.

Il sistema modellistico sopra illustrato ha confermato che l'orientazione della linea di costa e la disposizione delle opere di difesa secondo l'ipotesi progettuale determinano per il litorale condizioni di idrodinamismo regolare e molto attenuato. Questa condizione permette di minimizzare gli effetti di erosione localizzati e la conseguente migrazione dei sedimenti al di fuori della cella protetta. D'altra parte, l'analisi dei risultati ha altresì messo in evidenza la sussistenza di condizioni di corrente irregolare, con formazione di numerosi vortici, nella zona a Nord del tratto oggetto di intervento, causati dalla particolare morfologia costiera. Per tale motivo è stata prevista l'esecuzione di un intervento di *capping* nell'area compresa tra il pennello Nord di chiusura e la sponda destra dello scolmatore di Bagnoli. L'intervento di *capping* è tra l'altro previsto anche per tutta la fascia compresa indicativamente tra la batimetrica di -5 m (in corrispondenza del piede della barriera sommersa in progetto) e -7 m. Questo intervento si rende necessario come garanzia che, in caso di forti mareggiate, i sedimenti posti all'esterno della barriera, in

un'area non bonificata, possano essere messi in sospensione e successivamente migrare all'interno della cella bonificata.

Infine, si precisa che a supporto della progettazione di tale intervento di *capping*, attraverso l'applicazione di opportuna modellistica numerica sono state quantificate le tensioni tangenziali al fondo che in caso di mareggiata interessano sia la zona del *capping* (con la finalità di individuare la pezzatura adeguata del materiale costituente lo strato superficiale), sia le zone limitrofe (con la finalità di quantificare il potenziale deposito di sedimento al di sopra del *capping*).

## 8 DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROGETTAZIONE DELLA LINEA DI RIVA

La progettazione della nuova linea di riva e degli elementi e strutture di chiusura del sistema si suddivide in tre zone:

- **"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);
- **"Macrocella"**, di sviluppo longitudinale pari a 1.000 m, comprendente la zona tra il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile Nord) e il Pennello di chiusura "Sud" (testata nord della scogliera "a mosaico");
- **"Zona Arenile Sud"**, di sviluppo longitudinale pari a 600 m, comprendente l'intero Arenile Sud ovvero il tratto ricompreso fra la testata sud della scogliera "a mosaico" e l'infrastruttura di chiusura dell'istmo di Nisida.

All'interno delle aree di cui sopra sono oggetto del presente progetto le progettazioni delle opere nel seguito descritte e dettagliate nei capitoli successivi:

- **Pennello di chiusura "Nord"**: coincide con l'armatura di foce in sinistra idraulica dello scolmatore; **Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile)**;
- **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";
- **Scogliera Sommersa**: considerata un'opera di stabilizzazione longitudinale;
- **Il ripascimento** della spiaggia tale che funga anche da ricoprimento in sicurezza degli arenili (emersi e sommersi) originari;
- **Il Capping** con ricostruzione dell'habitat naturale, il cui scopo è quello di isolare i sedimenti contaminati dalla colonna d'acqua sovrastante, impedire il contatto degli organismi scavatori con i sedimenti contaminati, evitare che i sedimenti siano interessati dai fenomeni di erosione e turbolenza al fine di prevenirne i fenomeni di dispersione in ambiente marino e permettere la ricostruzione dell'habitat marino.

L'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-GE-PLA-01-00** riporta la planimetria generale con individuate le opere in progetto (uno stralcio è riportato nell'immagine seguente).

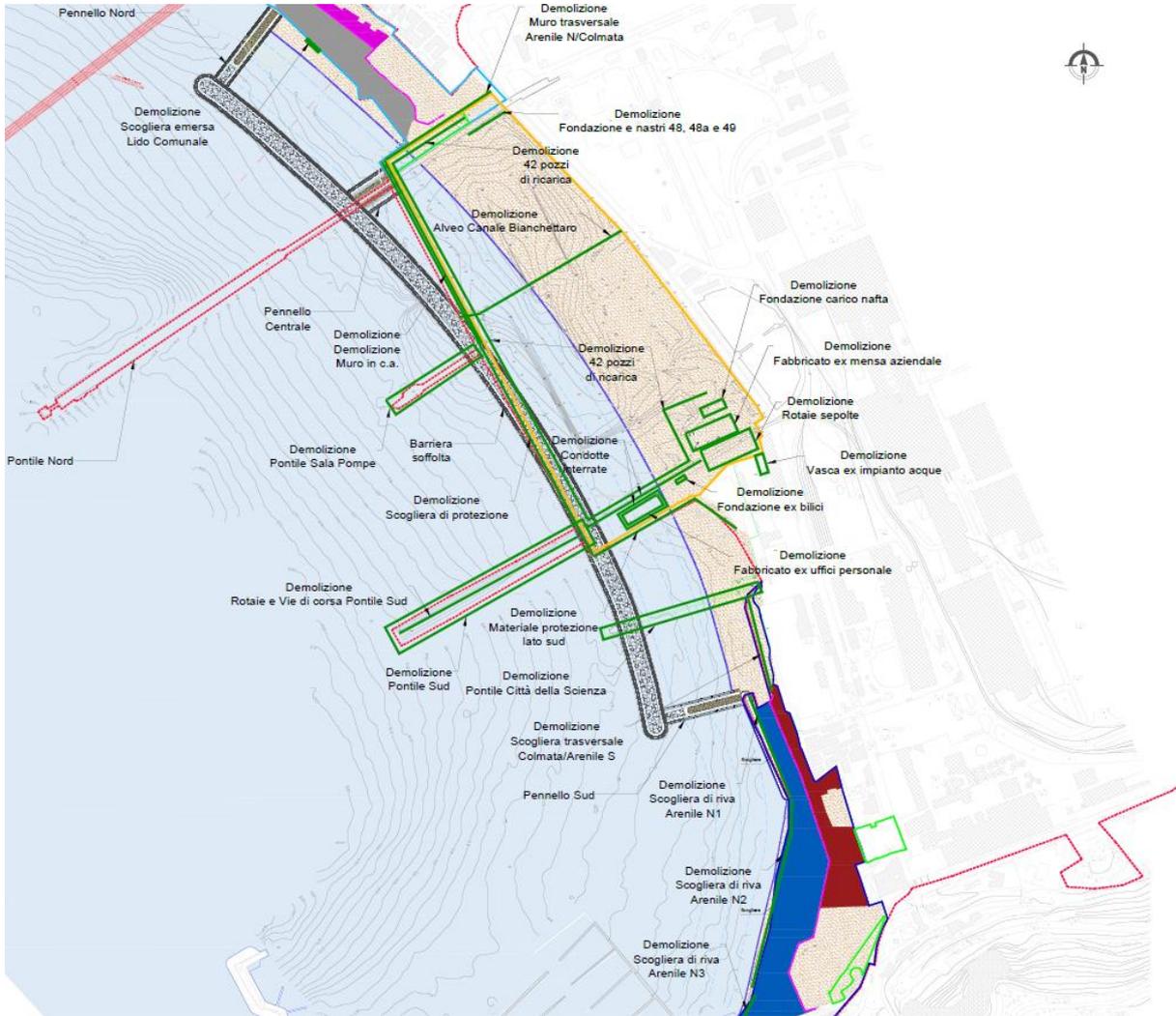


Figura 8-1: Stralcio Planimetria di progetto

## 8.1 IDENTIFICAZIONE DELLE AREE OGGETTO DI REALIZZAZIONE DELLA NUOVA LINEA DI RIVA, LAYOUT E RELATIVE OPERE DI STABILIZZAZIONE

La scelta della tipologia di intervento adottata è connessa con due fattori di preminente importanza:

- ✓ necessità di garantire adeguata separazione fisica fra le aree esterne a quella di intervento, caratterizzate dalla presenza di contaminanti, e le aree di realizzazione della nuova linea di riva mediante ripascimento;
- ✓ necessità di assicurare adeguate condizioni di stabilità della spiaggia, nelle sole aree in cui le condizioni idraulico-marittime lo richiedano.

In linea generale, è noto che tipologie di intervento di sistemazione costiera possono essere classificate secondo due macrocategorie: le opere morbide e le opere rigide, potendosi prevedere anche la combinazione delle due tipologie realizzando le opere di tipo misto.

Le opere cosiddette morbide sono tutte quelle che vengono realizzate tramite risagomatura dei depositi sedimentari o apporto di nuovi sedimenti, provenienti o meno dal medesimo ambito costiero. Tra le opere morbide rientrano: ripascimenti, dragaggi, costruzione o ricostruzione di dune, ecc.

Le opere rigide sono quelle realizzate con elementi dimensionati per resistere nel tempo all'azione del mare e delle correnti, quindi ad avere un effetto duraturo nel tempo. In generale, la loro funzione è quella di produrre perturbazioni della dinamica litoranea tali da provocare gli effetti desiderati sull'evoluzione morfologica dei fondali e della linea di riva, ovvero di garantire la sicurezza nei confronti degli eventi meteomarinari per ambiti puntuali o diversamente estesi. Nell'ambito più ristretto dell'evoluzione dei litorali e del controllo dell'erosione, si può affermare che le opere rigide non creano di per sé un incremento della superficie di spiaggia, prevenendo così l'erosione in maniera generalizzata, quanto piuttosto consentono di controllare la distribuzione dei sedimenti, determinando locali accrescimenti della superficie emersa, a fronte di più o meno paralleli arretramenti in aree limitrofe. Ovviamente sfuggono a questo concetto i casi in cui l'opera rigida prevenga la perdita di sedimenti verso zone esterne alla dinamica litoranea.

Come accennato sopra, le opere rigide possono essere realizzate in combinazione con opere morbide, sia per esaltarne l'efficacia (ripascimenti protetti strutturali) che per ridurre l'impatto sui litorali adiacenti (es. saturazione delle celle in una batteria di pennelli per ripristinare la continuità del trasporto solido litoraneo, mantenendo la linea di riva in una posizione stabilmente avanzata).

Come specificato nella relazione specialistica e nella planimetria generale di progetto che segue, le aree oggetto di intervento sulla linea di costa saranno ricomprese fra la foce dello scolmatore di scarico del collettore di Bagnoli e l'infrastruttura di chiusura dell'istmo di Nisida.

Il livello di idrodinamicità delle aree oggetto di intervento, invero variabile lungo lo sviluppo delle stesse, è stato indagato tramite modellistica numerica e ha condotto alla scelta progettuale – peraltro già considerata negli studi pregressi sull'area – di realizzare un intervento di tipo "misto" (ripascimento protetto da opere di stabilizzazione mediante difesa a celle), ma con esclusione della zona meridionale in cui sussistono già allo stato attuale adeguate condizioni di stabilità idrodinamica, come già illustrato sopra. Nelle figure seguenti si riportano lo stato di fatto e il layout generale delle opere di progetto.

