



Projet SEDITERRA (N°CUP : I42F17000010006)



ATTIVITÀ T2.3 : PILOTI DI TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI NON IMMERGIBILI
ACTIVITE T2.3 : PILOTES DE TRAITEMENTS DE SÉDIMENTS NON IMMERGEABLES

PRODOTTO T2.3.5 - TRATTAMENTO DI DISIDRATAZIONE
LIVRABLE T2.3.5 - TRAITEMENT PAR DÉSHYDRATATION



Navicelli di
Pisa Srl



ANNÉE 2019 / ANNO 2019

<p>Nom du livrable :</p> <p>Nome del deliverable :</p>	<p>Traitement par déshydratation</p> <p>Trattamento di disidratazione</p>
<p>Redatto da :</p>	<p>Nicola D'Andretta ; Gaetano Petrizzo</p>
<p>Validé par / Validato da :</p>	<p>Luca Anghela (Provinci Di Pisa)</p>
<p>Mise en forme finale et Résumé / Formattazione finale e Riassunto</p>	<p>Erwan Tessier (INSA de Lyon)</p>



**Navicelli di
Pisa Srl**



INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

ORGANISATION DU DOCUMENT :

RÉSUMÉ DU LIVRABLE EN FRANÇAIS ET EN ITALIEN

LIVRABLE T2.3.5 INTÉGRAL (en italien)

LIVRABLE T2.3.5 INTÉGRAL (en français)

ORGANIZZAZIONE DEL DOCUMENTO :

RIASSUNTO DELLA DELIVERABLE IN FRANCESE E ITALIANO

PRODOTTO T2.3.5 INTEGRALE (in italiano)

PRODOTTO T2.3.5 INTEGRALE (in francese)

SOMMAIRE GÉNÉRAL

I.	RÉSUMÉ DU LIVRABLE	5
II.	RIASSUNTO DEL DELIVERABLE	6
III.	DELIVERABLE T2.3.5	7
	3.1) INTRODUZIONE	7
	3.2) SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE	7
	3.3) TITOLO DEL TRATTAMENTO - PRINCIPI E FINALITÀ DEL TRATTAMENTO	8
	3.4) MATERIALE E METODO DI ESECUZIONE DEL TRATTAMENTO	9
	3.5) PROTOCOLLO DI MONITORAGGIO EFFETTUATO	17
	3.6) RISULTATI OTTENUTI	21
	3.7) ANALISI DELL'EFFICACIA E DEI LIMITI DEL TRATTAMENTO	23
	3.8) COMPONENTE ECONOMICA	24
	3.9) CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	28
IV.	LIVRABLE T2.3.5	30
	4.1) INTRODUCTION	30
	4.2) SYNTHÈSE DES ACTIVITES RÉALISÉES	30
	4.3) PRINCIPES ET FINALITÉS DU TRAITEMENT	31
	4.4) MATÉRIELS ET MÉTHODES D'EXÉCUTION DU TRAITEMENT	32
	4.5) PROTOCOLE DE SUIVI EFFECTUÉ	39
	4.6) RÉSULTATS OBTENUS	42
	4.7) ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ET DES LIMITES DU TRAITEMENT	45
	4.8) COMPOSANTE ÉCONOMIQUE	46
	4.9) CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	50

I. RÉSUMÉ

Le document suivant est un des livrables du projet Interreg Marittimo SEDITERRA (2017-2020) portant sur la gestion des sédiments de dragage contaminés. Il décrit l'activité pilote mise en oeuvre par la société Navicelli di Pisa, tiers conventionné de la Province de Pise dans le projet SEDITERRA.

Navicelli di Pisa S.r.l. est une société publique créée dans le but de gérer le Canal Navicelli et les zones publiques environnantes. La mission de Navicelli consiste à maintenir l'efficacité d'utilisation du canal, via la mise en oeuvre des opérations de dragage des sédiments nécessaires et l'ouverture des ponts pour assurer le passage des bateaux.

L'activité pilote portée par la société Navicelli dans le projet SEDITERRA a été de réaliser un dragage hydraulique (par pompage) d'environ 500m³ de sédiments, prélevés dans le lit du canal, et de tester l'efficacité et vérifier l'impact environnemental de leur déshydratation (« traitement par dewatering ») via l'utilisation de géotextiles drainants (*i.e. géotubes*). Il est ensuite prévu (hors projet) de réutiliser les sédiments déshydratés comme matériau de remplissage pour améliorer la protection hydraulique de la voie navigable.

La surveillance de l'environnement a été réalisée en effectuant un contrôle chimique quotidien des eaux de ressuyage pendant toute la durée du pompage des sédiments et du remplissage des géotubes et dans les 4 jours suivants l'achèvement des travaux. Deux échantillons d'eau supplémentaires ont été prélevés pour contrôle 7 et 10 jours après la fin de la surveillance quotidienne. Les sédiments ont quant à eux été caractérisés aux étapes les plus significatives du processus de déshydratation (début, moyen terme et fin du traitement).

L'examen des résultats analytiques montre que les concentrations maximales mesurées dans les eaux émises et libérées dans le milieu adjacent (*i.e. l'eau du canal*) sont supérieures aux limites établies par la législation en vigueur pour les eaux usées (cf. Concentrations Seuils de Contamination (CSC) : Tableau 2 de l'annexe 5 - partie IV - Décret Législatif italien 152/2006), en ce qui concerne les sulfates (7 à 8 fois le seuil), le nickel (1.8x), l'arsenic (3 à 30x), le plomb (2x) et le cuivre (2.3x). Ces dépassements constatés dans les eaux ne sont pas intimement reliés aux teneurs présentes dans le sédiment qui, elles, sont bien en deçà des seuils autorisés par la législation (Tableau 1 de l'annexe 5 - partie IV - Décret Législatif 152/2006). Enfin, il est constaté en fin de suivi, soit 10 jours après la fin du pompage, que, hormis pour les teneurs en sulfates (liées à la nature saumâtre des sédiments), les valeurs mesurées dans les eaux de ressuyage redeviennent toutes bien inférieures aux seuils législatifs pour les eaux usées.

L'utilisation de géotextile drainant pour la gestion des déblais de dragage a constitué une nouveauté opérationnelle positive pour la société Navicelli di Pisa. Les points intéressants sont : l'impact minimal sur l'environnement, l'évaluation constante des volumes dragués et le drainage rapide et maîtrisé de l'eau présente. Les limites du traitement sont : une installation et une mise en oeuvre assez complexe et limitée dans l'espace, des coûts de dragage plus élevés par rapport aux méthodes traditionnelles.

II. RIASSUNTO

Il seguente documento è uno dei deliverable del progetto Interreg Marittimo SEDITERRA (2017-2020) sulla gestione dei sedimenti di dragaggio contaminati. Descrive l'attività pilota realizzata da Navicelli di Pisa, un terzo contrattuale dalla Provincia di Pisa nell'ambito del progetto SEDITERRA.

La Navicelli di Pisa S.r.l. è una società pubblica costituita al fine di gestire il Canale dei Navicelli e le aree demaniali limitrofe. Provvede al mantenimento dell'efficienza e dell'utilizzo del canale, in particolare per quanto riguarda gli interventi di dragaggio e l'apertura dei ponti per il passaggio delle imbarcazioni.

L'attività pilota svolta da Navicelli nell'ambito del progetto SEDITERRA è stata quella di effettuare il dragaggio idraulico (mediante pompaggio) di circa 500 m³ di sedimenti, prelevati dal fondo del canale, e di testare l'efficienza e verificare l'impatto ambientale della loro disidratazione (« Dewatering ») attraverso l'utilizzo di geotessili drenanti (« geotubi »). Si prevede quindi (al di fuori del progetto) di riutilizzare i sedimenti disidratati come materiale di riempimento per migliorare la protezione idraulica del canale navigabile.

Il monitoraggio ambientale è stato effettuato attraverso l'analisi chimica giornaliera delle acque di drenaggio. Tale attività è stata realizzata durante l'intero periodo di pompaggio dei sedimenti e nei 4 giorni successivi al completamento dei lavori. Infine sono stati prelevati altri due campioni d'acqua 7 e 10 giorni dopo la fine del ciclo di monitoraggio giornaliero. La caratterizzazione chimica dei sedimenti, è stata realizzata nelle fasi più significative del processo di disidratazione (inizio, medio termine e fine del trattamento).

Dall'esame dei risultati analitici emerge che le concentrazioni massime misurate nelle acque emesse e rilasciate nell'ambiente circostante (acque di canale) sono superiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente per le acque reflue (vedi Concentrazioni Soglie di Contaminazione (CSC) : Tab. 2 dell'All. 5 - Parte IV - D. Lgs. 152/2006), per quanto riguarda i solfati (da 7 a 8 volte la soglia), il nichel (1.8x), l'arsenico (3 à 30x), il piombo (2x) e il rame (2.3x). Questi superamenti in acqua non sono strettamente correlati ai livelli presenti nei sedimenti, che sono ben al di sotto delle soglie consentite dalla legislazione (Tab. 1 dell'All. 5, Parte IV del D. Lgs. 152/2006). Infine, al termine del monitoraggio, ossia 10 giorni dopo la fine del pompaggio, si osserva che, ad eccezione del contenuto di solfati (a causa della natura salmastra dei sedimenti), i valori misurati nelle acque sudate sono tutti ben al di sotto delle soglie legislative per le acque reflue.

L'utilizzo del geotessile drenante per la gestione del materiale dragato è stata una positiva innovazione operativa per i Navicelli di Pisa. I punti di interesse sono : l'impatto minimo sull'ambiente, la costante valutazione dei volumi dragati e il drenaggio rapido e controllato delle acque presenti. I limiti del trattamento riguardano la complessità realizzativa e d'installazione, costi di dragaggio più elevati rispetto ai metodi tradizionali che la Navicelli sta adoperando negli ultimi anni.

III. DELIVERABLE T2.3.5

3.1) INTRODUZIONE

Con il presente documento (Livrable T2.3.5) vengono esposte le attività di dragaggio e monitoraggio dei sedimenti e delle acque di percolazione relative al sito pilota di Pisa (Canale dei Navicelli) così come previsto dal protocollo relativo alle attività svoltesi.

3.2) SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Il progetto ha previsto la realizzazione di una sperimentazione di dewatering e il monitoraggio chimico di sedimenti dragati idraulicamente e immessi in appositi contenitori tubolari progettati per agevolare e velocizzare il naturale processo di disidratazione della matrice solida.

Il materiale è stato dragato idraulicamente e pompato all'interno n.2 geotessili drenanti (dimensioni cad., 4,0m x 30,0m x Hr < 1,7m). La prova è stata eseguita predisponendo il sistema lungo la sponda Dx del Canale dei Navicelli, nelle pertinenze idrauliche dell'asta fluviale, nel tratto compreso tra l'Incile e la Darsena Pisana.

