

# HUB PORTUALE ravenna



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico centro settentrionale



APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI,  
NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E  
RIUTILIZZO MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE  
AL P.R.P VIGENTE 2007 - I FASE - PORTO DI RAVENNA

## PROGETTO ESECUTIVO

**oggetto** DRAGAGGI  
ELABORATI GENERALI  
RELAZIONE GENERALE - DRAGAGGI E GESTIONE SEDIMENTI

**file**  
1114-E-DRX-DRA-RG-01-0.doc

**codice**  
1114-E-DRX-DRA-RG-01-0

**scala**  
-

Revisione	data	causale	redatto	verificato	approvato
0	23/12/2021	Emissione per approvazione	G. Braquantini	L. de Angelis	F. Busola

responsabile delle Integrazioni Specialistiche: **Ing. Lucia de Angelis**

responsabile del Procedimento: **Ing. Matteo Graziani**

committente



Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro Settentrionale  
Via Antico Squero, 31  
48122 Ravenna

contraente generale



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.  
Piazza del Popolo 18  
00187 Roma



DEME - Dredging International NV  
Haven 1025 - Scheldedijk 30  
2070 Zwijndrecht - Belgium

progettisti



Technital S.p.A.  
Via Carlo Cattaneo, 20  
37121 Verona

Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Filippo Busola



F&M Ingegneria SpA  
Via Belvedere 8/10  
30035 Mirano (VE)

Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Tommaso Tassi



SISPI srl  
Via Filangieri 11  
80121 Napoli

Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Marco Di Stefano

## DRAGAGGI

### Relazione generale – Dragaggi e gestione dei sedimenti

---

23 dicembre 2021

---

PROGETTISTI

RTP:  **TECNITAL**

**F&M**  
ingegneria

**SISPI**  
engineering

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>AREE DI DRAGAGGIO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>DRAGAGGIO STRALCIO 1</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>INDAGINI EFFETTUATE NEL PE</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>INDAGINI BATIMETRICHE</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>INDAGINI GEOTECNICHE</b> .....	<b>11</b>
3.2.1	AREE DI DRAGAGGIO.....	11
3.2.1.1	INDAGINE 2014.....	11
3.2.1.2	INDAGINE 2019.....	11
3.2.1.3	INDAGINE 2020-2021.....	11
3.2.2	AREE LOGISTICHE.....	12
3.2.2.1	INDAGINE AREA LOGISTICA S3.....	12
3.2.2.2	INDAGINE AREA LOGISTICA L2.....	12
<b>3.3</b>	<b>INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4</b>	<b>INDAGINI ARCHEOLOGICHE</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>GEOTECNICA</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>AREE DI DRAGAGGIO</b> .....	<b>16</b>
4.1.1	ASSETTO STRATIGRAFICO.....	16
4.1.2	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	17
<b>4.2</b>	<b>AREE LOGISTICHE</b> .....	<b>19</b>
4.2.1	ASSETTO STRATIGRAFICO.....	19
4.2.1.1	AREA LOGISTICA S3.....	19
4.2.1.2	AREE LOGISTICHE L1/L2.....	19
4.2.2	LETTURE DI FALDA.....	21
4.2.3	CEDIMENTI ATTESI.....	21
<b>5</b>	<b>RISULTATI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>GESTIONE A TERRA</b> .....	<b>23</b>
<b>5.3</b>	<b>IMMERSIONE A MARE</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b> .....	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>SINTESI DEI VOLUMI DI DRAGAGGIO</b> .....	<b>41</b>
<b>6.2</b>	<b>METODOLOGIA DI DRAGAGGIO E MOVIMENTAZIONE DEI MATERIALI DRAGATI</b> .....	<b>43</b>
6.2.1	DRAGAGGIO MECCANICO.....	46
6.2.2	DRAGAGGIO IDRAULICO.....	47

<b>7</b>	<b>UBICAZIONE DEI SITI DI DESTINAZIONE FINALE E DI DEPOSITO TEMPORANEO DEI MATERIALI DRAGATI.....</b>	<b>48</b>
<b>7.1</b>	<b>SITI DI DESTINAZIONE FINALE.....</b>	<b>48</b>
7.1.1	AREA LOGISTICA CO S3 ROMEA BASSETTE.....	50
7.1.2	COMPARTO AREE LOGISTICHE L1 ED L2.....	51
7.1.3	CAVA "LA BOSCA".....	53
<b>7.2</b>	<b>SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO .....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>GESTIONE DEI MATERIALI DRAGATI.....</b>	<b>57</b>
<b>8.1</b>	<b>IMMERSIONE A MARE .....</b>	<b>57</b>
<b>8.2</b>	<b>RIUTILIZZO A TERRA.....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DEI PERCORSI PREVISTI PER IL TRASPORTO DEL MATERIALE DI ESCAVO TRA LE DIVERSE AREE IMPIEGATE NEL PROCESSO DI GESTIONE.....</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>GESTIONE DELLE ACQUE DI ESUBERO E DEFLUSSO DALLE VASCHE DI DEPOSITO PROVVISORIE E DI DECANTAZIONE INTERMEDIE.....</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>CRONOPROGRAMMA PE .....</b>	<b>70</b>

## 1 PREMESSA

Il Piano Regolatore Portuale 2007 del Porto di Ravenna, acquisito il parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto n. 129 del 29.10.2008 e la Valutazione Ambientale Strategica con delibera della giunta regionale Emilia-Romagna n. 14796 del 12.10.2009, è stato approvato con delibera di Giunta provinciale n. 3 del 03.12.2010 in virtù della delega conferita a tale Ente dalla Legge Regionale n. 3 del 21.04.1999 "Riforma del sistema regionale e locale".

Successivamente, in data 19.03.2010, è stata attivata presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e gli altri Enti competenti la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale delle opere previste in Piano, che è proseguita con le pubblicazioni di legge ed il parere favorevole di compatibilità ambientale della Commissione Tecnica per la Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS in data 17.06.2011. Il Decreto congiunto di V.I.A. del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e del Ministro per i Beni e le Attività Culturali n. 6 del 20.01.2012 ha sancito la compatibilità ambientale del P.R.P. 2007 per l'attuazione delle opere connesse nel rispetto di alcune condizioni e prescrizioni.

Il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, di concerto col Ministro dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, con decreto n. 215 del 07.08.2017 ha prorogato per dieci anni, a decorrere dalla data di scadenza, i termini di validità del Decreto di compatibilità ambientale prot. DVA-DEC-2012-6 del 20 gennaio 2012 relativo al "Piano Regolatore Portuale – Attuazione delle opere connesse" del Porto di Ravenna, ovvero sino al 18 maggio 2027.

L'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico centro settentrionale (AdSP) ha sviluppato il progetto preliminare di "Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e utilizzo materiale estratto in attuazione al P.R.P. vigente 2007", istruito dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti in quattro stralci consecutivi ma singolarmente funzionali, ed approvato dal C.I.P.E. con delibera n. 98 del 26 ottobre 2012 (G.U.R.I. n. 136 del 12 giugno 2013) per i primi due.

Il Porto di Ravenna è costituito da un canale principale, Candiano, e due secondari, Baiona e Piombone. Nel complesso sono attualmente presenti 24 km di banchine disponibili, di cui 18.5 km operative. Le merci trattate dai terminalisti privati sono principalmente rinfuse, liquidi, container.

A seguito delle analisi del traffico e degli scenari futuri, il PRP del 2007 ha fissato come priorità per lo sviluppo del Porto l'approfondimento dei fondali per permettere l'ingresso di navi di dimensioni maggiori rispetto alle attuali, oltre alla realizzazione di un nuovo Terminal Container.

Le opere dei primi due stralci, oggetto del presente progetto, consistono nella realizzazione del nuovo Terminal Container e in un primo step di approfondimento dei fondali, oltre al conseguente adeguamento strutturale di parte delle banchine esistenti.

In data 20/01/21, con verbale di avvio alla progettazione, l'AdSP, ha limitato l'inizio delle attività di Progettazione Esecutiva (PE) agli interventi di adeguamento funzionale e strutturale delle banchine ed allo svuotamento delle casse di colmata Nadep e Centro Direzionale. Nell'ambito delle attività di PE oggetto del richiamato verbale rientrano anche le attività connesse allo svuotamento della cassa di colmata Trattaroli (per la parte incidente con le lavorazioni previste nel cantiere N2), nonché le attività di conferimento di materiali provenienti dalle casse di cui sopra nelle aree logistiche L2 ed S3 e nella cava "La Bosca".

Dopo aver consegnato il Piano di Progetto in data 30/1/2021 il Gruppo di Progettazione ha elaborato il Piano Indagini (rif. doc. 1114-E-SIN-RIL-RE-01-A); tali indagini, che avevano lo scopo di integrare quelle già eseguite in sede di Progettazione Definitiva, sono state suddivise per macro-interventi (Banchine, Dragaggi, casse di colmata, aree logistiche e cava "La Bosca").

In data 20/03/2021 è stato consegnato il documento "Proposte e alternative di dragaggio e gestione dei sedimenti rispetto al progetto definitivo" (Rif. doc 1114-E-DRX-GEN-RG-02-0), volte a risolvere le problematiche evidenziate dalla caratterizzazione dei materiali presenti in avamposto e canaletta di avvicinamento.

In data 03/08/2021 è stata consegnata la proposta di "Gestione dei materiali di dragaggio", in cui l'adozione della metodologia di scavo rende non più essenziale l'utilizzo delle casse di colmata per il deposito temporaneo dei materiali.

In data 14/10/21 è stato consegnato il PE del Dragaggio Stralcio I con la gestione del materiale dragato nelle aree logistiche S3 Nord e L2 (Stralcio III).

In data 08/10/21 l'AdSP ha proceduto alla consegna della Progettazione Esecutiva delle operazioni di dragaggio e di gestione dei sedimenti.

Questa relazione descrive il Progetto Esecutivo dei dragaggi e la loro gestione nei siti di deposito intermedio e in quelli di deposito finale (aree logistiche e cava "La Bosca"). La corografia dell'area di intervento è riportata in Figura 1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Il progetto delle aree logistiche "Comparto S3", sia S3 nord e S3 Sud, dell'Area Logistica L2 e della cava "La Bosca", previsti come sito di destino dei materiali provenienti dai dragaggi, relativi al presente Stralcio è descritto nella Relazione di sintesi delle aree logistiche e Cava "La Bosca" (rif. doc. 1114-E-LGX-TRL-RG-01-0).

Si sintetizza qui di seguito l'elenco dei Progetti Esecutivi degli interventi che riguardano i dragaggi e la loro gestione, le aree logistiche e la cava "La Bosca", effettuati nei precedenti stralci:

1) Stralcio 1: Adeguamento banchine esistenti, Nuovo terminal container in penisola Trattaroli, Svuotamento area Trattaroli; Comparto S3 Sud

Progetto Esecutivo: Comparto S3 Sud per il conferimento del materiale proveniente dallo svuotamento dell'area Trattaroli

Consegna PE in data: 28/07/2021 (rev0); 15/09/2021 (rev 1); 06/12/2021 (rev.2) per riscontro validazione; Validato in data 17/12/21

2) Stralcio 2 Svuotamento casse di colmata Nadep e Centro Direzionale, Aree logistiche e cava "La Bosca"

Progetto Esecutivo di:

- Area logistica S3 Sud per il conferimento di parte del materiale proveniente dallo svuotamento della Cassa Nadep
- Area logistica L2 per il conferimento del materiale proveniente dallo svuotamento della cassa Centro Direzionale
- Cava "La Bosca" per il conferimento di parte del materiale proveniente dallo svuotamento della Cassa Nadep (i cui parametri rientrano nei limiti della colonna A tab. 1 All.5 Titolo V Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006)

Consegna PE in data 03/09/21 (rev .0).

3) Stralcio 3 – Dragaggio Stralcio I e Area logistica S3 nord

Progetto Esecutivo di:

- Dragaggio Stralcio I (Zona 2 – “settore area terminal crociere” e “settore canale di accesso” e Zona 3 - settore canale interno)
- Area logistica S3Nord per il conferimento della maggior parte (95%) dei materiali provenienti dal dragaggio Stralcio I
- Area Logistica 2 per il conferimento della restante parte (5%) dei materiali provenienti dal dragaggio Stralcio I

Consegna PE in data 15/10/2021 (rev.0)

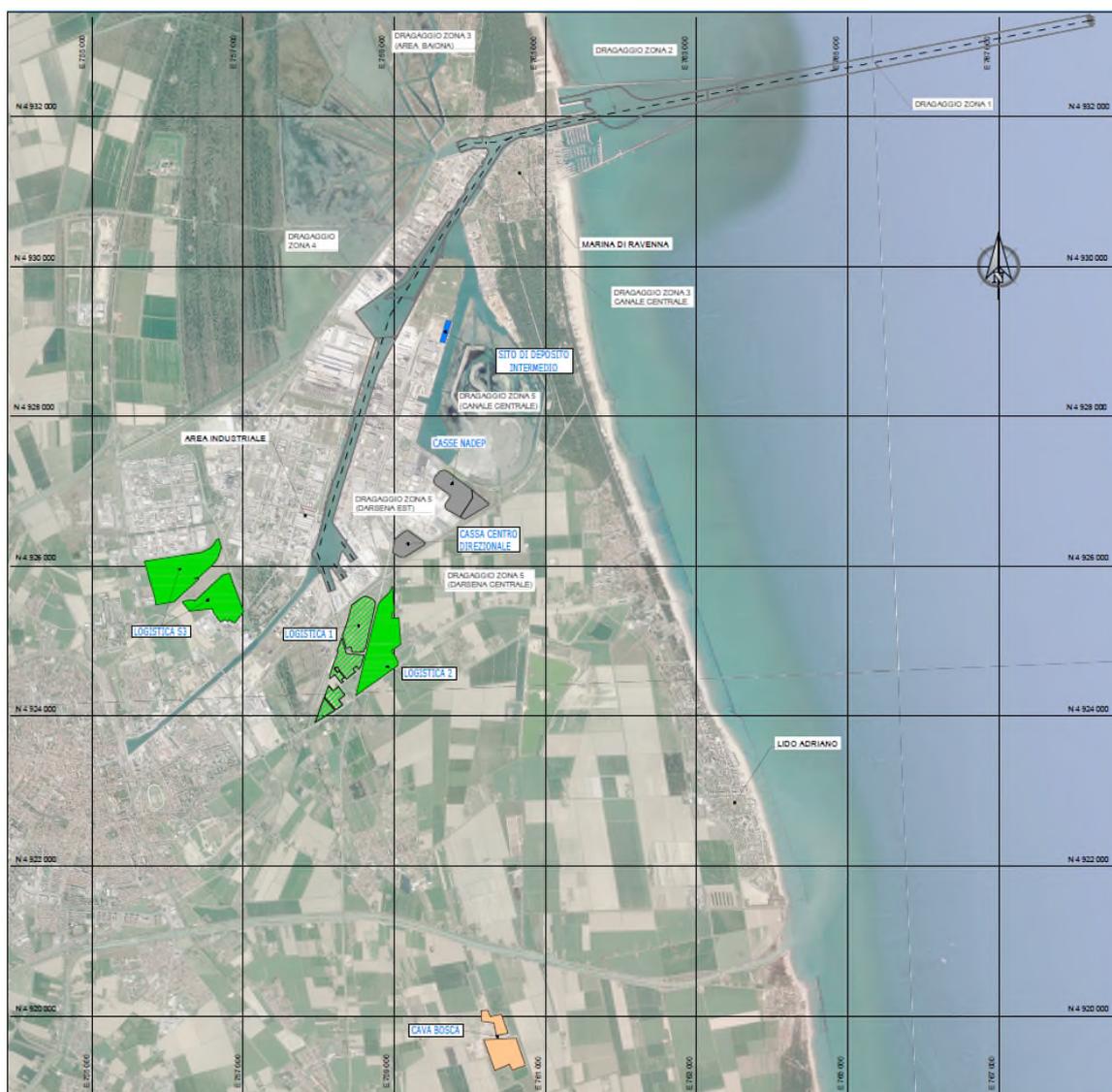


Figura 1 – Corografia dell'area di intervento

## 2 AREE DI DRAGAGGIO

La planimetria in Figura 2 riporta le aree oggetto di dragaggio, secondo la suddivisione delineata nel Progetto Definitivo:

- Zona 1: area del canale marino esterna alle dighe foranee e are di una limitata porzione di canale marino tra le dighe foranee;
- Zona 2: area di avamperto compresa tra i moli guardiani e l'imboccatura delle dighe foranee;
- Zona 3: area di canale Candiano tra i moli guardiani, darsena Baiona e largo Trattaroli;
- Zona 4: area di canale Candiano di largo Trattaroli e tratti di sotto banchine zona 3;
- Zona 5: area di canale Candiano tra largo Trattaroli e le darsene San Vitale.

Al fine di consentire in tempi quanto più brevi possibili la piena fruibilità e navigabilità in sicurezza dell'accosto nord a servizio del traffico crocieristico e di due zone del Canale Candiano, il progetto di dragaggio di una porzione limitata delle Zone 2 e 3, denominato "*l stralcio esecutivo*", è stato redatto anticipatamente rispetto al presente stralcio progettuale e precisamente nell'Ottobre 2021 (si rimanda al paragrafo seguente per i dettagli di questo intervento).

Si evidenzia che la porzione della Zona 2 ubicata nel "settore canale di accesso" (da progr. 5+191,44 a progr. 5+587,44), che nell'ambito del "*l stralcio esecutivo*" è previsto venga dragata a quota -12,50 m s.l.m.m., sarà sottoposta ad un nuovo approfondimento nell'ambito del presente stralcio e portata alla quota di progetto di -13,50 m s.l.m.m..

Un altro aspetto da sottolineare è che il dragaggio del canale marino, nella porzione di Zona 1 esterna alle dighe foranee, verrà eseguito in due diverse campagne, in quanto i sedimenti da dragare in alcune aree dovranno essere sottoposti a nuova caratterizzazione, in conformità a quanto prescritto da ARPAE in base agli esiti delle indagini di caratterizzazione eseguite nel periodo 2019-2020.



Figura 2 – Aree di dragaggio – Hub portuale di Ravenna

## 2.1 DRAGAGGIO STRALCIO 1

Come anticipato nel paragrafo precedente, al fine di consentire la piena fruibilità e navigabilità in sicurezza dell'accosto nord a servizio del traffico crocieristico e di due zone del Canale Candiano, si è reso necessario avviare un "I stralcio esecutivo funzionale", che ha riguardato un volume di dragaggio in banco limitato pari a circa 197.500 m<sup>3</sup>.

L'intervento di dragaggio di "I stralcio esecutivo" dei fondali, in aderenza alle previsioni del PD approvato, ha previsto il raggiungimento dei seguenti approfondimenti lungo i tratti del canale del porto di Ravenna:

- **"Zona 2": "settore area terminal crociere"** (da progr. 6+533.58 a progr. 7+106.23) fino a -10.00 s.l.m.m. e **"settore canale di accesso"** (da progr. 5+191.44 a progr. 5+587.44) fino a -12.50 m s.l.m.m (approfondimento di I Stralcio);
- **"Zona 3": "settore canale interno"** (da progr. 8+229.95 a progr. 8+859.95) fino a -12.50 m s.l.m.m.

Per quanto riguarda il destino dei sedimenti dragati, il progetto ha previsto che il volume di materiale movimentato venga interamente riutilizzato nelle aree logistiche portuali denominate "Logistica L2" e "Comparto S3 Nord".



Figura 3 – I stralcio esecutivo funzionale - Aree di dragaggio

Le profondità di dragaggio previste variano per le suddette tre aree in funzione della quota esistente del fondale e di quella di progetto e sono state stabilite pari a:

- Zona 3 pk 8+229.95 – 8+859.95 km (quota di progetto -12.5 m slm): spessore di dragaggio tra 0 – 1 m nella porzione centrale e di 1.5 – 2 m presso le scarpate;
- Zona 2 pk 6+533.58 - 7+106.23 km (quota di progetto -10 m slm): la maggior parte dell'area si trova già alla quota di progetto; pertanto, il dragaggio è concentrato presso la scarpata N lato mare con spessori tra 1.5-2 m e 2-3 m;
- Zona 2 pk 5+191.44 – 5+587.44 km (quota di progetto -12.5 m slm): spessore di dragaggio tra 1.5 – 2 m nella porzione centrale e di 3 – 4 m presso le scarpate.

Per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni ed agli elaborati grafici del progetto del "I stralcio esecutivo".

### 3 INDAGINI EFFETTUATE NEL PE

Come previsto nel piano indagini consegnato all'AdSP in data 5/10/2020 e successivo aggiornamento del 17/11/2021 sono state eseguite delle indagini integrative propedeutiche alla Progettazione Esecutiva dell'Hub portuale di Ravenna – I Fase.

Le indagini descritte nel Piano Indagini (rif. doc. 1114-E-SIN-RIL-RE-01-A), suddivise per macro-interventi (Banchine, Dragaggi, casse di colmata, aree logistiche e cava "La Bosca") sono state eseguite fra novembre 2020 e febbraio 2021 e sono sintetizzate qui di seguito:

- rilievo topografico plano-altimetrico (aerofotogrammetrico e topografico) per verificare lo stato esistente;
- stendimenti geolettici, con elettromagnetometro e sismici
- indagini con georadar 3D
- indagini geotecniche per definire l'assetto stratigrafico, i parametri geotecnici, di classificazione sismica e livello di falda (SCPTU, CPTU, sondaggio con piezometro, prove di dissipazione, analisi di laboratorio)
- sulle aree logistiche: Indagini eletto-magnetometriche (stendimenti) e con georadar 3D (piazzole) per le verifiche dei sottoservizi ed eventuali interferenze
- rilievo batimetrico dei fondali esistenti con indagine Multibeam
- rilievi side-scan sonar

Nel presente capitolo sono sintetizzate le indagini effettuate per il PE dei dragaggi, che sono qui di seguito elencate:

- Indagini batimetriche
- Indagini geotecniche
- Indagine di caratterizzazione ambientale
- Indagini archeologiche

#### 3.1 INDAGINI BATIMETRICHE

Nell'ambito del Progetto Definitivo nel 2014 è stato effettuato il rilievo batimetrico di tutta l'area del canale interessata da dragaggio (Rif. Elaborati grafici Progetto Definitivo).

A supporto del Progetto Esecutivo, è stato eseguito un nuovo rilievo batimetrico per verificare lo stato esistente e la profondità dei fondali in tutte le aree di dragaggio, in particolare nelle zone di avamposto e della canaletta (Zona 1 e 2), dove possono verificarsi modifiche della batimetria a causa del trasporto litoraneo.

Il rilievo è stato eseguito con tecnologia multibeam (MBES) ed esteso su un'area di 4.357.670 mq, interessando le zone di San Vitale -Trattaroli (Zona 5), largo Trattaroli (Zona 4), Area Trattaroli, Darsena Baiona, Curva Marina e inizio moli guardiani (Zona 3), Avamposto e zona terminal crociere (Zona 2), canaletta di avvicinamento fino a circa 5,5 km dalla testa delle dighe.

È stato inoltre effettuato il rilievo del canale Piombone, fino in prossimità della cassa di colmata Nadep (Zona 7) e il rilievo dell'area all'ingresso del canale Piombone (Zona 6), in cui potrebbe essere presente una barra di sabbia; in tal caso dovrebbe essere rimossa per rendere accessibile il canale Piombone alle draghe previste durante l'esecuzione dei dragaggi.

La descrizione dettagliata delle modalità di esecuzione, elaborazione dei dati e restituzione dei rilievi batimetrici è presentata nei seguenti documenti:

- Relazione tecnica indagini - Dragaggi - e allegati (doc 1114-E-SIN-RIL-RE-21-1)
- Elaborati grafici indagini multibeam (n. 1114-E-SIN-RIL-PL-05 ÷ 1114-E-SIN-RIL-PL-13-1)

## 3.2 INDAGINI GEOTECNICHE

### 3.2.1 Aree di dragaggio

#### 3.2.1.1 Indagine 2014

L'indagine è stata svolta da C.R.S.A. MED-Ingegneria e da GeoPolaris nel 2014 a supporto del Progetto Definitivo a base di gara, utilizzando per il campionamento una sonda vibrocore, montata su motonave con posizionamento dei punti di indagine tramite sistema GPS-RTK e misura della quota del fondale dei punti di indagine tramite ecoscandaglio single-beam.

