



AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL  
MAR TIRRENO SETTENTRIONALE

Uffici di LIVORNO

**PROGETTO PRELIMINARE**

LAVORI DI ATTUAZIONE DELLE PREVISIONI DI ACQUATICITA' DELLA  
TORRE DEL MARZOCCO

**Analisi di Rischio Sanitario Sito-specifico dell'area A3-A4  
integrante il progetto di resecazione del Canale di Accesso-  
GENNAIO 2015**

**ALLEGATO 8**

Il progettista:

Direzione Tecnica -Area progettazione-  
Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale

Ing. Ilaria Lotti

Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione:

Direzione Tecnica -Area progettazione-  
Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale

Arch. Raoul Raffalli

Il Responsabile Unico del Procedimento

Direzione Tecnica  
Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale

Ing. Enrico Pribaz- Dirigente F.F.

Cliente:



**AdR\_Porto Livorno area A3-A4**  
**Analisi di Rischio Sanitario Sito-specifico**  
**dell'area A3-A4 integrante il progetto di resecazione del Canale**  
**di Accesso**

**Gennaio 2015**

**GRUPPO DI LAVORO**

Dott. Chiara Donati

Dott. Geol. Gemma Falcone

Ing. Alberto Ansiati

**CODICE PROGETTO: P14/MA/APL/N/02 (AdR\_Porto Livorno area A3-A4)**

**DOC. N. TEA-ENG-15/003 REV. 0**

**TEA ENGINEERING S.r.l.**

Società d'ingegneria ex art. 90, D.Lgs. 163/2006 ed s.m.i.

Sede: via Ponte a Piglieri, 8 - 56122 Pisa

Tel. 050 6396101 - Fax 050 6396110

e-mail: [tea-engineering@tea-group.com](mailto:tea-engineering@tea-group.com) – PEC: [tea\\_engineering@pec.it](mailto:tea_engineering@pec.it)

C.F., P.I. e Reg. Imprese Pisa n°02061230500

Cliente:



<b>PROGETTO</b> PROJECT	P14/MA/APL/N/02 (AdR_Porto Livorno area A3-A4)				
<b>DOCUMENTO N.</b> DOCUMENT N.	TEA-ENG-15/003 REV. 0				
<b>TITOLO</b> TITLE	<i>Analisi di Rischio Sanitario Sito-specifico dell'area A3-A4 integrante il progetto di resecazione del Canale di Accesso</i>				
<b>NOTE</b> REMARKS					
3					
2					
1					
0	29/01/2015	Report	Chiara Donati	Gemma Falcone	Alberto Ansiati
<b>REV.</b> REV.	<b>DATA</b> DATE	<b>DESCRIZIONE</b> DESCRIPTION	<b>REDATTO</b> PREPARED	<b>CONTROLLATO</b> CHECKED	<b>APPROVATO</b> APPROVED

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
1.1	INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL LAVORO	5
1.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
1.4	SOFTWARE UTILIZZATO	6
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DEL SITO</b>	<b>7</b>
2.1	UBICAZIONE DEL SITO	7
2.2	DESCRIZIONE DEL SITO	8
2.3	INQUADRAMENTO NORMATIVO DELL'AREA DI STUDIO	12
<b>3</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE</b>	<b>13</b>
3.1	INDAGINI EFFETTUATE	13
3.1.1	<i>Indagini preliminari</i>	14
3.1.2	<i>Suolo e sottosuolo</i>	14
3.1.3	<i>Acque sotterranee</i>	15
3.1.4	<i>Indagini realizzate nell'area A3</i>	16
3.1.5	<i>Indagini realizzate nell'area A4</i>	18
3.2	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SITO	20
3.3	MODELLO IDROGEOLOGICO DEL SITO	21
3.4	RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE	22
3.4.1	<i>Suolo e sottosuolo</i>	22
3.4.2	<i>Acque sotterranee</i>	25
3.1	METEOROLOGIA SPECIFICA DELL'AREA DI STUDIO	28
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO</b>	<b>36</b>
5.1	SORGENTI DI CONTAMINAZIONE	37
5.1.1	<i>Geometria delle sorgenti di contaminazione</i>	38
5.2	CONTAMINANTI INDICE	42
5.2.1	<i>Suolo Superficiale</i>	42
5.2.2	<i>Suolo Profondo</i>	42
5.2.3	<i>Acqua Sotterranea</i>	43
5.2.4	<i>Concentrazioni rappresentative degli inquinanti in sorgente</i>	44
5.2.5	<i>Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti</i>	45
5.2.6	<i>Percorsi di migrazione, modalità di esposizione e bersagli della contaminazione</i>	48
<b>6</b>	<b>ANALISI DI RISCHIO</b>	<b>53</b>

6.1.1	<i>Suolo Superficiale: sorgente S072</i> .....	53
6.1.2	<i>Suolo Superficiale: sorgente S079</i> .....	54
6.1.1	<i>Suolo Profondo: sorgente S073-PZ034</i> .....	55
6.1.2	<i>Suolo Profondo: sorgente S078</i> .....	55
6.1.1	<i>Acque Sotterranee</i> .....	57
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>58</b>

**TAVOLA 1 – SUPERAMENTI DELLE CSC NEI SUOLI**

**TAVOLA 2 – SUPERAMENTI DELLE CSC NELLE ACQUE SOTTERRANEE**

**TAVOLA 3 – CONFRONTO RISULTATI AdR: BERSAGLI TIPICI DI AMBIENTI DI LAVORO E DI AMBIENTI RICREATIVI**

**ALLEGATO A1 - SORGENTE SUOLO SUPERFICIALE S072 DATI DI INPUT**

**ALLEGATO A2 - SORGENTE SUOLO SUPERFICIALE S072 DATI DI OUTPUT**

**ALLEGATO B1 - SORGENTE SUOLO SUPERFICIALE S079 DATI DI INPUT**

**ALLEGATO B2 - SORGENTE SUOLO SUPERFICIALE S079 DATI DI OUTPUT**

**ALLEGATO C1 - SORGENTE SUOLO PROFONDO S073-PZ034 DATI DI INPUT**

**ALLEGATO C2 - SORGENTE SUOLO PROFONDO S073-PZ034 DATI DI OUTPUT**

**ALLEGATO D1 - SORGENTE SUOLO PROFONDO S078 DATI DI INPUT**

**ALLEGATO D2 - SORGENTE SUOLO PROFONDO S078 DATI DI OUTPUT**

**ALLEGATO E1 - SORGENTE ACQUE SOTTERRANEE DATI DI INPUT**

**ALLEGATO E2 - SORGENTE ACQUE SOTTERRANEE DATI DI OUTPUT**

**ALLEGATO ELETTRONICO 1 – FILE DI ELABORAZIONE AdR\_ AMBIENTI RICREATIVI**

**ALLEGATO ELETTRONICO 2 – FILE DI ELABORAZIONE AdR\_ AMBIENTI DI LAVORO**

# 1 PREMESSA

## 1.1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL LAVORO

Il presente documento, redatto da TEA Engineering S.r.l. su incarico della Autorità Portuale di Livorno, costituisce l'Analisi di Rischio sito-specifica ai sensi del D.Lgs.152/06 e s.m.i. del dominio costituito dalle due sub-aree, denominate A3 ed A4, ricadenti nell'Ambito "A" – Sponda ovest della Darsena Toscana e nuova Darsena Petroli (codice SISBON LI186c). Nel 2011, nell'area A4, è stato realizzato un primo lotto funzionale di banchina, recentemente portata fronte mare mediante sbancamento delle terre emerse ed il successivo dragaggio, al fine di dare inizio alla operazione di incremento della larghezza del Canale d'Accesso. Per poter completare l'opera di ampliamento, l'ufficio progettazione dell'Autorità Portuale sta elaborando il progetto definitivo relativo alla realizzazione dei *"Lavori di resecazione del canale di accesso del porto di Livorno presso la torre del Marzocco"*, progetto che descrive i lavori necessari per realizzare il banchinamento del tratto di sponda del Canale di Accesso e contestualmente predispone le opere necessarie per la futura acquaticità della Torre ed il banchinamento del tratto di accesso del microtunnel sulla sponda del Magnale. Poiché l'area di progetto ricade a cavallo delle due sub-aree oggetto della presente Analisi di Rischio (A3 ed A4), negli scenari simulati sono state considerate le caratteristiche dell'area così come previste dal progetto, di modo tale da poter verificare anche gli effetti che la realizzazione dell'opera potranno comportare.

Obiettivo del presente lavoro consiste quindi nel verificare se l'area presa in esame, in seguito alla realizzazione del progetto di resecazione del Canale di Accesso del Porto di Livorno, risulta essere non contaminata o contaminata ai sensi dell'art. 240 del D.Lgs. 152/06 e nella determinazione degli eventuali obiettivi di bonifica (Concentrazioni Soglia di Rischio, in seguito CSR).

La procedura di Analisi di Rischio (AdR) è stata condotta sulla base dei dati di progetto forniti dal cliente nonché sulla base dei risultati delle indagini ambientali delle aree pubbliche a terra di Livorno previste dal "Piano di caratterizzazione ambientale delle aree pubbliche a terra comprese nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale (SIN)", approvato dal MATTM in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005 all'ottavo punto all'ordine del giorno.

## 1.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

I documenti a cui si fa riferimento nel presente lavoro sono:

"Sito d'Interesse Nazionale di Livorno, Studio Idrogeologico Generale", Studio Geologico Rafanelli – 2006.

"Report Indagini di Caratterizzazione Ambientale; ai sensi dm 471/99", Ambiente – luglio 2008.

Nota del MATTM, prot. 0029706/TRI del 18/11/2014: “Linee-guida sull’analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06 ess.mm.ii.”.

### **1.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La normativa di riferimento di cui si è tenuto conto nella stesura del presente documento è la seguente:

- D.Lgs. n° 152/06 “Norme in materia ambientale” e s.m.i.;
- D.M. 147 del 22/05/2014;
- D.G.R.T. 15 marzo 2010, n. 301.

L’Analisi di Rischio è stata inoltre realizzata in conformità a quanto previsto dai seguenti documenti tecnici di riferimento:

- “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – rev. 2”, ISPRA (Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici), marzo 2008, (di seguito “Criteri Metodologici”);
- “Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito specifici utilizzati nell’applicazione dell’analisi di rischio ai sensi del D.Lgs 152/06”-, ISPRA, ottobre 2007;
- Data base dei parametri chimico-fisici e tossicologici ISS-INAIL, luglio 2014.

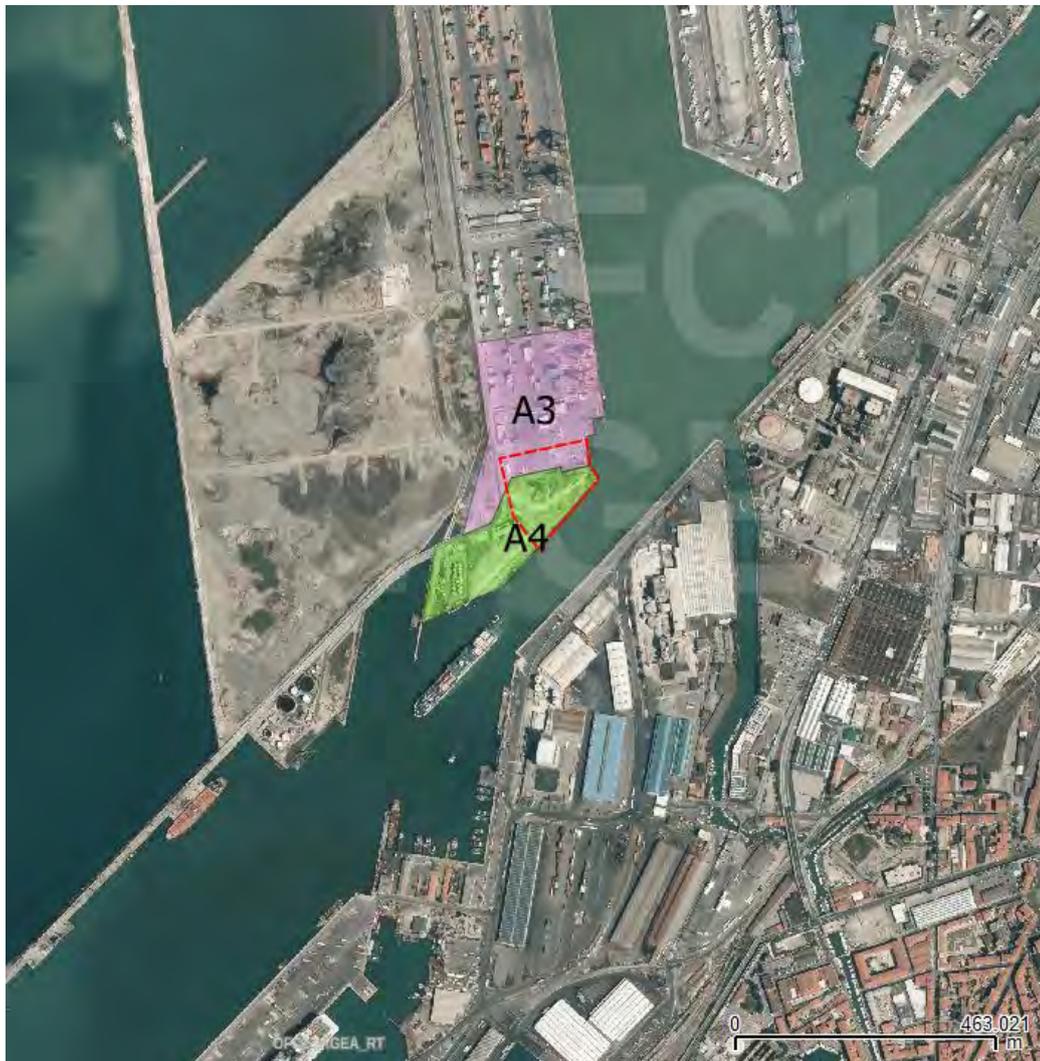
### **1.4 SOFTWARE UTILIZZATO**

Le elaborazioni numeriche sono state effettuate mediante il software Risk-net versione 1.0 (marzo 2012), programma sviluppato nell’ambito della rete RECONnet su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università di Roma “Tor Vergata”. Il software permette di applicare l’Analisi di Rischio sanitaria ai siti contaminati utilizzando i criteri e le equazioni definite nelle linee guida ISPRA (2008), in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente.

## 2 INQUADRAMENTO DEL SITO

### 2.1 UBICAZIONE DEL SITO

L'area di studio, avente una superficie pari a ca. 20.39 ha, ricade nell'Ambito "A" – Sponda ovest della Darsena Toscana, e nuova Darsena Petroli, ed è collocata internamente al Porto di Livorno presso la sponda nord del Canale di Accesso al Porto, area emersa all'interno della quale erge la Torre del Marzocco. In particolare l'area di studio è costituita dalle due sub-aree dell'Ambito A, denominate rispettivamente A3 ed A4, a cavallo delle quali ricade l'area di progetto di resecazione del canale di accesso del porto di Livorno presso la torre del Marzocco. In Figura 1 si evidenziano le due aree nonché l'area di progetto.



**Figura 1 – Inquadramento delle sub-aree denominate A3 ed A4 ed indicazione (tratteggiato in rosso) dell'area di progetto**

## 2.2 DESCRIZIONE DEL SITO

L'area relativa alla sponda ovest dell'odierna Darsena Toscana venne costruita nei primi anni '30 grazie a riempimenti con terra di riporto al fine di rialzare il livello medio del terreno e eliminare nella zona le caratteristiche paludose d'origine. Nell'area fu effettuato anche un primo rimodellamento della linea di costa e successivamente si insediarono due depositi costieri di oli combustibili, collegati con la Darsena Petroli, e alcuni magazzini, tra cui quello dei tabacchi. Tale configurazione rimase anche dopo la ricostruzione post-bellica.

Già nell'ottobre del 1966 la Compagnia Lavoratori Portuali, la Camera di Commercio e le Istituzioni locali, intuendo le trasformazioni dei traffici e dei commerci marittimi con l'avvento delle nuove tecnologie e metodi di trasporto, proposero la realizzazione della Darsena Toscana nella parte terminale del Canale dei Navicelli. Tale opera presentava risvolti strategici per il presentarsi della necessità di enormi aree a disposizione per la gestione del traffico di contenitori.

A questo proposito, il Genio Civile OO.MM. propose, con nota inviata al Ministero LL.PP. del 1969, l'allargamento del Canale dei Navicelli e la costruzione di banchinamenti e piazzali per la realizzazione di un terminal per contenitori. La proposta si concretizzò mediante una variante al PRP, la quale prevedeva:

- l'escavazione a -13,00 m dei fondali per l'allargamento verso ponente del Canale dei Navicelli e la creazione di una nuova Darsena lunga 1.500 m e larga 200 m;
- la costruzione delle opere murarie di banchinamento a alto fondale in cassoni e sovrastante struttura in cemento armato;
- la costruzione di opere di chiusura del Canale dei Navicelli a monte della nuova Darsena, da eseguirsi con il sistema di porte Vinciane per eliminare il refluito di materie melmose provenienti dagli eventi di piena dello scolmatore del fiume Arno;
- la costruzione di opere di difesa esterne mediante scogliere in massi naturali;
- la costruzione di ampi piazzali per il deposito delle merci e delle strade per lo smistamento delle merci per una superficie di circa 500.000 m<sup>2</sup>.

La proposta progettuale prevedeva, inoltre, il rimodellamento morfologico della linea di costa. In particolare, la zona sud, lato mare, dell'area destinata ai contenitori, mostrava necessità di essere ridefinita creando una linea di costa parallela a quella della sponda est del Canale dei Navicelli.

La proposta relativa alla Darsena Toscana fu definitivamente approvata dal Consiglio superiore dei LL.PP. nel 1973, come stralcio al PRP, con la sola prescrizione che il Canale dei Navicelli fosse sorpassato da un viadotto all'altezza di 15 metri al fine di rimuovere gli impedimenti alla navigabilità del canale stesso, che fosse chiuso il solo ponte ferroviario e che fossero chiuse le porte vinciane sul canale durante gli eventi di piena. I lavori di costruzione della Darsena, denominata in seguito

Darsena Toscana, e della relativa sponda ovest iniziarono nel 1976 (Figura 2) e precedettero per lotti successivi<sup>1</sup>, di cui il quarto è ancora oggi in fase di completamento. Il rimodellamento morfologico, consistente nel riempimento dei bassi fondali della parte sud della costa, fu attuato contemporaneamente all'escavo della Darsena, utilizzandone così i volumi asportati per il riempimento. Tale ipotesi è sostenuta dal fatto che la natura geologica e geotecnica del terreno di riporto in situ è ampiamente compatibile con i terreni adiacenti alla zona oggetto del rimodellamento morfologico.



**Figura 2 – Vista della sponda ovest della Darsena Toscana in costruzione (primi anni '80)<sup>2</sup>**

Nella Figura 3 riportata di seguito, viene rappresentato un estratto della planimetria della Variante approvata al PRP, la quale mostra i profili ante e post operam.