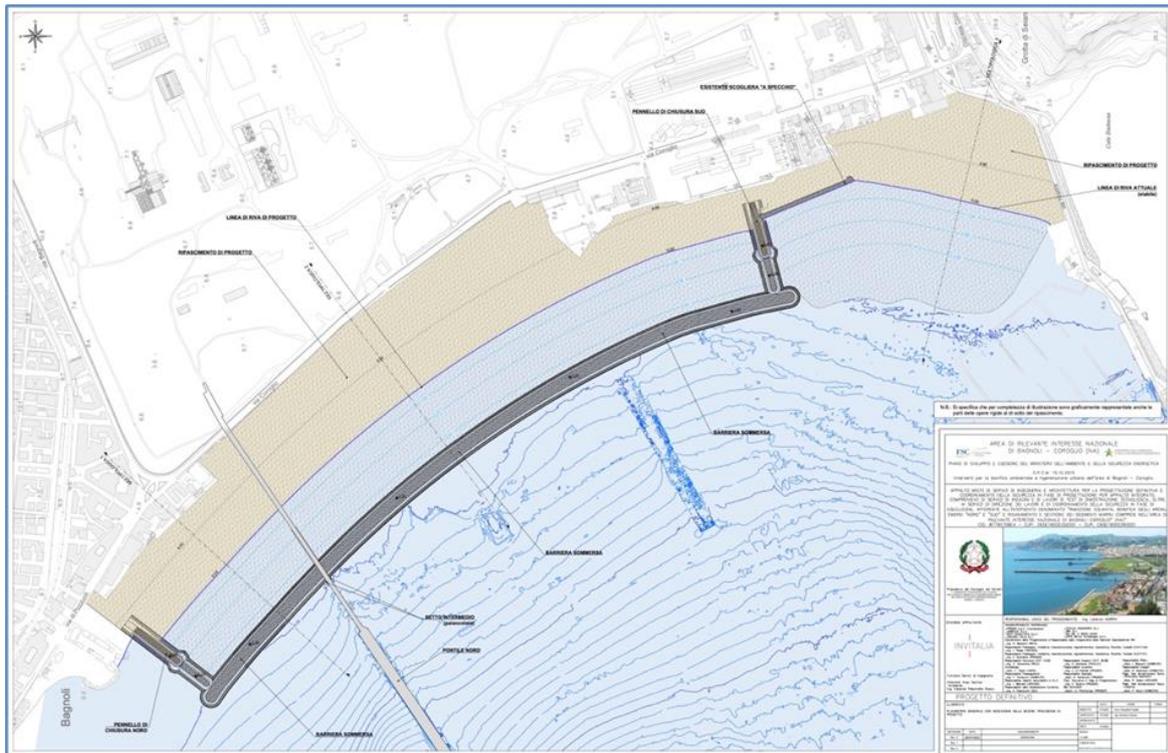


Figura 8-2: Nuova linea di costa

La linea di riva è stata determinata al fine di contemperare la giacitura prevista in sede "PRARU" con le esigenze di stabilità a lungo termine.

Nell'area oggetto di intervento di "tipo misto" con difesa a celle, le opere di stabilizzazione e protezione sono state minimizzate e ottimizzate facendo ampio ricorso all'ausilio dei più avanzati strumenti modellistici (cfr. elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-RS-REL-11-01) come segue:

- ✓ Opere di stabilizzazione trasversali (pennelli ortogonali alla linea di riva):
  - **Pennello di chiusura "Nord"**: coincide con l'armatura di foce in sinistra idraulica dello scolmatore, assume la duplice funzione di assicurare officiosità idraulica alla suddetta foce nonché di 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)**: sfrutta la presenza del pontile 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, si è reso 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 batimetria 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 sommergezza 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). Nell'ottica di un'economia circolare che massimizzi il riuso di risorse non rinnovabili, si prevede 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.

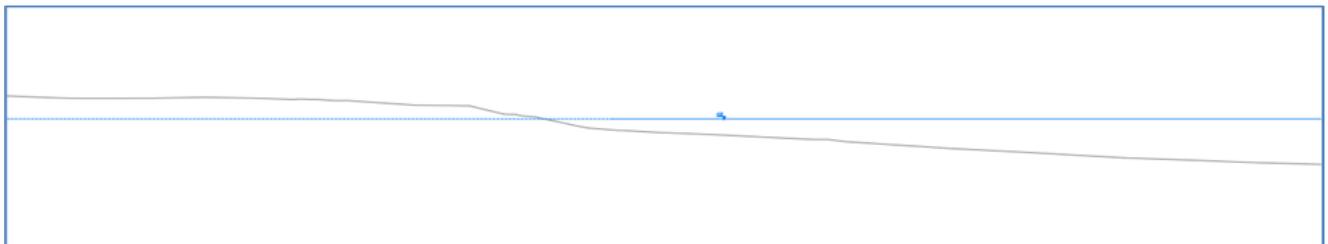
La definizione delle opere di stabilizzazione sopra descritte deriva da un processo iterativo di analisi progettuale nell'ambito del quale sono state analizzate anche possibili alternative sia in termini di giacitura che in termini di tipologia strutturale, pervenendo, tramite ottimizzazione, alla presente configurazione definitiva. Rimandando alla Relazione specialistica ove si illustrano le valutazioni e le considerazioni che hanno supportato la scelta del layout di progetto durante l'iter di concezione progettuale, si riporta una sintetica descrizione per ciascuna tipologia di opera prevista:

- ✓ **Pennelli di chiusura:** le opere trasversali di conterminazione dell'intervento sono state ridotte al minimo, limitandosi ai due pennelli di chiusura "Nord" e "Sud".
- ✓ **Pennello (Setto) Intermedio:** la previsione di mantenimento del Pontile Nord in seno all'area di intervento (al contrario degli altri pontili di cui si prevede la demolizione), ha comportato l'opportunità di sfruttare tale circostanza per inserire un elemento stabilizzatore – i.e. un setto trasversale – in seno all'area di ripascimento senza alcuna refluenza di natura paesaggistica, potendo essere utilmente collocato al di sotto dell'impalcato del pontile stesso.
- ✓ **Scogliera Sommersa:** analogamente a quanto illustrato sopra in relazione ai pennelli trasversali di chiusura, sussiste la necessità di garantire una adeguata conterminazione della zona di realizzazione della nuova spiaggia (sommersa) dalle aree esterne adiacenti verso il largo; una soluzione di continuità può essere ottenuta mediante la realizzazione di una c.d. "soglia", andando a configurare una "perched beach" (spiaggia "sospesa", cfr. precedente §3.1.5) nel caso in cui il piede del ripascimento non intercetti il fondale attuale ma si "appoggi" al paramento interno della stessa soglia.
- ✓ **Giacitura della linea di riva:** da quanto sopra descritto, ben si evince che la progettazione del ripascimento e delle relative opere di stabilizzazione è stata sviluppata mediante un approccio integrato e sinergico, partendo comunque dalla giacitura della linea di riva "PRARU" e traguardando, mediante i necessari accorgimenti progettuali, l'ottenimento di una linea di riva certamente stabile sul lungo termine ma sostanzialmente rispettosa delle scelte operate in sede di PRARU.

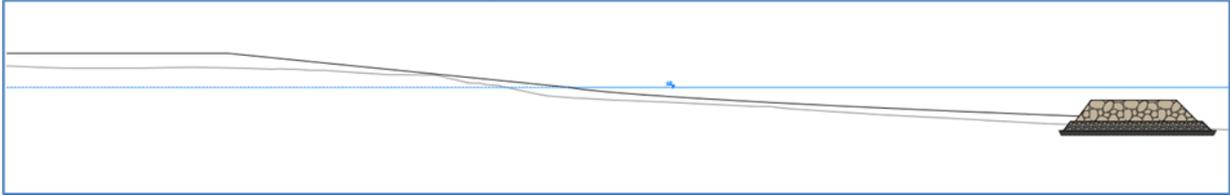
## 8.2 PROGETTAZIONE CONCETTUALE DELLA SEZIONE TIPOLOGICA DEL RIPASCIMENTO

Dal punto di vista della progettazione concettuale in sezione trasversale della spiaggia (*ferma restando la posizione della linea di riva come identificata, sezione per sezione*), si è provveduto a sviluppare una procedura tale da ottenere una spiaggia che funga anche da ricoprimento in sicurezza degli arenili (emersi e sommersi) originari, al fine di scongiurare qualsiasi rischio sanitario per gli utenti e garantire la balneabilità in piena sicurezza della cittadinanza.

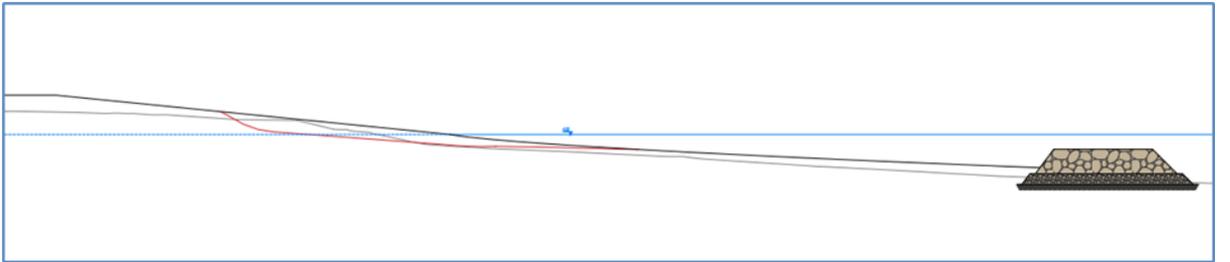
Nel dettaglio, sezione per sezione, la procedura si sviluppa secondo i seguenti step:



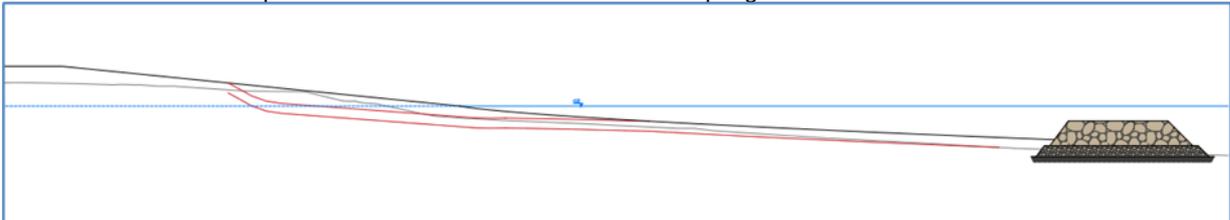
1. La superficie iniziale per la corretta sequenza concettuale di progettazione del ripascimento coincide con lo stato di fatto degli arenili emersi e sommersi, a valle dei salpamenti di tutte le scogliere esistenti nonché della totale rimozione della colmata (parte saturata e parte insatura).



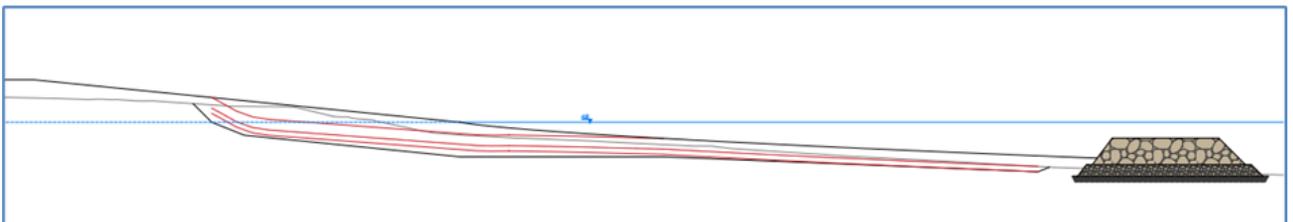
2. Viene quindi riportata la scogliera sommersa e la posizione della nuova linea di riva tratta dal layout-plan di progetto; la parte sommersa del ripascimento è definita dal profilo di DEAN (connesso con un  $D_{50}$  progettuale pari a 0,40 mm); la parte emersa è definita da una pendenza pari a 1:20 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.



3. Attraverso l'applicazione di apposita modellistica numerica monodimensionale [cfr. elaborato 2021E022INV-01-D-00-GE-RS-REL-11-01] 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, 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.



