



Comune di  
**La Maddalena**  
Provincia di  
Olbia-Tempio

approvazione

## AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO DPC

*COMPLETAMENTO OPERE DI BONIFICA  
SPECCHIO ACQUEO EX ARSENALE  
MILITARE DI LA MADDALENA  
AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO*

Elab. n.

**R1**

titolo

## RELAZIONE GENERALE

scala

data

Maggio 2016

committente

Comune di La Maddalena

responsabile unico procedimento

Ing. Giovanni Nicola Cossu

progetto n.	data
	Maggio 2016
file	
approvato	data
revisione	data

PROF. ING. PAOLO DE GIROLAMO



COMPLETAMENTO OPERE DI BONIFICA SPECCHIO ACQUEO EX ARSENALE MILITARE DI LA  
MADDALENA

AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE

**INDICE**

1	PREMESSE .....	3
2	LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO .....	6
2.1	Localizzazione .....	6
2.2	Descrizione dell'area .....	8
3	SINTESI DELLE ATTIVITA' TECNICO-AMMINISTRATIVE DEL PROGETTO DEL DPC .....	11
3.1	Attività pregresse .....	11
3.2	Verifica di fondo scavo .....	11
3.3	Approfondimenti delle indagini ambientali .....	12
3.4	Risultati conclusivi delle indagini integrative ambientali.....	13
3.5	Progetto preliminare del DPC - Completamento della bonifica della zona Ex Arsenale ....	13
3.6	Verbale della riunione del 07/09/2011 - Parere sul progetto preliminare del DPCM.....	13
3.7	Indagini geotecniche, geofisiche e ambientali integrative eseguite per la redazione del progetto definitivo .....	14
3.8	Progetto definitivo del DPC - Completamento della bonifica della zona Ex Arsenale.....	16
4	SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI DELLE ATTIVITA' DI CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E DEI DATI DI BASE .....	19
4.1	Contaminazione dei sedimenti.....	19
4.2	Spessore dello strato contaminato dei sedimenti .....	19
4.3	Morfologia dei fondali ed elementi da salpare .....	27
4.4	Stratigrafia e caratteristiche meccaniche del materiale da dragare.....	29

4.5	“Bersagli ambientali “ .....	33
4.6	Topografia, caposaldi, batimetrie e quote .....	34
4.7	Caratteristiche sedimentologiche del materiale inquinato .....	35
5	PROGETTO DEFINITIVO DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE DELL'AREA MARINA.....	39
5.1	Descrizione preliminare degli interventi .....	39
5.2	Attività propedeutiche alla preparazione del piano di posa del sistema di tenuta ambientale .....	40
5.3	Preparazione del fondale .....	45
5.4	Elementi di tenuta ambientale.....	46
6	Studi specialistici eseguiti a supporto del progetto definitivo .....	54
6.1	Studio meteomarinario .....	54
6.2	Studio dell'agitazione ondosa portuale .....	56
7	Costo degli interventi.....	57
8	Tempi .....	58

ALLEGATO 1 – Indagini integrative gennaio 2011 – Sintesi delle analisi di laboratorio

ALLEGATO 2 – Completamento delle opere di bonifica dello specchio acqueo antistante l'ex arsenale militare di La Maddalena – Comitato Tecnico locale per l'attuazione del Protocollo di Intesa – Verbale n.2 del 24/04/2014

ALLEGATO 3 – Completamento delle opere di bonifica dello specchio acqueo antistante l'ex arsenale militare di La Maddalena – Comitato Tecnico locale per l'attuazione del Protocollo di Intesa – Verbale n. 3 del 04/02/2015

# 1 PREMESSE

Con riferimento alla Determinazione n. 1501 del 05/12/2014, il Comune di La Maddalena ha conferito al Prof. Ing. Paolo De Girolamo l'incarico avente per oggetto:

"Completamento opere di bonifica specchio acqueo ex arsenale militare di La Maddalena, affidamento incarico revisione progetto definitivo aspetti idraulico-marittimi"

La presente relazione costituisce la Relazione Generale del progetto revisionato.

Con riferimento all'incarico, si precisa che il progetto originale oggetto di revisione è il progetto definitivo redatto dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale che riguarda esclusivamente lo specchio acqueo di Cala Camicia, e che presenta una superficie a mare complessiva di circa 70.000 m<sup>2</sup>.

Il presente progetto scaturisce da una revisione del progetto originale eseguita sulla base delle indicazioni fornite dal Rup. Ing. Nicola Cossu del Comune di La Maddalena.

Le indicazioni fornite dal RUP sono scaturite dai due verbali di seguito richiamati e allegati per completezza alla presente relazione. I verbali in questione sono:

- Verbale n. 2 del 24/04/2014 del Comitato tecnico di coordinamento locale per l'attuazione del Protocollo d'intesa;
- Verbale n. 3 del 04/02/2015 del Comitato tecnico di coordinamento locale per l'attuazione del Protocollo d'intesa.

In particolare l'Ing. Cossu, in data 5/11/2015, ha dato mandato al Prof. Paolo De Girolamo di rivedere il progetto della Protezione Civile prevedendo di estendere all'intero bacino di Cala Camicia il "Sistema di tenuta ambientale del fondale", con l'esclusione dello "strato di protezione permeabile reattivo", previsto nell'ambito del progetto definitivo sviluppato dalla Protezione Civile. Sostanzialmente quindi, rispetto al Progetto della Protezione Civile, non si esegue il dragaggio e il trattamento del materiale inquinato posto sul fondo della darsena, mentre si esegue sull'intero bacino una sorta di "capping" la cui funzione è quella di confinare "in situ" il materiale inquinato rispettando le prescrizioni/raccomandazioni emerse dai citati verbali.

Una ulteriore condizione che è stata posta circa la validità della progettazione in argomento, ha riguardato l'esito positivo delle prove di laboratorio da affidare ad un esperto in materia, che dovevano riguardare:

"Prove di diffusione di inquinanti in acqua di mare attraverso un sistema barriera di tenuta ambientale con relativo affiancamento tecnico di valutazione delle prove" per l'opera denominata "Completamento delle opere di bonifica dello specchio acqueo relativo all'ex arsenale militare di La Maddalena", da attuarsi in base alle indicazioni definite dal Comitato

*tecnico di coordinamento locale per l'attuazione del Protocollo d'intesa, al fine di comprendere la necessità di utilizzare o meno lo strato permeabile reattivo del capping proposto con progetto definitivo predisposto dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione civile. In particolare l'obiettivo della sperimentazione con le relative prove sarà quello di accertare sperimentalmente la necessità o meno di uno strato permeabile reattivo nel capping di cui al progetto, ossia stimare il "valore aggiunto" di tale strato in termini di decremento della conducibilità idraulica o di coefficiente di trasporto del sistema barriera. L'affiancamento tecnico di valutazione delle prove dovrà inoltre dare riscontro alla necessità di comprendere se sia giustificato economicamente la presenza di uno strato permeabile reattivo.*

*In particolare per le prove di laboratorio vale quanto segue:*

- 1) Le prove dovranno stabilire se la presenza o meno di uno strato permeabile reattivo (nel sistema barriera di cui al progetto del Prof. De Girolamo), fornisca o meno "valore aggiunto" in termini di "barriera" di tutti gli inquinanti presenti nei sedimenti (si evidenzia "tutti" perché la suscettività alla rimozione in una BPR è diversa da inquinante a inquinante). I criteri utilizzati per le prove e le criticità del sistema barriera oggetto della sperimentazione dovranno essere chiaramente dettagliati.*
- 2) Lo strato di materiale permeabile reattivo oggetto della prova dovrà essere quello previsto nel progetto già presentato e gli inquinanti utilizzati nella simulazione dovranno essere qualitativamente quelli realmente riscontrati nel sedimento del fondale di La Maddalena: idrocarburi C>12, Idrocarburi Policiclici Aromatici, metalli Mercurio, Arsenico, Piombo e Zinco.*
- 3) Potrà essere utilizzata una massa simulante creata in laboratorio con caratteristiche analoghe a quelle riscontrate nella caratterizzazione dei fondali o più critica in termini di contenuto di inquinanti.*

Con Determinazione del Dirigente della Direzione OO.PP. Reg. Gen. N. 1538 e di Sett. n. 264 del 12/12/2015, è stato affidato al professionista Prof. Carlo Merli l'incarico professionale per la "Verifica sperimentale della tenuta agli inquinanti disciolti in acqua di mare di una membrana in HPDE in presenza o meno di una membrana attiva" rivolta ad ottemperare quanto sopra indicato.

In data 05/05/2016 prot. 6871 del 13.05.2016, il Prof. Carlo Merli ha provveduto a trasmettere gli elaborati richiesti dai partecipanti alla conferenza di servizi del 09/12/2015 relativamente alle "Prove di diffusione di inquinanti attraverso membrane HPDE effettuate per conto del Comune di La Maddalena".

A seguito dell'esito favorevole delle prove sperimentali e in accordo con il quadro economico trasmesso dal RUP, si è quindi provveduto alla emissione del presente progetto definitivo.

Il presente progetto copre un'area, posta all'interno di Cala Camicia, pari a circa 58.271 m<sup>2</sup>, mentre il Progetto Definitivo del Dipartimento della Protezione Civile (DPC) copriva un'area di circa 67.984 m<sup>2</sup>. Pertanto l'area oggetto d' intervento è stata ridotta di circa 9.713 m<sup>2</sup>. Tale riduzione, ottenuta escludendo dalla zona sud dell'area di intervento una fascia larga circa 50,5 m, si è resa necessaria per rientrare con l'importo dei lavori, in quanto previsto dal quadro economico trasmesso dal RUP.

Le aree di intervento indicate schematicamente nella presente relazione devono intendersi indicative e finalizzate ad una descrizione prevalentemente qualitativa dell'intervento.

Le aree effettive da intendersi anche in senso quantitativo sono quelle riportate negli elaborati grafici del presente progetto.

## **2 LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO**

### **2.1 Localizzazione**

L'area marina oggetto degli interventi di completamento della bonifica dei fondali di cui al presente progetto definitivo, è localizzata nella zona antistante l'ex Arsenale di La Maddalena in località Cala Camicia (vedi figg. 2.1 e 2.2), ricadente nel Comune di La Maddalena, Provincia di Olbia-Tempio.

Cala Camicia si colloca in un ambiente di particolare pregio naturalistico, storico e culturale, essendo all'interno del Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena e del Sito di Interesse Comunitario (SIC) "Arcipelago La Maddalena" ai sensi della Direttiva 92/43/CEE (codice sito ITB010008).

La zona è delimitata lungo i confini ovest, nord ed est da banchine a parete verticale ed è collegata, lungo il confine sud, alla Rada di S. Stefano, compresa tra l'omonima Isola e le Isole di La Maddalena e di Caprera.

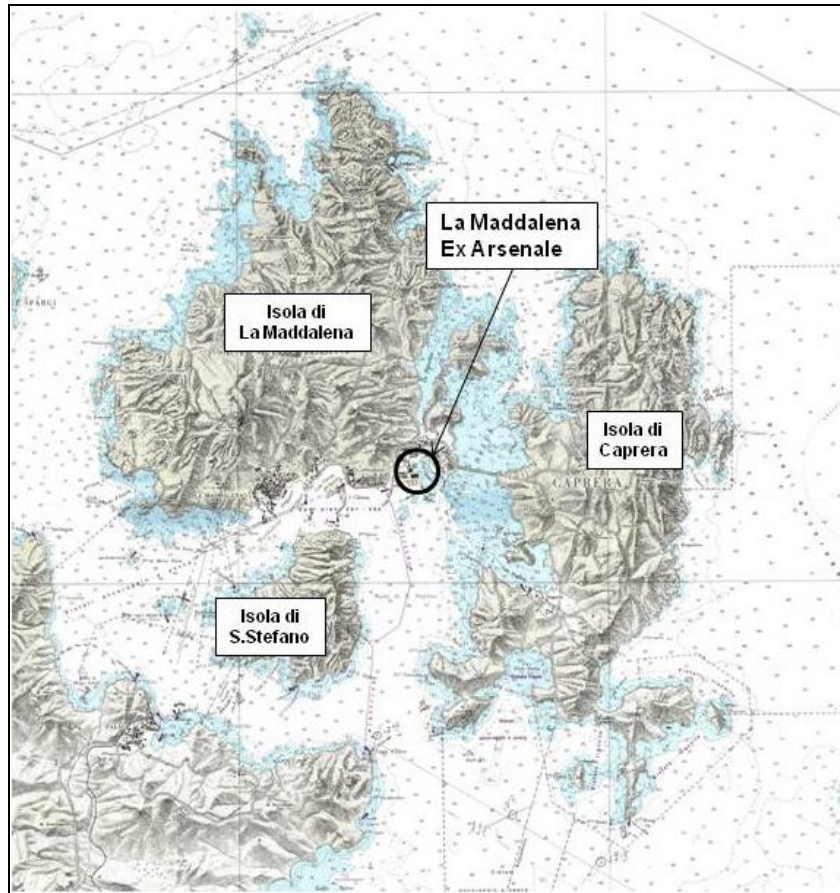


Fig. 2.1 – Localizzazione: Ex Arsenale di La Maddalena



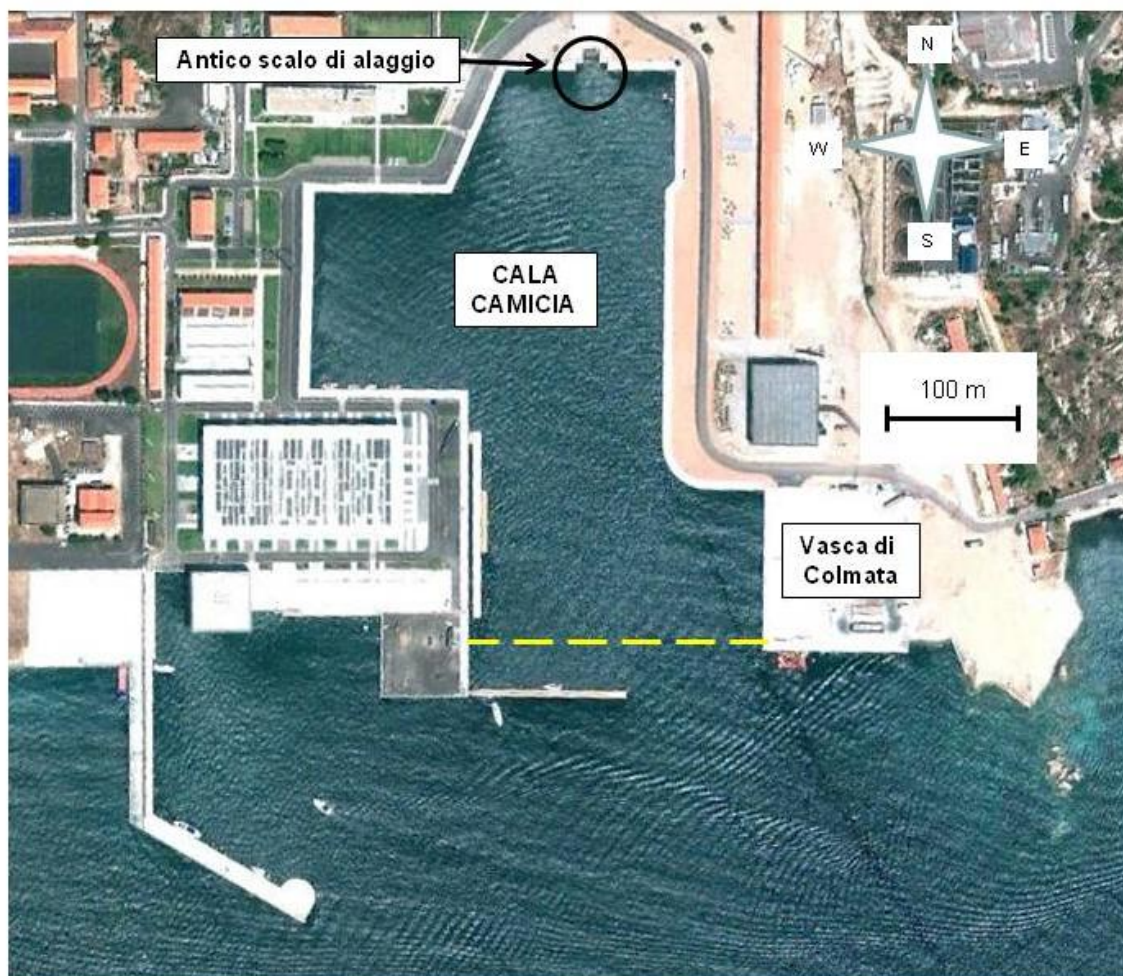


Fig. 2.2 – Localizzazione: Cala Camicia nell’area Ex Arsenale di La Maddalena. La linea tratteggiata gialla indica il confine sud dell’area marina oggetto della bonifica

## 2.2 Descrizione dell’area

Lo specchio d’acqua oggetto dei lavori di completamento della bonifica dei fondali presenta una superficie di circa 70.000 m<sup>2</sup> ed è delimitato lungo i confini ovest, nord ed est da muri di sponda (banchine) a parete verticale che sono stati realizzati per finalità di portualità turistica.

Come descritto nel seguito, l’area è stata già oggetto di un dragaggio di prima fase finalizzato alla bonifica dei fondali. In questo contesto è stata realizzata una vasca di colmata di forma pressocchè quadrata, delle dimensioni in pianta di circa 100,0 x 100,0 m<sup>2</sup>, delimitata, lato mare, da una banchina in cassoni prefabbricati. Il materiale dragato nella prima fase è stato posto nella vasca di colmata, la quale è stata preventivamente impermeabilizzata mediante l’impiego di una geomembrana di HPDE da 2 mm interposta a due teli di geotessile con funzione di protezione e rinforzo. Il materiale posto nella vasca è stato stabilizzato in situ per ottenere idonee caratteristiche ambientali e meccaniche così come previsto nell’Ordinanza n. 3716 del 19/11/2008 G.U. n. 284 del 04/12/2008. Infine la vasca è stata impermeabilizzata anche superiormente. Attualmente la vasca non è in grado di accogliere altro materiale.

Lungo la banchina nord è localizzato l'antico scalo di alaggio dell'Arsenale Militare che è stato oggetto, nell'ambito dei lavori eseguiti per il G8, di un intervento di recupero conservativo.

Le banchine che delimitano l'area sono costituite da cassoncini prefabbricati con coronamento gettato in opera, appoggiati su scanno d'imbasamento in pietrame realizzato in parte in rilevato e in parte in cunetta (vedi fig. 2.3). Lo scanno in cunetta è stato ottenuto mediante preventivo dragaggio e successiva livellazione dei fondali con pietrame. Le profondità d'imbasamento di progetto delle banchine sono mediamente comprese tra -3,00 m e - 5,50 m, fatta eccezione per le banchine relative alla vasca di colmata, che presentano profondità di progetto comprese tra -4,00 m e -9,50 m.

Con riferimento allo specchio d'acqua oggetto del completamento della bonifica, i fondali tendono mediamente a decrescere spostandosi da sud verso nord con profondità che vanno da circa -8,0 ÷ -11,0 m in corrispondenza della zona sud fino a raggiungere profondità minime dell'ordine di -2,5 ÷ -3,0 m nella zona nord in prossimità dello scalo di alaggio.

