



**NAVICELLI S.R.L.**

**ANALISI DI RISCHIO  
SANITARIA-AMBIENTALE**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

**Aprile 2019**



**NAVICELLI S.R.L.**

**ANALISI DI RISCHIO  
SITO SPECIFICA**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

**RELAZIONE TECNICA**

**Aprile 2019**

Rif. File: 2019100132\_Navicelli srl\_AdR Vasca 7\_20190408

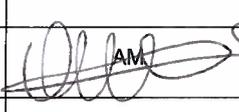
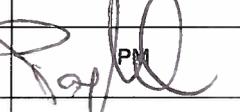
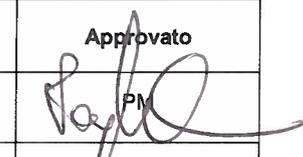


**Proponente:**

**Navicelli S.r.l.**      **Navicelli srl**  
**Via della Darsena n.3**  
**56121 - PISA**

**A cura di:**



Rev. n.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
Rev 00	Emissione	11/04/2019	 AM	 PM	 PM



## SOMMARIO

<b>PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>1. RACCOLTA DEI DATI ESISTENTI</b> .....	<b>6</b>
1.1 LOCALIZZAZIONE .....	6
1.2 STORIA DEL SITO .....	8
1.3 VERIFICA FONDO SCAVO DEL SETTEMBRE 2014 .....	9
<b>2. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO</b> .....	<b>11</b>
2.1 INQUADRAMENTO URBANISTICO .....	11
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO.....	12
2.3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DI DETTAGLIO DEL SITO.....	14
2.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	19
2.5 INQUADRAMENTO CLIMATICO .....	22
<b>3. INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE 2016</b> .....	<b>28</b>
3.1 DESCRIZIONE LAVORI - TERRENI .....	28
3.2 DESCRIZIONE LAVORI – ACQUE SOTTERRANEE.....	29
3.2.1 Campionamento acque sotterranee 2016 .....	29
3.2.2 Monitoraggio acque sotterranee gennaio 2019.....	30
3.3 RILIEVO PLANO ALTIMETRICO .....	30
3.4 STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO .....	31
3.4.1 Substrato naturale .....	33
3.4.2 Stratigrafia interna alla vasca e spessore dei residui del fango di dragaggio .....	33
3.5 MORFOLOGIA DELLA FALDA .....	33
3.6 PROVE IDRAULICHE IN SITU.....	36
3.7 ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO – TERRENI .....	37
3.7.1 Spessore dei residui del fango di dragaggio e stima dei volumi .....	40
3.8 ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO – ACQUE SOTTERRANEE .....	41
3.8.1 Campionamento acque sotterranee 2016 .....	41
3.8.2 Monitoraggio acque sotterranee gennaio 2019.....	41
3.8.3 Considerazioni sullo stato qualitativo delle acque di falda .....	42
3.9 DETERMINAZIONE DEI COEFFICIENTI DI RIPARTIZIONE ACQUA - SUOLO .....	42
<b>4. ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA</b> .....	<b>44</b>
4.1 CONCETTI GENERALI .....	44



4.2	ASSUNZIONI GENERALI E LIMITAZIONI .....	50
4.3	CRITERIO GENERALE PER IL CALCOLO DELLE CSR.....	50
5.	FORMULAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE .....	52
5.1	TIPOLOGIA DELLE FONTI DI CONTAMINAZIONE .....	52
5.2	POTENZIALI VIE DI DIFFUSIONE .....	53
5.3	TIPOLOGIA DEI POTENZIALI BERSAGLI DELLA CONTAMINAZIONE .....	54
5.4	SINTESI DEL MODELLO CONCETTUALE .....	56
6.	PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO .....	57
6.1	SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE: SUOLO SUPERFICIALE.....	58
6.1.1	Delimitazione areale delle sorgenti di potenziale contaminazione (SS) .....	60
6.1.2	Delimitazione verticale delle sorgenti di potenziale contaminazione (SS).....	61
6.2	SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE: SUOLO PROFONDO .....	61
6.2.1	Delimitazione areale delle potenziali sorgenti di contaminazione (SP).....	63
6.2.2	Delimitazione verticale delle sorgenti di potenziale contaminazione (SP).....	64
6.3	CONTAMINANTI DI INTERESSE .....	65
6.4	TRATTAMENTO STATISTICO DEL DATO .....	66
6.5	CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE (CRS).....	66
6.6	SPECIAZIONE IDROCARBURI.....	67
6.7	PARAMETRI SITO-SPECIFICI .....	68
6.7.1	Schematizzazione delle sorgenti nel Suolo Superficiale nella direzione del vento.....	68
6.7.2	Schematizzazione delle sorgenti nella direzione di falda.....	69
6.7.3	Caratteristiche tessiturali .....	71
6.7.4	Parametri della zona insatura.....	73
6.7.5	Parametri della zona satura .....	76
6.7.6	Parametri ambiente outdoor.....	77
7.	VIE DI MIGRAZIONE.....	80
8.	BERSAGLI DELLA CONTAMINAZIONE .....	81
9.	SOFTWARE UTILIZZATO E PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE E TOSSICOLOGICHE DEGLI INQUINANTI .....	83
10.	CALCOLO DELLE CSR SITO-SPECIFICHE.....	84
10.1	CSR SANITARIE PER IL SUOLO SUPERFICIALE (SS).....	85
10.2	CSR AMBIENTALI PER IL SUOLO SUPERFICIALE (SS) .....	89
10.3	CSR AMBIENTALI PER IL SUOLO PROFONDO (SP).....	91



<b>11. OBIETTIVI DI BONIFICA SITO SPECIFICI .....</b>	<b>92</b>
<b>11.1 OBIETTIVI DI BONIFICA A PROTEZIONE DELL'UOMO.....</b>	<b>92</b>
<b>11.2 OBIETTIVI DI BONIFICA PER IL SS A PROTEZIONE DELLA FALDA SUPERFICIALE .....</b>	<b>93</b>
<b>11.3 OBIETTIVI DI BONIFICA PER IL SP A PROTEZIONE DELLA FALDA .....</b>	<b>94</b>
<b>12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>96</b>

## TAVOLE

---

Tavola 1 – Freatimetria Gennaio 2019 (m slm)
Tavola 2 – Freatimetria Marzo 2019 (m slm)
Tavola 3 – Poligoni di Thiessen nel suolo superficiale
Tavola 4 – Sorgenti SS1 e SS2 nel suolo superficiale
Tavola 5 – Sorgenti SS1, SS2 ed SS3 nel suolo superficiale
Tavola 6 – Poligoni di Thiessen nel suolo profondo
Tavola 7 – Sorgenti SP1 e SP2 nel suolo profondo
Tavola 8 – Sorgenti SP1, SP2 ed SP3 nel suolo profondo
Tavola 9 – Dimensioni nella direzione principale del vento e della falda delle sorgenti nel SS
Tavola 10 – dimensioni nella direzione principale di falda delle sorgenti nel SP
Tavola 11 – Distanza Bersagli Off Site

## ALLEGATI

---

Allegato 1 – Determina del Comune di Pisa DD-16B/1264 del 30/10/2018
Allegato 2 – Rapporti di Prova analitici acque sotterranee gennaio 2019
Allegato 3 – Rapporti di Prova analitici per determinazione dei Kd
Allegato 4 – Files Risk-net 3.1 (su supporto informatico)



## PREMESSA

Il presente elaborato costituisce “l’Analisi di Rischio igienico sanitaria ambientale sito specifica” (AdR nel seguito) ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., elaborata da Ambiente Spa a seguito del conferimento di incarico da parte di Navicelli srl, per il sito denominato Vasca 7.

L’elaborazione della presente AdR si è resa necessaria a seguito di:

- notifica del sito secondo quanto previsto dall’articolo 242 comma 1 del D.Lgs. 152/06 (codice SISBON PI-PI 1016);
- approvazione del Piano di Caratterizzazione da parte del Comune di Pisa (DD-16A/701 del 10/6/2016);
- esito delle indagini di caratterizzazione (trasmesso alla PP.AA in data 7 febbraio 2017), dalle quali risultano superamenti rispetto alla Colonna A della Tabella 1, Allegato 5 al D. Lgs.152/06, nel suolo superficiale ed in misura minore nel suolo profondo di metalli, IPA, idrocarburi pesanti e PCB;
- Determina del Comune di Pisa DD-16B/1264 del 30/10/2018 (comprensivo del Parere della Regione Toscana Prot. n. 0018308 del 23/02/2018), con la quale quest’ultimo approva la Caratterizzazione svolta, il modello concettuale espresso nel parere ARPAT (prot. PI.01.23.27/108.8 del 14/02/2018, allegato anch’esso alla stessa Determina) e ribadisce la richiesta di elaborazione di un’AdR per i suoli insaturi associata al monitoraggio periodico delle acque sotterranee, per almeno un anno (Allegato 1).

Il documento è stato redatto in conformità alle linee guida riportate in Allegato 2, Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/2006 ed è stato articolato nelle seguenti sezioni:

- I. **Raccolta dei dati esistenti (Capitoli da 1 a 3):** contenente una descrizione dell’ambiente e del territorio e della tipologia di sito, sintesi dell’iter amministrativo e dei risultati delle precedenti caratterizzazioni ambientali;
- II. **Analisi di Rischio (Capitoli da 4 a 10):** dove si procede alla elaborazione del Modello Concettuale Definitivo del Sito (MCS): all’interno di tale modello si definiscono in dettaglio le sorgenti di contaminazione ed i bersagli umani e ambientali a seguito delle risultanze delle indagini svolte sul sito; si riportano poi gli step operativi dell’applicazione della procedura di analisi di rischio sito specifica e le Concentrazioni Soglia di Rischio ottenute che costituiscono gli obiettivi di bonifica del sito;
- III. **Obiettivi di bonifica sito specifici e considerazioni conclusive (Capitolo 11):** nella presente sezione si sintetizzano i risultati complessivamente ottenuti e le azioni future da svolgere al fine di proseguire l’iter tecnico amministrativo relativo al sito in oggetto.



## 1. RACCOLTA DEI DATI ESISTENTI

### 1.1 LOCALIZZAZIONE

Il sito denominato Vasca 7 è ubicato lungo la via di Viaccia, Pisa, in destra idrografica al Canale dei Navicelli in prossimità della sponda destra idrografica del Canale dei Navicelli, nella pianura alluvionale compresa tra il Canale dei Navicelli e La Vettola (Figura 1), sulle particelle 8 e 58 (di pertinenza demaniale) del Foglio 54 del Comune di Pisa (Figura 2).

Il sito è costituito da una vasca per il deposito dei sedimenti provenienti da attività di dragaggio per un totale di circa 11.000 mc; presenta una forma triangolare; uno dei tre lati corre parallelamente al Canale dei Navicelli e alla via di Viaccia; il perimetro complessivo è circa 450 m.

Le coordinate geografiche del baricentro del sito sono:

- 43°41,840' N
- 10°22,768' E

La quota si aggira intorno ai 2,0 m s.l.m..

Il sito presenta delle parti morfologicamente più depresse dove, nei periodi piovosi, si verificano dei ristagni delle acque piovane, anche in conseguenza delle basse permeabilità sia dei fanghi di dragaggio che dei terreni in posto sottostanti.

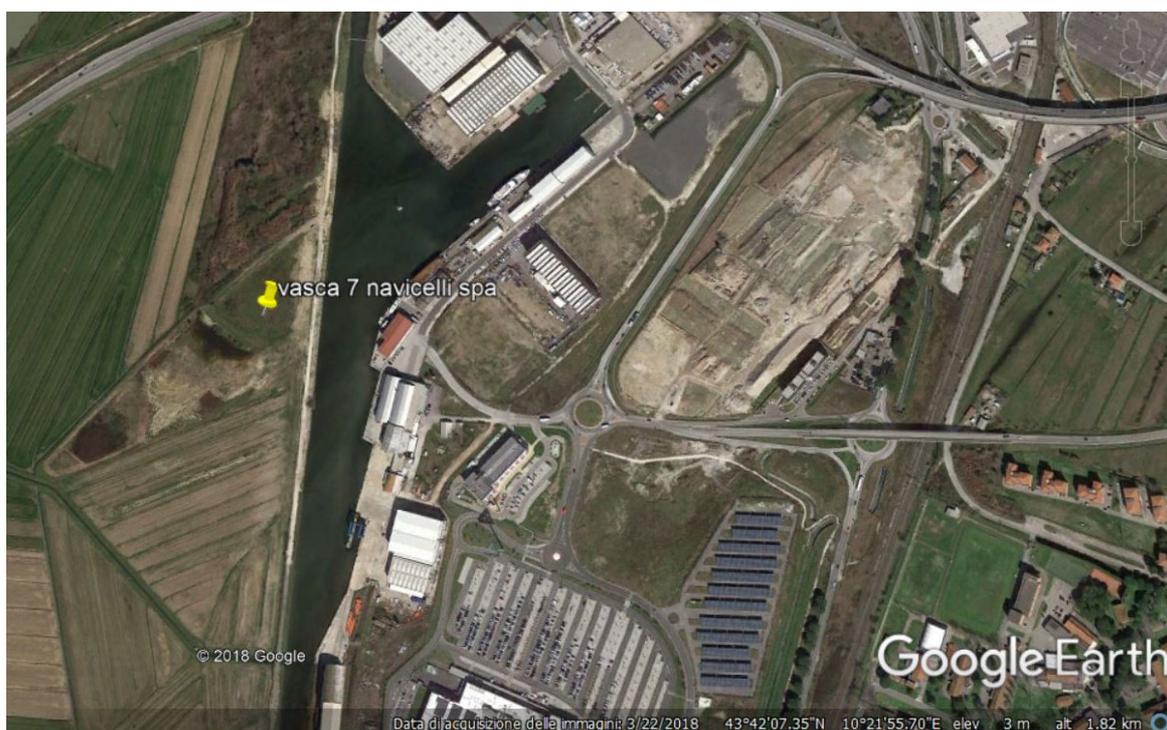




FIGURA 1. STRALCIO IMMAGINE SATELLITARE DEL SITO IN OGGETTO.

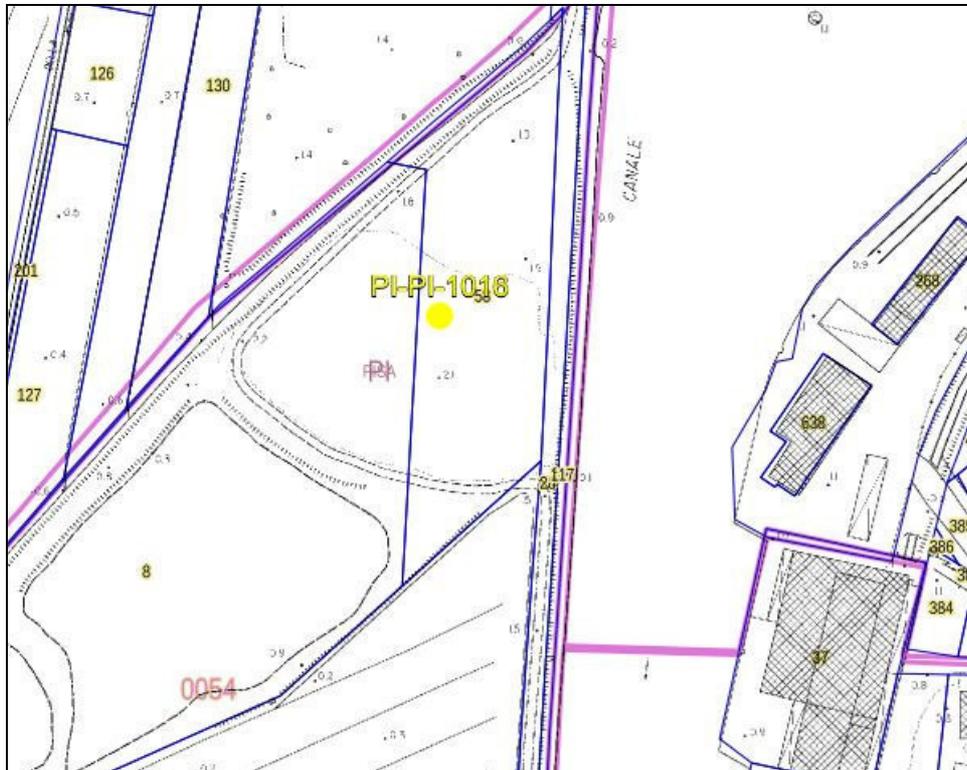


FIGURA 2. STRALCIO CATASTALE DEL SITO IN OGGETTO (FONTE GEOPORTALE TOSCANA).