4. In ossequio all'analisi di rischio condotta, si verifica *se* e *dove* (lungo l'intero sviluppo della sezione trasversale, e per ogni sezione dell'area di intervento) l'off-set di 100 cm della linea degli inviluppi intercetta il fondale originario (sedimenti nativi, cfr. punto 1); nei tratti in cui la linea degli inviluppi presenta sempre una potenza non inferiore a 100 cm sono garantite adeguate condizioni di sicurezza; nei tratti in cui ciò non avviene sarà necessario prevedere il dragaggio dei sedimenti nativi fino a ottenere le richieste condizioni di sicurezza;

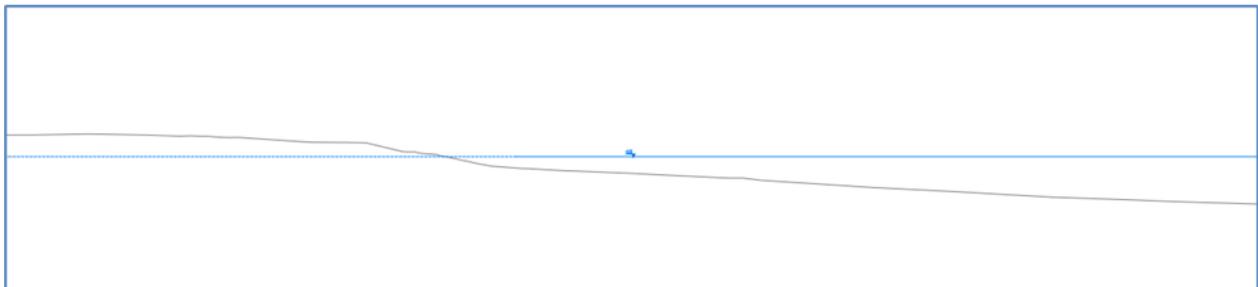


5. Nelle suddette aree in cui risulta necessario il dragaggio si provvede ad un ulteriore off-set di 50 cm per garantire il risultato tenendo altresì conto del c.d. "over-dredging", e la superficie così ottenuta viene infine regolarizzata e semplificata in pianta (avendo cura di contenere comunque le superfici sopra individuate sempre all'interno dei volumi da bonificare) al fine di fornire una superficie di dragaggio tecnicamente regolare ed eseguibile.

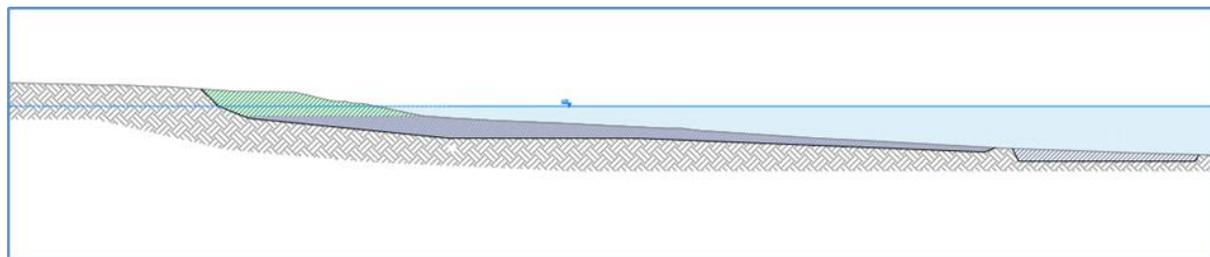
**Il suddetto approccio integrato ha consentito di definire il progetto di dragaggio ed escavo dei sedimenti originari sommersi ed emersi in maniera tale che il successivo ripascimento presenterà, in ogni punto e in ogni momento della propria vita utile, uno spessore (potenza dello strato di sabbia di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

Definita la procedura concettuale come sopra, è quindi possibile illustrare la sequenza costruttiva dell'intervento, a partire dalla condizione iniziale ante-dragaggio (*stato di fatto degli arenili emersi e sommersi, a valle dei salpamenti di tutte le scogliere esistenti nonché della totale rimozione della colmata*), cui seguono appunto le operazioni di rimozione dei sedimenti, la realizzazione della scogliera sommersa e il ripascimento, secondo le fasi esecutive di seguito illustrate.

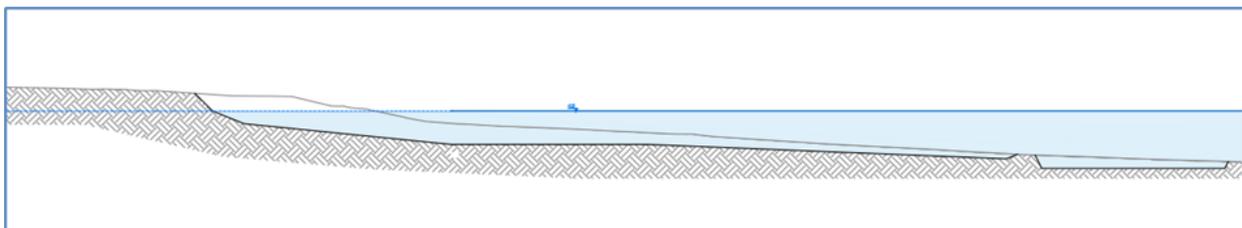
A fronte della evidente semplicità della sequenza costruttiva, si è visto come l'ottenimento di tale configurazione abbia per contro richiesto un certo sforzo concettuale al fine di individuare una procedura di progettazione alquanto innovativa, ma scientificamente rigorosa e il cui processo di formazione risulta perfettamente ripercorribile, che consentirà la realizzazione di una spiaggia sicura, stabile e duratura.



**Figura 8-3: Condizione iniziale per intervento di dragaggio e ripascimento (arenili pre-esistenti a valle dei salpamenti e della rimozione della colmata)**



**Figura 8-4: Definizione delle superfici da raggiungere mediante escavo/dragaggio (comparto dinamico e scanno di imbasamento scogliera sommersa) e relativi volumi**



**Figura 8-5: Sezione trasversale di spiaggia a seguito dell'intervento di escavo/dragaggio (comparto dinamico e scanno di imbasamento)**

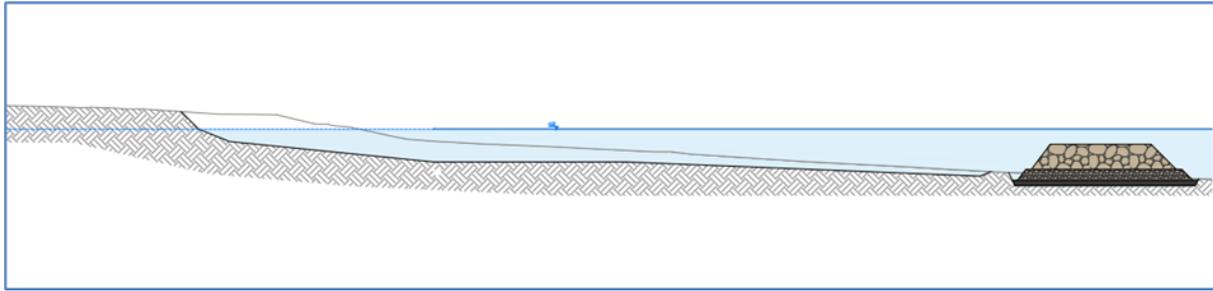


Figura 8-6: Realizzazione della scogliera sommersa parallela a riva

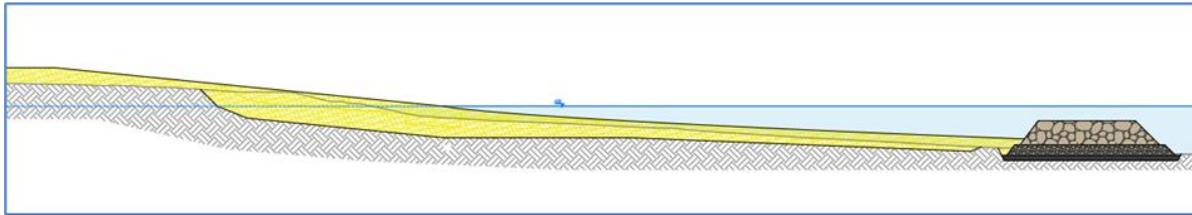


Figura 8-7: Realizzazione del ripascimento: sezione trasversale tipologica di progetto

Per quanto concerne gli aspetti progettuali degli interventi di dragaggio ed escavo, si rinvia all'apposito elaborato specialistico "Relazione tecnico-descrittiva dragaggi".

## 8.3 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI STABILIZZAZIONE

In funzione delle opere di stabilizzazione le zone di progettazione sono state suddivise nelle seguenti sotto-aree omogenee dal punto di vista delle condizioni di progettazione idraulico-marittima (vedi figura a seguire, da nord verso sud):

- ✓ **Microcella Nord**: tratto ricompreso fra il Pennello di chiusura "Nord" e il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile);
- ✓ **Macrocella "Ex Colmata"**: tratto ricompreso fra il Pennello o Setto "Intermedio" (sotto pontile) e il Pennello di chiusura "Sud" (testata nord della scogliera "a mosaico");
- ✓ **Litorale Sud**: tratto ricompreso fra la testata sud della scogliera "a mosaico" e l'infrastruttura di chiusura dell'istmo di Nisida.

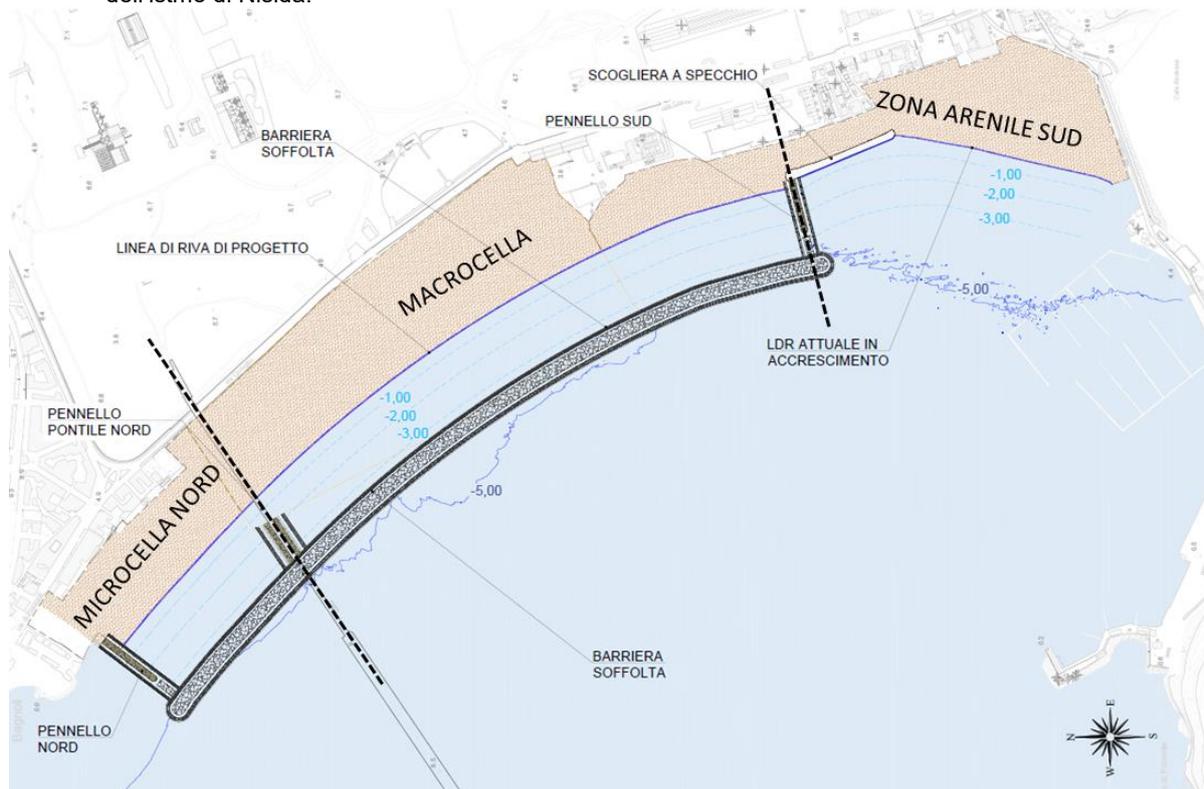


Figura 8-8: Individuazione aree e scogliera sommersa

Rinviando per maggiori dettagli tecnici e di dimensionamento agli elaborati grafici e alla relativa Relazione Tecnica, si riportano di seguito sinteticamente le caratteristiche costruttive delle opere di stabilizzazione.