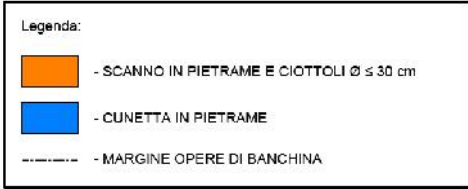
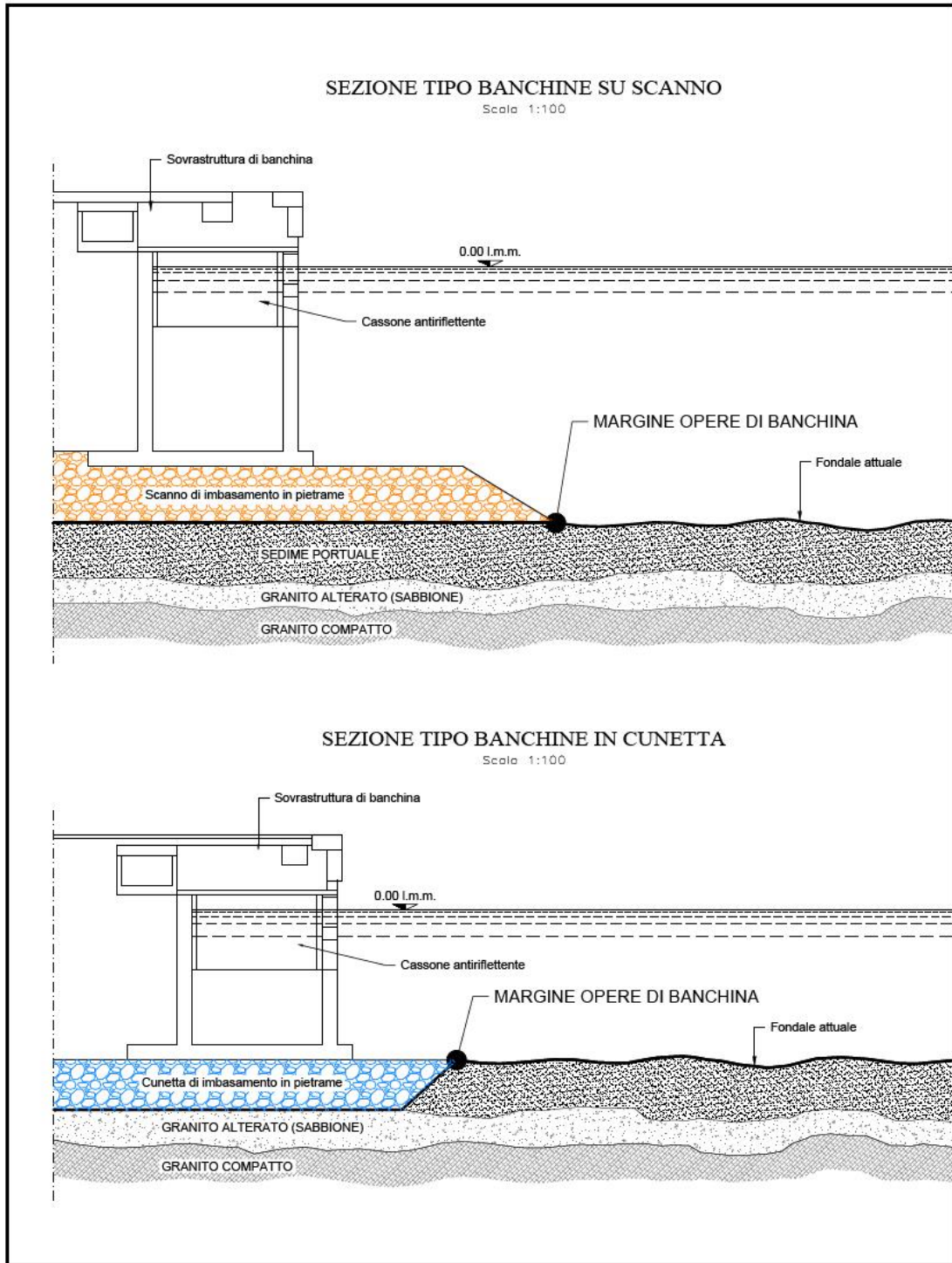


Fig. 2.3 – Schema sezioni tipo banchine

### **3 SINTESI DELLE ATTIVITA' TECNICO-AMMINISTRATIVE DEL PROGETTO DEL DPC**

#### **3.1 Attività pregresse**

L'area marina antistante l'ex Arsenale di La Maddalena è stata inclusa nel Sito di Interesse Nazionale "La Maddalena" con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3716 del 19 novembre 2008. In tale area era necessario eseguire attività di dragaggio per l'approfondimento dei fondali.

ISPRA ha predisposto nel settembre 2008 un "Piano di Caratterizzazione Ambientale dei fondali dell'area marina antistante l'ex – Arsenale nel Comune di La Maddalena (OT)" (rif. doc. # CII-Pr-SA-MA-01.01), adeguando la strategia d'indagine dei fondali a quanto previsto dalla normativa vigente e aggiornandolo con le procedure, individuate dall'istituto stesso, ormai consolidate e utilizzate nelle caratterizzazioni ambientali di siti altamente contaminati (Siti di Interesse Nazionale).

I risultati di tale caratterizzazione, eseguita dalla Protezione Civile, sono riportati nel documento ISPRA "Risultati della caratterizzazione ambientale dei fondali prospicienti il sito denominato "ex Arsenale" nel Comune di La Maddalena (OT)", inviato alla Presidenza del Consiglio dei Ministri e al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in data 28 novembre 2008 (prot. n. 040250).

Nel gennaio 2009 è stata predisposta un' "Integrazione al piano di caratterizzazione ambientale dei fondali dell'area marina antistante l'ex arsenale nel Comune de La Maddalena" (rif. doc. ISPRA # CII-Pr-SA-Ma-02.01), su richiesta del Comune di La Maddalena, per la caratterizzazione dell'area marina, esterna all'ex arsenale, compresa tra Cala Camiciotto e Punta Moneta, illustrata nella Conferenza di Servizi istruttoria del 28 gennaio 2009 e successivamente realizzata dalla Protezione Civile nel febbraio 2009. I risultati non hanno evidenziato situazioni di particolare contaminazione.

#### **3.2 Verifica di fondo scavo**

Al termine dell'attività di dragaggio è stata eseguita, da parte della Protezione Civile, una verifica della qualità dei fondali dragati, come anche previsto dall'art. 5 del decreto attuativo 7 novembre 2008 "Disciplina delle operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale, ai sensi dell'articolo 1, comma 996, della legge 27 dicembre 2006, n. 296. (G.U. n. 284 del 4 dicembre 2008)".

L'analisi dei risultati, riportati nel documento ISPRA "Verifica di fondo scavo dei fondali dell' "ex Arsenale" nel comune di La Maddalena (OT). Risultati della caratterizzazione ambientale", inviato alla Presidenza del Consiglio dei Ministri e al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in data 5 maggio 2010 (prot. n. 15254) ha evidenziato una persistenza della contaminazione nei sedimenti superficiali (0-50 cm) dei fondali, dovuta principalmente a Mercurio e Idrocarburi C  $\geq 12$ , distribuita in modo omogeneo su quasi tutta l'area indagata; inoltre il substrato roccioso, presente in maniera discontinua, non consente la definizione di uno spessore certo di sedimento incoerente potenzialmente contaminato su cui avviare la bonifica.

### 3.3 Approfondimenti delle indagini ambientali

Con lettera prot. n. 2280/TRI/DI del 17 maggio 2010 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare chiedeva a ISPRA e ARPAS di indicare gli eventuali approfondimenti e le necessarie misure da intraprendere per la conclusione degli interventi di dragaggio con finalità ambientale dello specchio d'acqua interno all'ex Arsenale militare.

ISPRA, con nota prot. n. 24541 del 20 luglio 2010, forniva i criteri di base per una indagine geofisica, quale attività prioritaria per la definizione dell'assetto e dell'estensione del substrato roccioso, funzionali alla definizione dello spessore di sedimento incoerente presente ed alla pianificazione di un'adeguata strategia di bonifica dell'area marina.

Nel corso della Conferenza di Servizi istruttoria del 14 luglio 2010, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare chiedeva alla Protezione Civile la presentazione di un progetto definitivo di bonifica per l'area marina. Per la redazione del progetto definitivo, la Protezione Civile ha richiesto:

- all'ISPRA il supporto tecnico-scientifico in relazione all'attività prioritaria di esecuzione delle indagini geofisiche;
- alla Fondazione dell'Università dell'Aquila di assumersi la progettazione e la direzione lavori degli interventi (vedi convenzione riportata nelle premesse del presente documento).

I risultati delle indagini geofisiche ("Rilievi di geofisica/geologia marina nelle aree Arsenale e P.ta Chiara nell'Isola de La Maddalena. Rapporto definitivo") eseguite dalla Sapienza, Università di Roma (di seguito Sapienza) ad Ottobre 2010, e trasmessi a Protezione Civile, ISPRA, ARPAS e Provincia Olbia Tempio in forma preliminare il 3 novembre 2010, e in via definitiva il 22 dicembre 2010 (prot. Sapienza n. 1437), evidenziavano la necessità di eseguire alcune indagini integrative per la definizione dei reali spessori di sedimento da sottoporre a bonifica.

A seguito di ciò viene pertanto predisposto da ISPRA e Sapienza un documento contenente tali integrazioni, dal titolo "Indagini integrative finalizzate alla definizione del progetto di bonifica dei fondali prospicienti l'ex arsenale nel comune di La Maddalena", inviato alla Protezione Civile con nota prot. n. 38988 del 17 novembre 2010 ed illustrato nel corso della Conferenza di Servizi istruttoria del 18 novembre 2010.

Nel gennaio 2011 è stata eseguita a La Maddalena nella zona dell'ex Arsenale e P.ta Chiara la campagna di campionamenti (Vibrocarotaggi e BoxCorer) definita nel documento ISPRA - Dip. di Scienze della Terra del novembre 2010.

Nel mese di aprile 2011 il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma La Sapienza ha emesso i seguenti rapporti:

- in data 01/04/2011: *Analisi granulometriche di carote di sedimento marino nell'area "arsenale" nell'ambito delle attività definite dall'atto aggiuntivo alla convenzione Università di Roma - Dipartimento per la Protezione civile, finalizzata all'esecuzione di rilievi di geologia/geofisica marina all'isola della "Maddalena";*

- in data 18/04/2011: *Rapporto definitivo sulle indagini sedimentologiche (anno 2011) Nelle aree Arsenale e P.ta Chiara nell'Isola de La Maddalena.*

contenenti i risultati delle indagini sedimentologiche eseguite sui campionamenti prelevati nel mese di gennaio 2011.

### **3.4 Risultati conclusivi delle indagini integrative ambientali**

A conclusione delle attività, l'ISPRA ha emesso il documento dal titolo:

- Indagini integrative finalizzate alla definizione del progetto definitivo di bonifica dei fondali prospicienti l' "EX Arsenale" nel Comune di La Maddalena (OT) (maggio 2011).

Nel documento l'ISPRA riassume le indagini eseguite di geofisica e di caratterizzazione dei sedimenti ed i risultati ottenuti. Inoltre il documento fornisce indicazioni di carattere sia specifico sia generale sulle attività di dragaggio ambientale, sul monitoraggio ambientale delle attività di bonifica e sulla verifica di fondo scavo.

### **3.5 Progetto preliminare del DPC - Completamento della bonifica della zona Ex Arsenale**

Preliminarmente al Progetto Definitivo, oggetto della presente relazione, il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ha ritenuto opportuno redigere un progetto preliminare degli interventi al fine di analizzare e comparare sotto il profilo tecnico, economico e ambientale le possibili soluzioni alternative. Il progetto preliminare degli interventi è stato consegnato dalla Fondazione dell'Università dell'Aquila al Dipartimento della Protezione Civile nel mese di maggio del 2011.

Le principali soluzioni analizzate con il progetto preliminare hanno riguardato: la realizzazione di una vasca di colmata in località Punta Chiara (La Maddalena) destinata ad accogliere il materiale di dragaggio e avente la funzione ultima di terminale marittimo per il traffico ro-pax tra la Maddalena e Palau; la realizzazione di un sistema di tenuta ambientale del fondale da porre in essere lungo il margine delle banchine dove il dragaggio comprometterebbe la stabilità stessa delle banchine; l'esecuzione del dragaggio mediante draga idraulico-meccanica in alternativa al dragaggio meccanico effettuato mediante benna ambientale; la possibilità di mettere all'asciutto Cala Camicia e quindi di effettuare lo scavo (dragaggio) con mezzi terrestri.

Per una descrizione dettagliata del progetto preliminare e delle soluzioni esaminate si rimanda ai documenti di progetto depositati presso il DPC.

### **3.6 Verbale della riunione del 07/09/2011 - Parere sul progetto preliminare del DPCM**

In data 07/09/2011, presso la Direzione Generale del TRI si è tenuta una riunione tecnica al fine di valutare le problematiche relative al "Progetto Preliminare Completamento della Bonifica Darsena Ex Arsenale Marina Militare" predisposto dal DPC, finalizzato alla predisposizione del progetto

definitivo di bonifica dell'Area Marina. Alla riunione sono stati invitati il DPC, la Regione Sardegna, la Provincia di Olbia, il Comune di La Maddalena, l'Ente Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena, l'A.R.P.A.S Sardegna, l'ASL n.2 Olbia, il RAM, Marisardegna, la Capitaneria di Porto di La Maddalena, l'ISS e l'ISPRA.

Preliminarmente alla riunione, la Direzione Generale per la tutela del Territorio e delle Risorse Idriche del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, aveva inviato a tutti i convenuti il parere tecnico dell'ISPRA sul progetto preliminare emesso in data 12/08/2011 Prot. N. 0026983, acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare al prot. N. 26208 /TRI/DI del 18/08/2011.

Il verbale della riunione del 07/09/2011 è stato trasmesso dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la tutela del territorio e delle risorse idriche, con Prot. 27729 del 12/09/2011.

### **3.7 Indagini geotecniche, geofisiche e ambientali integrative eseguite per la redazione del progetto definitivo**

Al fine di acquisire le informazioni necessarie per le attività di dragaggio dei sedimenti presenti sul fondale e per analizzare la stabilità delle banchine perimetrali della darsena di Cala Camicia in seguito alle attività di dragaggio, in sede di progetto preliminare si è reso necessario pianificare attività di indagini geognostiche, geofisiche ed ambientali integrative.

Tali attività sono state eseguite in ottemperanza delle specifiche tecniche definite dalla Fondazione dell'Università dell'Aquila in sede di progetto preliminare. Le indagini di campo, avvenute tra il mese di dicembre 2011 e il mese di marzo 2012, sono state eseguite dal Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università di Firenze che si è avvalso della collaborazione dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste.

I risultati di queste attività sono riportati in appositi documenti separati rispetto al presente progetto.

In sintesi le finalità delle indagini integrative sono state:

- acquisire informazioni dettagliate sulla stratigrafia del fondale e sulle proprietà geotecniche dei sedimenti di copertura e del substrato roccioso per le verifiche di stabilità geotecnica delle banchine e per pianificare le attività di dragaggio;
- acquisire informazioni suppletive di carattere chimico-fisico e ambientale dei sedimenti ai fini della progettazione dei sistemi di tenuta ambientale del fondale ricadente in prossimità del piede delle banchine (fascia di rispetto) dove non potranno essere effettuati interventi di dragaggio e per il progetto del ciclo di trattamento del materiale da dragare mediante draga idraulica;
- definire il l.m.m. locale in funzione di quello di Porto Torres dove è disponibile una serie storica mareografica pluriennale (vedi studio meteomarinario allegato al progetto);
- esecuzione del rilievo topografico e batimetrico della parte sommersa dello scalo di alaggio posto nella zona nord di Cala Camicia.

Le attività d'indagine eseguite nell'area sono consistite in indagini geofisiche, geognostiche, ambientali suppletive e batimetriche.

Le indagini geofisiche sono state realizzate sia in terra in corrispondenza delle aree di banchina, sia in corrispondenza dell'area marina inclusa nell'ex-darsena al fine di acquisire informazioni relative al fondale. Esse sono consistite in:

- prove sismiche in foro tipo "Cross-Hole" eseguite in corrispondenza del piano di campagna a monte delle banchine: l'obiettivo delle indagini è stato quello di ottenere le caratteristiche sismiche degli strati (Velocità delle onde P e S) e la stima del parametro  $V_{s,30}$  per la determinazione della categoria di sottosuolo.
- indagini sismiche su natante con sorgente sparker/uniboom, per la realizzazione di profili sismici incrociati in corrispondenza del fondale dell'area dell'ex arsenale: l'obiettivo delle indagini è stato quello di caratterizzare dal punto di vista sismico i sedimenti sciolti superficiali e individuare il tetto dello strato roccioso e dell'interfaccia tra sedimenti sciolti e il granito degradato. I profili sismici hanno avuto anche la funzione di consentire il posizionamento di precisione delle indagini geognostiche puntuali previste sul fondale al fine di consentire il completo conseguimento degli obiettivi di campionamento ambientale e di indagine geotecnica.

Le indagini geognostiche e suppletive ambientali dello specchio d'acqua di cala Camicia sono consistite nell'esecuzione di:

- Carotaggi ambientali suppletivi e geognostici;
- Prove penetrometriche dinamiche continue;
- Prelievo di campioni di sedime e trasporto al laboratorio di analisi ambientali dell'Università di Firenze;
- Prelievo di campioni all'interno dello strato di roccia alterata (sabbia di alterazione);
- Prelievo di campioni lapidei all'interno del substrato roccioso;
- Analisi fisiche e geotecniche di laboratorio sui campioni di sabbia e lapidei.

L'obiettivo delle indagini geognostiche sia in situ che in laboratorio è stato quello di ottenere informazioni dettagliate circa le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle unità stratigrafiche che costituiscono il fondale, a supporto delle attività di dragaggio e di messa in sicurezza delle banchine.

Le indagini batimetriche hanno riguardato il rilievo in corrispondenza dell'antico scalo di alaggio, al fine di rilevare il margine della parte sommersa del manufatto e della fascia di fondale ad esso circostante. Inoltre è stata rilevata la variazione del livello medio marino al fine di agganciare le quote locali al l.m.m. di Porto Torres. E' stato inoltre realizzato il rilievo dei fondali mediante tecnica multibeam allo scopo di aggiornare, a distanza di un più di un anno, quello eseguito in precedenza.

Per una descrizione dettagliata delle indagini eseguite e dei risultati ottenuti, si rimanda ai seguenti documenti emessi dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze e dall'Istituto Nazionale di Oceanografia Geofisica Sperimentale di Trieste, trasmessi al Dipartimento della Protezione Civile che non sono inclusi nel presente progetto.

- Relazione geotecnica;
- Appendice 1 – Certificati prove di laboratorio;
- Appendice 2 – schede riassuntive log-stratigrafiche e prove penetrometriche;
- Rilievi topografici e batimetrici in corrispondenza dello scalo di alaggio;
- Rilievi batimetrici e del livello del mare;



- Prospezioni sismiche monocanale a mare;
- Indagini sismiche in foro "Cross-Hole".

In fig. 3.1 è riportata la planimetria dell'ubicazione dei sondaggi estratta da una delle tavole di progetto. La planimetria include anche i sondaggi eseguiti dall'ISPRA sia per la verifica di fondo scavo sia per l'analisi integrativa descritta in precedenza.

### **3.8 Progetto definitivo del DPC - Completamento della bonifica della zona Ex Arsenale**

Il Progetto Definitivo del DPC è stato completato nel mese di Ottobre 2012.

Gli interventi previsti dal progetto definitivo del DPC possono essere suddivisi in due tipologie principali:

- A. rimozione mediante dragaggio del materiale contaminato;
- B. messa in sicurezza ambientale della fascia di rispetto posta al margine delle banchine mediante realizzazione del "sistema di tenuta ambientale".

L'intervento di tipo B viene realizzato al margine delle banchine dove per ragioni connesse alla stabilità statica delle stesse banchine non è possibile rimuovere il materiale contaminato. Da un punto di vista temporale il progetto prevede che venga eseguito prima l'intervento di dragaggio e poi il sistema di tenuta ambientale al margine delle banchine.

Il dragaggio del materiale contaminato viene eseguito utilizzando due tecniche:

- un dragaggio meccanico mediante l'impiego di benna ambientale (dragaggio meccanico);
- un dragaggio idraulico mediante l'impiego di draga aspirante-reflente (sorbona).

Il dragaggio idraulico viene utilizzato per rimuovere il materiale dalle aree dove lo spessore dello strato superficiale inquinato, costituito da materiale incoerente, risulta troppo piccolo (inferiore ad 1,0 m) da poter essere dragato mediante la benna.

Il materiale dragato con la draga aspirante-refluente, viene trasferito tramite tubazione direttamente a terra nelle vasche predisposte nelle aree di cantiere localizzate ad est di Cala Camicia, dove subisce un processo di trattamento e recupero prima di essere conferito alla destinazione finale.

Il materiale dragato meccanicamente viene caricato su bette o comunque su idonei mezzi marittimi, e si prevede che venga conferito alle vasche di colmata di Piombino.

Preliminarmente alle attività di dragaggio, si prevede che vengano installate le aree di cantiere e che vengano delimitati gli specchi liquidi con un idoneo sistema di "panne" rivolto ad evitare che materiale messo in sospensione accidentalmente possa diffondersi al di fuori dell'area oggetto della bonifica. Inoltre si prevede il salpamento dall'area da bonificare degli elementi di ormeggio (corpi morti, catenarie, ecc.) e dei trovanti presenti sul fondo della stessa area.