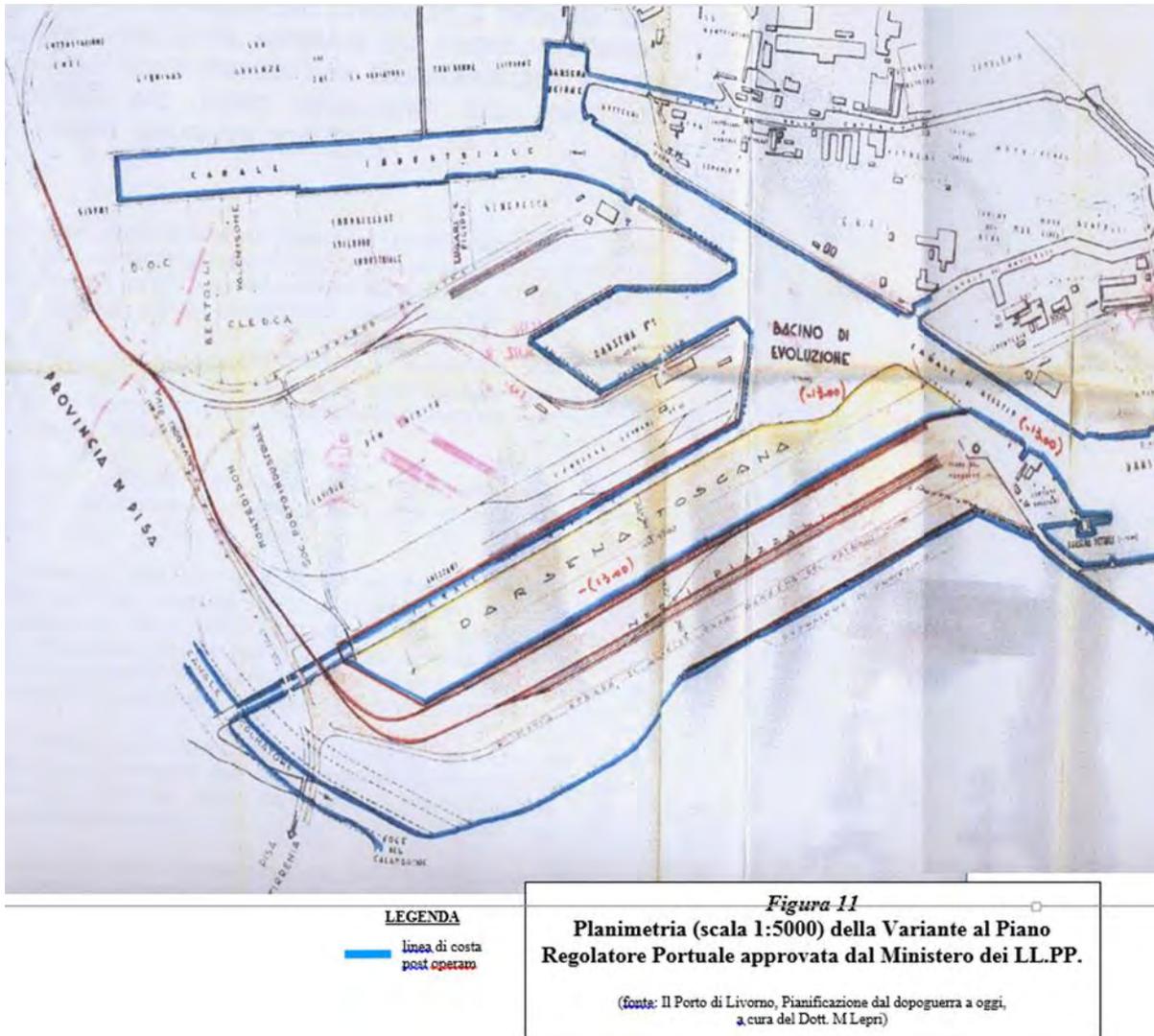
Successivamente allo smantellamento delle infrastrutture esistenti in loco e alla realizzazione dei piazzali, la Darsena Toscana e la sua sponda ovest entrano in funzione agli inizi degli anni '80. A quel tempo, la zona ovest si trovava configurata con un primo lotto di piazzali già posto in opera, l'inserimento della linea ferroviaria che percorre tutta la linea di riva da nord a sud, lato mare, un solo terminal -dei due esistenti in origine- per il deposito di prodotti derivati dal petrolio (gestito dalla Ditta Toscopetrol), posto sul lato nord della Darsena e la presenza, accanto alla Torre del Marzocco dell'impianto produttivo della società Carpensalda, operante nel campo della carpenteria metallica, oggi non più esistente. Si evidenzia, a tale proposito, che l'intera sponda ovest è stata pavimentata prima di essere adibita all'uso di terminal. Pertanto, il tratto centrale (corrispondente con il sub-ambito A3 e parte dell'A4) risulta sempre stato pavimentato fin dai suoi primi usi. Lungo la Nuova Darsena

---

<sup>1</sup> Il progetto globale prevede la realizzazione dei piazzali sulla sponda ovest in cinque lotti. Il primo ad essere realizzato è stato quello posizionato all'altezza della Torre del Marzocco. Il quinto, da realizzare, è previsto all'altezza del canale dello scolmatore dell'Arno a Calambrone.

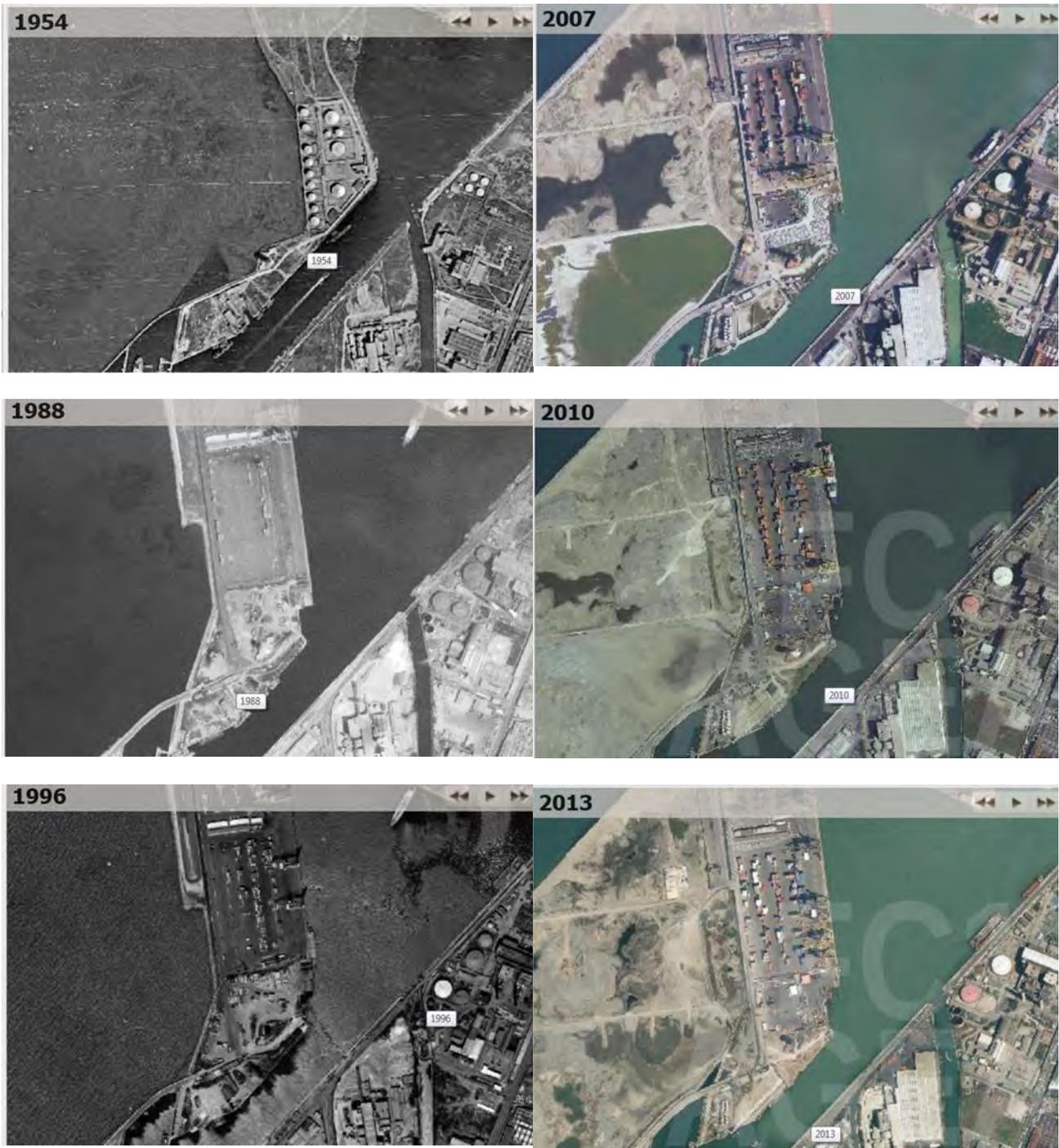
<sup>2</sup> Fonte: Il porto di Livorno – Pianificazione dal dopoguerra ad oggi, a cura del Dott. M. Lepri

Petroli era stato poi realizzato un ulteriore deposito costiero di servizio -gestito da ENI- e oggi parzialmente convertito nell'impianto di depurazione delle acque di sentina a servizio delle navi in scalo a Livorno.



**Figura 3 – Estratto della planimetria della Variante approvata al PRP, la quale mostra i profile ante e post operam**

Le immagini riportate in Figura 4 sono state estrapolate dallo strumento webgis con cui è possibile visualizzare ed interrogare i dati geografici della Regione Toscana denominato GEOscopio.



**Figura 4 - Immagini estratte da GEOscopio relative alla area oggetto di studio**

Attualmente la porzione lato Canale di Accesso è contraddistinta da totale assenza di ogni attività, pertanto anche di manutenzione, che ha provocato il crollo di alcune sezioni del profilo di banchina originario, i cui resti sono ben visibili da terra poiché emersi rispetto al livello medio marino. La parte retrostante la Torre del Marzocco è al momento in concessione alla società Terminal Darsena Toscana, che la utilizza come area di manutenzione e riparazione dei propri mezzi di lavoro.

### **2.3 INQUADRAMENTO NORMATIVO DELL'AREA DI STUDIO**

L'intera area in oggetto era interna al perimetro del Sito di Bonifica di Interesse Nazionale di Livorno così come definito dal D.M. 24/2/2003 (GU 27/05/2003). A seguito dell'emanazione del D.M. 147 del 22/05/2014 inerente la ridefinizione del perimetro del SIN di Livorno, l'area in esame risulta non più inserita all'interno del nuovo perimetro del SIN.

Per il sito in esame la Regione Toscana è subentrata al MATTM nella titolarità del relativo procedimento ai sensi dell'art.242 del D.Lgs. 152/06.

### 3 CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

#### 3.1 INDAGINI EFFETTUATE

La Caratterizzazione Ambientale dell'area oggetto del presente studio è stata realizzata nell'ambito della esecuzione del Piano di Caratterizzazione ambientale delle aree pubbliche a terra, acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (d'ora in avanti MATTM) al nr. prot. 13456/QdV/DI del 06/07/2005 ed approvato dal MATTM in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005. Tale Piano di caratterizzazione è stato realizzato nel 2008 ma, poiché approvato precedentemente all'entrata in vigore dell'attuale T.U. ambientale, è stato eseguito secondo il DM 471/99, testo abrogato dal D.Lgs 152/06. Tuttavia, si evidenzia che i valori limiti di riferimento presenti nel DM 471/99 sono stati completamente ripresi dal D.Lgs 152/06. Per questo motivo tutte le valutazioni circa la presenza/assenza di superamenti dei limiti riportati nel DM 471/99 risultano validi anche secondo la normativa vigente.

In Figura 5 è riportato uno stralcio della CTR di Livorno, sovrapposto al perimetro del SIN di Livorno (aggiornato al 2005), con l'indicazione delle aree oggetto di indagine del suddetto Piano di Caratterizzazione Ambientale e nel quale si osserva l'ubicazione delle aree A3 ed A4.



**Figura 5 - Stralcio CTR Livorno, sovrapposto al SIN e alle aree di indagine**

Segue la descrizione le indagini ambientali realizzate nelle sub-aree di studio.

### 3.1.1 *Indagini preliminari*

Durante la realizzazione del Piano di Caratterizzazione ambientale delle aree pubbliche a terra, sono state eseguite le attività preliminari, necessarie alla esecuzione della Caratterizzazione Ambientale, che sono riportate in seguito:

1. georeferenziazione dei punti di indagine;
2. riunioni, sopralluoghi congiunti e programmazione con il personale interessato per ciascuna area (concessionari e terminalisti);
3. sopralluogo ed ispezione diretta su ciascun punto di indagine con ausilio di strumentazione GPS portatile;
4. programmazione con l'ente di controllo dip. prov.le ARPAT di Livorno per l'avvio delle indagini Ambientali;
5. ricerca dei sottoservizi mediante strumentazione specifica e restituzione dei dati in formato cartaceo ed informatico;
6. indagine ferromagnetica per l'individuazione di eventuali masse metalliche nel sottosuolo.

Nel periodo intercorso tra il 21/05/2008 ed il 08/07/2008, a conclusione delle suddette attività preliminari, è stata eseguita la Caratterizzazione Ambientale di tutta l'area oggetto del P.C., area in cui ricadono le due sub-aree di interesse del presente studio, le aree denominate A3 ed A4.

### 3.1.2 *Suolo e sottosuolo*

I sondaggi ambientali per tutti gli ambiti di indagine sono stati realizzati mediante impiego di sonda di perforazione a rotazione con tecnica del carotaggio continuo a secco (ovvero senza circolazione di fluidi nelle aste di perforazione). La perforazione è avvenuta mediante l'ausilio di un carotiere semplice di diametro 101 mm con rivestimento a seguire con aste metalliche aventi diametro 152 mm al fine di evitare il crollo delle pareti. Le perforazioni sono state eseguite a basso numero di giri, al fine di ottenere carote indisturbate, evitando il surriscaldamento del terreno e la conseguente volatilizzazione delle frazioni più leggere dei contaminanti.

Una volta estratta la carota di terreno, è stato effettuato il campionamento del terreno da sottoporre alle opportune determinazioni analitiche di laboratorio stabilite dal Piano di Caratterizzazione e descritte in seguito. Il criterio di campionamento adottato è quello stabilito nel Piano di caratterizzazione approvato dal MATTM ovvero:

- 0.5 ÷ 1.5 m da piano di campagna,
- 2.5 ÷ 3.5 m da piano di campagna,
- 4.5 ÷ 5.5 m da piano di campagna;

Tutti i campioni prelevati sono stati sottoposti a determinazioni analitiche di laboratorio per la ricerca dei parametri proposti nell'ambito del Piano di caratterizzazione ambientale approvato in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2008 ed integrati da quelli richiesti dall'ente di controllo dip. prov.le ARPAT di Livorno.

Le analisi chimiche sui campioni di terreno così prelevati sono state condotte utilizzando metodiche riconosciute a livello nazionale ed internazionale e comunque, tali da garantire il raggiungimento di limiti di rilevabilità pari ad almeno 1/10 dei valori di concentrazione massima ammissibile cui alla colonna B, tabella 1, allegato 1 del DM 471/99. Per la presa visione dell'elenco degli analiti ricercati sui campioni di terreno e le relative metodiche utilizzate, si rimanda al documento "Report Indagini di Caratterizzazione Ambientale; ai sensi dm 471/99", Ambiente – luglio 2008.

In conformità con quanto richiesto dal DM 471/99 ed al punto di prescrizione (3) della Conferenza dei Servizi Decisoria del 28/07/2005, le determinazioni analitiche sui campioni di terreno sono state effettuate sulla frazione granulometrica passante al vaglio 2 mm e i risultati ottenuti sono stati riferiti al solo passante al vaglio 2 mm e non alla totalità dei materiali secchi.

I risultati analitici ottenuti sono stati confrontati con quelli riportati in colonna B, tabella 1, allegato 1 del DM 471/99 in relazione alla destinazione d'uso delle aree (prevalentemente portuale). Per i parametri per i quali non sono espressi limiti di riferimento nella tabella 1, allegato 1 del DM 471/99 (in particolare: naftalene, acenaftilene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene), allo scopo di definire la qualità chimica dell'area indagata, sono stati adottati i valori di concentrazione individuati dall'Istituto Superiore di Sanità in collaborazione con ANPA, ARPA Liguria, ARPA Piemonte per il sito Acna di Cengio SV come Concentrazioni Limite Ammissibili.

### **3.1.3 Acque sotterranee**

Per la caratterizzazione delle acque sotterranee, in conformità con il Piano di Caratterizzazione, n. 84 dei fori di sondaggio con profondità pari a 6 m dal p.c. realizzati per investigare i suoli dell'intera area oggetto, sono stati attrezzati a piezometro. Inoltre sono stati realizzati ulteriori n. 21 sondaggi spinti fino a circa 20 m dal piano di campagna e successivamente attrezzati a piezometri. I piezometri profondi sono stati allestiti con l'obiettivo di verificare la possibilità di rinvenimento di due diversi livelli acquiferi.

Durante le indagini ambientali svolte sulle aree pubbliche a terra, la presenza di uno strato a bassa permeabilità è stato registrato solamente a livello strettamente locale. È dunque possibile affermare che non sono presenti due livelli acquiferi nei primi 20 mt di profondità sulle aree di indagine, in quanto, laddove è stata rinvenuta la presenza di un livello caratterizzato da medio – bassa permeabilità (i.e. livelli limosi e/o argillosi), tale livello è risultato non continuo.

Visto quanto sopra, durante la campagna di indagine ambientale, le modalità costruttive dei piezometri superficiali e profondi sono state definite sulla base della sequenza stratigrafica registrata durante la perforazione. Nello specifico:

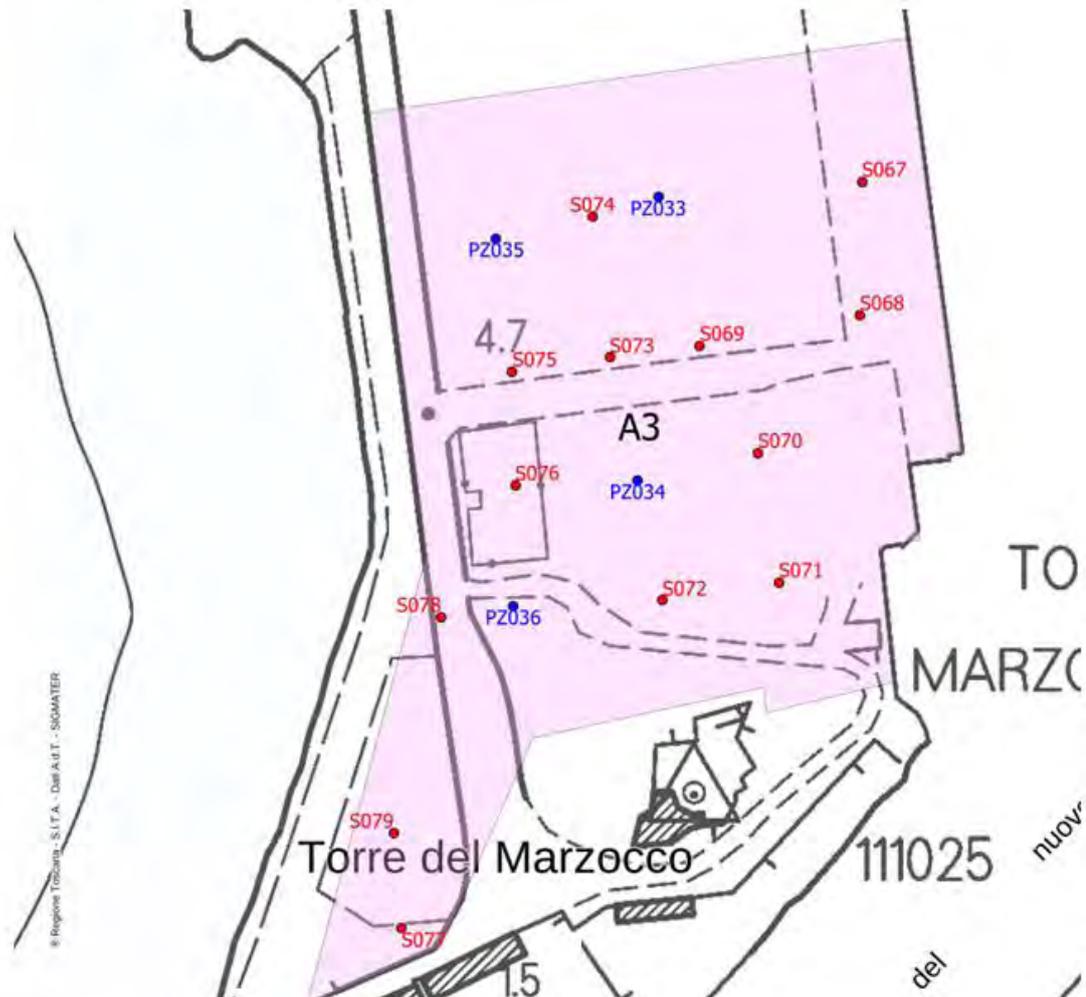
- i piezometri superficiali (attestati a 6 m dal p.c.) sono stati realizzati ponendo il tratto fenestrato tra i 2 m ed i 6 m;
- i piezometri profondi (attestati a 20 m dal p.c.) sono stati realizzati di due diverse tipologie:
  - tipologia 1: tratto cieco tra p.c. e 2 m da piano di campagna, tratto fenestrato tra 2 m e 19 m da piano di campagna, 1 m di tubo cieco a fondo foro;
  - tipologia 2: tratto cieco tra p.c. e 6 m dal piano di campagna, tratto fenestrato da 6 m a 19 m da piano di campagna, 1 m di tubo cieco a fondo foro.