### 8.3.1 Pennello di Chiusura "Nord"

La soluzione progettuale prevede la realizzazione di un pennello di chiusura a nord dell'area di intervento con la funzione di intercettare il trasporto solido per tutta la lunghezza degli stessi e fino alla barriera sommersa.

Il pennello sarà costituito da:

- ✓ Un doppio strato di massi naturali di terza categoria (3-7 tonnellate), spessore minimo pari a 2.50 m;
- ✓ Uno strato filtro in massi naturali di prima categoria (50-1500kg), spessore minimo 1.10 m;
- ✓ Uno scanno di imbasamento di 50cm di tout venant (50-500 kg) al fine di evitare la risalita del terreno di fondazione nella mantellata.

- ✓ Uno strato di geocomposito al fine di evitare la risalita del terreno di fondazione nello stato di filtro di tout venant.

Le caratteristiche di tale strato saranno le seguenti:

- resistenza a trazione longitudinale trasversale EN ISO 10319 > 50 KN/m;
- apertura maglia ai fini della filtrazione: 0.1 mm;
- Peso: 270 gr/mq.

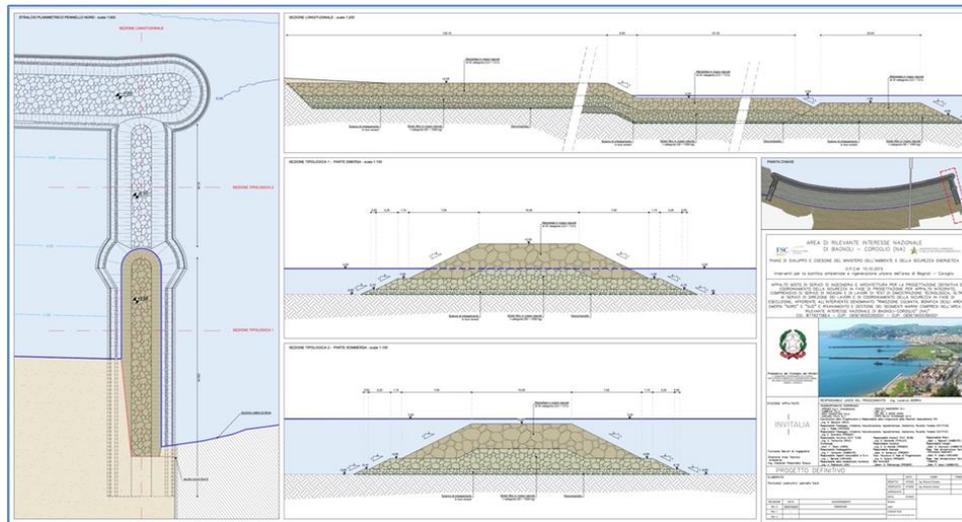


Figura 8-9: Particolari costruttivi Pennello di Chiusura "Nord"

### 8.3.2 Setto "Intermedio"

Come già accennato sopra (cfr. §3.1.7), il setto intermedio assume anche funzione di elemento isolante per il sedime presente in corrispondenza del pontile Nord che verrà mantenuto. Rimandando all'elaborato specialistico dedicato, il setto intermedio è costituito da una coppia di diaframmi realizzati mediante paratie in c.a. nel tratto di ricadenza in seno alla colmata e da palancolato nel tratto a mare antistante la colmata; quest'ultima tipologia si estende fino a qualche metro oltre il piede della scogliera sommersa, in modo da svincolare la realizzazione delle opere costiere (scogliera, ripascimento) dalla presenza del sedime di infissione dei pali del Pontile "Nord".

### 8.3.3 Pennello di Chiusura "Sud"

La soluzione progettuale prevede la realizzazione di un pennello di chiusura a sud dell'area di intervento radicato in corrispondenza della testata settentrionale della storica "scogliera a mosaico", assume la medesima funzione di contenimento 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.

Il pennello sarà costituito da:

- ✓ Un doppio strato di massi naturali di terza categoria (3-7 tonnellate), spessore minimo pari a 2.50 m;
- ✓ Uno strato filtro in massi naturali di prima categoria (50-1500kg), spessore minimo 1.10 m;
- ✓ Uno scanno di imbasamento di 50cm di tout venant (50-500 kg) al fine di evitare la risalita del terreno di fondazione nella mantellata.
- ✓ Uno strato di geocomposito al fine di evitare la risalita del terreno di fondazione nello stato di filtro di tout venant. Le caratteristiche di tale strato saranno le seguenti:
  - resistenza a trazione longitudinale trasversale EN ISO 10319 > 50 KN/m;

- apertura maglia ai fini della filtrazione: 0.1 mm;
- Peso: 270 gr/mq.

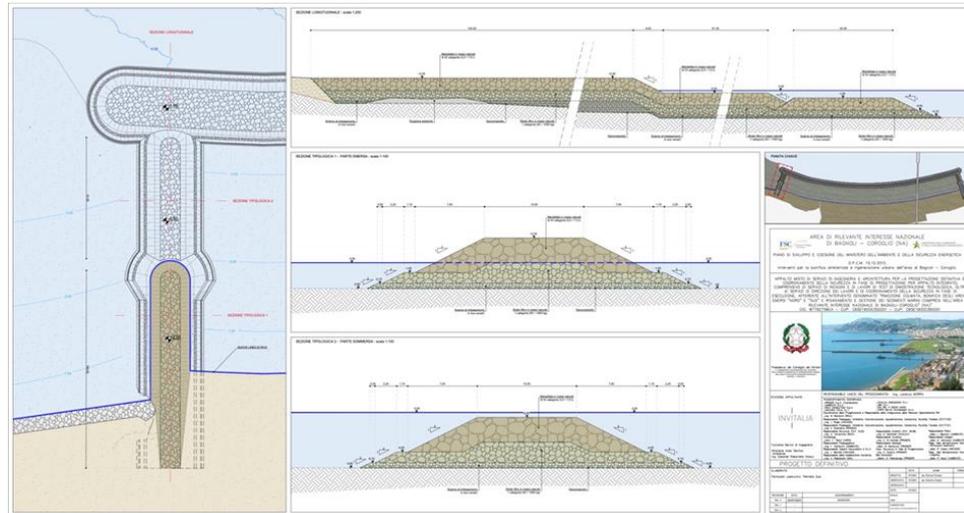


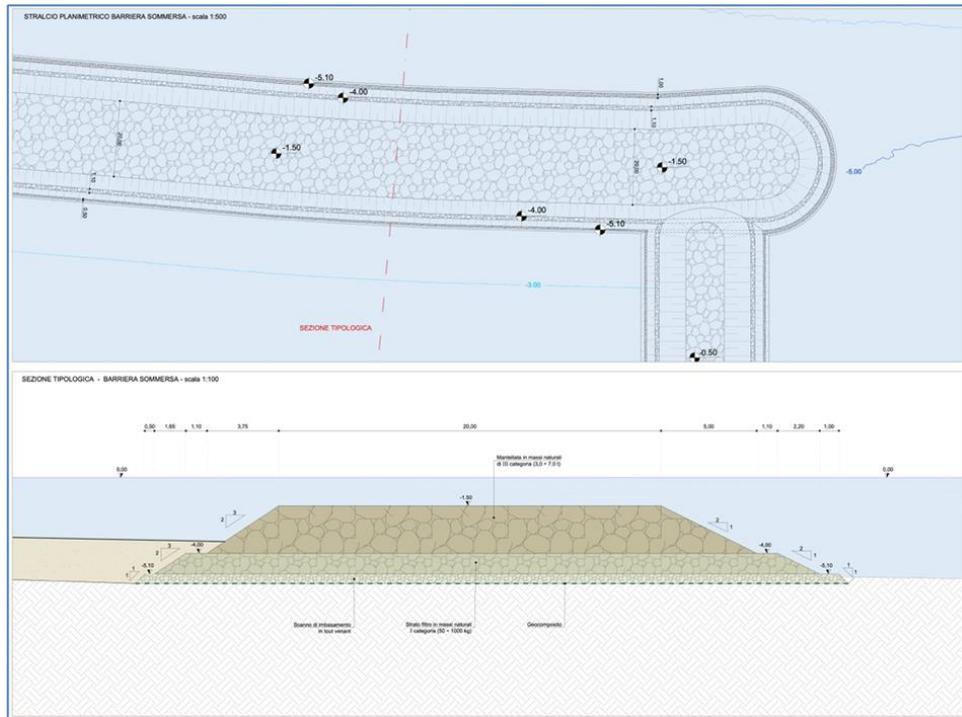
Figura 8-10: Particolari costruttivi Pennello di Chiusura “Sud”

### 8.3.4 Scogliera Sommersa

La soluzione progettuale prevede la realizzazione di una scogliera sommersa che analogamente a quanto illustrato sopra in relazione ai pennelli trasversali di chiusura, garantisce una adeguata conterminazione della zona di realizzazione della nuova spiaggia (sommersa) dalle aree esterne adiacenti verso il largo; essa creerà una “perched beach” (spiaggia “sospesa”) in quanto il piede del ripascimento non intercetta il fondale attuale ma si appoggia al paramento interno della stessa soglia.

La barriera sarà costituita da:

- ✓ Un doppio strato di massi naturali di terza categoria (3-7 tonnellate), spessore minimo pari a 2.50 m;
- ✓ Uno strato filtro in massi naturali di prima categoria (50-1500kg), spessore minimo 1.10 m;
- ✓ Uno scanno di imbasamento di 50cm di tout venant (50-500 kg) al fine di evitare la risalita del terreno di fondazione nella mantellata.
- ✓ Uno strato di geocomposito al fine di evitare la risalita del terreno di fondazione nello stato di filtro di tout venant. Le caratteristiche di tale strato saranno le seguenti:
  - resistenza a trazione longitudinale trasversale EN ISO 10319 > 50 KN/m;
  - apertura maglia ai fini della filtrazione: 0.1 mm;
  - Peso: 270 gr/mq.



**Figura 8-11: Particolari costruttivi Scogliera Sommersa**

## 9 CAPPING

La zona marina off-shore identifica quella zona marina al di là della cosiddetta "profondità di chiusura". Questo termine viene utilizzato per indicare la profondità dalla linea di battigia oltre la quale non si verifica alcun cambiamento significativo del profilo della spiaggia sommersa dovuto a eventi idrodinamici.

In altri termini La "profondità di chiusura" è da intendersi quale batimetria oltre la quale il sedimento cessa di muoversi, ma piuttosto la profondità minima in corrispondenza della quale le variazioni batimetriche risultano non significative in termini ingegneristici e/o morfologici.

Le assunzioni, gli obiettivi e i metodi di collaudo della progettazione e del futuro intervento di risanamento relativamente all'ambito della zona marina off-shore sono riportati nel documento Metodologico.

Di seguito si riporta un'immagine dell'area suddetta (retinata in azzurro), così come individuata nell'ambito del PFTE.