Il diametro della fustella in acciaio del vibrocore è  $\Phi$  101 mm, al cui interno è stato inserito un liner in polietilene con  $\Phi$  di 90 mm.

Il numero complessivo dei sondaggi, eseguiti sull'intera area del progetto "Hub portuale di Ravenna I fase", è pari a n.517 con prelievo di 1.124 campioni.

La lunghezza dei sondaggi varia da un minimo di 1 m ad un massimo di 8 m in funzione delle profondità di dragaggio per le diverse aree. Il numero e la quota di prelievo dei campioni per ciascun sondaggio dipendono dalla sua lunghezza.

Ciascun sondaggio è corredato da documentazione fotografica e scheda stratigrafica con profondità dei campioni prelevati, sui quali sono state eseguite in laboratorio sia le determinazioni dei parametri fisici (descrizione macroscopica, granulometria, contenuto d'acqua, peso specifico) che le analisi chimico-ambientali. Visto l'elevato numero di campioni le granulometrie sono state determinate con granulometro laser, distinguendo le frazioni sabbia, limo ed argilla.

#### 3.2.1.2 Indagine 2019

L'indagine è stata svolta da Ambiente spa nel 2019 su Commissione della AdSP, al fine di integrare la caratterizzazione dei sedimenti da dragare del progetto definito alla luce del nuovo D.M.Ambiente n.173 del 15 luglio 2016.

Sono stati realizzati n.402 sondaggi sull'intera area di dragaggio del progetto "Hub portuale di Ravenna I fase", impiegando per il campionamento una sonda vibrocore con liner interno in policarbonato, montata su motonave con posizionamento dei punti di indagine tramite sistema GPS-RTK.

Sono stati inoltre eseguiti n.18 sondaggi con carotiere terrestre lungo l'argine del canale Candiano in penisola Trattaroli.

La lunghezza dei sondaggi varia da un minimo di 1 m ad un massimo di 4 m in funzione delle profondità di dragaggio per le diverse aree. Il numero e la quota di prelievo dei campioni per ciascun sondaggio dipendono dalla sua lunghezza.

Ciascun sondaggio è corredato da documentazione fotografica e scheda stratigrafica con profondità dei campioni prelevati, sui quali sono state eseguite in laboratorio solamente le analisi chimico-ambientali.

#### 3.2.1.3 Indagine 2020-2021

L'indagine è stata svolta dalla Società Ambiente S.p.A. nel 2020 ed è composta dalla esecuzione di n.10 sondaggi sull'intera area di dragaggio del progetto "Hub portuale di Ravenna I fase", impiegando per il campionamento una sonda vibrocore con liner interno in policarbonato, montata su motonave con posizionamento dei punti di indagine tramite sistema GPS-RTK.

La distribuzione dei punti di indagine è tale da raccogliere informazioni per tutte le n.5 zone di dragaggio.

Le lunghezze di infissione sono state in media di 1 m, per ciascun punto di indagine sono stati prelevati sia campioni disturbati che indisturbati.

Le prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di dragaggio sono state condotte sia su campioni disturbati che indisturbati presso il laboratorio GEEG (Geotechnical and Environmental Engineering Group) start-up dell'Università di Roma la Sapienza. Sui campioni disturbati ed indisturbati sono state fatte le seguenti prove:

- Granulometria ed aerometria;
- Contenuto naturale d'acqua;
- Limiti di Atterberg;
- Peso specifico dei grani;
- Contenuto di sostanza organica.

Su un numero rappresentativo di campioni per ciascuna zona di dragaggio sono state eseguite:

- Prove di sedimentazione in colonna;
- Prove di resistenza non consolidata non drenata cu in funzione del contenuto d'acqua;
- Prove edometriche.

I risultati delle prove sperimentali di laboratorio sono stati utilizzati per tarare un modello di previsione del comportamento dei sedimenti una volta refluiti all'interno delle casse di colmata temporanee secondo quanto previsto dal Progetto Definitivo. Il modello è stato elaborato dalla E&G srl a firma del Prof. Ing. Quintilio Napoleoni.

I dati raccolti dalla presente indagine per il Progetto Esecutivo, anche se in numero inferiore rispetto a quelli delle indagini del Progetto Definitivo, sono da considerarsi di qualità superiore in rapporto alla natura delle prove di laboratorio svolte sui campioni prelevati, pertanto sono di riferimento per la caratterizzazione geotecnica dei sedimenti da dragare.

### **3.2.2 Aree logistiche**

Il presente paragrafo riporta la descrizione delle indagini che sono state effettuate nel corso del 2020 – 2021 nelle aree logistiche S3 e L2 a supporto del Progetto Esecutivo.

#### **3.2.2.1 Indagine Area logistica S3**

A livello di Progetto Definitivo non vi erano indagini geognostiche di riferimento, pertanto nel corso del Progetto Esecutivo, per caratterizzare da un punto di vista geotecnico il comparto S3 Nord e Sud, sono state realizzate le seguenti indagini:

- n.1 sondaggio (S12Pz/20) nella zona S3-Nord, L = 15 m, con prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati, con relative prove di laboratorio. Il foro di sondaggio è stato strumentato con piezometro a tubo aperto;
- n.1 prova penetrometrica statica tipo CPTU (SCPTu12/20) nella zona S3-Sud, L = 30 m;
- n.7 stendimenti di tomografia geoelettrica (da PEL 1/20 a PEL7/20), suddivisi in n.4 allineamenti nell'area S3 Nord e n.3 allineamenti nell'area S2 Sud.

#### **3.2.2.2 Indagine Area logistica L2**

A livello di Progetto Definitivo non vi erano indagini geognostiche di riferimento. Per caratterizzare da un punto di vista geotecnico l'area logistica L2 sono state realizzate, durante il Progetto Esecutivo, le seguenti indagini:

- sondaggio S14Pz/20 nel comparto Sud di L2, L = 15 m, con prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati, con relative prove di laboratorio. Il foro è stato strumentato con piezometro a tubo aperto;
- prova penetrometrica statica dinamica SCPTu13/20 nel comparto Nord di L2, L = 30 m;
- n.3 stendimenti di tomografia geoelettrica (da PEL 13/20 a PEL15/20).

### 3.3 INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Nella Delibera CIPE del 28/02/2018 di approvazione del Progetto Definitivo, era stato prescritto che venisse effettuata una nuova caratterizzazione dei sedimenti oggetto di dragaggio al fine di fornire un quadro aggiornato dello stato di qualità dei sedimenti, rispetto alle indagini pregresse che risalivano al 2014 e che non erano state eseguite in conformità della nuova disciplina di settore (Decreto 173/2016 relativo alla movimentazione dei sedimenti marini).

Il testo della prescrizione è riportato nel seguito.

- 1. La gestione dei sedimenti di dragaggio a livello di progetto esecutivo dovrà seguire le indicazioni della nuova normativa di settore di cui al decreto ministeriale 15 luglio 2016 n. 173. A tal fine, gli elaborati del piano di caratterizzazione, ivi compresa la ripartizione delle maglie ed il prelevamento dei campioni, dovranno essere aggiornati a livello di progetto esecutivo, alla luce dell'entrata in vigore di tale decreto ministeriale n. 173 del 2016 e del relativo allegato tecnico. In funzione degli esiti di tale caratterizzazione dovranno essere verificate e concordate con la Regione Emilia-Romagna (RER) le opzioni di gestione previste dal progetto definitivo e dovrà essere presentata al MATTM e all'Autorità competente la documentazione per il rilascio dell'autorizzazione ex art. 109 del decreto legislativo n. 152 del 2006 [immersione in mare dei materiali di escavo].*
- 2. Condivisa l'individuazione dei siti a livello di progetto definitivo, le ipotesi di allocazione definitiva dei materiali di dragaggio dovranno essere verificate a livello di progetto esecutivo, a seguito all'esito delle caratterizzazioni dei materiali e dei siti di destinazione finale e previo accordo con gli enti competenti. Le definitive modalità di gestione e la caratterizzazione dei siti di allocazione definitiva dovranno essere indicate al MATTM.*

In conformità a tale richiesta, nel 2019 l'AdSP ha avviato una campagna di indagine che ha interessato sia le aree interne al porto che le aree situate in mare aperto, lungo il canale di accesso.

La caratterizzazione dei sedimenti è stata eseguita conformemente a quanto stabilito dall'allegato tecnico al D.M. Ambiente n.173 del 15 Luglio 2016 mediante l'individuazione di n. 3 tipologie di aree unitarie: tipologia 1 (maglia 50x50m) a ridosso dei manufatti interni al porto, tipologia 2 (maglia 100x100) nelle zone centrali del porto; tipologia 3 (maglia 200x200) nelle zone esterne alle dighe foranee.

Sono state quindi individuate 403 maglie unitarie, ognuna delle quali è stata interessata da un punto di prelievo. In particolare:

- 316 maglie posizionate nell'Area destinata a terra;
- 87 maglie posizionate nell'Area potenzialmente destinata a mare.

Le attività di campionamento sono state effettuate dalla Società Ambiente S.p.A., mentre le attività di analisi sono state effettuate dalla medesima società e da ARPAE secondo lo schema seguente:

- le maglie unitarie posizionate nelle aree potenzialmente destinate a mare (da n. 317 a n. 402) sono state campionate a partire dal giorno 18/10 fino al giorno 23/10/2019: in questo caso l'attività della Società Ambiente S.p.A. si è limitata al prelievo delle carote di sedimento e trasporto in banchina a terra dove sono campionate unicamente da tecnici dell'ARPAE.
- le maglie posizionate nelle aree destinate a terra (da n.1 a n. 317) sono state campionate dal giorno 25/10 al giorno 9/11/2019, mentre i n. 18 sondaggi eseguiti lungo l'argine a terra con sonda rotazione (da n.171 a n.182, da n.236 a n.239, n.247, n.248) sono stati eseguiti e campionati dal 4/12 al 10/12/2019. I punti delle aree destinate a terra sono stati prelevati e campionati da personale della

Società Ambiente S.p.A. immediatamente dopo l'estrazione dal carotiere ed inviati in giornata al laboratorio per le analisi previste.

Nella figura seguente è riportata la griglia utilizzata per la caratterizzazione dei sedimenti.

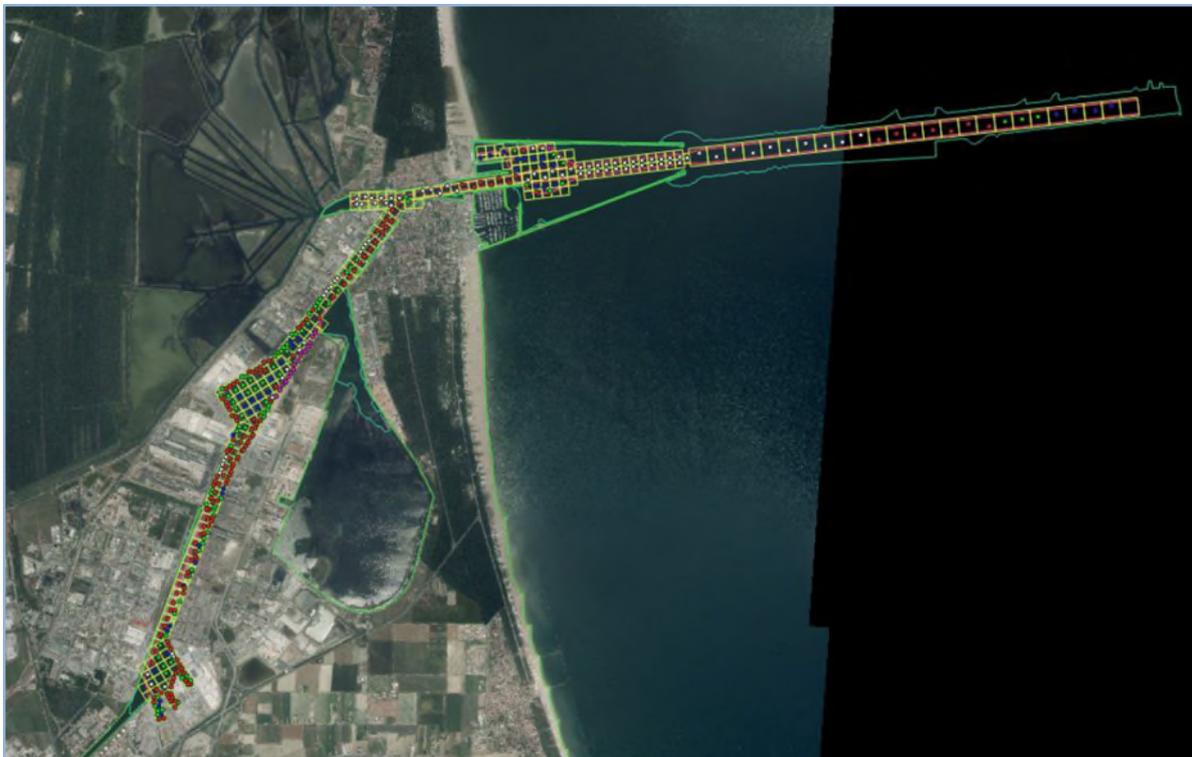


Figura 4 - Piano di caratterizzazione dei sedimenti (2019): maglia di indagine

Per il dettaglio delle attività di campo e di laboratorio, si rimanda ai seguenti rapporti tecnici ed ai certificati analitici trasmessi dagli esecutori ad AdSP:

- Ambiente S.p.A.: Servizio di aggiornamento della caratterizzazione dei fondali Candiano e Baiona. Piano di caratterizzazione. Relazione tecnica. Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico centro settentrionale. Dicembre 2019
- ARPAE: Caratterizzazione dei sedimenti del canale Candiano- Avamporto. Relazione tecnica. Marzo 2021
- ARPAE: Caratterizzazione dei sedimenti del canale Candiano Avamporto. Integrazione alla relazione tecnica. Ottobre 2021

### 3.4 INDAGINI ARCHEOLOGICHE

Al fine di rilevare eventuali presenze di natura archeologica sulle aree di canale Candiano, Avamporto e canaletta di avvicinamento al porto oggetto di escavo, sono state condotte delle indagini preventive qui di seguito elencate:

- indagini con metodologia Side Scan Sonar (a dicembre 2020)
- indagini con sub-bottom profiler (ad aprile 2021)

Le indagini con metodologia side scan sonar e con sub-bottom profiler sono state effettuate su un'area di circa 900'000 mq, concordata con AdSP e Sovrintendenza di Bologna, in cui si ritiene vi sia maggiore probabilità di rinvenire reperti.

In seguito è stato condotto anche un rilievo ROV per indagare alcuni dei target individuati dall'indagine Side Scan Sonar del dicembre u.s.

Il rilievo Side Scan Sonar è stato intrapreso principalmente con finalità archeologiche, per verificare la presenza di target riconducibili ad eventuali reperti. A tal fine è stata specificatamente definita dalla Committenza l'area d'indagine da coprire in associazione al rilievo batimetrico Multi Beam.

L'indagine side scan sonar ha consentito di individuare e mappare 22 contatti.

La descrizione delle indagini effettuate con Side Scan Sonar e dei target è riportata nella "Relazione tecnica indagini - Dragaggi e Allegati" (rif. doc. 1114-E-SIN-RIL-RE-21-1).

Nelle planimetrie di rilievo (rif. 1114-E-SIN-RIL-PL-14-1 ÷ 1114-E-SIN-RIL-PL-16-1) sono rappresentati i rilievi sidescan sonar e sub-bottom profiler.

L'indagine ROV è stata eseguita per verificare la natura dei 13 dei 23 target riscontrati attraverso l'indagine Side Scan Sonar effettuata a Dicembre 2020.

La descrizione delle indagini e dei risultati è riportata nella relazione di sintesi delle indagini archeologiche (Rif. doc. 1114-E-SIN-ARC-RE-01-0).

## 4 GEOTECNICA

### 4.1 AREE DI DRAGAGGIO

#### 4.1.1 Assetto stratigrafico

La Tabella 1 riporta per la Zona di dragaggio 1 l'assetto stratigrafico in funzione delle informazioni derivanti dalle diverse indagini geognostiche svolte.

Si nota che le indagini del 2019 e del 2020/2021 indicano generalmente una riduzione della granulometria rispetto all'indagine del 2014 con prevalenza della frazione limoso - argillosa su quella limoso – sabbiosa.

<i>Tabella 1 – Assetto stratigrafico – Zona dragaggio 1 - Stratigrafia delle aree di dragaggio in funzione delle indagini svolte</i>	
Indagine (anno)	Assetto stratigrafico
2014	Limo sabbioso/limo sabbioso argilloso
2019	Limo argilloso/argille limose
2020/2021	Limo argilloso/limo con argilla

La Tabella 2 riporta per la Zona di dragaggio 2 l'assetto stratigrafico in funzione delle informazioni derivanti dalle diverse indagini geognostiche svolte.

Si nota che le indagini del 2019 e del 2020/2021 indicano generalmente una riduzione della granulometria rispetto all'indagine del 2014 con prevalenza della frazione limoso - argillosa su quella limoso – sabbiosa.

<i>Tabella 2 – Assetto stratigrafico – Zona dragaggio 2 - Stratigrafia delle aree di dragaggio in funzione delle indagini svolte</i>	
Indagine (anno)	Assetto stratigrafico
2014	Limo sabbioso/sabbia limosa e secondariamente limo sabbioso argilloso
2019	Limo
2020/2021	Limo argilloso

La Tabella 3 riporta per la Zona di dragaggio 3 l'assetto stratigrafico in funzione delle informazioni derivanti dalle diverse indagini geognostiche svolte.

Si nota che le indagini del 2019 e del 2020/2021 indicano generalmente una riduzione della granulometria rispetto all'indagine del 2014 con prevalenza della frazione limoso - argillosa su quella limoso – sabbiosa.

<i>Tabella 3 – Assetto stratigrafico – Zona dragaggio 3 - Stratigrafia delle aree di dragaggio in funzione delle indagini svolte</i>	
Indagine (anno)	Assetto stratigrafico
2014	Limo sabbioso e secondariamente limo sabbioso argilloso/sabbia limosa
2019	Limi ed Argille
2020/2021	Limo argilloso

La Tabella 4 riporta per la Zona di dragaggio 4 l'assetto stratigrafico in funzione delle informazioni derivanti dalle diverse indagini geognostiche svolte.

Si nota che le indagini del 2019 e del 2020/2021 indicano generalmente una riduzione della granulometria rispetto all'indagine del 2014 con prevalenza della frazione limoso - argillosa su quella limoso – sabbiosa.

*Tabella 4 – Assetto stratigrafico – Zona dragaggio 4 - Stratigrafia delle aree di dragaggio in funzione delle indagini svolte*

Indagine (anno)	Assetto stratigrafico
2014	Limo sabbioso/Limo sabbioso argilloso
2019	Limo
2020/2021	Limo argilloso

La Tabella 5 riporta per la Zona di dragaggio 5 l'assetto stratigrafico in funzione delle informazioni derivanti dalle diverse indagini geognostiche svolte.

Si nota che le indagini del 2019 e del 2020/2021 indicano generalmente una riduzione della granulometria rispetto all'indagine del 2014 con prevalenza della frazione limoso - argillosa su quella limoso – sabbiosa.

*Tabella 5 – Assetto stratigrafico – Zona dragaggio 5 - Stratigrafia delle aree di dragaggio in funzione delle indagini svolte*

Indagine (anno)	Assetto stratigrafico
2014	Limo sabbioso/Sabbia
2019	Limo e secondariamente sabbia
2020/2021	Limo argilloso

#### **4.1.2 Caratteristiche geotecniche**

Le indagini di Progetto Definitivo individuano solo la granulometria dei sedimenti e in qualche caso il contenuto d'acqua in posto, ma sono prive di prove geotecniche, indispensabili per la caratterizzazione del sedimento ai fini del dragaggio.

Si è resa quindi necessaria l'esecuzione di una nuova indagine a supporto del Progetto Esecutivo, finalizzata alla caratterizzazione geotecnica dei sedimenti ed al loro comportamento nel caso di dragaggio con draga idraulica tipo TSHD, così come previsto dal Progetto Definitivo.

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio GEEG (Geotechnical and Environmental Engineering Group) start-up dell'Università di Roma la Sapienza.

L'analisi delle informazioni disponibili ha portato a caratterizzare il sedimento da dragare come un limo argilloso con locali intercalazioni di sabbie limose con un contenuto d'acqua prossimo o superiore al limite liquido ovvero molto poco consistente. Tale dato è stato confermato dalle prove di misura della resistenza non drenata  $c_u$  e dalle prove edometriche dell'indagine di Progetto Esecutivo.

Si nota che le indagini del 2019 e del 2020/2021 descrivono un materiale più fine rispetto all'indagine del 2014, passando mediamente da un limo sabbioso ad un limo argilloso - sabbioso.

Tale constatazione è stata supportata anche dalle prove eseguite nei terreni dragati in precedenza e posti nelle casse NADEP e Centro Direzionale, che possiedono una granulometria più fine rispetto a quanto indicato nel Progetto Definitivo, passando da terreni a matrice limoso-sabbiosa a terreni a matrice limoso-argillosa.

I risultati della indagine di Progetto Esecutivo sono stati quindi usati per tarare un modello CS2 del comportamento dei sedimenti sversati nella cassa NADEP a seguito del loro dragaggio con draga idraulica tipo TSHD secondo le indicazioni del Progetto Definitivo. L'attività di calibrazione e sviluppo del modello è stata condotta dalla E&G srl a firma del Prof. Ing. Quintilio Napoleoni.

Il modello indica che dopo 3 mesi dalla fine del refluento idraulico il Bulking Factor è  $BF=2.25$ , valore ben superiore a quello di Progetto Definitivo pari a 0.8.

L'incremento stimato del BF dalla attività di sperimentazione sulla base delle caratteristiche geotecniche dei sedimenti comporterebbe un aumento importante dei cicli di dragaggio e dei volumi da trasportare con conseguente incremento delle tempistiche e dei costi.

Alla luce di questi risultati si è scelto di usare una draga a grappo tipo GHD, che non altera il contenuto d'acqua dei sedimenti in sito.

Quanto detto ha portato a considerare per il B.F. (Bulking Factor) iniziale = 1 i valori di  $w_n$  derivanti dalla indagine del 2020-2021 e non quelli dell'indagine del 2014.

Se si considerano i dati della indagine di Progetto Esecutivo del 2020-2021, si ha che il terreno in sito ha un contenuto d'acqua medio pari a  $w_n= 60\%$  (media di tutti i valori di  $w_n$ ), che rappresenta la condizione di partenza con  $B.F. = 1.0$ .

Il materiale dragato con benna avrà un lieve incremento del contenuto d'acqua, che porterà inizialmente il B.F. a circa 1.1, ma che si ridurrà nuovamente a 1 a seguito della movimentazione del materiale in banchina dapprima all'interno delle vasche di deposito intermedio e successivamente nelle aree logistiche ed in cava "La Bosca".

Nelle aree logistiche, la riduzione di B.F. avverrà per azione sia della evapotraspirazione, facilitata da una consistente movimentazione del materiale, che della consolidazione per peso proprio. In cava "La Bosca", la riduzione avverrà per la sola consolidazione per peso proprio, visto che in questo caso il materiale verrà interamente depositato sottofalda a ripristino della conformazione morfologica del sito utilizzato per estrazione di inerti.

La riduzione di B.F. sarà maggiore in cava "La Bosca" rispetto alle aree logistiche, in quanto lo spessore di sedimento accumulato è pari a 15 m (sotto falda) in cava anziché i 2-3 m delle logistiche e tale da determinare uno stato tensionale che mediamente sarà superiore di 6-7 volte quello in sito del terreno naturale sul fondale. Ne deriva che sulla base delle indagini integrative eseguite e di esperienze simili con sedimenti con caratteristiche analoghe, il Progetto Esecutivo sono stati assunti seguenti valori di B.F. nei siti di riutilizzo:

- 0.875 per le aree logistiche: ovvero  $1 \text{ m}^3$  di materiale in sito, prima del dragaggio, viene convertito in  $0.875 \text{ m}^3$  a destinazione
- 0.85 per cava "La Bosca": ovvero  $1 \text{ m}^3$  di materiale in sito, prima del dragaggio, viene convertito in  $0.85 \text{ m}^3$  a destinazione

È bene specificare che questi valori derivano dall'assunzione che  $B.F. = 1$  con  $w_n = 60\%$ , pertanto vista la variabilità dei valori di  $w_n$ , che raggiungono anche valori del 70%, i valori finali effettivi di B.F. dovranno essere oggetto di controllo durante i lavori di dragaggio in rapporto ai reali contenuti d'acqua del sedimento nelle diverse aree di dragaggio, tramite un costante controllo del bilancio di massa tra il volume dragato e quello trasportato e posto in opera.