La posa in opera del sistema è stata preceduta da un'accurata sistemazione morfologica della zona affinché si verificasse il corretto drenaggio delle acque di percolazione e al fine di rendere agevole l'accesso all'area di intervento.

Per sommi capi le lavorazioni son state eseguite rispettando il seguente ordine :

- 1- *La preparazione preventiva della zona di alloggiamento dei tubolari (secondo le disposizioni della D.L.) con rimozione del terreno presente e suo abbancamento a tergo, riprofilatura della fascia di terreno compresa tra il bordo canale ed il ciglio interno della via alzaia*
- 2- *Predisposizione dei geotessili drenanti*
- 3- *Il dragaggio nell'area adiacente e possibilmente antistante la zona di collocazione dei tubolari in tessuto*
- 4- *La riprofilatura e la sistemazione finale della sponda (occupata dal tubolare in tessuto drenante)*

Il monitoraggio ambientale è stato predisposto effettuando un controllo chimico costante giornaliero sulle acque reflue per tutta la durata del pompaggio e nei giorni immediatamente successivi alla fine dei lavori. I sedimenti invece sono stati caratterizzati con meno frequenza e comunque nelle fasi più significative del processo di dewatering (inizio, medio termine e fine del trattamento).

L'esame dei risultati ottenuti mette in evidenza come le concentrazioni di alcuni analiti siano superiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente ; nello specifico si riscontra il superamento delle Concentrazioni di Soglia di Contaminazione (CSC) dei solfati, di alcuni metalli quali : Nichel (Ni), Arsenico (As), Piombo (Pb) e Rame (Cu).

3.3) TITOLO DEL TRATTAMENTO - PRINCIPI E FINALITÀ DEL TRATTAMENTO

La Navicelli di Pisa S.r.l. è una società a capitale interamente pubblico, costituita al fine di gestire il Canale dei Navicelli e le aree demaniali limitrofe. Provvede al mantenimento dell'efficienza e dell'utilizzo del canale, in particolare per quanto riguarda gli interventi di dragaggio e l'apertura dei ponti per il passaggio delle imbarcazioni.

La società, che a partire dal settembre 2015 ha collaborato con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa nella ideazione e preparazione delle azioni sperimentali previste dal progetto sul territorio pisano, è partner in convenzione con la Provincia di Pisa (insieme allo stesso Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa) nel progetto SEDITERRA.

Come contributo al progetto, la Navicelli di Pisa aveva proposto già in fase preparatoria di realizzare attività di dragaggio sperimentale per un totale di circa 500m³ di sedimento e tale azione è stata poi formalmente inserita nelle attività previste dal Formulario di progetto.

Il dragaggio sperimentale è stato realizzato mediante il pompaggio in geotessili drenanti di sedimenti prelevati dall'alveo del Canale dei Navicelli (acqua e sedimento). Questo tipo di dragaggio rappresenta un'assoluta novità per la Navicelli di Pisa, che ha pertanto ritenuto interessante contribuire in tal modo alla realizzazione del progetto "SEDI TERRA".

I dettagli tecnici saranno illustrati nei paragrafi successivi.



3.4) MATERIALE E METODO DI ESECUZIONE DEL TRATTAMENTO

Il progetto ha previsto la realizzazione di una sperimentazione di dewatering su sedimenti dragati idraulicamente e immessi in appositi contenitori tubolari progettati per agevolare e velocizzare il naturale processo di disidratazione della matrice solida.

Il materiale dragato idraulicamente è stato pompato all'interno di ogni geotessile drenante (dimensioni cad., 4,0m x 30,0m x Hr < 1,7m). La prova è stata eseguita predisponendo il sistema lungo la sponda Dx del Canale dei Navicelli, nelle pertinenze idrauliche dell'asta fluviale, nel tratto compreso tra l'Incile e la Darsena Pisana.

La posa in opera del sistema è stata preceduta da un'accurata sistemazione morfologica della zona con lo scopo di favorire il corretto drenaggio delle acque di percolazione e al fine di rendere agevole l'accesso all'area di intervento.

La possibilità di posizionare i geotessili drenanti lungo la sponda del Canale dei Navicelli rappresenta una delle novità derivanti dalla L. 164/2014 (decreto "Sblocca Italia") in cui viene concessa la possibilità di operare lavori di dragaggio nell'ambito delle pertinenze idrauliche, che nel caso del canale dei Navicelli rappresentano una fascia di competenza larga circa 10 m che si estende per tutta la lunghezza del canale su entrambe le sponde.

Una volta disidratato il sedimento verrà riutilizzato come materiale da riempimento per il miglioramento della difesa idraulica dell'idrovia.

Per sommi capi le lavorazioni sono state eseguite come segue :

- Fase 1 - Preparazione preventiva della zona di alloggiamento dei tubolari (secondo le disposizioni della D.L.) con rimozione del terreno presente e suo abbancamento a tergo, riprofilatura della fascia di terreno compresa tra il bordo canale ed il ciglio interno della via alzaia
- Fase 2 - Predisposizione dei geotessili drenanti
- Fase 3 - Il dragaggio nell'area adiacente e possibilmente antistante la zona di collocazione dei tubolari in tessuto
- Fase 4 - La riprofilatura e la sistemazione finale della sponda (occupata dal tubolare in tessuto drenante)

- **Fase 1**

La fase iniziale delle lavorazioni che riguarda la preparazione della zona di alloggiamento dei tubolari è stata realizzata come segue :

1. scotico del piano di campagna (100 ml x 8 ml), per profondità fino a 30 cm, compreso l'asportazione delle piante erbacee ed arbustive e relative radici, escluse ceppaie d'albero di alto fusto, con accumulo nell'area di cantiere.

2. scavo di sbancamento (100 ml x 8 ml), per profondità fino a 20 cm, eseguito con mezzi meccanici, con accumulo nell'area di reimpiego nell'ambito del cantiere.
3. formazione di arginatura per contenimento del telo impermeabile e formazione delle pendenze verso Canale dei Navicelli con materiale presente in cantiere proveniente da scavi.
4. fornitura e posa in opera di telo in HDPE trasparente (spessore ≥ 2 mm) steso a strati con minimo 20 cm di sovrapposizione tra gli stessi, superficie compresa di arginature (103 ml x 11ml).
5. rivestimento con geotessile non tessuto, peso ≥ 400 gr/mq a filo continuo agugliato per strato di separazione compreso picchettatura, per tutta la superficie (100 ml x 8 ml).
6. fornitura e posa in opera di materiale pietrisco di cava pezzatura 4/8 steso con mezzo meccanico e livellato, per tutta la superficie (100 ml x 8 ml) fino a circa 30 cm di altezza.

Seguono alcune immagini delle principali azioni realizzative della fase 1 :





- Fase 2

La seconda fase delle lavorazioni ha previsto la posa in opera di strutture tubolari in geotessile.

I tubolari sono prodotti con caratteristiche di resistenza meccanica idonee al confinamento definitivo del materiale pompato. La loro caratteristica principale è quella di riuscire a confinare all'interno di essi la parte solida agevolando però il drenaggio dell'acqua.

In particolare i geotessili drenanti hanno le seguenti caratteristiche :

- Resistenza nominale a trazione minima in direzione longitudinale ≥ 70 kN/m; resistenza nominale a trazione minima in direzione trasversale ≥ 105 kN/m in accordo alla ASTM D4595, resistenza nominale a trazione minima delle cuciture $\geq 40\%$ della resistenza nominale del geotessile (in accordo alla UNI EN ISO 10321) ; permeabilità all'acqua normale al piano di almeno 1200 l/m²/min in accordo all'ASTM D4491.
- L'unità garantisce inoltre un O95 di 0,425 mm in accordo alla ASTM D4751 ed una resistenza al punzonamento di almeno di almeno 8.000 N in accordo all' ASTM D6241.
- Tutte le cuciture sono eseguite in filo di poliestere stabilizzato UV. Le cuciture dei tubi di grandi dimensioni sono trasversali all'asse del tubo ad eccezione di un'unica cucitura longitudinale posta lungo l'asse longitudinale mediano sul fondo del tubo, che si trova a contatto del piano di appoggio del tubo stesso, nella posizione radialmente opposta ai bocchettoni di riempimento.
- I tubi in geotessile sono dotati di specifici boccaporti di riempimento (diametro minimo DN100) posti ad una distanza di circa 10 m l'uno dall' altro per consentirne il riempimento mediante l'impiego di idonei apparati di pompaggio.
- I tubi sono dotati di specifici bocchettoni per consentirne il riempimento con una miscela acqua/sedimento, contenente un massimo di sedimenti del 15% V/V.

Fase di posizionamento e riempimento :

- Il tubo è stato riempito con opportune pressioni stabilite dalla direzione lavori al fine di non danneggiarlo.
- La superficie su cui il tubo in geotessile è stato installato è stata preparata in modo da essere resa piana e priva di ostacoli che potessero danneggiarlo.

Seguono alcune immagini relative alla fase 2



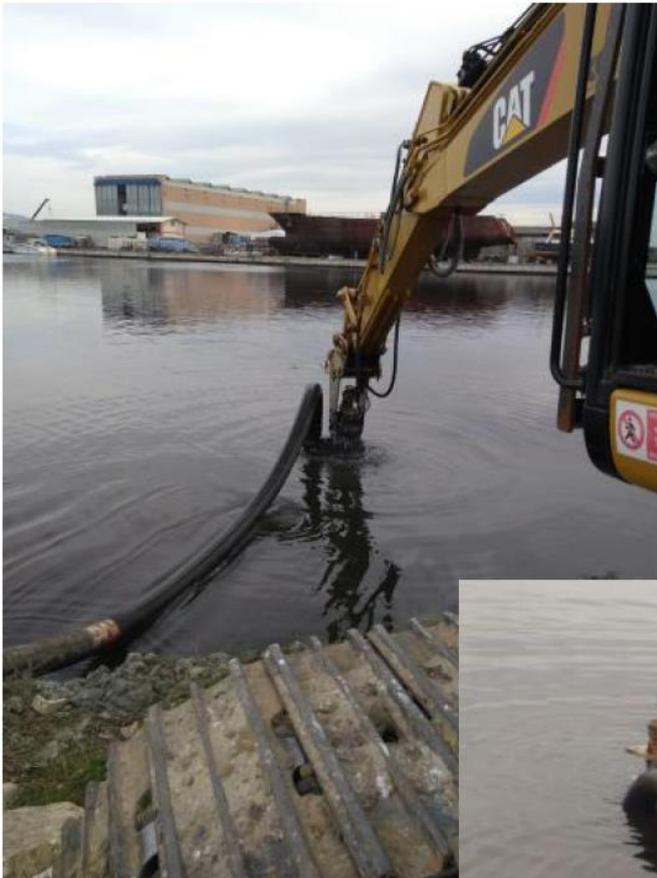
- Fase 3

Il dragaggio idraulico è stato eseguito con pompa aspirante e refluyente tipo DragFlow (Vedi documentazione fotografica che segue), in tubazione di lunghezza fino 100 m, con portata di miscela fango/acqua compresa nell'intervallo (150-300) mc/h, idonea allo scavo di materiale di tipo limosoargilloso.