Si riporta infine, nella seguente figura, la perimetrazione del sito così come indicata sui moduli SISBON B e C.

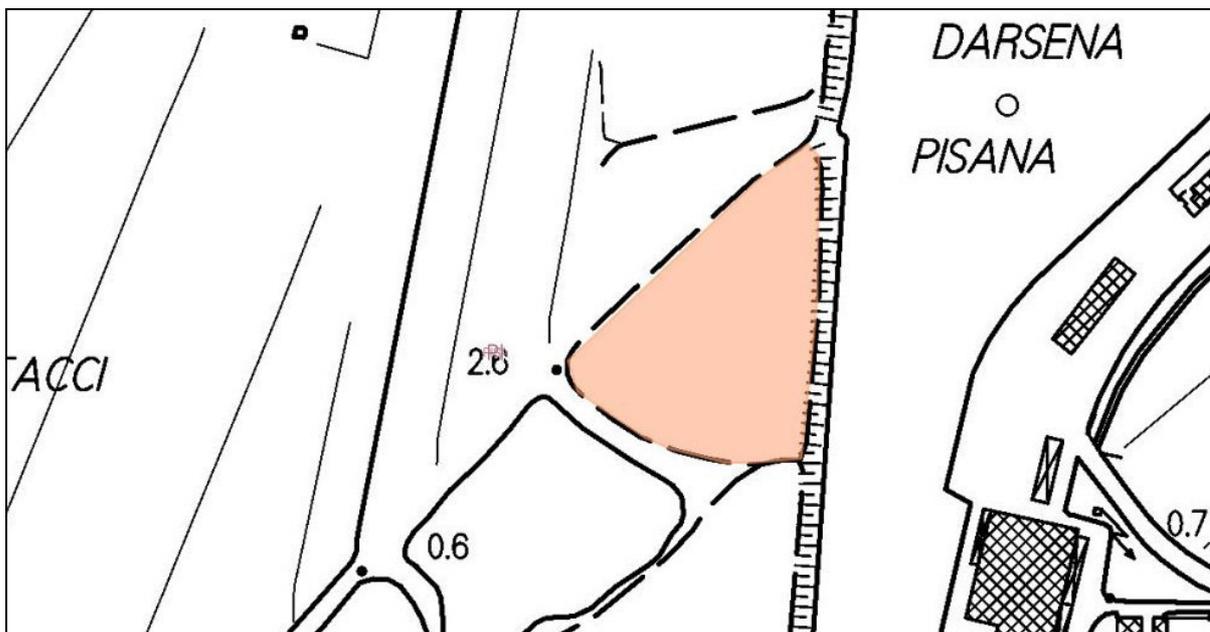


FIGURA 3. PERIMETRAZIONE TECNICA E AMMINISTRATIVA (FONTE SISBON).

## 1.2 STORIA DEL SITO

La Provincia di Pisa, con Determina 2035 del 14/05/2010, autorizzava la realizzazione di due vasche (Vasche 1 e 2) in località Calambrone per il conferimento dei fanghi provenienti da attività di dragaggio realizzate nel 2011 e di quelli contenuti nella Vasca 7. I sedimenti presenti nella Vasca 7 erano relativi a interventi di dragaggio realizzati in anni antecedenti.

Nel corso della fase di riempimento delle due nuove vasche, si sono evidenziate ulteriori ed ineludibili esigenze di dragaggio che hanno determinato la necessità di presentare, nel maggio 2011, un'integrazione al progetto per permettere lo stoccaggio nelle vasche di ulteriori quantitativi di fanghi di dragaggio, prodotti in zone non considerate nel progetto originale, ma con caratteristiche chimiche pienamente compatibili con i presidi depurativi a servizio delle vasche. A seguito di questo ulteriore intervento, la capacità restante di stoccaggio dei fanghi di dragaggio nelle vasche 1 e 2 non ha consentito il trasferimento dei circa 11.000 mc contenuti nella preesistente Vasca 7.

Solo nel 2014 a seguito della realizzazione del progetto: "*Lavori di sistemazione morfologica della vasca 1, predisposizione della vasca 2 per lo stoccaggio dei sedimenti presenti attualmente presenti nella vasca 7, sistemazione morfologica e piantumazione di alcune specie vegetali sulle vasche denominate 1 e 2*", approvato con D.D.1218 del 17/03/2014, i sedimenti della Vasca 7, per un totale di circa 11.000 mc, furono spostati e messi a dimora temporaneamente in una porzione della Vasca 2 appositamente compartimentata.



### 1.3 VERIFICA FONDO SCAVO DEL SETTEMBRE 2014

---

Successivamente alla rimozione dei vecchi fanghi di dragaggio è stata eseguita un'indagine ambientale nella Vasca 7 congiuntamente con ARPAT, così come era stato prescritto dalla Provincia di Pisa al punto 3 – lettera e della D.D. 2035 del 14/05/2010. Dato che i risultati analitici sui campioni prelevati del fondo scavo della vasca rilevarono delle non conformità, fu inoltrata alle PP.AA competenti una notifica ai sensi dell'articolo 242 comma 1 del D.Lgs. 152/06 (codice SISBON PI-PI 1016).

Il campionamento del fondo della vasca è stato realizzato suddividendo congiuntamente con ARPAT, l'intero sito in quattro aree. Sono state quindi prelevate per ogni area più aliquote, è stata eseguita una quartatura fino ad ottenere per ogni area un campione medio composito di terreno superficiale da sottoporre ad analisi. È stato prelevato anche un bianco di prova.

I risultati analitici sui campioni prelevati del fondo scavo della vasca hanno rilevato delle non conformità relative alla presenza di Metalli pesanti, IPA, PCB e Idrocarburi Pesanti, rispetto ai limiti alla Colonna A (aree a verde pubblico, privato e residenziale) della Tab. 1 dell'Allegato 5 del Titolo V della Parte VI del D.Lgs. 152/06. Il bianco di prova è risultato anch'esso potenzialmente contaminato esclusivamente per alcuni IPA non conformi ai limiti alla stessa Colonna A.

I relativi rapporti di prova e l'ubicazione delle aree di campionamento sono riportati in Allegato I "Indagini preliminari" al Piano di caratterizzazione approvato, mentre la suddivisione dell'area per il campionamento è rappresentata nella seguente figura.

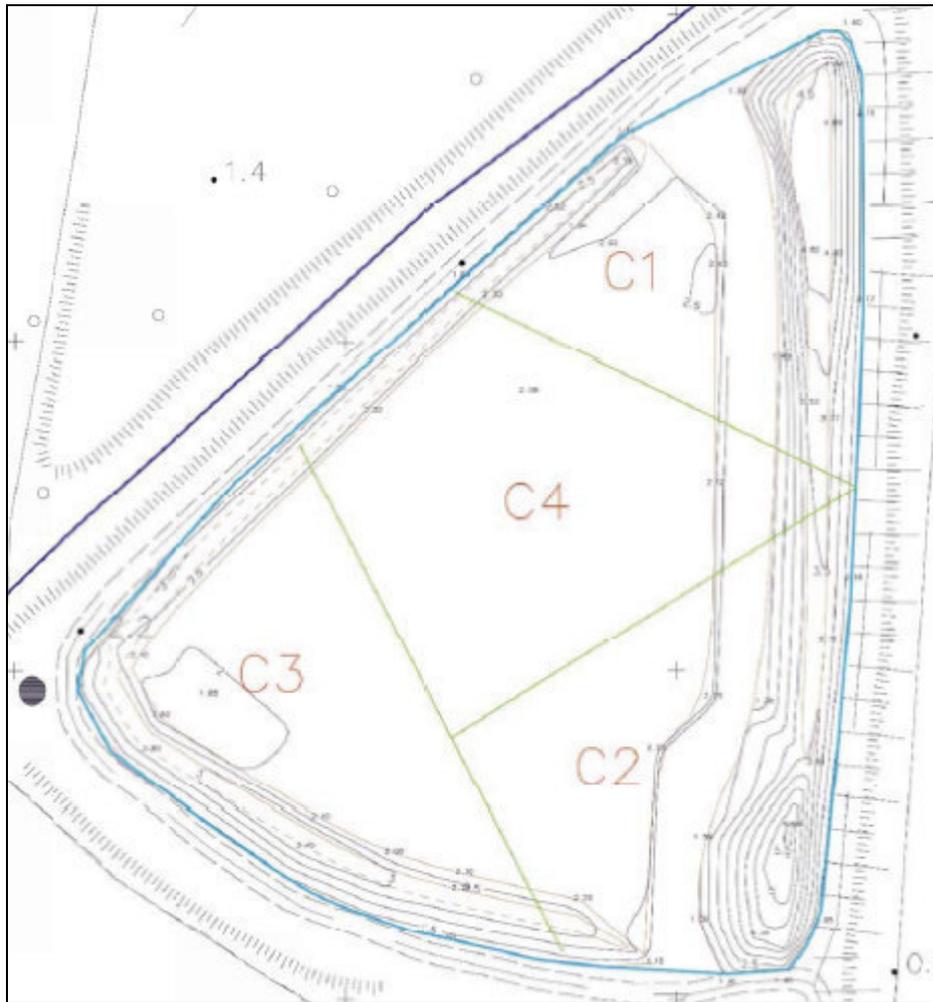


FIGURA 4. UBICAZIONE AREE CAMPIONAMENTO.



## 2. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

Di seguito si riporta una descrizione delle caratteristiche generali dell'area in cui il sito in oggetto si inserisce, in termini di inquadramento urbanistico, geologico e idrogeologico.

### 2.1 INQUADRAMENTO URBANISTICO

Da un'analisi degli strumenti urbanistici vigenti nel Comune di Pisa e più precisamente secondo il Regolamento Urbanistico (*VARIANTE DI ADEGUAMENTO DELLE PREVISIONI DEL R.U. DEI PIANI ATTUATIVI APPROVATI IN CONFORMITÀ AL R.U. E CONTESTUALE ADEGUAMENTO DELLE NORME* – settembre 2017), il sito ricade all'interno della Zona omogenea E (Parco). L'area rientra nella **Scheda-norma per le aree a parco urbano n. 23.2 "Parco di Porta a mare"**.

*"L'area oggetto della previsione a parco urbano del R.U. è un ampio territorio posto a sud del fiume Arno ed ad ovest del canale dei Navicelli delle dimensioni complessive di ha 96 circa. Tale territorio si distingue in due zone chiaramente individuabili sulla cartografia, una destinata dal Piano Strutturale propriamente a Parco, l'altra a fascia boscata".*

L'area di interesse ricade nella seconda zona.

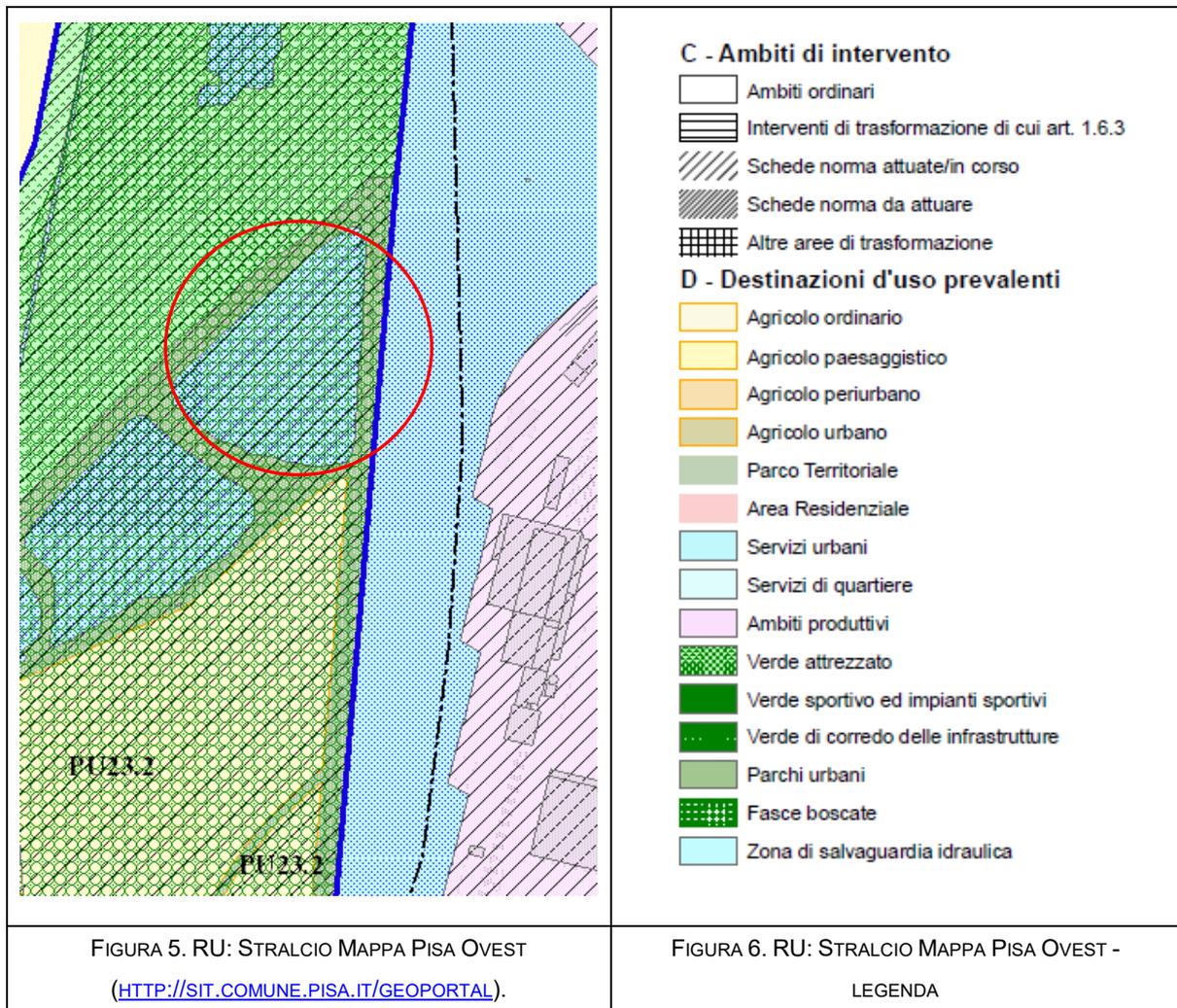
*"La seconda zona è invece una fascia di territorio che si estende per circa 32 ettari verso sud tra il canale del Navicelli e il vecchio fosso dei Navicelli, lambendo tutta la zona agricola della Vettola fino al confine con il Parco Naturale. Questa area è totalmente priva di insediamenti e di manufatti; nella sua parte centrale, in prossimità del canale, conseguentemente agli interventi di manutenzione del canale stesso, si sono formati dei laghetti artificiali dove è sorta una vegetazione spontanea, "cannelle d'acqua" ... ,tipica delle zone palustri".*

*"Il parco urbano si distingue in diverse zone a seconda delle loro caratteristiche specifiche e delle possibilità di intervento."*

L'area di interesse ricade nel Comparto 4.