Tutti i campioni di acqua prelevati dalla rete piezometrica installata sono stati sottoposti a determinazioni analitiche di laboratorio per la ricerca dei parametri previsti dal Piano di Caratterizzazione Ambientale nonché dei parametri aggiuntivi indicati dagli Enti di controllo, in adempimento alle prescrizioni avanzate dal dip. prov.le ARPAT di Livorno (per la presa visione dell'elenco degli analiti ricercati sui campioni di terreno e le relative metodiche utilizzate, si rimanda al documento "Report Indagini di Caratterizzazione Ambientale; ai sensi dm 471/99", Ambiente – luglio 2008).

Le analisi chimiche sui campioni di acqua prelevati dalla rete piezometrica installata sono state condotte utilizzando metodiche riconosciute a livello nazionale ed internazionale e comunque, tali da garantire il raggiungimento di limiti di rilevabilità pari ad almeno 1/10 del valore di concentrazione massima ammissibile cui alla tabella 2, allegato 1 del DM 471/99.

#### **3.1.4 Indagini realizzate nell'area A3**

Nell'area A3 classificata ad "Alta probabilità di contaminazione" nel Piano di Caratterizzazione Ambientale approvato in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005, sono stati realizzati n. **17 sondaggi** ambientali spinti a 6 m da piano di campagna, di cui n. **4 attrezzati successivamente a piezometro superficiale**. Per l'area A3 non era prevista la realizzazione di piezometri profondi. L'ubicazione dei punti di campionamento è riportata in Figura 6.



**Figura 6 - Ubicazione dei punti di campionamento realizzati sull'area A3 (in blu i sondaggi attrezzati a piezometro)**

In corrispondenza di tutti i punti di indagine, in adempimento al punto (4) della Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005, sono state prelevate aliquote di Top Soil (0÷10 cm da piano di campagna o primi 10 cm al di sotto del manto di asfalto) tra le quali, in accordo con l'ente di controllo, ne è stata selezionata una da sottoporre a determinazioni analitiche per la ricerca del parametro amianto. Per l'area A3 la determinazione di amianto è stata realizzata in corrispondenza del punto di prelievo PZ034.

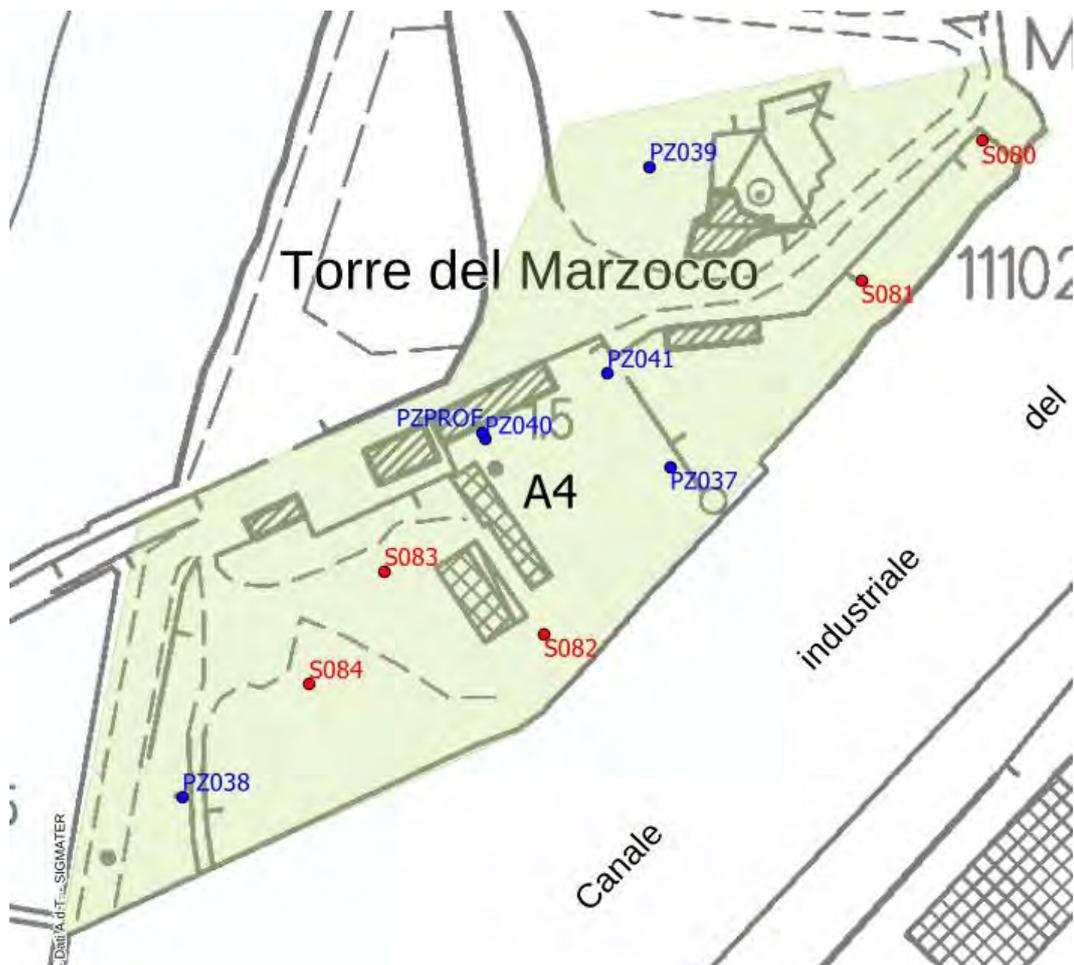
In totale sono stati dunque prelevati:

- 51 campioni di suolo e sottosuolo,
- 1 campione di Top Soil,
- 4 campioni di acqua sotterranea da piezometri superficiali.

Per quanto riguarda le analisi delle acque sotterranee, nell'area A3 è stato indagato il parametro aggiuntivo l'MTBE, come previsto dalle prescrizioni approvate in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005.

### 3.1.5 Indagini realizzate nell'area A4

Nell'area A4, classificata ad "Alta probabilità di contaminazione" nel Piano di caratterizzazione ambientale approvato in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005, sono stati realizzati n. **10 sondaggi** ambientali spinti a 6 m da piano di campagna, di cui n. **5 attrezzati successivamente a piezometro superficiale** e n. **1 sondaggio spinto fino a 20 m** dal piano di campagna attrezzato successivamente a piezometro profondo (PZPROF006). L'ubicazione dei punti di campionamento è riportata in Figura 7.



**Figura 7 - Ubicazione dei punti di campionamento realizzati sull'area A4 (in blu i sondaggi attrezzati a piezometro)**

In corrispondenza di tutti i punti di indagine, in adempimento al punto (4) della Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005, sono state prelevate aliquote di Top Soil (0÷10 cm da piano di campagna o primi 10 cm al di sotto del manto di asfalto) tra le quali, in accordo con l'ente di controllo, ne è stata selezionata una da sottoporre a determinazioni analitiche per la ricerca del parametro amianto. Per l'area A4 la determinazione di amianto è stata realizzata in corrispondenza del punto di prelievo S082.

In totale sono stati dunque prelevati:

- 30 campioni di suolo e sottosuolo,
- 1 campione di Top Soil,
- 5 campioni di acqua sotterranea da piezometri superficiali,
- 1 campione di acque sotterranea da piezometro profondo.

Per quanto riguarda le analisi delle acque sotterranee, nell'area A4 è stato indagato il parametro aggiuntivo l'MTBE, come previsto dalle prescrizioni approvate in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005.

### 3.1.5.1 Indagini integrative realizzate nell'area A4

Nel luglio del 2012 l'Autorità Portuale di Livorno, al fine di definire al meglio le decisioni progettuali e ingegneristiche relative al Progetto di resecazione del Canale di Accesso, ha eseguito numerose indagini integrative, tra cui l'esecuzione di 2 carotaggi profondi specifici spinti fino a 40 metri circa sulla nuova linea di banchina (l'ubicazione dei punti è riportata in Figura 8).



**Figura 8 – Ubicazione sondaggi profondi interni all'area A4**

### 3.2 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SITO

Il report geognostico e geotecnico dei due carotaggi profondi, realizzati nell'area A3 nel luglio 2012 da parte dell'Autorità Portuale di Livorno, conferma la stratigrafia individuata nei primi 6 metri di profondità e dimostra che andando maggiormente in profondità non si riscontrano variazioni sostanziali. Dai risultati delle indagini integrative si evince infatti che al di sotto del primo strato, costituito da materiali di riporto di spessori variabili tra i 2 e i 5 metri, si ritrovano spessori consistenti (5 metri in media) costituiti da sabbia e limo con fanerogame intrecciate (alghe) di chiara origine sedimentologica marina. Nelle immagini seguenti (Figura 7Figura 9 e Figura 10) sono riportate le stratigrafie relative ai due sondaggi profondi realizzati posteriormente alle attività previste dal Piano di Caratterizzazione.

Profondità'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione
1.80	1.80		Terreno di riporto costituito da clasti eterometrici in scarsa matrice. Recupero: materiale sciolto.
5.20	3.40		Limi sabbiosi e/o argillosi di colore grigiastro. Presenza di sostanze vegetali, frammenti di conchiglie e resti di laterizi. Recupero: materiale sciolto.
7.50	2.30		Limi argillosi e/o sabbiosi con alghe fanerogame intrecciate. Recupero (100%): carote.
9.60	2.10		Sabbia fina limosa di colore variabile dal grigio al giallo verdastro. Presenza di clasti arenacei centimetrici e di un livelletto calcarenitico di circa 2 cm di spessore alla profondità di m 8.5. Recupero: materiale sciolto e spezzoni di carote.
9.90	0.30		Ghiaia in matrice sabbiosa. Clasto conglomeratico di circa 5 cm.
29.60	19.70		Successione monotona di limi argillosi e/o sabbiosi e sabbie limose di colore grigio. Intercalazione arenacea centimetrica a m 12.2. Presenza di gusci di gasteropodi. Recupero (100%): carote. Livello di sabbia fina limosa da m 27.4 a m 28.0 (recupero: materiale sciolto).
40.00	10.40		Sabbia grossa alternata a livelli ghiaiosi e, in misura ridotta, livelli limoso argillosi (circa 20%), di colore grigio. Clasti poligenici ed eterometrici di forma da angolare ad arrotondata e di diametro massimo di 4 cm. Rinvenimento di un clasto conglomeratico, a m 33.4, di diametro di 7 cm. Recupero: materiale sciolto (80% circa) e spezzoni di carote (20% circa).

**Figura 9 – Stratigrafia relativa al sondaggio integrativo S1**



**Figura 10 - Stratigrafia relativa al sondaggio integrativo S2**

### 3.3 MODELLO IDROGEOLOGICO DEL SITO

Il sito di interesse è ubicato dal punto di vista idrogeologico nel “Dominio occidentale”, individuato dallo “Studio idrogeologico generale Sito Interesse nazionale Livorno” (Studio Geologico Rafanelli, 2006). Tale dominio è dominato dall’ambiente marino, in cui gli spessori dei sedimenti emersi sono piuttosto eterogenei, geotecnicamente di scarsa qualità in relazione alla varietà del materiale utilizzato e conservano una persistente memoria salina. Nel Dominio occidentale il sistema di circolazione idrica sotterranea per i primi 6/8 m di profondità da p.c, (ovvero dalla quota banchina sino alla quota assoluta dei -5/6 m.s.l.m.m.) risente del mezzo variamente poroso che attraversa,

non possiede un gradiente determinato e strutturato, non possiede alimentazione di acqua dolce se non per ricarica verticale (pioggia) o per infiltrazione da perdite di linee tecnologiche d'acqua (ove esistono). In questa zona non si riconoscono le caratteristiche di una falda strutturata, difatti i livelli di acqua che si rinvergono nei piezometri eseguiti non sono confrontabili e rappresentativi di un sistema organizzato secondo regole di scorrimento e relazione, di contro appaiono scollegati gli uni agli altri come se appartenenti a diverse zone di saturazione. Per i motivi esposti secondo lo studio di riferimento, in questo strato di materiale fortemente e per lo più totalmente antropico non si rinviene una falda idrica in scorrimento quanto piuttosto un insieme di zone di saturazione e ristagno idrico tra loro non comunicanti o poco e, se comunicanti, in maniera discontinua ed irregolare.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici di dettaglio, l'area in oggetto insiste su terreni completamente saturi di acqua salmastra. Le escursioni del livello idrico dipendono dalle condizioni meteo-marine e di marea, essendo l'acqua di saturazione del sottosuolo in stretta relazione con quella di mare. A partire dal livello del mare i materiali di riporto ed i terreni limoso-sabbioso-torbose con resti algali del vecchio fondo marino, permangono in condizione di saturazione.

L'andamento della piezometria risulta piuttosto complessa e non lineare, tuttavia è possibile considerare un andamento medio del flusso di falda che va da Nord in direzione Sud-Sud Est ed un gradiente idraulico estremamente basso (0.005).

### **3.4 RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE**

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle analisi chimiche realizzate sui campioni di suolo ed acqua sotterranea prelevati durante la esecuzione della Caratterizzazione Ambientale delle due aree di interesse.

#### **3.4.1 *Suolo e sottosuolo***

##### **3.4.1.1 Area A3**

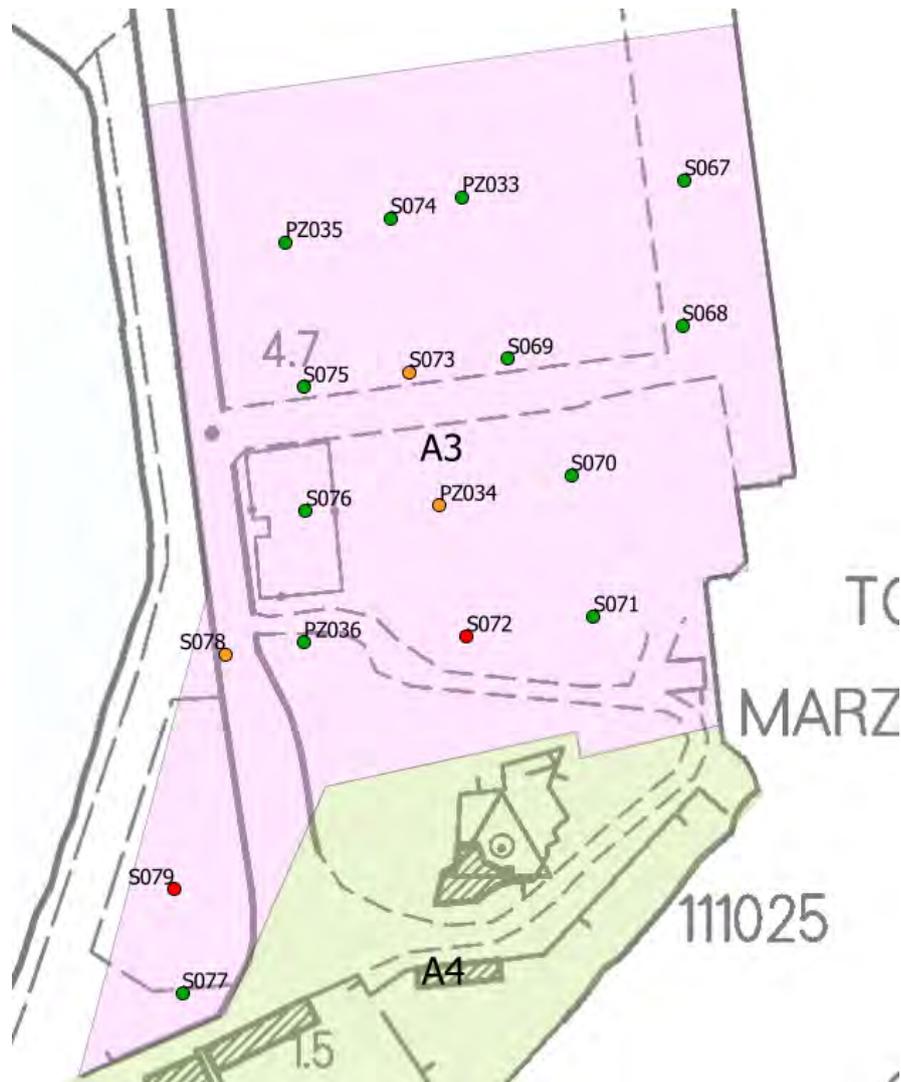
Le risultanze analitiche ottenute sui campioni di suolo e sottosuolo prelevati durante le indagini ambientali eseguite sull'area A3 hanno evidenziato l'esistenza di alcuni superamenti dei valori di concentrazione di riferimento riportati in colonna B, tabella 1, allegato 1 del DM 471/99 o desunti da pareri, note ed altra documentazione ufficiale. In Tabella 1 sono riportati tutti i superamenti misurati, i sondaggi e la profondità a cui sono stati riscontrati.