La miscela prelevata dal serbatoio ha avuto adeguata concentrazione di frazione solida e comunque non superiore (\leq) al 15% SS V/V, finalizzata a garantire una corretta alimentazione fluida nei tubolari drenanti utilizzati.

La pompa, munita di opportuno sistema disgregante e/o altri dispositivi atti a rompere la possibile crosta superficiale del fondo canale, è stata installata al braccio dell'escavatore ed alimentata dall'impianto oleodinamico dello stesso mezzo d'opera.

La portata oraria di caricamento della miscela dragata all'interno di ogni singolo tubolare drenante previsto, è stata di circa un quarto del volume massimo di contenimento dello stesso, al fine di garantire un adeguato tempo di rilascio del surnatante separatosi all'interno.







- **Fase 4**

Una volta terminate le operazioni di dragaggio, tutte le attrezzature per il pompaggio sono state disinstallate e il materiale dragato lasciato a riposo affinché si realizzino tutti i normali processi di disidratazione.

Dopo la disidratazione i sedimenti saranno ricollocati in specifiche aree (sempre all'interno del pertinenze idrauliche del Canale) e utilizzati per il ripristino plano altimetrico (ove necessario) degli argini del canale.

Qui i sedimenti saranno sagomati e presumibilmente vi saranno piantumate alcune specie vegetali ritenute dalla letteratura scientifica particolarmente efficaci nell'accelerare i naturali processi di degradazione degli eventuali inquinanti presenti.

3.5) **PROTOCOLLO DI MONITORAGGIO EFFETTUATO**

Il monitoraggio ambientale è stato predisposto, in accordo con il responsabile scientifico del progetto, sentiti anche i pareri e le necessità dettate dagli altri attori del progetto, effettuando un controllo chimico costante giornaliero sulle acque reflue per tutta la durata del pompaggio e nei giorni immediatamente successivi alla fine dei lavori.

I sedimenti invece sono stati caratterizzati con meno frequenza e comunque nelle fasi più significative del processo di dewatering (inizio, medio termine e fine del trattamento). Al momento è stato effettuato il prelievo iniziale e quello di medio termine ; i risultati saranno discussi più avanti.

Nel dettaglio il protocollo di monitoraggio ha previsto le seguenti attività :

Durante la fase di pompaggio sono stati prelevati due campioni d'acqua al giorno ; il primo è stato prelevato all'inizio della giornata lavorativa e il secondo al termine delle attività giornaliere.

Il pompaggio nei geotessili drenanti, come da programma, è durato circa 3 giorni.

I prospetti che seguono mostrano il cronoprogramma dettagliato relativo alle attività di prelievo delle acque reflue in accordo con quanto programmato nel protocollo di monitoraggio :

	Intervallo di prelievo	Quantità
27/02/2019	Mattina	1.000 ml
	Sera	1.000 ml
28/02/2019	Mattina	1.000 ml
	Sera	1.000 ml
01/03/2019	Mattina	1.000 ml
	Sera	1.000 ml

Subito dopo la fine delle operazioni di dragaggio, finché l'acqua ha continuato a defluire dal geotubo è stato effettuato un prelievo a cadenza giornaliera per i successivi 4 giorni, così come programmato in fase progettuale.

Si è infine prelevato un ultimo campione d'acqua a una settimana dalla fine del monitoraggio giornaliero e quindi al 14-esimo giorno circa dall'inizio delle operazioni di pompaggio.

Il rateo di prelievo è stato il seguente :

	Intervallo di prelievo	Quantità
04/03/2019	Sera	1.000 ml
05/03/2019	Sera	1.000 ml
06/03/2019	Sera	1.000 ml
07/03/2019	Sera	1.000 ml
DOPO 1 SETTIMANA		
14/03/2019	Sera	1.000 ml

L'acqua è stata prelevata da diversi punti del geotubo in modo da avere un campione medio composito rappresentativo di tutta l'acqua che viene espulsa.

I prelievi di 1.000 ml sono collocati in flaconcini in HPDE puliti (risciacquati con acido nitrico HNO₃ al 10%) secondo la seguente modalità :

- 200 ml, destinati all'analisi dei metalli, saranno filtrati, se necessario, con filtro in acetato di cellulosa di 0,45 µm, poi verranno aggiunti nel flacone 200 µL di acido nitrico puro (HNO₃ al 65%)
- 800 ml, destinati alle analisi di altri parametri (solfati, nitrati, fosfati, pH, ossigeno disciolto) saranno filtrati, se necessario, con filtro in acetato di cellulosa di 0,45 µm

I flaconi riempiti sono stati conservati alla temperatura di 4 ° C e inviati rapidamente al laboratorio di analisi (entro 48 ore).

Le analisi fisico-chimico effettuate sono quelle espresse dalla tabella sottostante :

ANALISI CHIMICHE ACQUE DI SCARICO

DETERMINAZIONE	ACCREDITA	METODO DI PROVA
pH	ACCREDITA	UNI EN ISO 10523:2012
CONDUCIBILITA'	ACCREDITA	UNI EN 27888:1995
TOC		APAT CNR IRSA 5040 Man 29 2003
BOD 5		M.I. 2196 rev 0 2001
RICHIESTA CHIMICA DI OSSIGENO (COD)	ACCREDITA	ISO 15705:2002
MINERALIZZAZIONE		UNI EN ISO 15587-2:2002
ARSENICO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
BARIO	ACCREDITA	UNI EN ISO 11885:2009
CADMIO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
CROMO TOTALE	ACCREDITA	UNI EN ISO 11885:2009
NICHEL	ACCREDITA	UNI EN ISO 11885:2009
PIOMBO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
RAME	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
SELENIO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
ZINCO	ACCREDITA	UNI EN ISO 11885:2009
MERCURIO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
MOLIBDENO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
ANTIMONIO	ACCREDITA	UNI EN ISO 17294-2:2016
SOLFATI	ACCREDITA	UNI EN ISO 10304-1:2009
CLORURI	ACCREDITA	UNI EN ISO 10304-1:2009
FLUORURI	ACCREDITA	UNI EN ISO 10304-1:2009
FOSFATI	ACCREDITA	UNI EN ISO 10304-1:2009
NITRATI	ACCREDITA	UNI EN ISO 10304-1:2009
FENOLI TOTALI		M.I. 2087 rev 0 2006
RESIDUO SECCO A 105°C		APAT CNR IRSA 2090 A Man 29 2003

Per quanto concerne le analisi chimiche relative al sedimento dragato, queste sono state - e saranno - effettuate esclusivamente sui metalli (in linea con quanto elaborato dal partner del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa) secondo il seguente cronoprogramma di massima :

Analisi su METALLI	INIZIALE	Dopo 3 mesi	Analisi finale
Matrice Sedimento	✓	✓	✓
Umidità relativa (U%)		✓	✓

Le analisi fisico-chimico in programma sono quelle espresse dalla tabella sottostante :

ANALISI CHIMICHE FANGHI

DETERMINAZIONE	ACCREDITA	METODO DI PROVA
CROMO ESAVALENTE		EPA 3060A 1996 + APAT CNR IRSA 3150 C Man 29 2003
MINERALIZZAZIONE		UNI EN 13657:2004
ANTIMONIO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
ARSENICO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
CADMIO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
BARIO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
CROMO TOTALE	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
MERCURIO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
MOLIBDENO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
NICHEL	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
PIOMBO	ACCREDITA </td <td>UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009</td>	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
RAME	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
SELENIO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
ZINCO	ACCREDITA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009

Segue una breve documentazione fotografica dell'attività in questione :



3.6) RISULTATI OTTENUTI

Le operazioni di campionamento e analisi sono state eseguite dai Laboratori ARCHA S.r.l. unipersonale con sede in Pisa – Via di Tegulaia 10/A ; laboratorio accreditato “ACCREDIA”.

I risultati analitici mostrati in sintesi nelle tabelle sottostanti fanno riferimento ai limiti normativi della Tab. 2 dell’All. 5, Parte IV del D.Lgs. 152/2006 per le acque di scarico. I relativi certificati di analisi sono riportati in Allegato.

L’esame dei risultati ottenuti mette in evidenza come le concentrazioni di alcuni analiti siano superiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente ; nello specifico si riscontra il superamento delle Concentrazioni di Soglia di Contaminazione (CSC) dei solfati, di alcuni metalli quali : Nichel (Ni), Arsenico (As), Piombo (Pb) e Rame (Cu).

- Solfati

I solfati sono presenti in concentrazioni 7/8 volte superiori ai limiti imposti dalla normativa italiana per le acque di scarico. Al riguardo però possiamo asserire che tali valori di concentrazione sono perfettamente conformi alla natura salmastra delle acque del Canale dei Navicelli. Ulteriore riprova della influenza marina delle acque è data dalle alte concentrazioni che si riscontrano per i cloruri.

- Metalli

I metalli presenti in concentrazione anomala e non conforme ai limiti espressi dalla vigente normativa sono : Nichel (Ni), Arsenico (As), Piombo (Pb) e Rame (Cu).

Nello specifico, è interessante notare come per gli analiti As e Cu, le concentrazioni anomale siano state riscontrate in quasi tutti i prelievi, mentre nei campionamenti relativi alla fase di non pompaggio si nota come aumentino le concentrazioni relative agli analiti Pb e Ni.

Questo aspetto è probabilmente legato alla minore mobilità degli elementi chimici presenti nelle acque che in mancanza del flusso imposto dalla pompa refluyente risultano maggiormente concentrati.

Infine nell’ultimo campionamento, quello effettuato dieci giorni dopo la fine delle operazioni di pompaggio, si nota come le concentrazioni si abbassino notevolmente fino a rientrare quasi del tutto nei limiti tabellari di riferimento. Da ciò si può constatare una certa mobilità degli analiti che, a partire della fine delle operazioni di pompaggio, hanno subito fenomeni di lisciviazione piuttosto importanti.

Tale aspetto è ulteriormente confermato dai risultati ottenuti sulla matrice fangosa in cui, come si evince in tabella, risultano essere perfettamente conformi ai limiti tabellari di riferimento (Tab. 1 dell’All. 5, Parte IV del D.Lgs. 152/2006).