In particolare, la variabilità dei valori di  $w_n$  deriva dalla condizione particolare del sedimento che, essendo prossimo al fondale, è soggetto all'azione di rimobilizzazione continua da parte delle correnti e delle navi in transito nei canali navigabili, che determina valori di  $w_n$  variabili ed elevati.

## 4.2 AREE LOGISTICHE

### 4.2.1 Assetto stratigrafico

L'interpretazione unitaria di tutte le indagini svolte ha permesso di definire un quadro generale uniforme nell'intera area di progetto Hub Ravenna. L'assetto stratigrafico delle aree logistiche è stato confermato dalla interpretazione dei sondaggi e delle prove penetrometriche i cui risultati sono stati estesi con gli stendimenti di geoelettrica. Le unità stratigrafico – geotecniche individuate sono elencate di seguito dall'alto verso il basso della sequenza a partire dal piano campagna:

- unità R: terreni di riporto
- unità P: depositi di palude salmastra
- unità S: sabbie fini di cordone litorale
- unità M: depositi di prodelta
- unità T: strati sabbiosi trasgressivi
- unità A: depositi di piana alluvionale

#### 4.2.1.1 Area logistica S3

L'assetto stratigrafico dell'area S3 è riportato in Tabella 6, come si evince l'area presenta l'unità S in condizioni di affioramento/subaffioramento con la mancanza dell'unità P e la presenza discontinua di un sottile strato di riporto. Lo spessore medio dell'unità S è pertanto pari a 12 m, l'unità M si trova al di sotto di -12 m slm.

Tabella 6 – Area logistica S3 – Stratigrafia media Comparto Nord e Sud

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+0.5	+0.0	0.5
Unità S	+0.0	-12.0	12.0
Unità M	-12.0	-22.0	10.0

La caratterizzazione geotecnica è riportata nella Tabella 7.

Tabella 7 – Area logistica S3 – Modello geotecnico Comparto Nord e Sud

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$C_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_R$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	0,5	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	30	-	-	125	30	2	10
S	Incoerente	0	-12	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	47	2	15
M	Coesivo	-12	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	62	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

#### 4.2.1.2 Aree logistiche L1/L2

L'assetto stratigrafico dell'area L1/L2 è riportato in Tabella 8 e Tabella 9 rispettivamente per il comparto Nord e Sud.

La successione stratigrafica è infatti variabile: nella zona Nord al di sotto dello strato superficiale (Unità R), che assume uno spessore pari a circa 0.5 ÷ 1.0 m, il banco di sabbia (Unità S) è coperto da circa 3.0 m di depositi palustri ed alluvionali (Unità P); nella zona Sud lo strato sabbioso è coperto da circa 5.0 m di terreni incoerenti costituiti da sabbie fini e sabbie limose compatte appartenenti a depositi di canale, argine o rotta fluviale (considerati appartenenti all' Unità S). Al di sotto del banco sabbioso si incontrano i depositi di prodelta (unità M) a partire da -15 m slm.

Tabella 8 – Area logistica L1/L2 – Stratigrafia media comparto Nord

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+1.0	+0.0	1.0
Unità P	+0.0	-3.0	3.0
Unità S	-3.0	-15.0	12.0
Unità M	-15.0	-23.0	8.0

Tabella 9 – Area logistica L1/L2 – Stratigrafia media comparto Sud

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+1.0	+0.0	1.0
Unità S	+0.0	-5.0	5.0
Unità S	-5.0	-15.0	10.0
Unità M	-15.0	-23.0	8.0

La caratterizzazione geotecnica è riportata nelle Tabella 10 e Tabella 11 per i comparti Nord e Sud.

Tabella 10 – Area logistica L1/L2 – Modello geotecnico Comparto Nord

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	γ/γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	v [-]	OCR [-]	e <sub>0</sub> [-]	C <sub>c</sub> [-]	C <sub>R</sub> [-]	c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	D <sub>R</sub> [%]	φ' <sub>k</sub> [°]	c' <sub>k</sub> [kPa]	c <sub>u,k</sub> [kPa]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> [MPa]	r [-]	M [MPa]
R	Incoerente	1	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	0	-3	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-3	-15	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-15	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

Tabella 11 – Area logistica L1/L2 – Modello geotecnico Comparto Sud

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	γ/γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	v [-]	OCR [-]	e <sub>0</sub> [-]	C <sub>c</sub> [-]	C <sub>R</sub> [-]	c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	D <sub>R</sub> [%]	φ' <sub>k</sub> [°]	c' <sub>k</sub> [kPa]	c <sub>u,k</sub> [kPa]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> [MPa]	r [-]	M [MPa]
R	Incoerente	1	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
S	Incoerente	0	-5	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	47	2	15
S	Incoerente	-5	-15	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-15	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

#### 4.2.2 LETTURE DI FALDA

Il piezometro S13Pz è ubicato nell'area logistica S3, mentre S14Pz si trova nell'area L2 ed è di riferimento anche per L1. Le quote di scavo di progetto delle aree logistiche sono pari a:

- S3 comparto N: comparti principali -1,7 m slm e comparti secondari -0,8 m slm
- S3 comparto S: comparti principali -0,94 m slm e comparti secondari -0,8 m slm
- L2: comparti principali -1,7 m slm e comparti secondari -0,0 m slm

Le letture di falda eseguite fino ad oggi sono inferiori rispetto alle quote di scavo suddette (si veda Figura 5); la soggiacenza misurata della falda è influenzata dalla rete dei canali scolmatori e dall'azione delle idrovore.

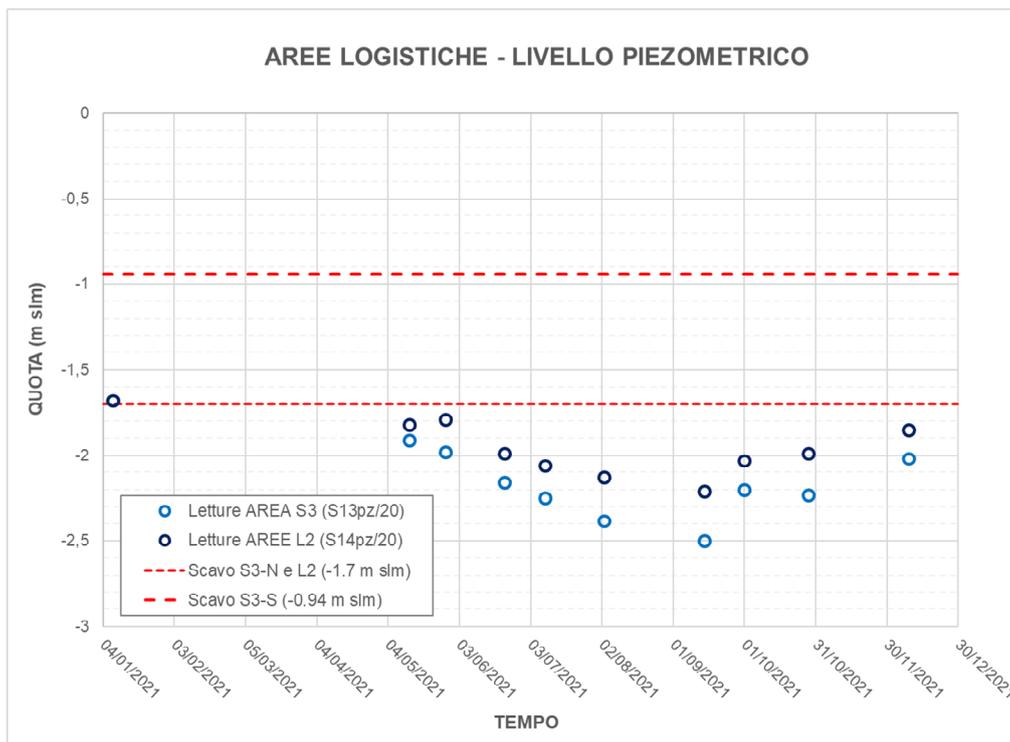


Figura 5 – Aree logistiche – Misure di falda nei piezometri S13Pz (area S3) e S14Pz (area L2)

#### 4.2.3 CEDIMENTI ATTESI

A seguito dell'accumulo del materiale dragato nelle aree logistiche S3 e L2 ci sarà un cedimento dei terreni naturali di fondazione, che deve essere stimato, al fine di verificare i volumi complessivi di materiale che può essere conferito nelle aree logistiche. Il cedimento è calcolato secondo la teoria della elasticità con i moduli edometrici dei terreni di fondazione e considerando una altezza dei rilevati di  $H = 2,5$  m ed un peso di volume del materiale conferito di  $\gamma = 17$  KN/m<sup>3</sup>, ottenendo un cedimento totale pari a  $s_{tot} = 0.15$  m.

## 5 RISULTATI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

### 5.1 INTRODUZIONE

Come evidenziato nel capitolo relativo alle indagini, la caratterizzazione ambientale dei sedimenti portuali è stata effettuata ai sensi del Decreto 173/2016, che però disciplina la movimentazione dei materiali dragati in ambito marino costiero e quindi non risulta applicabile alla gestione dei sedimenti a terra, atteso che i siti di destino finale sono esterni all'ambito costiero.

Per questo motivo i sedimenti dragati sono stati gestiti nel Progetto Esecutivo secondo due linee distinte.

- I sedimenti destinati all'immersione in mare sono stati gestiti in base ai risultati della caratterizzazione ambientale eseguita ai sensi del decreto 173/2016
- I sedimenti destinati alla gestione da collocare a terra vengono assimilati alle terre e rocce da scavo e possono essere gestiti come sottoprodotti (ai sensi dei criteri definiti dall'art.184 – bis) qualora vengano rispettati i limiti soglia di contaminazione, in funzione della destinazione d'uso delle aree di deposito finale

Tale impostazione, già prevista in sede di Progetto Definitivo, è stata confermata dal Ministero della Transizione Ecologica che, in risposta ad una nota dell'Autorità di Sistema Portuale del 05.08.2021, ha segnalato che potevano essere applicati entrambi i procedimenti autorizzativi, a seconda del destino finale dei materiali dragati.

I risultati della caratterizzazione vengono quindi presentati separatamente per:

- le aree di dragaggio in cui i sedimenti vengono inviati a mare, che comprendono la Zona 1, dal limite dei moli guardiani fino al limite del canale marino di avvicinamento
- le aree di dragaggio in cui i sedimenti sono inviati nelle aree di deposito a terra: le Zone 2-5 e la porzione della Zona 1 interna ai moli guardiani

Le diverse aree sono indicate nella figura seguente.

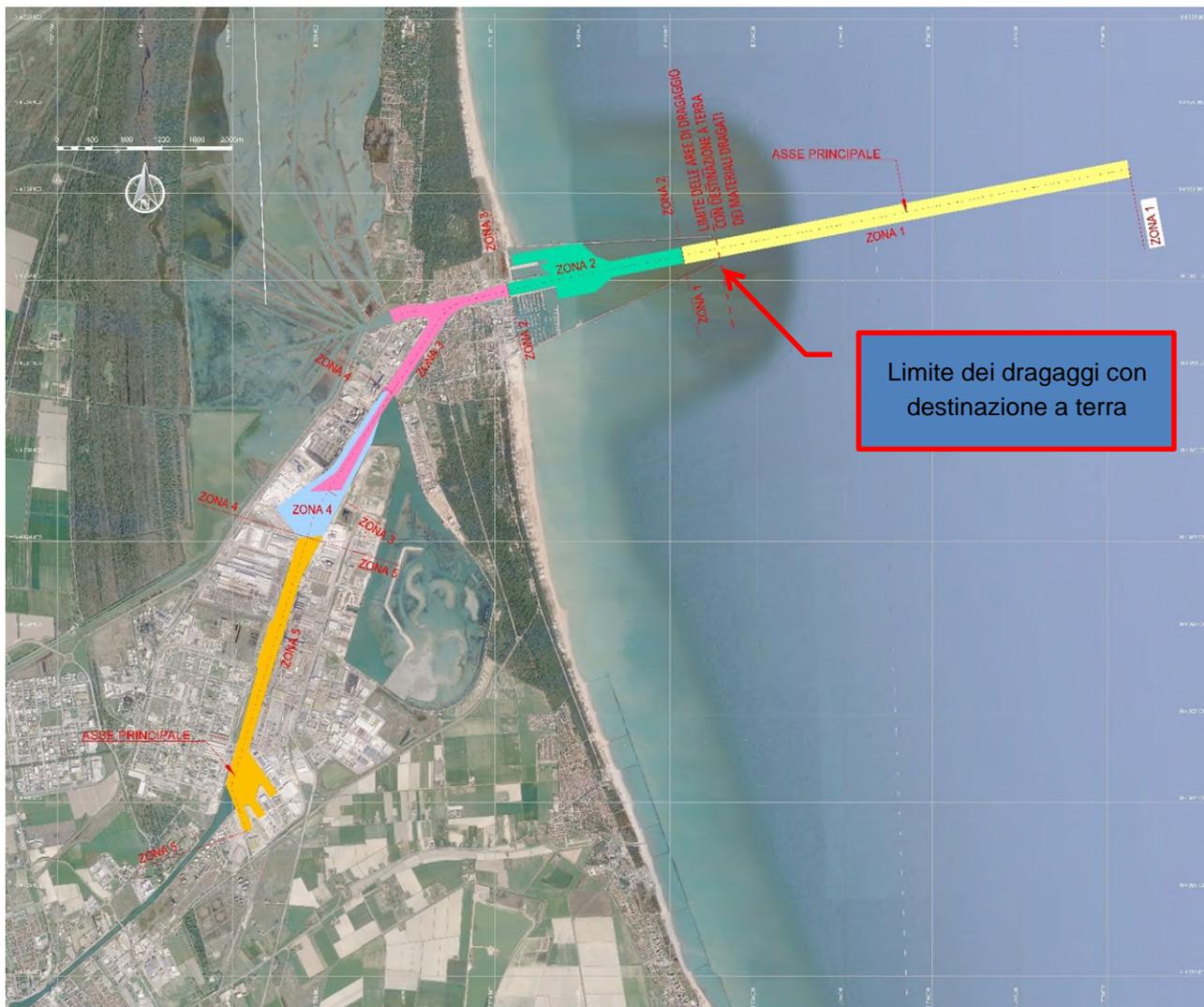


Figura 6 – Aree da dragare nell'ambito del Progetto Hub Porto di Ravenna

## 5.2 GESTIONE A TERRA

Dal momento che i materiali dragati da conferire a terra vengono gestiti assimilandoli alle terre e rocce da scavo, l'interpretazione dei risultati è stata effettuata in riferimento al DPR 120/17 e s.m.i., considerando i limiti di colonna A e B della tab.1 All. 5 Titolo V Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006.

Poiché le liste degli analiti da considerare per la caratterizzazione riportati nel decreto 173/16 e quelli riportati nel Decreto 120/17 non sono esattamente coincidenti, si è provveduto ad integrare le analisi effettuate ai sensi del Decreto 173/16 con nuove analisi, in modo da completare la lista riportata nella Tabella 4.1 (Set analitico minimale) del Decreto 120/17. Ciò è stato attuato per tutti i campioni delle zone interne al porto (parte della zona 2, zona 3, 4 e 5) mentre nelle aree esterne (parte di zona 2 e zona 1) non sono stati determinati i composti volatili (BTEX) e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) mancanti a completare la lista minima richiesta dal decreto.

Si ritiene tuttavia che tale carenza non infici la valutazione poiché:

- nelle zone interne all'area portuale i BTEX sono risultati sempre al di sotto dei limiti di rilevabilità e quindi è improbabile che possano essere presenti in quelle esterne, meno influenzate da deposizioni atmosferiche;
- i risultati relativi agli IPA, anche se riferiti agli analiti inclusi nella lista del Decreto 173/16, presentano comunque valori sempre molto bassi rispetto ai limiti per soglia di contaminazione, come evidenziato nella tabella seguente:

Tabella 12 Statistiche di base per il parametro "sommatoria IPA"

Numero campioni	247	u.m.
media	370,99	ng/g
dev.st	551,60	ng/g
max	4.130,00	ng/g
min	13,70	ng/g
mediana	244,50	ng/g

In base alle analisi svolte, è risultato che tutti i campioni sono conformi ai limiti della Tabella 1 colonna B e quindi idonei ad essere gestiti a terra come sottoprodotti, confermando la previsione del Progetto Definitivo.

La maggior parte dei campioni è risultata conforma ai limiti della Tabella 1 colonna A e quindi i materiali sono risultati conformi non solo al deposito nelle aree logistiche (L1, L2 ed S3) ma anche in cava "La Bosca" dove è possibile depositare solo questo tipo di sedimenti. La maggior parte dei superamenti è attribuibile alle concentrazioni di idrocarburi a lunga catena e al mercurio, conseguenza della storia industriale delle aree limitrofe al porto.

Nelle figure seguenti sono riportati in forma grafica i risultati della caratterizzazione, in funzione degli orizzonti sedimentari di prelievo dei campioni, individuati in linea con le indicazioni del decreto 173/16; le planimetrie con i risultati sono presenti negli elaborati grafici di progetto da 1114-E-DRX-AMB-PL-01 a 1114-E-DRX-AMB-PL-05.

Le celle sono rappresentate in ordine crescente, procedendo dalla zona interna (Zona 5) fino alla Zona 1 situata nell'avamposto. Si osserva che la numerazione delle celle non segue sempre il medesimo criterio e quindi non è sempre sequenziale.

La rappresentazione segue il medesimo criterio visto in precedenza per le planimetrie:

- le celle conformi ai limiti di tab 1-A sono evidenziate in verde
- le celle conformi ai limiti di tab 1-B sono evidenziate in giallo
- le celle non campionate perché non soggette a dragaggio non sono colorate

Le celle evidenziate in rosso hanno una superficie che rientra per una percentuale superiore al 40% in due zone di dragaggio e sono rappresentate in entrambe le zone.

Zona 5												
celle												
prof. da piano fondale	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	37	38	39	40	41	42	43	44	46	47	48	49
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	63	65	66	67	69	70	72	73	74	75	76	78
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												

Figura 7 – Risultati della caratterizzazione per le celle di dragaggio incluse nella Zona 5 (parte più interna)

celle	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	151	152	153	163	201							
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												

Figura 8 – Risultati della caratterizzazione per le celle di dragaggio incluse nella Zona 5 (parte più esterna)

Zona 4												
celle	154	155	156	157	158	159	160	161	164	165	166	167
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	192	193	194	195	196	197	198	199	200	202	203	204
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	217	218	221	222	225	227	228	229	230	231	232	236
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	237	238	239	240	241	243	244	245	247	248	249	250
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												
celle	251	252	253	257	258	259	261	262	264	266		
prof. da piano fondale												
0-0,5 m												
0,5-1 m												
1-2 m												
2-4 m												

Figura 9 – Risultati della caratterizzazione per le celle di dragaggio incluse nella Zona 4

Zona 3													
celle	216	220	221	223	224	225	226	233	234	235	242	246	
prof. da piano fondale													
0-0,5 m													
0,5-1 m													
1-2 m													
2-4 m													
celle	254	256	260	263	265	267	268	269	270	271	272	273	
prof. da piano fondale													
0-0,5 m													
0,5-1 m													
1-2 m													
2-4 m													
celle	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	
prof. da piano fondale													
0-0,5 m													
0,5-1 m													
1-2 m													
2-4 m													
celle	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	
prof. da piano fondale													
0-0,5 m													
0,5-1 m													
1-2 m													
2-4 m													
celle	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
prof. da piano fondale													
0-0,5 m													
0,5-1 m													
1-2 m													
2-4 m													

Figura 10 – Risultati della caratterizzazione per le celle di dragaggio incluse nella Zona 3

Zona 2														
celle	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322		
prof. da piano fondale														
0-0,5 m														
0,5-1 m														
1-2 m														
2-4 m														
celle	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334		
prof. da piano fondale														
0-0,5 m														
0,5-1 m														
1-2 m														
2-4 m														
4-6 m														
celle	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	345 bis		
prof. da piano fondale														
0-0,5 m														
0,5-1 m														
1-2 m														
2-4 m														
celle	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357		
prof. da piano fondale														
0-0,5 m														
0,5-1 m														
1-2 m														
2-4 m														
celle	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371
prof. da piano fondale														
0-0,5 m														
0,5-1 m														
1-2 m														
2-4 m														

Figura 11 – Risultati della caratterizzazione per le celle di dragaggio incluse nella Zona 2

Zona 1													
celle	370	371	372	373	374	375	376	377	378				
prof. da piano fondale													
0-0,5 m													
0,5-1 m													
1-2 m													
2-4 m													

Figura 12 – Risultati della caratterizzazione per le celle di dragaggio incluse nella Zona 1

Come ci si poteva attendere, la percentuale di sedimenti non conformi ai limiti di colonna A tende ad aumentare procedendo all'interno delle aree portuali.

Le percentuali di materiali non conformi ad A passano infatti dallo 0% nella Zona 1, al 15-16% delle Zone 2 e 3, per poi crescere al 26% nella Zona 4 ed al 49% nella Zona 5.

Benché non vi sia una chiara distribuzione lungo le verticali, generalmente gli strati più superficiali sono quelli dove è più elevata la presenza di celle con concentrazioni non conformi ai limiti di colonna A.

Considerando la distribuzione spaziale e lungo la profondità si possono individuare macroaree con caratteristiche simili, cosa che indubbiamente faciliterà il dragaggio selettivo delle aree da destinare a cava "La Bosca", (generalmente le più esterne) evitando il rischio di miscelazione di materiali con diverse caratteristiche qualitative.

### 5.3 IMMERSIONE A MARE

I materiali situati all'esterno dei moli guardiani sono stati caratterizzati ai sensi del decreto ministeriale 173/2016, considerando quindi sia i risultati delle analisi chimico fisiche che gli esiti delle batterie di saggi ecotossicologici.

I risultati vengono poi elaborati tramite un software messo a punto da ISPRA (Sediqualssoft) che, integrando la qualità chimica (espressa come quoziente di rischio) e la tossicità (espressa come classe di pericolo ecotossicologico), attribuisce ai campioni analizzati una classe qualitativa che determina quali modalità di gestione siano ammesse, nell'ottica di minimizzare ogni rischio per l'ambiente marino circostante.

Il sistema di classificazione prevede cinque classi a cui corrispondono opzioni gestionali sempre più restrittive, come evidenziato nel seguito:

- Classe A - Ripascimento spiaggia emersa (pelite  $\leq 10\%$ ), ripascimento spiaggia sommersa, immersione deliberata in aree marine non costiere (oltre 3 mn), immersione in ambiente conterminato marino – costiero
- Classe B - Immersione deliberata in aree marine non costiere (oltre 3 mn), immersione in ambiente conterminato
- Classe C - Immersione in ambiente conterminato con capping e in grado di trattenere le frazioni granulometriche del sedimento
- Classe D - Immersione in ambiente conterminato impermeabilizzato
- Classe E - Eventuale rimozione in sicurezza dall'ambiente marino dopo valutazione di rischio

I risultati delle analisi sono riportati nei seguenti rapporti:

- ARPAE: Caratterizzazione dei sedimenti del canale Candiano- Avamporto. Relazione tecnica. Marzo 2021
- ARPAE: Caratterizzazione dei sedimenti del canale Candiano Avamporto. Integrazione alla relazione tecnica. Ottobre 2021

Ovviamente i dati di interesse sono solo quelli che riguardano i materiali destinati all'immersione nell'area marina n. 2, individuata dalla Regione Emilia Romagna, che comprende le celle di caratterizzazione da 379 a 402.

Nelle fasi iniziali dello studio è stata riscontrata una certa incongruenza fra i risultati della caratterizzazione chimica, che forniva classi di pericolo chimico decisamente contenuti, e gli esiti della classificazione ecotossicologica che evidenziava tossicità elevate che comportavano una classificazione dei sedimenti molto peggiore (classe D) rispetto a quanto atteso, considerato anche che le aree interessate erano ad elevata distanza dalla costa, in zone non interessate da scarichi o rilasci di inquinanti.