Durante le operazioni di dragaggio e di trattamento il controllo della qualità dei materiali dragati e delle acque di scarico provenienti dal ciclo di trattamento avverrà tramite prelievo di campioni che verranno sottoposti alle analisi di caratterizzazione chimico-fisica previste dalla normativa.



SONDAGGI AMBIENTALI CONDOTTI DA ISPRA E DAL DIPARTIMENTO DI SCIENZA DELLA TERRA DELL'UNIVERSITA' DI ROMA "LA SAPIENZA"	
▲ MD 03/00.n	-SONDAGGI "FONDO SCAVO" NOVEMBRE 2009 (spessore 0.50 m)
● MA2_n	-SONDAGGI INTEGRATIVI GENNAIO 2011 (box corer e vibrocarotaggi)
---	-GRIGLIA SONDAGGI "FONDO SCAVO" NOVEMBRE 2009
SONDAGGI GEOGNOSTICI CONDOTTI DAL DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA - UNIVERSITA' DI FIRENZE E ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE (DICEMBRE 2011 / GENNAIO 2012)	
● Sa.n	-SONDAGGI GEOTECNICI PER STRATIGRAFIE E CARATTERISTICHE MECCANICHE
● Ba-n	-CAMPIONAMENTI SUPERFICIALI DEI SEDIMENTI (MAX 0.50 m) PER IL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE

Fig. 3.1 – Planimetria ubicazione sondaggi. Vedi anche tavola di progetto

## **4 SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI DELLE ATTIVITA' DI CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E DEI DATI DI BASE**

Si riporta di seguito la sintesi dei principali risultati delle attività di caratterizzazione eseguite dall'ISPRA con il supporto del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma La Sapienza e dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze che si è avvalso della collaborazione dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste.

Si evidenzia che quanto di seguito riportato sulle indagini per la "verifica di fondo scavo" è stato desunto dalla relazione ISPRA, non essendo pervenuti agli scriventi i certificati di laboratorio relativi alle analisi sedimentologiche e chimiche.

### **4.1 Contaminazione dei sedimenti**

Dal punto di vista delle sostanze contaminanti si confermano quelle già individuate in precedenza (verifica di fondo scavo), ovvero la contaminazione dei sedimenti è dovuta principalmente a mercurio e idrocarburi  $\geq 12$  (con presenza anche di arsenico, rame, piombo e zinco).

Le concentrazioni delle sostanze contaminanti, pur risultando superiori a quelle minime previste dalla colonna B della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/08, non risultano tali da dover classificare il materiale contaminato come pericoloso.

### **4.2 Spessore dello strato contaminato dei sedimenti**

Per quanto riguarda lo spessore dei sedimenti contaminati, le indagini integrative hanno confermato, in tutta l'area, la presenza dello spessore minimo pari a 50 cm già individuato nell'ambito della verifica di fondo scavo. A tal riguardo occorre evidenziare che quest'ultima aveva interessato solo i primi 50 cm di fondale.

Per quattro dei dieci carotaggi eseguiti ai fini della caratterizzazione dei sedimenti nell'ambito delle indagini integrative (vedi fig. 4.1 e Tab. 4.1-4.5), lo spessore dello strato contaminato è risultato superiore a 50 cm, ovvero rispettivamente pari a:

- 60 cm (campione MA2\_5);
- 70 cm (campione MA2\_4);
- 80 cm (campione MA2\_8);
- 130 cm (campione MA2\_2).

mostrando inoltre una elevata eterogeneità spaziale come evidenziato dagli spessori del materiale contaminato relativi ai campioni MA2\_6 e MA2\_8 che, pur essendo posti uno in adiacenza all'altro, forniscono rispettivamente spessori di contaminazione pari a 50 e 80 cm.

Il campione che ha fornito il maggiore spessore del sedimento contaminato (campione MA2\_2 spessore sedimento contaminato pari a 130 cm) è localizzato nello spigolo nord-est della darsena dove la comparazione tra le batimetrie eseguite prima e dopo l'esecuzione dei lavori di dragaggio di prima fase, ha mostrato un'area, di modeste dimensioni, soggetta ad aumento dei fondali.

Lo spessore dello strato superficiale dei sedimenti costituito da materiale incoerente, che potenzialmente potrebbe essere contaminato, è estremamente variabile nell'area come si evince dalle sezioni sismiche e dalle mappe di interpretazione allegate al progetto definitivo.

Sigla dei Punti di Carotaggio/Prelievo											
	MA2_1	MA2_2	MA2_3	MA2_4	MA2_5	MA2_6	6Geo	MA2_7	MA2_8	MA2_9	MA2_10
X	536309	536386	536219	536288	536366	536376	536376	536313	536363	536400	536335
Y	4562970	4563014	4562833	4562833	4562835	4562722	4562724	4562676	4562726	4562574	4562907
p	0.57	2.30	0.80	2.40	2.30	1.95	2.30	2.00	1.20	2.90	1.60
L	0.65	2.08	0.68	2.12	1.80	1.78	2.85	1.80	1.06	2.95	1.40
c	114.0%	90.4%	85.0%	88.3%	78.3%	91.3%	123.9%	90.0%	88.3%	101.7%	87.5%
H	4.40	3.05	7.10	7.28	9.80	8.00	8.95	8.95	8.10	7.95	7.28

X; Y = Coordinate in UTMWGS84 - fuso 32 (m) X;Y = Est;Nord

p = Penetrazione (m) del vibrocarotiere

L = Lunghezza (m) del campione prelevato (spessore strato fondale investigato)

c = % percentuale di recupero del carotaggio

H = Profondità (m) del fondale

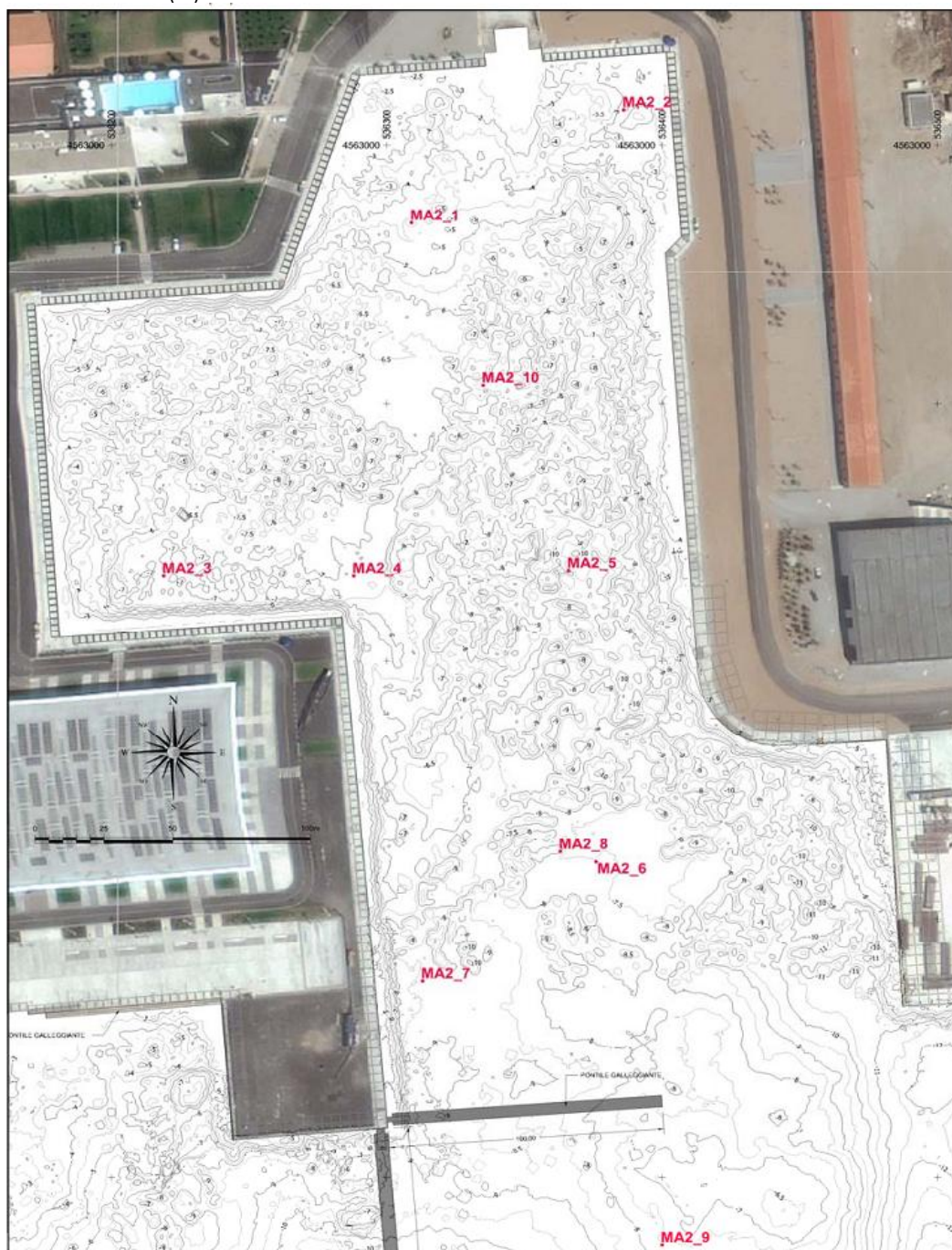





Fig. 4.1 – Localizzazione dei punti di prelievo dei campioni eseguiti per le indagini integrative di caratterizzazione dei sedimenti

Limiti di riferimento dei parametri chimici:

LDR-0 = Colonna A della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/06  
LDR-INF = Tabella 2 della relazione ISPRA Aprile 2010  
LDR-SUP = Colonna B della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/08

 CR < LDR-INF  
CR > LDR-INF  CR < LDR-SUP  
CR > LDR-SUP 

PC = Punto di CAMPIONAMENTO  
PQF = Profondità di Prelievo campione (cm) dalla Quota Fondale

		Parametri (mg/Kg SS)					
		Arsenico	Rame	Mercurio	Piombo	Zinco	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
		As	Cu	Hg	Pb	Zn	C>12
LDR-0		20	120	1	100	150	50
LDR-INF		20	160	0.5	180	283	315
LDR-SUP		50	600	5	1000	1500	750

PC	PQF	CR = Concentrazioni rilevate (risultati preliminari)					
MA2 - 01	BC	52	210	24	520	840	220
	10-20	11	22	2.2	45	82	230
	20-30	8.1	24	2.3	65	140	120
	30-40	14	110	9.3	144	220	340
	40-50	12	61	8.1	110	130	370
	60-65	4.6	5.3	0.38	9.9	19	28
MA2 - 02	BC	65	280	27	700	1000	410
	10-20	33	130	12	1200	1800	<5
	20-30	59	240	27	720	1100	100
	30-40	93	350	35	930	1500	1540
	40-50	63	330	26	530	1000	54
	50-60	92	370	26	550	1200	1000
	60-70	91	380	50	1400	1900	1800
	70-80	98	190	29	520	930	1900
	90-100	2.5	5.4	0.75	26	28	67
	120-130	5.3	13	1.6	20	25	<5
	150-160	3.0	4.3	0.2	5.1	18.0	<5
190-200	3.5	3.3	0.15	5.2	25	<5	
MA2 - 03	BC	72	470	25	820	1400	310
	10-20	87	300	27	970	1100	370
	20-30	80	250	24	310	640	370
	30-40	100	240	30	620	880	980
	40-50	110	110	31	430	880	450
	60-68	1.9	4.1	0.37	10	70	<5

BC = Campionamento superficiale con BOX-CORER

Tab 4.1 – Sintesi dei risultati delle analisi integrative di caratterizzazione dei sedimenti eseguite sui 10 campioni. Campioni MA2-01, MA2-02 MA2-03.

Limiti di riferimento dei parametri chimici:

LDR-0 = Colonna A della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/06  
LDR-INF = Tabella 2 della relazione ISPRA Aprile 2010  
LDR-SUP = Colonna B della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/08

CR < LDR-INF  
 CR > LDR-INF & CR < LDR-SUP  
 CR > LDR-SUP

PC = Punto di CAMPIONAMENTO  
PQF = Profondità di Prelievo campione (cm) dalla Quota Fondale

		Parametri (mg/Kg SS)					
		Arsenico	Rame	Mercurio	Piombo	Zinco	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
		As	Cu	Hg	Pb	Zn	C>12
<b>LDR-0</b>		20	120	1	100	150	50
<b>LDR-INF</b>		20	160	0.5	180	283	315
<b>LDR-SUP</b>		50	600	5	1000	1500	750

PC	PQF	CR = Concentrazioni rilevate (risultati preliminari)					
<b>MA2 - 04</b>	BC	56	280	11	230	1100	160
	10-20	59	480	11	200	1900	330
	20-30	100	130	21	320	520	610
	30-40	27	70	12	160	230	270
	40-50	5.2	15	1.3	28	51	42
	60-70	10	23	3.6	50	82	130
	80-90	3.5	3	<0,05	<1	5.1	<5
	100-110	3.8	2.8	<0,05	2	6.7	<5
	120-130	3.4	1.9	<0,05	<1	5.4	<5
	140-150	3.0	1.6	<0,05	<1	5.3	<5
	160-170	5.2	2	<0,05	1.6	7.5	<5
	180-190	4.9	2.7	<0,05	4	14	26
	200-212	5.4	3.5	<0,05	6.2	16	<5
<b>MA2 - 05</b>	BC	40	200	17	390	650	300
	10-20	12	88	6.2	140	200	220
	20-30	34	120	43	120	270	140
	30-40	52	130	12	290	480	720
	40-50	40	140	14	310	520	600
	50-60	51	120	16	330	480	820
	70-80	2.9	2.8	0.086	1.58	7.1	18
	90-100	3.0	2.0	<0,05	<1	5.1	25.0
	100-110	3.5	2.7	<0,05	1.1	6.3	<5
	120-130	3.0	2.2	<0,05	1.2	5.7	<5
	140-150	2.9	1.7	<0,05	1.3	5.4	39
	150-160	3.1	1.6	<0,05	1.9	6.4	<5
	170-180	4.8	2.4	<0,05	3.2	14	<5

BC = Campionamento superficiale con BOX-CORER

Tab 4.2 – Sintesi dei risultati delle analisi integrative di caratterizzazione dei sedimenti eseguite sui 10 campioni. Campioni MA2-04, MA2-05.



Limiti di riferimento dei parametri chimici:

LDR-0 = Colonna A della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/06  
LDR-INF = Tabella 2 della relazione ISPRA Aprile 2010  
LDR-SUP = Colonna B della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/08

CR < LDR-INF  
 CR > LDR-INF & CR < LDR-SUP  
 CR > LDR-SUP

PC = Punto di CAMPIONAMENTO  
PQF = Profondità di Prelievo campione (cm) dalla Quota Fondale

	Parametri (mg/Kg SS)					
	Arsenico	Rame	Mercurio	Piombo	Zinco	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
	As	Cu	Hg	Pb	Zn	C>12
LDR-0	20	120	1	100	150	50
LDR-INF	20	160	0.5	180	283	315
LDR-SUP	50	600	5	1000	1500	750




PC	PQF	CR = Concentrazioni rilevate (risultati preliminari)					
MA2 - 06	BC	24	150	11	150	270	200
	10-20	14	65	15	220	130	59
	20-30	6.5	18	3.6	49	41	46
	30-40	5.5	14	2.8	39	28	50
	40-50	7.9	23	5.1	100	90	190
	70-80	2.9	4.3	<0,05	1.6	5.2	6
	90-100	2.0	2.3	<0,05	1.0	3.2	61.0
	120-130	2.7	1.6	<0,05	1.1	3.5	55
	150-160	3.8	1.4	<0,05	1.2	5.3	<5
	170-178	9.0	1.3	<0,05	4.6	29.0	70.0
MA2 - 07	BC	17	130	6	150	270	190
	10-20	20	71	8.7	230	260	460
	20-30	21	80	7.3	95	120	190
	30-40	14	27	5.3	82	100	120
	40-50	6.7	17	1.3	46	77	84
	70-80	2.9	4.6	<0,05	1.6	6	15
	90-100	3.2	4.1	<0,05	1.5	5.8	78
	120-130	2.8	3.8	<0,05	<1	5.8	12
	150-160	5.7	2.1	<0,05	2.5	9.3	29
	170-180	5.4	3.3	<0,05	6.6	16	16
MA2 - 08	BC	8.5	30	2.6	38	86	55
	10-20	7.0	30.0	4.1	57.0	70.0	28.0
	20-30	7.7	38	3.2	65	77	<5
	30-40	9.2	47	6.3	70	140	44
	40-50	7.1	34	4.4	63	88	<5
	70-80	9.0	31.0	2.3	41.0	66.0	43.0
	90-100	5.6	2.1	0.078	11	14	47
	100-106	6.7	1.6	<0,05	5.3	14	42

BC = Campionamento superficiale con BOX-CORER

Tab 4.3 – Sintesi dei risultati delle analisi integrative di caratterizzazione dei sedimenti eseguite sui 10 campioni. Campioni MA2-06, MA2-07, MA2-08.

Limiti di riferimento dei parametri chimici:

LDR-0 = Colonna A della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/06  
LDR-INF = Tabella 2 della relazione ISPRA Aprile 2010  
LDR-SUP = Colonna B della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/08

 CR < LDR-INF  
 CR > LDR-INF < LDR-SUP  
 CR > LDR-SUP

PC = Punto di CAMPIONAMENTO  
PQF = Profondità di Prelievo campione (cm) dalla Quota Fondale

	Parametri (mg/Kg SS)					
	Arsenico	Rame	Mercurio	Piombo	Zinco	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
	As	Cu	Hg	Pb	Zn	C>12
LDR-0	20	120	1	100	150	50
LDR-INF	20	160	0.5	180	283	315
LDR-SUP	50	600	5	1000	1500	750

PC	PQF	CR = Concentrazioni rilevate (risultati preliminari)					
MA2-09	BC	17.00	70.00	4.70	78.00	120.00	120.00
	0-2	21.67	104.40	8.68	100.31	166.28	
	2-4	19.38	63.60	8.29	104.07	166.83	
	4-6	15.64	61.67	7.30	90.85	130.97	
	6-8	13.81	57.41	5.74	90.55	145.10	
	8-10	13.75	38.29	5.50	70.09	89.84	
	10-12	11.23	30.59	4.22	61.16	75.35	
	12-14	12.72	32.40	3.39	47.44	72.79	
	14-16	12.78	36.93	5.05	58.35	112.01	
	16-18	13.47	52.73	6.36	67.82	113.46	
	18-20	9.94	36.60	5.56	56.52	89.19	
	20-22	11.48	33.62	4.28	53.30	84.20	
	28-30	8.18	20.92	1.80	27.23	45.17	
	38-40	6.53	9.88	0.27	6.33	19.85	
	48-50	6.29	12.53	0.63	12.97	26.68	
	58-60	5.56	10.11	0.17	6.59	19.23	
	68-70	8.15	9.90	0.07	5.53	18.22	
	78-80	7.09	9.98	0.13	5.24	19.97	
	88-90	8.35	8.23	0.04	6.39	16.74	
	98-100	8.03	9.44	0.03	5.17	17.66	
	118-120	9.43	9.70	0.00	4.19	18.10	
	138-140	8.29	9.91	0.02	1.10	19.03	
	158-160	6.94	10.02	0.02	5.29	18.89	
	178-180	6.56	9.82	0.01	1.95	18.32	
	198-200	10.13	10.07	0.02	4.49	21.55	
	218-220	7.63	11.09	0.02	5.14	21.24	
	238-240	11.13	10.33	0.02	5.01	22.19	
	258-260	8.82	9.77	0.02	7.86	22.57	
278-280	11.90	12.28	0.02	7.69	27.10		
293-295	12.07	13.08	0.02	8.40	28.16		

BC = Campionamento superficiale con BOX-CORER

Tab 4.4 – Sintesi dei risultati delle analisi integrative di caratterizzazione dei sedimenti eseguite sui 10 campioni. Campione MA2-09.