		21901657	21901667	21901719	21901720	21901771	21901772	21901861	21901913	21901961	21902017	21902563	
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Tab. 2 dell'All. 5 Parte IV D.Lgs. 152/2006 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 9:00 27/02 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 16:00 27/02 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 9:00 28/02 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 16:30 28/02 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 9:00 01/03 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 16:00 01/03 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 04/03 ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 05/03 (NO POMPAGGIO) ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 06/03 (NO POMPAGGIO) ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 07/03 (NO POMPAGGIO) ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 22/03 (NO POMPAGGIO)											
		27/02/2019 00:00 27/02/2019 00:00 28/02/2019 00:00 28/02/2019 00:00 01/03/2019 00:00 01/03/2019 00:00 04/03/2019 00:00 05/03/2019 00:00 06/03/2019 00:00 07/03/2019 00:00 14/03/2019 00:00											
		NAVICELLI DI PISA S.r.l. NAVICELLI DI PISA S.r.l.											
		047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	
CONDUCIBILITA'	µS/cm (25°C)	32900	33000	31200	32900	34500	33000	36300	38000	34800	39600	46700	
BOD 5	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	
RESIDUO SECCO A 105°C	mg/L	27900	29000	29900	28200	27900	25300	27300	29300	27400	29100	33600	
NITRATI	mg/L	2,08	1,88	1,88	3,62	2,90	1,85	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	4,50	
FLUORURI	mg/L	1,5	0,79	< LQ	0,376	0,81	0,84	0,82	0,89	0,83	0,85	< LQ	0,67
SOLFATI	mg/L	250	1760	1790	1830	1800	1760	1750	2000	2130	1350	1850	1990
FOSFATI	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
CLORURI	mg/L	10300	10600	10800	10600	10500	10400	12700	13400	12900	11200	16200	
RICHIESTA CHIMICA DI OSSIGENO (COD)	mg/L	328	390	262,0	284,0	294,0	348	< LQ	< LQ	< LQ	622	928	
FENOLI TOTALI	mg/L	0,366	0,326	0,291	0,465	0,355	0,438	0,414	0,373	0,586	0,248	0,749	
pH	-	7,32	7,27	7,19	7,21	7,33	7,26	7,83	7,74	7,82	8,01	7,88	
BARIO	µg/L	81	77	77	77	185	246	359	358	389	416	518	
NICHEL	µg/L	20	7,3	7,4	5,6	9,3	6,8	8,1	11,1	8,6	36,1	28,7	21,0
ZINCO	µg/L	3000	18,5	< LQ	7,0	16,3	26,7	13,6	44,7	13,0	80	90	128
CROMO TOTALE	µg/L	50	< LQ	6,1	< LQ	< LQ							
TOC	mg/L	125	< LQ	125	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ					
ARSENICO	µg/L	10	29,9	29,7	30,1	29,5	30,5	31,2	3,17	0,88	306	137	3,5
ANTIMONIO	µg/L	5	1,22	1,75	1,33	1,19	1,66	1,56	1,15	0,328	2,06	1,65	0,70
CADMIIO	µg/L	5	< LQ	< LQ	< LQ	0,171	0,160	0,144	0,243	< LQ	1,14	1,20	0,53
MOLIBDENO	µg/L	18,9	23,6	18,5	16,9	25,9	25,9	23,9	5,04	11,1	13,4	11,4	
PIOMBO	µg/L	10	< LQ	< LQ	< LQ	1,18	1,41	1,54	< LQ	< LQ	12,4	22,6	< LQ
RAME	µg/L	1000	1510	1930	2070	2200	2200	2330	2,42	< LQ	960	1350	37,7
SELENIO	µg/L	10	< LQ	2,29	< LQ	< LQ	< LQ	3,46					
MERCURIO	µg/L	1	0,156	0,155	0,197	0,151	0,156	0,128	< LQ	< LQ	0,091	0,105	< LQ
MINERALIZZAZIONE	-	Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	40,0	45,0	30,0	30,0	30,0

Parametro	U.M.	TAB A	Tab B	Risultato	LQ
CROMO ESAVALENTE	mg/kg	2	15	< LQ	2
MINERALIZZAZIONE	-			-	
ANTIMONIO	mg/kg	10	30	< LQ	1,6
ARSENICO	mg/kg	20	50	1,43	
CADMIO	mg/kg	2	15	< LQ	0,19
BARIO	mg/kg			37,1	
CROMO TOTALE	mg/kg	150	800	22,2	
MERCURIO	mg/kg	1	5	< LQ	0,3
MOLIBDENO	mg/kg			< LQ	0,21
NICHEL	mg/kg	120	500	17,6	
PIOMBO	mg/kg	100	1000	4,05	
RAME	mg/kg	120	600	10,7	
SELENIO	mg/kg	3	15	< LQ	1,7
ZINCO	mg/kg	150	1500	18,9	

3.7) ANALISI DELL'EFFICACIA E DEI LIMITI DEL TRATTAMENTO

I geotessili trovano svariate possibilità di applicazioni nel campo dei lavori relativi alle opere idrauliche (marine e fluviali) come la protezione costiera, la realizzazione di dune artificiali in sabbia, il ripascimento naturale delle spiagge, la realizzazione di pennelli e comunque in tutti quelli che sono i diversi campi di applicazione nelle opere di dragaggio e/o difesa idraulica.

Per la società Navicelli S.r.l., nonostante l'esperienza ormai trentennale nell'attività di dragaggio a cui deve sottoporre periodicamente l'omonimo canale, la sperimentazione con i geotessili drenanti ha rappresentato una novità assoluta. L'esperienza sul campo ha permesso di constatare, seppur in scala medio-piccola, alcuni aspetti salienti relativi all'efficacia ed ai limiti riscontrati nell'applicazione di tale tecnologia.

Vengono di seguito elencati in forma schematica tabellare i vantaggi e i limiti riscontrati nell'esecuzione del trattamento :

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> - Le soluzioni realizzate con l'impiego dei geotessili drenanti, risultano ambientalmente corrette in quanto minimizzano i possibili impatti diretti ed indiretti sull'ambiente, consentendo il minimo impiego di risorse ambientali a qualsiasi livello; - Viene notevolmente agevolato il confinamento del materiale dragato rispetto alle tecniche di dragaggio tradizionale; - Grazie alla possibilità di scegliere i geotessili drenanti in base ad un ventaglio ampio di dimensioni disponibili, è possibile fare una valutazione quasi imminente dei volumi dragati e/o valutare qual è la capacità residua di confinamento; - Facile accesso alle zone da campionare per l'eventuale monitoraggio chimico – fisico della matrice acqua/sedimento; - Il drenaggio delle acque avviene in maniera rapida e ben confinata. Quest'ultimo fattore è di particolare interesse ai fini della tutela ambientale delle matrici circostanti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il tipo di lavorazione anche se molto semplice necessita dell'utilizzo di un certo numero di attrezzature (flange, guarnizioni, bulloneria, tubazioni speciali) che rendono mediamente complessa l'installazione dell'impianto anche se una volta installato l'impianto necessita di manutenzione minima; - La particolare complessità dell'impianto rende i costi di installazione, e quindi i costi di dragaggio, piuttosto elevati rispetto alle metodologie tradizionali; - Dovendo conferire il materiale dragato direttamente all'interno dei tubolari ne consegue che l'area di dragaggio è generalmente limitata alla zona di installazione dei tubolari o comunque è funzione della lunghezza dei tubi che raccordano la pompa refluenta al geotessile drenante.

3.8) COMPONENTE ECONOMICA

Dal punto di vista economico, così come da quello fattivo, la realizzazione del progetto può essere suddivisa in tre macro attività :

- il dragaggio
- la consulenza tecnico-scientifica
- Analisi di laboratorio

3.8.1) DRAGAGGIO

Il progetto principale è stato redatto per un importo complessivo di € **84 205,62** così ripartiti :

Per lavori a misura	€ 67 485,04
- oneri per la sicurezza	€ 1 675,96
- per IVA (22%)	€ 15 184,62
Importo totale € 84 205,62	

I lavori sono stati affidati mediante gara d'appalto, ai sensi della normativa vigente, all'impresa INDIVIDUALE : TOGNETTI FABIO, via Bruno Buozzi n°16, Pontasserchio (56010-PI) si è aggiudicata la gara di appalto offrendo un ribasso del 3,02%.

L'impresa ha stipulato con la stazione appaltante un contratto in data 11 Febbraio 2019, n° 530 di repertorio, registrato in data 28/02/2019, Agenzia delle entrate della Provincia di Pisa ; per un importo di €65 444,40, con un ribasso offerto del 3,02% sull'importo a base di gara, oltre € 1.675,96 per oneri sicurezza e quindi per un importo contrattuale di € 67.120,36 oltre iva.

L'impresa ha costituito apposita cauzione definitiva come nella misura pari al 5,00% dell'importo netto di aggiudicazione pari ad euro 3.356,02 nella forma di fideiussione assicurativa della compagnia ELBA Assicurazioni S.p.A.- agenzia K & CO di Grosseto (GR) – Codice sub agenzia 6 Garanzia Fideiussori n. 1371580 in ossequio all'art.14 del contratto in data 11/02/2019.

La somma complessiva autorizzata per l'esecuzione dei lavori ammonta a complessive 69 021€, al netto del ribasso d'asta, così suddivise :

- contratto principale	€ 69 021,00
- IVA (22%)	€ 15 184,62
Importo totale € 84 205,62	

I lavori del contratto principale sono stati consegnati con processo verbale di consegna senza riserve da parte dell'impresa in data 13/02/2019.

Per l'esecuzione dei lavori principali erano stabiliti dall'art.14 del Capitolato speciale d'appalto n° 20 giorni consecutivi (**ridotti a 12 giorni dall'impresa esecutrice**) a decorrere dal giorno successivo alla data del verbale di consegna, pertanto il termine utile scadeva il giorno 25/02/2019.

I lavori sono stati sospesi n° 3 volte a cui sono corrisposte n° 4 successive riprese, come di seguito riportato e per le cause espresse nei rispettivi verbali allegati agli atti :

- per problemi di natura tecnica, dal 19/02/2019 al 24/03/2019	-	giorni 6
- per messa in sicurezza delle sponde del canale il 27/02/2019	-	giorni 1
- per problemi di natura tecnica, dal 01/03/2019 al 03/03/2019	-	giorni 3
		Totale giorni 10

Per effetto delle sospensioni, il tempo utile è stato protratto di n° 10 giorni.

Si riporta la distinzione del tempo utile per dare ultimati i lavori :

- per contratto principale	giorni 12
- per sospensioni	giorni 10
Totale giorni 22	

L'ultimazione dei lavori è avvenuta il giorno 06/03/2019, come accertato con verbale in pari data.

I lavori si sono svolti in conformità alle norme contrattuali e alle speciali disposizioni impartite all'atto pratico dalla direzione lavori.

Lo stato finale dei lavori è stato emesso in data 28/03/2019, da cui risulta l'ammontare complessivo di euro 67.120,36 così distinte :

- per lavori a misura e somministrazioni	€ 65 444,40
- Oneri per la sicurezza	€ 1 675,96
Totale generale netto	€ 67 120,36
IVA (22%)	€ 14.766,47
Totale generale	€ 81 886,83

L'impresa ha firmato il registro di contabilità senza riserve.