Analita	SONDAGGIO	S069	S072	S073	S078	S079	PZ033	PZ034			
	CLA Tab1 col. B DM 471/99 (mg/kg) ss	C3	C1	C3	C2	C2	C1	C3	C3	C2	C3
Idrocarb. C>12	750	1059	5265	981	803	1909				979	902
Arsenico	50			66.2					102.3		76.7
Nichel	500								839.1		
Rame	600			1472.7							1389.6
Fluorene	50	59.1				59.4					
Fenantrene	50	201				191					
Antracene	50	50.3									
Fluorantene	50	148				152					
Benzo(a)antracene	10	40.8				43.6		14.6			
Benzo(a)pirene	10	25.7				28.3		12.9			
Benzo(b)fluorantene	10	24.3				27.5		15.4			
Benzo(k)fluorantene	10	12.8				15.7					
Indenopirene	5	10.13				12.5		7.34			
Pirene	50	90.5				97.6					
Sommatoria IPA	100	254				279		113			

C1= campione superficiale C2=campione semiprofondo C3=campione profondo

**Tabella 1 – Tabella riassuntiva dei superamenti rilevati nella matrice suolo all'interno dell'area A3**

Dai dati riportati nella tabella sopra riportata, è possibile notare che la maggior parte dei superamenti è stata registrata nei campioni semiprofondi, corrispondenti cioè all'orizzonte stratigrafico 2.50 - 3.50 m da p.c., e nei campioni profondi (orizzonte stratigrafico 4.50 - 5.50 m da p.c.). Solamente il nichel è presente sul campione superficiale (orizzonte stratigrafico 0.50 - 1.50 m da p.c.), tale valore è presumibilmente legato al materiale di riporto. Nella immagine seguente (Figura 11) si riporta in pianta l'ubicazione dei sondaggi dell'area A3 caratterizzati da superamenti nei campioni superficiali e semiprofondi, cioè nei campioni di suolo insaturo.



**Figura 11 – Ubicazione dei sondaggi presenti in A3  
(in verde i sondaggi non contaminati, in giallo i sondaggi con contaminazione profonda,  
in rosso i sondaggi con contaminazione superficiale)**

Relativamente alle determinazioni analitiche da effettuare sui campioni di Top Soil, in accordo con l'ente di controllo dip. prov.le ARPAT di Livorno, la ricerca del parametro amianto è stata effettuata sull'aliquota prelevata in PZ034 rappresentativa dell'area A3. Le determinazioni analitiche per la ricerca dell'amianto sono state effettuate con metodica DM 06/09/1994 GU n. 288 10/12/1994 All 1 ed i valori ottenuti sono conformi alla CSC riportata nella colonna B, tabella 1, Allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06.

#### 3.4.1.2 Area A4

Le risultanze analitiche ottenute sui campioni di suolo e sottosuolo prelevati durante le indagini ambientali eseguite sull'area A4 hanno mostrato la totale conformità rispetto ai valori di

concentrazione di riferimento riportati colonna B, tabella 1, allegato 1 del DM 471/99 e/o desunti da pareri, note ed altra documentazione ufficiale.

Relativamente alle determinazioni analitiche da effettuare sui campioni di Top Soil, in accordo con l'ente di controllo, la ricerca del parametro amianto è stata effettuata sull'aliquota prelevata in S082 rappresentativa dell'area denominata A4. Le determinazioni analitiche per la ricerca dell'amianto sono state effettuate con metodica DM 06/09/1994 GU n. 288 10/12/1994 All 1 ed i valori ottenuti sono conformi alla CSC riportata nella colonna B, tabella 1, Allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06.

La ubicazione degli inquinanti rilevati nei suoli in concentrazioni superiori alle CSC, è riportata in TAVOLA 1.

### 3.4.2 **Acque sotterranee**

#### 3.4.2.1 Area A3

##### 3.4.2.1.1 Rilievo freaticometrico e parametri fisici

Durante il campionamento delle acque sotterranee sono stati misurati i principali parametri fisici delle acque ed il livello freaticometrico di falda. Nella tabella sottostante (Tabella 2) sono riportati i valori registrati.

SONDAGGIO	pH	Conducibilità idraulica (mS/cm)	Livello freaticometrico (soggiacenza falda da boccapozzo)
PZ033	7.12	3.1	2.88
PZ034	8.48	2.34	1.67
PZ035	7.20	4.79	2.9
PZ036	7.47	8.78	2.07

**Tabella 2 - Rilievo freaticometrico e parametri fisici delle acque sotterranee, Area A3**

La soggiacenza della falda misurata durante il campionamento si attesta, per l'area A3, ad una profondità media di 2 m da p.c., con valori compresi tra 1.67 m e 2.88 m da p.c.

### 3.4.2.1.2 Risultati analitici

Tutti i campioni di acqua sotterranea prelevati dalla rete piezometrica installata sull'area A3 hanno evidenziato l'esistenza di alcuni superamenti dei valori di riferimento riportati nella tabella 2, allegato 1 del DM 471/99. Tutti i superamenti sono riportati nella tabella seguente (Tabella 3).

CONTAMINANTE (µg/L)	CSC Tab2 DM 471/99	PZ033	PZ034	PZ035	PZ036
Arsenico	10	50.5	35.5	97.3	10.7
Benzo(a)antracene	0.1		0.13		
Benzo(a)pirene	0.01		0.052		0.029
Benzo(g,h,i)perilene	0.01		0.022		
Sommatoria IPA	0.1		0.139		

**Tabella 3 - Tabella riassuntiva dei superamenti rilevati nella matrice acqua sotterranea all'interno dell'area A3**

### 3.4.2.2 Area A4

#### 3.4.2.2.1 Rilievo freaticometrico e parametri fisici

Durante il campionamento delle acque sotterranee sono stati misurati i principali parametri fisici delle acque ed il livello freaticometrico di falda. Nella tabella sottostante (Tabella 4) sono riportati i valori registrati.

SONDAGGIO	pH	Conducibilità idraulica (mS/cm)	Livello freaticometrico (soggiacenza falda da boccapozzo)
PZ037	6.93	3.34	1.64
PZ038	6.95	14.54	1.49
PZ039	6.96	3.83	1.60
PZ040	7.25	4.45	1.85
PZ041	7.32	1.76	1.71
PZPRO006	7.16	13.28	1.54

**Tabella 4 - Rilievo freaticometrico e parametri fisici delle acque sotterranee, Area A4**

La soggiacenza della falda misurata durante il campionamento si attesta per l'area A4 ad una profondità media pari a circa 1.5 m da p.c., con valori compresi tra 1.49 e 1.85 m da p.c.

#### 3.4.2.2.1 Risultati analitici

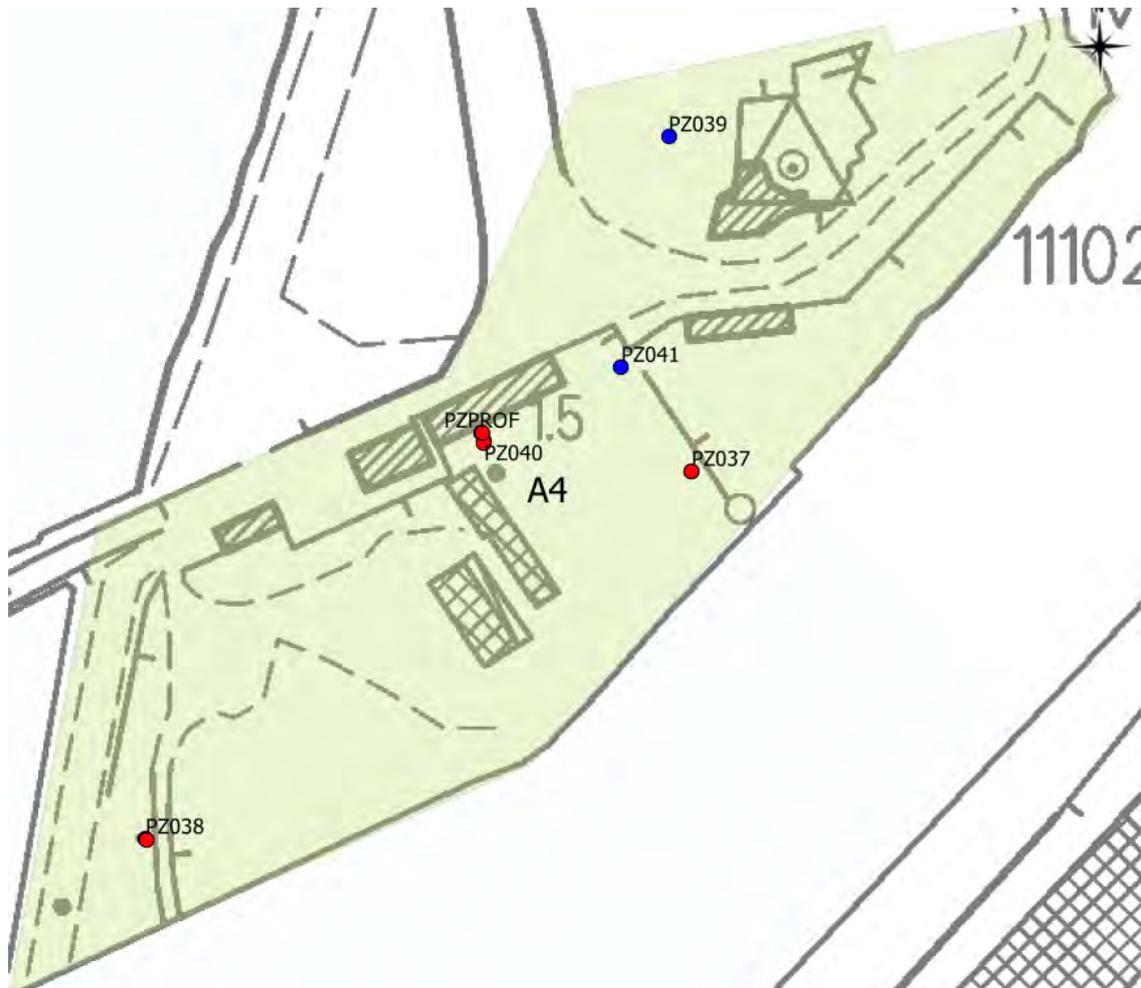
I campioni di acqua sotterranea prelevati dai piezometri realizzati hanno evidenziato l'esistenza di alcuni superamenti dei valori di riferimento contenuti in tabella 2, allegato 1 del DM 471/99. In particolare sono stati registrati superamenti per Arsenico e Solfati. Oltre a quanto sopra, il dipartimento provinciale ARPAT di Livorno ha prelevato n. 2 campioni di acque sotterranee (Pz40 e PzPRO006) per l'esecuzione di analisi in contraddittorio con il laboratorio privato di analisi. In tali campioni ARPAT ha rilevato il superamento dei seguenti parametri (non ricercati dal laboratorio Ambiente s.c.): Ammoniaca, Boro e Manganese. Per il parametro 1,1,2,2-Tetracloroetano ARPAT

(parere prot. DP\_LI.01.17.07/24.1 del 01/09/2010), indica che l'incertezza estesa associata al parametro 1,1,2,2-Tetracloroetano permette un'oscillazione intorno al valore determinato anche al di sotto del VCLA (oggi CSC), pertanto tale parametro non è stato reputato un superamento.

Tutti i superamenti individuati nelle acque sotterranee relative all'area A4 sono riportate nella seguente Tabella 5 e la loro georeferenziazione è riportata in Figura 12.

CONTAMINANTE (µg/L)	CSC Tab2 DM 471/99	PZ037	PZ038	PZ040	PZPRO006
Arsenico	10		32.0	12.5	
Solfati	250	505.6			536.2
Ammoniaca	500			7100	9000
Boro	1000			5050	4910
Manganese	50			333	493

**Tabella 5 - Tabella riassuntiva dei superamenti rilevati nella matrice acqua sotterranea internamente all'area A4**



**Figura 12 - Ubicazione dei piezometri presenti in A4  
(in rosso i piezometri con superamenti nelle acque sotterranee)**

La ubicazione degli inquinanti rilevati nelle acque sotterranee in concentrazioni superiori alle CSC, è riportata in TAVOLA 2.

### 3.1 METEOROLOGIA SPECIFICA DELL'AREA DI STUDIO

Ai fini della realizzazione della Analisi di Rischio e più precisamente al fine di valutare la dispersione in aria di eventuali inquinanti volatili o aerodispersi, è fondamentale conoscere le caratteristiche meteo-climatiche dell'area di studio ed in particolare il clima anemologico.

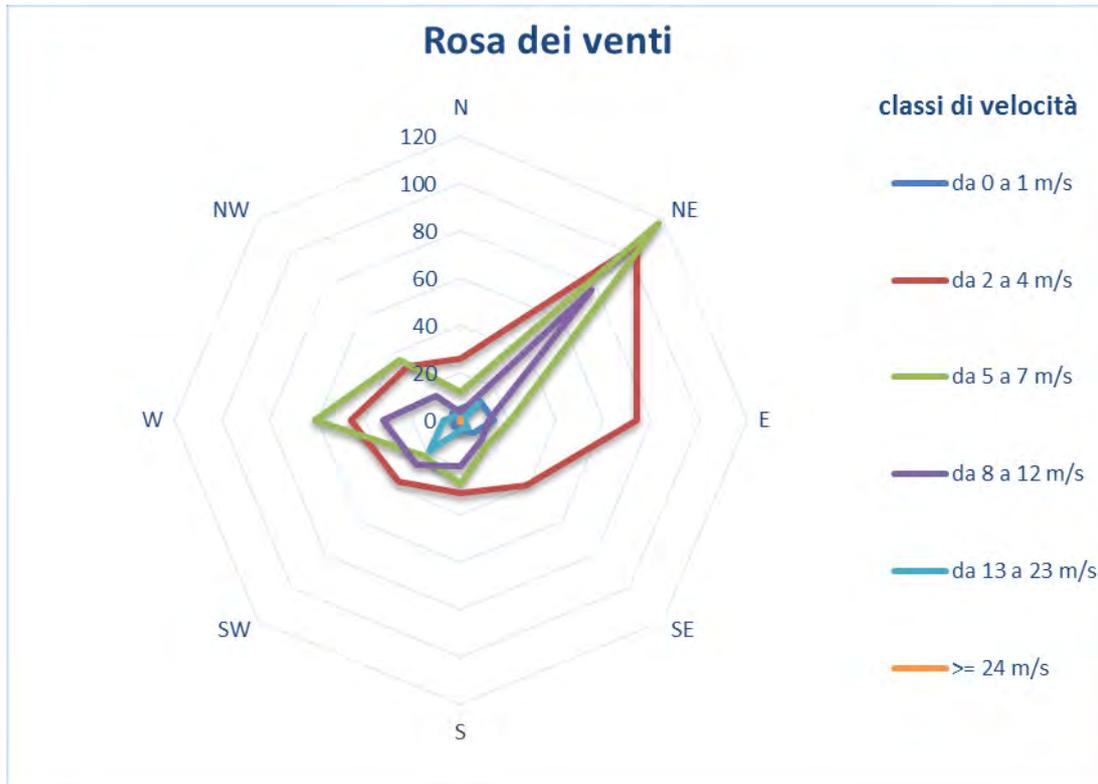
Per quanto riguarda il sito in esame sono stati utilizzati i dati forniti dalla Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). In particolare sono stati utilizzati i dati relativi alla stazione di Livorno ubicata all'interno del Porto Mediceo (Figura 13) e quindi assolutamente rappresentativa del clima anemologico dell'area A3.



**Figura 13 – Ubicazione della stazione meteo di riferimento**

Sulla base dei dati relativi al periodo compreso fra il 01/01/2012 ed il 31/12/2014 è stata costruita la rosa dei venti per l'individuazione della direzione del vento prevalente e la sua intensità media.

Come è possibile osservare dal grafico di Figura 14 sia i venti regnanti (più frequenti) che i venti dominanti (più intensi) risultano provenire principalmente dal settore N-E e, in maniera meno significativa, dal settore di ponente. Inoltre dallo stesso grafico si evince che le velocità di vento più ricorrenti appartengono alla classe 5-7 m/s. Dai dati di origine è stata calcolata la velocità media che si aggira attorno ai 5,6 m/s.



**Figura 14 –Direzione di provenienza e velocità dei venti registrati dalla stazione meteo della RMN situata nel Porto Mediceo di Livorno**

## 4 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Attualmente il canale di accesso al porto commerciale presenta una larghezza media di circa 97 m, con quote batimetriche massime di 14 m al centro del canale e batimetriche filo banchina che raggiungono pochi metri di profondità. Le crescenti dimensioni delle navi portacontainers che dovranno raggiungere il porto commerciale determinano la necessità, per lo sviluppo economico del porto e quindi per l'Autorità portuale di Livorno, di incrementare la larghezza del canale. A tal fine nel 2011 è stato realizzato un primo lotto funzionale di banchina (di lunghezza pari a 155 m), posizionato sul lato nord-ovest del Canale d'Accesso nell'attesa di effettuare lo sbancamento delle terre emerse ed il successivo dragaggio per portare la nuova banchina fronte mare e con un tirante d'acqua pari a -13 m. La realizzazione di tale banchina è stata approvata, con nota del MATTM prot. n. 26974/TRI/DI del 25/10/2010, anche come elemento strutturale per la messa in sicurezza permanente dell'area in riguarda alle acque sotterranee in quanto progettata con lo specifico intento di garantire la tenuta statica ed idraulica ed impedire quindi la mobilità delle acque sotterranee da e verso il mare.

Fine ultimo consiste nell'incrementare la larghezza del canale da 97 m a 120 m circa e contemporaneamente di dragare i fondali del canale per raggiungere sull'intera larghezza del canale tiranti idrici pari ad almeno -13,5 m. A tale scopo l'ufficio progettazione dell'Autorità Portuale sta elaborando il progetto definitivo relativo alla realizzazione dei *"Lavori di resecazione del canale di accesso del porto di Livorno presso la torre del Marzocco"*. Tale progetto descrive i lavori necessari per realizzare il banchinamento del tratto di sponda del Canale di Accesso e contestualmente predisporre le opere necessarie per la futura acquaticità della Torre ed il banchinamento del tratto di accesso del microtunnel sulla sponda del Magnale. I lavori previsti realizzeranno il banchinamento della suddetta sponda (2° lotto) che consentirà di ampliare la larghezza del canale nel tratto antistante la Torre, dagli attuali 97 m a circa 120 m e di avere un tirante idrico davanti a banchina di 13,5 m.

### ***Banchinamento del tratto di sponda del Canale di Accesso***

Il primo lotto del banchinamento già esistente (Figura 15) è stato realizzato con l'esecuzione di una parte diaframma profonda tirantata a tergo. A seguito della restituzione agli usi legittimi mediante il D.G.R.T. 1151/2013, è stato sviluppato e recentemente terminato il progetto di dragaggio della parte antistante la banchina del primo lotto, al fine di raggiungere un tirante idrico pari a -13 m l.m.m.



**Figura 15 – Indicazione del riprofilamento del primo lotto realizzato nel 2011**

Le opere per il banchinamento del secondo lotto (Figura 16) presentano notevoli peculiarità realizzative a causa del complesso contesto specifico in cui l'opera è inserita. L'opera difatti è progettata per non interferire con le strutture di fondazione della torre quattrocentesca conosciuta come Torre del Marzocco, che si trova a circa 25 metri a tergo del nuovo banchinamento, ed inoltre dovrà essere compatibile con il passaggio del microtunnel profondo che attraverserà il banchinamento e dovrà contestualmente permettere di realizzare le opere strutturali per il futuro completamento della prevista acquaticità della Torre.



**Figura 16 – Indicazione del riprofilamento del secondo lotto (in giallo) previsto dal progetto**

#### ***Acquaticità della Torre del Marzocco***

L'acquaticità della Torre è un progetto che ha come obiettivo quello di restituire la configurazione storica della Torre circondata dalle acque portuali. Un primo progetto di recupero architettonico e ambientale della Torre del Marzocco in conformità del titolo I del D. Lgs del 29 ottobre 1999 n. 490 fu presentato alla *Soprintendenza per i beni architettonici e per il paesaggio per il patrimonio storico artistico e demotnoantropologico per le provincie di Pisa, Livorno, Lucca E Massa Carrara*, la quale espresse, nel 2004, parere positivo all'intervento.