Limiti di riferimento dei parametri chimici:

LDR-0 = Colonna A della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/06  
LDR-INF = Tabella 2 della relazione ISPRA Aprile 2010  
LDR-SUP = Colonna B della Tabella 1 Allegato 5 D.lgs 152/08

CR < LDR-INF  
CR > LDR-INF  CR < LDR-SUP  
CR > LDR-SUP

PC = Punto di CAMPIONAMENTO  
PQF = Profondità di Prelievo campione (cm) dalla Quota Fondale

	Parametri (mg/Kg SS)					
	Arsenico	Rame	Mercurio	Piombo	Zinco	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
	As	Cu	Hg	Pb	Zn	C>12
LDR-0	20	120	1	100	150	50
LDR-INF	20	160	0.5	180	283	315
LDR-SUP	50	600	5	1000	1500	750

PC	PQF	CR = Concentrazioni rilevate (risultati preliminari)					
MA2-10	BC	26.00	130.00	10.00	260.00	470.00	300.00
	0-2	4.65	235.99	24.76	301.59	561.94	
	2-4	3.40	167.57	18.89	244.26	433.71	
	4-6	4.03	131.64	10.04	242.25	381.40	
	6-8	3.39	122.24	18.96	251.21	515.21	
	8-10	4.20	118.21	9.21	176.40	426.40	
	10-12	2.07	56.63	16.07	167.00	250.65	
	12-14	1.68	37.29	10.22	128.14	139.27	
	14-16	1.35	28.29	5.77	103.16	112.29	
	16-18	1.53	29.66	5.36	82.17	84.04	
	18-20	1.29	24.53	3.93	73.97	98.22	
	20-22	0.76	17.50	4.31	52.32	61.71	
	28-30	0.91	17.68	2.71	60.31	55.10	
	38-40	1.10	30.32	5.46	419.07	67.76	
	48-50	0.43	7.02	0.15	2.96	15.32	
	58-60	0.63	7.95	0.21	7.75	22.06	
	68-70	0.58	6.99	0.06	3.32	18.76	
	78-80	5.39	6.09	0.08	1.51	16.46	
	88-90	5.71	6.00	0.05	3.80	19.24	
	98-100	4.13	3.37	0.05	1.98	14.66	
118-120	4.59	4.06	0.05	1.78	13.22		
138-140	12.67	3.84	0.12	14.12	38.77		

BC = Campionamento superficiale con BOX-CORER

Tab 4.5 – Sintesi dei risultati delle analisi integrative di caratterizzazione dei sedimenti eseguite sui 10 campioni. Campione MA2-10.

### **4.3 Morfologia dei fondali ed elementi da salpare**

I fondali, che come accennato sono stati già oggetto di una attività di dragaggio di prima fase a scopo di bonifica, si presentano dal punto di vista morfologico estremamente “tormentati” anche a causa della precedente attività di dragaggio eseguita con draga meccanica a benna, come emerge dai documenti relativi ai rilievi di geofisica/geologia marina redatti dall’ISPRA e dal Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Roma La Sapienza. In alcune aree sono ben distinguibili le bennate con fronti di scavo sub-verticali che determinano una rilevante irregolarità spaziale degli attuali fondali. Come descritto in seguito, all’eterogeneità morfologica si aggiunge una rilevante eterogeneità sedimentologica e geotecnica dei fondali, raramente riscontrabile in altri porti italiani sede di SIN. In fig. 4.2 si riporta la morfologia dei fondali restituita dal rilievo multibeam eseguito dall’OGS estratta dalla corrispondente tavola di progetto dove sono inoltre riportate alcune informazioni aggiuntive, come la presenza di residui di c.a., di manufatti subacquei, di una condotta sottomarina, di stesa di cavi, ecc.

In una apposita tavola di progetto sono inoltre riportate le ubicazioni degli elementi da salpare propedeuticamente all’effettuazione degli interventi di dragaggio. Tali elementi sono per lo più costituiti da corpi morti, catenarie ed elementi di appesantimento delle stesse catenarie. Sono stati inoltre individuati alcuni residui di c.a. appoggiati sul fondo della darsena che dovranno essere rimossi.

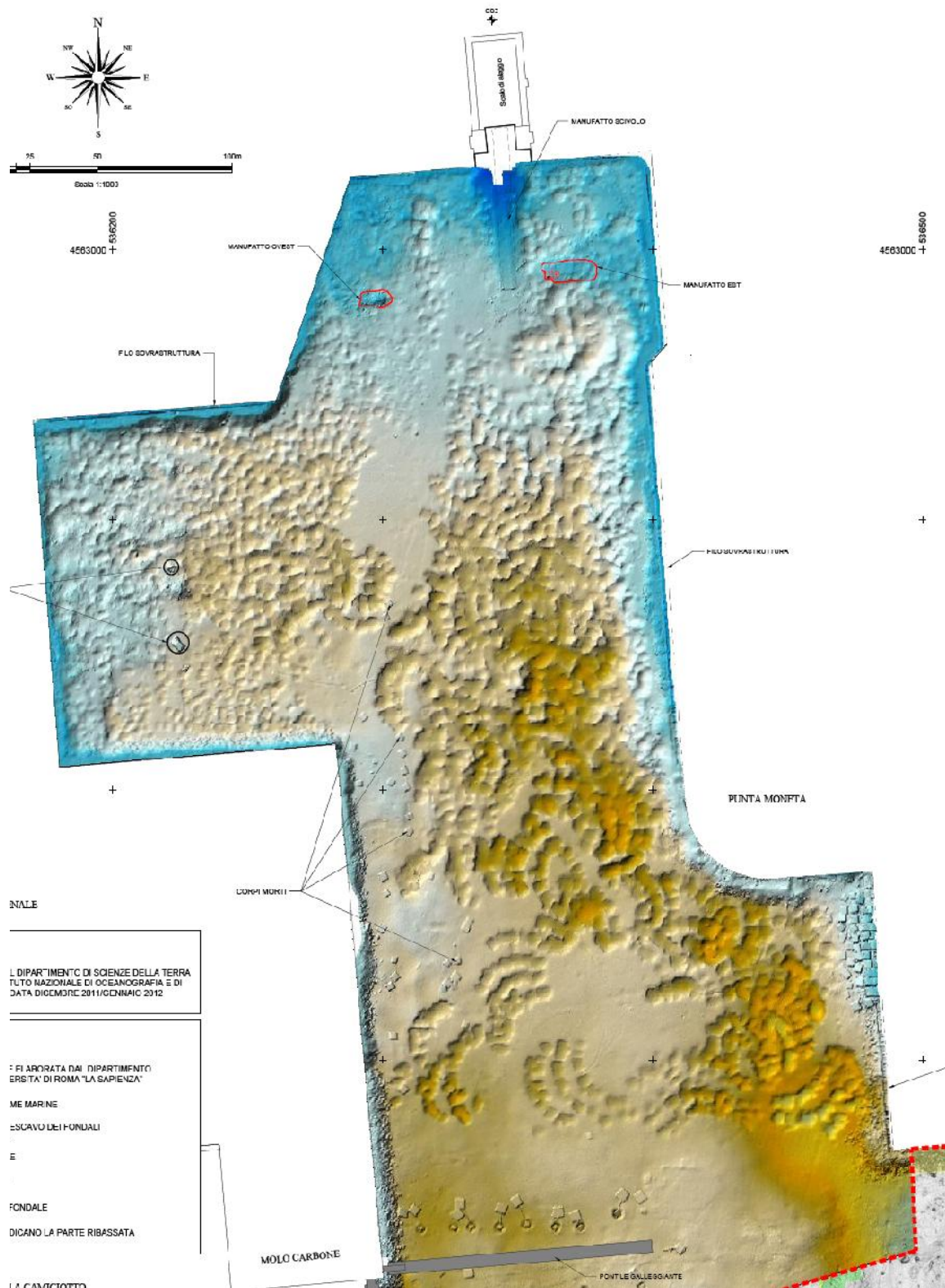


Fig. 4.2 – Morfologia dei fondali (da rilievo multi-beam eseguito dall’OGS tra dicembre 2011 e gennaio 2012). Vedi anche tavola di progetto

#### **4.4 Stratigrafia e caratteristiche meccaniche del materiale da dragare**

Per quanto riguarda la stratigrafia, le indagini integrative eseguite dall'Università di Firenze e dall'OGS hanno permesso di verificare che l'area è caratterizzata da uno strato di sedimento incoerente (sedime portuale) che si appoggia su uno strato di sedimento roccioso di origine granitica (vedi schema di fig. 4.3). La transizione tra lo strato incoerente e la roccia avviene attraverso uno strato intermedio costituito dal così detto "sabbione di granito" o "granito alterato" prodotto dal disfacimento della roccia granitica. Questo strato di transizione, che può presentare una certa coerenza, risulta anch'esso fortemente eterogeneo sia dal punto di vista morfologico (spessore) sia dal punto di vista del comportamento meccanico, potendo presentare gradi di coerenza tali da non poter essere dragato con mezzi meccanici di tipo ambientale.

Lo spessore dei vari strati presenti nell'area è stato valutato dall'OGS di Trieste per mezzo delle indagini geofisiche integrate con i sondaggi geognostici e con le prove cross-hole. Nelle figure 4.4 e 4.5, tratte dalle tavole di progetto, si riporta la posizione del tetto del substrato roccioso e lo spessore del sedime portuale.

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche del materiale si rimanda ai risultati delle indagini di campo eseguite dal Dip. di Scienza della Terra dell'Università di Firenze e dall'OGS descritti nei documenti richiamati nel paragrafo 3.7. Per tali argomenti si rimanda anche alla Relazione Geotecnica allegata al progetto definitivo della Protezione Civile.

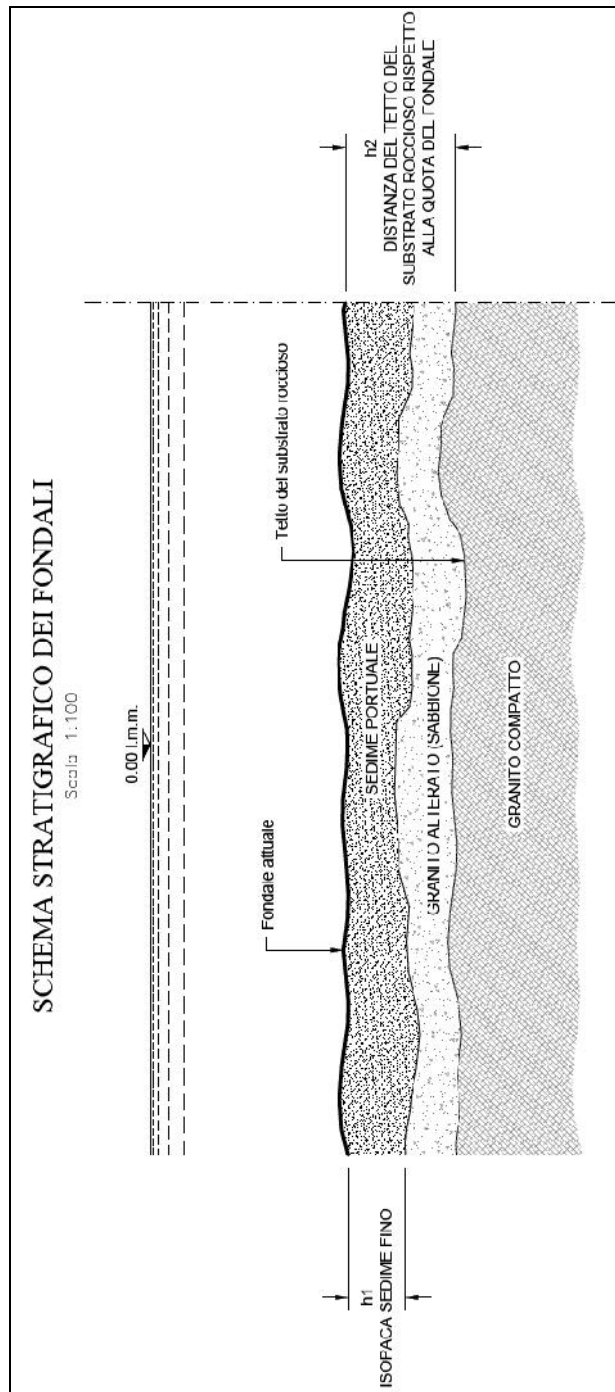


Fig. 4.3 – Schema stratigrafico dei fondali

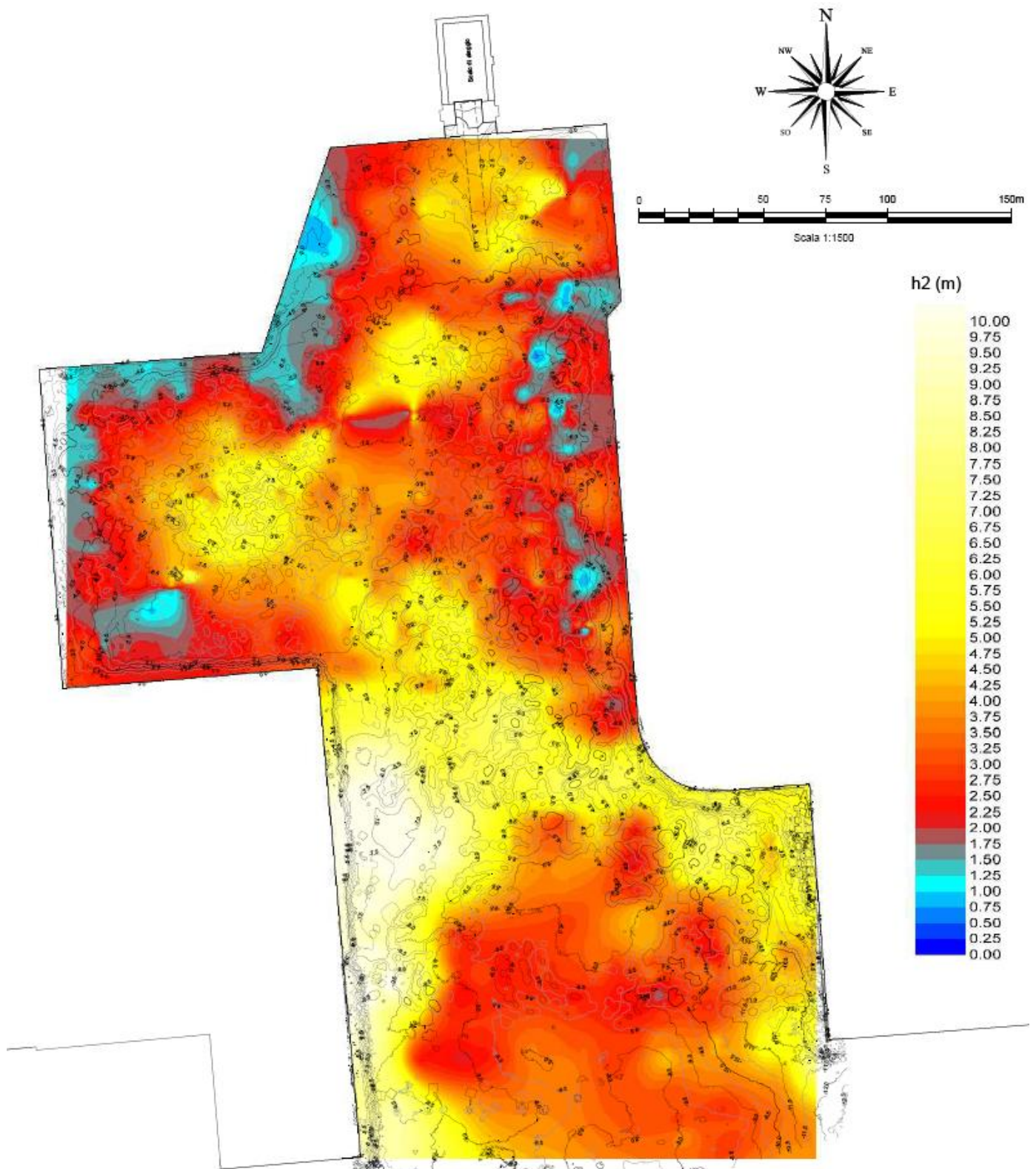


Fig. 4.4 – Mappa del tetto del substrato roccioso (tratta dalla tavola di progetto).



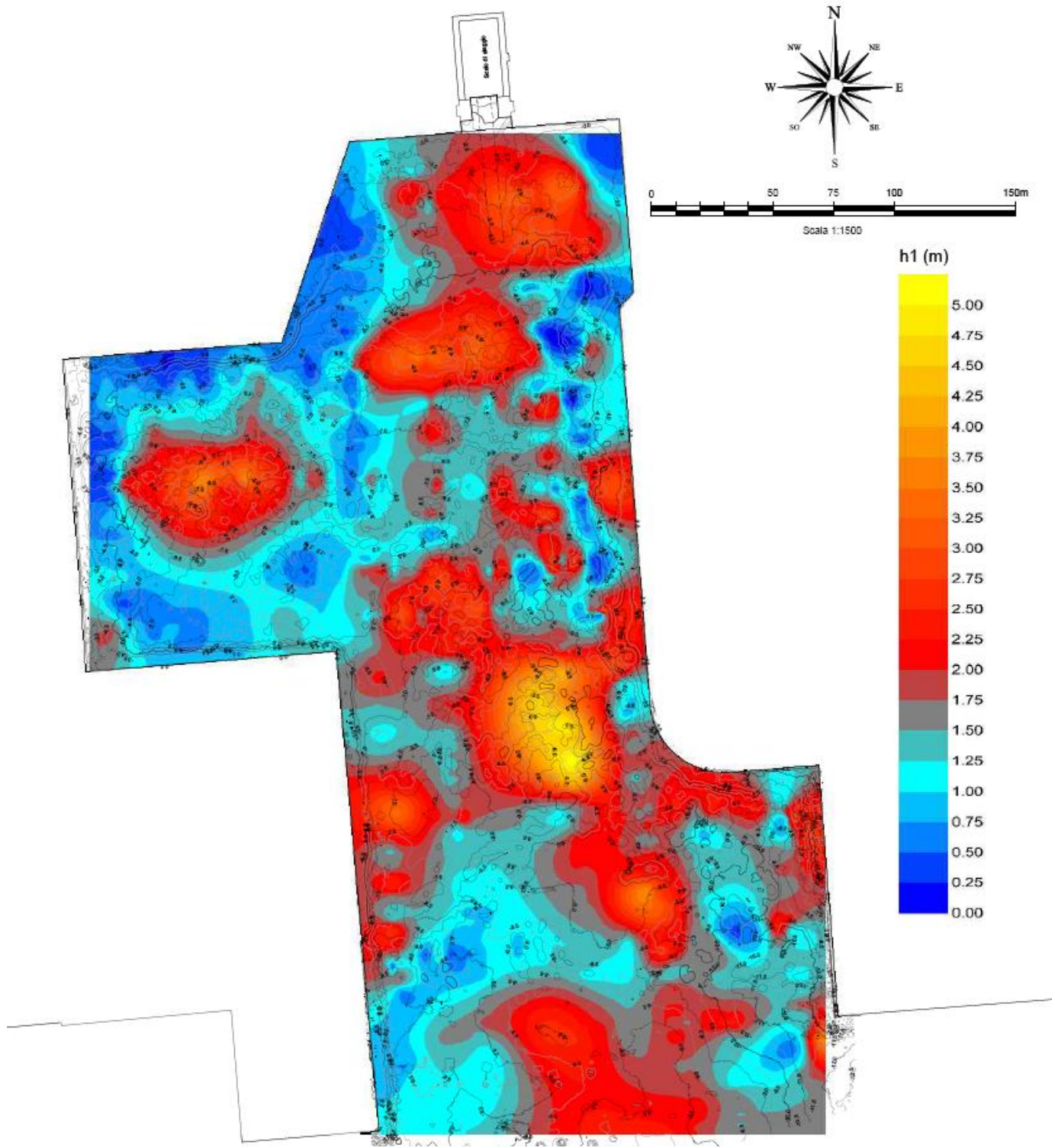


Fig. 4.5 – Isopache del sedimento fino (tratta dalla tavola di progetto).

## 4.5 “Bersagli ambientali “

Nell’ambito delle indagini mirate alla caratterizzazione morfologica dei fondali, all’esterno dell’area oggetto dei lavori di completamento della bonifica, è stata individuata un’area dove è localizzata una prateria di fanerogame marine (fig. 4.6). Tale area può costituire un potenziale “bersaglio” per le attività di dragaggio.