Durante il lavoro non è avvenuto alcun infortunio.

I lavori sono stati diretti dai sottoscritti Ing. Gaetano PETRIZZO e dal Geol. Nicola D'ANDRETTA.

3.8.2) CONSULENZA TECNICO-SCIENTIFICA

La consulenza tecnico-scientifica ha riguardato e riguarda principalmente :

- L'analisi degli aspetti normativi e tecnici legati allo smaltimento/trattamento e alla gestione dei fanghi di dragaggio relativamente alla stesura del progetto "Sediterra"
- La progettazione e direzione lavori dell'intervento in oggetto
- La redazione della gara d'appalto per la realizzazione dell'opera
- Consulenza tecnico-normativa in materia ambientale
- La disseminazione e la partecipazione ai comitati tecnici di pilotaggio che si tengono periodicamente nei vari distretti del partenariato
- La compilazione periodica di relazioni tecniche sugli stati di avanzamento dei lavori
- Spese documentate e sostenute

Per lo svolgimento delle prestazioni elencate, la Società Navicelli ha previsto in definitiva un impegno di spesa pari a **€ 40 264,17** lordi.

3.8.3) SPESE RELATIVE AL MONITORAGGIO AMBIENTALE

Il monitoraggio ambientale, predisposto in accordo con il responsabile scientifico del progetto, ha previsto un impegno di spesa così ripartito :

CAMPIONI E ANALISI	PREZZO	QUANTITÀ	TOTALE
Analisi chimiche acque di percolazione	€ 225,00	11	€ 2.475,00
Analisi chimiche Sedimento	€ 240,00	2	€ 480,00
Costo orario tecnici campionamento	€ 200,00	1	€ 200,00
TOTALE NETTO			€3.155,00
TOTALE LORDO			€ 3.849,00

Nella tabella seguente viene riepilogata la componente economica attribuita alla Navicelli di Pisa :

ATTIVITA'	Costo al netto dell'IVA	Costo al lordo dell'IVA
Dragaggio	€ 67.120,36	€ 81.886,83
Consulenza tecnico-scientifica	€ 31.406,06	€ 40.264,17
Spese relative al monitoraggio ambientale	€3.155,00	€ 3.849,00
TOTALE	€ 101.681,42	€ 126.000,00

3.9) CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Il progetto ha previsto la realizzazione di una sperimentazione di dewatering e il monitoraggio chimico di sedimenti dragati e immessi in appositi contenitori tubolari progettati per agevolare e velocizzare il naturale processo di disidratazione della matrice solida.

Il monitoraggio ambientale è stato predisposto effettuando un controllo chimico costante giornaliero sulle acque reflue per tutta la durata del pompaggio e nei giorni immediatamente successivi alla fine dei lavori. I sedimenti invece sono stati caratterizzati con meno frequenza e comunque nelle fasi più significative del processo di dewatering (inizio, medio termine e fine del trattamento).

L'esame dei risultati ottenuti mette in evidenza il superamento delle Concentrazioni di Soglia di Contaminazione (CSC) dei solfati e di alcuni metalli quali: Nichel (Ni), Arsenico (As), Piombo (Pb) e Rame (Cu), e di come queste varino in funzione della presenza o meno del flusso imposto dalla pompa refluyente. In definitiva, dall'analisi della matrice liquida e solida, si può constatare una certa mobilità degli analiti che, a partire della fine delle operazioni di pompaggio, hanno subito nel tempo fenomeni di lisciviazione piuttosto importanti.

L'esperienza con i geotessili drenanti ha rappresentato per la società Navicelli S.r.l. una novità assoluta da cui sono scaturite alcune considerazioni relativamente all'efficacia ed ai limiti del trattamento che possono essere riassunte come segue :

- impatto ambientale minimo
- valutazione costante dei volumi dragati
- drenaggio delle acque rapido e ben confinato

Tra i limiti del trattamento ricordiamo :

- installazione dell'impianto piuttosto complessa
- elevati costi di dragaggio rispetto alle metodologie tradizionali
- limitazioni spaziali dovute alla dipendenza dai tubi

Ciò detto possiamo dunque considerare l'esperienza estremamente positiva.

Seppure costosa, è presumibile, che su grande scala la metodologia permetta di ammortizzare i maggiori oneri richiesti per il dragaggio; tali maggiori oneri sarebbero totalmente giustificati in favore della maggiore tutela ambientale e nella facile gestione delle fasi successive al dragaggio quando sarà necessario riutilizzare sedimenti disidratati.

Al riguardo sarebbe utile realizzare uno studio approfondito relativo all'analisi dei costi-benefici che al momento esula dal presente scritto.

Per quanto riguarda invece la definizione delle prospettive per il riutilizzo dei materiali dragati, questi saranno opportunamente utilizzati per il ripristino morfologico di alcuni tratti delle vie alzaie.

Le vie alzaie rappresentano uno stretto tracciato stradale di servizio al Canale dei Navicelli che correre parallelamente all'idrovia e che, oltre ad essere essenziali per il mantenimento dell'efficienza dell'idrovia, rappresentano un'importante opera di difesa idraulica.

Sulla base di tali evidenze, la Navicelli di Pisa, coadiuvata dai propri tecnici, ha ipotizzato la possibilità di reimpiegare i terreni derivanti dall'intervento di dragaggio sperimentale relativo al progetto "Sediterra", per il ripristino plano-altimetrico della via alzaia nei tratti in cui si ritiene necessario un innalzamento della difesa spondale.

A quanto detto farà seguito un opportuno documento in cui verranno illustrate dettagliatamente le modalità di intervento.

IV. LIVRABLE T2.3.5 TRAITEMENT PAR DÉSHYDRATATION

4.1) INTRODUCTION

Ce livrable T2.3.5 décrit les activités de dragage et de surveillance des sédiments et des eaux de percolation menées au site pilote de Pise (canal Navicelli) comme prévu au programme expérimental du projet Sediterra.

4.2) SYNTHÈSE DES ACTIVITÉS RÉALISÉES

Le projet comprenait une expérience de déshydratation et le suivi chimique des sédiments dragués par des moyens hydrauliques et placés dans des conteneurs tubulaires spécialement conçus pour faciliter et accélérer le processus naturel de déshydratation de la matrice solide.

Le matériau a été dragué par des moyens hydrauliques et pompé à l'intérieur de 2 géotextiles drainants (taille de chaque géotextile : 4,0 m x 30,0 m x Hr < 1,7 m). L'essai a été réalisé en installant le système le long de la rive droite du canal Navicelli dans les zones de rattachement hydraulique du canal fluvial, dans le tronçon entre l'*Incile* et la *Darsena Pisana*.

L'installation du système a été précédée d'un aménagement morphologique minutieux de la zone afin d'assurer un bon drainage des eaux de lixiviation et de faciliter l'accès à la zone d'intervention.

Les travaux ont été effectués dans l'ordre suivant :

- 1- *Préparation préliminaire de la zone d'accueil des géotubes (conformément aux dispositions du décret-loi) avec enlèvement de la terre présente et son écoulement à l'arrière, reprofilage de la bande de terre placée entre le bord du canal et le bord intérieur du chemin de halage*
- 2- *Préparation des géotubes de drainage*
- 3- *Dragage dans la zone adjacente et devant la zone où les géotubes en tissu sont placés*
- 4- *Reprofilage et aménagement final de la berge (occupée par le géotube en tissu drainant).*

Le suivi environnemental a été mis en place en effectuant un contrôle chimique quotidien des eaux usées tout au long du processus de pompage et dans les jours qui ont suivi la fin des travaux. Les sédiments ont, quant à eux, été caractérisés moins fréquemment, dans les phases les plus significatives du processus de déshydratation (début, moyen terme et fin du traitement).

L'examen des résultats obtenus montre que les concentrations de certains analytes sont supérieures aux limites établies par la réglementation en vigueur ; en particulier, Concentrations Seuils de Contamination (CSC) des sulfates et de certains métaux tels que le Nickel (Ni), l'Arsenic (As), le Plomb (Pb) et le Cuivre (Cu) sont dépassés.

4.3) PRINCIPES ET FINALITÉS DU TRAITEMENT

Navicelli di Pisa S.r.l. est une société à capitaux entièrement publics, créée pour gérer le canal Navicelli et les zones publiques avoisinantes. La société assure le maintien du bon fonctionnement et de l'utilisation du canal, notamment en ce qui concerne les opérations de dragage et l'ouverture de ponts pour le passage des bateaux.

La société Navicelli, qui collabore depuis septembre 2015 avec le Département des Sciences de la Terre de l'Université de Pise pour la conception et la préparation des opérations expérimentales prévues par le projet sur le territoire de Pise, est partenaire conventionné de la Province de Pise (avec le même Département des Sciences de la Terre de l'Université de Pise) au sein du projet SEDITERRA.

Comme contribution au projet, Navicelli di Pisa avait déjà proposé, dans la phase préparatoire, de réaliser des activités de dragage expérimental pour un total d'environ 500m³ de sédiments et cette action a ensuite été formellement incluse dans les activités prévues dans le formulaire de projet.

Le dragage expérimental a été réalisé en pompant dans des géotextiles drainants les sédiments prélevés dans le lit du canal Navicelli (eau et sédiments). Ce type de dragage représentait une nouveauté absolue pour Navicelli di Pisa qui a donc jugé intéressant de contribuer de cette façon à la réalisation du projet « SEDITERRA ».

Les détails techniques seront présentés aux paragraphes suivants.



4.4) MATÉRIELS ET MÉTHODES D'EXÉCUTION DU TRAITEMENT

Le projet prévoyait des expériences de déshydratation des sédiments dragués via l'utilisation de géotubes drainant conçus pour faciliter et accélérer le processus naturel de déshydratation de la matrice solide.

Le matériau a été dragué par des moyens hydrauliques et pompé à l'intérieur de chaque géotextile drainant (taille de chaque géotextile : 4,0 m x 30,0 m x Hr < 1,7 m). L'essai a été réalisé en installant le système le long de la rive droite du canal Navicelli dans les zones de rattachement hydraulique du canal fluvial, dans le tronçon entre l'*Incile* et la *Darsena Pisana*.

L'installation du système a été précédée d'un aménagement morphologique minutieux de la zone afin d'assurer un bon drainage des eaux de lixiviation et de faciliter l'accès à la zone d'intervention.

La possibilité de placer les géotextiles drainants le long des rives du canal Navicelli représente l'une des nouveautés introduites par la loi 164/2014 (décret dit « Sblocca Italia », littéralement « Déblocage Italie »), qui offre la possibilité de réaliser des travaux de dragage à l'intérieur des zones de rattachement hydraulique ; dans le cas du canal Navicelli, celles-ci représentent une bande de compétence d'environ 10 m de large qui s'étend sur toute la longueur du canal sur les deux rives.