Nelle figure riportate di seguito (Figura 17, Figura 18, Figura 19) si visualizza la situazione attuale della sponda del canale di accesso lato Torre del Marzocco, la situazione intermedia prevista dal progetto di realizzazione del dragaggio del canale ed infine la situazione finale ipotizzata con l'acquaticità della Torre del Marzocco e le aree di pertinenza a terra.



**Figura 17 – Progetto acquaticità della Torre del Marzocco, situazione attuale**



**Figura 18 – Progetto acquaticità della Torre del Marzocco, situazione intermedia**

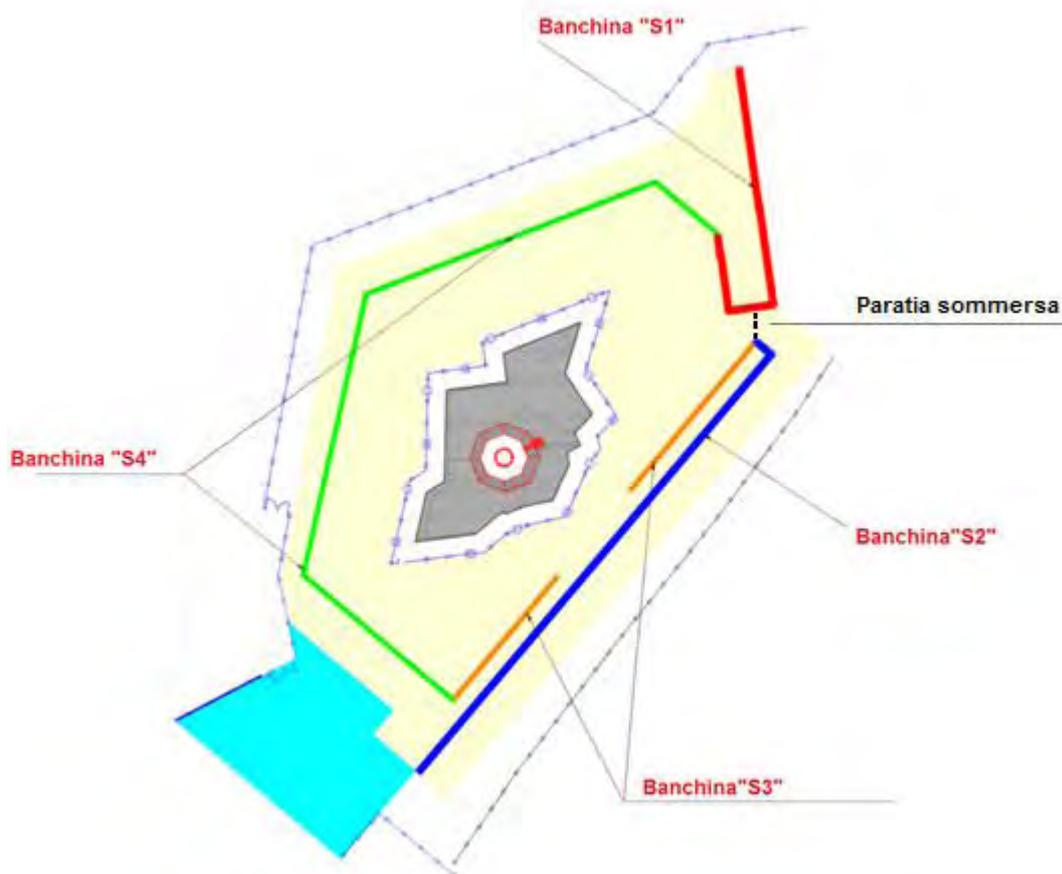


**Figura 19 - Progetto acquaticità della Torre del Marzocco, situazione finale**

Per la realizzazione dei lavori relativi alla situazione intermedia è prevista la realizzazione delle operazioni di seguito descritte.

Per quanto riguarda la realizzazione delle banchine, il progetto prevede di realizzare un totale di n. 4 banchine (Figura 20) ed una paratia sommersa, aventi le seguenti caratteristiche:

1. Banchina "S1" e Banchina "S2": paratia impermeabile in pali secanti avente una quota tra -18.5 e -22.5 m su l.m.m.;
2. Banchina "S3": paratia impermeabile in pali secanti avente quota pari a -9.5 m sul l.m.m.;
3. Banchina "S4": paratia in palancole con giunto impermeabile avente quota pari a -9.5 m sul l.m.m.;
4. Paratia sommersa in pali secanti avente quota pari a -18.5 m sul l.m.m. e profondità pari a -2.5 m sul l.m.m.



**Figura 20 – Indicazione delle banchine previste dal progetto**

Per quanto riguarda le operazioni di scavo il progetto prevede di realizzare:

- scavi fino a quota + 0,3 m l.m.m. necessari per realizzare la trave di coronamento e i tiranti orizzontali della struttura;
- uno scavo con profondità massima pari a -2,5 m l.m.m per la realizzazione dell'apertura a mare e dei canali;
- banchinamento, e successiva rimozione della matrice presente interna ai pali della struttura di banchina, fino ad una quota massima di:

- tra -18,5 m e -22,5 m l.m.m davanti a banchina;
- circa -9,5 m l.m.m per la parete dietro banchina.

Segue lo schema delle operazioni di scavo previste dal progetto di acquaticità intermedia della Torre del Marzocco (Figura 21).

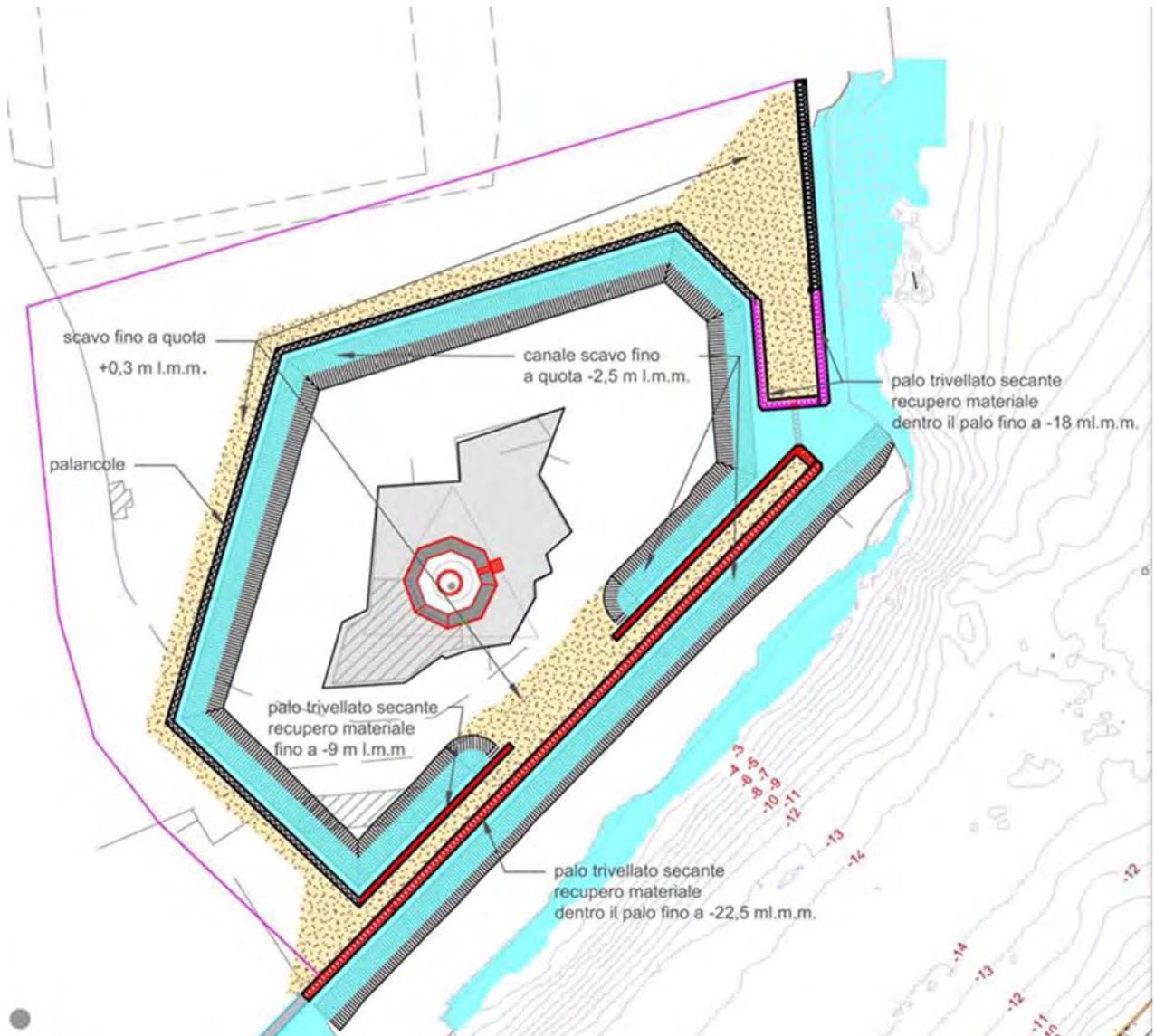


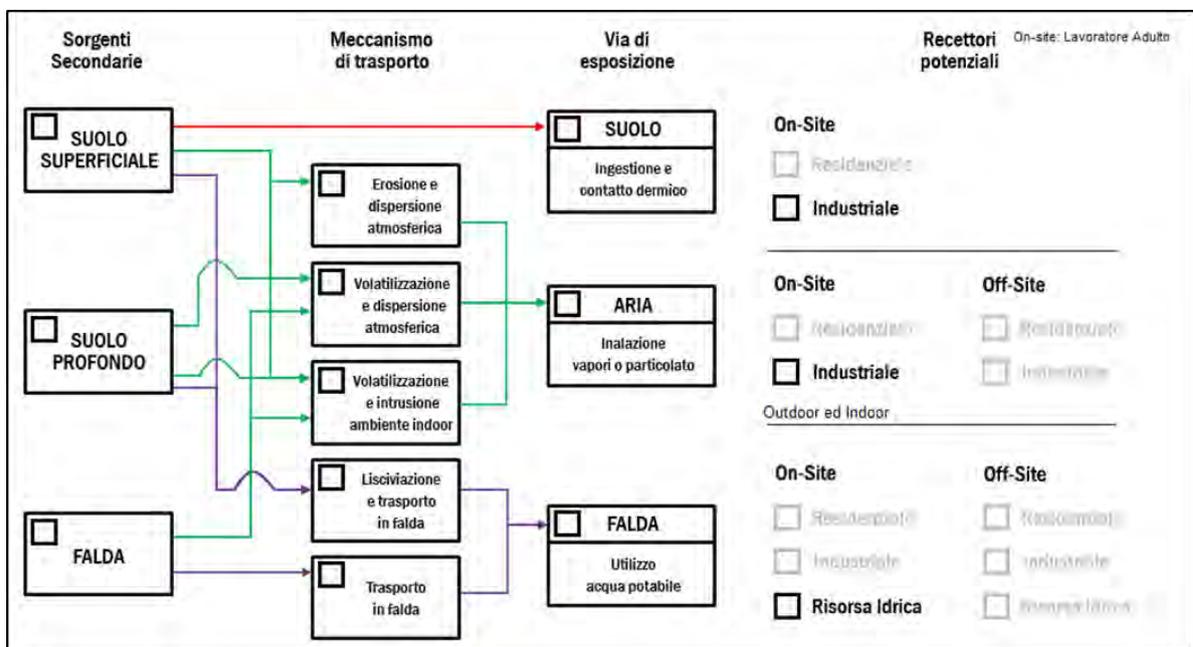
Figura 21 – Schema riportante le quote scavi previste dal progetto di acquaticità intermedia della Torre del Marzocco

## 5 MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO

Le indagini ambientali eseguite hanno permesso la definizione del Modello concettuale definitivo (MCD) del sito. Il MCD (Figura 22) è la schematizzazione di un sito contaminato che descrive nel dettaglio:

- fonti della contaminazione;
- grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- percorsi di migrazione della contaminazione;
- bersagli della contaminazione.

Il MCD costituisce la base per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio sito-specifica.



**Figura 22 - Schema di un Modello Concettuale Generico di un sito contaminato**

Segue ora la definizione sito specifica di tutti gli aspetti sopra elencati, costituenti il Modello Concettuale relativo all'area oggetto del presente studio.

## 5.1 SORGENTI DI CONTAMINAZIONE

Le sorgenti di contaminazione si differenziano in sorgenti primarie e sorgenti secondarie:

- la sorgente primaria è rappresentata dall'elemento che è causa di inquinamento (es. accumulo di rifiuti, serbatoi interrati, fognature, tubazioni, ecc.);
- la sorgente secondaria è identificata con il comparto ambientale oggetto di contaminazione (suolo, acqua, aria).

La procedura di analisi di rischio va applicata riferendosi esclusivamente alla sorgente secondaria di contaminazione, che può trovarsi in due comparti ambientali, ovvero:

- zona insatura, a sua volta classificabile come:
  - suolo superficiale (SS), compreso tra 0 ed 1 m di profondità dal piano campagna,
  - suolo profondo (SP), con profondità maggiore di 1 m dal piano campagna;
- zona satura, o acqua sotterranea (GW).

Nell'area oggetto del presente studio tutti i comparti ambientali sono interessati dalla presenza di superamenti delle CSC.

### 5.1.1.1 Nota riguardante la zona insatura

Come detto più volte nei paragrafi precedenti, la caratterizzazione ambientale dell'area oggetto di studio è stata realizzata ai sensi del D.M. 471/99, testo abrogato dal vigente T.U. ambientale (D.Lgs 152/06) in seguito alla approvazione del Piano di Caratterizzazione, approvazione avvenuta durante la Conferenza di Servizio svolta in data 28/07/2005. Per questo motivo il campionamento della zona insatura è avvenuta in una modalità diversa da quella prevista dalla normativa attualmente vigente e sopra descritta. In particolare il criterio di campionamento adottato, coincidente con quello stabilito nel Piano di caratterizzazione approvato dal MATTM, è il seguente:

- 0.5 ÷ 1.5 m da piano di campagna,
- 2.5 ÷ 3.5 m da piano di campagna,
- 4.5 ÷ 5.5 m da piano di campagna.

Nel caso particolare, poiché la tavola d'acqua risulta molto alta, oscillando tra i -1.5 e -3 m dal piano di campagna, è stato reputato possibile associare:

- al suolo superficiale (SS) i campioni di suolo più superficiale (0.5 ÷ 1.5 m da piano di campagna),
- al suolo profondo (SP) i campioni di suolo semiprofondo (2.5 ÷ 3.5 m da piano di campagna).

I campioni prelevati dal livello più profondo (4.5 ÷ 5.5 m da piano di campagna), poiché i livelli piezometrici più profondi si aggirano attorno ai 3 m da piano campagna, risultano interamente saturi in quanto sempre inferiori alla tavola d'acqua. Per tanto è stato reputato coerente con le indicazioni dei Criteri Metodologici non considerare tali campioni per la caratterizzazione del suolo insaturo.

In considerazione delle caratteristiche litologiche e idrologiche dell'area determinate durante la realizzazione delle indagini ambientali descritte nei paragrafi precedenti, per la definizione della zona insatura sono stati utilizzati i parametri sito-specifici riportati in Tabella 6.

PARAMETRO	VALORE
Profondità del top della sorgente nel SS rispetto al p.c.	0.5 m
Profondità del top della sorgente nel SP rispetto al p.c.	1 m
Spessore della sorgente nel SS	0.5
Spessore della sorgente nel SP	1 m
Profondità del piano di falda	2 m
Tessitura	Loamy Sand

**Tabella 6 – Parametri sito-specifici relative alla zona insatura**

#### 5.1.1 *Geometria delle sorgenti di contaminazione*

Nel presente paragrafo è individuata l'estensione di ogni singola sorgente contaminante presente nell'area di studio.

##### 5.1.1.1 Suolo Superficiale (SS)

Secondo i Criteri Metodologici ISPRA, per sorgente secondaria di contaminazione in zona insatura si intende "il volume di suolo o sottosuolo interessato dalla presenza di contaminanti in concentrazione superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente". Ai fini dell'applicazione della procedura di Analisi di Rischio, tale volume deve essere schematizzato come un parallelepipedo.

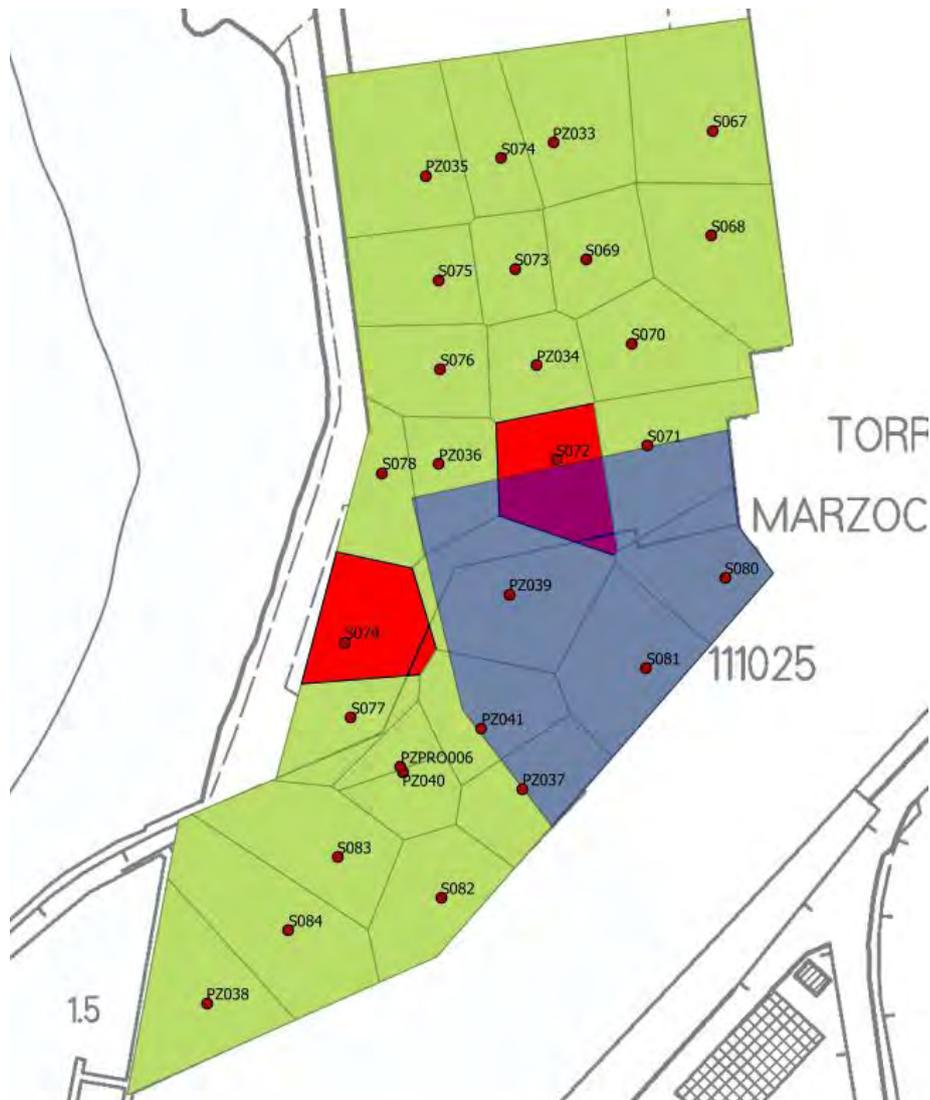
La definizione dell'estensione superficiale (lunghezza e larghezza) della sorgente in zona insatura fa riferimento alla suddivisione in **poligoni di influenza** dell'area oggetto d'indagine. Tali poligoni sono individuati in funzione della strategia di campionamento adottata, che può essere di due diverse tipologie:

- campionamento ragionato (secondo i poligoni di Thiessen),
- campionamento sistematico (celle a maglia regolare).