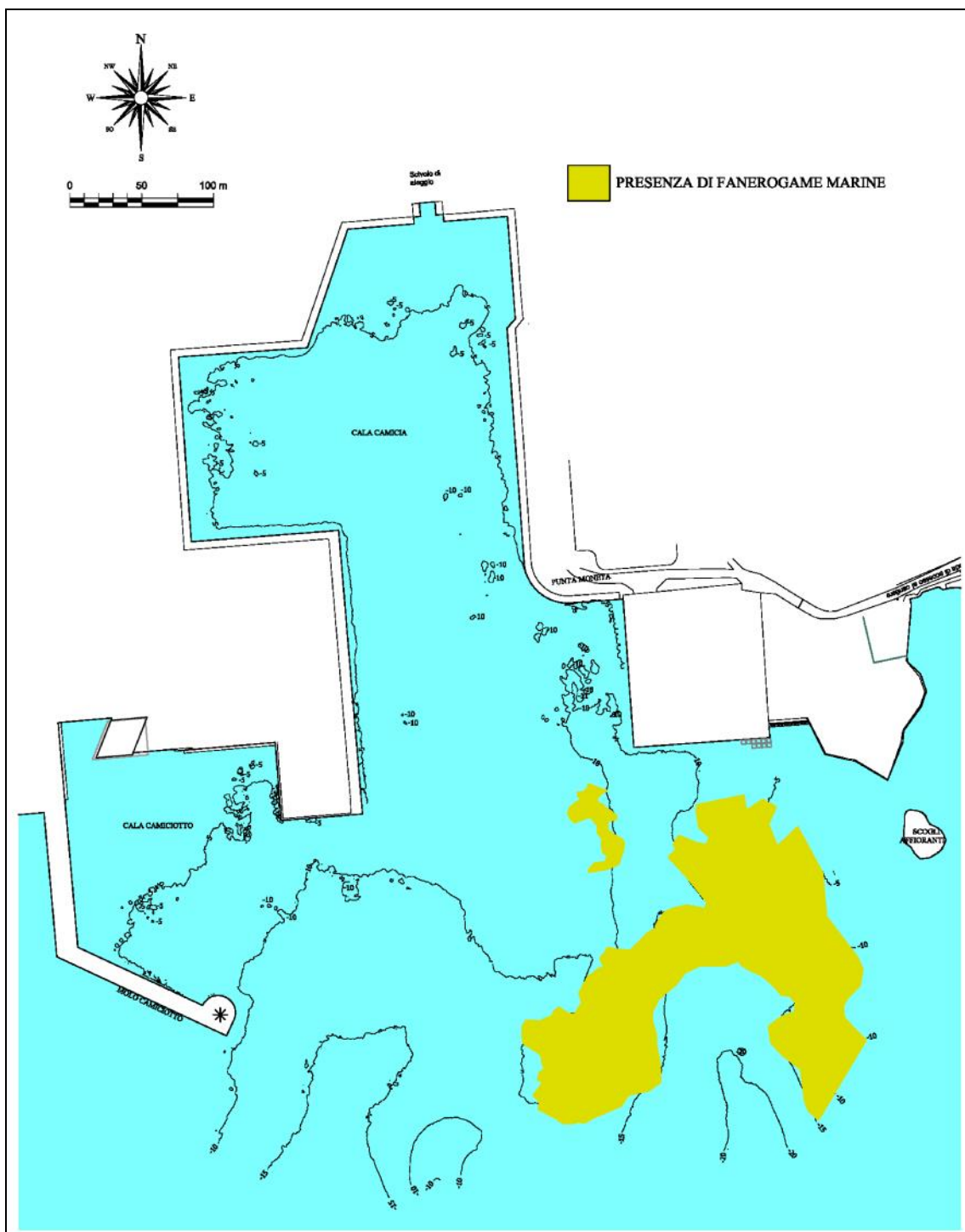


Fig. 4.6 – Area ex-arsenale, ubicazione zone marginali con presenza di fanerogame marine.

## 4.6 Topografia, caposaldi, batimetrie e quote

Con riferimento alla zona Ex Arsenale, la topografia delle aree a terra e del perimetro delle banchine riportata nei documenti di progetto, è stata fornita dall'Impresa Pietro Cidonio, la quale ha realizzato nel 2009 gli interventi relativi all' "Adeguamento portualità e ricettività Marittima per il Grande Evento relativo alla Presidenza Italiana del G8".

Le quote e le posizioni planimetriche dei manufatti sono riferite al caposaldo denominato CS3 localizzato in prossimità dell'antico scalo di alaggio, riportato nei disegni di progetto. La quota del caposaldo è fornita rispetto al riferimento altimetrico nazionale e non è riferita al livello medio marino locale.

Le batimetrie determinate per mezzo dei rilievi topografici e batimetrici, eseguiti dal Dipartimento della Terra dell'Università di Firenze e dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) in data dicembre 2011 / gennaio 2012, sono riferite al livello medio marino (l.m.m.) pluriennale calcolato a Porto Torres sulla base delle misure eseguite dalla omonima stazione mareografica gestita dall'ISPRA. L' "aggancio" tra il livello del mare di Cala Camicia e il livello del mare di Porto Torres è stato effettuato mediante apposite misure mareografiche eseguite dall'OGS a Cala Camicia che sono state correlate alle misure contemporanee fornite dal mareografo ISPRA di Porto Torres.

Tale aggancio ha permesso di stabilire che:

- il l.m.m. di Porto Torres è posto alla quota -10,00 cm rispetto allo zero di riferimento locale (La Maddalena-Zona ex Arsenale) relativo al caposaldo CS3 riportato nelle tavole di progetto e posizionato in prossimità dell'antico scalo di alaggio;
- lo zero idrometrico di Porto Torres è posto alla quota -24,8 cm rispetto allo zero di riferimento locale, ovvero quello del caposaldo CS3.

Non risulta che sul posto siano state eseguite nel passato idonee misure mareografiche allo scopo di definire il livello medio marino (l.m.m.) locale.



CAPOSALDO CS3

COORDINATE WGS 84:

Lat. 41°13' 05.98566" ; Long. 9°26' 00.68855" Q. Ell. 52.207

COORDINATE WGS 84 UTM 32N:

Est 536340.37 ; Nord 4563085.13

Quota +3.17 m rispetto al riferimento altimetrico nazionale

Quota +3.07 m rispetto al l.m.m. di Porto Torres come da nota

Fig. 4.7 – Area ex-arsenale caposaldo CS3 (estratto dalle tavole di progetto).

## 4.7 Caratteristiche sedimentologiche del materiale inquinato

Per il presente progetto si è fatto riferimento alle caratteristiche sedimentologiche desumibili da:

- indagini di campo per la “verifica di fondo scavo” (novembre 2009); prelievo, con operatore subacqueo, di 31 carote (con tubo campionatore “liner” in PVC per una lunghezza massima di 0,5 m); viene fornita solo la descrizione macroscopica della coltre detritica campionata dal fondale; non risulta che su detti campioni siano state condotte analisi granulometriche di laboratorio o quantomeno tali informazioni non sono state fornite al gruppo di progettazione;
- indagini di campo “integrative” (gennaio 2011); articolate in 10 prelievi superficiali (con box-corer per uno spessore mediamente di 0,10 m) e (10 + 1) vibro-carotaggi per profondità variabili da 0,57 a 2,9 m recuperando carote di sedimento lunghe da 0,57 m a 2,4 m; oltre alla descrizione macroscopica della coltre detritica campionata sono state condotte anche specifiche analisi granulometriche di laboratorio.

Per i campioni relativi alle 31 “stazioni” della “verifica di fondo scavo” non sono disponibili analisi granulometriche; pertanto si è fatto riferimento alle immagini fotografiche ed alle descrizioni macroscopiche.

Per i campioni relativi alle 10 “stazioni” considerate nell’indagine “integrativa” oltre alla descrizione macroscopica sono disponibili:

- i certificati delle analisi granulometriche (per un totale di 80) condotte presso il laboratorio del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Roma “La Sapienza” sulle “quartature” di campioni prelevati (secondo un passo mediamente di 10 cm) sulle prime 8 carote (identificate con le sigle da MA2\_1 a MA2\_8);
- per le restanti due carote (MA2\_9 e MA2\_10) l’ISPRA ha condotto specifiche analisi “in continuo” (con passo di “quartatura” anche di 2 cm) fornendo i risultati sedimentologici in forma sintetica (tabellare e grafica) distinte nelle frazioni percentuali delle classi granulometriche caratteristiche (ghiaia, sabbia, limo e argilla);
- per il carotaggio aggiuntivo 6Geo, effettuato al margine della “stazione” MA2\_6, non è stata prodotta una scheda specifica e non sono disponibili i certificati di laboratorio; vengono riportati solo i dati percentuali delle classi granulometriche caratteristiche (ghiaia, sabbia, limo e argilla) limitatamente al tratto 180-215 cm.

Per maggiori dettagli si rimanda alle specifiche relazioni; per gli aspetti relativi alla natura sedimentologica del fondale oggetto dell’intervento di dragaggio si rileva che:

- i 31 campionamenti della “verifica di fondo scavo”, seppure regolarmente distribuiti sull’area, di fatto hanno investigato solo la coltre superficiale (al massimo i primi 50 cm) e comunque non sono disponibili dati granulometrici per una valutazione oggettiva;
- i 10 vibrocarotaggi “integrativi”, pur campionando la coltre detritica del fondale per spessori elevati (superiori anche a 2,0 m), interessano solo alcune porzioni del fondale.

L’interpretazione dei rilievi geofisici eseguiti dall’Università di Roma, combinata con le analisi macroscopiche e granulometriche condotte sul materiale prelevato dal fondale, hanno portato il gruppo di lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Roma “La Sapienza” a ipotizzare che *“la parte sommitale del substrato acusticamente sordo sembrerebbe essere costituita da sedimento sabbioso o sabbioso ghiaioso molto poco classato prevalentemente terrigeno al bottom della maggior parte delle carote. In particolare la carota 6geo (per la quale si è*

*protratto il tempo di vibrazione proprio al fine di campionare il substrato<sup>1</sup>) ha recuperato al bottom sabbia e ghiaia chiaramente derivante dal disfacimento di formazioni granitoidi”.*

Ai fini del presente progetto si è assunto che i risultati analitici delle frazioni granulometriche dei sedimenti, campionati nelle suddette 10 “stazioni” siano rappresentativi del fondale oggetto dell’intervento di dragaggio. Integrando le descrizioni macroscopiche con la terminologia riferita ai valori percentuali delle distinte classi granulometriche (conformemente alle raccomandazioni dell’Associazione Geotecnica Italiana) è stato condotto un confronto con le analoghe descrizioni macroscopiche relative ai 31 campioni relativi alla “verifica di fondo scavo” che di fatto costituiscono l’unico elemento disponibile per una caratterizzazione sedimentologica “diffusa” con regolarità su tutta l’area oggetto dell’intervento.

Sulla base dei risultati delle analisi granulometriche dei sedimenti, per ciascuna delle suddette 10 “stazioni”, sono stati calcolati i valori medi delle frazioni detritiche (distinte in ghiaia, sabbia, limo e argilla) relative ad uno spessore di 0,5 m del fondale in esame (tab. 4.6) calcolando la frazione media della matrice arenitica (Ghiaia e sabbia).

Si è così interpretata (fig. 4.7) la composizione dei sedimenti da dragare su tutta l’area:

- almeno il 50% della coltre detritica che compone gli strati più superficiali del fondale rientra nella frazione arenitica (sabbia e ghiaia);
- la frazione arenitica è costituita in prevalenza da sabbia fine (mediamente per l’80%) mentre la matrice più grossolana (avente diametro superiore a 2,0 mm) è generalmente contraddistinta da una netta predominanza di bioclasti di origine marina;
- la frazione pelitica (sedimenti aventi diametro medio inferiore a 63  $\mu\text{m}$ ) è mediamente inferiore al 40% del volume totale di sedimento con una netta prevalenza del limo (mediamente per almeno il 75 %) sull’argilla (sedimenti aventi diametro medio inferiore a 2  $\mu\text{m}$ ).

Procedendo al di sotto di questo spessore medio di 0,5 m, le analisi granulometriche disponibili evidenziano comunque un graduale incremento della frazione arenitica che tende ad attestarsi su valori dell’ordine del 70 % con una netta predominanza della componente sabbiosa.

Un approfondimento di questo argomento è riportato nel documento dal titolo “Progetto Impianto di Trattamento” allegato al progetto definitivo redatto dal DPC.

---

<sup>1</sup> Questa carota aggiuntiva ricade in prossimità del carotaggio MA2\_6

STAZIONE	Distinzione MACROSCOPICA del sedimento G/F	Classazione granulometrica dei sedimenti per vagliatura (%)				Descrizione delle frazioni granulometriche (conforme alla specifica A.G.I. 1977)
		Ghiaia $\phi \leq -1$	Sabbia $-1 \leq \phi \leq 4$	Limo $4 \leq \phi \leq 8$	Argilla $\phi > 8$	
	% di G	Arenite/Rudite	Pelite			
MA2 - 01	80.79	16.02	64.77	14.92	4.29	Sabbia ghiaiosa e limosa
MA2 - 02	65.69	8.36	57.33	28.63	5.68	Sabbia con limo, debolmente ghiaiosa e argillosa
MA2 - 03	62.20	11.15	51.05	31.41	6.39	Sabbia con limo, ghiaiosa e debolmente argillosa
MA2 - 04	65.71	10.60	55.12	26.04	8.25	Sabbia limosa e ghiaiosa, debolmente argillosa
MA2 - 05	57.43	6.52	50.91	31.48	11.09	Sabbia con limo, ghiaiosa e debolmente argillosa
MA2 - 06	45.73	5.74	39.99	40.89	13.38	Limo con sabbia, argilloso e debolmente ghiaioso
MA2 - 07	64.19	14.90	49.28	28.40	7.41	Sabbia con limo, ghiaiosa e debolmente argillosa
MA2 - 08	51.38	9.85	41.52	35.35	13.27	Sabbia con limo, argillosa debolmente ghiaiosa
MA2 - 09	64.96	11.48	53.48	28.88	6.16	Sabbia con limo, ghiaiosa e debolmente argillosa
MA2 - 10	74.02	10.56	63.46	22.10	3.89	Sabbia con limo, ghiaiosa
<b>MEDIA</b>	<b>63.21</b>	<b>10.52</b>	<b>52.69</b>	<b>28.81</b>	<b>7.98</b>	<b>Sabbia con limo e ghiaia, debolmente argillosa</b>

G = Ghiaia + Sabbia

F = Limi + Argilla

Classe granulometrica predominante

Descrizione delle frazioni granulometriche  
(conforme alla specifica A.G.I. 1977)

Tab 4.6 – Caratteristiche granulometriche medie relative allo spessore di 0,5 m del fondale.

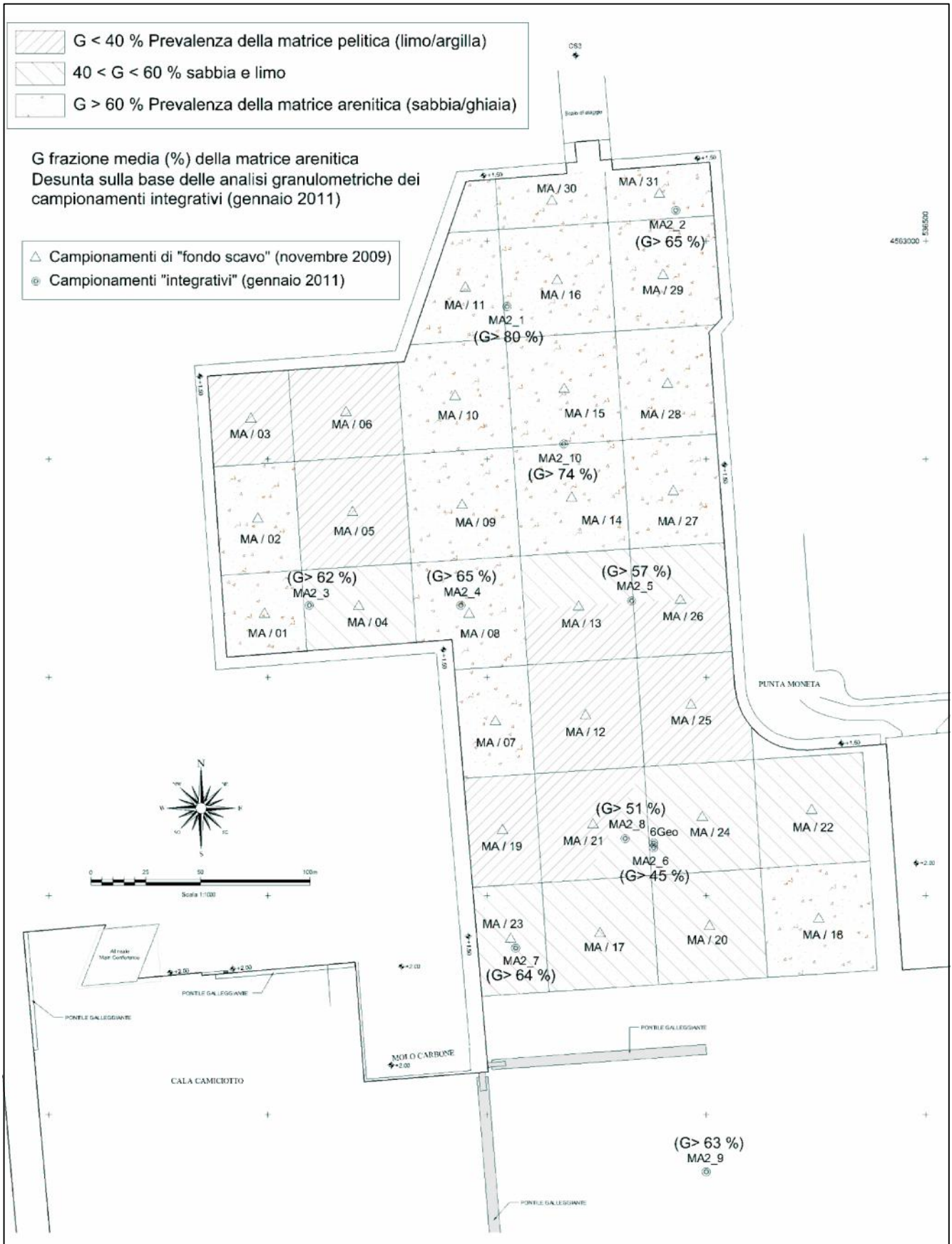


Fig 4.7 – Distribuzione areale media (su base macroscopica e granulometrica) delle matrici pelitiche (limo e argilla) e arenitiche (sabbie e ghiaie) costituenti il fondale da dragare.

## **5 PROGETTO DEFINITIVO DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE DELL'AREA MARINA**

### **5.1 Descrizione preliminare degli interventi**

Gli interventi di conterminazione del sedime portuale del bacino di Cala Camicia previsti dal presente progetto definitivo riguardano sostanzialmente la realizzazione di una barriera passiva continua in HDPE integralmente protetta da un materassino in cls di spessore 25 cm stabile alle azioni idrodinamiche generate dalle eliche delle barche e del moto ondososo. La stabilità è garantita anche sul bordo grazie alla collocazione di sacchi in rete di pietrame da 2t. I lavori necessari al raggiungimento di tale obiettivo possono essere suddivisi in due tipologie principali:

1. preparazione della superficie di posa del pacchetto di tenuta ambientale del fondale;
2. messa in sicurezza dell'intera area del bacino portuale di "cala camicia" mediante realizzazione del "sistema di tenuta ambientale".

Preliminarmente alle attività di regolarizzazione del fondale esistente mediante versamento di sabbia lavata e spianamento locale, verranno installate le aree di cantiere e verranno delimitati gli specchi liquidi con un idoneo sistema di "panne" rivolto ad evitare che materiale messo in sospensione accidentalmente possa diffondersi al di fuori dell'area oggetto degli interventi. Inoltre verranno salpati dall' area da bonificare gli elementi di ormeggio (corpi morti, catenarie, ecc.) e i trovanti presenti sul fondo della stessa area.