Une fois déshydratés, les sédiments seront réutilisés comme matériau de remplissage pour améliorer la protection hydraulique de la voie navigable.

Les travaux ont été effectués dans l'ordre suivant :

- Phase 1* - Préparation préalable de la zone d'accueil des géotubes (conformément aux dispositions du décret-loi) avec enlèvement de la terre présente et son évacuation, reprofilage de la bande de terre placée entre le bord du canal et le bord intérieur du chemin de halage
- Phase 2* - Préparation de géotextiles de drainage
- Phase 3* - Dragage de la zone adjacente et devant la zone d'accueil des géotubes
- Phase 4* - Reprofilage et aménagement final de la berge (occupée par le géotube en tissu drainant)

- Phase 1

La phase initiale des travaux de préparation de la zone de logement des éléments tubulaires a été réalisée comme suit :

1. enlèvement de la couche superficielle (100 ml x 8 ml) pour des profondeurs allant jusqu'à 30 cm, y compris l'arrachage des herbes, des arbustes et de leurs racines, à l'exclusion des souches d'arbres de grande taille. Stockage dans la zone du chantier
2. excavation de terrassement (100 ml x 8 ml) pour des profondeurs allant jusqu'à 20 cm, effectuée par des moyens mécaniques avec stockage dans la zone de réutilisation à l'intérieur du chantier
3. formation d'un remblai pour le positionnement de la bâche d'étanchéité et création des pentes vers le canal Navicelli avec le matériau présent sur le site provenant de l'excavation
4. fourniture et pose d'une bâche de PEHD transparent (épaisseur ≥ 2 mm) étalée en couches avec un minimum de 20 cm de chevauchement entre elles ; surface incluant les remblais : 103 ml x 11ml
5. Revêtement avec géotextile non tissé, poids ≥ 400 gr/m² à fil continu aiguilleté pour chaque couche de séparation, y compris le piquage, sur toute la surface (100 ml x 8 ml)
6. fourniture et pose de gravier de carrière de taille 4/8, posé à l'aide de moyens mécaniques et nivelé sur toute la surface (100 ml x 8 ml) jusqu'à une hauteur d'environ 30 cm.

Voici quelques images des principales actions de mise en œuvre de la phase 1 :





- Phase 2

La deuxième phase des travaux a consisté en l'installation des géotubes.

Les éléments tubulaires sont produits avec des caractéristiques de résistances mécaniques adaptées au confinement définitif du matériau pompé. Leur principale caractéristique consiste en la possibilité de confiner à l'intérieur la partie solide tout en facilitant le drainage de l'eau.

Les géotextiles drainants (*i.e.* géotubes) présentent, en particulier, les caractéristiques suivantes :

- Résistance nominale à la traction minimale dans le sens longitudinal ≥ 70 kN/m ; résistance nominale à la traction minimale dans le sens transversal ≥ 105 kN/m selon ASTM D4595, résistance nominale à la traction minimale des coutures ≥ 40 % de la résistance nominale du géotextile (selon UNI EN ISO 10321) ; perméabilité à l'eau normale dans le plan d'au moins 1200 l/m²/min selon ASTM D4491.
- L'unité fournit également un O95 de 0,425 mm selon la norme ASTM D4751 et une résistance à la perforation d'au moins 8000 N selon la norme ASTM D6241.
- Toutes les coutures sont réalisées avec du fil de polyester stabilisé aux UV. Les soudures des tubes de grandes dimensions sont transversales à l'axe du tube à l'exception d'une seule soudure longitudinale placée le long de l'axe longitudinal médian au fond du tube, qui est en contact avec la surface d'appui du tube lui-même, dans la position radialement opposée aux buses de remplissage.
- Les tubes géotextiles sont équipés de trappes de remplissage spécifiques (diamètre minimum DN100) placées à une distance d'environ 10 m les unes des autres afin de permettre leur remplissage au moyen d'un équipement de pompage approprié.
- Les tubes sont équipés de buses spécifiques permettant de les remplir avec un mélange eau/sédiment, contenant un maximum de 15 % V/V de sédiment.

Phase de positionnement et de remplissage :

- Le tube a été rempli avec des pressions appropriées établies par la Direction des Travaux afin de ne pas l'endommager.
- La surface sur laquelle le tuyau géotextile a été installé a été préparée de manière à la rendre plane et libre de tout obstacle qui pourrait l'endommager.

Voici quelques images relatives à la phase 2 :



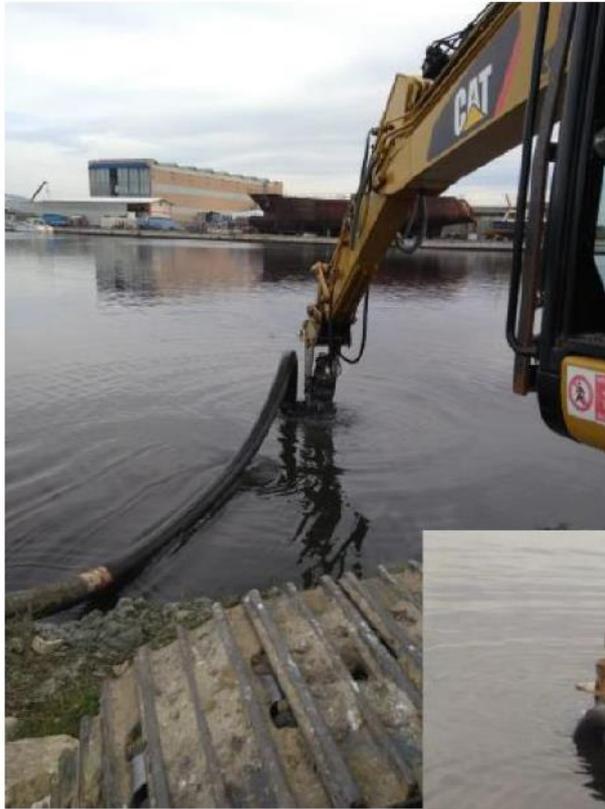
- Phase 3

Le dragage hydraulique a été effectué avec une pompe d'aspiration et de refoulement de type DragFlow (voir la documentation photographique ci-dessous), dans une conduite de 100 m de long maximum, avec un débit de mélange boues/eau compris dans la plage (150-300) mc/h, adaptée à l'excavation de matériaux de type limoneux-argileux.

Le mélange prélevé dans le réservoir avait une concentration adéquate de fraction solide et en tout cas égale ou inférieure (\leq) à 15 % SS V/V, visant à assurer une alimentation correcte en fluide dans les géotubes utilisés.

La pompe, équipée d'un système de désintégration approprié et/ou d'autres dispositifs pour briser l'éventuelle croûte superficielle du fond du canal a été installée au niveau du bras de l'excavateur et alimentée par le système hydraulique du même engin.

Le débit horaire du mélange dragué à l'intérieur de chaque géotube fourni était d'environ un quart du volume de confinement maximum de celui-ci, afin de garantir un temps de libération adéquat du surnageant séparé à l'intérieur.





- Phase 4

Une fois les opérations de dragage terminées tout l'équipement de pompage a été démonté et les déblais de dragage laissés au repos afin que les processus normaux de déshydratation puissent avoir lieu.

Après déshydratation, les sédiments seront déplacés dans des zones spécifiques (toujours à l'intérieur des accessoires hydrauliques du canal) et utilisés pour la restauration du plan altimétrique (si nécessaire) des berges du canal.

Ici, les sédiments seront façonnés vraisemblablement avec plantation de certaines espèces végétales considérées par la littérature scientifique comme particulièrement efficaces pour accélérer les processus naturels de dégradation des polluants présents.

4.5) PROTOCOLE DE SUIVI EFFECTUÉ

Le suivi environnemental a été préparé, en accord avec le responsable scientifique du projet, et après avoir entendu les avis et les exigences dictés par les autres acteurs du projet, par la réalisation d'un contrôle chimique quotidien des eaux rejetées pendant toute la durée du pompage et dans les jours qui ont suivi immédiatement la fin des travaux.

Les sédiments, en revanche, ont été caractérisés moins fréquemment et, en tout cas, dans les phases les plus significatives du processus de déshydratation (début, moyen terme et fin du traitement). Pour l'instant, le prélèvement initial et à moyen terme ont été effectués ; les résultats seront discutés ultérieurement.

Le protocole de surveillance prévoyait, en particulier, les activités suivantes :

Pendant la phase de pompage, deux échantillons d'eau ont été prélevés quotidiennement ; le premier au début de la journée de travail et le second à la fin des activités quotidiennes.

Le pompage dans les géotextiles drainants a duré environ 3 jours, comme prévu.

Les tableaux suivants présentent l'échéancier détaillé des activités de prélèvement des eaux usées conformément au protocole de surveillance :

	Intervallo di prelievo	Quantità
27/02/2019	Mattina	1.000 ml
	Sera	1.000 ml
28/02/2019	Mattina	1.000 ml
	Sera	1.000 ml
01/03/2019	Mattina	1.000 ml
	Sera	1.000 ml

Immédiatement après la fin des opérations de dragage, tant que l'eau continuait à s'écouler du géo-tube, un prélèvement quotidien a été effectué pendant les 4 jours suivants, comme prévu dans la phase de conception.

Un dernier échantillon d'eau a été prélevé une semaine après la fin de la surveillance quotidienne, puis environ 14 jours après le début des opérations de pompage.

Le taux de prélèvement a été le suivant :

	Intervallo di prelievo	Quantità
04/03/2019	Sera	1.000 ml
05/03/2019	Sera	1.000 ml
06/03/2019	Sera	1.000 ml
07/03/2019	Sera	1.000 ml
DOPO 1 SETTIMANA		
14/03/2019	Sera	1.000 ml

L'eau a été prélevée en différents points du géotube afin d'avoir un échantillon composite moyen représentatif de toute l'eau qui est expulsée.

Les échantillons de 1000 ml sont placés dans des cuvettes en HPDE propres (rincées à l'acide nitrique HNO₃ à 10 %) comme suit :

- 200 ml destinés à l'analyse des métaux seront filtrés, si nécessaire, à l'aide d'un filtre en acétate de cellulose 0,45 µm, avant d'ajouter dans le flacon 200 µL d'acide nitrique pur (HNO₃ à 65 %) ;
- 800 ml destinés aux analyses d'autres paramètres (sulfates nitrates, phosphates, pH, oxygène dissous..) seront filtrés, si nécessaire, à l'aide d'un filtre en acétate de cellulose 0,45 µm.

Les bouteilles ainsi remplies ont été stockées à une température de 4 °C et envoyées rapidement au laboratoire pour analyse (dans les 48 heures).