Sono state quindi effettuate ulteriori analisi, anche coinvolgendo i tecnici di ISPRA e dell'Università Politecnica delle Marche, modificando i protocolli dei test ecotossicologici adottati ed eseguendo ulteriori test.

A valle dei nuovi approfondimenti di indagine è stato possibile ottenere una nuova classificazione dei sedimenti marini che è riportata in forma grafica nelle figure seguenti, in funzione degli orizzonti sedimentari di prelievo dei campioni, individuati in linea con le indicazioni del DM 173/16.

Come si osserva, per un primo gruppo di celle sono state prodotte due classificazioni, di cui una è stata ottenuta considerando solo due tests ecotossicologici invece dei tre normalmente previsti, come da indicazioni di ISPRA.

Per le celle ubicate nella parte terminale del canale di avvicinamento è invece stata prodotta una sola classificazione, dopo aver apportato una modifica (strippaggio dell'ammoniaca) al protocollo utilizzato per

condurre il test con *Crassostrea gigas* al fine di ridurre effetti tossici non legati alle caratteristiche di contaminazione dei sedimenti.

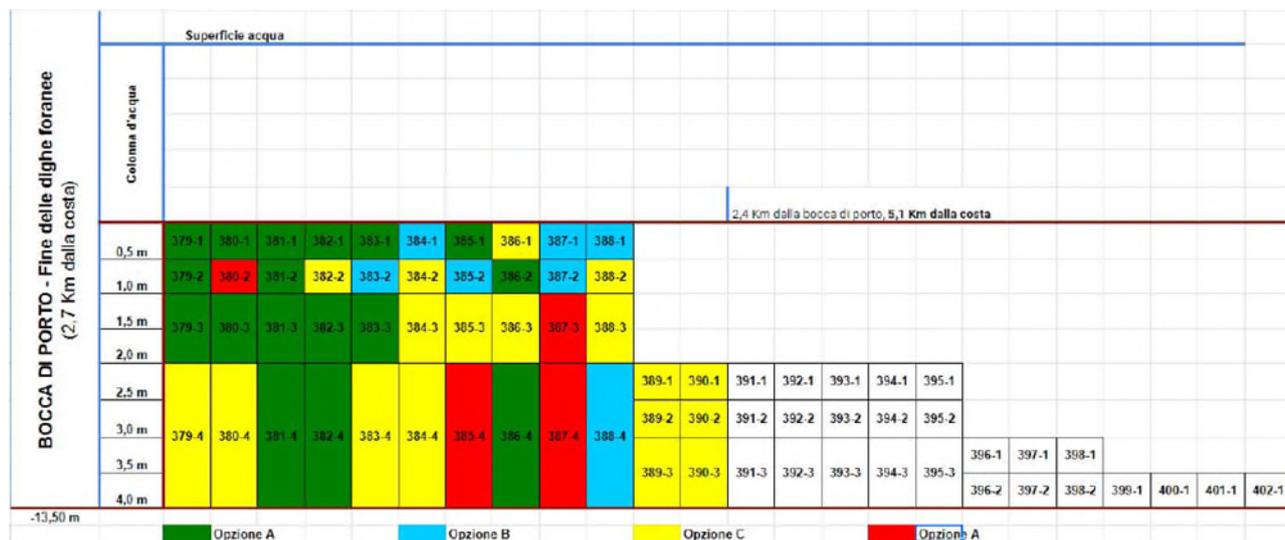


Figura 13 Classificazione dei sedimenti derivanti dalla applicazione di 2 tests ecotossicologici

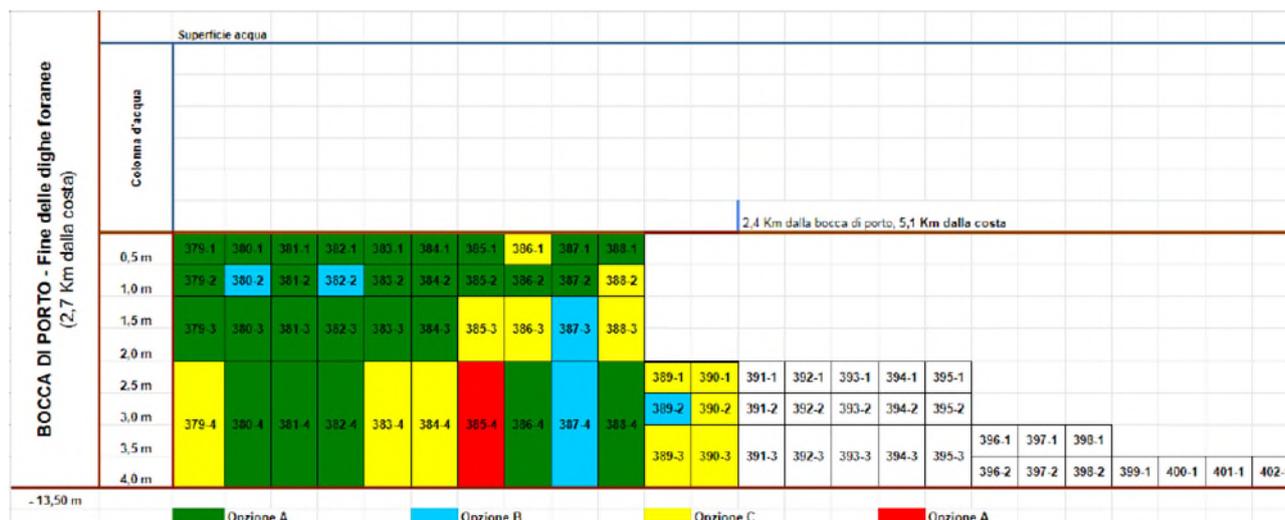


Figura 14 Classificazione dei sedimenti derivanti dalla applicazione di 3 tests ecotossicologici

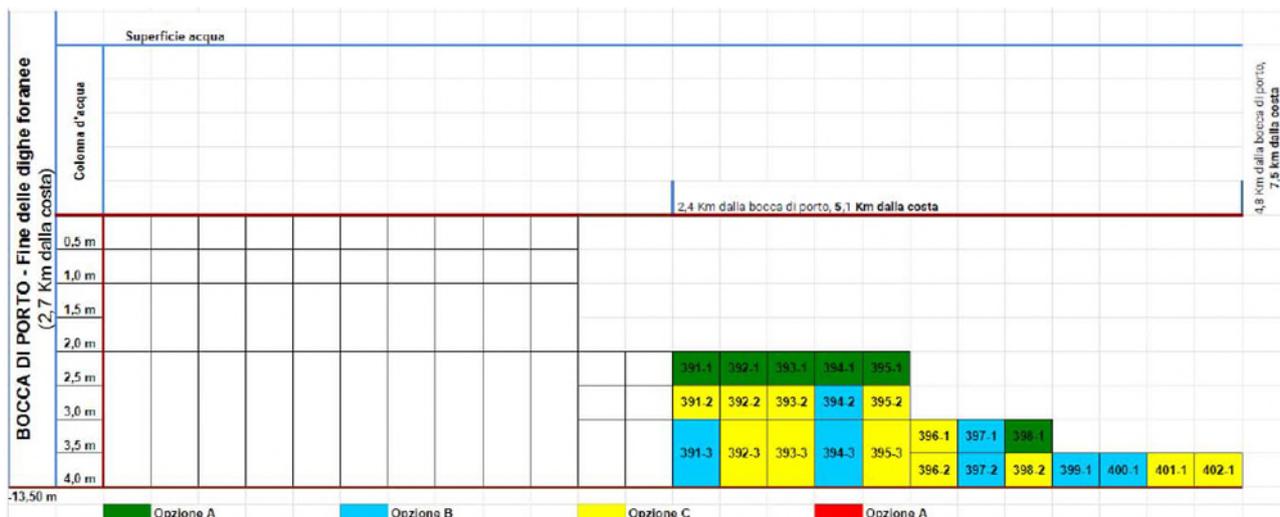


Figura 15 Classificazione dei sedimenti applicando il test con *Crassostrea gigas* con protocollo modificato

Alla luce dei risultati nel rapporto degli esecutori sono state formulate le seguenti indicazioni gestionali:

- Per quanto riguarda il primo tratto del canale di accesso (Celle 379-390): *Una volta rimosso il primo metro di materiale per la sua immersione deliberata in mare, il secondo metro può seguire la stessa destinazione per le celle che vanno dalla 379 alla 383 comprese. Sulle restanti celle da 384 a 388 cui è stato asportato il primo metro di materiale, in linea con le indicazioni condivise con ISPRA, possono essere prelevati campioni per effettuare il controllo ecotossicologico su una batteria di 3 test, processati seguendo le modifiche metodologiche che ISPRA e SNPA stanno approntando, a valle delle considerazioni scaturite da questo lavoro.*
- Per quanto riguarda il tratto più esterno del canale di accesso (Celle 391-402) : *In Figura sono riportate le classi di qualità risultanti dopo aver riprocessato il test *Crassostrea gigas* e, visto che delle 12 celle di superficie ben 9 presentano qualità compatibile con l'immersione deliberata in mare, si ritiene che potrebbe essere fatta una ulteriore verifica della qualità ecotossicologica delle sole ultime due celle (401 e 402) in occasione del campionamento delle 7 celle di cui al punto precedente.*

In considerazione degli esiti delle indagini, anche se il seguente progetto viene sviluppato nell'ipotesi che tutto il materiale possa essere dragato e depositato in mare, le effettive quantità che saranno rimosse (ed il relativo destino), potranno essere definite solo a valle dell'esecuzione delle indagini di verifica sopra citate.

## 6 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento di approfondimento dei fondali portuali prevede il dragaggio delle seguenti zone portuali:

- canale dell'avamporto fino al limite dei moli guardiani, a quota -13,50 m.s.l.m.m;
- canale Candiano a quota -12,50 m.sl.m.m fino alle darsene San Vitale;
- darsena Baiona a quota -12,50 m.s.l.m.m.;
- bacino di evoluzione in avamporto e darsene a servizio del traffico crocieristico a -10,00 m.s.l.m.m.;
- fondali adiacenti alle banchine alle quote -12,50 m/-11,50 m, in relazione ad opere ivi effettuate o in progetto.

Al fine di consentire in tempi quanto più brevi possibili la piena fruibilità e navigabilità in sicurezza dell'accosto nord a servizio del traffico crocieristico e di due zone del Canale Candiano, il progetto di dragaggio di una porzione limitata delle Zone 2 e 3, denominato "*I stralcio esecutivo*", è stato redatto anticipatamente rispetto al presente stralcio progettuale e precisamente nell'Ottobre 2021.

Si evidenzia che la porzione della Zona 2 ubicata nel "settore canale di accesso" (da progr. 5+191,44 a progr. 5+587,44), che nell'ambito del "*I stralcio esecutivo*" è previsto venga dragata a quota -12,50 m s.l.m.m., sarà sottoposta ad un nuovo approfondimento nell'ambito del presente stralcio e portata alla quota di progetto di -13,50 m s.l.m.m..

Il volume complessivo di sedimenti in banco da dragare nelle suddette 5 zone nell'ambito del presente stralcio, al netto del volume di sedimenti che verrà movimentato nel "*I stralcio esecutivo*", risulta pari a circa 4.483.000 m<sup>3</sup>. Per la sintesi dei volumi di sedimento dragati in ciascuna zona, si rimanda al paragrafo seguente.

Si evidenzia che il dragaggio del canale marino, nella porzione di Zona 1 esterna alle dighe foranee, verrà eseguito in due diverse campagne, in quanto i sedimenti da dragare in alcune aree dovranno essere sottoposti a nuova caratterizzazione, in conformità a quanto prescritto da ARPAE in base agli esiti delle indagini di caratterizzazione eseguite nel periodo 2019-2020.

Come è possibile riscontrare nelle sezioni tipo riportate negli elaborati grafici di progetto 1114-E-DRX-DRA-ST-01÷05, l'approfondimento dei fondali comporta l'asportazione di uno spessore di sedimenti variabile; nella maggior parte dei casi lo spessore medio è compreso fra 1 e 2 metri (Zona 1, 3 e 5) ed e per le zone 2 e 4 è intorno a 1.5 – 2 m nella porzione centrale e di 3 – 4 m e in corrispondenza delle scarpate 4 m.

In particolare:

- nella zona 1 (superficie pari a circa 51.000 m<sup>2</sup>) i materiali dragati nei primi due metri di sedimento costituiscono il 75% del totale;
- nella zona 2 (superficie pari a 454.000 m<sup>2</sup>) costituiscono il 77% ma si riscontra anche una piccola porzione di dragaggio (3%) ad una maggiore profondità (4-6 m) dal piano del fondale;
- nella zona 3 (superficie pari a 454.000 m<sup>2</sup>) ammontano al 79% circa;
- nella zona 4 (superficie pari a 387.000 m<sup>2</sup>) rappresentano il 78%;
- nella zona 5 (superficie pari a 588.000 m<sup>2</sup>) costituiscono il 100%.

Le quote di dragaggio e le superfici di escavo (al netto delle superfici scavate nel I stralcio esecutivo funzionale che non vengono approfondite nel presente stralcio), sono riportate sinteticamente nella Tabella 13, in relazione a ciascuna area di dragaggio.

Tabella 13 – Quote di dragaggio e superficie di escavo per ciascuna zona di dragaggio (al netto delle superfici di escavo del I stralcio esecutivo funzionale che non vengono approfondite nel presente stralcio)

AREE DI DRAGAGGIO	Progressive		Quota di dragaggio m l.m.m.	Superficie (comprese scarpate) mq
	da	a		
ZONA 1 - Avamporto (all'esterno delle dighe foranee)	0+000	4+784,51	-13,50	823.179
ZONA 1 - Avamporto (all'interno delle dighe foranee)	4+784,51	5+191,44	-13,50	
ZONA 2 - Avamporto	5+191,44	7+227,69	-13,50/-12,50/-10,00	462.387
ZONA 3 - Area Largo Trattaroli - inizio Moli Guardiani	7+227,69	10+447,74	-12,50	422.655
ZONA 3 - Darsena Baiona	0+000	0+722,15	-12,50	
ZONA 4 - Largo Trattaroli	9+104,00	11+040,26	-12,50	446.770
ZONA 5 - Canale centrale	11+040,26	14+576,04	-12,50/-11,50	644.451
ZONA 5 - Darsena Centrale	0+000	0+237,83	-12,50/-11,50	
ZONA 5 - Darsena Est	0+000	0+287,84	-12,50/-11,50	
<b>TOT. SUPERFICIE DI ESCAVO</b>				<b>2.799.442</b>

Il dragaggio verrà eseguito con draghe idrauliche a strascico con pozzo autocaricante aspirante refluyente tipo "TSHD: *Trailing Suction Hopper Dredger*", in abbinamento con draghe semoventi autocaricanti/scaricanti a pozzo tipo "Grab Hopper Dredger GHD" ovvero tipo "Grab Dredger - GD" dotate di una vasca di carico in coperta. Per i dettagli relativi alle modalità di esecuzione dell'intervento si rimanda al Par. 6.2.

Per quanto attiene al destino dei sedimenti dragati, il materiale proveniente dalla porzione di Zona 1 esterna ai moli foranei è destinato all'immersione in mare, in un'area di recapito ubicata a circa 10 MN dal sito di escavo, mentre il materiale dragato nella porzione rimanente della Zona 1 e dalle Zone 2-5 sarà messo a dimora a terra, all'interno delle aree logistiche L1, L2, S3 e in cava "La Bosca", ai fini di una loro riqualificazione. Per i dettagli relativi alle modalità di gestione dei materiali dragati si rimanda al Cap. 8.

Di seguito viene riportata una breve descrizione della configurazione degli scavi previsti nelle diverse zone sottoposte a dragaggio.

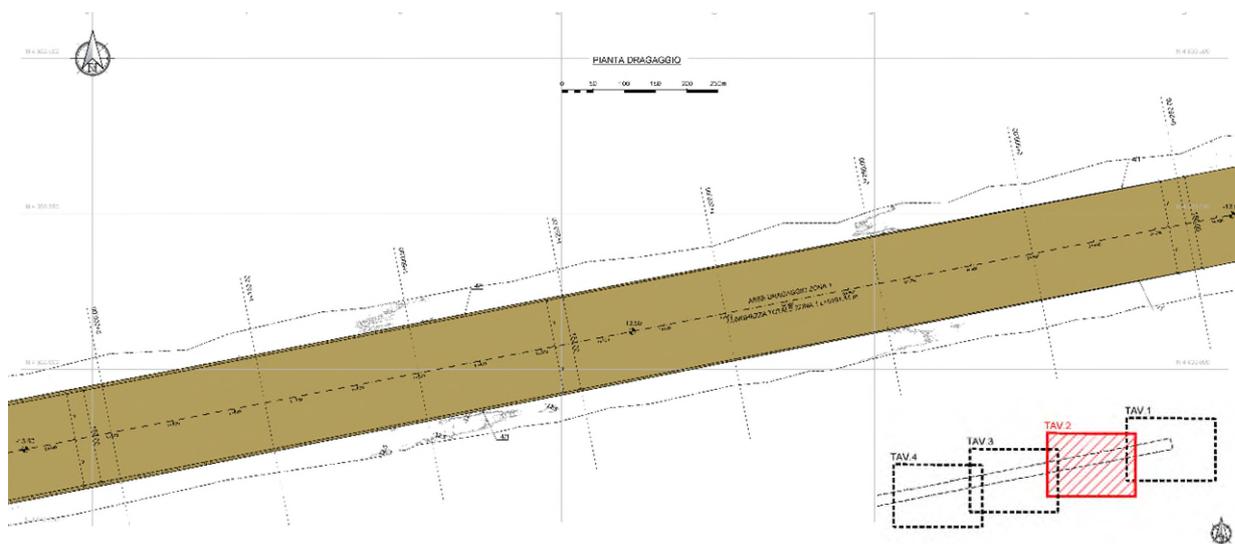
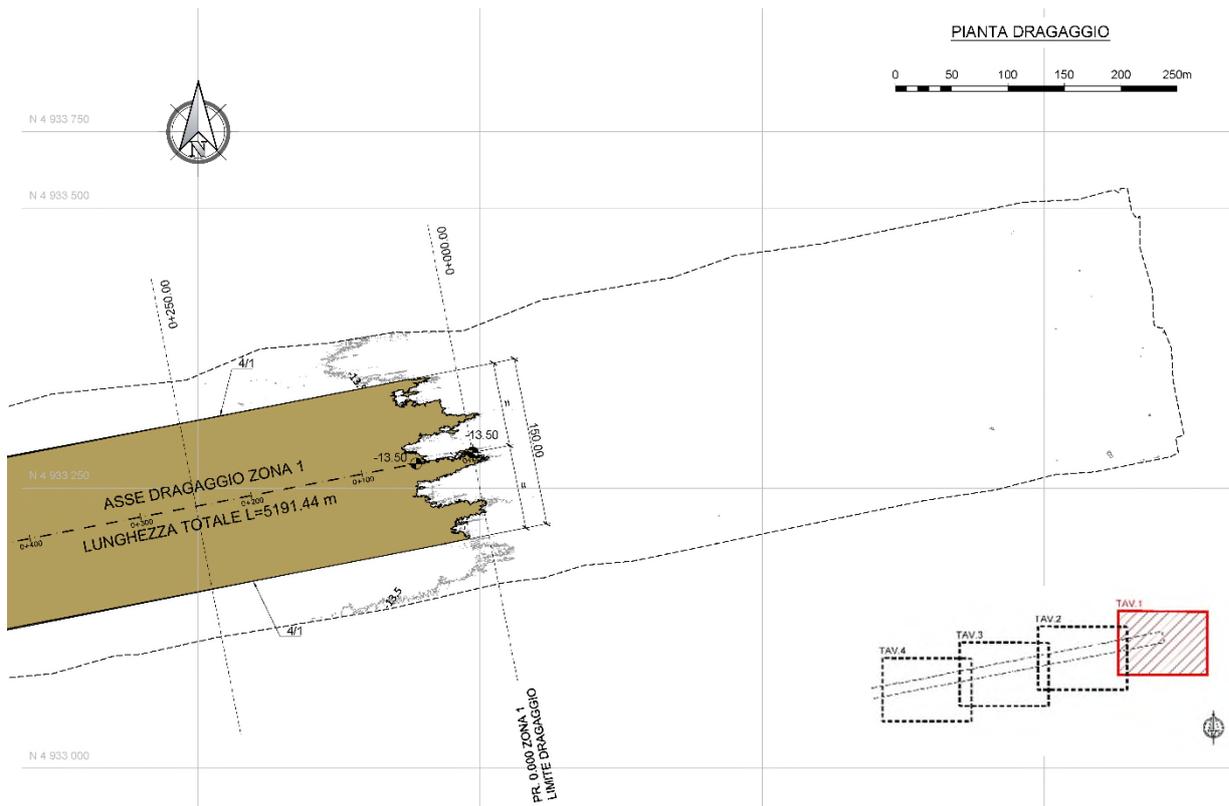
Per quanto riguarda la stabilità delle scarpate di dragaggio delle banchine esistenti si rimanda alla relazione di caratterizzazione geotecnica (rif. doc. 1114-E-DRX-DRA-RG-02-0).

#### Canale di avvicinamento (Zona 1)

Il canale di avvicinamento al porto verrà dragato alla quota -13.50 m s.l.m.m., per una larghezza di 150 m al di fuori delle dighe foranee e di 100 m al loro interno.

Il dragaggio verrà effettuato per una lunghezza di circa 5,2 km, fino alla batimetrica naturale a -13.50 m s.l.m.m. Le scarpate di raccordo ai fondali preesistenti avranno una pendenza 1:4.

La planimetria di progetto della Zona 1, suddivisa in quattro tratti procedendo da Est verso Ovest, è riportata nella Figura 16.



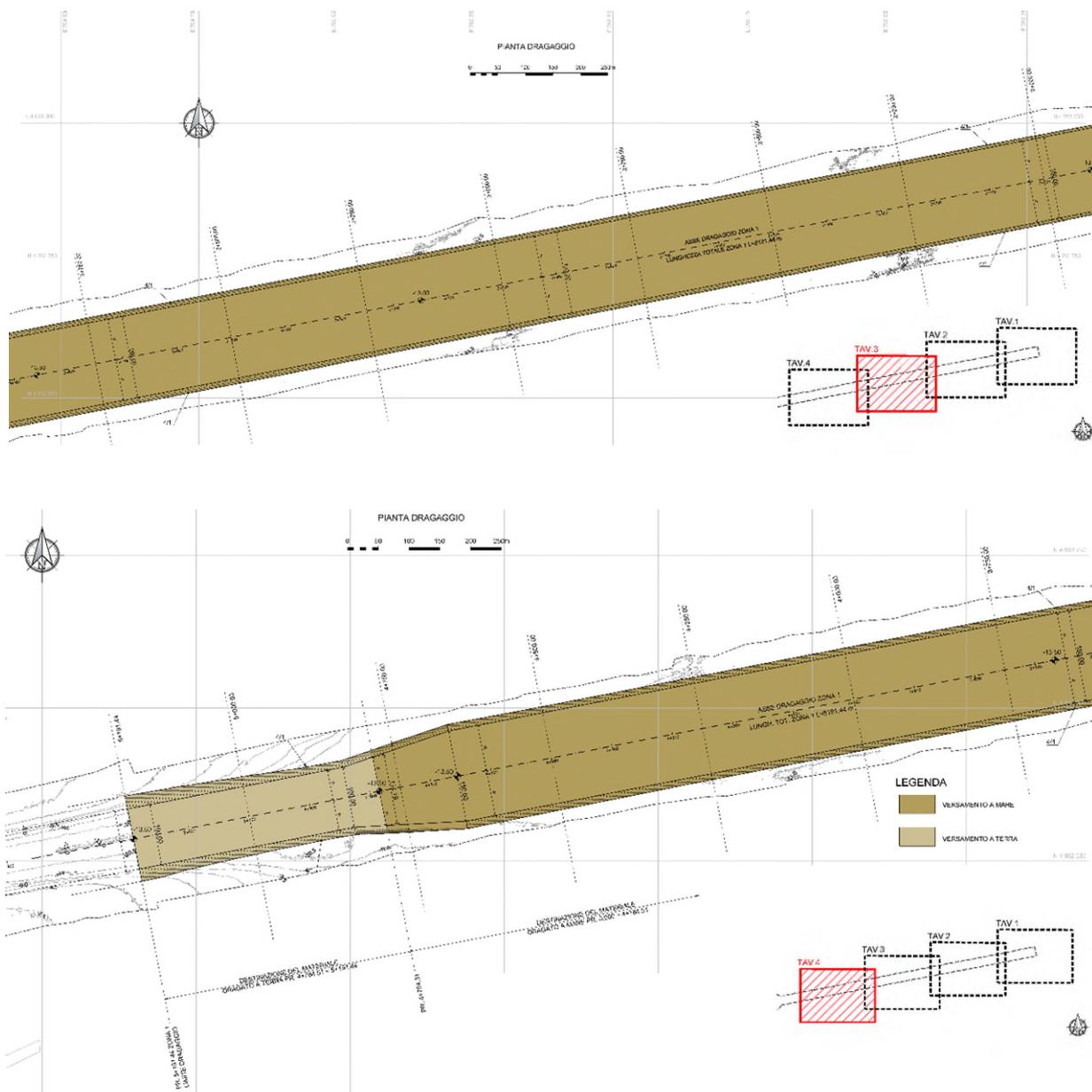


Figura 16 - Planimetria di progetto – Zona 1 (i quattro stralci planimetrici sono riportati procedendo da Est verso Ovest)

### Avamposto (Zona 2)

L'area dell'avamposto verrà scavata alla profondità media di -12.50 m s.l.m.m. per tutta la lunghezza dei moli guardiani e per una larghezza di 70 m, successivamente la canaletta passerà ad una quota di -13.50 m s.l.m.m. per una larghezza di 100 m. Il bacino d'evoluzione, di raggio pari a 500 m, avrà una profondità di -10 m s.l.m.m. così come tutta la darsena Crociere a nord per una larghezza pari a 70 m.