**"Comparto 4 - tra il canale dei Navicelli e il fosso dei Navicelli (ha 32 circa):**

*in questa zona, fatte salve le attività agricole, si possono maggiormente concentrare le attrezzature e gli spazi di uso pubblico propri del parco urbano, in particolare nella parte a nord del tracciato della superstrada e nella zona dei laghetti adiacenti al canale. In questa zona è possibile prevedere anche un punto di ormeggio solo per barche a remi lungo il canale dei Navicelli".*



## 2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO

La pianura di Pisa si è originata in seguito al progressivo sprofondamento (dell'ordine di migliaia di metri) del litorale pisano-versiliese causato dalla azione distensiva di faglie dirette. La subsidenza di quest'area, collegata al sollevamento generale dei rilievi montuosi formati durante le fasi parossistiche del corrugamento dell'Orogene Appenninico, è stata controbilanciata dalla sedimentazione marina e fluvio-lacustre a partire dal Miocene superiore.

Questa attività tettonica distensiva è ben documentata fino al Pleistocene medio, ma non è escluso che sia tuttora attiva, considerando l'attuale morfologia e le tendenze evolutive della pianura alluvionale di Pisa.

Sulla base dei dati disponibili, il sottosuolo della pianura di Pisa può essere schematicamente suddiviso in tre parti:



- Il substrato profondo comprende le formazioni litoidi della Serie Toscana, le stesse che affiorano sui Monti Pisani a nord di Pisa e che nella pianura sono state ribassate dall'azione delle faglie dirette. Tra le rocce della Serie Toscana sembrano essere predominanti le formazioni carbonatiche. Inoltre sono state raggiunte da un sondaggio profondo anche le formazioni del complesso filladico quarzítico del Verrucano (Ghelardoni et al., 1968).

- Il substrato intermedio è costituito da sedimenti "neoautoctoni" la cui deposizione ha un inizio variabile da zona a zona, ma non è mai anteriore al Miocene sup. Si tratta di sedimenti depositi in presenza di una subsidenza di origine tettonica. La successione inizia alla base con sabbie e conglomerati a cui seguono argille lagunari sormontate da gessi variamente alternati a strati argillosi la cui deposizione viene fatta coincidere con la interruzione delle comunicazioni tra il Mediterraneo e l'Oceano Atlantico.

Al di sopra dei gessi si ritrovano sabbie, argille e conglomerati che rappresentano la sedimentazione di un bacino senza comunicazione con i mari aperti.

A questi è seguita la deposizione di argille azzurre di facies francamente marina che sono state invece deposte in un ambiente di mare più profondo cui seguono alternanze di argille azzurre e sabbie gialle che denotano l'alternarsi di ambienti marini più o meno profondi.

Al di sopra si ritrovano Sabbie ed Argille contenenti al loro interno fossili di Arctica Islandica che ne attribuiscono l'età al Pleistocene a cui segue la sedimentazione delle sabbie di Nugola Vecchia che rappresentano un episodio di sedimentazione di mare basso ed indicano quindi un fenomeno di regressione marina avvenuto al termine del Pleistocene inferiore. E' da notare che questa successione può essere osservata in superficie sulle Colline Pisane dove questi terreni formano una monoclinale che si immerge al di sotto della pianura di Pisa (Fancelli et al., 1986).

- Il substrato superiore è formato da sedimenti posteriori al Pleistocene inferiore che si sono depositi in presenza di variazioni del livello del mare e di mutazioni del regime dei fiumi il cui trasporto solido cambiava, in seguito alle variazioni del clima, sia nella sua entità che nella granulometria più o meno fine dei clasti.

Al substrato superiore appartiene la Formazione dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina che sono presenti uniformemente nel sottosuolo Pisano e si trovano a circa 50 metri di profondità presso Cascina fino a raggiungere i 145 metri nella zona di Pisa. I conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina, il cui spessore varia tra 4 e 10 metri, sono costituiti da ciottoli delle formazioni affioranti sui Monti Pisani e sono sede di un importante acquifero artesiano attualmente molto sfruttato. Si ritiene quindi che l'apporto dei clasti più grossolani di questi conglomerati siano dovuti al trasporto del Serchio che scorreva impetuoso a partire dai rilievi delle Alpi Apuane, mentre le acque dell'Arno avrebbero fornito un contributo clastico più fine in quanto dotate di minore energia.



Al di sopra della formazione precedentemente descritta si trova un livello di “Limi fluvio-palustri del sottosuolo” corrispondenti ad una fase di più limitata attività fluviale come appare dalla diminuzione drastica delle dimensioni dei clasti rispetto a quelle della formazione sulla quale poggiano (Della Rocca et al. 1987). Questa diminuzione del trasporto è probabilmente legata ad un cambiamento del clima in senso più arido al quale sarebbe poi dovuta la deposizione nel Pleistocene superiore delle dune delle sabbie dell’Isola di Coltano al di sopra dei “Limi fluvio-palustri del sottosuolo”.

La deposizione di queste sabbie indica un fenomeno di ingressione marina seguito da un sollevamento eustatico con formazione di dune di origine eolica. A tali sabbie segue la deposizione dei “Limi fluvio-palustri di superficie” che sono legati a fenomeni di esondazioni dell’Arno e dei corsi d’acqua minori che, provenendo dai monti Pisani, spesso si impaludavano nella pianura fino ad epoche storiche.

Da un punto di vista geomorfologico la pianura nel territorio comunale si presenta con andamento quasi orizzontale, con pochissima inclinazione verso il mare. Le quote variano da valori inferiori a -1 m s.l.m. fino a valori di circa 8- 9 m s.l.m. Le zone morfologicamente più elevate sono le dune costiere attuali (con quote fino a 4-5 m s.l.m.), le dune quaternarie di Castagnolo-Coltano (con quote fino a 8-9 m s.l.m.) e la fascia di conoide dell’Arno che si protrae a ventaglio fino all’altezza di Barbaricina, a valle della città di Pisa, con quote, nelle zone più elevate, fino a circa 8 m s.l.m. Le zone morfologicamente più depresse sono quelle che circondano l’allineamento Castagnolo-Coltano ai relativi margini settentrionali e meridionali (con quote inferiori a -1 m s.l.m.), aree attualmente interessate dalle bonifiche di Coltano e della Vettola.

### 2.3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DI DETTAGLIO DEL SITO

---

Per la rappresentazione geologica di dettaglio dell’area è stata presa a riferimento la “carta geologica e la “carta Litototecnica delle indagini di supporto al Piano Strutturale del Comune di Pisa” (vd. Figura seguente) nelle quali si evidenzia che l’area in esame insiste su “*depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata*” olocenici costituiti essenzialmente da terreni coesivi, limoso argillosi e in subordine sabbiosi, contenenti anche livelli organici (“at” in carta). Trattasi di argille e limi la cui componente limosa è generalmente dominante su quella argillosa e presentano valori di coesione non drenata compresi tra 0,4 e 0,7 Kg/cm<sup>2</sup>, di indice di compressibilità volumetrica compresi tra 0,210 e 0,340 cm<sup>2</sup>/t e di peso di volume compresi tra 1,7 e 1,9 t/m<sup>2</sup>.

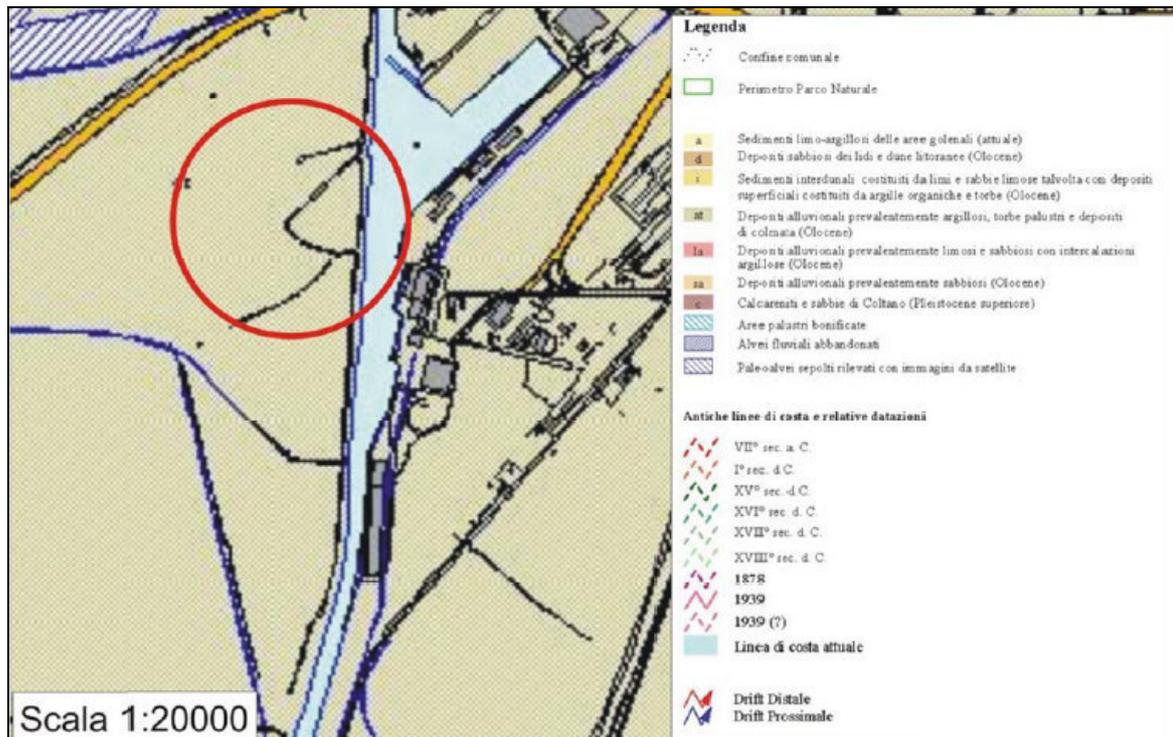


FIGURA 7. CARTA GEOLOGICA (P.S. COMUNE DI PISA)

Per la caratterizzazione lito-stratigrafica dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame si è fatto riferimento, oltre ai dati di letteratura, ai dati di due prove penetrometriche statiche (CPT) a 10 m dal p.c., nonché a n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S1 e S2), spinti fino alla profondità di -8,0 e -5,0 m da p.c. Dette indagini, l'ubicazione delle quali è illustrata in Figura seguente, sono state realizzate tutte nel Giugno del 2011.

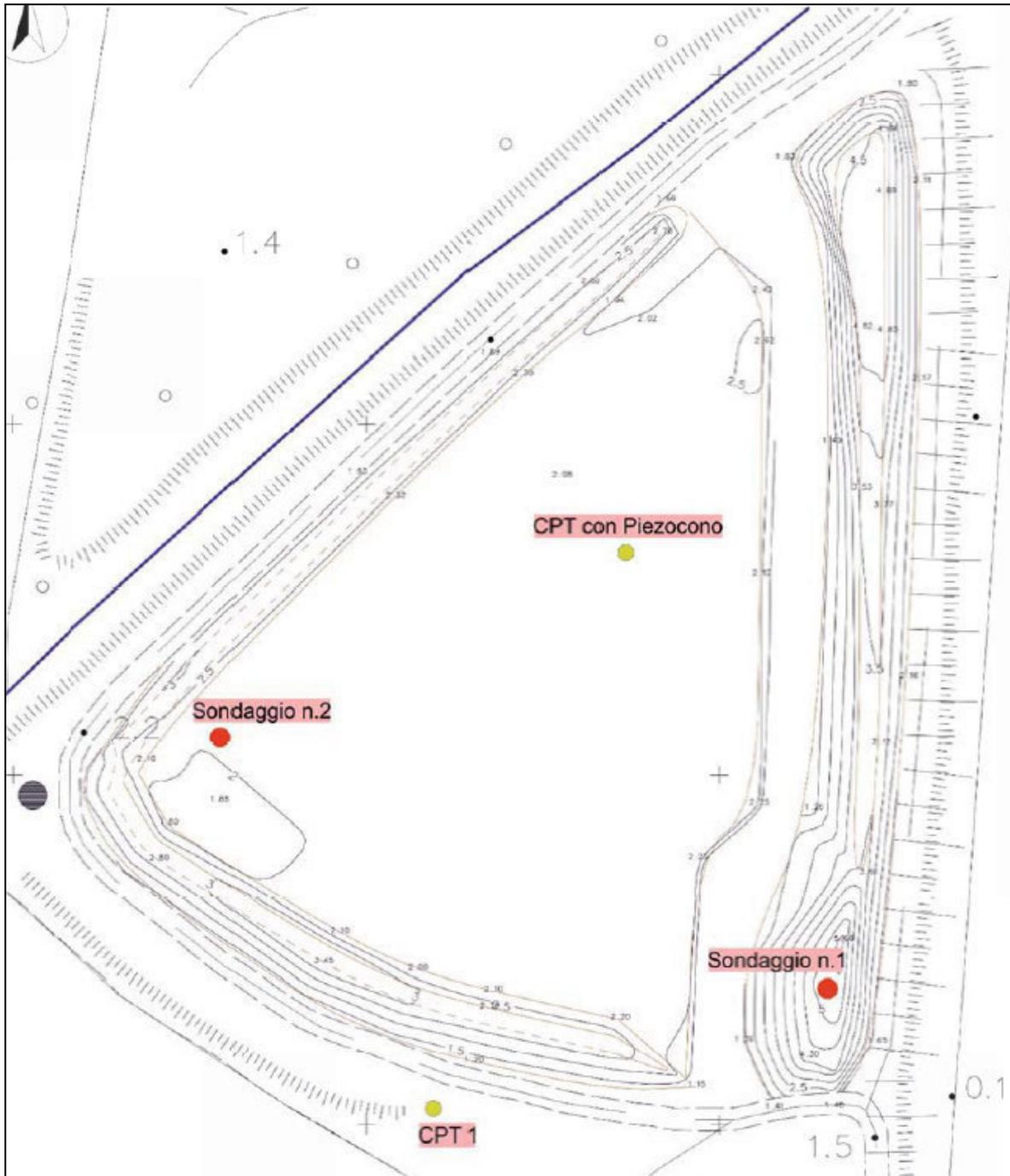


FIGURA 8. UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

I sondaggi S1 e S2 sono stati eseguiti tutti a carotaggio continuo. La perforazione è stata eseguita interamente a secco ad andamento verticale con carotiere semplice munito di corona ad inserti di widia di diametro esterno pari a 101 mm e lunghezza pari a 1,50-3,0 m.

Più recentemente (Agosto 2014) è stata realizzata un'importante campagna di indagini geologiche finalizzata alla modellazione dell'assetto geologico-geotecnico ed idrogeologico del sito in virtù



della volontà di realizzare una nuova vasca per il trattamento dei fanghi di dragaggio in un'area prospiciente la Vasca 7. In particolare sono stati realizzati n.4 carotaggi spinti fino ad una profondità di 30 m, con prelievo di campioni per le analisi geotecniche di laboratorio; n. 4 prove penetrometriche con piezocono fino a 20 m, di cui una ubicata nell'area mediana della Vasca 7; una prospezione tomografica ed un'indagine MASW.

Per quanto riguarda le 2 prove penetrometriche (CPT), sulla base del valore di resistenza alla punta del penetrometro statico ( $Q_c$ ) sono stati caratterizzati i terreni dell'area in esame dal punto di vista litologico e litotecnico per i primi m. 10 dal piano campagna.