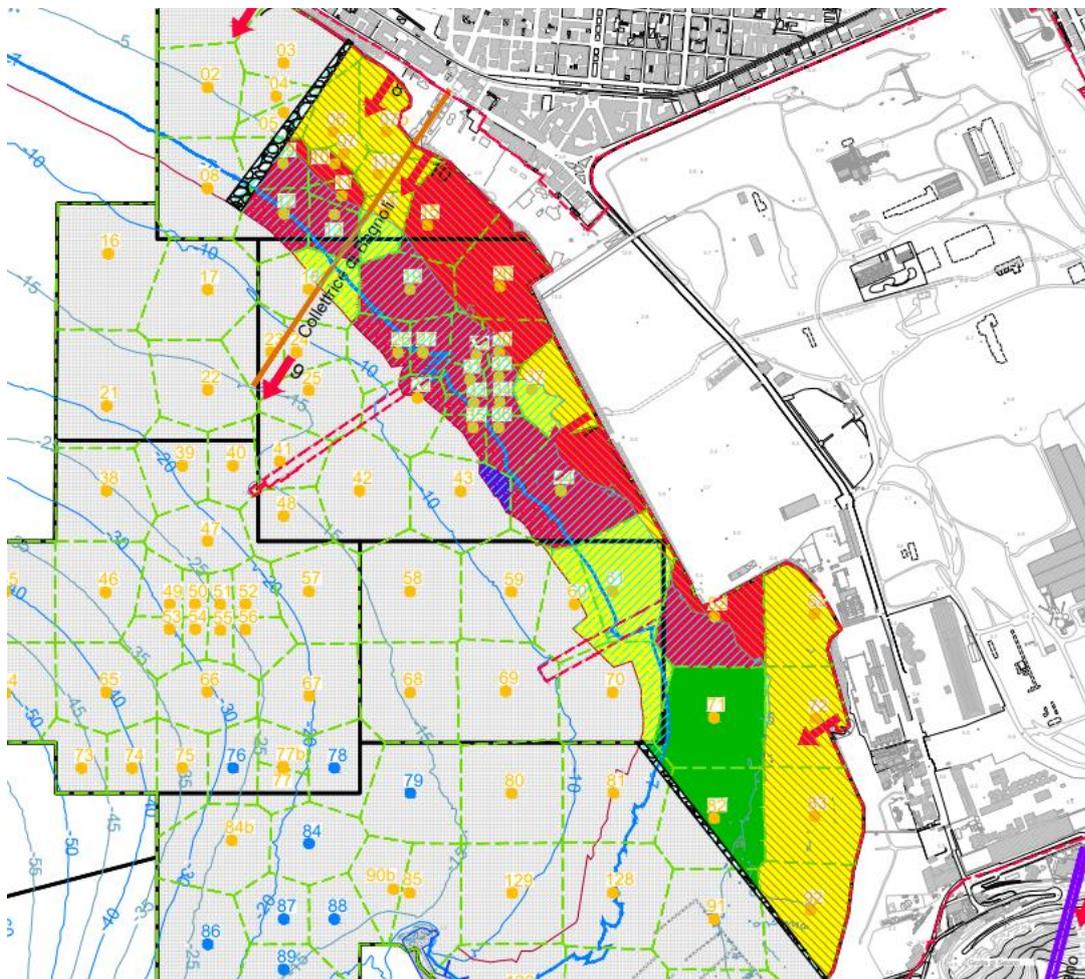


Figura 9-1: Area interessata dall'intervento di Capping (retinata in azzurro)

L'obiettivo del capping, con ricostruzione dell'habitat naturale, è quello di isolare i sedimenti contaminati dalla colonna d'acqua sovrastante, impedire il contatto degli organismi scavatori con i sedimenti contaminati, evitare che i sedimenti siano interessati dai fenomeni di erosione e turbolenza al fine di prevenirne i fenomeni di dispersione in ambiente marino e permettere la ricostruzione dell'habitat marino.

### 9.1.1 Alterantive progettuali e criteri di scelta

Per il capping le alternative progettuali riguardano l'utilizzo di un sistema composto da materiali attivi o convenzionali (passivi). Entrambi i sistemi prevedono l'utilizzo di un materassino filtrante, nel primo caso si tratta dell'utilizzo di due tipologie di materassini simultaneamente, un geocomposito per l'adsorbimento di contaminanti mediante carboni attivi ed un Geocomposito agugliato per l'adsorbimento di metalli pesanti.

un geocomposito attivo viene utilizzato come filtro e barriera antinquinanti per la protezione del suolo e delle acque sotterranee e per la messa in sicurezza dei siti contaminati. Questo materiale ha la capacità di assorbire efficacemente le sostanze inquinanti mentre lascia passare liberamente il fluido pulito (acqua, aria, gas, ecc.) e permette la realizzazione di strati filtranti dei contaminanti anche su grandi superfici senza rischio di erosione. I geocompositi attivi rendono possibile il trattamento passivo di percolato contaminato, acqua interstiziale, acqua di drenaggio e di deflusso da infrastrutture viarie, evitando in questa maniera la contaminazione del suolo e delle acque sotterranee da parte di inquinanti inorganici, organici o petrolchimici. Questi sistemi impediscono inoltre il trasporto di sostanze inquinanti e sedimenti già contaminati attraverso la filtrazione delle acque di dilavamento, di ruscellamento e delle acque sotterranee. Con il passare del tempo sempre più sostanze inquinanti vengono adsorbite o assorbite dalle componenti attive, permettendo conseguentemente la decontaminazione del terreno.



Figura 9-2: Struttura del Materassino Filtrante Reattivo

Un geocomposito passivo è composto da due geotessili filtranti e riempimento in sabbia).

Questa tipologia di materassino ha la funzione di filtro ad elevata stabilità con:

- ✓ Strato superiore Geotessile non tessuto
- ✓ Strato centrale Sabbia di quarzo
- ✓ Strato inferiore Geotessile non tessuto

questo geocomposito composto da tre strati e che incorpora sabbia di quarzo consente la posa in opera di un geosintetico con funzione filtrante anche in complesse condizioni di cantiere. L'elevato peso per unità di superficie ottenuto grazie alla sabbia di quarzo semplifica la posa del materiale e ne evita possibili spostamenti a causa della corrente. In questo modo il sistema di rivestimento risulta essere di semplice posa in opera e con prestazioni filtranti stabili e uniformi anche in condizioni sommersi.



**Figura 9-3: Struttura del Materassino Filtrante Zavorrato**

In entrambi i casi, i materassini saranno protetti con uno strato destinato alla protezione dall'erosione, costituito da sabbia media e ghiaia.

Le sabbie che saranno utilizzate per coprire il geocomposito saranno dotate di certificato che ne attesti la provenienza, caratteristiche chimico fisiche prestazionali nonché la Classe di Qualità A ai sensi dell'Allegato tecnico al DM 173/2016.

### 9.1.2 Relazione con altri ambiti progettuali

Gli interventi di capping della macrozona 2 sono chiaramente legati agli interventi di dragaggio e rimozione di sedimenti nella macrozona 1 e avranno effetti, insieme a tutti gli interventi proposti (come rimozione colmata e nuova linea di costa), con le aree a mare del SIN di Bagnoli-Coroglio esterne alle zone di intervento.

Infatti, le attività previste lungo la costa e nelle due macrozone suddette andranno a ridurre la massa di contaminanti che migreranno dai sedimenti verso l'acqua di mare, non solo nelle aree di intervento, ma anche in quelle limitrofe, generando un generale miglioramento della qualità dell'ambiente marino dell'intero Golfo di Bagnoli.

Vista l'interconnessione fra gli interventi proposti, per non ridurre l'efficacia di un singolo intervento a seguito della realizzazione di quello successivo, si prevede di effettuare le attività in un preciso ordine temporale, che vede la realizzazione del capping come ultimo step, subito dopo gli interventi di rimozione dei sedimenti nella macrozona1.

### 9.1.3 Piano di sviluppo della progettazione

Una volta raccolte tutte le informazioni di campo utili, la progettazione dell'intervento di capping e risanamento dell'habitat naturale sarà costituita dai presenti elaborati:

- ✓ Relazione Tecnica sull'intervento di capping con schede tecniche dei materiali utilizzati
- ✓ Planimetria generale con indicazione delle opere di progetto
- ✓ Sezioni tipo e Particolari costruttivi

### 9.1.4 Risultati attesi

I risultati attesi dall'intervento di capping e ricostruzione dell'habitat naturale sono quelli di:

- ✓ portare un contributo alla qualità delle acque marine e renderle nuovamente balneabili;
- ✓ migliorare lo stato qualitativo degli organismi acquatici in termini di riduzione del bioaccumulo di contaminanti e presenza di biomarkers.

### 9.1.5 Test eseguiti

Ai fini della redazione del presente progetto sono stati previsti 2 test di capping e ricostruzione dell'habitat naturale. In particolare, sono state identificate due aree per la realizzazione dei test di ricostruzione dell'habitat naturale attraverso trapianto a mezzo di tatee, ubicate entrambe all'interno dello specchio acqueo antistante l'Arenile Nord compreso tra la batimetrica -5 m e la batimetrica -7 m, distanti 50 m l'una dall'altra.

- ✓ n.1 un'area operativa denominata D1 di dimensioni 50m X 50m per testare la tecnologia di capping composto da materiali attivi e con ricostruzione dell'habitat naturale.
- ✓ n.1 un'area operativa denominata D2 di dimensioni 50m X 50m per testare la tecnologia di capping composto da materiali convenzionali (passivi) con ricostruzione dell'habitat naturale.

Si è prevista prevede in entrambe i casi (D1 e D2) la realizzazione di una cinturazione temporanea della porzione di area destinata alla dimostrazione tecnologica.

I test sono attualmente in corso, in quanto devono essere eseguite le attività di ricostruzione dell'habitat naturale.

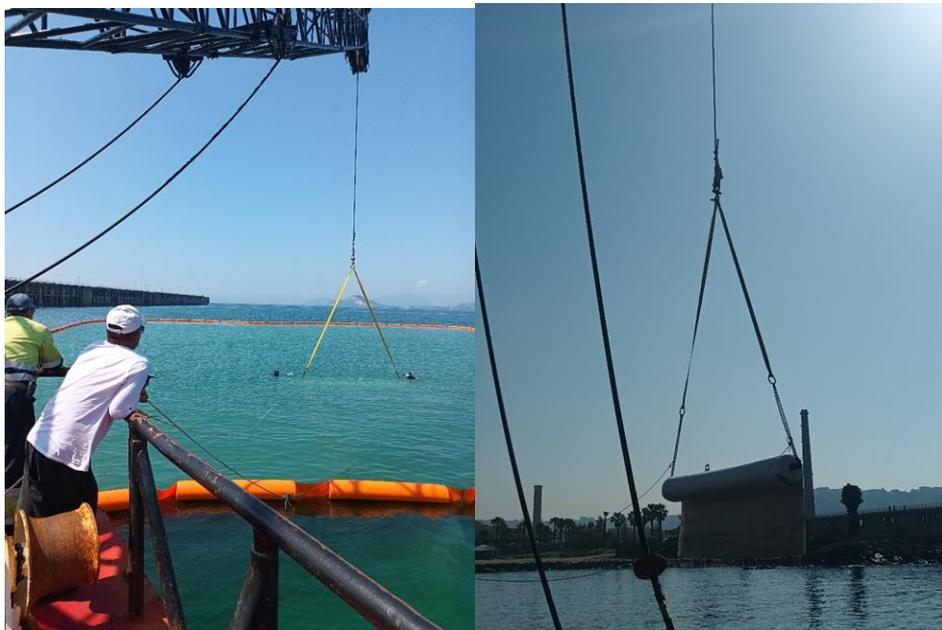


Figura 9-4: Movimentazione e posa del Materassino.



Figura 9-5: Movimentazione e posa del Materassino.



Figura 9-6: Posizionamento, dettaglio degli elementi galleggianti e delle relative maniche

Indicativamente si prevede il ricorso alle specie di piante attualmente o storicamente presenti sui fondali delle aree marine di Bagnoli come la Posidonia Oceanica. Saranno individuati cinque settori quadrati di 5 m di lato, posizionati

a scacchiera, secondo lo schema della quinconce. In ciascuno dei 5 settori è previsto un numero minimo di 40 talee per un totale minimo di 200 talee.

L'impatto prodotto dalle attività di capping e ricostruzione dell'habitat naturale nei confronti dell'ambiente marino costiero è verificato mediante un piano di monitoraggio, costituito da campagne di indagini da eseguirsi nelle fasi ante operam, in corso d'opera e post operam.

Il monitoraggio prevede, tra le quali, misure di torbidità giornaliere tramite sonda multiparametrica dell'intera colonna d'acqua, parametri di ossigeno disciolto, potenziale di ossidoriduzione (ORP), pH, conducibilità, temperatura, pressione e caratteristiche idrodinamiche tramite l'utilizzo di un correntometro. Campionamenti settimanali della colonna d'acqua in corrispondenza di stazioni situate una al centro di ciascuna delle aree D1 e D2 ed una all'esterno di ciascuna delle stesse. Esecuzione di sondaggi geognostici e relative analisi di laboratorio chimiche in corrispondenza di stazioni situate rispettivamente ciascuna al centro delle aree D1 e D2. Rilievo batimetrici e di integrità dell'habitat.