Di seguito viene riportata una sintesi delle attività previste:

#### **IMPIANTO CANTIERE AREE A TERRA**

- Recinzioni e punti di accesso
- Area logistica (box di cantiere)
- Impianti di cantiere e relativi allacci utenze
- Aree di sosta e manovra dei mezzi terrestri
- Banchine per ormeggio/stazionamento mezzi marittimi
- Aree per stoccaggio temporaneo: "inerti"; "trovanti"; "rifiuti"

#### **IMPIANTO CANTIERE AREE A MARE**

- Delimitazione specchi liquidi di manovra/stazionamento
- Delimitazione margine esterno della darsena con "panne"

#### **APPRESTAMENTO DEI FONDALI**

- Rilievo di prima pianta e prospezioni subacquee
- Salpamenti degli elementi di ormeggio (corpi morti e catenarie) e dei "trovanti"
- Stoccaggio temporaneo del materiale salpato
- Conferimento a discarica dei trovanti
- Rilievo di seconda pianta e prospezioni subacquee

#### **REGOLAZIONE DEL FONDALE E PREPARAZIONE DEL PIANO DI POSA DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE**

- Delimitazione della darsena con un sistema di panne



- Sistemazione del fondale attraverso lo spianamento ed il versamento di sabbia al fine di ottenere l'attenuazione delle asperità e il riempimento delle fosse di maggior importanza (pendenza)
- Collocazione di teli di geotessili al piede delle banchine in corrispondenza degli scanni di pietrame per una fascia di 10 m

#### REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE

- Predisposizione e posa in opera di telo in HDPE di spessore 2.5 mm reso continuo tramite saldature
- Predisposizione e posa in opera del sistema di cassetta flessibile tipo FLEXITEX (doppio geotessile unito con fili distanziatori) reso continuo tramite cuciture o zip
- Getto subacqueo del calcestruzzo nel cassero flessibile a realizzare un materasso di spessore medio 25 cm di protezione strutturale

#### STABILIZZAZIONE DEL BORDO DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE

- Fornitura e posa in opera di sacchi in rete riempiti di pietrame tipo FILTER UNIT, di peso 2 t, come elementi di zavorra e protezione dei bordi del sistema di tenuta ambientale

#### SMOBILIZZO DEL CANTIERE

## **5.2 Attività propedeutiche alla preparazione del piano di posa del sistema di tenuta ambientale**

Come accennato, le principali attività propedeutiche alle attività di regolarizzazione del fondale consistono in:

- Impianto del cantiere a terra;
- Delimitazione aree a mare;
- Rilievi e prospezioni subacquee;
- Salpamento degli elementi di ormeggio e dei trovanti e conferimento a scarica di questi ultimi.

Le aree di cantiere saranno ubicate sul terrapieno posto ad est di Cala Camicia come risulta dai relativi elaborati di progetto a cui si rimanda per i dettagli.

La delimitazione delle aree a mare e in particolar modo la delimitazione delle aree soggette alle attività di regolarizzazione del fondale, verrà eseguita mediante l'utilizzo di un sistema di "panne" ciascuna che si estende dalla superficie fino al fondo della darsena. La funzione delle panne sarà quella di separare fisicamente l'area soggetta alle lavorazioni dall'area esterna, per evitare che eventuale materiale contaminato, messo in sospensione accidentalmente, possa diffondersi nell'area esterna rispetto a quella di lavoro. Nelle Fig. 5.1 e 5.2 sono riportati gli schemi che descrivono le panne ed il loro sistema di posizionamento/ancoraggio. Con riferimento alla tavola di progetto, alla quale si rimanda per i dettagli, si specifica che durante l'esecuzione del lavoro sarà sempre presente una panna rivolta a delimitare l'intera area dall'esterno. Tale panna sarà posizionata lungo il confine sud di Cala Camicia. Inoltre, come si evince dalla fig. 5.3, il lavoro di regolarizzazione verrà realizzato in 4 fasi allo scopo di delimitare ciascuna area dall'esterno per evitare che eventuale risospensione possa compromettere le aree in cui la regolarizzazione è già stata eseguita.

Le panne sono state dimensionate in modo tale da poter essere tenute in esercizio fino a condizioni meteomarine limiti caratterizzate dai seguenti parametri:  $H_s=1,0$  m e velocità della

corrente pari a 1 m/s. Al superamento di tali parametri, le panne dovranno essere sollevate – ovvero “terzarolate” utilizzando un termine velico – e quindi non svolgeranno più la loro funzione. In tali condizioni le operazioni di regolarizzazione del fondale dovranno essere sospese. Si è calcolato che nell’area in questione e con riferimento ai parametri meteomarini limiti sopra indicati, la sospensione delle attività di lavoro (“down-time”) assume mediamente in una anno valori modesti essendo risultata pari a circa 6 giorni/anno. Le panne verranno ormeggiate mediante corpi morti di calcestruzzo appositamente confezionati.

Gli elementi di ormeggio (corpi morti, catenarie, appesantimenti, ecc.) e i trovanti oggetto del salpamento preliminare alle attività di spianamento, sono stati individuati mediante il rilievo multi-beam (vedi fig. 5.4 e planimetria di progetto). Gli elementi salpati verranno posti nelle aree di cantiere destinate a tale scopo.

# PANNE GALLEGGIANTI

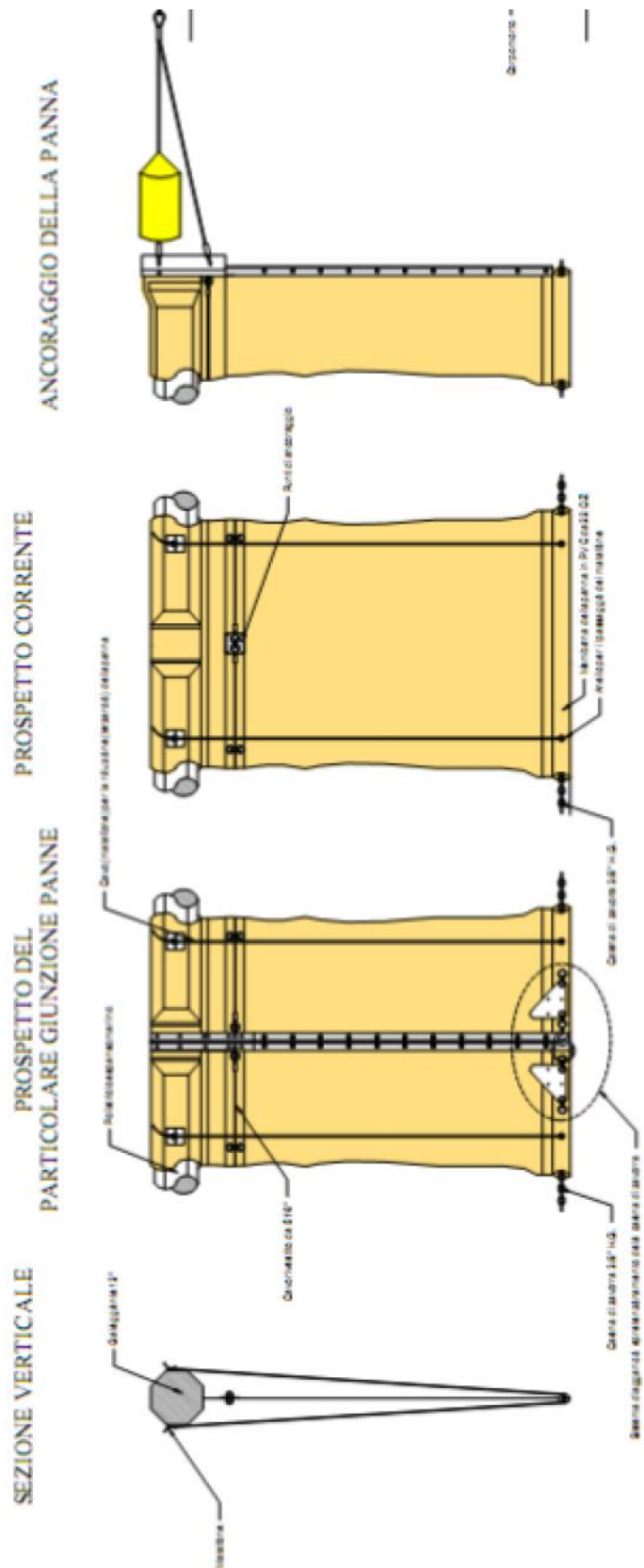


Fig. 5.1 – Schema delle panne estese dalla superficie fino al fondo (vedi tavola di progetto).

### SCHEMA DI POSIZIONAMENTO DELLA PANNA

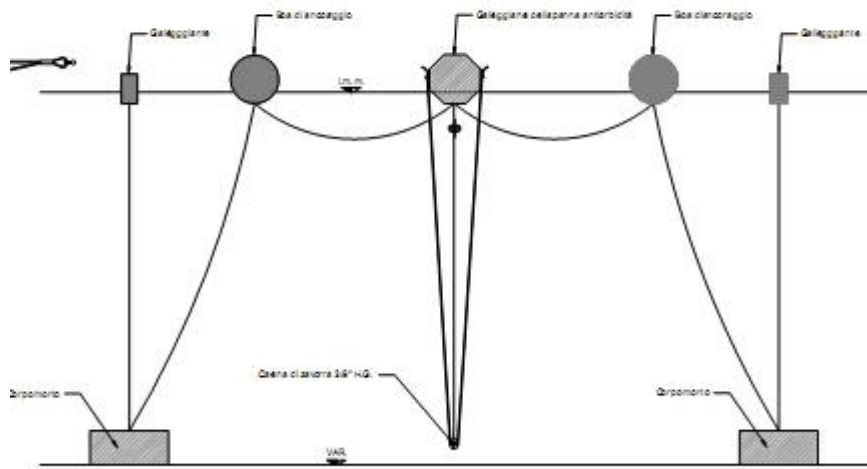


Fig. 5.2 – Schema di posizionamento delle “panne” con sistema di sollevamento della panna (vedi tavola di progetto).

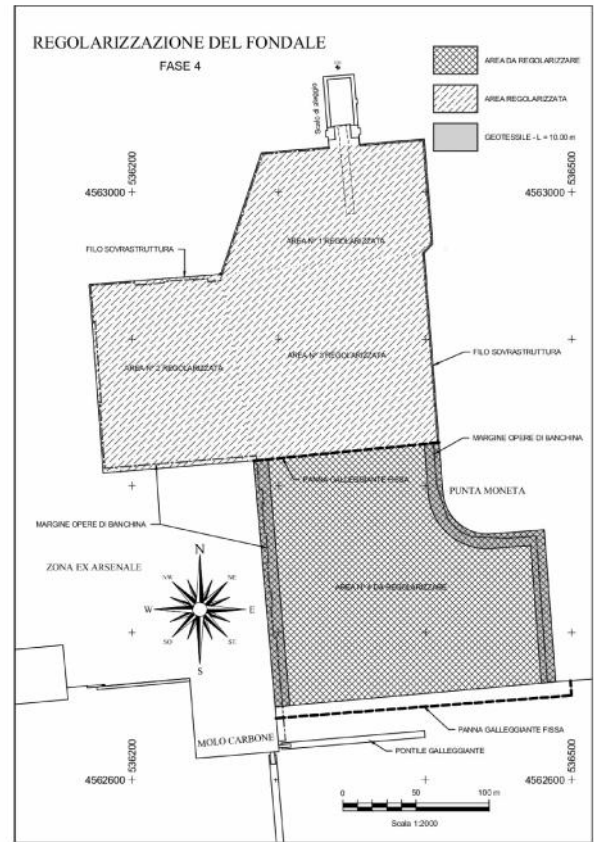
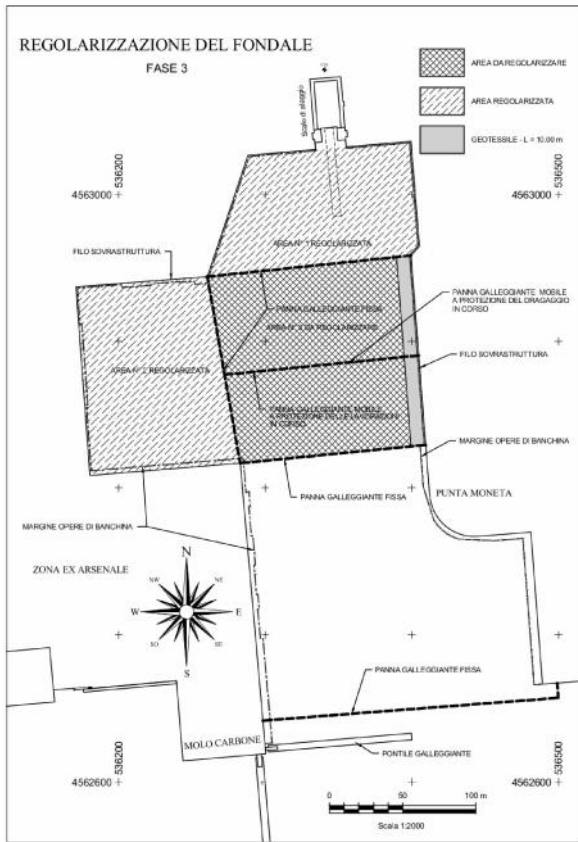
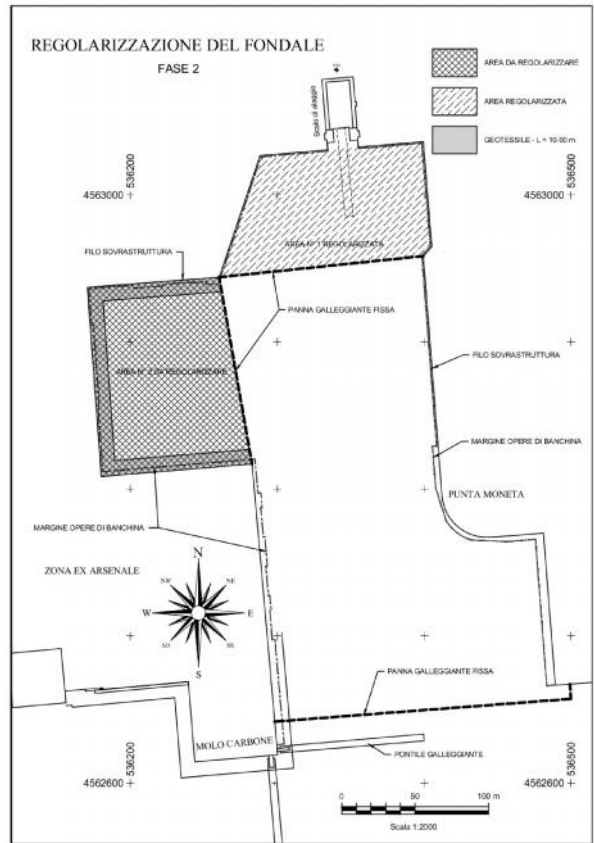
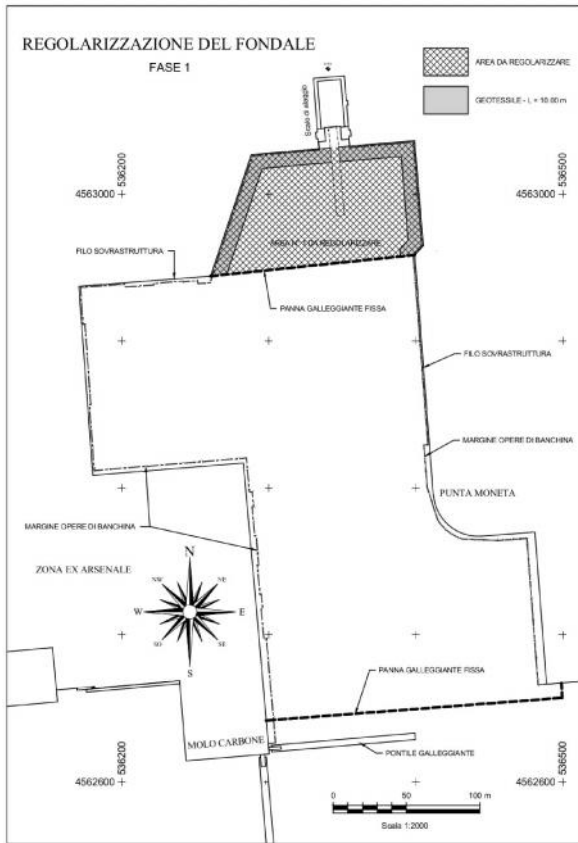


Fig. 5.3 – Delimitazione SCHEMATICA delle aree di regolarizzazione del fondale con le panne durante le varie fasi.

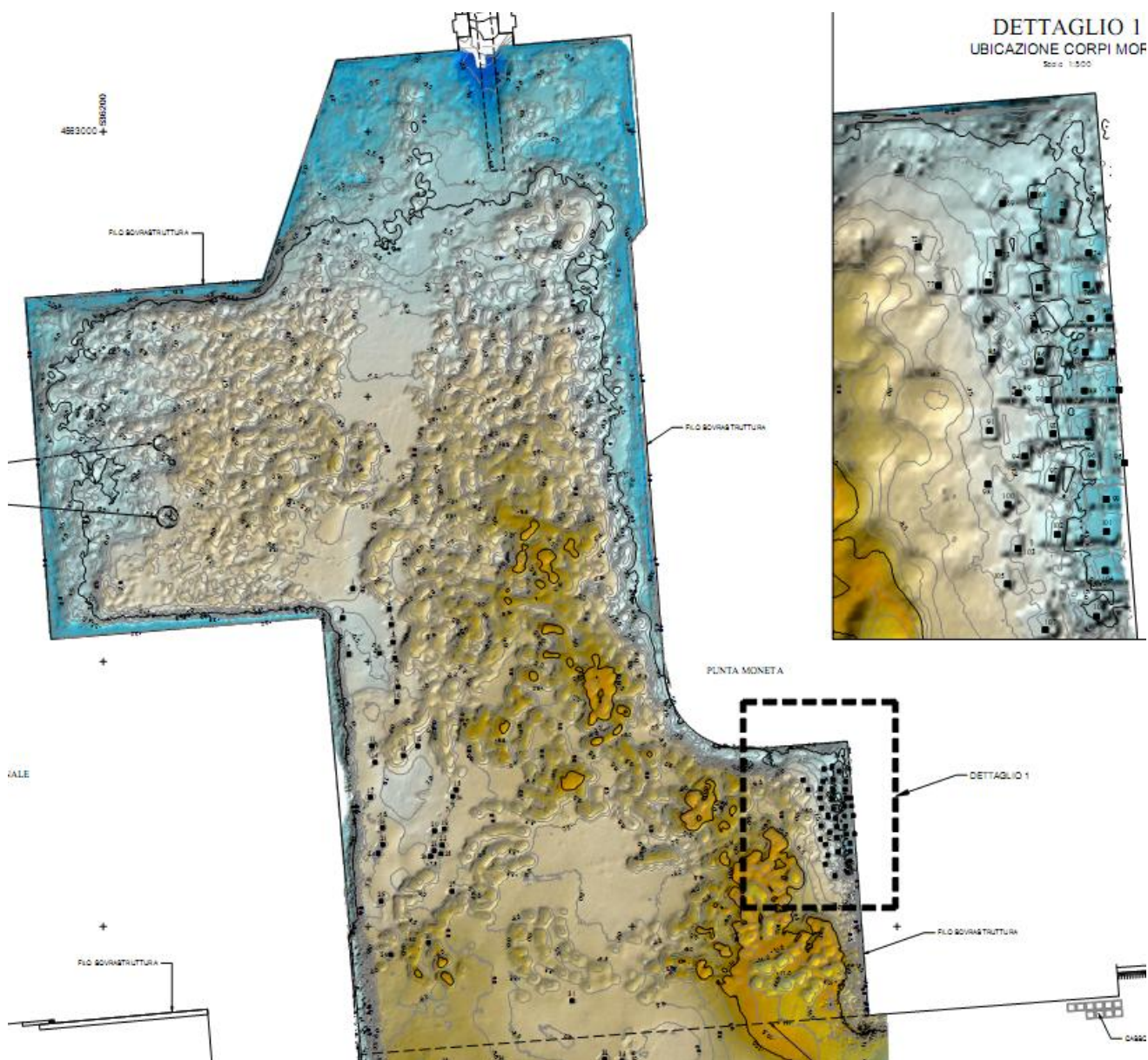


Fig. 5.4 – Ubicazione elementi da salpare

### 5.3 Preparazione del fondale

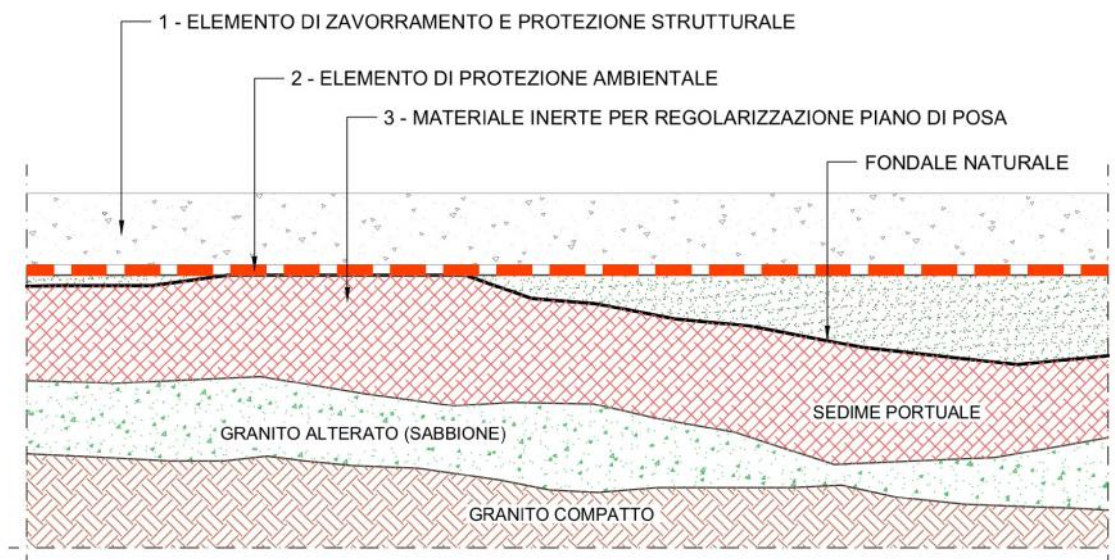
Il sistema di tenuta ambientale, come descritto nel successivo paragrafo, necessita di un fondale piuttosto regolare ovvero privo di accentuate asperità o fosse che potrebbero generare rotture con conseguente compromissione della sua tenuta. A tal fine sono previste una serie di attività di regolarizzazione del fondale attuale mediante l'eventuale versamento di sabbia lavata (spessori compresi tra 0 cm e 100 cm, mediamente 50 cm sull'intera area) e spianamento meccanico anche a mezzo di sommozzatori. In presenza di rocce affioranti si procederà alla riprofilatura puntuale del fondale ricoprendo la porzione aguzza della stessa con il versamento di sabbia lavata; eventualmente per i casi più significativi si procederà inoltre alla stesa di un telo di geotessile a copertura dell'area per eliminare il potere tagliante dell'affioramento sull'HDPE.