Les analyses physico-chimiques effectuées figurent dans le tableau ci-dessous :

ANALISI CHIMICHE ACQUE DI SCARICO

DETERMINAZIONE	ACCREDIA	METODO DI PROVA
pH	ACCREDIA	UNI EN ISO 10523:2012
CONDUCIBILITA'	ACCREDIA	UNI EN 27888:1995
TOC		APAT CNR IRSA 5040 Man 29 2003
BOD 5		M.I. 2196 rev 0 2001
RICHIESTA CHIMICA DI OSSIGENO (COD)	ACCREDIA	ISO 15705:2002
MINERALIZZAZIONE		UNI EN ISO 15587-2:2002
ARSENICO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
BARIO	ACCREDIA	UNI EN ISO 11885:2009
CADMIO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
CROMO TOTALE	ACCREDIA	UNI EN ISO 11885:2009
NICHEL	ACCREDIA	UNI EN ISO 11885:2009
PIOMBO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
RAME	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
SELENIO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
ZINCO	ACCREDIA	UNI EN ISO 11885:2009
MERCURIO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
MOLIBDENO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
ANTIMONIO	ACCREDIA	UNI EN ISO 17294-2:2016
SOLFATI	ACCREDIA	UNI EN ISO 10304-1:2009
CLORURI	ACCREDIA	UNI EN ISO 10304-1:2009
FLUORURI	ACCREDIA	UNI EN ISO 10304-1:2009
FOSFATI	ACCREDIA	UNI EN ISO 10304-1:2009
NITRATI	ACCREDIA	UNI EN ISO 10304-1:2009
FENOLI TOTALI		M.I. 2087 rev 0 2006
RESIDUO SECCO A 105°C		APAT CNR IRSA 2090 A Man 29 2003

En ce qui concerne les analyses chimiques relatives aux sédiments dragués, celles-ci ont été - et seront - effectuées exclusivement sur les métaux (conformément aux conditions établies par le partenaire du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Pise) selon le calendrier de principe suivant :

Analisi su METALLI	INIZIALE	Dopo 3 mesi	Analisi finale
Matrice Sedimento	✓	✓	✓
Umidità relativa (U%)		✓	✓

Les analyses physico-chimiques prévues sont celles exprimées dans le tableau ci-dessous :

ANALISI CHIMICHE FANGHI

DETERMINAZIONE	ACCREDIA	METODO DI PROVA
CROMO ESAVALENTE		EPA 3060A 1996 + APAT CNR IRSA 3150 C Man 29 2003
MINERALIZZAZIONE		UNI EN 13657:2004
ANTIMONIO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
ARSENICO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
CADMIO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
BARIO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
CROMO TOTALE	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
MERCURIO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
MOLIBDENO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
NICHEL	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
PIOMBO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
RAME	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
SELENIO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009
ZINCO	ACCREDIA	UNI EN 13657:2004 + UNI EN ISO 11885:2009

4.6) RÉSULTATS OBTENUS

Les opérations d'échantillonnage et d'analyse ont été effectuées par les Laboratoires ARCHA S.r.l., S.A.R.L. unipersonnelle dont le siège est à Pise - Via di Tegulaia 10/A ; laboratoire agréé « ACCREDIA ».

Les résultats d'analyse résumés dans les tableaux ci-dessous se réfèrent aux limites réglementaires du tableau 2 de l'annexe 5, partie IV du D.-L. 152/2006 pour les eaux usées. Les certificats d'analyse correspondants sont joints en annexe.

L'examen des résultats obtenus montre que les concentrations de certains analytes sont supérieures aux limites établies par la réglementation en vigueur ; en particulier, les Concentrations seuils de Contamination (CSC) des sulfates et de certains métaux tels que le Nickel (Ni), l'Arsenic (As), le Plomb (Pb) et le Cuivre (Cu) sont dépassés.

- Sulfates

Les sulfates sont présents à des concentrations 7/8 fois supérieures aux limites imposées par la réglementation italienne pour les eaux usées. À cet égard, nous pouvons toutefois affirmer que ces valeurs de concentration sont parfaitement en accord avec la nature saumâtre des eaux du canal Navicelli. Les concentrations élevées de chlorures sont une autre preuve de l'influence marine des eaux.

- Métaux

Les métaux présents en concentration anormale et non conformes aux limites exprimées par la législation en vigueur sont le Nickel (Ni), l'Arsenic (As), le Plomb (Pb) et le Cuivre (Cu).

Plus précisément, il est intéressant de noter que pour les analytes As et Cu, des concentrations anormales ont été trouvées dans presque tous les échantillons, alors que dans les échantillons liés à la phase sans pompage, on peut voir que les concentrations relatives aux analytes Pb et Ni augmentent.

Cet aspect est probablement lié à la mobilité réduite des éléments chimiques présents dans l'eau qui, en l'absence du débit imposé par la pompe à eaux utilisée, sont plus concentrés.

Enfin, lors du dernier prélèvement, qui a été effectué dix jours après la fin des opérations de pompage, on constate que les concentrations baissent considérablement pour se situer presque entièrement dans les limites du tableau de référence. On peut en déduire une certaine mobilité des analytes qui, depuis la fin des opérations de pompage, ont subi des phénomènes de lixiviation assez importants.

Cet aspect est encore confirmé par les résultats obtenus sur la matrice boueuse, qui, comme on peut le voir dans le tableau présenté en suivant, sont parfaitement conformes aux valeurs limites du tableau de référence 1 de l'annexe 5, partie IV du D.-L. 152/2006).

		21901657	21901667	21901719	21901720	21901771	21901772	21901861	21901913	21901961	21902017	21902563	
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Tab. 2 dell'All. 5 Parte IV D.Lgs. 152/2006	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 9:00 27/02	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 16:00 27/02	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 9:00 28/02	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 16:30 28/02	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 9:00 01/03	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE ORE 16:00 01/03	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 04/03	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 05/03 (NO POMPAGGIO)	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 06/03 (NO POMPAGGIO)	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 07/03 (NO POMPAGGIO)	ACQUA FILTRATA DA TUBOLARE IN GEOTESSILE 22/03 (NO POMPAGGIO)
			27/02/2019 00:00	27/02/2019 00:00	28/02/2019 00:00	28/02/2019 00:00	01/03/2019 00:00	01/03/2019 00:00	04/03/2019 00:00	05/03/2019 00:00	06/03/2019 00:00	07/03/2019 00:00	14/03/2019 00:00
			NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.	NAVICELLI DI PISA S.r.l.
			047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433	047433
CONDUCIBILITA'	µS/cm (25°C)		32900	33000	31200	32900	34500	33000	36300	38000	34800	39600	46700
BOD 5	mg/L		< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
RESIDUO SECCO A 105°C	mg/L		27900	29000	29900	28200	27900	25300	27300	29300	27400	29100	33600
NITRATI	mg/L		2,08	1,88	1,88	3,62	2,90	1,85	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	4,50
FLUORURI	mg/L	1,5	0,79	< LQ	0,376	0,81	0,84	0,82	0,89	0,83	0,85	< LQ	0,67
SOLFATI	mg/L	250	1760	1790	1830	1800	1760	1750	2000	2130	1350	1850	1990
FOSFATI	mg/L		< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
CLORURI	mg/L		10300	10600	10800	10600	10500	10400	12700	13400	12900	11200	16200
RICHIESTA CHIMICA DI OSSIGENO (COD)	mg/L		328	390	262,0	284,0	294,0	348	< LQ	< LQ	< LQ	622	928
FENOLI TOTALI	mg/L		0,366	0,326	0,291	0,465	0,355	0,438	0,414	0,373	0,586	0,248	0,749
pH	-		7,32	7,27	7,19	7,21	7,33	7,26	7,83	7,74	7,82	8,01	7,88
BARIO	µg/L		81	77	77	77	185	246	359	358	389	416	518
NICHEL	µg/L	20	7,3	7,4	5,6	9,3	6,8	8,1	11,1	8,6	36,1	28,7	21,0
ZINCO	µg/L	3000	18,5	< LQ	7,0	16,3	26,7	13,6	44,7	13,0	80	90	128
CROMO TOTALE	µg/L	50	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6,1	< LQ	< LQ
TOC	mg/L		125	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	125	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
ARSENICO	µg/L	10	29,9	29,7	30,1	29,5	30,5	31,2	3,17	0,88	306	137	3,5
ANTIMONIO	µg/L	5	1,22	1,75	1,33	1,19	1,66	1,56	1,15	0,328	2,06	1,65	0,70
CADMIO	µg/L	5	< LQ	< LQ	< LQ	0,171	0,160	0,144	0,243	< LQ	1,14	1,20	0,53
MOLIBDENO	µg/L		18,9	23,6	18,5	16,9	25,9	25,9	23,9	5,04	11,1	13,4	11,4
PIOMBO	µg/L	10	< LQ	< LQ	< LQ	1,18	1,41	1,54	< LQ	< LQ	12,4	22,6	< LQ
RAME	µg/L	1000	1510	1930	2070	2200	2200	2330	2,42	< LQ	960	1350	37,7
SELENIO	µg/L	10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2,29	< LQ	< LQ	< LQ	3,46
MERCURIO	µg/L	1	0,156	0,155	0,197	0,151	0,156	0,128	< LQ	< LQ	0,091	0,105	< LQ
MINERALIZZAZIONE	-		Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	Filtrato	40,0	45,0	30,0	30,0	30,0

Parametro	U.M.	TAB A	Tab B	Risultato	LQ
CROMO ESAVALENTE	mg/kg	2	15	< LQ	2
MINERALIZZAZIONE	-			-	
ANTIMONIO	mg/kg	10	30	< LQ	1,6
ARSENICO	mg/kg	20	50	1,43	
CADMIO	mg/kg	2	15	< LQ	0,19
BARIO	mg/kg			37,1	
CROMO TOTALE	mg/kg	150	800	22,2	
MERCURIO	mg/kg	1	5	< LQ	0,3
MOLIBDENO	mg/kg			< LQ	0,21
NICHEL	mg/kg	120	500	17,6	
PIOMBO	mg/kg	100	1000	4,05	
RAME	mg/kg	120	600	10,7	
SELENIO	mg/kg	3	15	< LQ	1,7
ZINCO	mg/kg	150	1500	18,9	

4.7) ANALYSE DE L'EFFICACITÉ ET DES LIMITES DU TRAITEMENT

Les géotextiles trouvent diverses applications dans le domaine des travaux hydrauliques (marins et fluviaux) tels que la protection des côtes, la construction de dunes artificielles, l'alimentation naturelle des plages, la réalisation de brosses et, dans tous les cas, dans tous les différents domaines d'application dans le cadre des travaux de dragage et/ou de protection hydraulique.

Pour la société Navicelli S.r.l., malgré les trente années d'expérience dans l'activité de dragage à laquelle le canal homonyme doit être soumis, l'expérimentation de géotextiles drainants a représenté une nouveauté absolue. L'expérience sur le terrain a permis de mettre en évidence, bien qu'à une moindre échelle, certains aspects marquants relatifs à l'efficacité et aux limites d'application de cette technologie.