Le scarpate di raccordo ai fondali preesistenti e alla canaletta centrale scavata a profondità maggiore avranno pendenza 1:4.

La planimetria di progetto della Zona 2 è riportata nella Figura 17.

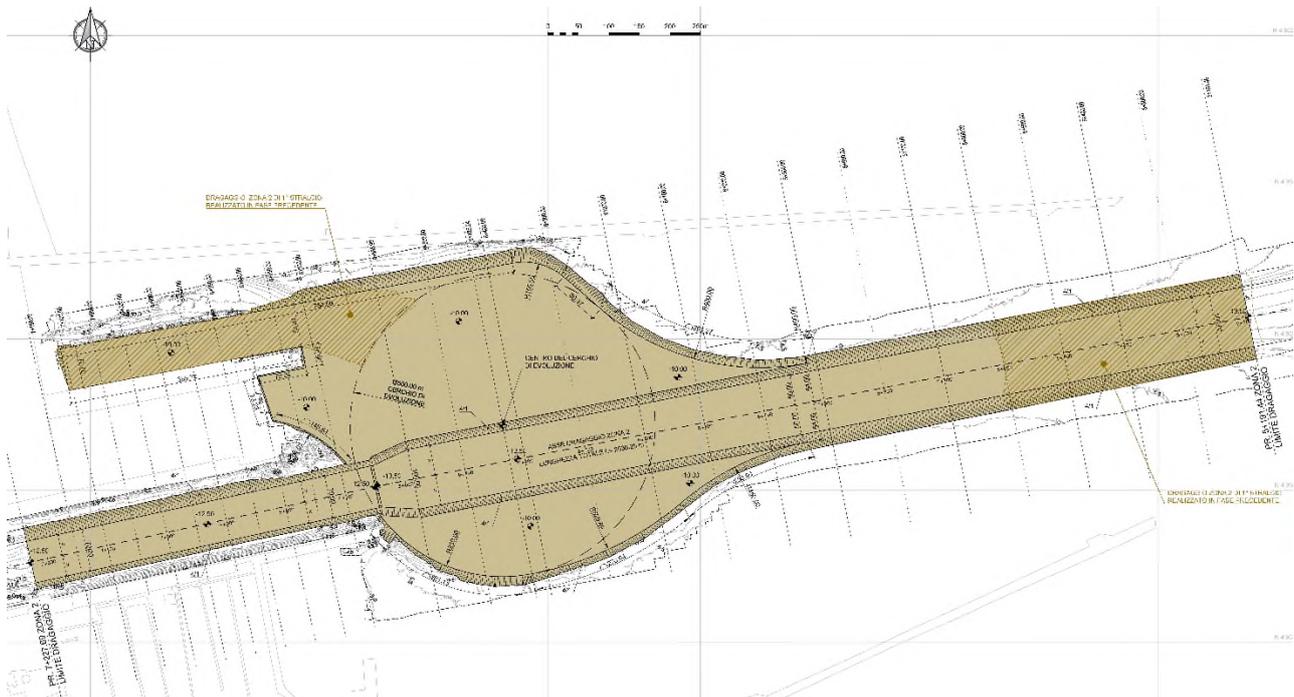


Figura 17 – Planimetria di progetto – Zona 2

### Area Largo Trattaroli – Inizio moli guardiani - Darsena Baiona (Zona 3)

In quest'area verrà realizzata una canaletta centrale larga 70 m e avente una profondità media pari a -12,50 m, con scarpate di raccordo al fondale preesistente aventi pendenza 1:4.

L'interno della darsena Baiona verrà scavato alla profondità media di -12,50 m s.l.m.m, con scarpate di raccordo al fondale preesistente aventi pendenza 1:4.

La planimetria di progetto della Zona 3 è riportata nella Figura 18.

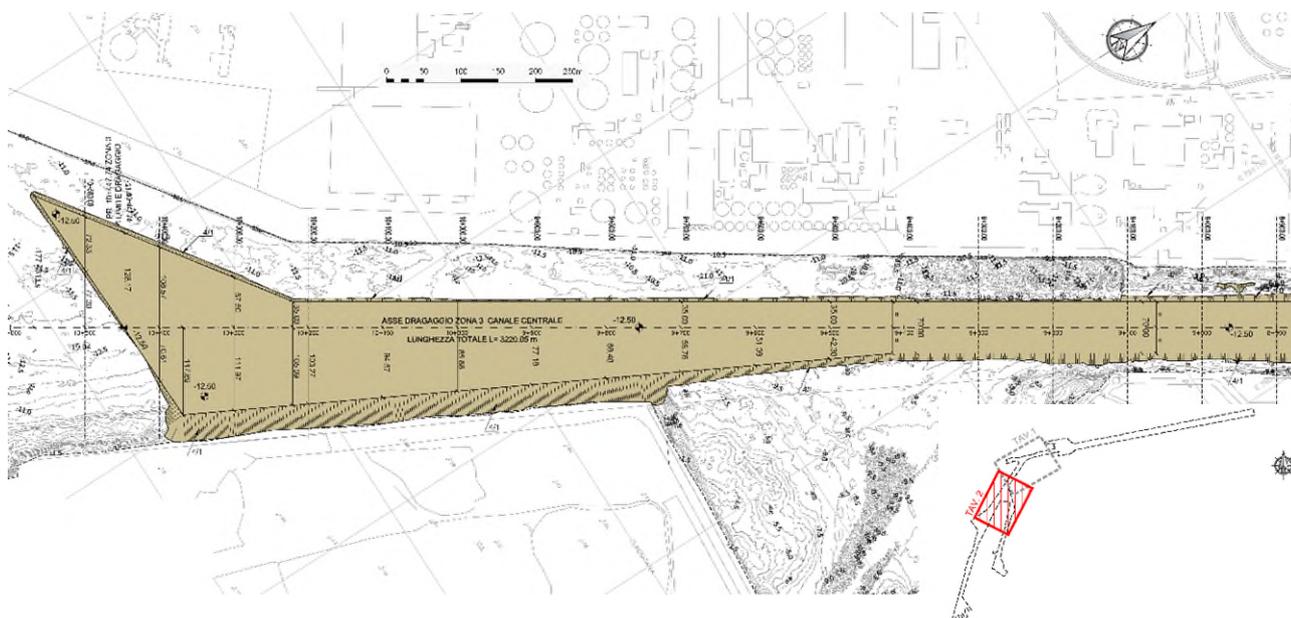
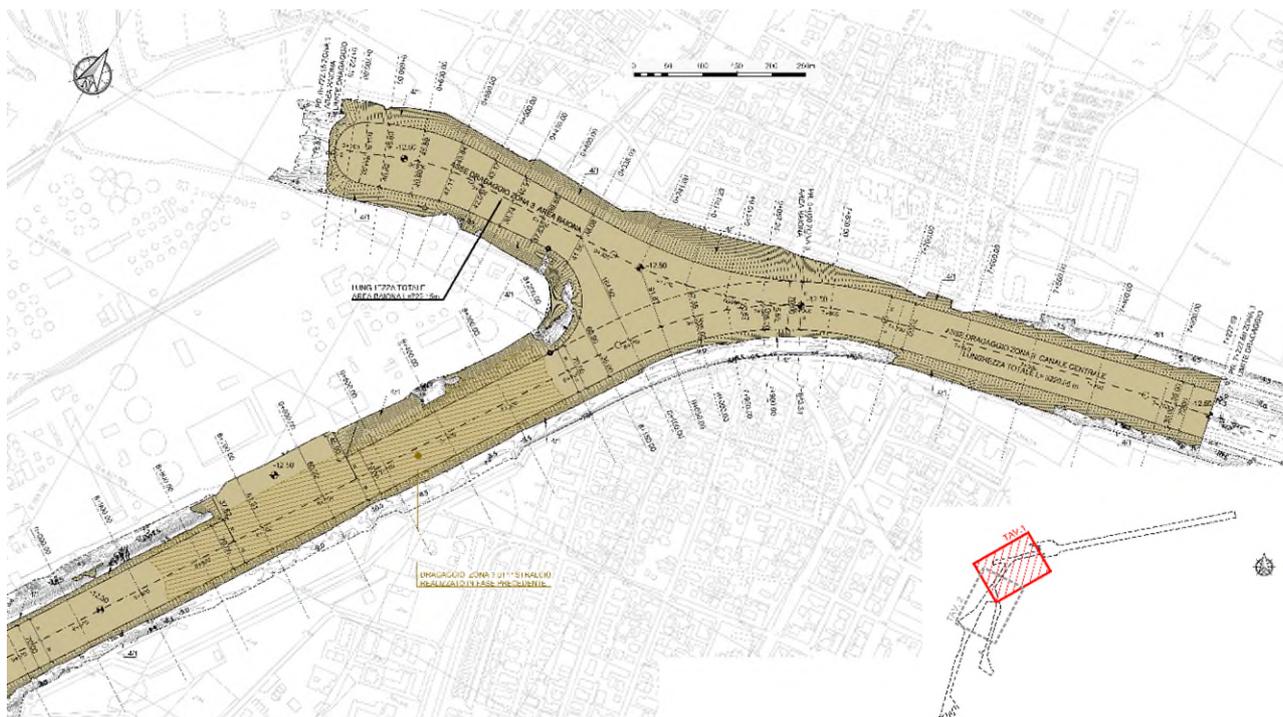


Figura 18 - Planimetria di progetto – Zona 3

#### Largo Trattaroli (Zona 4)

Il bacino Trattaroli verrà scavato interamente alla profondità media di -12,50 m s.l.m.m.; l'approfondimento a -12,50 m verrà realizzato anche in adiacenza alla penisola Trattaroli per una lunghezza di circa 1.300 m (in corrispondenza della banchina preesistente da sopraelevare e del nuovo Terminal Container) e nella zona centrale del bacino, restringendosi poi fino a realizzare un canale centrale largo 70 m fino all'angolo di Fabbrica Vecchia.

Nella parte a sud del cerchio d'evoluzione, fino all'angolo tra T&C e Terminal nord, i fondali verranno scavati anche qui alla quota media di -12,50 m (in prosecuzione dello scavo effettuato nella porzione di canale posta più a sud), come nella restante parte del bacino, tra lo scavo a -12,50 e le banchine in sponda sinistra (da Terminal Nord a Bunge comprese), in continuità verrà instaurata la profondità media di -12,50 m s.l.m.m.

Tra le diverse profondità di scavo, nonché per i raccordi fra zone dragate e fondali preesistenti, verranno adottate scarpate con pendenza 1:4.

La planimetria di progetto della Zona 4 è riportata nella Figura 19.

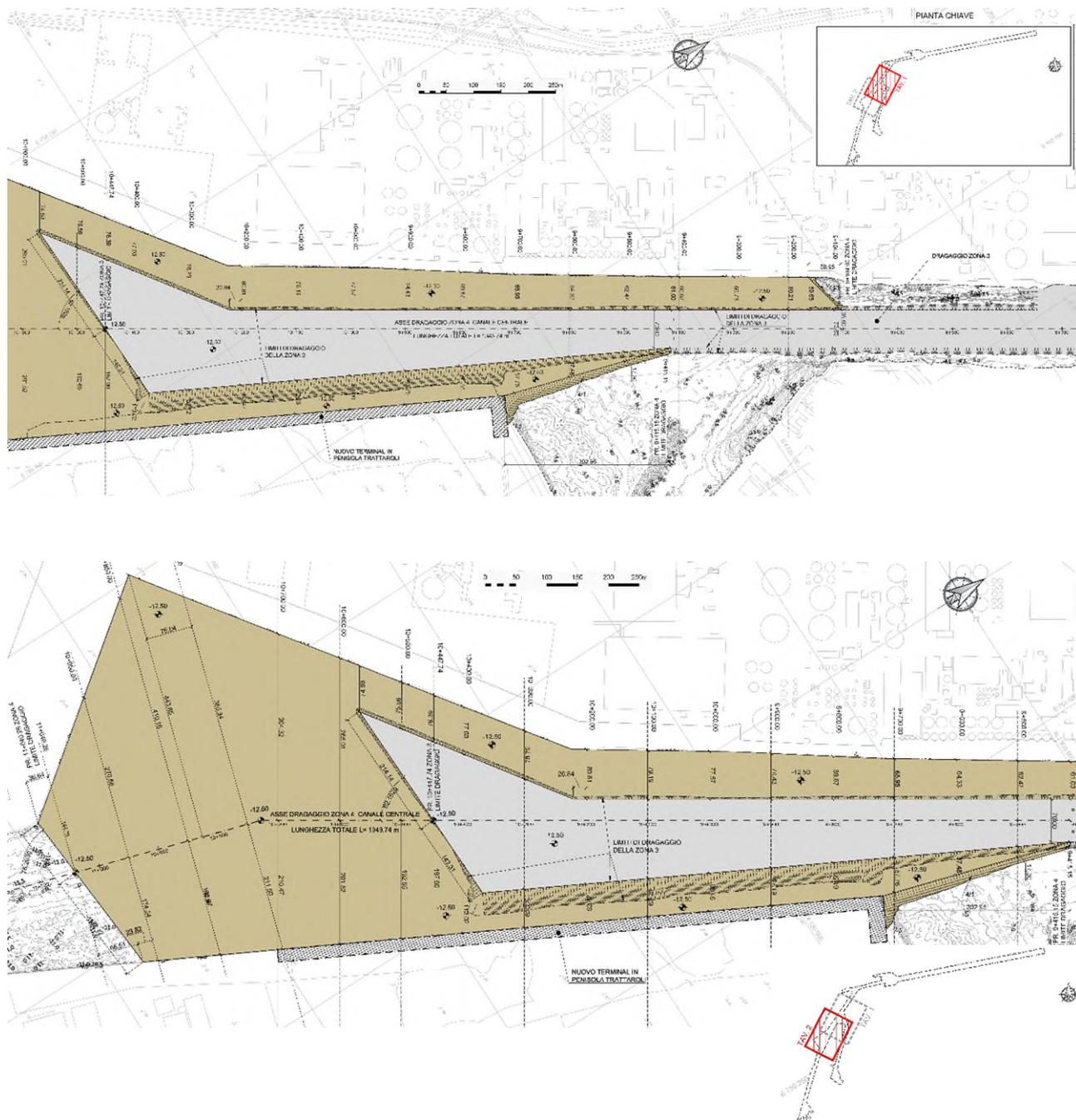


Figura 19 - Planimetria di progetto – Zona 4

### Area San Vitale – Trattaroli (Zona 5)

Si prevede di scavare la porzione di canale Candiano compresa tra il cerchio di evoluzione della darsena San Vitale e il bacino Trattaroli a una profondità di -12,50 m s.l.m.m.. Le darsene in San Vitale verranno approfondite alla quota di -11.50 m s.l.m.m, così come tutte le banchine operative in sponda destra canale. Davanti alle banchine operative verrà realizzata una banca di 30 m che successivamente si raccorda alla quota di centro canale (-12.50) con pendenza di 1:4.

Sul lato sinistro del canale il fondo scavo verrà raccordato al fondale attualmente presente con scarpata 1:4. In corrispondenza delle banchine IFA e MARCEGAGLIA NORD verrà realizzata una banca di 30 m alla quota di -11.50 m.l.m.m e raccordata al fondo canale con pendenza 1:4.

La planimetria di progetto della Zona 5 è riportata nella Figura 20.

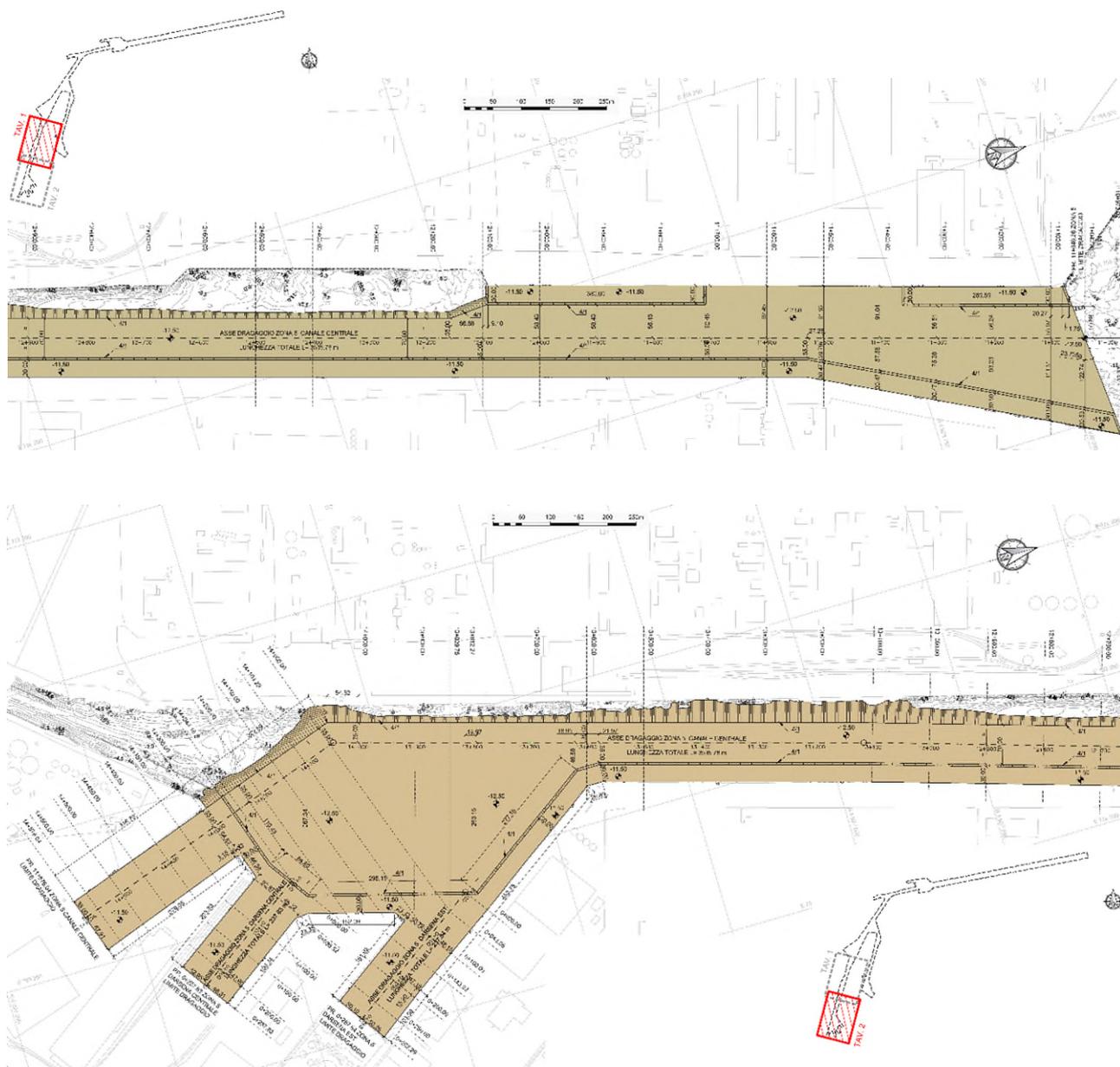


Figura 20 - Planimetria di progetto – Zona 5

## 6.1 SINTESI DEI VOLUMI DI DRAGAGGIO

Nel presente paragrafo viene riportata una sintesi dei volumi di sedimento dragati nell'ambito dell'intervento di progetto, distinguendo tra quelli destinati all'immersione in mare e quelli che verranno depositati provvisoriamente in siti di deposito intermedio a terra (vasche di sedimentazione/accumulo), per poi essere trasferiti nei siti di destinazione finale.

Il calcolo dei volumi di dragaggio (senza overdredging) è stato effettuato tramite il modello CIVIL 3D, attraverso il metodo delle sezioni ragguagliate, sulla base del nuovo rilievo batimetrico (2020) e le quote di dragaggio previste:

- Zona 1: 1 sezione/200 m
- Zone 2-5: 1 sezione/50m

Per le scarpate è stata adottata la pendenza 4:1, prevista nel PD, tranne in alcune zone in cui non è possibile a causa della pendenza terreno esistente, maggiore di quella prevista.

Si rimanda agli elaborati grafici di progetto 1114-E-DRX-DRA-ST-01÷05 per le sezioni tipo di dragaggio di ogni zona.

La stima dei volumi delle Zone 2 ÷ 5 è stata effettuata estraendo dal modello CIVIL3D le sezioni e sovrapponendo per confronto le sezioni di progetto del PD (rif. 1114.DRA.B.All 1\_Rev.1 e 1114.DRA.B.All 2\_Rev.1).

Per quanto riguarda le modalità di esecuzione del dragaggio, che verrà eseguito con draghe idrauliche a strascico con pozzo autocaricante aspirante refluyente tipo "TSHD: *Trailing Suction Hopper Dredger*", in abbinamento con draghe semoventi autocaricanti/scaricanti a pozzo tipo "Grab Hopper Dredger GHD" ovvero tipo "Grab Dredger - GD" dotate di una vasca di carico in coperta, si rimanda al Par. 6.2.

### **Volumi di sedimento destinati all'immersione in mare**

Secondo le previsioni del Progetto Definitivo, il volume di sedimenti destinato all'immersione in mare era quello proveniente dall'intera Zona 1 di dragaggio ed era stato stimato pari a 1.374.000 m<sup>3</sup> (incluso un eventuale overdredging di 20 cm sull'intera superficie di scavo).

Tale previsione è stata modificata in sede di Progetto Esecutivo, in quanto gli esiti della nuova campagna di caratterizzazione effettuata da parte della Stazione Appaltante hanno determinato la necessità di destinare a terra i sedimenti provenienti dalla porzione di Zona 1 compresa tra le dighe foranee.

Pertanto, il materiale dragato destinato all'immersione in mare sarà quello proveniente dalle sole aree di escavo esterne alle dighe foranee. La stima di tale volume è stata eseguita in fase di progettazione esecutiva con il modello CIVIL3D, sulla base dei nuovi rilievi batimetrici (rif. Par. 3.1), ed è risultata pari a 1.153.000 m<sup>3</sup> (volume geometrico "in situ").

Si evidenzia che i sedimenti da dragare in alcune celle dovranno essere sottoposti a nuova caratterizzazione, prima di essere movimentati. Infatti, in conformità a quanto prescritto da ARPAE sulla base dei risultati delle indagini di caratterizzazione eseguite nel periodo 2019-2020, il dragaggio e l'immersione in mare del materiale dragato dalle celle n° 384÷388 (tra il primo e il secondo metro di dragaggio), n° 389÷390 (tutto lo spessore di dragaggio) e n° 401-402 (tutto lo spessore di dragaggio) saranno effettuati solo qualora i risultati delle indagini integrative, da eseguirsi prima dell'esecuzione dei lavori nelle celle menzionate ed in relazione agli spessori sopraindicati, dimostreranno la conformità dei materiali allo scarico in mare. Si rimanda allo specifico elaborato di progetto (codice 1114-E-DR1-DRA-PL-32) per la rappresentazione grafica di tale prescrizione, in relazione alle diverse celle di caratterizzazione.