## 5.4 Elementi di tenuta ambientale

Per la protezione dell'intero fondale del bacino, è stato progettato un apposito sistema di tenuta ambientale che avrà lo scopo di garantire l'isolamento del sedime portuale dall'ambiente circostante, per evitare che le sostanze inquinanti possano diffondersi o disperdersi in esso. Il sistema di tenuta ambientale sarà dotato di un elemento di protezione strutturale rivolto ad evitare che eventuali azioni esterne possano danneggiare gli elementi realizzati allo scopo di garantire la tenuta ambientale.

### SEZIONE TIPO

Scala 1 : 25



CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	
①	ELEMENTO DI ZAVORRAMENTO E PROTEZIONE STRUTTURALE COSTITUITO DA: MATERASSI A DOPPIO STRATO IN PET (SPESSORE MEDIO DI 25 cm) RIEMPITI IN OPERA CON GETTI SUBACQUEI DI MALTA DI CEMENTO DOTATI DI OPPORTUNI FILAMENTI DISTANZIATORI IN PET. REQUISITI MINIMI DEL TESSUTO IN PET: PESO UNITARIO 195 g/m <sup>2</sup> ; RESISTENZA MIN. ULTIMA A TRAZIONE 55KN/m; ALLUNGAMENTO MAX ULTIMO A TRAZIONE 11%. REQUISITI MINIMI MALTA DI CEMENTO: RESISTENZA CARATTERISTICA CUBICA A COMPRESSIONE R <sub>ck</sub> 30MPa; CLASSE DI CONSISTENZA S5.
②	ELEMENTO DI PROTEZIONE AMBIENTALE TELO IMPERMEABILE IN HDPE SPESSORE MINIMO 2.5 mm; 2.36 kg/m <sup>2</sup>
③	MATERIALE INERTE PER REGOLARIZZAZIONE PIANO DI POSA (SABBIA FINE LAVATA)
④	GEOTESSILE (500 gr/m <sup>2</sup> )
⑤	ELEMENTO DI ANCORAGGIO AL PIEDE DELLA BANCHINA COSTITUITO DA : ELEMENTI TIPO "FILTER UNIT" DA 2T ( Pietrame selezionato contenuto in reti a maglia )

Fig. 5.5 – Sezione tipo del pacchetto di tenuta ambientale (vedi tavola di progetto)

Con riferimento alla fig. 5.5 dove è riportata la sezione tipo del “sistema di protezione ambientale” con le relative caratteristiche tecniche dei materiali che verranno impiegati, il sistema risulta così composto partendo dall'esterno:

1. un elemento di zavorramento e di protezione strutturale (spessore 0,25 m) realizzato mediante materassi prefabbricati in PET riempiti in opera con getti subacquei di malta di cemento. La funzione di questo elemento sarà quella di garantire sia lo zavorramento sia la protezione strutturale dell'elemento sottostante realizzato per la protezione ambientale. L'elemento di protezione strutturale è stato dimensionato in modo tale che resista sia alle azioni statiche che possono essergli trasmesse dai corpi morti (dimensioni 2,0 m x 2,0 m sp. 1 m) che verranno utilizzati per ormeggiare i pontili galleggianti all'interno della darsena, sia alle azioni dinamiche esercitate dai getti liquidi prodotti dalle eliche dei natanti. Per il dimensionamento strutturale di questo elemento si rimanda alla relazione "Calcoli preliminari delle strutture – verifiche di stabilità idraulico-strutturali del sistema di tenuta ambientale". Si evidenzia che l'utilizzo dei materassi prefabbricati in PET, che sostanzialmente svolgono la funzione di casseforme a perdere, garantisce la corretta esecuzione dei getti subacquei e l'omogeneità spaziale dell'elemento di protezione strutturale che si verrà a creare; il principio applicato per rimuovere l'eccesso di acqua si basa sull'evacuazione di pressione (tramite pompaggio del calcestruzzo) attraverso il tessuto. Quest'ultimo funziona da setaccio ed è progettato per impedire la perdita di particelle attraverso i pori. E' importante usare miscele di calcestruzzo della giusta fluidità, qualità e resistenza.



Fig. 5.6 – Esempio di realizzazione della protezione di un alveo fluviale con materassi in calcestruzzo





Fig. 5.7 – Esempio di protezione al piede di una banchina portuale con materassi in calcestruzzo

2. un elemento di protezione ambientale costituito un telo impermeabile in HPDE (polietilene ad alta densità) spessore 2,5 mm normalmente utilizzato per garantire l'isolamento idraulico delle vasche di colmata, fornito in fogli resi solidali tra loro a formare un'unica superficie attraverso opportune saldature. Le particolari caratteristiche di resistenza, impermeabilità e capacità d'allungamento consentono un sicuro adattamento anche in fondali non perfettamente piani.

### STABILIZZAZIONE ESTREMITA' LATO MARE

Scala 1:25

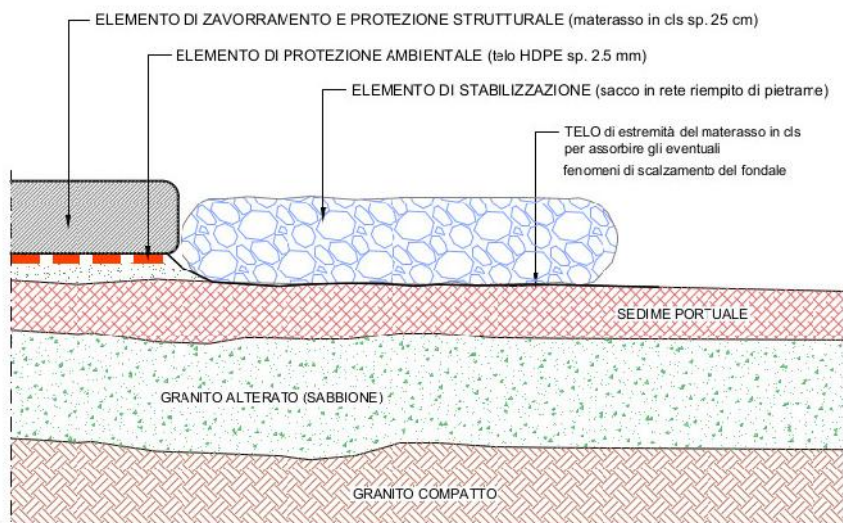


Fig. 5.8 – Stabilizzazione di estremità lato mare del pacchetto di tenuta ambientale (vedi tavola di progetto)

La protezione del sistema di tenuta ambientale lato mare, con riferimento alla fig. 5.8, è ottenuta mediante la saldatura dei teli di estremità in PET dei materassi prefabbricati che vengono zavorrati con sacchi in rete riempiti di pietrame tipo FILTER UNIT da 2 t. La funzione dei teli zavorrati con i sacchi in pietrame è quella di seguire eventuali cedimenti causati da fenomeni di scalzamento del fondale dovuti anche alle eliche di natanti evitando così che il materiale contaminato possa uscire lateralmente dalla zona protetta. La larghezza di questo elemento è di 2,0 m.

Nelle figure 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13 è riportato il particolare del piede banchina su scanno e in cunetta. Le figure mostrano l'elemento di stabilizzazione al piede banchina del sistema di tenuta ambientale. Questo elemento è costituito da sacchi di pietrame da 2 t disposti in fila con interasse di 2 m coincidente con la sua dimensione di ingombro in pianta.

Le caratteristiche del singolo sacco da 2 t in opera sono:

- diametro medio sul piano orizzontale = 2.00 m;
- spessore medio = 0.40 m;
- pezzatura del pietrame = 50 mm ÷ 200 mm;
- quantità di pietrame = 1.25 m<sup>3</sup>;
- interasse tra due sacchi consecutivi = 2.00 m.

I contenitori flessibili a sacco riempiti con pietrame (adatti per consolidamento e controllo erosione nei lavori a mare, in alveo fluviale, protezione pile dei ponti, lavori d'emergenza, ed in ogni intervento di stabilizzazione del terreno) saranno confezionati con una doppia rete a maglia romboidale di poliestere, con capacità di contenere e movimentare in sicurezza il sacco. La doppia rete a maglie romboidale, costituente la struttura del contenitore, sarà del tipo "knitted" (o simile), prodotta con telaio "Raschel" e quindi indemagliabile. La misura del lato della maglia sarà di mm 25 (pezzatura consigliata del riempimento mm 50 ÷ 200).



Fig. 5.9 – Sacchi in rete riempiti di pietrame tipo FILTER UNIT

La fig. 5.14 mostra la planimetria del sistema di tenuta ambientale. Per la descrizione dettagliata del sistema, si rimanda alle tavole di progetto.

Si evidenzia che la tecnica di conterminazione in sito di materiale inquinato impiegata nell'ambito del presente progetto e nota a livello internazionale con il termine inglese "In-Situ Capping (ISC) of Subaqueous Waste", è stata largamente utilizzata nel mondo quale alternativa alle tecniche di dragaggio per la bonifica di fondali contaminati anche allo scopo di ridurre i rischi ambientali connessi alla rimozione, trattamento e trasporto del materiale inquinato. Si citano ad esempio gli interventi eseguiti negli Stati Uniti nella zona dei Grandi Laghi. L'agenzia USA di protezione ambientale (US Environmental Protection Agency) ha elaborato una guida per la progettazione e la realizzazione di tali interventi (Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediment) disponibile in rete alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

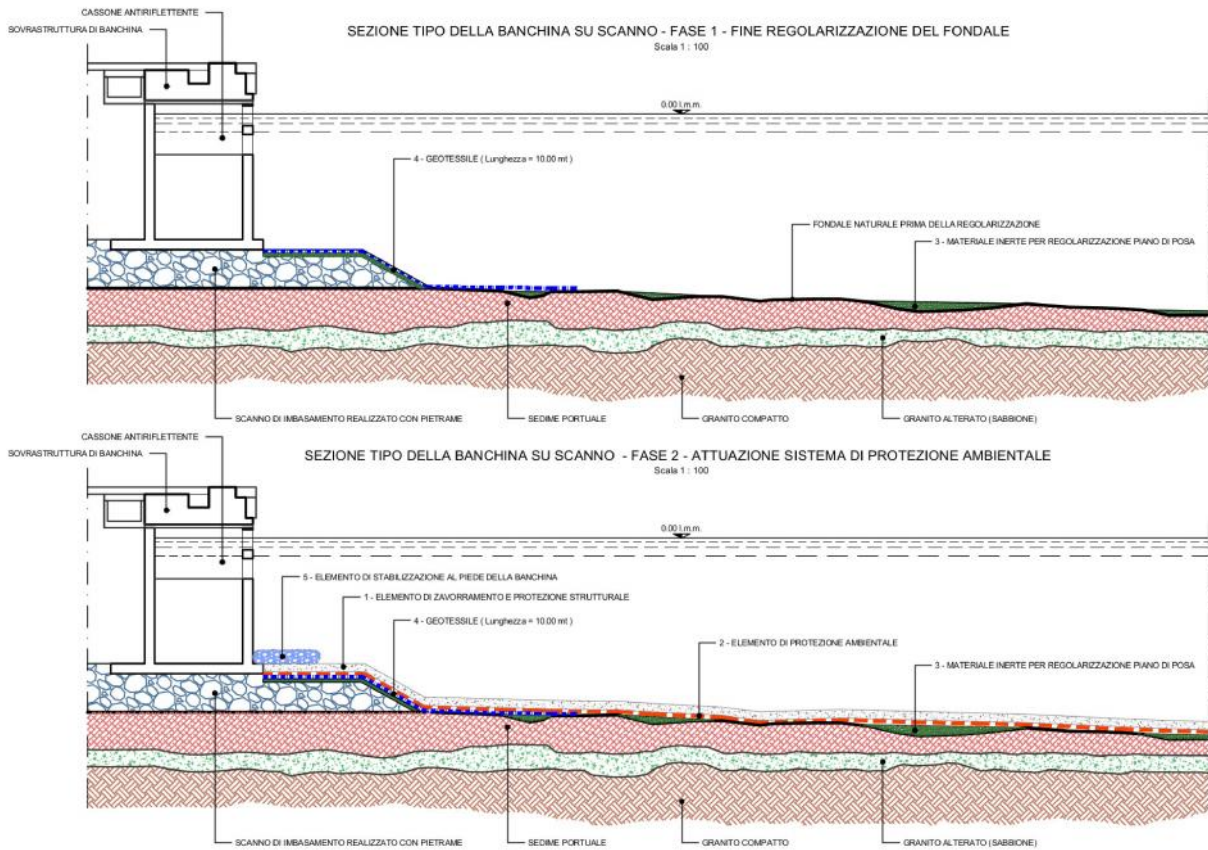


Fig. 5.10 – Sistema di tenuta ambientale – sezione tipo su scanno (vedi tavola di progetto)

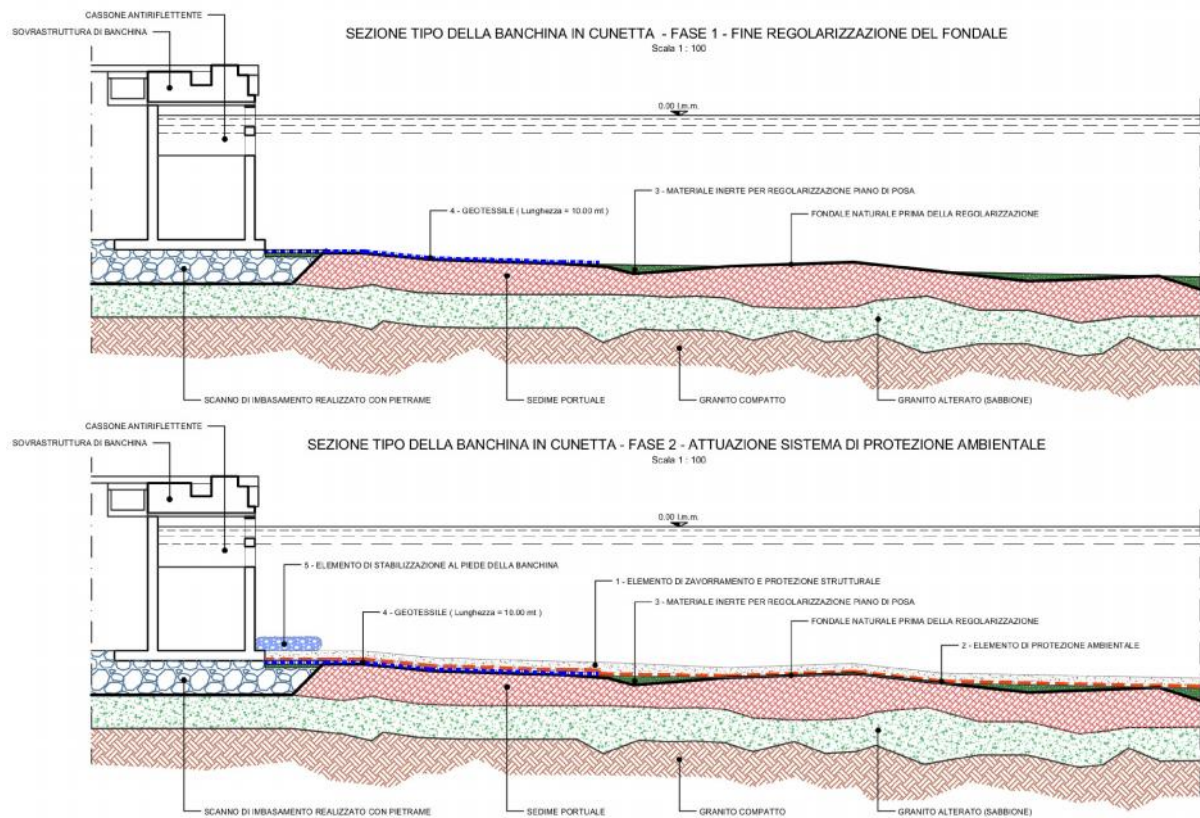


Fig. 5.11 – Sistema di tenuta ambientale – sezione tipo in cunetta (vedi tavola di progetto)

### PIEDE BANCHINA SU SCANNO

Scala 1 : 25

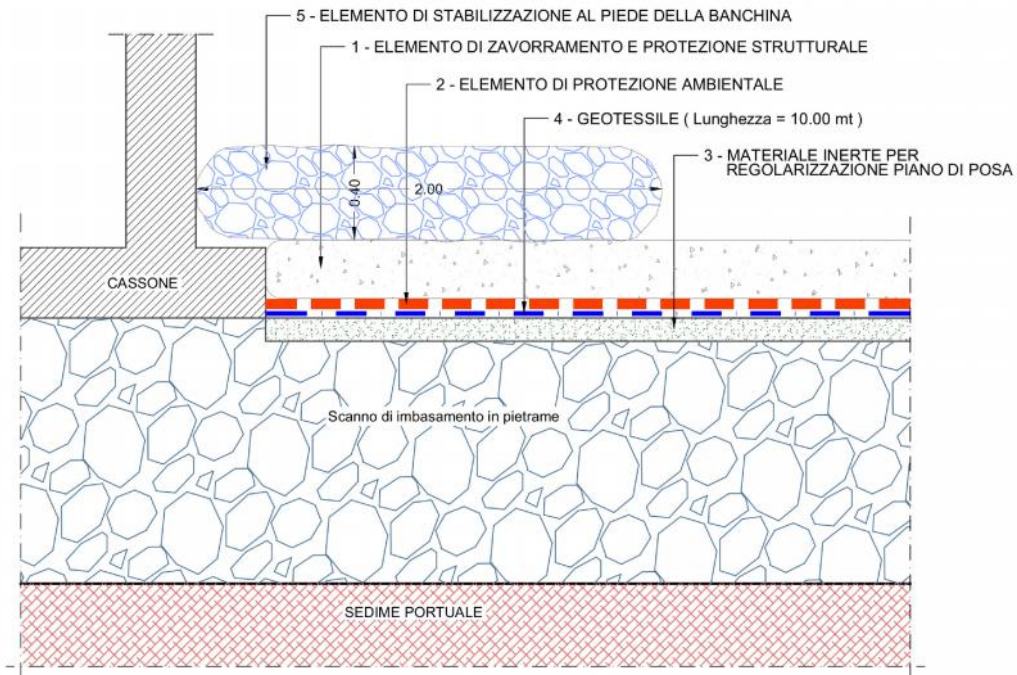


Fig. 5.12 – Sistema di tenuta ambientale – dettagli: sezione tipo e piede banchina su scanno (vedi tavola di progetto)