- La prova n. 1 evidenzia un'alternanza di argilla organica e/o torba con argilla secondo la disposizione seguente: da 0 a -1 prevalenza di argilla mista a torba ( $R_p < 10 \text{ Kg/cmq}$ ), da -1 a -3 argilla ( $R_p < 18 \text{ Kg/cmq}$ ), da -3 a -10 prevalenza di argilla e/o torba con piccoli livelli di argilla o limo ( $R_p < 10 \text{ Kg/cmq}$ ).
- La prova n. 2, effettuata sul limite ovest dell'area dove sarà costruito l'impianto, evidenzia un'alternanza di argilla e/o torba con argilla pura e sabbia: da 0 a -2 prevalenza di argilla e/o torba ( $R_p < 15 \text{ Kg/cmq}$ ), da -2 a -3 argilla ( $R_p < 113 \text{ Kg/cmq}$ ), da -3 a -6 argilla e/o torba, da -6 a -7,2 prevalenza di sabbia, da -7,2 a -10 alternanza di argilla e/o torba con argilla limosa e argilla pura (da -3 a -10  $R_p < 6 \text{ Kg/cmq}$ ).

Per quanto riguarda la stratigrafia dei terreni attraversati, rilevata dai 2 sondaggi a carotaggio continuo, i risultati sono riassunti nelle tabelle seguenti:

<b>SONDAGGIO S1</b>	
<b><i>h (m)</i></b>	<b><i>Tipo di terreno</i></b>
0,0 - 0,3	terreno vegetale
0,3 - 3,3	materiale di riporto con frustoli bioclastici
3,3 - 4,0	limo sabbioso
4,0 - 4,7	limo argilloso consistente
4,7 - 7,7	limo sabbioso
7,7 - 8,0	argille grigie
<b><i>Falda riscontrata a -5,6 m dal p.c.</i></b>	



<b>SONDAGGIO S2</b>	
<b><i>h (m)</i></b>	<b><i>Tipo di terreno</i></b>
0,0 - 0,5	terreno vegetale
0,5 - 3,8	argilla debolmente limosa, mediamente consistente
3,8 - 4,2	argilla debolmente limosa, poco consistente
4,2 - 5,0	argilla grigia
<b><i>Falda riscontrata a -3,6 m dal p.c.</i></b>	

Le indagini più recenti hanno fornito un quadro esaustivo di quello che è l'assetto geologico ed idrogeologico del sito e che in buona parte e comunque ai fini del presente lavoro conferma quanto osservato nelle precedenti indagini geologiche.

L'esame dei dati geologici permette le seguenti considerazioni:

- i terreni in esame mostrano caratteristiche geomeccaniche medio – scadenti tipiche di aree alluvionali.
- Il terreno esaminato è caratterizzato dalla presenza di strati torbosi e argillosi con intercalazioni di piccoli livelli di argilla o limo così come si evince dalla correlazione dei dati geognostici relativi all'aerea in esame.
- La presenza di un substrato argilloso rilevato a circa 4,0 m dal p.c. con un discreto coefficiente di permeabilità rappresenta un ottimo isolante naturale.
- Il livello di falda, misurato nel Giugno 2011 localmente si attestava intorno ai 3,60 m ed è chiara l'alimentazione da parte del canale, almeno in tale stagione. La rilevazione dei suddetti livelli durante la stagione estiva fa presupporre cautelativamente un'attestazione media del livello freatico intorno a 1,5 - 2,0 m.

Si riporta infine nella figura seguente un'interpretazione (non in scala) dei sondaggi a carotaggio continuo realizzati nel 2011.

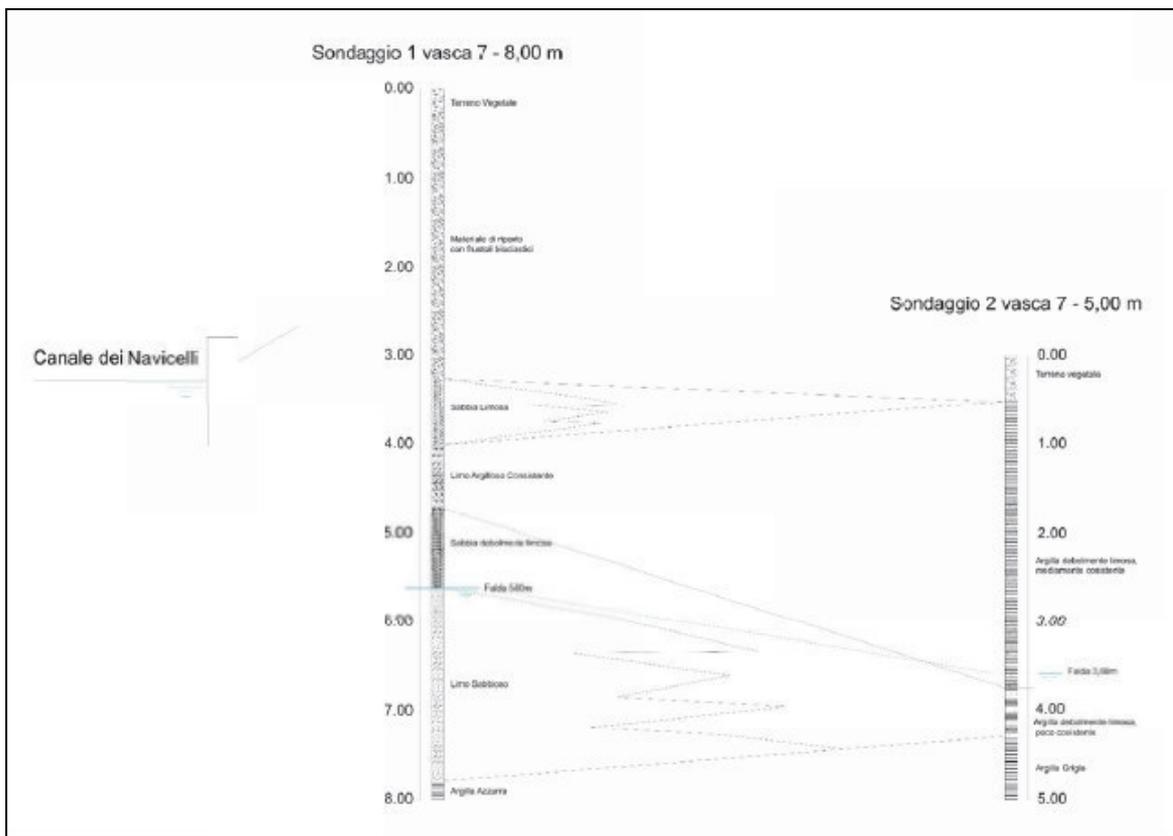


FIGURA 9. INTERPRETAZIONE (NON IN SCALA) DEI SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO REALIZZATI IN VASCA 7

## 2.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico l'area è interessata dalla presenza del Fiume Arno, elemento idraulico e idrogeologico principale e da un reticolo costituito da numerosi fossi drenanti che consentono il deflusso delle acque meteoriche verso i collettori idrici maggiori del Canale dei Navicelli e del Fiume Arno, reticolo realizzato per le opere di bonifica.

Dai vari saggi geognostici eseguiti è risultato come i terreni presenti siano costituiti, al di sotto di una modesta copertura di terreno vegetale, da litotipi prevalentemente argillosi.

Gli studi geologici effettuati nella pianura di Pisa individuano un acquifero freatico e tre acquiferi profondi. Gli acquiferi profondi, noti da perforazioni eseguite a nord dell'area di studio (zona industriale di Porta a Mare), sono confinati, il primo in sabbie, il secondo ed il terzo in ghiaie. Gli acquiferi profondi sono posti a profondità non direttamente interessate dal presente studio: il primo è presente a partire da circa 25 m dal p.c., il secondo a partire da 135-140 m dal p.c. ed il terzo acquifero confinato a partire da 200 m di profondità dal p.c.

L'unico acquifero che potrebbe interagire con il sito in esame è quello superficiale freatico.



La falda superficiale ha direzioni di flusso variabili da NE verso SW e da NW verso SE; con un gradiente molto modesto ed è contenuta all'interno di successioni limose o sabbio-argillose a moderata/bassa permeabilità. Dalle indagini eseguite, e in particolare in 2 prove penetrometriche eseguite in prossimità della Vasca 7 il livello della falda superficiale è stato rilevato a una profondità di circa 1,6 m dal piano di campagna.

#### Vulnerabilità Idrogeologica

La classificazione dell'area relativamente alla vulnerabilità idrogeologica è tratta dal P.T.C. della Provincia di Pisa (Vd. Figura seguente): *“La carta della vulnerabilità idrogeologica prende in esame la salvaguardia della risorsa idrica sotterranea in relazione ad attività e trasformazioni del territorio che potenzialmente ne possono compromettere l'integrità. La carta trae origine, e si struttura in classi di vulnerabilità, le classi e sottoclassi a maggiore vulnerabilità sono codificate in relazione a un parametro quantitativo che nel caso specifico è rappresentato dal tempo di arrivo in falda di un potenziale agente inquinante sversato sul terreno”.*

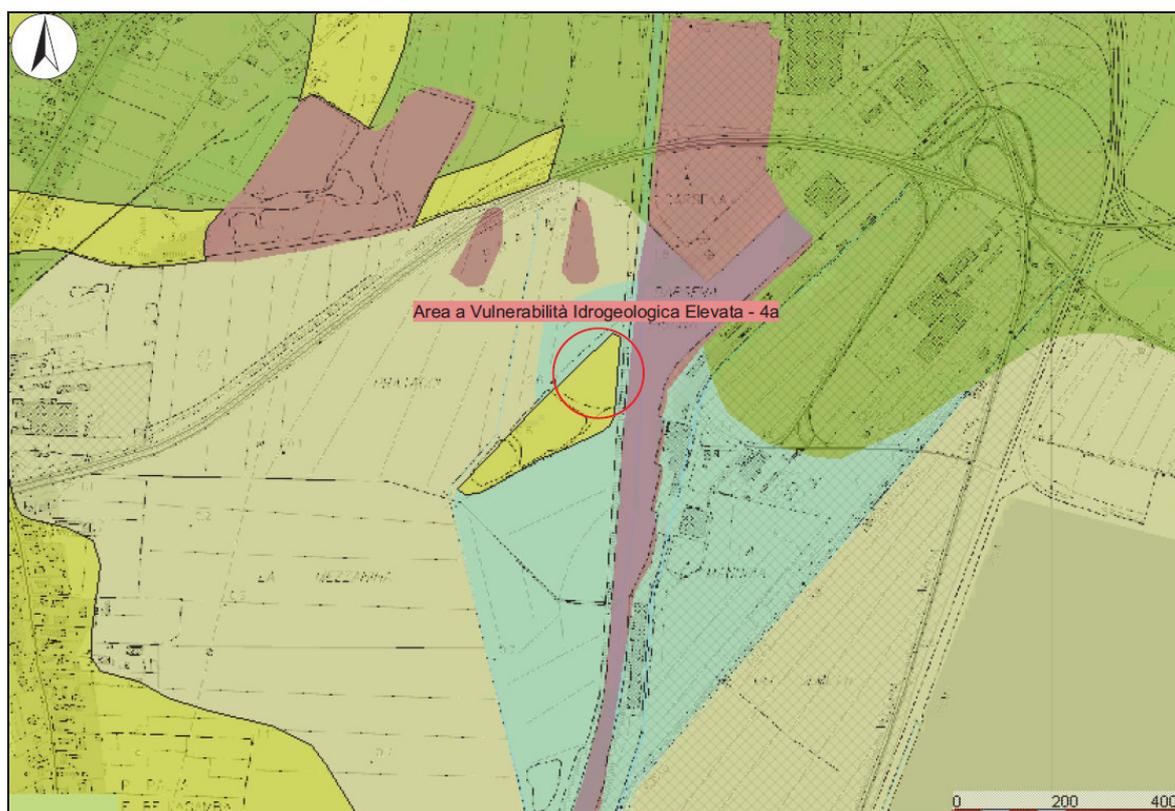


FIGURA 10. CARTA DELLA VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA

L'ubicazione del sito evidenzia valori riferibili alle classi di pericolosità **4 - vulnerabilità elevata**, sottoclasse 4a: *corrisponde a situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un grado di*



*protezione insufficiente; in essa ricadono, nelle aree di pianura, le zone in cui sono ipotizzabili tempi di arrivo in falda compresi tra 1 e 7 giorni, quali quelle di ricarica di acquiferi confinati a media permeabilità, quelle interessate da falde libere in materiali alluvionali molto permeabili con falda prossima al piano campagna, quelle consistenti in terrazzi alluvionali antichi costituiti da litologie molto permeabili e direttamente connessi all'acquifero principale, nonché, nelle aree collinari e montuose, le zone di affioramento di terreni litoidi altamente permeabili, le zone di affioramento di terreni sciolti a permeabilità elevata con sufficiente estensione e ricarica, le zone di infiltrazione in terreni a permeabilità medio-alta, le zone di alimentazione delle sorgenti di principale importanza emergenti da litologie mediamente permeabili;*

#### Rischio Idrogeologico (A.d.B)

Nella cartografia di riferimento del Piano di bacino del Fiume Arno – Progetto di Piano “Assetto Idrogeologico” – Piano Straordinario per la rimozione delle situazioni a rischio idrogeologico più alto, i terreni oggetto del presente piano sono compresi in aree classificate come P.I.1 “Aree a pericolosità moderata”, P.I.3 “Aree a pericolosità elevata”, P.I.4 “Aree a pericolosità molto elevata”

Facendo riferimento al Titolo II, Capo I, Art. 5 delle Norme di Attuazione del Progetto di Piano, si evince che a livello di dettaglio le aree a:

- pericolosità idraulica moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $200 < TR \leq 500$  anni;
- pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR \leq 30$  anni con battente  $h < 30$  cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno  $30 < TR \leq 100$  anni e con battente  $h \geq 30$  cm;
- pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR \leq 30$  anni e con battente  $h \geq 30$  cm;

Ai Sensi dell'Art. 6 relativo al suddetto riferimento normativo, nelle Aree a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) e dell' Art. 7 – Aree a pericolosità idraulica elevata (P.I.3), sussistono delle limitazioni. Nel caso specifico e per le finalità di cui al presente PAI, sono consentiti:

c. interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;

Nelle aree P.I.2 e P.I.1 (Art. 8) e nelle aree di ristagno sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio.

Per quanto riguarda la perimetrazione delle aree allagabili, facendo riferimento al Piano di Bacino Stralcio "Riduzione del Rischio Idraulico" - Carta guida delle aree allagate redatte sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966 - 1999), l'area ricade in una zona interessata da inondazioni eccezionali. (stralcio 61 – Figura seguente)

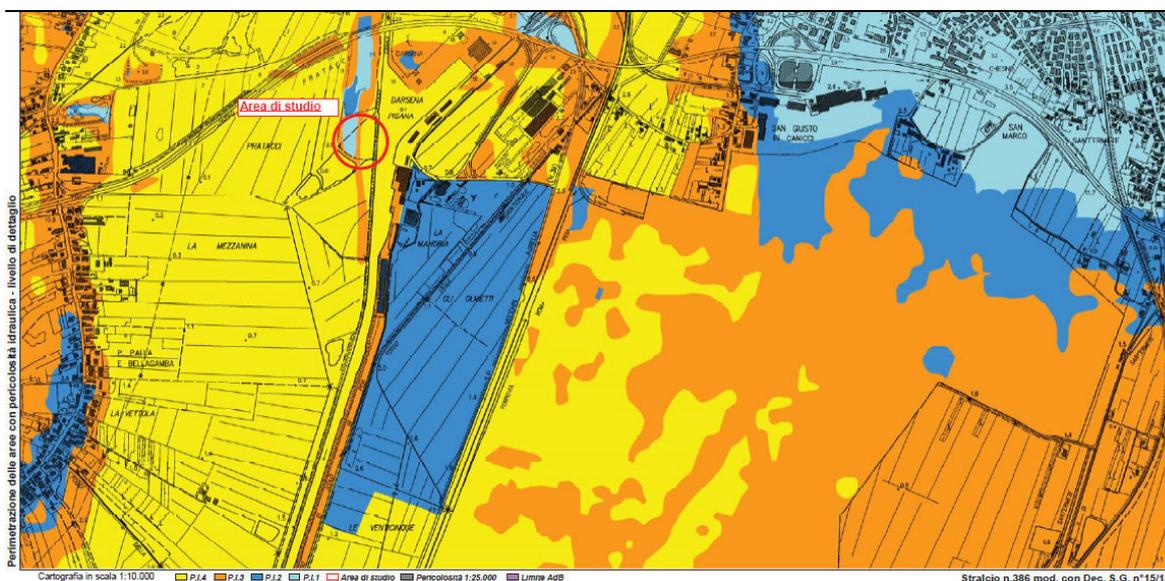


FIGURA 11. PERIMETRAZIONE AREE CON PERICOLOSITÀ IDRAULICA (AUTORITÀ DI BACINO FIUME ARNO)

## 2.5 INQUADRAMENTO CLIMATICO

I dati anemometrici e pluviometrici sono stati ricavati dal sito del SCIA (Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati Climatici di Interesse Ambientale - <http://www.scia.isprambiente.it>). SCIA è stato realizzato dall'ISPRA (già ANPA e poi APAT) in collaborazione con gli organismi elencati sulla home page. Esso risponde all'esigenza di armonizzare e standardizzare i metodi di elaborazione e rendere disponibili gli indicatori utili alla rappresentazione dello stato del clima in Italia e della sua evoluzione (Desiato et al. 2006, 2007, 2011). Attraverso il sito web è possibile visualizzare sotto forma di tabelle, grafici, mappe e scaricare su file di testo, i principali indicatori elaborati e memorizzati dal sistema.