La dimostrazione tecnologica da testare per il risanamento e/o la messa in sicurezza delle aree marine di Bagnoli, ha lo scopo di dimostrare l'efficienza dei sistemi proposti rispetto ai seguenti obiettivi:

- ✓ assicurare l'efficienza dei sistemi usati rispetto agli obiettivi del risanamento e/o della messa in sicurezza;
- ✓ assicurare l'efficacia delle modalità esecutive;
- ✓ minimizzare gli impatti delle tecnologie attuate sull'ambiente circostante.

## 10 OPERE A TERRA

Come anticipato, 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 di risanamento è stata definita al fine di ottenere il risanamento complessivo del sito (sia del comparto dinamico sia del comparto statico), pone le basi nella 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 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.

### 10.1 ARENILI EMERSI NORD E SUD

L'arenile emerso nord appartiene all'area identificata come "Microcella Nord" nella progettazione della Linea di Riva stabile. Sono quindi incluse anche le zone oggi oggetto di concessione ad uso temporaneo (oggi zone commerciali/ricreative o adibite a parcheggi) e, 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.

L'arenile emerso sud appartiene interamente all'area identificata come "Zona Arenile Sud" nella progettazione della Linea di Riva stabile.

I confini planimetrici delle aree oggetto di progettazione sono quindi:

- ✓ 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 sono state definite nelle elaborazioni condotte nell'ambito della progettazione della nuova LdR e corrispondono ai volumi di escavo 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:

- 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.

L'immagine seguente mostra 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.

Sezione tipologica

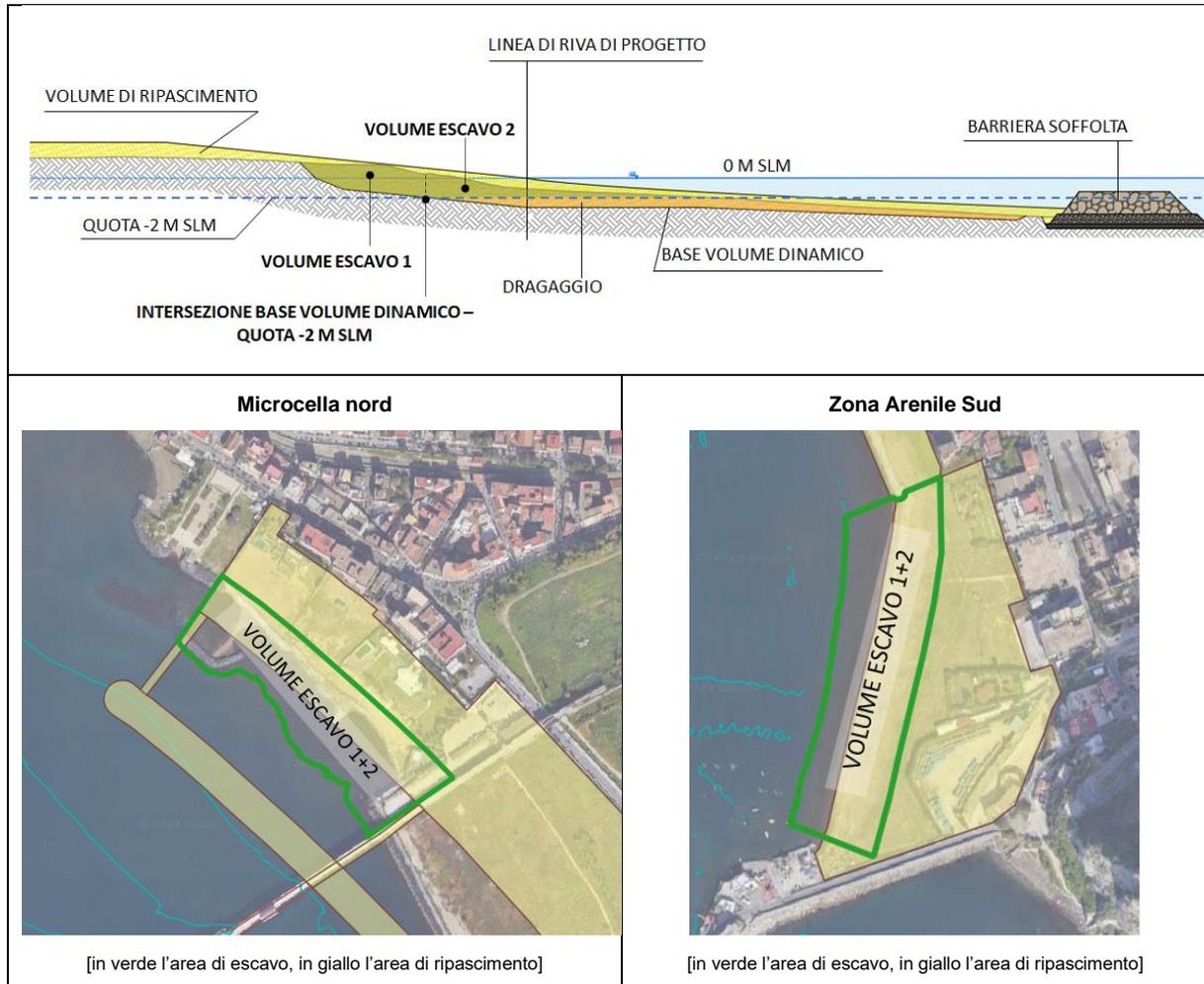


Figura10-1: Rappresentazione del volume di escavo in sezione e in pianta

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.

Tabella 10.1: Volumi di scavo nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud

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>

Come illustrato nel cronoprogramma descritto al capitolo 13, 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 10.1 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);
- 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.

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

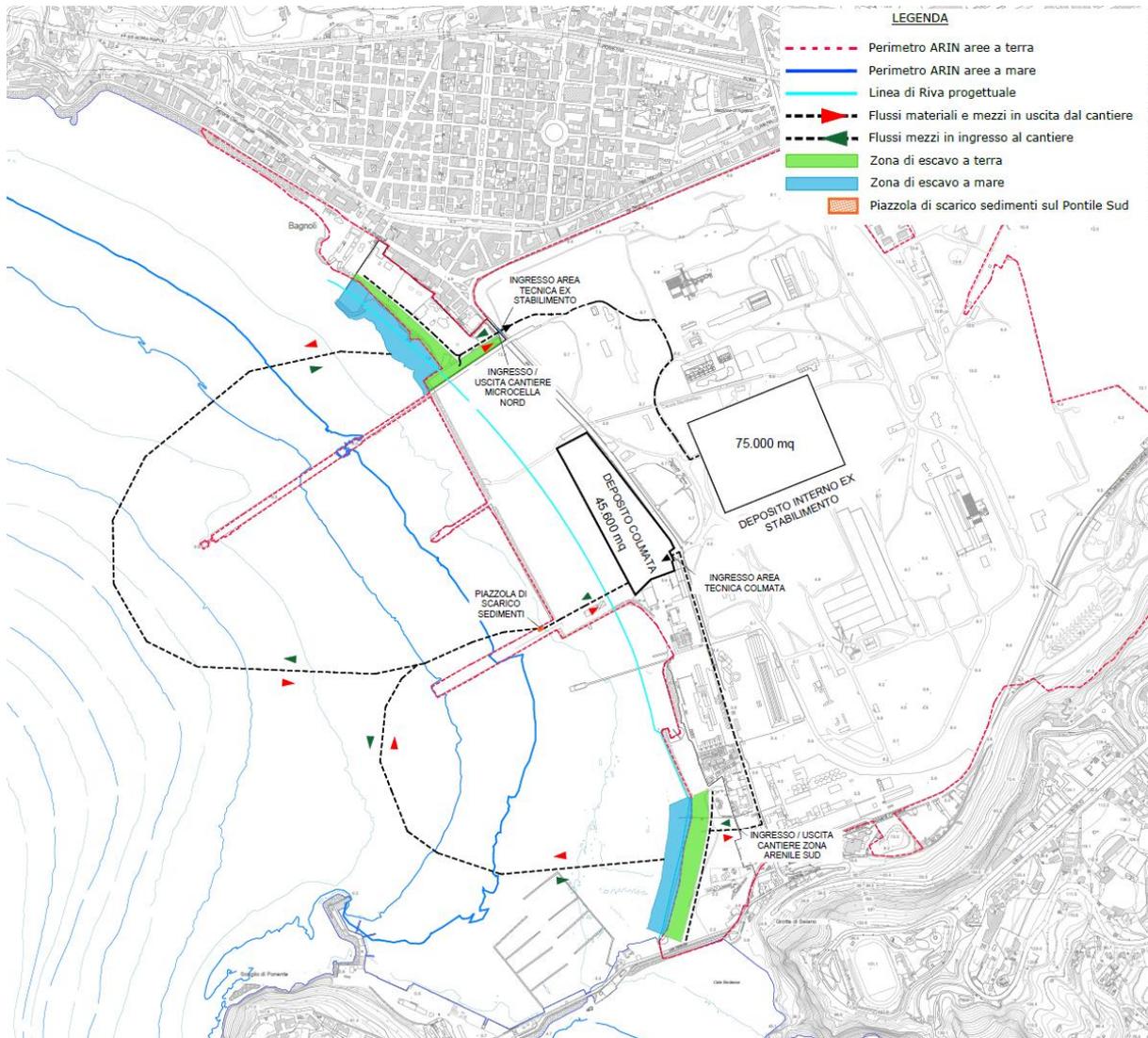


Figura10-2: Rappresentazione schematica dei percorsi dei materiali escavati

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 saranno inviate all'impianto trattamento che sarà realizzato presso l'area di cantiere attrezzata in corrispondenza della colmata.

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

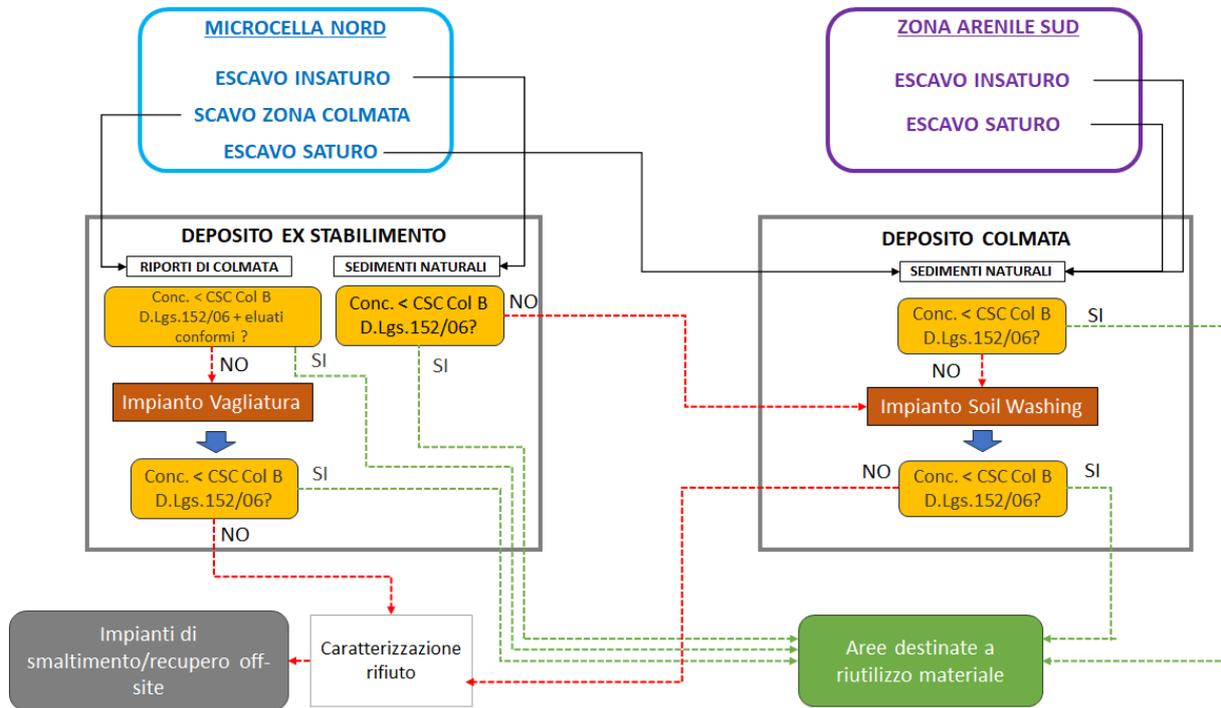


Figura10-3: Schema di flusso di gestione dei materiali escavati

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).