Tabella 14 – Volume di dragaggio destinato all'immersione in mare

AREE DI DRAGAGGIO	STIMA VOLUMI DRAGATI DA MOVIMENTARE [m <sup>3</sup> ]
<b>ZONE</b>	
ZONA 1 - Avamporto (all'esterno delle dighe foranee)	1.153.000
<b>TOT. MATERIALE MOVIMENTATO</b>	<b>1.153.000</b>

### Volumi di sedimento destinati a terra

In fase di Progetto Definitivo, il volume di scavo totale da destinare a terra, proveniente dalle zone di dragaggio 2÷5, è stato stimato pari a 3.368.000 m<sup>3</sup>.

In fase di Progettazione Esecutiva, a seguito della sopravvenuta necessità di destinare a terra il materiale proveniente dalla porzione di Zona 1 interna alle dighe foranee, in aggiunta a quello proveniente dalle Zone 2÷5, e dell'aggiornamento della stima dei volumi sulla base dei nuovi rilievi batimetrici, il volume complessivo di dragaggio è risultato essere pari a 3.527.000 m<sup>3</sup> (volume geometrico "in situ"), incluso il volume di materiale dragato nell'ambito del "I stralcio esecutivo".

Il volume di dragaggio oggetto del presente stralcio progettuale, al netto del volume di sedimenti dragato nel "I stralcio esecutivo" dell'intervento, risulta pari a 3.329.551 m<sup>3</sup> (volume geometrico "in situ").

La stima dei volumi di dragaggio è stata effettuata con modello CIVIL3D ed è riportata nella tabella sottostante, in relazione ai diversi siti di produzione dei materiali.

Tabella 15 – Volumi di dragaggio destinati a terra, al netto dei volumi dragati nel I stralcio esecutivo

AREE DI DRAGAGGIO	STIMA VOLUMI DRAGATI DA MOVIMENTARE [m <sup>3</sup> ]
<b>ZONE</b>	
ZONA 1 - Avamporto (all'interno delle dighe foranee)	136.000
ZONA 2 - Avamporto	873.592
ZONA 3 - Area Largo Trattaroli - inizio Moli Guardiani - Darsena Baiona	668.959
ZONA 4 - Largo Trattaroli	903.000
ZONA 5 - Area San Vitale - Trattaroli	748.000
<b>TOT. MATERIALE MOVIMENTATO</b>	<b>3.329.551</b>

## 6.2 METODOLOGIA DI DRAGAGGIO E MOVIMENTAZIONE DEI MATERIALI DRAGATI

Il progetto prevede l'utilizzo di draghe in grado di provvedere a refluire/depositare il materiale a mare o in depositi provvisori intermedi a terra (vasche di sedimentazione/accumulo), da cui sarà caricato per il trasporto nei siti di destinazione finale (logistiche portuali "L1, L2 ed S3" e cava "La Bosca").

In particolare, il progetto indica l'utilizzo di draghe idrauliche a strascico con pozzo autocaricante aspirante refluyente tipo "TSHD: *Trailing Suction Hopper Dredger*", in abbinamento con draghe semoventi autocaricanti/scaricanti a pozzo tipo "Grab Hopper Dredger GHD" ovvero tipo "Grab Dredger - GD" dotate di una vasca di carico in coperta.

La draga tipo "TSHD" opera per cicli di carico, effettuando alternativamente le operazioni di carico e di scarico del pozzo. Le attività della draga si distinguono nelle seguenti fasi:

- navigazione nell'area di dragaggio caricando il materiale nel pozzo;
- navigazione verso la zona di connessione alla linea di refluento, ovvero verso l'area a largo a mare d'immersione dove il materiale viene rilasciato attraverso l'apertura delle porte di fondo previo un sistema di posizionamento e geolocalizzazione di precisione;
- connessione alla linea di refluento e pompaggio del materiale nelle aree di deposito a terra (colmata Nadep interna ed esterna e Centro Direzionale);
- ritorno all'area di dragaggio e ripetizione del ciclo.

Il carico nella draga "TSHD" avviene mediante il trascinamento sul fondale della testa di aspirazione, le cui caratteristiche variano in funzione del materiale previsto, che esercita una pressione di suzione tale da aspirare una miscela di acqua e materiale, con concentrazioni variabili che possono raggiungere il 20/30% in funzione del materiale. Tale miscela viene immagazzinata nel pozzo di carico, quindi, quando quest'ultimo è pieno, la draga si porta alla connessione con la linea di refluento e pompa il contenuto del pozzo lungo le condotte fino alla colmata, eventualmente aggiungendo dell'acqua per fluidificare la miscela.

Le draghe tipo "GHD" che saranno utilizzate riescono a garantire una produttività medio alta (ovviamente inferiore alle draghe tipo "TSHD"), ma tale produttività è perfettamente allineata ad una ottimizzata ed adeguata gestione a terra del materiale dragato, in quanto i tempi di consolidamento sono molto più ridotti rispetto al sedimento dragato idraulicamente, atteso che il materiale scavato mantiene il medesimo contenuto d'acqua presente "in situ" e quindi non è più necessario attenderne il rilascio in ampie vasche di sedimentazione.

Le draghe "GHD" proposte sono dotate di piloni idraulici di ormeggio/disormeggio rapido automatizzati, stiva di carico con fondo e di escavatore a funi di nuova generazione da 100/180 ton e sono equipaggiate con grappi idraulici con capacità di carico maggiore di 8,0 m<sup>3</sup>. Tutte le operazioni di dragaggio sono coadiuvate con un sistema di controllo integrato della posizione della nave e dell'attrezzatura dragante in DGPS satellitare in modo tale da garantire l'accuratezza selettiva dello scavo.

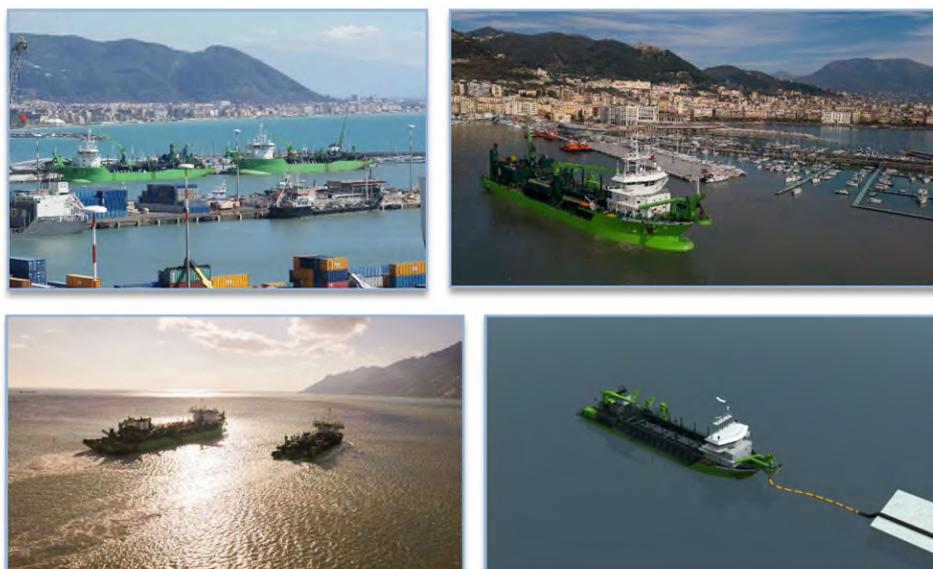


Figura 21 – Draga idraulica a strascico con pozzo autocaricante aspirante refluyente tipo “TSHD - Trailing Suction Hopper Dredger” in fase operativa in immersione a largo e/o a scarico a terra

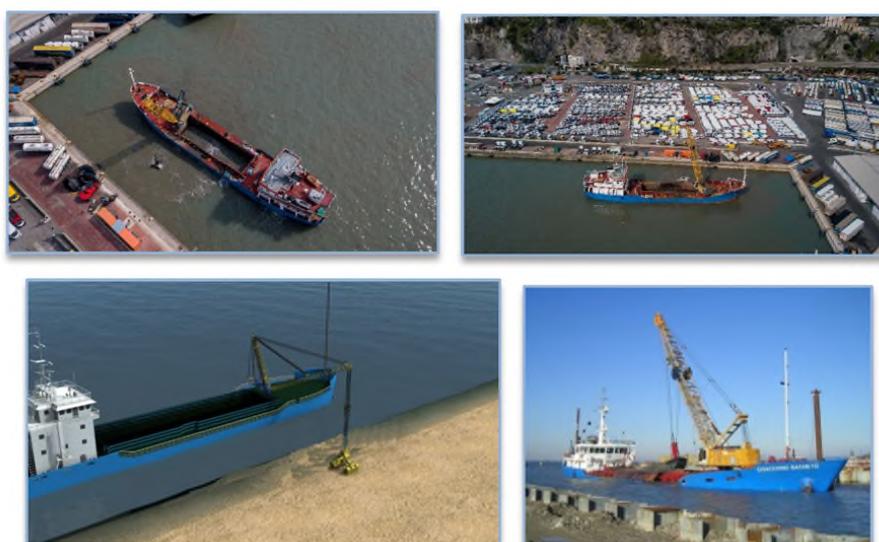


Figura 22 – Draghe semoventi autocaricanti/scaricanti a pozzo tipo “Grab Hopper Dredger GHD” in fase operativa.

**Nel Progetto Definitivo il dragaggio era svolto principalmente con draghe idrauliche tipo “TSHD”, sia per il trasferimento del materiale ad immersione a mare, in considerazione dell’elevata produttività e della distanza del sito di prelievo (canaletta di avvicinamento al porto, di lunghezza 5,1 km, con fondale di -13,50m s.l.m.m. e di parte del bacino d’evoluzione in avamposto e terminal crociere con caratteristiche idonee), sia per gli interventi interni nei canali Candiano e Baiona, riservando il dragaggio di tipo meccanico con “Grab Hopper Dredger GHD” ovvero “Grab Dredger - GD” ai settori del porto non raggiungibili dalle draghe tipo “TSHD”, in relazione alla manovrabilità delle stesse (aree ristrette, sotto-banchina, angoli etc.).**

Altresì, come detto, nell’ambito delle verifiche e degli studi propedeutici alla redazione del “Progetto Esecutivo” è stato sviluppato un programma sperimentale inclusivo di specifiche “prove di sedimentazione” eseguite sui materiali oggetto di dragaggio, in quanto nel “Progetto di Approfondimento del porto di Ravenna” sono previsti lavori di dragaggio e gestione a terra di terreni a grana fine (argille e limi), che possono subire rilevanti

variazioni volumetriche in funzione dei sistemi di dragaggio utilizzati, con conseguenti possibili processi di consolidazione molto lenti.

Le prove di sedimentazione, in scala reale, sono state eseguite presso il Laboratorio di Geotecnica dell'Università "La Sapienza" di Roma con il supporto specialistico dello *spin-off* universitario "GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group".

**Tali prove hanno evidenziato che per l'effetto del particolare fuso granulometrico del sedimento da dragare, caratterizzato in alcuni areali da elevate percentuali di limi argillosi, una volta dragato idraulicamente e riversato nell'ambito delle previste casse di decantazione intermedie (NADEP via Trieste, NADEP e Centro Direzionale) subisce un notevole rigonfiamento con un "bulking factor" financo superiore a  $K_{bf} > 2.1$ , al quale sono associati tempi molto lenti di consolidazione pari a "diversi ordini di grandezza superiori" ai 330 giorni di sedimentazione previsti/indicati nel PD.**

Tale significativo allungamento dei tempi non consentirebbe quindi di avviare lo svuotamento ed il trasporto nell'arco temporale di 330 giorni e di rispettare il cronoprogramma di progetto.

Tale risultato geotecnico sperimentale (elevato "bulking factor" e tempi molto lunghi di consolidazione nelle vasche di sedimentazione) ha suggerito **di adottare in fase esecutiva prevalentemente un dragaggio meccanico per il materiale da gestire a terra, in modo da ottimizzare "la concentrazione temporale dei lavori di movimentazione del sedimento", adottando "tecnologie che massimizzano la compattezza dei materiali"**, come anche indicato nella prescrizione n. 17) dell'allegato I alla Delibera di approvazione del CIPE del 28 febbraio 2018 del PD.

Fermo restando il rispetto delle destinazioni finali di riutilizzo con i quantitativi geometrici disponibili a terra previsti nel Progetto Definitivo, la previsione di adottare, nel Progetto Esecutivo, prevalentemente un dragaggio di tipo meccanico, nei settori con maggiore matrice argillosa, riservando il dragaggio idraulico in una parte della "Zona 5" a prevalente matrice sabbiosa da refluire nella cassa di colmata del Centro Direzionale, determina le seguenti ottimizzazioni:

- a) **mantenere un "bulking factor"**, nelle fasi di escavo e carico sui mezzi marittimi, di scarico a terra in vasche di deposito temporanee intermedie realizzate in serie ed in fregio alla banchina, di carico sui camion e di versamento nei siti di destinazione finale, **ricompreso tra 0,8 ed 1,1**, ben inferiore a quello che si determinerebbe con il dragaggio idraulico con draga idraulica "TSHD", consentendo **di eseguire il dragaggio "senza soluzione di continuità"**, in quanto si riducono i tempi di accumulo/movimentazione nei depositi di sedimentazione a terra, migliorando, al contempo, "la compattezza del materiale" da trasportare nelle logistiche. Il cronoprogramma operativo di dragaggio, infatti, è direttamente correlato ai tempi necessari per una corretta gestione dei materiali nelle vasche di sedimentazione, comprensivi dei tempi di coltivazione e svuotamento, che condizionano le operazioni di dragaggio e consentono di realizzare tutte le opere strutturali "in ombra" cioè in parziale sovrapposizione.
- b) **Ottimizzare in riduzione il numero dei viaggi per il trasporto dei materiali nei siti di destinazione e riutilizzo finale (aree logistiche portuali e "Cava La Bosca")** rispetto ad un dragaggio idraulico che, come detto, avendo un "bulking factor" più elevato imporrebbe un numero di viaggi ben superiore.
- c) **Incrementare le capacità d'invaso nelle logistiche portuali in relazione ai quantitativi di dragaggio teorici "in situ"**, in quanto tra l'altro il versamento del materiale è previsto interamente al di sopra della falda marina, dove può scontare un ulteriore secondario effetto di assestamento del materiale collocato nonché di consolidamento dello stesso sottosuolo.

In particolare, **nel confermare le volumetrie di dragaggio da movimentare ed i siti di riutilizzo dei materiali a terra, la metodologia esecutiva di dragaggio di tipo meccanico con "GHD" consente di ottimizzare al meglio la gestione dei materiali e di rispettare i tempi dei lavori di movimentazione dei sedimenti nelle vasche di sedimentazione di transito, massimizzando all'origine la compattezza del materiale rimosso, che non viene fluidificato con acqua di processo idraulico di dragaggio.**

Dalla caratterizzazione geologica e dai risultati delle prove in sito ed in laboratorio si può individuare nell'area portuale la presenza di unità litologiche definibili come sabbie, limi e argille, con spessori variabili da 2-3 a più di 10 metri. I terreni presentano una certa variabilità di caratteristiche granulometriche, risultato dell'ambiente di deposizione del materiale

Come noto, i parametri intrinseci principali che regolano le volumetrie dei materiali di escavo nelle fasi di movimentazione e di collocazione a riutilizzo nel destino finale sono rappresentati dal *"bulking factor"*, dalla densità relativa [correlata al contenuto del materiale secco "in situ" (*TDM Ton Dry Matter*)] e dalla granulometria del sedime. A ciò si aggiungano i processi di consolidamento/cedimento nel sito di riutilizzo.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione caratterizzazione geotecnica - dragaggi" (doc. 1114-E-DRA-DRX-RG-02-1).

### 6.2.1 Dragaggio meccanico

Eseguendo un dragaggio di tipo meccanico, il fattore di rigonfiamento *"Bulking factor"* è contenuto tra circa 1,1 e 0,9 (valore medio pari ad 1,0). Inoltre, trattandosi di dragaggio di sedimenti con un grado di addensamento non elevato, nell'attività di rimozione meccanica la loro "manipolazione" comporta da subito l'espulsione di parte dell'acqua interstiziale libera. Successivamente, in seguito al trasferimento nelle vasche di deposito intermedio ed a riutilizzo nelle logistiche portuali, i cedimenti primari e secondari dei sedimenti determinano un significativo processo di "assestamento" con riduzione volumetrica. Al termine del consolidamento e del rimaneggiamento, il volume unitario di materiale in logistica sarà variabile tra 0.85 e 0.90 m<sup>3</sup> (valore considerato pari a 0.875), a fronte di 1 m<sup>3</sup> iniziale con un rapporto tra volume consolidato/assestato e volume iniziale quindi del 87.5%. Per volume di materiale consolidato/asciugato s'intende quello che si ha al termine della movimentazione nei siti di destinazione finale. In questa situazione il materiale subisce il fenomeno noto come consolidamento primario: esso consiste nell'espulsione dell'acqua interstiziale e nel "riarrangiamento" dei grani in una configurazione più compatta, sotto l'azione delle tensioni normali dovute al peso del materiale negli strati superiori.

Il ripetuto rimaneggiamento permetterà di aumentare l'esposizione all'atmosfera, massimizzando così l'evapotraspirazione che indurrà la necessaria riduzione del contenuto d'acqua. Nella fattispecie, ad un anno dal deposito del materiale nelle aree logistiche è possibile stimare un coefficiente di riduzione compreso tra 1 e 0,8, fermo restando che con il tempo diminuirà, in seguito al processo di consolidamento secondario, che è dovuto al "riarrangiamento" della disposizione dei grani ed ai fenomeni viscosi e di adattamento. Inoltre, si deve tener anche in conto dell'assestamento decimetrico del piano d'imposta delle logistiche portuali a seguito del sovraccarico con i sedimenti dragati di oltre 1,5 m. Per tale motivo in fase esecutiva, i materiali di dragaggio saranno depositati nei siti di riutilizzo con una "monta" iniziale di 20/30 cm. In tal senso l'attività di "dragaggio" è "spesa" anche per un impiego geotecnico di *"soil improvement"* a km e costo zero (!). Infatti, il materiale di sovraccarico diventa parte del terrapieno di colmata senza la necessità di approvvigionamenti di materiale da cave terrestri.

Per il ripristino ambientale della cava *"La Bosca"* si considera nel bilancio dei volumi un coefficiente di riduzione (bulking factor) pari a 0.9, ovvero 1 m<sup>3</sup> di materiale in sito sarà corrisposto da 0.9 m<sup>3</sup> una volta posto in Cava Bosca. Tale valore è definito considerando che il deposito, attualmente a profondità e quindi tensioni efficaci limitate, verrà posto in un banco avente fino a 15 m di altezza: questo indurrà quindi una consolidazione primaria sotto il peso proprio e le maggiori tensioni efficaci, che ridurrà il volume iniziale.

La valutazione è supportata dalla solida esperienza pregressa in ambiti e con terreni analoghi. Durante le fasi di realizzazione, un attento monitoraggio dei valori di volume e contenuto d'acqua permetterà di verificare le ipotesi progettuali, che attualmente visti i risultati di contenuto d'acqua del terreno sul fondale sono soggetti ad un certo grado di variabilità.

## 6.2.2 Dragaggio idraulico

Eseguendo un dragaggio di tipo idraulico, il fattore di rigonfiamento “*Bulking factor*” raggiunge valori financo superiori a >2,1. Pertanto, in seguito al trasferimento nelle colmate di deposito intermedio il volume s’incrementa notevolmente con tempi di rilascio dell’acqua interstiziale molto lunghi considerata l’elevata presenza di una matrice sottile di limi argillosi, come verificato nelle prove di sedimentazione, in scala reale, eseguite presso il Laboratorio di Geotecnica dell’Università La Sapienza di Roma con il supporto specialistico dello *spin-off* universitario “*GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group*”. Nella fattispecie, a 90gg dal deposito del materiale nelle aree di colmata è possibile stimare un coefficiente di bulking factor di circa 1,4, mentre a 2.000 giorni si riduce solo a circa 1,15.

Nella seguente tabella si riporta lo schema di movimentazione dei sedimenti dragati con gestione a terra, in cui sono riportate le tecnologie di scavo adottate, i relativi volumi coinvolti e le aree di destinazione dei materiali dragati.

Tabella 16 - Schema di movimentazione dei sedimenti dragati (sono inclusi i volumi dragati nel I stralcio funzionale)

<b>Tabella delle tecnologie di scavo adottate, dei relativi volumi coinvolti e delle aree di destinazione dei materiali dragati.</b>				
Sito di produzione	Volume di scavo	Tecnologia di dragaggio	Deposito intermedio	Sito di destinazione finale
Avamporto (zona 1)	136.000 m <sup>3</sup> (Dragaggio D1)	meccanico con “GHD”	in vasche modulari provvisorie in banchina	<b>Movimentazione M1:</b> il volume di 119.000 m <sup>3</sup> di materiale compattato sarà destinato in “Cava Bosca”
Avamporto (zona 2)	1.015.000 m <sup>3</sup> (Dragaggio D2)	meccanico con “GHD”	in vasche modulari provvisorie in banchina	<b>Movimentazione M2:</b> il volume di 888.000 m <sup>3</sup> di materiale asciugato/compattato sarà destinato come di seguito indicato: - 109.000 m <sup>3</sup> in Logistica L2 - 199.000 m <sup>3</sup> ripartito in comparto S3 - 580.000 m <sup>3</sup> in “Cava Bosca”
Area Largo Trattaroli - inizio Moli Guardiani - Darsena Baiona (zona 3)	725.000 m <sup>3</sup> (Dragaggio D3)	meccanico con “GHD”	in vasche modulari provvisorie in banchina	<b>Movimentazione M3:</b> il volume di 635.000 m <sup>3</sup> di materiale asciugato/compattato sarà destinato come di seguito indicato: - 105.000 m <sup>3</sup> in Logistica L2 - 90.000 m <sup>3</sup> ripartito in comparto S3 - 440.000 m <sup>3</sup> in “Cava Bosca”
Largo Trattaroli (zona 4)	903.000 m <sup>3</sup> (Dragaggio D4)	meccanico con “GHD”	in vasche modulari provvisorie in banchina	<b>Movimentazione M4:</b> il volume di 790.000 m <sup>3</sup> di materiale asciugato/compattato sarà destinato come di seguito indicato: - 200.000 m <sup>3</sup> in Logistica L2 - 400.000 m <sup>3</sup> ripartito in comparto S3 - 190.000 m <sup>3</sup> in “Cava Bosca”
Area San Vitale - Trattaroli (zona 5)	748.000 m <sup>3</sup> di materiale dragato “in situ” (Dragaggio D5)	meccanico con “GHD”	in vasche modulari provvisorie in banchina	<b>Movimentazione M5:</b> Il volume di 655.000 m <sup>3</sup> di materiale asciugato sarà destinato come di seguito indicato: - 500.000 m <sup>3</sup> in Logistica L1 - 100.000 m <sup>3</sup> in Logistica L2 - 55.000 m <sup>3</sup> ripartito in comparto S3
<b>Nota 1)</b> per volume di materiale asciugato s'intende quello che si ha al termine della movimentazione nei siti di destinazione finale. In questa situazione il materiale subisce il fenomeno noto come consolidamento primario: esso consiste nell'espulsione dell'acqua interstiziale e nel "riarrangiamento" dei grani in una configurazione più compatta, sotto l'azione delle tensioni normali dovute al peso del materiale negli strati superiori. Nella fattispecie, ad un anno dal deposito del materiale nelle aree logistiche è possibile stimare un coefficiente di riduzione compreso tra 1 e 0,8, fermo restando che con il tempo diminuirà, in seguito al processo di consolidamento secondario, che è dovuto al "riarrangiamento" della disposizione dei grani ed ai fenomeni viscosi e di adattamento.				
<b>Nota 2):</b> nel corso dei lavori i siti di destinazione nelle aree logistiche dei volumi di scavo potranno subire variazioni in relazione ad inaspettate esigenze operative e/o interferenze con altre lavorazioni in sovrapposizione fermo restando la coerenza e compatibilità con i limiti della "Tabella 1 colonna B dell'allegato 5 del Titolo V della parte IV del D.Lgs. 152/06".				