Si riportano nella seguente tabella, per gli anni compresi tra il 1956 ed il 2017, i valori medi annui di intensità del vento espressi in m/s rilevati nella stazione di Pisa San Giusto (PI) (coordinate 43°40' – 10°23', alt. 2 m s.l.m.), situata in prossimità dell'aeroporto G. Galilei di Pisa.

anno	Vento medio annuo (m/s)	n. dati
1956	2,9	366
1957	2,7	365
1958	2,9	365
1959	2,9	365



anno	Vento medio annuo (m/s)	n. dati
1960	2,9	362
1961	2,3	365
1962	2,6	365
1963	2,5	365
1964	2,2	366
1965	2,5	365
1966	2,1	365
1967	2	362
1968	2	366
1969	1,8	365
1970	1,9	357
1971	1,9	365
1972	1,8	366
1973	1,9	356
1974	1,7	365
1975	1,6	365
1976	1,3	366
1977	1,4	365
1978	1,7	365
1979	2,1	365
1980	1,7	366
1981	1,8	365
1982	1,9	365
1983	1,9	365
1984	1,9	366
1985	1,8	361
1986	1,9	364
1987	2,7	365
1987	2,7	365
1988	2,6	361
1989	2,6	365
1990	2,7	365
1991	2,8	365
1992	2,8	366
1993	3	365



anno	Vento medio annuo (m/s)	n. dati
1994	3,3	365
1995	3,5	365
1996	3,5	366
1997	2,8	365
1998	2,8	365
1999	2,7	340
2000	2,6	366
2001	2,8	365
2002	2,5	361
2003	2,9	349
2004	2,5	365
2005	2,4	365
2006	2,1	364
2007	2,7	365
2008	2,9	366
2010	2,7	345
2011	2,8	365
2012	3	361
2013	3,1	353
2014	2,9	362
2015	2,9	365
2016	3,1	362
2017	3	364

TABELLA 1: INTENSITÀ DEL VENTO 1956 – 2017

È visualizzato di seguito in figura il grafico con la direzione prevalente del vento, riscontrata da E verso W, tratto dal documento: "INDICI AGROCLIMATICI - Velocità e direzione del vento" emesso dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali - UFFICIO CENTRALE DI ECOLOGIA AGRARIA.

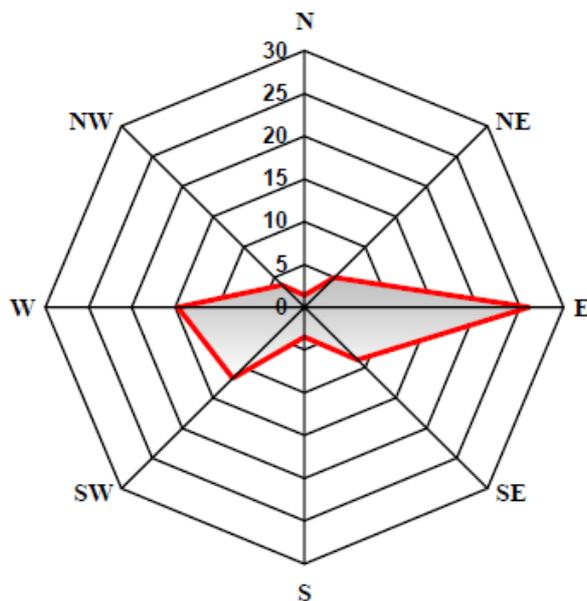


FIGURA 12- DIAGRAMMA DIREZIONE DEI VENTI RILEVATI NELLA STAZIONE PISA SAN GIUSTO (PI)

Si riportano poi nella seguente tabella, per gli anni compresi tra il 1951 ed il 2017, le precipitazioni annue cumulate (esprese in mm di pioggia annui) rilevati sempre nella stazione di Pisa San Giusto.

anno	Precipitazioni (mm)	n. dati
1951	889,6	363
1952	1125,1	366
1953	831,6	365
1954	840,3	365
1955	1111,6	363
1956	812	366
1957	702,6	365
1958	628	365
1959	857,2	364
1960	1317,3	366
1961	881	365
1962	691,3	365
1963	1006,6	365
1964	914	366
1965	1110,6	365



anno	Precipitazioni (mm)	n. dati
1966	1139,4	365
1967	749,6	365
1968	816,5	366
1969	967,9	364
1970	761,6	365
1971	849,2	362
1972	750,9	366
1973	670,3	365
1974	689,2	361
1975	1073,1	364
1976	1153,3	366
1977	940,2	365
1978	922,3	365
1979	1042,5	365
1980	761	366
1981	717,9	365
1982	691,1	365
1983	599	365
1984	1004,6	366
1985	715,7	363
1986	986,4	365
1987	1035,7	365
1988	919,5	345
1989	928,8	365
1990	1471,1	365
1993	704,1	365
1994	469,9	328
1995	900,6	365
1996	1055	363
1997	675,6	365
1998	654,1	365
1999	757	338
2001	731,4	365
2002	1126,7	363
2003	757,5	361



anno	Precipitazioni (mm)	n. dati
2004	903,8	366
2005	677,1	365
2006	902,6	364
2007	664,4	365
2009	728,3	350
2010	1166,4	365
2011	487,6	365
2012	811,3	366
2013	1024,9	365
2014	1170,8	365
2015	785,3	365
2016	870,8	365
2017	579,3	364

TABELLA 2: PRECIPITAZIONI ANNUE CUMULATE 1951 – 2017



### 3. INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE 2016

Sono di seguito sintetizzate le indagini ambientali di caratterizzazione ambientale svolte nel 2016 e che hanno avuto per oggetto suolo, sottosuolo ed acque sotterranee. Dette indagini sono state realizzate sotto la costante supervisione dei tecnici ARPAT di Pisa. Si riportano nel presente capitolo anche i dati raccolti in fasi successive per integrare la caratterizzazione già effettuata.

#### 3.1 DESCRIZIONE LAVORI - TERRENI

In data 03/08/2016, ai fini della ricostruzione delle caratteristiche stratigrafiche, chimiche e granulometriche del sito sono state eseguite, con l'ausilio di un escavatore cingolato munito di benna, n. 5 sezioni di scavo, spinte fino alla profondità di circa 3,0 metri dal piano di campagna.

Sono stati prelevati, per ogni trincea, n. 3 campioni di terreno rispettivamente negli intervalli: 0 - 1 m, 1 - 2 m e fondo scavo.

In data 03/08/2016 sono stati poi realizzati anche n. 3 sondaggi geognostici ambientali in prossimità del perimetro dell'area in oggetto e spinti fino alla profondità di 5 m da p.c.; i sondaggi sono stati realizzati con una sonda meccanica a rotazione, a carotaggio continuo a secco, del diametro di 101 mm e rivestimento del diametro di 127 mm, impiegando carotieri di tipo "ambientale".

Durante la realizzazione dei sondaggi è stata condotta una prova di permeabilità Lefranc a carico variabile in ciascuna perforazione, per un totale di n. 3.

Le carote estratte sono state alloggiare in apposite cassette catalogatrici in plastica, munite di coperchio, dalla capacità totale di 5,0 m, con scomparti singoli da 1,0 m cadauno.

Al fine di prevenire contaminazioni delle carote estratte, prima di ogni carotaggio sono stati messi in opera i seguenti accorgimenti tecnici.

- Rimozione dei lubrificanti dalle zone filettate,
- Uso di rivestimenti, corone e scarpe non verniciate,
- Eliminazione di gocciolamenti di olii dalle parti idrauliche,
- Pulizia di tutte le parti delle attrezzature tra un campione e l'altro.

Sono stati quindi prelevati, per ogni sondaggio, n. 2 campioni di terreno indisturbato negli intervalli 0 -1 m e 2 - 3 m.



Sono state poi eseguite su tutti i campioni di terreno le seguenti determinazioni analitiche: metalli, idrocarburi pesanti C>12, IPA, PCB nonché il TOC; inoltre sono state determinate per ogni campione le percentuali delle diverse frazioni granulometriche (sabbie, limi e argille).

### **3.2 DESCRIZIONE LAVORI – ACQUE SOTTERRANEE**

---

I sondaggi sono stati attrezzati a piezometro di monitoraggio dell'acquifero superficiale con una tubazione piezometrica aperta, in pvc atossico (ø 4") e denominati Pz1, Pz3 e Pz4; a tal fine ogni perforazione è stata seguita dall'infissione fino alla profondità di fondo foro (5 m da p.c.), di una tubazione di rivestimento con diametro tale (178mm) da permettere il posizionamento dei tubi piezometrici".

La porzione della tubazione microfessurata, con luce di 0,5 mm, è stata installata nel tratto compreso tra 1 m e 5 m da bocca pozzo (b.p.), mentre la porzione cieca, dello stesso diametro e materiale, è stata posizionata nel rimanente tratto. Lo spazio anulare tra il pozzo e il foro è stato riempito con sabbia silicea lavata e calibrata fino a 50 cm sopra il tratto fessurato. Al fine di evitare l'infiltrazione delle acque superficiali, il restante spazio è stato riempito con bentonite in pellets per circa 50 cm e con una miscela cementizia fino a boccapozzo. Quest'ultimo è stato chiuso con un tappo a vite.

I piezometri sono stati completati in superficie con pozzetti in plastica fuori terra, provvisti di lucchetto.

Il piezometro n. 2 pre-esistente e profondo 30 m, è stato e sarà in futuro, in accordo con ARPAT, utilizzato anch'esso per il monitoraggio periodico delle acque sotterranee.

#### **3.2.1 CAMPIONAMENTO ACQUE SOTTERRANEE 2016**

---

Il campionamento delle acque di falda, a causa della lentissima ricarica della falda rilevata al momento dello spurgo, per la bassa permeabilità dei terreni attraversati, è stato eseguito in tre momenti distinti:

- in data 04/10/2016 è stato eseguito lo spurgo fino a chiarificazione delle acque sotterranee;
- in data 13/10/2016 è stato eseguito il campionamento delle acque sotterranee relative ai piezometri n. 2 e 4;
- in data 01/12/2016, dopo un periodo in cui è stato monitorato settimanalmente l'andamento nel tempo del livello freatico, sono state campionate le acque relative ai piezometri n. 1 e 3.



### 3.2.2 MONITORAGGIO ACQUE SOTTERRANEE GENNAIO 2019

E' stato effettuato il giorno 7 gennaio 2019, in ottemperanza alle prescrizioni previste dalla Determina del Comune di Pisa di cui in Premessa, il campionamento delle acque sotterranee dai piezometri installati; le acque sono state prelevate da ciascun piezometro previo rilievo freaticometrico e spurgo dello stesso.

### 3.3 RILIEVO PLANO ALTIMETRICO

E' stato eseguito un rilievo plano-altimetrico di dettaglio della Vasca 7 (si riporta nella seguente figura il rilievo topografico di dettaglio con l'ubicazione di tutti i punti di indagine realizzati). Tutte le quote del rilievo sono state riportate in metri sul livello del mare.

Il rilievo topografico ha misurato per il sito una superficie complessiva pari a 12.046 mq circa.

L'area si presenta lievemente sopraelevata rispetto ai terreni circostanti poiché sono ancora presenti modeste quantità di materiali di dragaggio che da diversi anni occupano un volume consistente dell'area d'indagine. La superficie nel complesso presenta una forma triangolare con uno dei tre lati che corre parallelamente al Canale dei Navicelli e alla via Alzaia; il perimetro complessivo è circa 450 m. La pendenza seppur lieve è tendenzialmente nella direzione del canale tanto che nei periodi piovosi si manifesta un costante accumulo di acqua che occupa una piccola parte dell'area complessiva e la costante saturazione dei terreni sottostanti.

In data 19 marzo 2019 è stata effettuata da Ambiente spa una la battitura topografica dei piezometri, per definirne esattamente l'ubicazione e la quota in m slm dei rispettivi bocca pozzi; la seguente tabella riporta le quote e le coordinate gauss-boaga dei piezometri rilevate.