L'estensione superficiale della sorgente di contaminazione è individuata dall'area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un punto di campionamento con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.

Si definiscono **sorgenti spazialmente distinte**, le sorgenti che possono potenzialmente determinare dei rischi per lo stesso recettore sulla stessa area di esposizione, che non hanno continuità spaziale.

In funzione delle definizioni sopra citate, si riporta in Figura 23 la suddivisione in poligoni di Thiessen dell'area A3+A4, la individuazione dei poligoni di influenza caratterizzati da una contaminazione del suolo superficiale (in figura evidenziati in rosso) e la loro sovrapposizione con l'area di progetto.



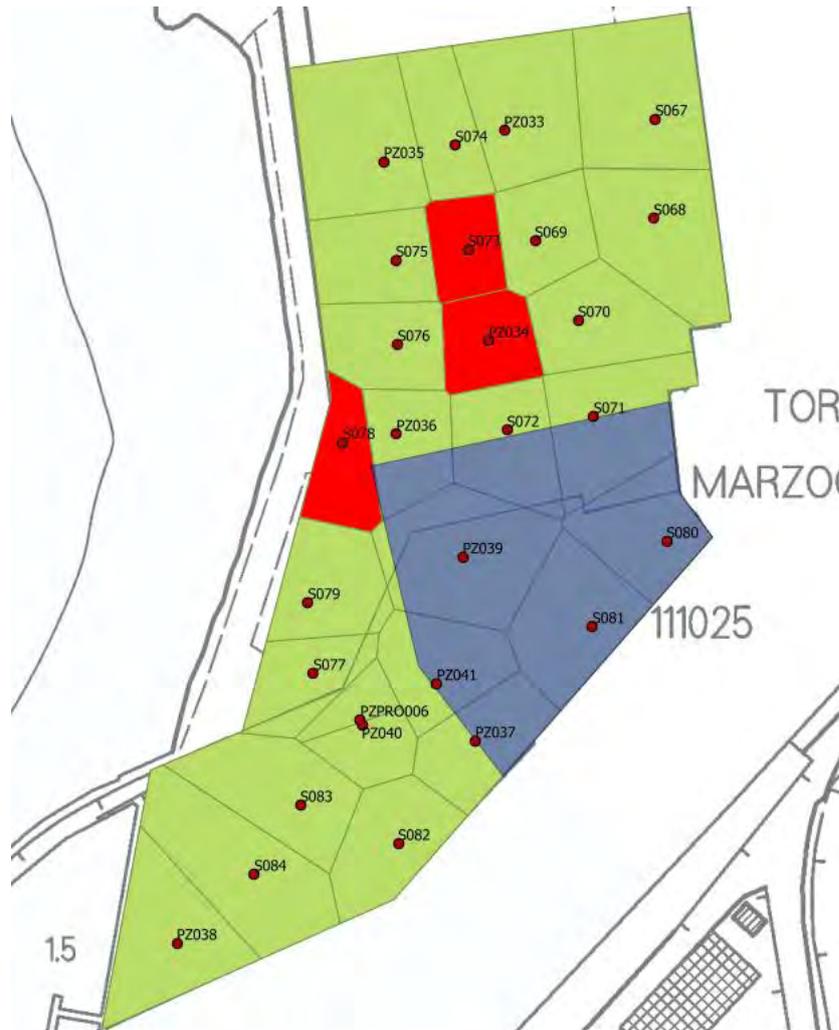
**Figura 23 –Sovrapposizione dell'area di progetto (in blu) con le sorgenti Suolo Superficiale presenti nelle sub-aree A3 e A4 (in rosso)**

Come è possibile osservare dall'immagine sovrastante, i poligoni che costituiscono una sorgente di contaminazione di suolo superficiale sono i poligoni aventi come centroide i due sondaggi S072 e S079. Tuttavia la sorgente che interessa l'area di realizzazione del progetto è

solamente l'area rappresentata dal sondaggio S072. Tali aree non hanno continuità spaziale perciò costituiscono due sorgenti spazialmente distinte.

#### 5.1.1.2 Suolo Profondo (SP)

Analogamente a quanto descritto per il Suolo Superficiale, la suddivisione dell'area A3+A4 in poligoni di Thiessen, realizzata sulla disposizione geografica dei sondaggi, è stata utilizzata per individuare la sorgente contaminante Suolo Profondo. Nella immagine di Figura 24 sono evidenziate in rosso i poligoni caratterizzati da contaminazione.

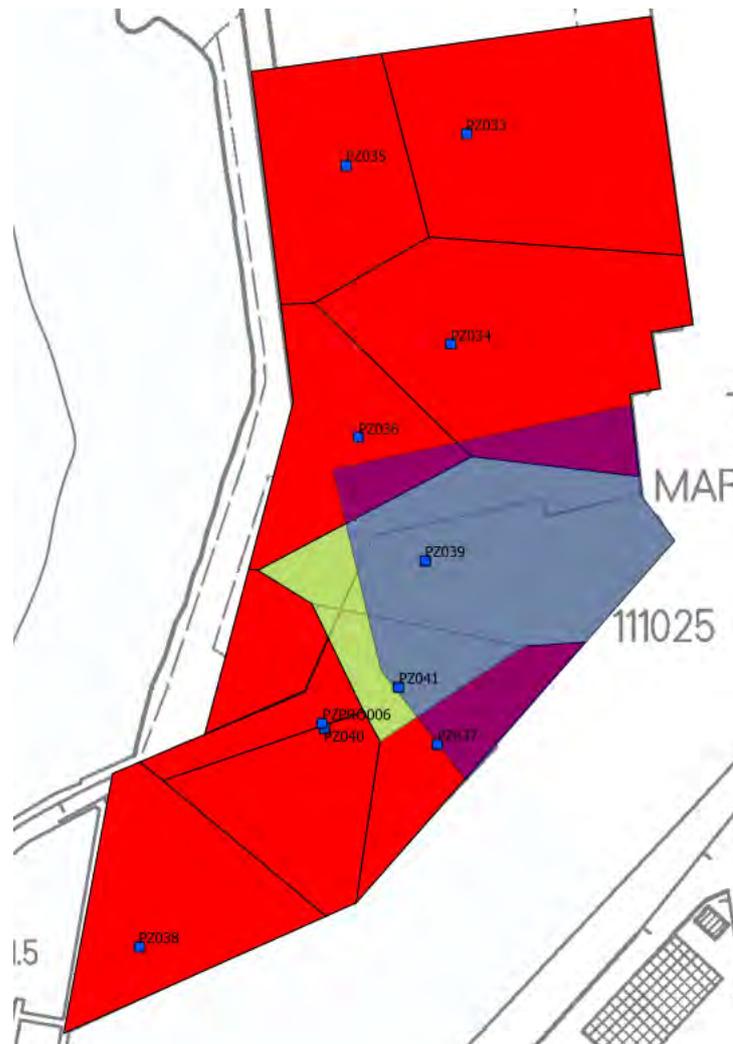


**Figura 24 – Sovrapposizione dell'area di progetto (in blu) con le sorgenti Suolo Profondo presenti nelle sub-aree A3 e A4 (in rosso)**

Per il Suolo Profondo sono state individuati tre poligoni caratterizzati dalla presenza di contaminazione ed in particolare i poligoni aventi come centroidi i due sondaggi denominati S073 e S078 ed il sondaggio allestito a piezometro denominato PZ034. Il poligono individuato dal sondaggio S078 risulta isolato dagli altri due, perciò esso costituisce una sorgente distinta. Diversamente, le aree di influenza dei sondaggi S073 e PZ034 risultano attigue, dunque costituiscono una unica sorgente.

### 5.1.1.3 Acqua sotterranea (GW)

Come già riportato più volte all'interno del presente documento si ricorda che nell'area A3 tutti i piezometri realizzati nell'ambito della esecuzione del Piano di Caratterizzazione hanno presentato alcuni superamenti delle CSC, mentre nelle acque sotterranee dell'area A4 è stata riscontrata una contaminazione solamente in corrispondenza di alcuni piezometri. Si riporta in Figura 25 l'individuazione dei poligoni di influenza caratterizzati da contaminazione delle acque sotterranee, sovrapposti all'area di progetto.



**Figura 25 - Sovrapposizione dell'area di progetto (in blu) con le sorgenti Acque Sotterranee presenti nelle sub-aree A3 e A4 (in rosso)**

Nel caso delle acque sotterranee, seguendo le indicazioni della così detta "Analisi del vicinato", anche i due poligoni determinati dai piezometri PZ039 e PZ041 in cui non è stato registrato alcun superamento delle CSC concorrono alla delimitazione della sorgente di contaminazione in quanto la maggior parte dei poligoni adiacenti sono caratterizzati da contaminazione. Per questo motivo l'intera area A3+A4 determina una sorgente di contaminazione.

I Criteri Metodologici ISPRA prevedono di realizzare tante simulazioni quante sono le sorgenti di contaminazioni individuate. A seguito di quanto descritto nel presente paragrafo, nel caso di studio sono state individuate:

- n. 2 sorgenti di tipo Suolo Superficiale;
- n. 2 sorgenti di tipo Suolo Profondo;
- n. 1 sorgente di tipo Acqua Sotterranea.

Essendo presenti 5 diverse sorgenti, saranno distinte le caratteristiche di **5 distinti Modelli Concettuali** al fine di realizzare altrettante simulazioni mediante il software Risk-net.

## 5.2 CONTAMINANTI INDICE

La scelta delle sostanze indice della contaminazione per l'elaborazione dell'analisi di rischio, secondo il D.Lgs. 152/06, deve tener conto dei seguenti fattori:

- superamento delle CSC, ovvero dei valori di fondo naturali;
- livelli di tossicità;
- grado di mobilità e persistenza nelle varie matrici ambientali;
- correlabilità ad attività svolta nel sito;
- frequenza dei valori superiori alle CSC.

Si riportano in seguito i contaminanti indici relativi alle sorgenti presenti nell'area.

### 5.2.1 *Suolo Superficiale*

I contaminanti indice relativi alla sorgente Suolo Superficiale (SS) sono tutti i parametri per i quali è stato determinato il superamento delle relative CSC nei campioni prelevati dal metro di suolo compreso fra 0.5 ÷ 1.5 m da piano di campagna, ovvero:

1. per l'area S072: idrocarburi pesanti (C>12);
2. per l'area S079: nichel.

### 5.2.2 *Suolo Profondo*

I contaminanti indice relativi alla sorgente Suolo Profondo (SP) sono tutti i parametri per i quali è stato determinato il superamento delle relative CSC nei campioni prelevati dal metro di suolo compreso fra 2.5 ÷ 3.5 m da piano di campagna, ovvero:

1. sia per l'area S073+PZ034 che per l'area S078: idrocarburi pesanti (C>12)
2. per l'area S078:
  - a. Benzo(a)antracene,

- b. Benzo(a)pirene,
- c. Benzo(b)fluorantene,
- d. Benzo(k)fluorantene
- e. Fluorene,
- f. Fenantrene,
- g. Fluorantene,
- h. Indenopirene,
- i. Pirene.

### 5.2.3 **Acqua Sotterranea**

I contaminanti indice relativi alla sorgente Acqua Sotterranea (GW) sono tutti i parametri per i quali è stato determinato il superamento delle relative CSC nei campioni prelevati dai sondaggi adibiti a piezometro, ovvero:

- 1. Ammoniaca,
- 2. Arsenico,
- 3. Boro,
- 4. Manganese,
- 5. Solfati,
- 6. Benzo(a)antracene,
- 7. Benzo(a)pirene,
- 8. Benzo(g,h,i)perilene.

In Tabella 7 si riportano in sintesi tutti i contaminanti indice presi in considerazione per la realizzazione dell'Analisi di Rischio relativa alla area A3.

SS		SP		GW
S072	S079	S073+PZ034	S078	
Idrocarburi pesanti	Nichel	Idrocarburi pesanti	Idrocarburi pesanti	Ammoniaca
			Benzo(a)antracene	Arsenico
			Benzo(a)pirene	Boro
			Benzo(b)fluorantene	Manganese
			Benzo(k)fluorantene	Solfati
			Fluorene	Benzo(a)antracene
			Fenantrene	Benzo(a)pirene
			Fluorantene	Benzo(g,h,i)perilene
			Indenopirene	
			Pirene	

**Tabella 7 – Contaminanti indice relative alle 5 sorgenti, suddivise per comparto ambientale**

#### 5.2.4 Concentrazioni rappresentative degli inquinanti in sorgente

La procedura di AdR richiede per ogni contaminante indice l'individuazione di un unico valore di concentrazione rappresentativa in corrispondenza di ogni sorgente secondaria di contaminazione individuata (suolo superficiale, suolo profondo e falda). I criteri metodologici ISPRA prevedono che nei casi in cui i valori di concentrazione disponibili per ogni contaminante siano superiori a dieci, il valore di concentrazione rappresentativo in sorgente debba essere calcolato su basi statistiche. Nei casi in cui il numero di dati per ogni inquinante è inferiore a dieci, come valore di concentrazione rappresentativo in sorgente si assume il valore massimo determinato.

In funzione di quanto detto e dei risultati della Caratterizzazione Ambientale riportati al paragrafo 3.4.1, sono elencate le concentrazioni rappresentative degli inquinanti presenti nei diversi comparti ambientali contaminati presenti nell'area di studio (Tabella 8, Tabella 9, Tabella 10).

##### 5.2.4.1 Suolo Superficiale (SS)

ANALITA (mg/kg) ss	SORGENTE	
	S072	S079
Idrocarburi pesanti (C>12)	5265	
Nichel		839.1

**Tabella 8 - Concentrazioni rappresentative degli inquinanti presenti in SS**

5.2.4.1 Suolo Profondo (SP)

ANALITA (mg/kg) ss	SORGENTE	
	S078	S073+PZ034
Idrocarburi pesanti (C>12)	1909	979
Benzo(a)antracene	43.6	
Benzo(a)pirene	28.3	
Benzo(b)fluorantene	27.5	
Benzo(k)fluorantene	15.7	
Fenantrene	191	
Fluorantene	152	
Fluorene	59.4	
Indenopirene	12.5	
Pirene	97.6	

**Tabella 9 - Concentrazioni rappresentative degli inquinanti presenti in SP, area A3**

5.2.4.2 Acqua Sotterranea (GW)

ANALITA (µg/L)	
Ammoniaca	9.00
Arsenico	97.3
Boro	5050.00
Manganese	493.00
Solfati	548.00
Benzo(a)antracene	0.13
Benzo(a)pirene	0.052
Benzo(g,h,i)perilene	0.022

**Tabella 10 - Concentrazioni rappresentative degli inquinanti presenti in GW**

5.2.5 **Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti**

Dopo aver individuato l'estensione della sorgente di contaminazione e la tipologia di inquinanti presenti, il procedimento di Analisi di Rischio prevede la valutazione delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti. Per quanto concerne le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti si fa riferimento alla "Banca dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale" aggiornata al luglio 2014 ed al relativo documento di supporto. Si riportano in seguito (Tabella 11, Tabella 12, Tabella 13, Tabella 14) le proprietà chimico/fisiche e tossicologiche relative agli inquinanti presenti nel sito oggetto di studio..

**P14/MA/APL/N/02 (AdR\_Porto Livorno area A3-A4)**  
**Doc. n. TEA-ENG-15/003 REV. 0**

	Numero CAS	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/litro]	Rif.	Volatilità (D.Lgs. 152/2006)	Volatilità (OMS, 1989)	Punto Ebolliz. [°C]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc o Kd [ml/g]	Rif.	log Kow [adim.]	Rif.	Coeff. Diff. Aria [cm <sup>2</sup> /sec]	Rif.	Coeff. Diff. Acqua [cm <sup>2</sup> /sec]	Rif.	ABS [adim.]	Rif.	Stato fisico	Rif.
Arsenico	7440-38-2	74.92	vedi tab 6	1		PM	613 (subl)	16					f(pH)	Vedi tabella 7							0.03	1	s	2
Nichel	7440-02-0	58.69	vedi tab 6			PM	2730	6					f(pH)	Vedi tabella 7							0.01	---	s	2
Benzo(a)antracene	56-55-3	228.30	0.0094	1		POM	437.6	6	3.75E-07	1*	0.000491	1	176900	1	5.521	2	0.050865	1	5.94E-06	1	0.13	1	s	2
Benzo(a)pirene	50-32-8	252.32	0.00162	1		POM	496	14	2.23E-09	1*	1.87E-05	1	587400	1	6.109	2	0.047583	1	5.56E-06	1	0.13	1	s	2
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	252.32	0.0015	1		POM	481	14	2.97E-09	1*	2.69E-05	1	599400	1	6.109	2	0.047583	1	5.56E-06	1	0.13	1	s	2
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	252.32	0.0008	1		POM	480	14	1.41E-09	1*	2.39E-05	1	587400	1	6.697	2	0.049	2	5.56E-06	2	0.13	2	s	2
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	276.34	0.00026	2		POM	480	14	1.02E-10	2*	5.82E-06	2	1584892	2	6.109	2	0.047583	1	5.56E-06	1	0.13	1	s	2
Fenantrene	85-01-8	178.23	0.994	2		SVOC	340	6	0.00056	2*	0.005404	2	9,18E+03	2	4.345	2	0.0333	2	7.47E-06	2	0.13	2	s	2
Fluorantene	206-44-0	202.26	0.26	1		POM	384	6	8.65E-06	1*	0.000362	1	55450	1	4.933	2	0.027596	1	7.18E-06	1	0.13	1	s	2
Fluorene	86-73-7	166.22	1.69	1		SVOC	295	6	0.000743	1*	0.003933	1	9160	1	4.0155	2	0.043974	1	7.89E-06	1	0.13	1	s	2
Indenopirene	193-39-5	276.34	0.00019	1		POM	536	14	1.81E-10	1*	1.42E-05	1	1951000	1	6.697	2	0.044784	1	5.23E-06	1	0.13	1	s	2
Pirene	129-00-0	202.26	0.135	1		POM	393	14	6.03E-06	1*	0.000487	1	54340	1	4.933	2	0.027787	1	7.25E-06	1	0.13	1	s	2
Idrocarb. C>12																								

tabella 12 documento di supporto

**Tabella 11 – Proprietà chimico-fisiche dei contaminanti indice riportate nella Banca dati ISS-INAIL**

	Numero CAS	Peso Mol. [g/mole]	Solubilità [mg/litro]	Rif.	Volatilità (OMS, 1989)	Punto Ebolliz. [°C]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc o Kd [ml/g]	Rif.	ABS [adim.]	Rif.	Stato fisico	Rif.
Boro	7440-42-8	13,84		1	PM	4000	6					3,00E+00	1	0,01	2	s	2
Manganese	7439-98-5	54,94		1	PM	2081	6					6,50E+01	1	0,01	2	s	2
Solfati	14808-79-8	98,07	1,00E+06	11				5,93E-05	11	3,13E-10	11**			0,01	---	---	2

**Tabella 12- Proprietà chimico-fisiche dei contaminanti indice riportate nel documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL**