### PIEDE BANCHINA IN CUNETTA

Scala 1 : 25

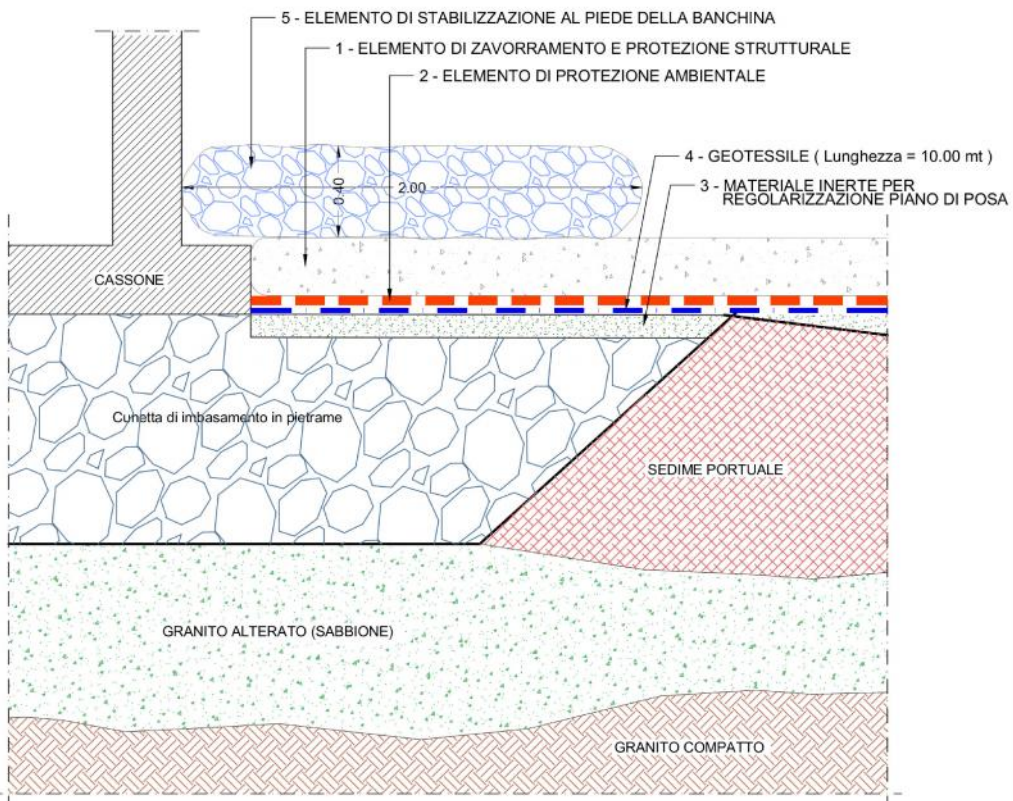


Fig. 5.13 – Sistema di tenuta ambientale – dettagli: piede banchina in cunetta (vedi tavola di progetto)

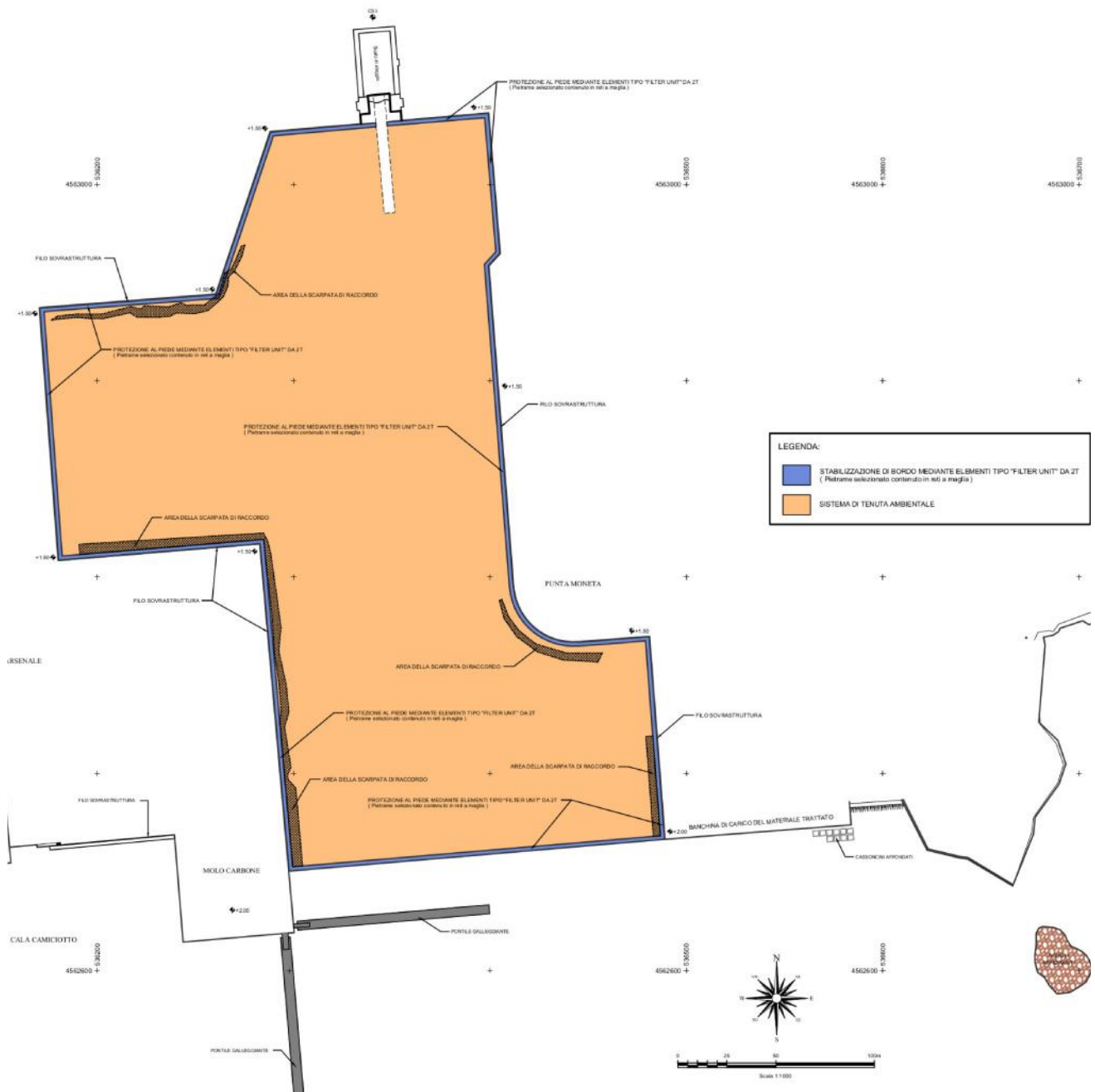


Fig. 5.14 – Sistema di tenuta ambientale – SCHEMA (vedi tavola di progetto)

## 6 Studi specialistici eseguiti a supporto del progetto definitivo

Gli studi specialistici condotti a supporto del presente progetto riguardano:

- lo studio metomarinario (già eseguito per il progetto originale);
- lo studio dell'agitazione ondosa portuale (già eseguito per il progetto originale);
- le verifiche di stabilità e resistenza degli elementi costituenti il sistema di tenuta ambientale, che verrà allegato al progetto definitivo approvato.

Si riporta di seguito la sintesi dei primi due studi specialistici sopra richiamati rimandando per i necessari approfondimenti ai documenti relativi.

### 6.1 Studio meteomarinario

L'obiettivo dello studio meteomarinario, riportato in dettaglio nell'apposito elaborato allegato al progetto, è stato quello di analizzare e caratterizzare i dati meteomarinari a supporto delle attività di progettazione e di esecuzione dei lavori.

In particolare sono stati presi in esame i seguenti parametri:

- variazioni del livello medio marino indotte dalle maree astronomiche e metereologiche (mareografia);
- vento (anemometria);
- moto ondoso (ondametria).

- Mareografia

La conoscenza della variazione del livello del mare in una data località risulta di fondamentale importanza per numerose applicazioni progettuali marittime anche in campo ambientale. Ad esempio è indispensabile per la definizione del livello medio marino locale, al quale occorrerebbe sempre fare riferimento per i rilievi sia delle profondità (rilievi batimetrici) sia delle quote terrestri. Si evidenzia che in topografia normalmente si fa riferimento a zeri convenzionali che possono differire anche notevolmente rispetto al valore locale del livello medio marino, grandezza variabile anche sensibilmente da luogo a luogo. La mancata od errata conoscenza del livello medio marino locale è spesso origine di grossolani errori progettuali.

Per quanto riguarda la mareografia, non si è riusciti a reperire, per il sito in esame, dati storici di misure dirette delle variazioni del livello medio marino, che risultino significative dal punto di vista statistico. Pertanto si è fatto riferimento alle stazioni mareografiche più vicine e in particolare a quelle di:

- Porto Torres, facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA (serie storica di misure di livello compresa tra il 1 gennaio 2000 e il 30 novembre 2010);
- Ajaccio, gestita dal 'Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Militaire Français' (Istituto Idrografico e Oceanografico della Marina Militare Francese) (serie storica di misure di livello compresa tra luglio 2000 e dicembre del 2006);

ambidue localizzate a circa 90÷100 km dall'area in esame.

Sulla base delle serie storiche disponibili per le due stazioni, è stata preventivamente eseguita l'analisi armonica dei segnali registrati, al fine di caratterizzare la componente astronomica della marea (componente deterministica). In analogia a tutte le località del Mediterraneo, la marea astronomica per le due località risulta del tipo mista-semidiurna. Inoltre l'analisi armonica ha consentito di definire i livelli caratteristici delle maree ed in particolare la quota del livello medio marino locale in relazione agli zeri idrografici assunti nelle due stazioni. Per ambedue le stazioni il livello medio marino locale presenta uno scostamento rispetto allo zero idrografico pari a + 0,14 m per Porto Torres e a + 0,43 m per Ajaccio.

Una ulteriore analisi ha riguardato i livelli medi mensili nelle due località. Questi mostrano una variazione stagionale significativa con un minimo in corrispondenza ai primi mesi invernali e un massimo in corrispondenza ai primi mesi autunnali. Tale variazione appare avere una chiara origine meteorologica (pressione atmosferica e vento).

Infine si sono analizzati i livelli residui di origine stocastica (marea meteorologica). L'analisi degli estremi eseguita sui segnali di livello, ha consentito di definire la legge di correlazione tra i livelli estremi e il relativo tempo di ritorno.

- Anemometria

La conoscenza dell'esposizione anemometrica di un paraggio è anch'essa importante per la maggior parte delle applicazioni d'ingegneria marittima e ambientale. Nel presente caso il vento è sicuramente la principale causa della circolazione idrodinamica del paraggio, oltre ad essere la causa generatrice del moto ondoso.

Anche in questo caso non si sono reperite misure dirette, significative dal punto di vista statistico, eseguite in prossimità del sito in esame. Pertanto si è fatto riferimento alla serie storica registrata dalla stazione anemometrica dell'Aeronautica Militare Italiana A.M. 506 – Guardia Vecchia - localizzata a La Maddalena ad una quota di +158 m sul l.m.m.. La serie storica trioraria disponibile si estende per 22 anni complessivi, dal 1 gennaio del 1951 al 31 dicembre del 1973. Le analisi condotte hanno consentito di caratterizzare il clima anemometrico medio annuale e stagionale per il sito in esame. Le analisi mostrano chiaramente la bimodalità del regime anemometrico, con asse posto lungo la direzione ovest-est e la netta prevalenza per intensità e frequenza dei venti occidentali. Tale comportamento è, come noto, dovuto alla presenza dei rilievi montuosi della Corsica e della Sardegna, che incanalano i venti occidentali nelle "Bocche di Bonifacio", determinandone frequentemente un rilevante aumento di velocità.

- Ondametria

Nel caso in questione la conoscenza del clima ondometrico locale risulta importante poichè il moto ondoso è la principale causa ambientale naturale in grado di determinare la messa in sospensione dei sedimenti. Inoltre il moto ondoso può costituire un fattore limitante per le operazioni di dragaggio.

Sia per il sito dell'area marina oggetto della bonifica (zona ex Arsenale) sia per quello di Punta Chiara, non esistono misure dirette di moto ondoso. Pertanto si è provveduto a ricostruire il clima ondometrico direzionale utilizzando un metodo di ricostruzione ("hindcasting") partendo dalla serie storica anemometrica dell'Aeronautica Militare disponibile per la stazione di Guardia Vecchia (vedi anemometria).



Il metodo di ricostruzione implementato (SMB) ha consentito di ricostruire la serie storica ondometrica direzionale per ciascuna delle due località di interesse (zona ex Arsenale e Punta Chiara). Le due serie storiche ricostruite coprono quindi un periodo di circa 22 anni, al pari di quello coperto dalle misure anemometriche. Nel ricostruire il moto ondoso si è tenuto conto dei “fetch efficaci” relativi a ciascuna località, ottenuti in funzione dei corrispondenti “fetch geografici”. Le due serie storiche ottenute sono state utilizzate per definire i climi ondometrici medi annuali e stagionali relativi alle due località. Operando a favore di sicurezza, non si è tenuto conto della riduzione dell'intensità del vento che si potrebbe verificare passando dalla quota in corrispondenza della quale sono state eseguite le misure anemometriche (+ 158 m sul l.m.m.) alla quota +10,0 m sul l.m.m., quota utilizzata per convenzione come dato di ingresso per l'applicazione del metodo SMB.

Per quanto riguarda la porzione di mare prospiciente il porto turistico dell'EX Arsenale, i risultati ottenuti mostrano che l'area è soggetta mediamente a condizioni di moto ondoso modeste, a causa delle limitate estensioni geografiche disponibili per la zona di generazione delle onde (fetch). Ovviamente ci si aspetta che i risultati di moto ondoso ottenuti per l'area esterna del porto, subiscano una attenuazione nella propagazione dall'esterno del porto verso Cala Camicia, a causa dell'effetto di protezione offerto dalle opere esterne portuali.

## **6.2 Studio dell'agitazione ondosa portuale**

L'obiettivo dello studio è quello di definire all'interno di Cala Camicia e in funzione delle caratteristiche del moto ondoso incidente:

- l'agitazione ondosa residua di interesse per il calcolo del “down-time” dei lavori di messa in sicurezza dell'area e per il dimensionamento delle panne galleggianti;
- le componenti verticali della velocità delle particelle fluide in prossimità del fondo (circa 0,5 m dal fondo) indotte dal moto ondoso che penetra all'interno del porto di interesse per il progetto del sistema di tenuta ambientale.

Per la definizione delle caratteristiche del moto ondoso incidente si è fatto riferimento allo studio meteomarinario e in particolare al clima ondometrico medio annuale ricostruito, a partire dai dati di vento, con il modello di “hind-casting”.

I risultati forniti dallo studio risultano funzionali alle attività di progettazione degli interventi necessari per il completamento della bonifica dei fondali.

## **7 Costo degli interventi**

Nella tabella seguente si riporta il costo delle lavorazioni previste dal presente progetto inclusi gli oneri della sicurezza.

Tale costo esclude l'IVA, gli oneri di progettazione, direzione lavori e quanto altro previsto dalla normativa vigente.

Per la definizione dei costi si è fatto riferimento al prezzario della Regione Sardegna e a specifiche analisi e offerte eseguite per il presente progetto.

Per quanto riguarda l'incremento dei costi previsto dal prezzario regionale per tenere conto di lavori eseguiti su isole minori, come per il progetto definitivo sviluppato dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale tale incremento è stato assunto nullo.

Si rimanda all' apposito elaborato per maggiori dettagli.

	CATEGORIA DI RIFERIMENTO E DESCRIZIONE DELLE LAVORAZIONI	Riferimenti	Quantità risultante	Unità di misura	Unitario (euro)	Importi Totali	Incidenza ** Percentuale
<b>1</b>	<b>OG7 APPRESTAMENTO DEI FONDALI</b>					<b>33 113.88</b>	<b>0.458</b>
1.1	TAGLIO SUBACQUEO DI MURATURA, CLS, ECC		10.00	m3	614.64	6 146.40	0.085
1.2	SALPAMENTO DI SCOGLIERA		692.00	m3	21.94	15 182.48	0.210
1.3	RICOLLOCAMENTO dei corpi morti		73.00	cad	129.22	9 433.06	0.130
1.4	TRASPORTO DEL MATERIALE DI RISULTA		35.00	m3	64.49	2 257.15	0.031
1.5	ONERI DI CONFERIMENTO A DISCARICA		14.58	t	6.50	94.79	0.001
<b>2</b>	<b>OG7 REGOLARIZZAZIONE DEL FONDALE E PREPARAZIONE DEL PIANO DI POSA DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE</b>					<b>1 543 936.49</b>	<b>21.338</b>
2.1	DELIMITAZIONE DARSENA CON "PANNI GALLEGGIANTI"		1.00	corpo	194 917.03	194 917.03	2.694
2.2	ANCORAGGIO DELLE PANNI GALLEGGIANTI		177.00	cad	241.03	42 662.95	0.590
2.3	SISTEMAZIONE E SPIANAMENTO		58 271.02	m2	21.48	1 251 661.56	17.299
2.4	FORNITURA E POSA IN OPERA DI GEOTESSILE		11 139.50	m2	4.91	54 694.95	0.756
<b>3</b>	<b>OG7 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE</b>					<b>5 492 626.58</b>	<b>75.640</b>
3.1	FORNITURA E POSA IN OPERA di telo HDPE		58 271.02	m2	14.22	828 613.94	11.312
3.2	FORNITURA E POSA IN OPERA di materasso di calcestruzzo (CONCRETE MATTRESS)		58 271.02	m2	80.04	4 664 012.64	64.329
<b>4</b>	<b>OG7 STABILIZZAZIONE DEL BORDO DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE</b>					<b>185 484.65</b>	<b>2.564</b>
4.1	FORNITURA E POSA IN OPERA di sacchi di pietrame tipo FILTER UNIT da 2 t		653.00	cad	284.05	185 484.65	2.564
A	IMPORTO TOTALE DEI LAVORI A CORPO (comprensivo degli oneri ORDINARI per la sicurezza riconducibili alle Spese Generali)					<b>€ 7 255 161.60</b>	
B1	ONERI ORDINARI DELLA SICUREZZA "SPECIFICI", GIA' INTRINSECAMENTE CONNESSI NEI COSTI DELLE DISTINTE LAVORAZIONI Computati sulla base dell'incidenza (%) sul prezzo unitario dei costi della sicurezza specifici per ciascuna lavorazione					<b>€ 77 311.93</b>	
B2	ONERI ORDINARI DELLA SICUREZZA "GENERICI", RELATIVI ALLE CARATTERISTICHE OGGETTIVE DEL CANTIERE Comunque a carico dell'Impresa per gli adempimenti del D.Lgs. 81/08 e riconducibili ad una quota parte delle Spese Generali					<b>€ 80 900.46</b>	
B3	ONERI "SPECIALE" PER LA SICUREZZA ALTRIMENTI NON INCLUSI NEI PREZZI UNITARI DELLE LAVORAZIONI Riconducibili ad apprestamenti e/o disposizioni speciali che esulano dal normale andamento e conduzione dei lavori					<b>€ 4 850.00</b>	
B	IMPORTO TOTALE DEGLI ONERI SPECIFICI, GENERALI E SPECIALI PER LA SICUREZZA (NON ASSOGGETTABILI AL RIBASSO DI GARA)					<b>€ 163 062.39</b>	<b>2.246%</b>
	IMPORTO TOTALE DEI LAVORI AL NETTO DI TUTTI GLI ONERI PER LA SICUREZZA (A-B)					<b>€ 7 096 949.21</b>	<b>97.754%</b>
	IMPORTO TOTALE LORDO DEI LAVORI (COMPENSIVO DI TUTTI GLI ONERI PER LA SICUREZZA)					<b>€ 7 260 011.60</b>	
* I prezzi unitari sono comprensivi degli Utili di Impresa (10%) e delle Spese Generali (15%); le Spese Generali comprendono anche gli oneri ORDINARI GENERALI per la sicurezza							
** L'incidenza percentuale delle singole lavorazioni è riferita all'importo TOTALE DEI LAVORI al netto degli oneri per la sicurezza ORDINARI (SPECIFICI e GENERALI) e SPECIALI							

## 8 Tempi

Il tempo complessivo per l'esecuzione degli interventi oggetto del presente progetto è stato stimato in circa 12 mesi. Nel caso in cui il presente progetto venisse approvato, verrà sviluppato un apposito crono-programma.