Piezometro	Coordinate Gauss – Boaga		quota (m slm)
	x	y	
PZ1	1611229,492	4839273,392	0,70
PZ2	1611229,312	4839170,254	1,30
PZ3	1611131,422	4839145,827	0,11
PZ4	1611177,497	4839247,711	1,28

TABELLA 3: BATTITURA TOPOGRAFICA DEI PIEZOMETRI, MARZO 2019

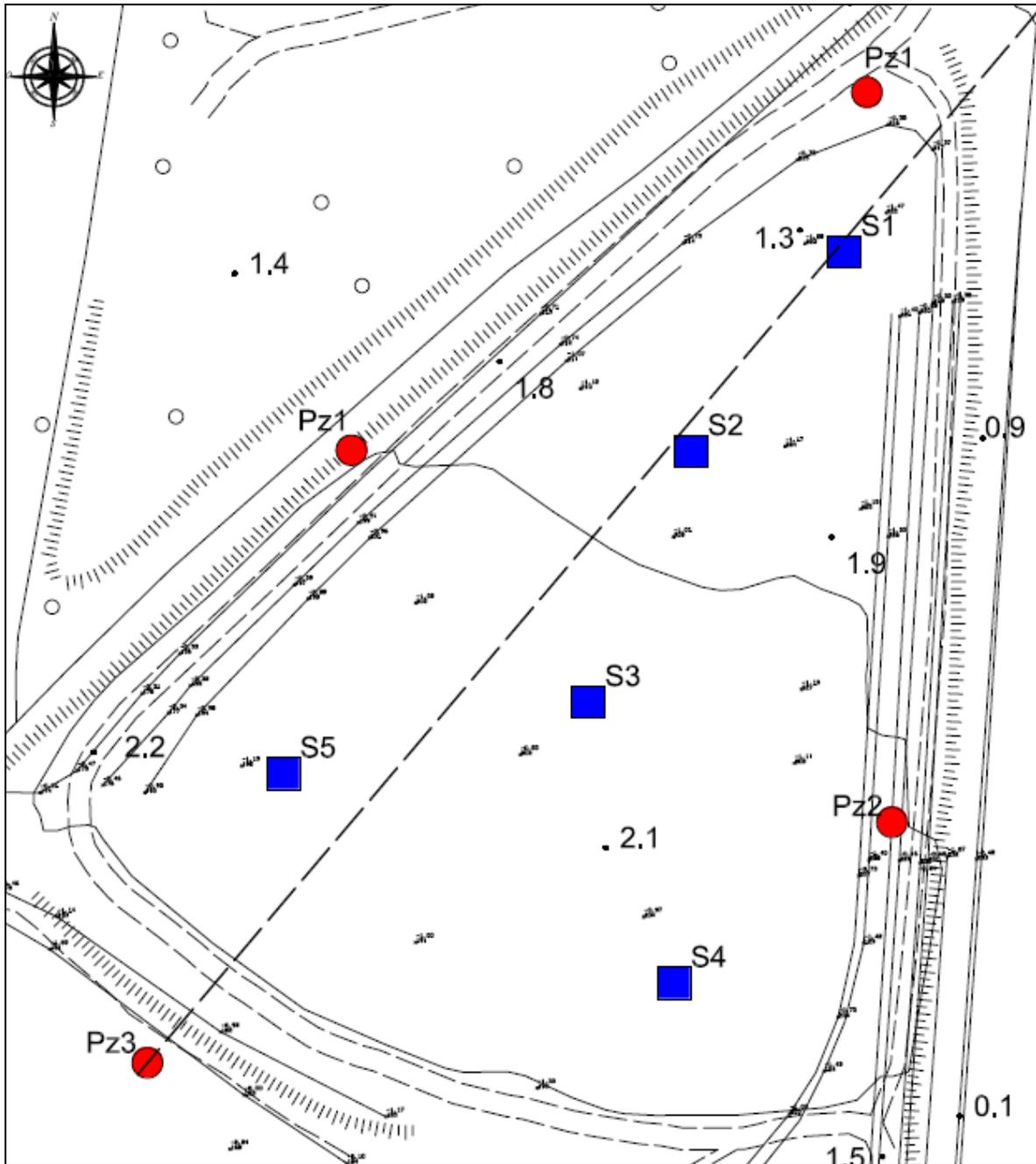


FIGURA 13- RILIEVO TOPOGRAFICO

### 3.4 STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

Sulla base delle caratteristiche litologiche osservate in campo è stata redatta la stratigrafia di dettaglio dell'area (si vedano le Schede dei sondaggi ambientali/piezometri e delle trincee rispettivamente in Allegato III e IV al rapporto tecnico "Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato "VASCA 7" del febbraio 2017); la stratigrafia è sintetizzata nella sezione,



sviluppata in direzione circa est-ovest e riportata nella figura seguente, dove è stato anche ricostruito il probabile spessore medio dei residui del fango di dragaggio e l'assetto della falda sotterranea rilevato nell'Autunno 2016.

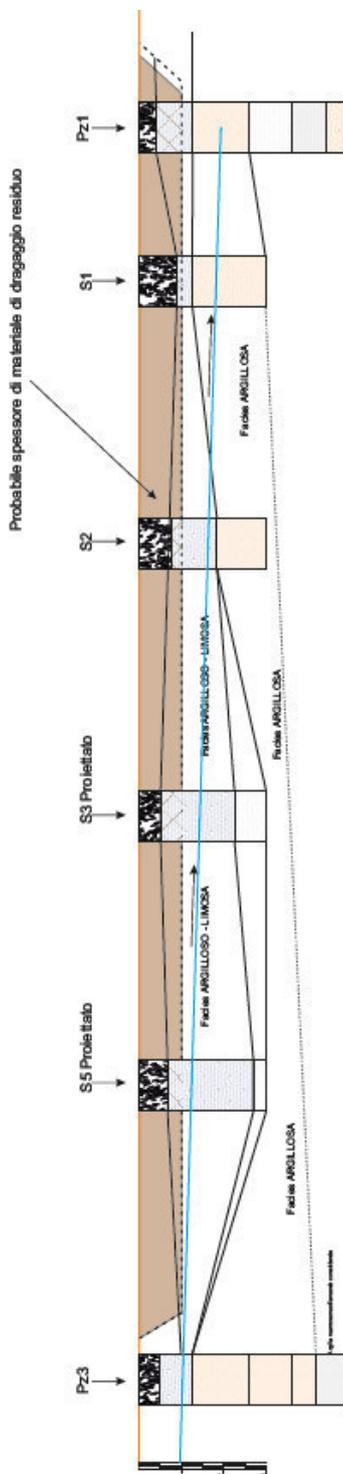


FIGURA 14- SEZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA INTERPRETATIVA



### 3.4.1 SUBSTRATO NATURALE

I sondaggi Pz1, Pz3, Pz4, spinti fino alla profondità di 5,0 m, hanno evidenziato una discreta variabilità dei litotipi tipica della genesi alluvionale della pianura locale. Si osserva da un punto di vista litotecnico quindi, in generale un dominio della frazione limoso argillosa a bassa permeabilità con sottili alternanze, nelle porzioni più profonde, di litologie a tendenza debolmente sabbiosa e limosa.

### 3.4.2 STRATIGRAFIA INTERNA ALLA VASCA E SPESSORE DEI RESIDUI DEL FANGO DI DRAGAGGIO

Le 5 sezioni di scavo previste nel piano di caratterizzazione sono state effettuate con escavatore meccanico e sono state spinte fino alla profondità di 3,0 m da p.c.. Il criterio è stato quello di raggiungere il substrato naturale al di sotto dello spessore presunto dei residui del fango di dragaggio al fine di riuscire a discriminare quest'ultimo dal substrato naturale di appoggio dal punto di vista sia chimico che litologico.

Dal punto di vista litologico l'interfaccia fanghi/terreno naturale è stata stimata per lo più su base colorimetrica (substrato più scuro), di addensamento (substrato maggiormente addensato e consolidato) e di spessore stimato, poiché la natura stessa del residuo presente in vasca (materiale di dragaggio del Canale dei Navicelli) comporta una inevitabile "familiarità litologica" con il substrato naturale. I rimaneggiamenti antropici (recenti e meno recenti) succedutisi all'interno della vasca hanno contribuito a rendere meno chiaro il quadro stratigrafico originario. ARPAT nel parere del 14/02/2018 citato in Premessa conferma quanto sopra, considerando i residui del fango di dragaggio ormai indistinguibili dal substrato litologicamente analogo, consistente in un terreno fine a prevalenza limo – argillosa.

### 3.5 MORFOLOGIA DELLA FALDA

Sono state ricostruite le superfici piezometriche relative ai rilievi effettuati in occasione del monitoraggio del 7 gennaio 2019 e del sopralluogo svolto da Ambiente spa il 19 marzo 2019 per la battitura topografica dei piezometri. La seguente tabella riporta i dati rilevati, mentre nelle Tavole 1 e 2 e nelle seguenti figure sono visualizzate le superfici freatiche.

Piezometri	quota PZ (m slm)	Rilievo del 7 gennaio 2019		Rilievo del 19 marzo 2019	
		Soggiacenza (m)	Quota in m slm	Soggiacenza (m)	Quota in m slm
PZ1	0,70	2,12	-1,415	2,06	-1,355
PZ2	1,30	3,8	-2,500	3,7	-2,400
PZ3	0,11	0,9	-0,786	0,85	-0,736



Piezometri	quota PZ (m slm)	Rilievo del 7 gennaio 2019		Rilievo del 19 marzo 2019	
		Soggiacenza (m)	Quota in m slm	Soggiacenza (m)	Quota in m slm
PZ4	1,28	2,65	-1,367	2,37	-1,087

TABELLA 4: RILIEVI FREATIMETRICI

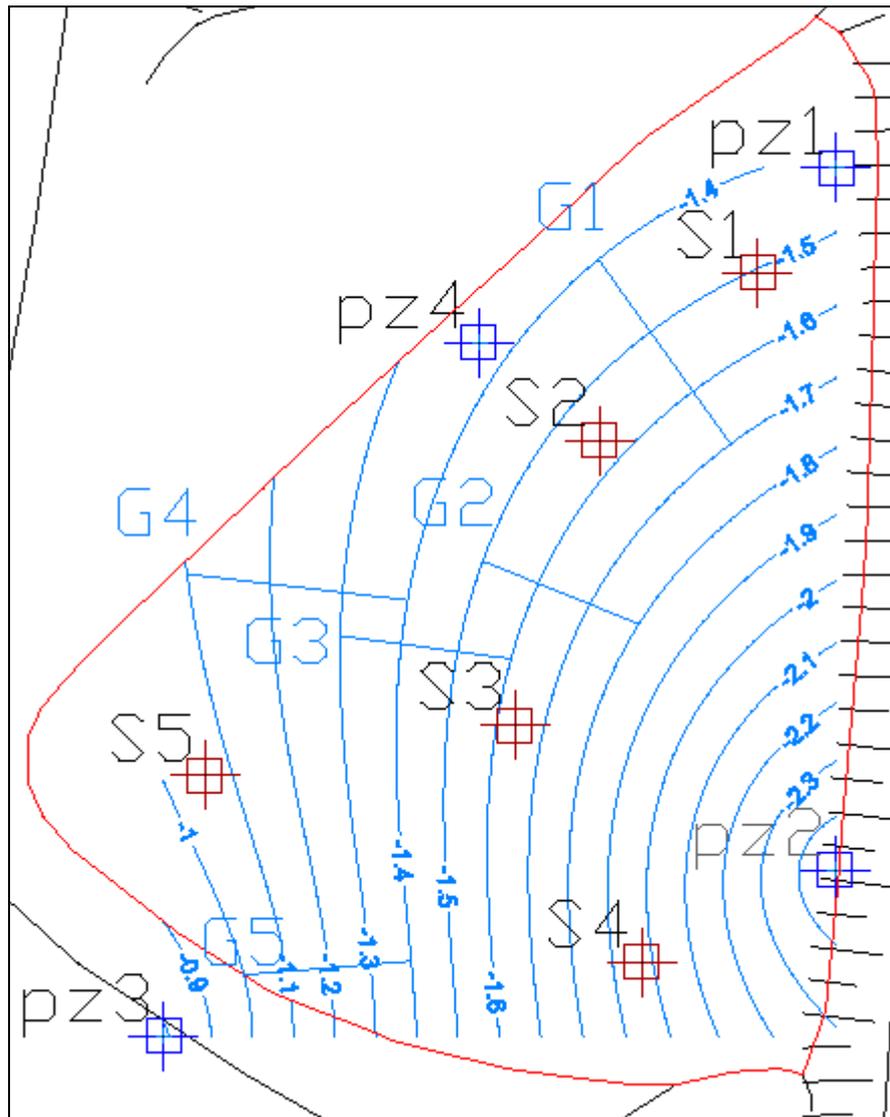


FIGURA 15. FREATIMETRIA GENNAIO 2019 (M SLM)

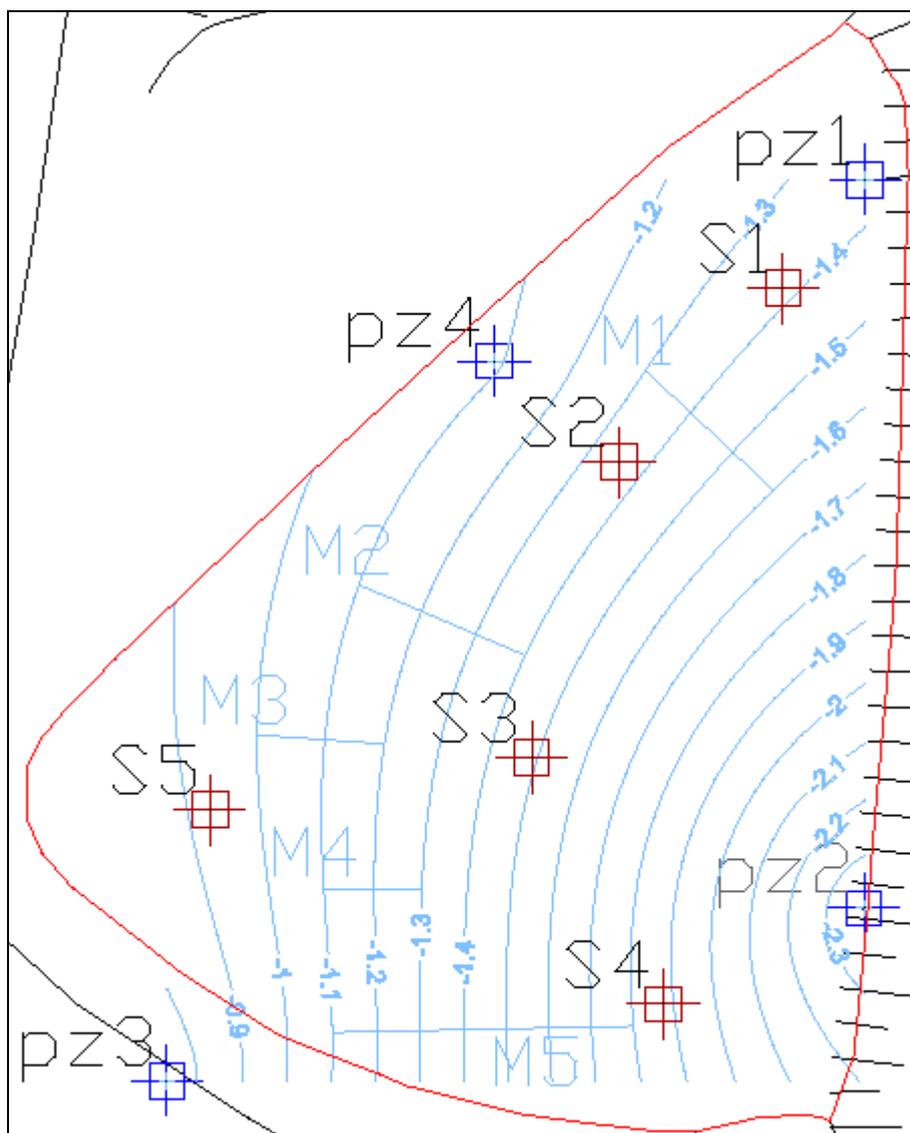


FIGURA 16. FREATIMETRIA MARZO 2019 (M SLM)

Considerando le superfici freatiche, risulta un gradiente medio pari a circa 0,01; in dettaglio si riportano nella seguente tabella diverse le determinazioni dei gradienti visualizzati nelle freatiche di cui sopra.

gen-19	dH (m)	dL (m)	i	mar-19	dH (m)	dL (m)	i
G1	0,3	33,2566	0,0090	M1	0,3	24,6031	0,0122
G2	0,3	24,6133	0,0122	M2	0,3	25,3925	0,0118
G3	0,3	25,1823	0,0119	M3	0,2	17,923	0,0112
G4	0,3	32,3535	0,0093	M4	0,2	13,7546	0,0145
G5	0,4	24,4741	0,0163	M5	0,7	42,3151	0,0165

TABELLA 5: GRADIENTI IDRAULICI



L'assetto stratigrafico ricostruito durante la fase di caratterizzazione, evidenzia un orizzonte acquifero costituito per lo più da alternanze di strati argillosi/argillosi - limosi, litologie poco permeabili e con saturazione poco evidente; orizzonti pertanto con caratteristiche al limite tra un acquifero ed un acquitardo, dove l'acqua intrappolata, si accumula lentamente nel piezometro.

Le soggiacenze rilevate nei piezometri superficiali Pz1, Pz3 e Pz4 possono essere interpretate quindi nell'ottica di cui sopra; soprattutto si può spiegare l'apparente contraddizione tra le evidenze stratigrafiche di campo ed i successivi rilievi freaticometrici.

Durante i sondaggi (spinti fino a 5 m da p.c.) e gli scavi delle trincee (spinti fino a 3 m da p.c.) infatti non sono state rinvenute evidenze di acque sotterranee; la soggiacenza rilevata successivamente nei piezometri Pz1, Pz3 e Pz4 è risultata decisamente inferiore alle profondità raggiunte da scavi e perforazioni (compresa a marzo 2019, tra 0,85 m e 2,37 m da b.p.). Considerato infine che durante le perforazioni non è stata incontrata alcuna sostanziale discontinuità litologica dal punto di vista della permeabilità, la ricarica dei piezometri è quindi dovuta principalmente alle acque presenti negli stessi orizzonti attraversati, che a fenomeni di risalita di acque in pressione.