	Numero CAS	Class. UE	Class. IARC	Rif.	SF Ing. [mg/kg-giorno] <sup>-1</sup>	Rif.	SF Inal. [mg/kg-giorno] <sup>-1</sup>	IUR [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	Rif.	RfD Ing. [mg/kg-giorno]	Rif.	RfD Inal. [mg/kg-giorno]	RfC <sub>i</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Rif.
Arsenico	7440-38-2	Carc. 1A H350Acute Tox. 3 * H331Acute Tox. 3 * H301Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410	1	Monographs 100C (2012)	1.5	1	15.05	0.0043	1	0.0003	1	4.29E-06	0.000015	1
Nichel	7440-02-0	Carc. 2 H351STOT RE 1 H372**Skin Sens. 1 H317	1	Monographs 100C (2012)			0.91	0.00026	1	0.02	1	2.57E-05	0.00009	1
Benzo(a)antracene	56-55-3	Carc. 1B H350Aquatic Acute 1 H400Aquatic Chronic 1 H410	2B	Monographs 92 (2010)	0.73	1	0.385	0.00011	1					
Benzo(a)pirene	50-32-8	Carc. 1B H350Muta. 1B H340Repr. 1B H360FDSkin Sens. 1 H317Aquatic Acute 1 H400Aquatic Chronic 1 H410	1	Monographs 100F (2012)	7.3	1	3.85	0.0011	1					
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	Carc. 1B H350Aquatic Acute 1 H400Aquatic Chronic 1 H410	2B	Monographs 92 (2010)	0.73	1	0.385	0.00011	1					
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	Carc. 1B H350Aquatic Acute 1 H400Aquatic Chronic 1 H410	2B	Monographs 92 (2010)	0.73	3	0.385	0.00011	1					
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	Aquatic Chronic 1 H410	3	Monographs 92 (2010)						0.03	2			
Fenantrene	85-01-8		3	Monographs 92 (2010)						0.03	2			
Fluorantene	206-44-0		3	Monographs 92 (2010)						0.04	1			
Fluorene	86-73-7		3	Monographs 92 (2010)						0.04	1			
Indenopirene	193-39-5		2B	Monographs 92 (2010)	0.73	1	0.385	0.00011	1					
Pirene	129-00-00		3	Monographs 92 (2010)						0.03	1			
Idrocarburi pesanti C>12														

Vedi Tabella 12 del Documento di supporto

**Tabella 13 - Proprietà tossicologiche dei contaminanti indice riportate nella Banca dati ISS-INAIL**

	Numero CAS	Class. UE	Class. IARC	Rif.	SF Ing. [mg/kg-giorno] <sup>-1</sup>	Rif.	SF Inal. [mg/kg-giorno] <sup>-1</sup>	IUR [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	Rif.	RfD Ing. [mg/kg-giorno]	Rif.	RfD Inal. [mg/kg-giorno]	RfC <sub>i</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Rif.
Boro	7440-42-8									2,00E-01	1	5,71E-03	2,00E-02	1
Manganese	7439-96-5									1,40E-01	1	1,43E-05	5,00E-05	1
Solfati	14808-79-8													

**Tabella 14 - Proprietà tossicologiche dei contaminanti indice riportate nel documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL**

### 5.2.6 *Percorsi di migrazione, modalità di esposizione e bersagli della contaminazione*

I fattori di trasporto intervengono nella valutazione delle esposizioni indirette ovvero laddove eventuali contaminanti possono raggiungere i bersagli solo attraverso la migrazione dal comparto ambientale sorgente della contaminazione. Nell'analisi di rischio questo aspetto assume notevole rilevanza dovuta al fatto che una sottostima o sovrastima dei fattori di trasporto porta a valori del rischio e degli obiettivi di bonifica rispettivamente troppo bassi o troppo alti.

Lo schema generale che descrive come questi fattori intervengano nel processo di analisi viene illustrato nella Figura 26.



**Figura 26 – Schematizzazione del rapporto fra  $C_s$  e  $C_{poe}$ <sup>3</sup>**

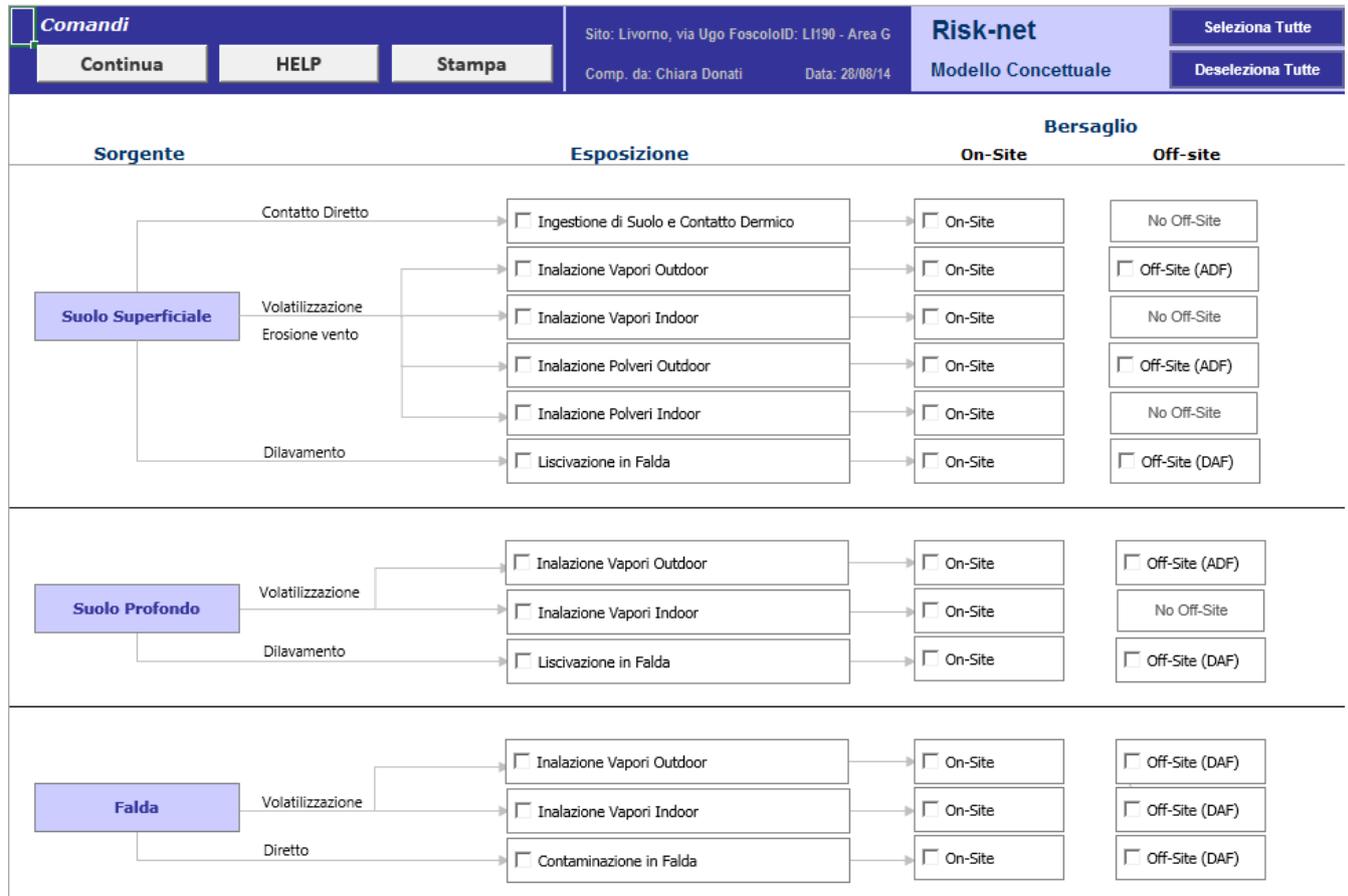
Il fattore di trasporto tiene conto dei fenomeni di attenuazione che intervengono durante la migrazione dei contaminanti. Si ricorda che una Analisi di Rischio di livello 2 (ovvero una analisi a condizioni sito-specifiche che considera un mezzo di trasporto omogeneo e isotropo), le relazioni per il calcolo dei fattori di trasporto sono di tipo prettamente analitico. Si elencano di seguito i fattori di trasporto che intervengono nella procedura di Analisi di Rischio di livello 2:

- LF = fattore di lisciviazione in falda da suolo superficiale e/o profondo;
- DAF = fattore di attenuazione in falda;
- VFss = fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale;
- VF samb = fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo;
- VFwamb = fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda;
- PEF = emissione di particolato outdoor da suolo superficiale;
- PEFin = emissione di particolato indoor da suolo superficiale;
- VFsesp = fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo (Suolo Superficiale, SS e Suolo Profondo, SP);
- VFwesp = fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda;

<sup>3</sup> "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", Rev.2 2008, ISPRA

- ADF = fattore di dispersione in aria outdoor.

Segue la schematizzazione di tutte le possibili vie di trasporto (Figura 27)



**Figura 27 - Schematizzazione di tutte le possibili vie di trasporto previste dal software Risk-net**

Sia sull'area A3 che sull'area A4 non sono presenti edifici dotati di fondamenta, perciò risulta assente il percorso di volatilizzazione indoor. Per quanto riguarda la volatilizzazione outdoor si evidenzia che l'area A3 risulta completamente asfaltata mentre l'area A4 risulta solo parzialmente pavimentata. Come è possibile vedere dal confronto delle due immagini seguenti (Figura 28 e Figura 29), l'area non pavimentata sarà quasi totalmente interessata dalla realizzazione del progetto di acquaticità della Torre del Marzocco.



**Figura 28 - Stato attuale: area torre al confine sud del terminal darsena toscana**



**Figura 29 - Stato modificato: area torre al confine sud del terminal darsena toscana**

Per quanto riguarda la lisciviazione ed il trasporto in falda, ad oggi l'area di studio A3+A4 risulta **parzialmente isolata dal bersaglio idrico**, costituito dalle acque marine della Darsena Toscana del Porto di Livorno. Difatti tutta l'area A3 risulta confinata lungo la banchina dalla presenza di cassoni in cemento (indicata in rosso in Figura 30) mentre l'area A4 è caratterizzata a sud dalla presenza della nuova banchina (indicata in blu in Figura 30) realizzata con particolari caratteristiche di impermeabilità al fine di impedire la mobilità delle acque sotterranee da e verso il mare. A riguardo

si sottolinea che la realizzazione di tale banchina è stata approvata, con nota del MATTM prot. n. 26974/TRI/DI del 25/10/2010, anche come elemento strutturale per la messa in sicurezza permanente dell'area riguardo alle acque sotterranee. Dal punto di vista del trasporto verso il bersaglio idrico risulta quindi che ad oggi l'unica parte di banchina che permette una comunicazione con le acque di mare coincide con il confine orientale dell'area di realizzazione del progetto in esame.



**Figura 30 – Indicazione degli elementi strutturali attualmente presenti che determinano una barriera idraulica**

Il progetto di acquaticità della Torre e riprofilamento della banchina attuale prevede di proseguire la nuova banchina del primo lotto mediante una paratia impermeabile in pali secanti nonché di realizzare una ulteriore banchina impermeabile lungo tutta la perimetrazione del bacino che ospiterà la Torre del Marzocco (vedi paragrafo 4). Pertanto la **realizzazione del progetto andrebbe a determinare il completamento del confinamento delle acque sotterranee.**

Considerando quindi lo scenario costituito dall'area A3+A4, comprensivo del progetto in esame, il sito risulta completamente confinato idraulicamente. In funzione di tale aspetto il fenomeno di lisciviazione e di trasporto verso il bersaglio idrico può essere considerato assente.

Per i motivi sopra descritti il percorso attivo di migrazione degli inquinanti risulta essere, per tutti i comparti ambientali, solamente la **volatilizzazione di vapori verso ambienti outdoor**.

Alle condizioni attuali, i possibili **bersagli umani** della contaminazione sono stati individuati nei **lavoratori** della società Terminal Darsena Toscana cui parte dell'area è stata data in concessione al fine di utilizzarla come area di manutenzione e riparazione dei propri mezzi di lavoro. Tuttavia, nella ipotesi che la porzione dell'area di studio coincidente con l'area di progetto di acquaticità della Torre del Marzocco possa essere in futuro resa alla popolazione e diventare meta di visite guidate, è stato ritenuto cautelativo considerare anche bersagli umani sia adulti che bambini, corrispondenti ad uno scenario di esposizione di tipo **ricreativo**. Per questo motivo ogni simulazione realizzata è stata ripetuta per le due diverse tipologie di bersaglio. Va sottolineato che lo scenario ricreativo è una ipotesi che interessa solamente una porzione dell'area di studio, costituita dalla unione delle due sub-aree A3 ed A4, ma che per motivi di conservatività saranno considerate tutte le sorgenti individuate durante la costruzione del Modello Concettuale.

## 6 ANALISI DI RISCHIO

Come già accennato in precedenza i Criteri Metodologici ISPRA prevedono di realizzare tante simulazioni quante sono le sorgenti di contaminazione. Nel presente caso di studio sono state individuate:

- n. 2 sorgenti di tipo Suolo Superficiale;
- n. 2 sorgenti di tipo Suolo Profondo;
- n. 1 sorgente di tipo Acqua Sotterranea.

Pertanto sono state realizzate 5 diverse simulazioni ed ognuna di esse è stata realizzata sia nel caso di bersagli lavoratori (scenario maggiormente realistico) che nel caso di bersagli adulti e bambini inseriti in un contesto ricreativo (scenario volto a prevedere la futura riapertura al pubblico della Torre del Marzocco). Il confronto dei risultati ottenuti nel caso di stessa sorgente ma bersagli diversi è stato riportato in TAVOLA 3 e da esso emerge che, per ogni sorgente, lo scenario più cautelativo risulta essere quello caratterizzato da una destinazione di uso del suolo di tipo ricreativo.

In seguito, per ogni scenario simulato, si riportano quindi in sintesi i parametri sito-specifici utilizzati, già ampiamente descritti nel paragrafo 5 di definizione del Modello Concettuale, ed i risultati peggiori ottenuti dalla Analisi di Rischio effettuata, quelli cioè relativi a bersagli umani adulti e bambini inseriti in un contesto ricreativo.

Tutte le elaborazioni svolte sono riportate negli ALLEGATI ELETTRONICI.

### 6.1.1 *Suolo Superficiale: sorgente S072*

PARAMETRO	VALORE
<b>Zona insatura</b>	
Profondità del top della sorgente nel SS rispetto al p.c.	0.5 m
Spessore della sorgente nel SS	0.5
Tessitura	Loamy Sand
<b>Ambiente Outdoor</b>	
Dimensione nella direzione del vento prevalente	70 m
Velocità del vento	5.6 m/s

**Tabella 15 – Parametri sito-specifici relativi alla sorgente SS S072**

L'applicazione del software per la determinazione delle CSR per la sorgente SS S072 ha evidenziato che la concentrazione soglia di rischio per gli idrocarburi pesanti ( $C > 12$ ) è superiore alla  $C_{sat}$  (concentrazione di saturazione). Le "Linee guida sull'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii." trasmesse dal MATTM il 18/11/2014 prevedono la realizzazione della Analisi di Rischio in modalità diretta per quei contaminanti per cui le CSR risultino superiori alle  $C_{sat}$  per la verifica della presenza/assenza di rischio sanitario.

In ottemperanza a quanto sopra riportato, è stata dunque realizzata la Analisi di Rischio in modalità diretta al fine di verificare l'eventuale presenza di rischio dovuto alla concentrazione rappresentativa dell'inquinante rilevato nell'area. L'indice di pericolo determinato dalla presenza di idrocarburi pesanti è risultato pari a  $2.52E-05$ . La valutazione degli effetti tossici non cancerogeni sulla salute umana, nell'ambito della procedura di analisi assoluta di rischio, prevede il calcolo dell'Indice di Pericolo individuale (HQ) e cumulativo (HQ<sub>TOT</sub>). Sia nel caso di Indice di Pericolo individuale (HQ) che cumulativo (HQ<sub>TOT</sub>) gli stessi debbono essere inferiori all'unità. L'Indice di Pericolo tollerabile individuale (THQ) e cumulativo (THQTOT) sono quindi pari ad 1.

Poiché l'indice di pericolo calcolato risulta ben al di sotto del valore di riferimento, è possibile affermare che la presenza di idrocarburi pesanti rilevata nella sorgente di inquinamento indicata come **sorgente SS S072, non determina rischio sanitario** per i bersagli umani individuati.

Tutti i dati di input relativi alla sorgente SS S072 sono riportati in ALLEGATO A1 mentre i principali dati di output ottenuti sono riportati in ALLEGATO A2.

#### 6.1.2 **Suolo Superficiale: sorgente S079**

PARAMETRO	VALORE
<b>Zona insatura</b>	
Profondità del top della sorgente nel SS rispetto al p.c.	0.5 m
Spessore della sorgente nel SS	0.5
Tessitura	Loamy Sand
<b>Ambiente Outdoor</b>	
Dimensione nella direzione del vento prevalente	85 m
Velocità del vento	5.6 m/s

**Tabella 16 - Parametri sito-specifici relativi alla sorgente SS S079**

Nella sorgente SS-S079 l'unico parametro presente in concentrazione superiore alla relativa CSC è il nichel. Tale elemento è caratterizzato da una volatilità estremamente bassa (vedere Tabella 11 e Tabella 12), in cui la sigla PM sta per "composto inorganico associato al particolato"), pertanto il software utilizzato in modalità indiretta non è in grado di individuare la CSR relativa in quanto il nichel **non determina un rischio per la via di esposizione attiva**, cioè la inalazione per gli ambienti outdoor.

Tutti i dati di input relativi alla sorgente SS S079 sono riportati in ALLEGATO B1 mentre i principali dati di output ottenuti sono riportati in ALLEGATO B2.

### 6.1.1 Suolo Profondo: sorgente S073-PZ034

PARAMETRO	VALORE
<b>Zona insatura</b>	
Profondità del top della sorgente nel SP rispetto al p.c.	1 m
Spessore della sorgente nel SP	1 m
Tessitura	Loamy Sand
<b>Ambiente Outdoor</b>	
Dimensione nella direzione del vento prevalente	65 m
Velocità del vento	5.6 m/s

**Tabella 17 - Parametri sito-specifici relativi alla sorgente SP S073-PZ034**

Come per il caso SS S072, l'applicazione del software ha determinato la concentrazioni soglia di rischio per gli idrocarburi pesanti ( $C > 12$ ) superiore alla relativa concentrazione di saturazione.

In ottemperanza alle "Linee guida sull'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii." del MATTM, è stata realizzata la Analisi di Rischio in modalità diretta al fine di verificare l'eventuale presenza di rischio dovuto alla concentrazione rappresentativa dell'inquinante rilevato nell'area. L'indice di pericolo individuale è risultato pari a **4.68E-05**.

La valutazione degli effetti tossici non cancerogeni sulla salute umana, nell'ambito della procedura di analisi assoluta di rischio, prevede il calcolo dell'Indice di Pericolo individuale (HQ) e cumulativo ( $HQ_{TOT}$ ). Sia nel caso di Indice di Pericolo individuale (HQ) che cumulativo ( $HQ_{TOT}$ ) gli stessi debbono essere inferiori all'unità. L'Indice di Pericolo tollerabile individuale (THQ) e cumulativo ( $THQ_{TOT}$ ) sono quindi pari ad 1.

Poiché l'indice di pericolo calcolato risulta ben al di sotto del valore di riferimento, è possibile affermare che la presenza di idrocarburi pesanti rilevata nella sorgente di inquinamento indicata come **sorgente SP S073-PZ034**, **non determina rischio sanitario** per i bersagli umani individuati.

Tutti i dati di input relativi alla sorgente SP S073-PZ034 sono riportati in ALLEGATO C1 mentre i principali dati di output ottenuti sono riportati in ALLEGATO C2.