## 7 UBICAZIONE DEI SITI DI DESTINAZIONE FINALE E DI DEPOSITO TEMPORANEO DEI MATERIALI DRAGATI

L'obiettivo progettuale del dragaggio del canale Candiano deve contemporaneamente soddisfare le esigenze derivanti dalle profondità previste nel PRP e quelle derivanti dalla disponibilità di capienza dei siti di deposito dei sedimenti.

Il progetto prevede l'utilizzo di draghe in grado di provvedere a refluire/depositare il materiale a mare o in depositi provvisori intermedi a terra (vasche di sedimentazione/accumulo), da cui sarà caricato per il trasporto nei siti di destinazione finale (logistiche portuali "L1, L2 ed S3" e cava "La Bosca").

Per i volumi relativi ai dragaggi ed alla gestione dei materiali si rimanda rispettivamente ai cap. 6 e cap. 8.

### 7.1 SITI DI DESTINAZIONE FINALE

I siti di destino finale dei materiali dragati sono costituiti da 3 aree logistiche e da una cava, situate all'interno del territorio del Comune di Ravenna, a distanza variabile dalle aree portuali.

Si tratta delle aree: Logistica Co S3 Romea Bassette, Logistiche L1 ed L2, Cava "La Bosca", evidenziate nella figura seguente che riporta un estratto della Carta Tecnica Regionale.



Figura 23 – Corografia su CTR, dei siti di destino finale dei materiali dragati

Per la descrizione degli interventi previsti nelle aree logistiche si rimanda alla Relazione generale – Aree logistiche e cava “La Bosca” (rif. doc. 1114-E-LGX-TRL-RG-01-0).





Figura 26 – Area Logistica S3 Sud – Planimetria di progetto presente stralcio (Stralcio IV) In marrone le aree di deposito dei materiali provenienti dalle casse di colmata Nadep e Trattaroli

### 7.1.2 Comparto Aree Logistiche L1 ed L2

Il comparto che comprende le due aree logistiche confina ad ovest con il fascio ferroviario (scalo merci), a nord con il Porto San Vitale ed il raccordo stradale fra via Classicana e via Trieste, ad est con il territorio rurale e, infine, a sud, con la Via Canale Molinetto.

La separazione fra le due aree logistiche è rappresentata dalla via Classicana che attraversa longitudinalmente il comparto.



Figura 27 – Estratto della CTR relativa alle aree logistiche L1 e L2

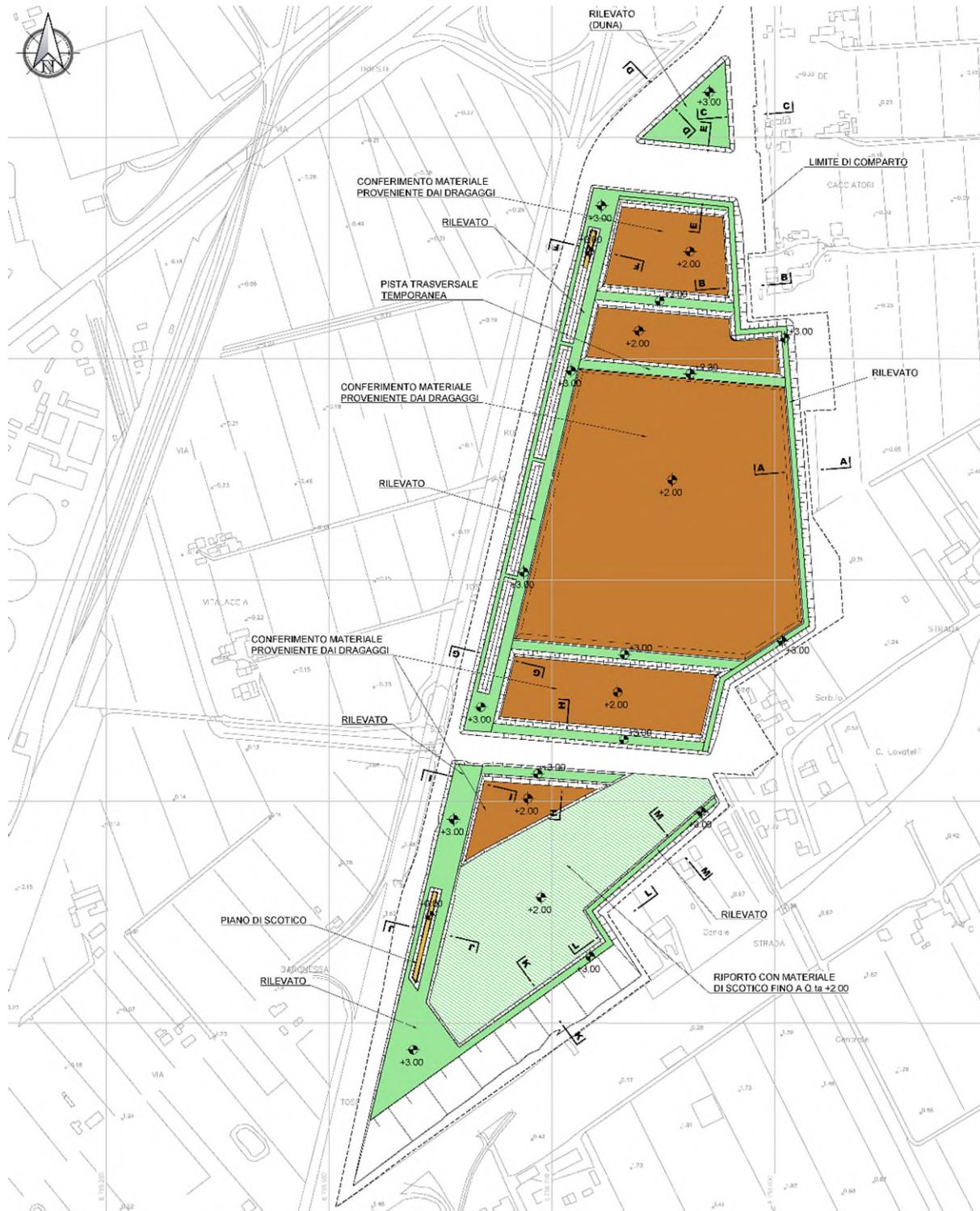


Figura 28 – Area Logistica L2 – Planimetria di progetto presente stralcio (Stralcio IV)

### 7.1.3 Cava “La Bosca”

L’area si trova a sud est della città di Ravenna ed è ubicata in Via Bosca, alla quale si accede da Via Marabina.



Figura 29 – Estratto della CTR relativa alla cava "La Bosca"

La Cava "La Bosca" è prevista come sito di destino dei materiali (conformi CSC colonna A) provenienti da svuotamento Cassa Nadep (Stralcio 2) e sito di destino finale dei materiali (conformi CSC colonna A) provenienti dai dragaggi (Stralcio IV).

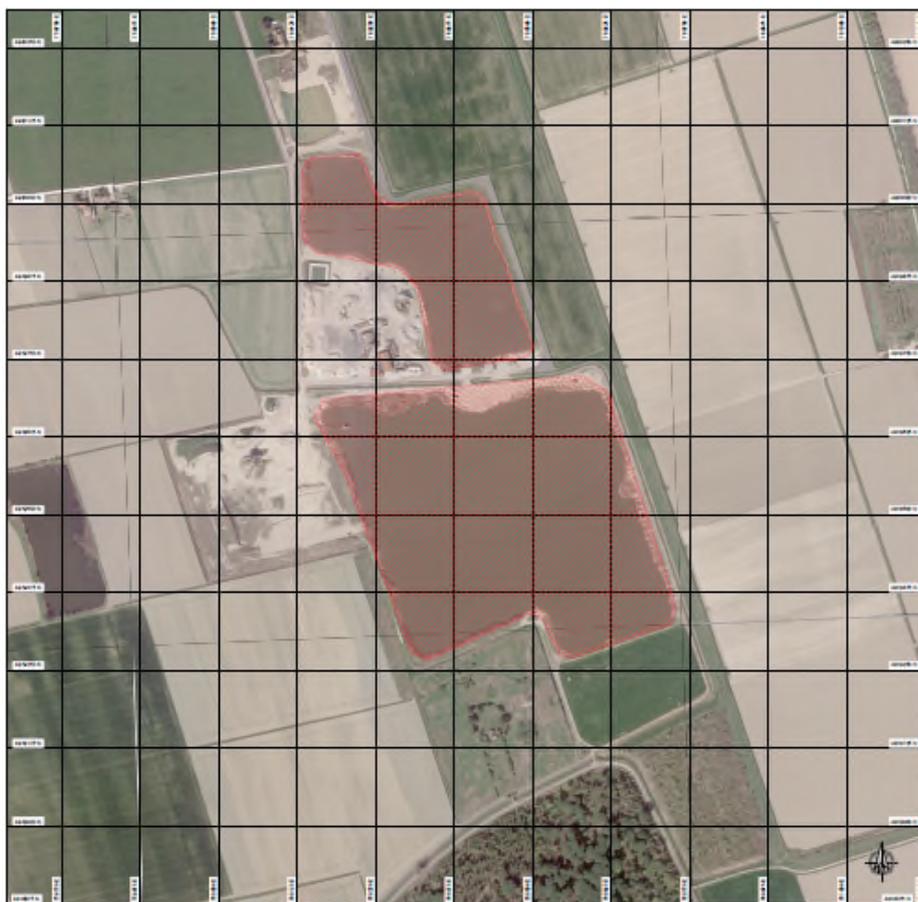


Figura 30 – Cava "La Bosca" – Planimetria di progetto presente stralcio (Stralcio IV)

## 7.2 SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO

I siti di deposito intermedio sono rappresentati dalle vasche di deposito/decantazione temporanee da allestire in corrispondenza del margine orientale della penisola Trattaroli, come evidenziato nella figura seguente, che riporta l'ubicazione dell'area riferita alla Carta Tecnica Regionale.

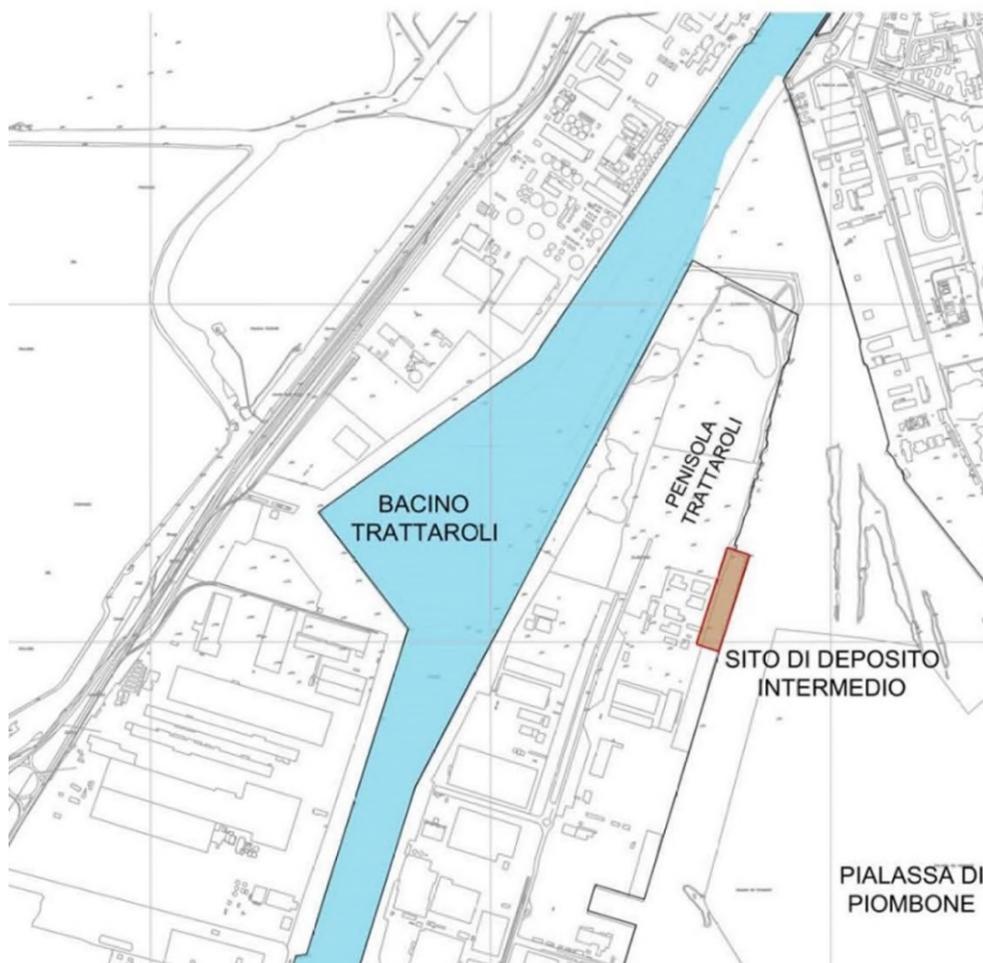


Figura 31 – Estratto della CTR in cui è ubicato il sito di deposito intermedio

In particolare, le vasche interessano un tratto (circa 285 m) delle banchine esistenti, disponibile per tale attività dopo la rimozione del relitto della M/N "Berkan B". Nell'immagine satellitare riportata nella figura seguente, è evidente la posizione del relitto lungo il tratto di banchina ove saranno realizzate le vasche di deposito intermedio.



Figura 32 Ubicazione delle vasche di deposito intermedio su immagine satellitare

Ogni vasca avrà una capienza pari a 2.000-2.500 metri cubi e sarà dotata di un sistema di drenaggio delle acque.

La gestione del materiale dragato nelle vasche di deposito intermedio sarà eseguita secondo opportune modalità atte a garantire che non si determini alcuna possibile contaminazione tra volumi di sedimenti con caratteristiche qualitative differenti.

Il tempo di permanenza del materiale in ogni vasca sarà di circa cinque giorni, sufficiente a consentire la perdita delle acque di dragaggio ed ottenere così una prima riduzione del volume dei materiali da movimentare via terra.

Le vasche saranno utilizzate a rotazione, con cicli successivi di riempimento e svuotamento, fino al completamento delle operazioni di dragaggio. Conseguentemente saranno allestite in concomitanza con l'apertura dei cantieri e resteranno in funzione per tutta la durata dei lavori pari a circa 5,2 anni.

## 8 GESTIONE DEI MATERIALI DRAGATI

Il Progetto Definitivo ha previsto che i sedimenti dragati nel canale esterno alle dighe foranee e in parte di quello interno (Zona 1) siano destinati all'immersione in mare mentre quelli provenienti dalla restante parte dell'avamposto e dall'interno del canale Candiano e dalla darsena Baiona (Zone 2÷5) vengano conferiti in parte nelle aree logistiche a terra (L1, L2 ed S3), che hanno necessità di riempimento per la messa in quota, ed in parte in cava "La Bosca", con l'obiettivo di un suo recupero/ripristino ambientale.

Tale previsione è stata in parte modificata in sede di Progetto Esecutivo, in quanto gli esiti della nuova campagna di caratterizzazione effettuata dalla Stazione Appaltante hanno determinato la necessità di destinare a terra anche i sedimenti provenienti dalla porzione di Zona 1 interna alle dighe foranee.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte in dettaglio le modalità di gestione dei sedimenti destinati all'immersione in mare e di quelli per i quali è previsto il riutilizzo a terra.

### 8.1 IMMERSIONE A MARE

Secondo le previsioni del Progetto Definitivo, il volume di sedimenti destinato all'immersione in mare era quello proveniente dall'intera Zona 1 di dragaggio ed era stato stimato pari a 1.374.000 m<sup>3</sup> (incluso un eventuale overdredging di 20 cm sull'intera superficie di scavo).

Tale previsione è stata modificata in sede di Progetto Esecutivo, in quanto gli esiti della nuova campagna di caratterizzazione effettuata da parte della Stazione Appaltante hanno determinato la necessità di destinare a terra i sedimenti provenienti dalla porzione di Zona 1 compresa tra le dighe foranee.

Pertanto, il materiale dragato destinato all'immersione in mare sarà quello proveniente dalle sole aree di escavo esterne alle dighe foranee. La stima di tale volume è stata eseguita in fase di progettazione esecutiva con il modello CIVIL3D, sulla base dei nuovi rilievi batimetrici (rif. Par. 3.1), ed è risultata pari a 1.153.000 m<sup>3</sup> (volume geometrico "in situ").

In conformità a quanto prescritto da ARPAE sulla base dei risultati delle indagini di caratterizzazione eseguite nel periodo 2019-2020, può essere effettuato il dragaggio e l'immersione in mare del materiale di dragaggio delle celle n° 379÷383 e delle celle n° 379÷383 (dal fondale esistente fino alla quota di progetto), delle celle n° 384÷388 (per il primo metro di dragaggio e dal 2° alla quota di dragaggio delle celle). Per quanto riguarda il dragaggio e l'immersione in mare del materiale dragato delle celle n° 384÷388 (al di sotto del primo metro di dragaggio), n. 389-390 e n° 401-402 (tutto lo spessore di dragaggio), saranno effettuati solo qualora i risultati delle indagini integrative, da eseguirsi prima dell'esecuzione dei lavori nelle celle menzionate ed in relazione agli spessori sopraindicati, dimostreranno la conformità dei materiali allo scarico in mare. Si rimanda allo specifico elaborato di progetto (codice 1114-E-DR1-DRA-PL-32) per la rappresentazione grafica di tale prescrizione, in relazione alle diverse celle di caratterizzazione.

L'estensione dell'area d'immersione (3,6 MN x 2,5 MN), la cui ubicazione è riportata in Figura 33, è pari a 9 miglia nautiche quadrate (circa 31 km quadrati). Il ricoprimento "teorico medio" risulta pertanto inferiore a 10 cm, in linea a quanto riportato nel D.M. n. 173/2016 ed alle linee guida e pareri espressi dall'ISPRA e dal SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale), in modo da consentire "agli organismi che vivono sul fondo e che rappresentano una fonte di sostentamento anche per le risorse demersali della pesca, di ricolonizzare in breve tempo i medesimi fondali, permettendone un eventuale riutilizzo come aree di immersione, in tempi relativamente brevi."

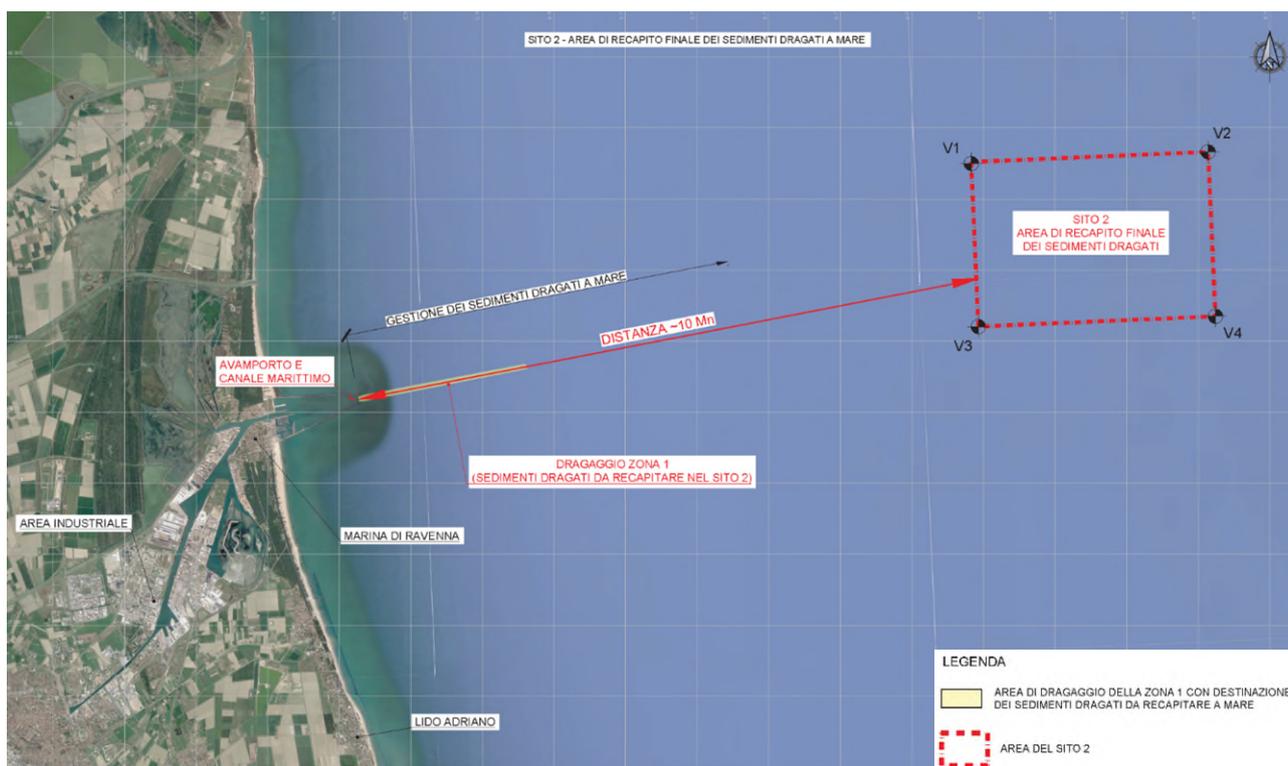


Figura 33 – Planimetria di gestione dei materiali a mare

## 8.2 RIUTILIZZO A TERRA

In fase di Progetto Definitivo, il volume di scavo totale da destinare a terra, proveniente dalle zone di dragaggio 2÷5, è stato stimato pari a 3.368.000 m<sup>3</sup>.

In sede di Progetto Esecutivo, a seguito della sopravvenuta necessità di destinare a terra il materiale proveniente dalla porzione di Zona 1 interna alle dighe foranee, in aggiunta a quello proveniente dalle Zone 2÷5, e dell'aggiornamento della stima dei volumi sulla base dei nuovi rilievi batimetrici, il volume complessivo di dragaggio da destinare a terra è risultato essere pari a 3.527.000 m<sup>3</sup> (volume geometrico "in situ"), incluso il volume di materiale dragato nell'ambito del "I stralcio esecutivo".

Il volume di dragaggio oggetto del presente stralcio progettuale, al netto del volume di sedimenti che verrà dragato nell'ambito del "I stralcio esecutivo" dell'intervento, risulta pari a 3.329.551 m<sup>3</sup> (volume geometrico "in situ").

Le valutazioni riportate di seguito in merito alla gestione dei materiali destinati al riutilizzo a terra, compreso il bilancio dei volumi, si riferiscono al volume complessivo di sedimenti movimentato nell'ambito del "I stralcio funzionale" e del presente stralcio.

Per contenere i tempi di consolidamento del materiale, il dragaggio dei materiali destinati a terra sarà attuato meccanicamente, mediante draghe semoventi autocaricanti/scaricanti a pozzo tipo "Grab Hopper Dredger GHD". Tale modalità di dragaggio consente di mantenere pressoché inalterato il contenuto d'acqua presente "in situ", a differenza del dragaggio di tipo idraulico, che comporta una fluidificazione del materiale, con sensibile incremento dei volumi di acqua da eliminare.

Il volume dei materiali dragati subirà una prima limitata riduzione nelle vasche di deposito intermedio, principalmente a causa del drenaggio delle acque di dragaggio (i volumi d'acqua che vengono asportati durante l'asportazione meccanica del materiale), poi subirà una ulteriore riduzione durante la fase di

asciugatura che avverrà sul sito di destino finale nel corso dei mesi successivi il versamento, principalmente a seguito del graduale addensamento dei sedimenti. Ciò vale sia per le aree logistiche, che per cava “La Bosca” (ove il materiale viene depositato sottofalda e quindi rimane umido) dove la compattazione è dovuta all’elevata altezza del materiale depositato.

Sulla base delle valutazioni eseguite in fase progettuale, è stato stimato che la riduzione volumetrica sia in media pari al 12,5 % rispetto ai valori “in situ”.

Tale percentuale è stata calcolata sulla base della media dei valori di contenuto d’acqua, ottenuti sperimentalmente su alcuni campioni prelevati nel porto, tuttavia, data l’elevata variazione dei valori rilevati (con valori anche prossimi al 60%), sarà verificata in corso d’opera per garantire il corretto raggiungimento degli obiettivi progettuali di livellamento finale delle quote di progetto nei siti di destino finale.