Nel periodo del rilievo, il battente delle acque sotterranee presenta una pendenza in direzione all'incirca Ovest-Est. Tale assetto presume che il canale sia alimentato dalla falda ma si può altresì supporre che sia legato a fenomeni locali; mutevoli sulla base degli apporti meteorici stagionali.

### 3.6 PROVE IDRAULICHE IN SITU

---

Sono state effettuate delle prove Le Franc in corrispondenza dei piezometri Pz1, Pz3 e Pz4; prove finalizzate a stimare la permeabilità dei terreni in situ sottostanti il volume residuo di fanghi di dragaggio. Le prove sono state eseguite tutte nell'intervallo di profondità compreso tra 4,5 m e 5,0 m. Si rimanda per ogni dettaglio a quanto riportato in Allegato VI al rapporto tecnico "Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato "VASCA 7" " del febbraio 2017 – Prove di permeabilità Le Franc). I dati di cui al testo sopra citato sono quindi stati rielaborati e le permeabilità risultanti sono:

PZ3:  $K = 5,7 \times 10^{-5}$  m/s,

PZ4:  $K = 9,1 \times 10^{-6}$  m/s.

PZ1:  $K = 4,5 \times 10^{-6}$  m/s,



### 3.7 ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO – TERRENI

---

Le determinazioni analitiche sono state condotte, per tutti i campioni prelevati, sull'aliquota di granulometria inferiore ai 2 mm e la concentrazione del campione è stata determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro (ossia la frazione granulometrica compresa tra 2 mm e 2 cm).

Si vedano i Rapporti di Prova analitici in Allegato VI al rapporto tecnico “*Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato “VASCA 7”*” del febbraio 2017.

Le risultanze analitiche di laboratorio hanno evidenziato la conformità dei terreni indagati rispetto alle CSC di cui alla Tabella 1, colonna A dell'allegato 5 alla parte IV titolo 5 del D. Lgs. 152/2006 (siti aventi una destinazione d'uso assimilabile a “verde/residenziale”), con le seguenti eccezioni:

#### **Campioni da sondaggi geognostici**

- **Pz1:** Cadmio, Zinco e Benzo(a)pirene nell'intervallo 0,00-1,00 e da Berillio nel tratto 2,00m – 3,00m;
- **Pz3:** Cadmio e Benzo(a)pirene nell'intervallo 0,00-1,00;
- **Pz4:** Benzo(b)fluorantene, Benzo(a)pirene e Benzo(g,h,i)perilene nell'intervallo 0,00-1,00 e da Benzo(a)pirene nel tratto 2,00m – 3,00m;

#### **Campioni da sezioni di scavo**

- **S1:** nell'intervallo 0,00-1,00 Berillio, Cadmio, Zinco, idrocarburi C>12, IPA e PCB;
- **S2:** nell'intervallo 0,00-1,00 Piombo, Zinco, IPA;
- **S3:** nell'intervallo 0,00-1,00 Antimonio, IPA;
- **S4:** nell'intervallo 0,00-1,00 Cadmio, Cromo totale, Zinco, idrocarburi C>12, IPA e PCB;
- **S5:** nell'intervallo 0,00-1,00 Cadmio, Zinco, idrocarburi C>12, IPA.

Il fondo scavo si presenta nei limiti normativi quasi ovunque ad eccezione delle sezioni S3, S4 ed S5 che presentano tenori fuori norma di IPA e per il solo S4 di Berillio e Cadmio.

Le seguenti tabelle presentano tutti i risultati analitici delle analisi chimiche eseguite sui campioni di terreno prelevati dai saggi di scavo e dai sondaggi, comprensivi dei risultati dei controcampioni ARPAT (riportati evidenziati con il carattere verde i valori determinati da ARPAT, al posto dei corrispondenti determinati dalla Parte, laddove quest'ultimi fossero risultati minori).

Si riportano su sfondo rosso i superamenti della CSC.



Campione	ANTIMONIO	ARSENICO	BERILLIO	CADMIO	COBALTO	CROMO TOTALE	CROMO ESAVALENTE	MERCURIO	NICHEL	PIOMBO	RAME	SELENIO	ZINCO
U.M.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A	10	20	2	2	20	150	2	1	120	100	120	3	150
PZ3 (0-1m)	7,10	7,7	1,80	7,70	16,20	106,00	1,00	0,50	75	55,00	42,00	0,40	139,00
PZ3 (2-3m)	5,20	8,4	1,80	0,02	14,00	90,20	1,00	0,50	71,1	39,60	29,40	0,40	87,70
PZ1 (0-1m)	5,2	6,9	1,70	4,30	15,80	141,00	1,00	0,5	75	61,20	42,30	0,40	223,00
PZ1 (2-3m)	0,60	6	2,30	0,20	17,00	120,00	1,00	0,50	85,2	40,70	41,20	0,40	96,90
PZ4 (0-1m)	0,60	4,3	1,90	0,20	17,40	102,00	1,00	0,50	79,1	45,40	43,10	0,40	106,00
PZ4 (2-3m)	0,60	4	1,80	0,20	17,40	96,10	1,00	0,50	74,8	39,40	37,40	0,40	93,30
S1 (0-1m)	5,6	5,9	2,10	9,8	16,3	143,00	1,00	0,50	84,6	58,00	54,00	0,40	156,00
S1 (1-2m)	0,60	4,5	1,60	0,20	13,8	81,60	1,00	0,50	64,5	34,20	30,90	0,40	110,00
S1 (FONDO 3m)	0,60	4,1	1,90	0,20	17,3	98,10	1,00	0,50	74,4	35,60	33,10	0,40	83,90
S2 (0-1m)	1,2	5,6	1,30	1,4	11,8	62,40	1,00	0,50	54,3	146,00	68,00	0,40	218,00
S2 (1-2m)	0,60	3,90	1,6	0,20	18,4	88,9	1,00	0,50	78,10	73,3	49,7	0,40	101,00
S2 FONDO	0,60	3,3	1,40	0,20	16,2	80,90	1,00	0,50	73	28,80	31,80	0,40	85,40
S3 (0-1m)	1,3	3,8	1,80	1,3	16	96,70	1,00	0,50	71,8	38,10	34,10	0,40	92,00
S3 (1-2m)	0,60	4,6	1,60	0,20	12	88,70	1,00	0,50	62,4	44,90	40,60	0,40	113,00
S3 FONDO	0,60	5,3	1,90	0,20	14,5	103,00	1,00	0,50	75	35,40	36,10	0,40	89,10
S4 (0-1m)	1,2	7,2	1,80	20,6	15,6	174,00	1,00	0,50	69	82,00	76,70	0,40	281,00
S4 (1-2m)	0,60	3,3	1,40	7,4	13	85,90	1,00	0,50	57,4	48,80	43,80	0,40	127,00
S4 (FONDO 3m)	0,60	4,1	2,10	0,20	17,3	100,00	1,00	0,50	79,2	44,2	37,00	0,40	115,00
S5 (0-1m)	0,9	4,9	1,70	19,8	15,7	141,00	1,00	0,50	71,8	66,7	68,80	0,40	237,00
S5 (1-2m)	0,60	5,2	1,80	0,21	14,6	95,50	1,00	0,50	71,5	39,7	41,30	0,40	110,00
S5 FONDO	0,60	2,2	1,20	0,20	11,3	62,00	1,00	0,50	55,4	30,7	29,20	0,40	98,30

TABELLA 6: ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO SUI TERRENI - METALLI



Campione	Idrocarburi C>12	Acetanaftalene	Acetanaftene	Pirene	Benzo(a)antracene	Crisene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Indeno(1,2,3-c,d)pirene	Dibenzo(a,h)antracene	Benzo(g,h,i)perilene	Dibenzo(a,l)pirene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,i)pirene	Dibenzo(a,h)pirene	PCB
U.M.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A	50	5	5	5	0,5	5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06
PZ3 (0-1m)	170,0	0,05	0,02	0,12	0,21	0,10	0,16	0,11	0,18	0,18	0,05	0,17	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03
PZ3 (2-3m)	20,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
PZ1 (0-1m)	43,	0,02	0,03	0,13	0,53	0,11	0,48	0,30	0,54	0,47	0,09	0,39	0,02	0,10	0,02	0,02	0,01
PZ1 (2-3m)	20,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
PZ4 (0-1m)	20,0	0,05	0,02	0,42	0,33	0,34	0,51	0,26	0,36	0,02	0,02	0,19	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
PZ4 (2-3m)	20,0	0,02	0,02	0,36	0,02	0,14	0,11	0,38	0,20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S1 (0-1m)	100,0	0,10	0,02	1,40	1,10	0,91	1,30	0,70	0,94	0,62	0,11	0,55	0,02	0,11	0,02	0,02	0,08
S1 (1-2m)	20,0	0,02	0,02	0,15	0,02	0,06	0,04	0,15	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S1 (FONDO 0-3m)	20,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S2 (0-1m)	44,0	0,06	0,02	0,61	0,66	0,48	0,74	0,36	0,67	0,63	0,11	0,52	0,02	0,12	0,02	0,02	0,02
S2 (1-2m)	20,0	0,04	0,02	0,26	0,19	0,18	0,22	0,14	0,20	0,02	0,02	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S2 FONDO	20,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S3 (0-1m)	29,0	0,12	0,04	1,80	1,00	1,00	1,30	0,59	0,87	0,53	0,06	0,48	0,02	0,07	0,02	0,02	0,01
S3 (1-2m)	20,0	0,05	0,02	0,44	0,32	0,33	0,46	0,26	0,34	0,02	0,02	0,20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S3 FONDO	20,0	0,02	0,02	0,63	0,31	0,23	0,15	0,38	0,22	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S4 (0-1m)	500,6	0,67	0,02	0,67	0,60	0,54	0,96	0,41	0,58	0,68	0,10	0,61	0,02	0,14	0,02	0,02	0,18
S4 (1-2m)	20,0	0,08	0,02	0,46	0,41	0,35	0,53	0,28	0,36	0,02	0,02	0,27	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S4 (FONDO 0-3m)	20,0	0,03	0,02	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,12	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
S5 (0-1m)	500,6	0,17	0,02	1,70	1,40	1,20	1,70	0,80	1,10	1,00	0,20	0,88	0,02	0,18	0,02	0,02	0,06
S5 (1-2m)	20,0	0,02	0,02	5,30	0,02	1,80	1,40	3,20	2,00	0,02	0,02	0,02	0,10	0,10	0,08	0,16	0,01
S5 FONDO	20,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01

TABELLA 7: ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO SUI TERRENI – COMPOSTI ORGANICI

Si riportano infine nella seguente tabella le percentuali delle diverse componenti tessiturali (sabbie, limi e argille) ed i foc, riportati anch'essi nei medesimi Rapporti di prova.



Parametro	Sabbia grossa	Sabbia Fine	Limo	Argilla	foc
U.M.	%	%	%	%	g/Kg
PZ3 (0-1m)	16,3	13,5	38,7	31,5	19,95
PZ3 (2-3m)	1	15,7	21,3	63	1,54
PZ1 (0-1m)	12,6	11,4	39,8	36,2	18,55
PZ1 (2-3m)	1	8,3	33,2	58,5	1,63
PZ4 (0-1m)	13	27,3	35,1	24,6	8,54
PZ4 (2-3m)	1	13,7	29,4	56,9	1
S1 (0-1m)	10,2	19,1	38,5	32,2	16,02
S1 (1-2m)	1	3,6	38,2	58,2	5,17
S1 (FONDO 3m)	12	15,8	61,6	10,6	1,85
S2 (0-1m)	2,6	30,8	55,5	11,1	15,76
S2 (1-2m)	1	5,5	39,1	55,6	15,3
S2 FONDO	10,6	30	5,3	54,1	1
S3 (0-1m)	12,6	29,2	7,8	50,4	3,87
S3 (1-2m)	5,6	9,8	59	25,6	10,63
S3 FONDO	1,6	5,2	58,7	34,5	3,83
S4 (0-1m)	15,8	29,9	40,1	14,2	21,91
S4 (1-2m)	13,8	24,1	13,1	49	12,65
S4 ( FONDO 3m)	12,6	20,5	33,3	33,6	4,67
S5 (0-1m)	21,4	30,1	46,2	2,3	23,59
S5 (1-2m)	2,1	10,7	35,7	51,5	16,25
S5 FONDO	1,1	5,7	38,2	55	12,3

TABELLA 8: ANALISI GRANULOMETRICHE E FOC

### 3.7.1 SPESSORE DEI RESIDUI DEL FANGO DI DRAGAGGIO E STIMA DEI VOLUMI

Sulla base dell'indagine eseguita e tenuto conto dei limiti attuali nella definizione dell'interfaccia fanghi /substrato, nelle varie sezioni di scavo sono stati valutati cautelativamente spessori variabili mediamente da 1,0 e 1,50 m.

Tale valutazione nasce dalla correlazione tra la stratigrafia desunta dai tre sondaggi esterni alla vasca, dal campionamento delle trincee realizzate all'interno della vasca e dalla loro caratterizzazione chimica in funzione della profondità attraversata.

La stima dei volumi presenti, per quanto accurata, rimane esclusivamente una stima poiché non si hanno a disposizione notizie certe e affidabili circa l'effettiva profondità del fondo della vasca al momento della sua realizzazione, né sulla pendenza del fondo stesso (è pensabile che sia stata data una pendenza verso Est per favorire il drenaggio dei fluidi verso il Canale. Questa ipotesi è rafforzata dalla presenza di un tubo di drenaggio che raccorda l'ipotetico fondo vasca con il Canale dei Navicelli, passando al di sotto della via Alzaia. Il tubo di drenaggio è ubicato in prossimità dell'angolo in cui è stato realizzato il Piezometro denominato PZ1).



Con le premesse e i limiti sopra esposti, tenuto conto che nel mese di Settembre 2014, in ottemperanza a quanto richiesto dagli enti di controllo per il rilascio delle autorizzazione alla costruzione e all'utilizzo delle Vasche 1 e 2, sono stati asportati dal sito in esame circa 9.000 mc di terreno proveniente da passate attività di dragaggio, considerato che dall'analisi dei campioni riferiti alle diverse profondità di prelievo e sulla base del rilievo topografico effettuato e ragionevole supporre una volumetria residua di fanghi dell'ordine dei 9.000 – 10.000 mc.

### 3.8 ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO – ACQUE SOTTERRANEE

---

#### 3.8.1 CAMPIONAMENTO ACQUE SOTTERRANEE 2016

---

Le risultanze analitiche di laboratorio della campagna di monitoraggio del 2016 hanno evidenziano la conformità delle acque sotterranee rispetto alle CSC di cui alla Tabella 2 dell'allegato 5 alla parte IV titolo 5 del D. Lgs. 152/2006 (siti aventi una destinazione d'uso assimilabile a "verde/residenziale"), con le seguenti eccezioni:

- **Nichel** nei campioni prelevati dal Pz1 e dal Pz3;
- **Dibenzo[a,l]pirene** nei campioni d'acqua prelevati dai Pz2 e Pz4.

Relativamente a tale campagna si vedano anche i Rapporti di Prova analitici in Allegato VIII al rapporto tecnico "*Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato "VASCA 7"*" del febbraio 2017.

ARPAT ha riscontrato negli stessi campioni i seguenti superamenti delle rispettive CSC:

- **Cloruri** in tutti i piezometri;
- **Solfati** in PZ1 e PZ3;
- **Ioni ammonio** in Pz2 e PZ4;
- **Ferro, Manganese e Nichel** diffusi praticamente in tutti i piezometri.