### 6.1.2 Suolo Profondo: sorgente S078

PARAMETRO	VALORE
<b>Zona insatura</b>	
Profondità del top della sorgente nel SP rispetto al p.c.	1 m
Spessore della sorgente nel SP	1 m
Tessitura	Loamy Sand
<b>Ambiente Outdoor</b>	
Dimensione nella direzione del vento prevalente	55 m
Velocità del vento	5.6 m/s

**Tabella 18 - Parametri sito-specifici relativi alla sorgente SP S078**

Nella sorgente SP S078 sono presenti sia inquinanti idrocarburi non volatili (in Tabella 11 indicati con la sigla POM: composti organici associati al particolato) che semivolatili (in Tabella 11

indicati con la sigla SVOC: composti organici semivolatili). Alcuni degli inquinanti presenti (Fenantrene, Fluorantene, Fluorene e Pirene) non determinano un rischio per la via di esposizione attiva, mentre per i restanti inquinanti il software ha individuato valori di CSR superiori alle concentrazioni di saturazione. Per questi parametri è stata realizzata la verifica della presenza/assenza di rischio sanitario mediante l'applicazione della Analisi di Rischio in modalità diretta. Seguono in Tabella 19 i risultati ottenuti.

INQUINANTE	S078		RIFERIMENTO	
	Indice di pericolo	Rischio Cancerogeno	THQ	TR
Idrocarburi pesanti (C>12)	3.96E-05	-		
Benzo(a)antracene	-	2.72E-10		
Benzo(a)pirene	-	2.19E-11		
Benzo(b)fluorantene	-	2.70E-12		
Benzo(k)fluorantene	-	1.34E-12	1	10E-06
Fenantrene	-	-		
Fluorantene	-	-		
Fluorene	-	-		
Indenopirene	-	1.98E-13		
Pirene	-	-		
<b>RISCHIO CUMULATIVO</b>	<b>3.96E-05</b>	<b>2.98E-10</b>	<b>1</b>	<b>10E-05</b>

**Tabella 19 – Risultati della Analisi di Rischio effettuata in modalità diretta per la sorgente SP-S078**

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti tossici delle sostanze cancerogene, gli istituti scientifici nazionali che svolgono la propria attività di supporto al Ministero dell'Ambiente per le procedure inerenti i siti di interesse nazionale (ISPRA, ISS, ISPEL), indicano in  $10^{-6}$  il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la singola sostanza (rischio individuale, TR) e in  $10^{-5}$  il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la sommatoria di più sostanze (rischio cumulativo, TR<sub>CUM</sub>). Confrontando i valori di Rischio Cancerogeno individuale e cumulativo calcolati con i valori di riferimento (Tabella 19) è possibile affermare che la presenza di idrocarburi pesanti ed idrocarburi aromatici rilevata nella sorgente di inquinamento indicata come sorgente SP S078, non determina rischio cancerogeno per i bersagli umani individuati. Si ricorda inoltre che l'Indice di Pericolo tollerabile individuale (THQ) è pari ad 1 e, poiché l'Indice di Pericolo associato alla presenza di idrocarburi pesanti risulta nettamente inferiore a tale valore (HQ pari a  $2.13E-05$ ), è possibile affermare che la **sorgente SP S078 non determina rischio sanitario**.

Tutti i dati di input relativi alla sorgente SP S078 sono riportati in ALLEGATO D1 mentre i principali dati di output ottenuti sono riportati in ALLEGATO D2.

### 6.1.1 Acque Sotterranee

PARAMETRO	VALORE
<b>Zona insatura</b>	
Profondità del piano di falda	2 m
Tessitura	Loamy Sand
<b>Ambiente Outdoor</b>	
Dimensione nella direzione del vento prevalente	330 m
Velocità del vento	5.6 m/s

**Tabella 20 - Parametri sito-specifici relativi alla sorgente GW**

L'applicazione del software per la determinazione delle CSR per la sorgente GW ha evidenziato che i parametri arsenico, boro, manganese, solfati e benzo(g,h,i)perilene, non determinano rischio sanitario per la via di esposizione inalazione negli ambienti outdoor. Per i restanti parametri (Benzo(a)antracene e Benzo(a)pirene) la concentrazioni soglia di rischio risulta superiore alla solubilità. Mediante la realizzazione della Analisi di Rischio in modalità diretta sono stati calcolati i valori di Rischio Cancerogeno riportati in Tabella 21.

INQUINANTE	Rischio Cancerogeno	RIFERIMENTO TR
Benzo(a)antracene	1.80E-11	
Benzo(a)pirene	4.23E-12	<b>10E-06</b>
<b>RISCHIO CUMULATIVO</b>	<b>2.23E-11</b>	<b>10E-05</b>

**Tabella 21 - Risultati della Analisi di Rischio effettuata in modalità diretta per la sorgente GW**

Si ricorda che per quanto riguarda la valutazione degli effetti tossici delle sostanze cancerogene, gli istituti scientifici nazionali che svolgono la propria attività di supporto al Ministero dell'Ambiente per le procedure inerenti i siti di interesse nazionale (ISPRA, ISS, ISPEL), indicano in  $10^{-6}$  il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la singola sostanza (rischio individuale, TR) e in  $10^{-5}$  il valore di rischio cancerogeno incrementale tollerabile per la sommatoria di più sostanze (rischio cumulativo, TR<sub>CUM</sub>). Confrontando i valori di Rischio Cancerogeno individuale e cumulativo calcolati con i valori di riferimento (Tabella 21) è possibile affermare che la presenza di benzo(a)antracene e benzo(a)pirene rilevata nella sorgente acqua sotterranea e coincidente con la estensione della intera area di studio, non determina rischio cancerogeno per i bersagli umani individuati.

Tutti i dati di input relativi alla sorgente GW sono riportati in ALLEGATO E1 mentre i principali dati di output ottenuti sono riportati in ALLEGATO E2.

## 7 CONCLUSIONI

Il presente documento illustra l'elaborazione della Analisi di Rischio sanitario ed ambientale sito-specifica relativa al dominio costituito dalle due sub-aree, denominate A3 ed A4, ricadenti nell'Ambito "A" – Sponda ovest della Darsena Toscana e nuova Darsena Petroli (codice SISBON LI186c). A cavallo delle suddette sub-aree si colloca l'area del progetto definitivo, in fase di realizzazione da parte dell'ufficio progettazione dell'Autorità Portuale, che prevede di completare l'opera di ampliamento del Canale di Accesso, di predisporre le opere necessarie per la futura acquaticità della Torre del Marzocco e di realizzare il banchinamento del tratto di accesso del microtunnel sulla sponda del Magnale.

Poiché il MATTM, mediante nota prot. n. 26974/TRI/DI del 25/10/2010, conferma che il consolidamento della banchina del primo lotto dell'area A4 migliora la tenuta della sponda nei confronti delle acque di falda contaminate, è stato ritenuto fondamentale integrare gli scenari simulati con la realizzazione dell'opera di completamento prevista.

Obiettivo del presente lavoro consiste quindi nel verificare se l'area costituita dalle sub-aree A3 ed A4, a seguito della realizzazione del progetto di resecazione del Canale di Accesso del Porto di Livorno, risulta essere non contaminata o contaminata ai sensi dell'art. 240 del D.Lgs. 152/06 e nella determinazione degli eventuali obiettivi di bonifica (CSR).

Le indagini ambientali realizzate nell'ambito della esecuzione del "Piano di caratterizzazione ambientale delle aree pubbliche a terra comprese nel perimetro del Sito di Interesse Nazionale (SIN)", approvato dal MATTM in sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 28/07/2005, hanno evidenziato:

- per l'area A3 la presenza di alcuni superamenti delle CSC nei suoli superficiali, nei suoli profondi e nelle acque sotterranee;
- per l'area A4 la presenza di alcuni superamenti delle CSC solamente nelle acque sotterranee.

Secondo quanto specificato dai Criteri Metodologici ISPRA all'interno dell'area di studio sono state individuate **5 sorgenti di contaminazione**:

- n. 2 sorgenti di tipo suolo superficiale (indicate SS S072 e SS S078);
- n.2 sorgenti di tipo suolo profondo (indicate SP S073+PZ034 e SP S079);
- n.1 sorgente di tipo acqua sotterranea (indicata GW).

Avendo esse geometrie diverse, è risultato necessario realizzare 5 differenti simulazioni.

L'inquadramento dell'area di studio ha permesso di individuare come **bersaglio umano** alle condizioni attuali, i **lavoratori** della società Terminal Darsena Toscana, cui parte dell'area è stata data in concessione al fine di utilizzarla come area di manutenzione e riparazione dei propri mezzi di lavoro. Tuttavia, nella ipotesi che la porzione dell'area di studio coincidente con l'area di progetto di acquaticità della Torre del Marzocco possa essere in futuro resa alla popolazione e diventare meta di attività turistiche, è stato ritenuto cautelativo considerare bersagli umani sia adulti che bambini, corrispondenti ad uno scenario di esposizione di tipo **ricreativo**. Per questo motivo ogni simulazione realizzata è stata ripetuta per le due diverse tipologie di bersaglio. Va sottolineato che lo scenario ricreativo è una ipotesi che interessa solamente una porzione dell'area di studio, costituita dalla unione delle due sub-aree A3 ed A4, ma che per motivi di conservatività saranno considerate tutte le sorgenti individuate durante la costruzione del Modello Concettuale

Inoltre, come **bersaglio idrico**, sono state individuate le acque marine della Darsena Toscana del Porto di Livorno. In funzione dei bersagli e delle caratteristiche del sito, le uniche potenziali vie di trasporto risultano essere la volatilizzazione in ambienti outdoor e la lisciviazione e trasporto in falda. A riguardo di ciò risulta fondamentale sottolineare che:

1. ad oggi l'area di studio A3+A4 risulta parzialmente isolata dal bersaglio idrico. Difatti tutta l'area A3 è confinata lungo la banchina dalla presenza di cassoni di contenimento in cemento mentre l'area A4 è caratterizzata a sud dalla presenza della nuova banchina realizzata con particolari caratteristiche di impermeabilità al fine di impedire la mobilità delle acque sotterranee verso il mare e viceversa (la stessa banchina è stata approvata, con nota del MATTM prot. n. 26974/TRI/DI del 25/10/2010, in quanto migliorativa della tenuta della sponda nei confronti delle acque di falda contaminate). L'unica parte di banchina che ad oggi permette una comunicazione con il bersaglio idrico, coincide con il confine a mare dell'area di realizzazione del progetto di acquaticità della Torre del Marzocco e riprofilamento della banchina attuale.
2. dai dati tecnici forniti dalla Autorità Portuale, si evince che il progetto prevede di proseguire la nuova banchina del primo lotto mediante una paratia impermeabile in pali secanti nonché di realizzare una ulteriore banchina impermeabile lungo tutta la perimetrazione del bacino che ospiterà la Torre del Marzocco.

In considerazione degli aspetti sopracitati risulta che **la realizzazione del progetto andrà a determinare il completamento del confinamento delle acque sotterranee, determinando quindi la conclusione della messa in sicurezza in riguardo alle acque sotterranee delle sub-aree A3 ed A4.**

Considerando quindi lo scenario costituito dall'area A3+A4, comprensivo del progetto in esame, il sito risulta completamente confinato idraulicamente. Il fenomeno di lisciviazione e di trasporto verso il bersaglio idrico può quindi essere considerato assente ed il percorso attivo di migrazione

degli inquinanti risulta essere, per tutti i comparti ambientali, solamente la **volatilizzazione di vapori verso ambienti outdoor**.

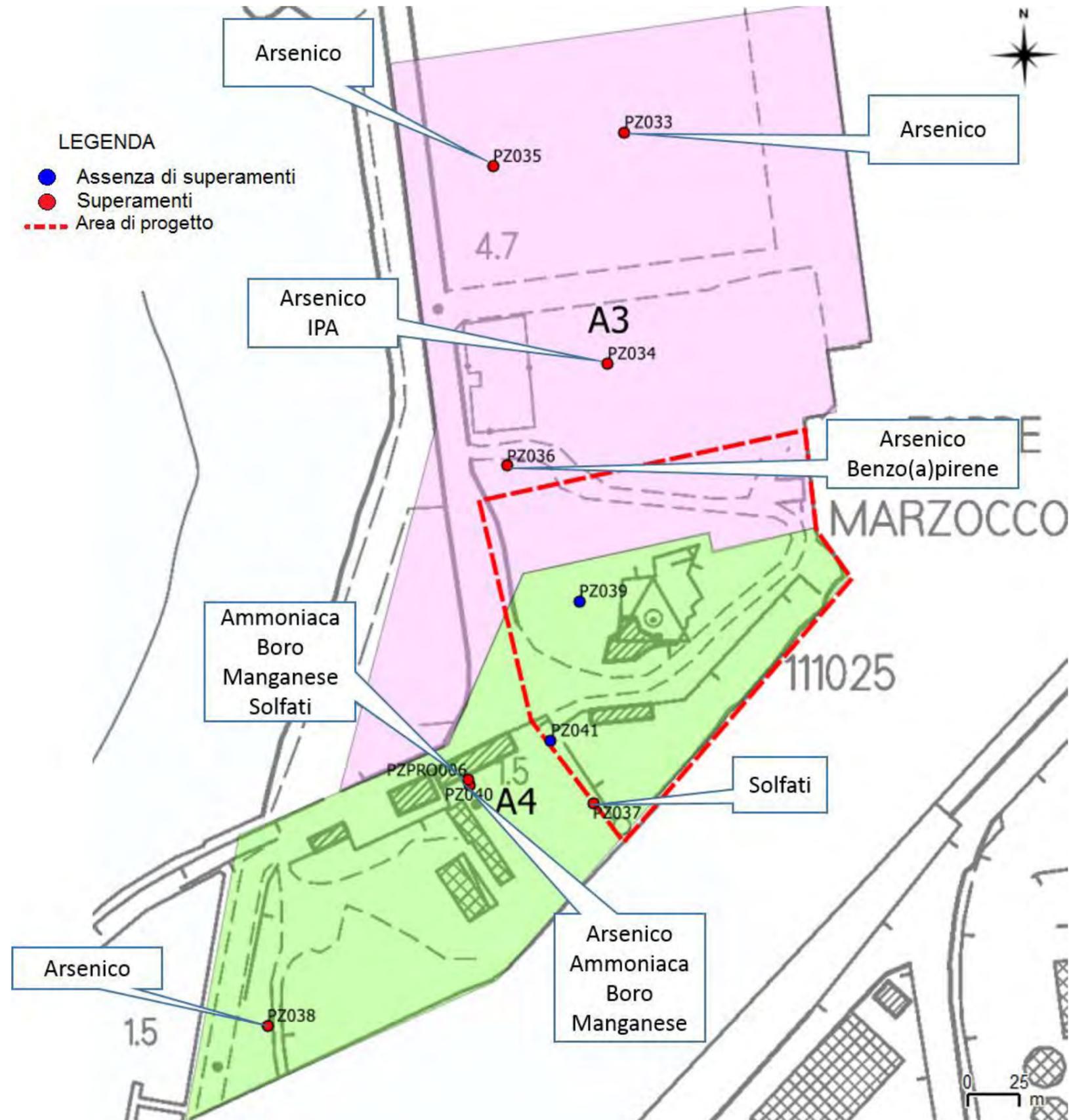
I risultati peggiori, ottenuti mediante l'applicazione del modello per le 5 sorgenti individuate, sono stati ottenuti nel caso di bersaglio umano tipico degli ambienti ricreativi e possono essere così riassunti:

1. Per le sorgenti SS S072, SP S073+PZ034 e parte degli inquinanti presenti nelle sorgenti SP S078 e GW gli analiti risultati superiori alle CSC di riferimento non determinano un rischio per la via di esposizione attiva in quanto non volatili.
2. Per la sorgente SS S079 e la restante parte degli inquinanti presenti nelle sorgenti SP S078 e GW le CSR calcolate dal software risultano superiori alle concentrazioni di saturazione per il suolo, e di solubilità per le acque. Nei suddetti casi, in ottemperanza alle "Linee guida sull'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii." del MATTM, è stata realizzata la Analisi di Rischio in modalità diretta al fine di verificare l'eventuale presenza di rischio dovuto alla concentrazione rappresentativa degli inquinanti rilevati.
3. Per tutti le sorgenti individuate l'Indice di Pericolo (individuale e cumulativo) ed il Rischio Cancerogeno (individuale e cumulativo) calcolati sono risultati **ampiamente al di sotto dei rispettivi valori di tollerabilità** indicati dagli istituti scientifici nazionali di riferimento.

Essendo questi i risultati dello scenario più conservativo è possibile affermare che, ai sensi dell'art. 240 del D.Lgs. 152/06, il sito in esame, costituito dalla sub-area A3 e dalla sub-area A4 ricadenti nell'Ambito "A" – Sponda ovest della Darsena Toscana e nuova Darsena Petroli, a seguito della realizzazione del progetto di riprofilamento della banchina attuale e di acquaticità della Torre del Marzocco, **risulterà non contaminato** per il comparto ambientale insaturo mentre per il comparto saturo l'area risulterà completamente **messa in sicurezza** in quanto la realizzazione del progetto determinerà la costruzione di barriere che impediranno il deflusso delle acque contaminate verso il corpo idrico marino.



TAVOLA 2 – SUPERAMENTI DELLE CSC NELLE ACQUE SOTTERRANEE



**TAVOLA 3 – CONFRONTO RISULTATI ADR: BERSAGLI TIPICI DI AMBIENTI DI LAVORO E AMBIENTI RICREATIVI**

SORGENTE	INQUINANTE	AMBIENTI DI LAVORO					AMBIENTI RICREATIVI				
		CSR	HQ	HQ <sub>TOT</sub>	TR	TR <sub>CUM</sub>	CSR	HQ	HQ <sub>TOT</sub>	TR	TR <sub>CUM</sub>
<b>SS-S072</b>	Idrocarburi pesanti	>Csat	1.35E-05	1.35E-05	-	-	>Csat	2.52E-05	2.52E-05	-	-
<b>SS-S079</b>	Nichel	NA	-	-	-	-	NA	-	-	-	-
<b>SP-S073_PZ034</b>	Idrocarburi pesanti	>Csat	2.51E-05	2.51E-05	-	-	>Csat	4.68E-05	4.68E-05	-	-
<b>SP-S078</b>	Idrocarburi pesanti (C>12)	>Csat	2.13E-05	2.13E-05	-	2.73E-10	>Csat	3.96E-05	3.96E-05	-	2.98E-10
	Benzo(a)antracene	>Csat	-		2.49E-10		>Csat	-		2.72E-10	
	Benzo(a)pirene	>Csat	-		2.01E-11		>Csat	-		2.19E-11	
	Benzo(b)fluorantene	>Csat	-		2.47E-12		>Csat	-		2.70E-12	
	Benzo(k)fluorantene	>Csat	-		1.23E-12		>Csat	-		1.34E-12	
	Fenantrene	NA	-		-		NA	-		-	
	Fluorantene	NA	-		-		NA	-		-	
	Fluorene	NA	-		-		NA	-		-	
	Indenopirene	>Csat	-		1.81E-13		>Csat	-		1.98E-13	
	Pirene	NA	-		-		NA	-		-	
<b>GW</b>	Benzo(a)antracene	>Sol	-	-	1.65E-11	2.04E-11	>Sol	-	-	1.80E-11	2.23E-11
	Benzo(a)pirene	>Sol	-		3.87E-12		>Sol	-		4.23E-12	