Le volumetrie dei materiali di dragaggio della Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud sono sintetizzate nella tabella seguente.

Tabella 10.2: Sintesi volumi di dragaggio nella Microcella Nord e nella Zona Arenile Sud

	Microcella Nord	Zona Arenile Sud
Dragaggio [m <sup>3</sup> in banco]	54.000	83.500

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.

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<sub>50</sub> = 0,40 mm necessario per la stabilità delle aree attive, esposte al moto ondoso. Tale materiale sarà in parte approvvigionato da fonti esterne e in parte recuperato dai sedimenti escavati / dragati sottoposti a trattamento combinato di soil washing – desorbimento termico.

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 di progetto.

Il secondo obiettivo sarà verificato tramite il prelievo di campioni rappresentativi dello strato di materiale di ripascimento post-intervento (il prelievo sarà ripetuto nel tempo eseguendo n.2 campagne semestrali nel primo anno post-intervento e n.1 campagna nell'anno successivo) e la realizzazione di analisi chimiche di laboratorio, anche in contraddittorio con l'Ente di controllo:

- ✓ 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. A seconda dei risultati dell'analisi di rischio potrà verificarsi una delle due seguenti situazioni:
  - nel caso in cui il rischio calcolato risulti accettabile in tutte le campagne di indagine, l'intervento sugli arenili sarà considerato "collaudato";
  - 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 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.

## 10.2 COLMATA

L'intervento di rimozione della colmata risulta propedeutico alle attività previste dalla progettazione della Linea di Riva stabile nell'area identificata come "Macrocella"; infatti, prima dell'esecuzione degli escavi e dragaggi necessari alla creazione della nuova LdR, sarà necessario effettuare la rimozione integrale dei riporti abbancati nella colmata. Pertanto, l'intervento in zona colmata consiste in:

1. scavo di rimozione integrale dei riporti abbancanti nella colmata;
2. escavo dei sedimenti sottostanti la colmata, nell'intera area denominata "Macrocella"
3. dragaggio dei sedimenti marini nell'intera area denominata "Macrocella".

Le volumetrie di riporti da scavare per la rimozione integrale della colmata sono state determinate tramite la digitalizzazione ed elaborazione con software EVS dei dati stratigrafici ricavati dai sondaggi eseguiti dal 1997 al 2021 in corrispondenza della colmata stessa e sono sintetizzate nella tabella seguente. In tabella sono riportati sia i volumi complessivi di rimozione della colmata, sia i volumi residui escludendo la quota parte del materiale inerte di capping realizzato nel 2001 che si prevede di riutilizzare tal quale.

Tabella 10.3: Volumi di riporto della colmata

	Riporto di Colmata	Riporto di Colmata senza capping
Volumi insaturi (m <sup>3</sup> in banco)	903.100	852.100
Volumi saturi (m <sup>3</sup> in banco)	341.300	341.300
<b>Volumi totali (m<sup>3</sup> in banco)</b>	<b>1.244.400</b>	<b>1.193.400</b>

Preliminarmente all'avvio delle fasi operative di rimozione della colmata, saranno realizzate le opere propedeutiche quali:

- a) pulizia delle aree di lavoro;
- b) bonifica bellica;
- c) rilievi topografici e tracciamenti delle aree di lavoro
- d) caratterizzazione in banco della zona insatura della colmata.

Inoltre, già durante il risanamento delle Microcella Nord sarà stata effettuata la messa in sicurezza del Pontile Nord.

Le operazioni di rimozione dei riporti della colmata saranno suddivise in due macrofasi inerenti rispettivamente allo scavo del materiale insaturo e di quello saturo.

Lo scavo del materiale insaturo sarà effettuato tramite escavatori cingolati che opereranno direttamente dalla superficie della colmata. La rimozione del materiale saturo avverrà tramite l'utilizzo di escavatori a fune e potrà essere eventualmente completato con le tecniche che si utilizzeranno per il dragaggio dei sedimenti marini (draga dotata benna mordente bivalve ermetica montata su motopontone), operando da mare verso terra. Tali tecniche, infatti, saranno utilizzate nelle attività di escavo e dragaggio dei sedimenti naturali sottostanti la colmata, la cui rimozione risulta necessaria ai fini della sostituzione del volume dinamico con materiale conforme e la creazione della nuova LdR stabile.

Sulla base della caratterizzazione in banco che sarà effettuata nella zona insatura, i materiali potranno essere gestiti secondo flussi differenziati, ovvero potranno essere conferiti alle aree di riutilizzo se conformi, oppure inviati al deposito temporaneo ubicato nell'ex stabilimento per essere trattati tramite vagliatura. I materiali trattati, a seguito di nuova caratterizzazione in cumulo, saranno inviati a riutilizzo (se conformi) oppure classificati come rifiuto e conferiti a smaltimento/recupero off-site.

Preliminarmente e contestualmente alle attività di scavo saranno eseguite le attività di demolizione delle strutture/opere interferenti con le celle di scavo. Inoltre, al confine con via Coroglio saranno installate opere provvisorie per garantire il sostegno del muro perimetrale.

I materiali saturi saranno dapprima scavati (tramite escavatore a fune) e poi caratterizzati in cumulo presso i depositi presenti sia in corrispondenza della colmata, sia in corrispondenza dell'ex stabilimento. Seguiranno quindi i flussi di gestione già illustrati per i materiali insaturi e seguendo lo schema riportato nella Figura10-3 (paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Le acque di dewatering dei materiali di escavo delle aree saranno inviate all'impianto trattamento acque da realizzare in corrispondenza del deposito che sarà installato all'interno dell'ex stabilimento.

Lo schema di intervento può quindi essere riassunto nelle seguenti fasi principali:

1. attività propedeutiche;
2. caratterizzazione a cumulo rovescio per la porzione insatura;
3. fasi di scavo del riporto insaturo e gestione dei materiali insaturi;
4. fasi di scavo del riporto saturo, caratterizzazione dei materiali insaturi in cumulo, gestione dei materiali saturi e delle acque di dewatering.

Al termine delle attività di rimozione dei riporti di colmata sarà effettuato il salpamento della scogliera a mare e saranno eseguiti gli escavi / dragaggi e ripascimenti necessari alla creazione della nuova linea di costa nella Macrocella.

Le volumetrie dei materiali di escavo e dragaggio della Macrocella sono sintetizzate nella tabella seguente.

**Tabella 10.4: Sintesi volumi di escavo e dragaggio nella Macrocella**

	Macrocella
Escavo [m <sup>3</sup> in banco]	147.500
Dragaggio [m <sup>3</sup> in banco]	334.500

Il collaudo dell'intervento sarà eseguito al termine del risanamento complessivo della Macrocella tramite le medesime attività illustrate nel precedente paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per la Macrocella Nord e Zona Arenile Sud.

## 11 STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Lo Studio di Impatto Ambientale (SIA, elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-AM-REL-01-00**) è stato redatto in conformità a quanto contenuto nell'Allegato VII alla Parte Seconda del D. Lgs. 152/2006 e delle Linee Guida SNPA 28/2020 "Norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale". È volto a valutare gli impatti, diretti ed indiretti, prodotti dalle attività di progetto ed è articolato come segue:

Capitolo 1 Introduzione;

Capitolo 2 Motivazioni del Progetto;

Capitolo 3 Quadro di Riferimento Programmatico;

Capitolo 4 Quadro di Riferimento Progettuale;

Capitolo 5 Quadro di Riferimento Progettuale;

Capitolo 6 Valutazione degli Impatti e Misure di Mitigazione;

Capitolo 7 Piano di Monitoraggio Ambientale.

Inoltre, fanno parte integrante del SIA i seguenti elaborati:

- ✓ la Relazione Acustica;
- ✓ la Relazione Paesaggistica;
- ✓ la Valutazione di Incidenza Ambientale;
- ✓ la Relazione Archeologica;
- ✓ il Piano di Monitoraggio Ambientale.

### 11.1 PIANI DI MONITORAGGIO AMBIENTALE (PMA)

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

Pertanto, il piano di monitoraggio ambientale è stato articolato in due differenti piani specifici per verificare gli impatti derivanti dalle singole macroattività progettate:

- ✓ PMA della colmata e degli arenili, finalizzato alla verifica degli impatti delle opere di scavo, escavo e dragaggio da realizzarsi nella Microcella Nord, nella Zona Arenile Sud e nella Macrocella;
- ✓ PMA del capping;

#### 11.1.1 PMA della colmata e degli arenili

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.

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 11.1: Sintesi delle attività previste dal PMA delle opere progettate nella Microcella Nord, nella Zona Arenile Sud e nella Macrocella**

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

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>

### 11.1.2 PMA del capping

L'elaborato **2021E022INV-01-D-02-AQ-AM-REL-01-00** riporta il dettaglio delle attività da eseguire prima, durante e dopo la realizzazione del capping previsto per la 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: acqua di mare, rumore subacqueo, morfologia del sito, sedimenti marini e componente biologica, 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.

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 11.2: Sintesi delle attività previste dal PMA delle opere di capping**

Matrici ambientali monitorate	Attività di monitoraggio previste		
	Ante operam	In corso d'opera	Post operam
Acqua marina	<p>Monitoraggio chimico-fisico ed ecotossicologico dell'acqua marina in punti tra la – 5 e -15.</p> <p><u>Frequenza:</u> 2 campagne di monitoraggio da attuarsi 3 mesi prima dell'inizio delle attività di cantiere</p>	<p>Monitoraggio chimico-fisico ed ecotossicologico dell'acqua marina in punti tra la – 5 e -15.</p> <p><u>Frequenza:</u> Profili verticali chimico-fisici con sonda multiparametrica: Due volte alla settimana spot per l'intera durata delle attività</p>	<p>Monitoraggio chimico-fisico ed ecotossicologico dell'acqua marina in punti tra la – 5 e -15.</p> <p><u>Frequenza:</u> 4 campagne di monitoraggio (semestrali) nei due anni successivi alla chiusura e al ripristino dell'area di cantiere.</p>

## RELAZIONE GENERALE

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-GE-REL-01-01 Rev. 1 – Agosto 2023