Les avantages et les limites de l'exécution du traitement sont énumérés ci-dessous sous forme de tableau de synthèse :

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Les solutions consistant en l'emploi de géotextiles drainants sont acceptables du point de vue environnemental, car elles atténuent l'impact direct et indirect sur l'environnement, en permettant de réduire l'emploi de ressources environnementales à tous les niveaux ; - Le confinement du matériau dragué par rapport aux techniques de dragage traditionnelles est nettement facilité ; - Grâce à la possibilité de sélectionner les géotextiles drainants parmi un vaste choix de dimensions disponibles, il est possible de procéder à une évaluation presque en temps réel des volumes dragués et/ou de la capacité de confinement résiduelle ; - Accès facilité aux zones d'échantillonnage en vue du contrôle physique et chimique éventuel de la matrice eau-sédiment ; - Le drainage des eaux a lieu de manière rapide et bien confinée. Ce dernier facteur est particulièrement intéressant pour la protection environnementale des matrices environnantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ce type de travail, bien que très simple, nécessite l'utilisation d'un certain nombre d'équipements (brides, joints, boulons, tubes spéciaux) qui rendent moyennement complexe l'installation du système, bien que celui-ci, une fois installé, ne requière qu'une maintenance minimale ; - La complexité spécifique du système rend les coûts d'installation et, par conséquent, de dragage, plutôt élevés par rapport aux méthodes traditionnelles ; - Le matériau dragué devant être introduit directement à l'intérieur des éléments tubulaires, la zone de dragage est généralement limitée à la zone d'installation des éléments tubulaires ou est fonction de la longueur des tubes qui relie la pompe de refoulement au géotextile drainant.

4.8) COMPOSANTE ÉCONOMIQUE

Du point de vue économique, ainsi que du point de vue factuel, la réalisation du projet peut être divisée en trois activités principales :

- dragage
- conseil technique et scientifique
- analyse de laboratoire

4.8.1 DRAGAGE

Le projet principal a été élaboré pour un montant total de **84 205,62 €**, ventilé comme suit :

Pour des travaux au mètre	67 485,04 €
- charges relatives à la sécurité	1 675,96 €
-TVA (22%)	15 184,62 €
Montant total : 84 205,62 €	

Les travaux ont été attribués par appel d'offres, conformément à la réglementation en vigueur, à l'entreprise INDIVIDUELLE : TOGNETTI FABIO, via Bruno Buozzi n°16, Pontasserchio (56010-PI). Elle a remporté l'appel d'offres en offrant une remise de 3,02 %.

La société a signé un contrat avec le maître d'ouvrage le 11 février 2019, n° 530 de répertoire, qui a été enregistré le 28/02/2019 auprès de l'Agenzia delle entrate de la province de Pise, pour un montant de 65 444,40 €, avec une remise offerte de 3,02 % sur le montant de base de l'appel d'offres, en plus des charges relatives à la sécurité de 1 675,96 €, et donc pour un montant contractuel de 67 120,36 € hors TVA.

L'entreprise a constitué une caution définitive d'un montant égal à 5,00 % du montant net de l'adjudication, à savoir 3 356,02 € sous la forme d'une assurance-caution émise par la compagnie d'assurances ELBA Assicurazioni S.p.A.- agence K & CO de Grosseto (GR) – Code sous-agence 6 Garantie Cautions n° 1371580 selon l'art. 14 du contrat du 11/02/2019.

Le montant total autorisé pour l'exécution des travaux s'élève à un total de 69 021 €, après déduction de la remise d'adjudication, réparti comme suit :

- contrat principal	69 021,00 €
-TVA (22%)	15 184,62 €
Montant total : 84 205,62 €	

Les travaux du contrat principal ont été livrés avec un procès-verbal de livraison sans réserves par la société le 13/02/2019.

L'art. 14 du cahier des charges particulières prévoyait un délai de 20 jours consécutifs (réduits à 12 jours par l'entrepreneur) à partir du jour suivant la date du procès-verbal de livraison : par conséquent, le délai a expiré le 25/02/2019.

Les travaux ont été suspendus à 3 reprises, avec 4 reprises correspondantes, comme indiqué ci-dessous, pour les motifs indiqués dans les procès-verbaux joints à la documentation :

- pour des problèmes de nature technique, entre le 19/02/2019 et le 24/03/2019	- pendant 6 jours
- pour la mise en sécurité des rives du canal, le 27/02/2019	- pendant une journée
- pour des problèmes de nature technique, entre le 01/03/2019 et le 03/03/2019	- pendant 3 jours
Total : 10 jours	

Suite aux suspensions, les délais de réalisation ont été prolongés de 10 jours.
Vous trouverez ci-dessous les délais pour l'achèvement des travaux

- pour le contrat principal	12 jours
- pour les suspensions	10 jours
Total : 22 jours	

Les travaux ont été achevés le 06/03/2019, comme convenu par le procès-verbal signé à la même date.

Les travaux ont été réalisés selon les clauses contractuelles et les dispositions particulières imposées, sur le terrain, par la Direction des Travaux.

L'état final des travaux émis le 28/03/2019 fait ressortir un montant total de 67 120,36 € réparti comme suit :

- pour des travaux au mètre	65 444,40 €
- charges relatives à la sécurité	1 675,96 €
Total général net :	67 120,36 €
TVA (22%)	14 766,47 €
Total général	81 886,83 €

L'entreprise a signé le registre de comptabilité sans réserves.

Aucun accident du travail ne s'est produit pendant les travaux

Les travaux ont été dirigés par les soussignés : Gaetano PETRIZZO, ingénieur, et par le géologue Nicola D'ANDRETTA.

4.8.2 CONSEIL TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE

Le conseil technique et scientifique a concerné et concerne principalement :

- L'analyse des aspects règlementaires et techniques liés à l'écoulement/au traitement et à la gestion des boues de dragage en ce qui concerne l'élaboration du projet « Sediterra » ;
- La conception et la direction des travaux de l'intervention en objet ;
- La rédaction de l'appel d'offres pour la réalisation de l'ouvrage ;
- Le conseil technique et réglementaire en matière environnementale ;
- La diffusion et la participation aux comités techniques de pilotage qui ont régulièrement lieu dans les différents secteurs du partenariat ;
- La rédaction périodique de rapports techniques sur l'état d'avancement des travaux ;
- Les frais documentés et engagés.

Pour la réalisation des prestations mentionnées, la Société Navicelli a prévu d'engager un total de **40 264,17 €** bruts.

4.8.3 FRAIS RELATIFS AU SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Le suivi environnemental, préparé de concert avec le responsable scientifique du projet, prévoit un investissement réparti comme suit :

CAMPIONI E ANALISI	PREZZO	QUANTITÀ	TOTALE
Analisi chimiche acque di percolazione	€ 225,00	11	€ 2.475,00
Analisi chimiche Sedimento	€ 240,00	2	€ 480,00
Costo orario tecnici campionamento	€ 200,00	1	€ 200,00
TOTALE NETTO			€3.155,00
<u>TOTALE LORDO</u>			<u>€ 3.849,00</u>

Le tableau suivant résume la composante économique assignée à la société Navicelli di Pisa :

ATTIVITA'	Costo al netto dell'IVA	Costo al lordo dell'IVA
Dragaggio	€ 67.120,36	€ 81.886,83
Consulenza tecnico-scientifica	€ 31.406,06	€ 40.264,17
Spese relative al monitoraggio ambientale	€ 3.155,00	€ 3.849,00
TOTALE	€ 101.681,42	€ 126.000,00

4.9) CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet comprenait une expérience de déshydratation et le suivi chimique des sédiments dragués par des moyens hydrauliques et placés dans des conteneurs tubulaires spécialement conçus pour faciliter et accélérer le processus naturel de déshydratation de la matrice solide.

Le suivi environnemental a été mis en place en effectuant un contrôle chimique quotidien constant sur les eaux usées, tout au long du processus de pompage et dans les jours qui ont suivi immédiatement la fin des travaux. Les sédiments, en revanche, ont été caractérisés moins fréquemment et, en tout cas, dans les phases les plus significatives du processus de déshydratation (début, moyen terme et fin du traitement).

L'examen des résultats obtenus fait ressortir le dépassement des Concentrations Seuils de Contamination (CSC) des sulfates et de certains métaux, tels que le Nickel (Ni), l'Arsenic (As), le Plomb (Pb) et le Cuivre (Cu), et leur variation en fonction de la présence ou non du débit imposé par la pompe de refoulement. On peut déduire, somme toute, de l'analyse de la matrice liquide et solide, une certaine mobilité des analytes qui, depuis la fin des opérations de pompage, ont subi des phénomènes de lixiviation assez importants.

L'expérience avec les géotextiles drainants a représenté une nouveauté absolue pour la société Navicelli S.r.l., qui a donné lieu à un certain nombre de considérations concernant l'efficacité et les limites du traitement, que l'on peut résumer comme suit :

- impact environnemental minimal
- évaluation constante des volumes dragués
- drainage des eaux rapide et parfaitement confiné

Il convient de rappeler, parmi les limites du traitement :

- installation du système plutôt complexe
- coûts de dragage élevés par rapport aux méthodes traditionnelles
- espace limité dû à la dépendance des tubes

Malgré cela, nous pouvons considérer qu'il s'agit d'une expérience très positive.

Bien que coûteuse, on peut supposer que si elle était appliquée à grande échelle, la méthode permettrait d'amortir les charges plus élevées requises pour le dragage ; ces charges plus élevées seraient pleinement justifiées par une plus grande protection de l'environnement et une gestion aisée des phases postérieures au dragage, lorsque la réutilisation des sédiments déshydratés se rendra nécessaire.

À cet égard, il serait utile de procéder à une étude approfondie de l'analyse coûts-avantages qui n'entre pas, pour le moment, dans le cadre du présent document.

En ce qui concerne, en revanche, la définition des perspectives de réutilisation des matériaux de dragage, ceux-ci seront utilisés de manière appropriée pour la restauration morphologique de certaines parties des chemins de halage.

Les chemins de halage représentent une voie de service étroite vers le canal Navicelli qui s'étend parallèlement à la voie navigable et qui, en plus d'être essentielle pour le maintien de l'efficacité de la voie navigable, représente un important ouvrage de défense hydraulique.

Sur la base de ces preuves, la société Navicelli di Pisa, assistée de ses techniciens, a envisagé la possibilité de redéployer les terrains résultant de l'intervention de dragage expérimental liée au projet « Sediterra », pour la remise en état de la planimétrie et de l'altimétrie du chemin de halage, dans les tronçons où l'accroissement de la protection des rivages est jugée nécessaire.

Les contenus exposés ci-dessus seront suivis d'un document adéquat qui illustrera de manière détaillée les modalités d'intervention.