Il Progetto Esecutivo, in linea con le previsioni del Progetto Definitivo, prevede che nelle aree logistiche venga conferito un materiale derivante da dragaggio, compatibile con i limiti della Tabella 1 colonna B dell’allegato 5 del Titolo V della parte IV del D.Lgs. 152/06, per uno spessore geometrico variabile, che consenta di raggiungere la quota di progetto.

I quantitativi da conferire dipendono dalla capacità individuata in fase di Progetto Esecutivo (sulla base dei nuovi rilievi topografici), al netto dei volumi derivanti dal deposito dei materiali presenti nelle casse di colmata Nadep e Trattaroli, che vengono svuotate nell’ambito del presente progetto.

Nel caso della cava “La Bosca”, è previsto il conferimento sottofalda solo di materiale derivante da dragaggio, i cui parametri rientrano nei limiti della colonna A tab. 1 All.5 Titolo V Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006.

In particolare, il recupero ambientale della cava “La Bosca” prevede il riempimento sottofalda di due settori trapezoidali di profondità media di circa 16/18 m.s.l.m.m.

Come evidenziato nella Tabella 17, nella fase iniziale di versamento dei sedimenti, il volume scaricato sarà superiore alla capienza dei siti, per effetto della presenza di acqua; nel tempo i materiali si assesteranno su volumi compatibili con le quote di progetto, per effetto della già citata perdita di acqua ed anche per effetto dei cedimenti indotti dal peso del materiale sui terreni sottostanti.

Nel caso dei materiali depositati all’interno della cava “La Bosca”, essendo il materiale depositato sottofalda, vi è comunque un fenomeno di compattazione per effetto del peso della colonna dei sedimenti, che raggiunge un’altezza considerevole (circa 15 m).

Si precisa che il bilancio dei volumi dei sedimenti dragati da destinare nelle aree a terra, così come presentato in Tabella 17, include anche i volumi dragati nell’ambito del I stralcio funzionale.

Lo schema di movimentazione dei materiali dragati è rappresentato graficamente nella planimetria di Figura 34.

**BILANCIO VOLUMI DEI SEDIMENTI DA GESTIRE A RIUTILIZZO NELLE AREE LOGISTICHE ED A RIPRISTINO AMBIENTALE DELLA CAVA "La Bosca" - PROGETTO ESECUTIVO**

AREA INTERVENTO DI SCAVO/ESCAVO				SITI DI RIUTILIZZO FINALE					
AREE DI DRAGAGGIO	STIMA VOLUMI DRAGATI DA MOVIMENTARE	STIMA VOLUMI Colonna A	STIMA VOLUMI Colonna B	CAVA LA BOSCA Materiale assestato in falda (**)	LOGISTICHE E COMPARTO S3 Materiale asciugato nelle logistiche(*)	Logistica L1	Logistica L2	Comparto S3	TOTALI CAVA LA BOSCA E LOGISTICA
	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[solo materiale in colonna A] [m <sup>3</sup> ]	[materiale in colonna A e B] [m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
<b>ZONE</b>									
ZONA 1	136,000	136,000	-	119,000	-				
ZONA 2	1,015,000	850,000	165,000	580,000	308,125		109,000	199,125	
ZONA 3	725,000	617,000	108,000	440,000	194,375		105,000	89,375	
ZONA 4	903,000	671,000	232,000	190,000	600,125		200,000	400,125	
ZONA 5	748,000	378,000	370,000	-	654,500	500,000	100,500	54,000	
<b>TOT. MATERIALE MOVIMENTATO</b>	<b>3,527,000</b>	<b>2,652,000</b>	<b>875,000</b>	<b>1,329,000</b>	<b>1,757,125</b>	<b>500,000</b>	<b>514,500</b>	<b>742,625</b>	<b>3,086,125</b>
<b>Volumi/capienza siti di riutilizzo finale in logistica senza assestamento/cedimento [m<sup>3</sup>]</b>				<b>3,086,125</b>		<b>500,000</b>	<b>497,000</b>	<b>687,000</b>	
<b>Volumi/capienza siti di riutilizzo finale in cava "La Bosca" e Logistiche (***) [m<sup>3</sup>]</b>				<b>1,329,000</b>		<b>500,000</b>	<b>518,750</b>	<b>743,400</b>	<b>3,091,150</b>
<b>Differenza bilancio capienza disponibile e materiali di escavo riutilizzati [m<sup>3</sup>]</b>									<b>5,025</b>

(\*) Per **volume di materiale asciugato** s'intende quello che si ha al termine della movimentazione nei siti di riutilizzo delle logistiche e comparto S3. In questa situazione il materiale subisce il fenomeno noto come consolidamento primario: esso consiste nell'espulsione graduale dell'acqua interstiziale e nel "riarrangiamento" dei grani in una configurazione più compatta, sotto l'azione delle tensioni normali dovute al peso del materiale negli strati superiori. Nella fattispecie, ad un anno dal deposito del materiale nelle aree logistiche è possibile stimare un coefficiente di riduzione ricompreso tra il 10% e il 15%, fermo restando che con il tempo diminuirà, in seguito al processo di consolidamento secondario, che è dovuto al "riarrangiamento" della disposizione dei grani ed ai fenomeni viscosi e di adattamento.

(\*\*) In cava "La Bosca" la disponibilità geometrica autorizzata è pari a 1.800.000 m<sup>3</sup> a cui vanno detratte le volumetrie provenienti dallo svuotamento della cassa Nadep (circa 470.000 m<sup>3</sup>). La volumetria geometrica disponibile è quindi pari a 1.330.000m<sup>3</sup> circa (1.800.000m<sup>3</sup> - 470.000m<sup>3</sup>). Pertanto, per completare tale volumetria è necessario depositare almeno un quantitativo di volume maggiore ricompreso tra il 10% e il 15% per tenere conto del coefficiente di compattazione/cedimento intrinseco per peso proprio del materiale dragato, in quanto l'altezza da riempire in falda raggiunge livelli di oltre 15 m.

(\*\*\*) Nelle logistiche ed in comparto S3 si considera in via conservativa un assestamento medio non superiore a circa 15cm dei terreni esistenti sovraccaricati.

**NOTA 1** : La stima dei volumi ai sensi della Tabella 1 colonne A e B dell'allegato 5 del Titolo V della parte IV del D.Lgs. 152/06 è stata eseguita sulla base della caratterizzazione svolta da AdSP e ARPA (2014 e 2019/2020).

**NOTA 2** : Attesa l'elevata oscillazione dei valori rilevati di contenuto d'acqua dei sedimenti in situ da dragare, in quanto interessano gli strati più superficiali del fondale, che raggiungono valori anche prossimi al 60%, per le volumetrie poste a riutilizzo a terra è stato assunto cautelativamente un contenuto d'acqua medio da verificare in corso d'opera per il corretto raggiungimento degli obiettivi progettuali di livellamento finale delle quote di progetto nelle aree logistiche.

Tabella 17 – Bilancio totale dei volumi dei sedimenti dragati da destinare nelle aree a terra (sono inclusi i volumi dragati nel I stralcio funzionale)

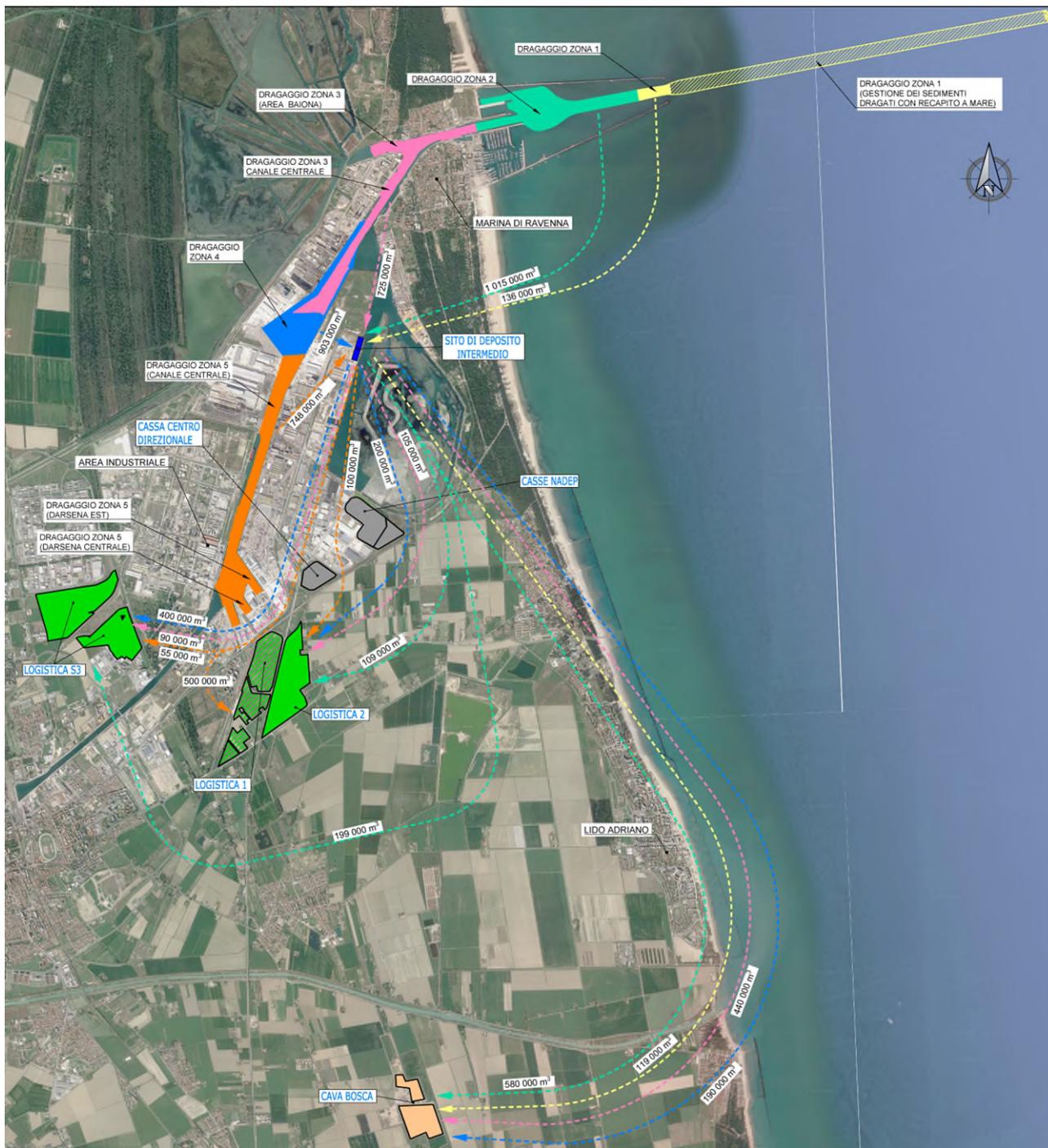


Figura 34 – Planimetria di gestione dei materiali a terra

In conclusione, come si evince dalla Tabella 17, il bilancio tra i volumi di sedimenti dragati da riutilizzare a terra e le capienze disponibili nelle aree Logistiche portuali e in Cava “La Bosca”, queste ultime al netto delle volumetrie dei materiali provenienti dallo svuotamento delle casse di colmate NADEP e Trattaroli (circa 620.000 m<sup>3</sup>), si chiude sostanzialmente in pareggio.

## 9 INDIVIDUAZIONE DEI PERCORSI PREVISTI PER IL TRASPORTO DEL MATERIALE DI ESCAVO TRA LE DIVERSE AREE IMPIEGATE NEL PROCESSO DI GESTIONE

Per il trasporto dal sito di deposito intermedio alle aree di destinazione finale si prevede l'utilizzo di camion. In ciascuna area logistica sono stati individuati doppi accessi (principale e secondario) in maniera tale da garantire sempre l'uscita in caso di emergenza del mezzo di trasporto dal cantiere e di minimizzare le stesse tempistiche di trasporto.

I percorsi dei camion previsti dalle vasche di deposito intermedio in penisola Trattaroli sono i seguenti:

- **“Logistica L1”:** per accedere all'area si percorre un tratto di via Classicana dalla banchina Docks Piomboni Nord verso sud. Si ipotizza di realizzare l'accesso all'altezza dell'attraversamento dello scolo consorziale “Vitalaccia”. L'itinerario di uscita prevede la svolta a destra su via Classicana verso sud fino allo svicolo con via Destra Canale Molinetto, usato per invertire la marcia verso nord, proseguendo sempre su via Classicana fino alla banchina Docks Piomboni Nord.
- **“Logistica L2”:**
  - Ingresso/uscita principale: per l'accesso all'area si percorre un tratto di via Classicana, dalla banchina Docks Piomboni Nord verso sud. Per poter accedere all'ingresso principale situato nella carreggiata opposta di via Classicana, il camion carico dovrà fare inversione di marcia uscendo su via Circonvallazione Canale Molinetto/via Destra Canale Molinetto. L'itinerario di uscita dall'area avviene con svolta a destra diretta sulla Classicana in direzione nord per poi proseguire fino alla banchina Docks Piomboni Nord.
  - Ingresso/uscita secondario: per accedere si percorre sempre un tratto di via Classicana, dalla banchina Docks Piomboni Nord fino alla Circonvallazione Canale Molinetto/via Destra Canale Molinetto. L'ingresso si raggiunge svoltando su via Sinistra Canale Molinetto. L'uscita avviene con svolta a destra su via Destra Canale Molinetto per poi proseguire, svoltando a sinistra sulla rampa di innesto su via Classicana, in direzione Nord verso banchina Docks Piomboni.
- **“Logistica S3 Nord”:**
  - Ingresso/uscita principale: per accedere all'area si percorre un tratto di via Classicana fino all'incrocio con via Trieste, proseguendo su quest'ultima, fino all'intersezione con via Attilio Monti, dalla quale si procede su via della Chimica e successivamente via Romea Nord. Raggiunta la prima rotonda, l'ingresso principale si incontra percorrendo via Luciano Lama fino al termine della strada. L'itinerario di uscita è il medesimo di quello entrata.
  - Ingresso/uscita secondario: per l'accesso si percorre un tratto di via Classicana fino all'incrocio con via Trieste, proseguendo su quest'ultima, fino all'intersezione con via Attilio Monti, dalla quale si procede su via della Chimica e successivamente via Romea Nord. L'ingresso secondario si trova su via Romea Nord prima della rotonda. L'itinerario di uscita prevede la svolta a destra su Via Romea Nord fino alla rotatoria che consente l'inversione di marcia verso sud per poi procedere sul medesimo itinerario dell'andata.
- **“Logistica L3 Sud”:**
  - Ingresso principale: per accedere si percorre un tratto di via Classicana fino all'incrocio con via Trieste, proseguendo su quest'ultima, fino all'intersezione con via Attilio Monti, dalla quale si procede su via della Chimica e quindi via Romea Nord. Si prosegue poi a destra, su via Lama, poi a sinistra, direzione Nord verso via Bondi fino alla rotatoria. Da questa si prende la

prima uscita verso via Bassette e via Baiona per poi entrare nell'area di interesse con svolta a destra dopo del ponte che collega via Baiona con via Fosso Fagiolo. L'itinerario di uscita prevede la svolta diretta verso destra su via Baiona fino alla rotatoria Belgio per poi proseguire sull'itinerario dell'andata.

- **Ingresso secondario:** per accedere si percorre un tratto di via Classicana fino all'incrocio con via Trieste, proseguendo su questa ultima, fino all'intersezione con via Attilio Monti, dalla quale si prende via della Chimica e successivamente via Romea Nord. Si prosegue poi a destra su via Lama poi a sinistra, direzione Nord verso via Bondi fino alla rotatoria. Da questa si prende la prima uscita verso via Bassette e via Baiona per poi entrare nell'area con svolta a destra. L'itinerario di uscita prevede la svolta diretta verso destra su via Baiona fino alla rotatoria Belgio per poi proseguire sull'itinerario dell'andata.
- **Cava "La Bosca":** per accedere si deve percorrere un tratto di via Classicana fino allo svincolo di Lido di Dante, proseguendo su Via Marabina fino all'intersezione con Via Bosca, dalla quale si giunge alla cava. L'itinerario di uscita è il medesimo di quello di ingresso impegnando la rampa di svincolo verso nord da via Marabina verso via Classicana

Di seguito si riportano le planimetrie dei percorsi dei mezzi trasporto ai siti di destinazione finale.

La prima immagine di ciascuna figura rappresenta il percorso compiuto dai camion carichi di materiale dragato mentre la seconda quello compiuto una volta scaricato il materiale nelle aree logistiche e in cava Bosca.





Figura 36 – Percorso mezzi di trasporto in area portuale “Logistica L2”

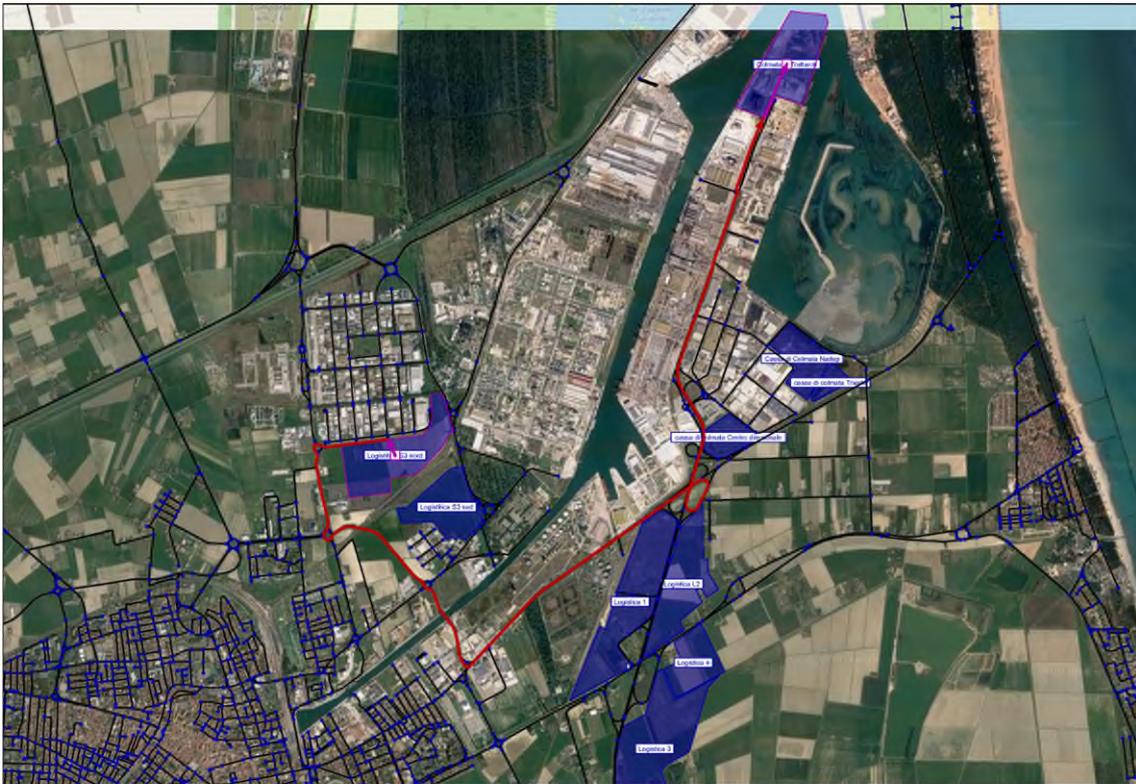


Figura 37 – Percorso mezzi di trasporto in area portuale “Logistica S3 Nord”





## 10 GESTIONE DELLE ACQUE DI ESUBERO E DEFLUSSO DALLE VASCHE DI DEPOSITO PROVVISORIE E DI DECANTAZIONE INTERMEDIE

Come detto, i materiali scavati nel Canale Candiano oggetto del presente elaborato, saranno rimossi mediante idoneo mezzo effossorio di tipo meccanico autocaricante (*GHD – Grab Hopper Dredger*), che provvederà anche al trasporto presso la banchina preposta (Penisola Trattaroli versante est – Canale Piomboni) e, sempre attraverso l'escavatore di bordo, allo scarico a terra all'interno delle vasche di deposito temporaneo ivi ubicate. Come anticipato in premessa, tali vasche sono dotate di un sistema di drenaggio interno che, attraverso opportune tubazioni finestate, strati filtro in materiale ghiaioso e teli in geotessuto, è in grado di collettare le acque di scolo provenienti dal drenaggio naturale del materiale dragato, nonché le eventuali acque meteoriche cadute sulla superficie delle vasche.

Pertanto, tali acque drenate sono raccolte per gravità all'interno di pozzetti e quindi rilanciate, mediante una pompa sommersa, in una apposita vasca di calma e di omogeneizzazione, ubicata nelle vicinanze delle suddette vasche di scarico.

Tali acque di esubero dovranno quindi essere reimmesse all'interno degli specchi acquei portuali, nel rispetto della normativa vigente in tema di scarichi in corpi idrici superficiali.

Pertanto, prima di procedere con i lavori di dragaggio, verrà inoltrata all'Ente Competente in materia la relativa "*Istanza di Autorizzazione*" allo scarico in mare di acque reflue industriali. Ai sensi della norma vigente, lo scarico dovrà risultare conforme ai valori limite dei parametri chimico-fisici indicati nella Tabella 3 (Valori limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura) dell' "*Allegato 5, Parte III, D.Lgs 152/06 e s.m.i.*"

In ragione delle caratteristiche chimico-fisiche dei sedimenti e delle acque in questione, l'unico parametro d'interesse della suddetta "*Tabella 3*" che potrebbe comportare problematiche di conformità al relativo limite allo scarico, è il parametro "**Solidi Sospesi Totali**", che presenta, per lo scarico in acque superficiali, un valore soglia di 80 mg/l.

Pertanto, al fine di prevenire lo scarico di acque non conformi in ragione di un eccessivo tenore di solidi sospesi che potrebbero dare origine a fenomeni di torbidità nel canale, all'interno della suddetta vasca di calma, ubicata a monte del punto di scarico, sarà presente un'apposita sonda (torbidimetro), attraverso cui si misurerà il valore di torbidità delle acque presenti nella vasca, prima che queste vengano scaricate nel Canale Candiano. Preventivamente all'inizio dei lavori, verranno inoltre effettuati degli specifici test di laboratorio e di campo, mediante cui, in relazione alle caratteristiche sito-specifiche dei sedimenti delle aree oggetto del dragaggio, si stabilirà una correlazione diretta tra il valore di torbidità delle acque rilevato dal torbidimetro (espresso in NTU - *Nephelometric Turbidity Unit*) ed il parametro Solidi Sospesi Totali (espresso in mg/l).

In questo modo, dalla lettura del valore rilevato dal torbidimetro, sarà possibile conoscere in ogni momento se le acque presenti nella vasca di calma presentano un valore di SST conforme o meno al limite di scarico. A tal riguardo, ai fini di una maggiore conservatività, nell'equivalenza tra valore di NTU e SST, si adotterà anche un opportuno coefficiente di sicurezza.

Inoltre, tale sonda sarà anche attrezzata con una centralina dotata di segnalatore acustico e luminoso che, opportunamente programmata, provvederà ad avvisare l'operatore presente in cantiere in caso di superamento del valore di SST, in modo che egli possa intervenire per interrompere lo scarico diretto.

## 11 CRONOPROGRAMMA PE

Il cronogramma delle attività di dragaggio e gestione dei sedimenti prevede una durata totale di 2187 giorni.

Il cronogramma dei dragaggi deve necessariamente essere pianificato in relazione alle lavorazioni nell'area logistica S3 Nord, S3 Sud, L2 e Cava "La Bosca".

Si riporta pertanto il cronoprogramma generale in cui sono riportate tutte le attività del IV Stralcio (rif. doc, 1114-E-GEE-ETE-CR-01-0).

Come indicato nel cronoprogramma, le fasi di escavo dei fondali (con gestione dei materiali a terra) inizieranno

- per il dragaggio di 1° stralcio (stralcio 3): dopo 2 mesi dall'inizio contrattuale
- per il dragaggio del presente stralcio; dopo 7 mesi dall'inizio contrattuale.

In tale periodo si dovrà quindi:

- realizzare le vasche di deposito temporaneo
- realizzare le piste delle aree logistiche S3Nord, L2, S3Sud, fino al presidio di cantiere accessi esterni compresi

Potrà quindi iniziare il conferimento del materiale di dragaggio secondo i ritmi dettati dalle lavorazioni di escavo e trasporto nei depositi intermedi (vasche prefabbricate).