<p><b>Sedimenti marini</b></p>	<p>Monitoraggio dei sedimenti marini: Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche.</p> <p>Tasso di sedimentazione.</p> <p><u>Frequenza:</u> 1 campagna di monitoraggio da attuarsi 3 mesi prima dell'inizio delle attività di cantiere per la verifica delle condizioni iniziali</p>	<p>Monitoraggio dei sedimenti marini: Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche.</p> <p>Tasso di sedimentazione.</p> <p><u>Frequenza:</u> Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche: una campagna ogni 3 mesi. Tasso di sedimentazione: una campagna ogni 6 mesi.</p>	<p>Monitoraggio dei sedimenti marini: Analisi granulometriche, chimiche ed ecotossicologiche.</p> <p>Tasso di sedimentazione.</p> <p><u>Frequenza:</u> 4 monitoraggi (semestrali) nei due anni successivi alla chiusura dell'area di cantiere.</p>
<p><b>Componente biologica</b></p>	<p>Monitoraggio macrozoobenthos in punti compresi tra le batimetriche -5 e -20; popolamenti ittici su 4 transetti perpendicolari alla linea di costa. Mammiferi e tartarughe marine in due punti a largo di Nisida.</p> <p><u>Frequenza:</u> Una campagna prima dell'inizio delle attività.</p>	<p>Monitoraggio macrozoobenthos in punti compresi tra le batimetriche -5 e -20; popolamenti ittici su 4 transetti perpendicolari alla linea di costa. Mammiferi e tartarughe marine in due punti a largo di Nisida.</p> <p><u>Frequenza:</u> Una campagna ogni settimana durante le attività.</p>	<p>Monitoraggio macrozoobenthos in punti compresi tra le batimetriche -5 e -20; popolamenti ittici su 4 transetti perpendicolari alla linea di costa. Mammiferi e tartarughe marine in due punti a largo di Nisida.</p> <p><u>Frequenza:</u> Una campagna dopo la fine delle attività di cantiere.</p>
<p><b>Morfologia dei fondali (batimetria)</b></p>	<p>Indagine batimetrica su intera area su cui è prevista la realizzazione del capping maggiorata del 20% su ogni lato.</p> <p><u>Frequenza:</u> 1 campagna di monitoraggio prima dell'inizio delle attività di cantiere.</p>	<p>Non previsto</p>	<p>Indagine batimetrica su intera area di realizzazione del capping maggiorata del 20% su ogni lato.</p> <p><u>Frequenza:</u> 2 campagne di monitoraggio, una da eseguire nell'anno successivo alla chiusura e al ripristino dell'area di cantiere, l'altra dopo 2 anni.</p>
<p><b>Caratterizzazione ambiente fisico</b></p>	<p>Caratterizzazione ambiente fisico mediante studio moto ondoso e correnti.</p> <p><u>Frequenza:</u> Raccolta dati ondometrici e correntometrici (serie storica) e per tutto l'anno prima delle attività di cantiere.</p>	<p>Caratterizzazione ambiente fisico mediante studio moto ondoso e correnti.</p> <p><u>Frequenza:</u> In continuo durante tutto il periodo di cantiere.</p>	<p>Caratterizzazione ambiente fisico mediante studio moto ondoso e correnti.</p> <p><u>Frequenza:</u> In continuo per 1 anno dalla chiusura del cantiere.</p>
<p><b>Rumore</b></p>	<p>Monitoraggio acustico su 6 punti tra la batimetria di -5 e -20. 4 in prossimità del cantiere e due a largo.</p> <p><u>Frequenza:</u> 2 campagne di monitoraggio semestrali da attuarsi nell'arco dell'anno precedente all'inizio delle attività di cantiere per la caratterizzazione dello scenario acustico di riferimento delle aree di indagine e per l'individuazione di eventuali situazioni di criticità acustica preesistenti alla realizzazione del progetto di</p>	<p>Monitoraggio acustico su 6 punti tra la batimetria di -5 e -20. 4 in prossimità del cantiere e due a largo.</p> <p><u>Frequenza:</u> 2 monitoraggi/anno da attuarsi in corrispondenza delle lavorazioni maggiormente impattanti, atti a verificare gli impatti nelle condizioni più critiche in continuo per 24 ore</p>	<p>Non previsto</p>

## RELAZIONE GENERALE

Codice Elaborato 2021E014INV-01-D-00-GE-GE-REL-01-01 Rev. 1 – Agosto 2023

	capping. In continuo per 24 ore.		
--	----------------------------------	--	--

## 12 COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA

L'Aggiornamento delle Prime Indicazioni della Sicurezza (elaborato **P22041-D-00-GE-HS-PSC-01-00**) è stato redatto in conformità a quanto contenuto nell'Allegato XV del D. Lgs. 81/2008 ed è articolato nei seguenti punti principali:

- L'identificazione e descrizione dell'opera;
- L'individuazione dei soggetti con compiti di sicurezza;
- L'organizzazione del servizio di gestione delle emergenze;
- L'esplicitazione delle caratteristiche dell'area di cantiere e dei rischi provenienti dall'esterno o genarti dal cantiere verso l'area circostante;
- L'organizzazione del cantiere;
- L'analisi delle interferenze tra le lavorazioni e il loro coordinamento;
- Le indicazioni per la segnaletica di sicurezza;
- Le prescrizioni per la redazione del POS.

Sono parte integrante dell'elaborato anche i seguenti allegati:

Allegato "A" - Stima dei costi della sicurezza;

Allegato "B" - Planimetrie di organizzazione del cantiere;

Allegato "C" - Cronoprogramma dei lavori;

Allegato "D" - Fascicolo con le caratteristiche dell'opera;

Allegato "E" - Analisi rischi lavorazioni;

Allegato "F" - Attestato di Bonifica Bellica Sistemica Subacquea

Il cantiere è stato organizzato in modo da disporre di ingressi alle aree di lavorazione da via Coroglio in corrispondenza degli Arenili nord e sud e sul lato nord est della colmata. In corrispondenza di ognuno di questi ingressi sono state localizzate delle aree per il ricovero dei lavoratori denominate Campi Satellite, per gli Arenili, e Campo Base Secondario, per la colmata. Il Campo Base principale è stato localizzato in corrispondenza dell'ingresso all'area ex Italsider.



Figura12-1: Organizzazione cantiere

Tutti i Campi sono organizzati in modo da consentire il parcheggio delle autovetture dei lavoratori e i necessari servizi igienico assistenziali (mensa, spogliatoi, bagni, docce, ecc.) dimensionati in funzione del numero di lavoratori da accogliere.

Le aree di ingresso/uscita hanno le seguenti caratteristiche:

- Arretramento rispetto alla sede stradale;
- Segnaletica stradale nei due fronti di marcia su via Coroglio;
- Specchi parabolici;
- Box di controllo per il personale di vigilanza;
- Dispositivi lavaruate;

E' inoltre prevista la presenza di movieri per agevolare le operazioni di approccio alla viabilità cittadina.

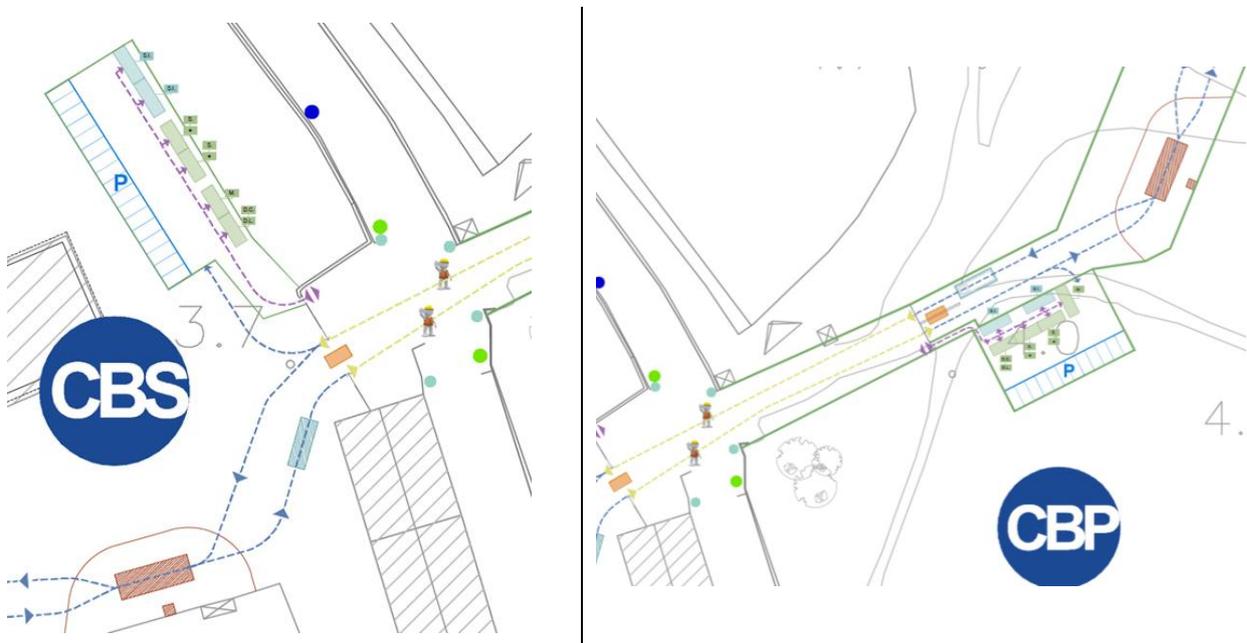


Figura12-2: Campi base

I principali rischi individuati attengono a:

- Potenziale presenza di ordigni bellici inesplosi, per la quale è stata prevista la preventiva bonifica terrestre e subacquea delle aree interessate da scavo al di sotto della quota terreno ante guerra;
- Immissione e circolazione nella pubblica viabilità con un elevato numero giornaliero di autocarri, per la quale sono stati previsti: segnaletica stradale, specchi parabolici, arretramento degli ingressi di cantiere, presenza di movieri;
- Sviluppo di notevoli quantità di inquinanti aerodispersi, per i quali si sono previsti cannoni abbattipolvere nelle aree di lavorazione, dispositivi lavaruate in prossimità delle uscite dal cantiere, impianti a rete per la nebulizzazione dell'acqua atti all'abbattimento delle polveri lungo l'intero sviluppo delle recinzioni, esistenti o di nuova realizzazione, sia su via Coroglio che sul perimetro dei Campi destinati al ricovero dei lavoratori, oltre che all'intradosso delle coperture delle baie di deposito dei terreni;

- Rischio di investimento, rispetto al quale sono stati previsti l'utilizzo di indumenti ad alta visibilità e di torri faro per l'illuminazione;
- Rischi di caduta negli scavi, per i quali sono state previste idonee recinzioni arretrate rispetto ai fronti di scavo;
- Rischi di investimento o annegamento in mare, per i quali sono state previste boe di segnalazione, barche di appoggio adeguatamente attrezzate e con sommozzatore in stand by.

Per l'analisi dei rischi specifici delle lavorazioni è stato predisposto specifico elaborato Allegato sub E.

Tutte le misure di prevenzione e protezione descritte nel Piano di Sicurezza sono state stimate, con l'utilizzo di Prezzi desunti dalla Tariffa Regione Campania 2023 o mediante specifiche analisi prezzi, conformemente a quanto previsto dal paragrafo 4 dell'allegato XV al D.Lgs 81/2008.

## 13 CRONOPROGRAMMA

Dal crono programma redatto per la realizzazione delle opere in progetto e riportato all'elaborato **2021E014INV-01-D-00-GE-EC-CRO-01-01** si evince quanto segue:

La durata totale dei lavori è pari 1579 giorni naturali e consecutivi. In particolare

- Arenile sud con durata complessiva stimata in 517 giorni e termine dopo 1 anni e 10 mesi dall'inizio;
- Microcella nord con durata complessiva stimata in 464 giorni e termine dopo 1 anni e 8 mesi dall'inizio;
- Macrocella centrale con durata complessiva stimata in 1378 giorni e termine dopo 5 anni e 3 mesi dall'inizio.

La sequenza delle lavorazioni è stata pensata in questa maniera:

Dopo l'avvio del cantiere e la bonifica bellica si procederà alla demolizione delle parti d'opera interferenti ad esclusione del pontile sud che servirà come punto di appoggio per i dragaggi e tutte le lavorazioni a mare dell'arenile SUD e della microcella Nord

Successivamente si procederà con la realizzazione in contemporanea dell'arenile Sud e la Microcella Nord. A seguire con una sovrapposizione delle lavorazioni di cui sopra si procederà alle attività proprie della Macrocella centrale e della Colmata

L'impianto di trattamento verrà installato prima di eseguire qualsiasi attività di salpamento e dragaggio e verrà smantellato al termine delle attività di escavo del materiale costituente la colmata.