#### 3.8.2 MONITORAGGIO ACQUE SOTTERRANEE GENNAIO 2019

---

Si riportano nella seguente tabella i risultati del campionamento acque effettuato il giorno 07 gennaio 2019. Tutte le risultanze analitiche di laboratorio sono state confrontate con le CSC di cui alla Tabella 2 dell'allegato 5 alla parte IV titolo 5 del D. Lgs. 152/2006.

Le risultanze analitiche di laboratorio hanno evidenziano la conformità delle acque sotterranee rispetto alle CSC, con le seguenti eccezioni:

- **Nichel** nei campioni prelevati dal Pz1, Pz2 e dal Pz3;



- Ioni ammonio in Pz2, Pz3 e PZ4;
- Cloruri e solfati in tutti i piezometri.

Analita	Unità di misura	CSC	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4
Idrocarburi Totali (come n-esano)	µg/l	350	286	202	100	164
Cadmio	µg/l	5	1,6	0,52	0,174	<0,1
Cromo Totale	µg/l	50	<1	<1	<1	<1
Nichel	µg/l	20	46	21,1	26,5	1,74
Piombo	µg/l	10	<1	<1	<1	<1
Zinco	µg/l	3000	19,9	13,9	<10	15,1
Mercurio	µg/l	1	<0,05	<0,05	0,08	0,125
Ammonio	mg/l	0,5	0,22	1,48	1,3	4,79
fluoruri	mg/l	1,5	0,289	0,34	0,425	0,447
cloruri	mg/l	250	7830	7570	7260	2830
nitriti	mg/l	50	1,01	<1	<1	<1
solfati	mg/l	250	2020	2210	1440	780

TABELLA 9: ANALISI CHIMICHE DI LABORATORIO – ACQUE SOTTERRANEE

Si riportano in allegato 2 i Rapporti di Prova analitici.

### 3.8.3 CONSIDERAZIONI SULLO STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE DI FALDA

Le risultanze analitiche del 2019, considerato il contesto idrogeologico, confermano sostanzialmente l'interpretazione ARPAT sulla origine naturale delle anomalie riscontrate nelle acque sotterranee già nel 2016; ovvero che cloruri e solfati sono dovuti fondamentalmente all'intrusione salina tramite il Canale, mentre ammoniaca e metalli disciolti in falda sono indice di condizioni riducenti dovute a fenomeni di degradazione della sostanza organica in un ambiente poco permeabile.

### 3.9 DETERMINAZIONE DEI COEFFICIENTI DI RIPARTIZIONE ACQUA - SUOLO

In data 25 febbraio 2019 sono stati prelevati dalla Committenza n. 4 campioni, ciascuno ad una quota compresa tra 0,5 e 1,5 m da p.c., in barattolo di vetro. Il campionamento è stato effettuato al fine di determinare il coefficiente di ripartizione Kd per i seguenti metalli: Cd, Zn, Cr tot, Be, Sb; nello specifico:

- Il valore del Kd del Berillio in prossimità del punto S1;
- Il valore del Kd del Piombo in prossimità del punto S2;



- Il valore del Kd dell'Antimonio in prossimità del punto S3;
- I valori dei Kd di Cadmio, Zinco, Cromo totale in prossimità del punto S4.

Si riporta di seguito il protocollo analitico adottato.

descrizione	metodica_analitica	um	lr
Cadmio	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	0,1
Cromo totale	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	5
Zinco	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	5
Cadmio	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	0,5
Cromo Totale	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	5
Zinco	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	50
Berillio	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	0,2
Berillio	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	0,4
Piombo	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	5
Piombo	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	1
Antimonio	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	1
Antimonio	PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	0,5

TABELLA 10: PROTOCOLLO ANALITICO PER LA DETERMINAZIONE DEI KD

La seguente tabella riporta infine i Kd così ottenuti (si vedano in allegato 3 i rispettivi Rapporti di Prova).

Parametro	UM	c/o S1	c/o S2	c/o S3	c/o S4
Antimonio	mg/kg			1,3	
Antimonio	µg/l			0,87	
Berillio	mg/kg	1,2			
Berillio	µg/l	< 0,40			
Cromo totale	mg/kg				48
Cromo Totale	µg/l				12
Piombo	mg/kg		54		
Piombo	µg/l		< 1,0		
Cadmio	mg/kg				4,8
Cadmio	µg/l				4,5
Zinco	mg/kg				65
Zinco	µg/l				< 20

TABELLA 11: DETERMINAZIONI ANALITICHE PER IL KD

Saranno pertanto adottati i seguenti valori più riportati nella seguente tabella.

Parametri	Kd adottato (mg/kg/mg/l)
Antimonio	1494
Berillio	3000
Cromo totale	4000
Piombo	54000
Cadmio	1067
Zinco	3250

TABELLA 12: CALCOLO KD



## 4. ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA

La presente sezione è dedicata alla descrizione dell'Analisi di Rischio (AdR) sanitaria ambientale svolta per le matrici ambientali interessate da superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), in ottemperanza all'art. 242 del D. Lgs. 152/2006 ed in conformità con quanto previsto nell'allegato 1 alla parte IV del titolo V del dello stesso D. Lgs 152/2006 e successive modifiche e integrazioni.

La normativa vigente individua la procedura di Analisi di Rischio come livello progettuale successivo al Piano di caratterizzazione, nel caso in cui siano stati registrati superamenti dei valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) indicati nella tabella 1 inserita in allegato 5 alla parte IV del titolo V del D.lgs. 152/2006.

La normativa (D. Lgs. 152/06) considera infatti le CSC come valori di attenzione oltre i quali un sito risulta potenzialmente contaminato e individua la necessità di procedere allo svolgimento di un'analisi di rischio sito specifica, mediante la quale vengono determinati i valori di concentrazione soglia di rischio (CSR). Questi ultimi, in base all'articolo 240 del D. Lgs. 152/2006, sono da intendersi come i livelli di contaminazione delle matrici ambientali da determinare caso per caso mediante l'analisi dei dati e dei parametri specifici del sito ed il cui superamento comporta la messa in sicurezza e la bonifica del sito medesimo. Le CSR costituiscono, di fatto, i nuovi limiti di accettabilità per il sito in esame a carattere sito specifico e a garanzia della tutela della salute umana. La determinazione delle CSR mediante lo svolgimento di un'Analisi di Rischio sito specifica sanitario – ambientale, rappresenta, pertanto, il passo successivo dell'iter tecnico amministrativo di una bonifica ai sensi dell'art. 242 del D. Lgs. 152/2006, alle indagini di caratterizzazione, quest'ultima si conclude infatti con la definizione delle CSR.

### 4.1 CONCETTI GENERALI

La procedura di Analisi di Rischio è di derivazione ASTM (American Society for Testing and Materials) ed è basata sul principio Risk-Based Corrective Action (RBCA) che consiste in un processo decisionale per programmare e progettare interventi su siti contaminati in considerazione dei rischi sanitari ed ambientali che effettivamente possono esistere. Le linee guida per lo svolgimento del Risk-Based Corrective Action (RBCA) sono definite nello standard ASTM E2081-00 (riapprovata nel 2004) che sostituisce il precedente ASTM PS104-98.

Sostanzialmente, lo standard ASTM individua un approccio metodologico graduale basato su livelli di valutazione successivi. Il passaggio da un livello di analisi a quello successivo comporta una caratterizzazione sempre più approfondita del sito in esame con conseguente abbandono di ipotesi



conservative, senza però modificare il grado di protezione nei confronti della salute umana e dell'ambiente.

Di seguito, riportiamo in breve i passaggi individuati nello standard ASTM per il processo RBCA:

- Il Livello 1 di analisi fa riferimento a condizioni sito generiche e rappresenta, pertanto, una prima valutazione di screening. Mediante il livello 1 di analisi di rischio si ricavano i Risk-Based Screening Levels (RBSLs), che rappresentano dei valori di screening sito generici delle concentrazioni accettabili nelle matrici ambientali. Nell'ambito del panorama della normativa italiana, le RBSLs sono individuabili nelle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) indicate nella tabella 1, allegato 5 alla parte IV del titolo V del D.lgs. 152/2006 per suolo e sottosuolo.
- Il Livello 2 di analisi fa invece riferimento a condizioni sito specifiche e rappresenta una valutazione di maggiore dettaglio. Nel livello 2 dell'analisi di rischio sono introdotti modelli analitici funzionali alla stima della concentrazione al punto di esposizione, partendo dalle ipotesi di base di trasporto in un mezzo isotropo ed omogeneo. Attraverso il livello 2 si possono calcolare i Site Specific Target Levels (SSTLs) individuabili, nella normativa italiana vigente, nelle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) sito specifiche.
- Il Livello 3 di analisi comporta l'esecuzione di un'analisi di rischio mediante modelli numerici complessi ed analisi probabilistiche che consentono di poter considerare l'eterogeneità del sistema e generalizzare la geometria della sorgente e delle condizioni al contorno. Naturalmente il passaggio dal Livello 2 al Livello 3 di analisi comporta una più approfondita caratterizzazione del sito abbandonando, di conseguenza, le ipotesi di partenza alla base del Livello 2 di analisi (i.e. mezzo isotropo e omogeneo, etc.).

Generalmente, una valutazione del rischio igienico sanitario e degli obiettivi di bonifica mediante un approccio di Livello 2 è da considerarsi un buon compromesso fra l'utilizzo di valori tabellari di screening (Livello 1 o, nel nostro caso, le CSC) e l'utilizzo di modelli numerici complessi (Livello 3).

La base fondamentale per lo svolgimento dell'analisi di rischio sito specifica mediante un approccio di Livello 2 consiste nella ricostruzione della realtà del sito in esame attraverso una schematizzazione che prende il nome di "modellizzazione". A monte dello svolgimento dell'analisi di rischio, pertanto, occorre definire il Modello Concettuale del Sito (MCS), ricostruibile in base alle informazioni raccolte durante le indagini ambientali svolte sul sito in esame nella fase di caratterizzazione. A tale proposito, si rimanda al Modello Concettuale del Sito inserito, a partire dal quale sono state formulate le considerazioni necessarie all'inserimento dei dati di input per lo svolgimento dell'analisi di rischio.

Come è noto, il Modello Concettuale del Sito individua sorgenti di contaminazione, meccanismi di trasporto dei contaminanti, vie di esposizione alla contaminazione e bersagli con i quali può venire



a contatto uno o più contaminanti. Per quanto concerne la sorgente di contaminazione, si sottolinea che la procedura di analisi di rischio parte dal presupposto che la contaminazione delle matrici ambientali sia già avvenuta ad opera di una sorgente di contaminazione primaria. In relazione a ciò il Modello Concettuale del Sito (MCS) alla base dell'analisi di rischio contiene, come sorgente di contaminazione, la sorgente secondaria individuabile nelle matrici ambientali suolo, sottosuolo, acque sotterranee o superficiali contaminate ad opera della sorgente primaria e che, a loro volta, possono diventare veicoli per la diffusione della contaminazione verso altri comparti ambientali o verso potenziali recettori.

Relativamente al caso in esame, considerate le premesse e le indagini complessivamente svolte sul sito, al fine dello svolgimento dell'AdR si individuano le sorgenti secondarie di potenziale contaminazione nei comparti ambientali suolo insaturo superficiale e profondo.

Il processo di valutazione delle CSR per i parametri che hanno mostrato superamenti rispetto alle CSC è partito, quindi, dalla formulazione di un Modello Concettuale del Sito inteso come schematizzazione della situazione reale, caratterizzata da eterogeneità e complessità, che consenta di rappresentare la realtà in modo adeguato e sufficientemente conservativo.

Si chiarisce, inoltre, che l'Analisi di Rischio, secondo quanto espressamente richiesto negli allegati tecnici del D. Lgs. 152/06 e successive modifiche e integrazioni, è stata svolta in linea con il principio di cautela (o conservatività), che ha caratterizzato ogni fase del processo e che ha guidato la scelta dei dati di partenza quali parametri sito-specifici, parametri di esposizione, dati di tossicità. In tal senso, la presente analisi è stata condotta mirando a massimizzare l'esposizione ed il rischio per il bersaglio in maniera tale da caratterizzare il "caso peggiore" e garantire che i risultati ottenuti fossero effettivamente protettivi per la salute dei bersagli umani.

Tutti i dati e le informazioni utilizzati per lo svolgimento della presente analisi di rischio sono in linea con quanto descritto nello standard ASTM E2081 (2004), in conformità con quanto riportato in allegato 1 alla parte IV del titolo V del D.lgs. 152/2006. In tal senso, quindi, sono stati utilizzati fonti bibliografiche di riconosciuta valenza internazionale nel campo dell'analisi di rischio quali documenti U.S. EPA, UNEP, WHO, oltre alla documentazione elaborata dagli enti scientifici APAT e ISS.

Ricordiamo ancora che la procedura di analisi di rischio igienico sanitaria può avere un duplice obiettivo finale:

- 1) stimare quantitativamente il rischio per la salute umana connesso ad uno specifico sito, in termini di valutazione delle conseguenze legate alla sua situazione qualitativa;
- 2) individuare i valori di concentrazione accettabili nel suolo e nella falda vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito (concentrazioni soglia di rischio – CSR).



I due distinti risultati derivano dalla applicazione della procedura di analisi di rischio assoluta secondo due differenti modalità:

- Modalità diretta (forward mode) che permette il calcolo del rischio associato al recettore esposto derivante da una sorgente di contaminazione di concentrazione nota;
- Modalità inversa (backward mode) che permette il calcolo della massima concentrazione ammissibile in sorgente compatibile con il livello di rischio ritenuto accettabile per il recettore esposto.

Nel caso in oggetto, l'analisi di rischio è stata svolta in modalità inversa, al fine di calcolare le concentrazioni soglia di rischio CSR.

Tale concentrazione rappresenta, nel Livello 2 di applicazione dell'analisi di rischio, l'obiettivo di bonifica specifico per il sito in esame. In particolare, stabilita la soglia di rischio tollerabile e utilizzando le formule inverse della procedura diretta, si ottiene una concentrazione accettabile nel punto di esposizione ed infine, per mezzo dei fattori di trasporto, si arriva a stimare la concentrazione accettabile in sorgente.

Tale metodologia permetterà di definire in dettaglio le attività di bonifica e/o messa in sicurezza eventualmente necessarie per l'area relativamente alla sito-specificità dei contaminanti e delle sorgenti di contaminazione.

I valori obiettivo di bonifica SSTL (Site Specific Target Levels) o CSR sono, pertanto, calcolati mediante le seguenti formule che tengono conto della concentrazione accettabile al punto di esposizione ed utilizzano le formule di trasporto al contrario.

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.** per le sostanze non cancerogene

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.** per le sostanze cancerogene

Di fatto, il rischio causato dalle sostanze non cancerogene viene caratterizzato e valutato associando le stime di assunzione alle stime di tossicità della sostanza, mentre il rischio dovuto alle sostanze cancerogene è espresso come la probabilità che un individuo contragga il cancro in seguito ad una esposizione cronica alla sostanza stessa. In generale, le sostanze tossiche non cancerogene vengono qualificate dal parametro NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) al di sotto del quale gli studi di laboratorio e quelli epidemiologici non hanno mostrato effetti nocivi. Il NOAEL viene poi convertito in TDI (Tolerable Daily Intake), o RfD (Reference Dose) in USA, sulla base di fattori di incertezza ed opportune estrapolazioni. TDI ed RfD sono espressi in mg/kg-giorno.



I potenziali effetti non-carcinogenici, sono valutati poi attraverso il calcolo dell'indice di pericolo cronico (IR o HI), il quale per ciascun composto di interesse e via di immissione viene espresso come il rapporto tra l'immissione e la dose di riferimento. La dose di riferimento (RfD) costituisce il valore limite di immissione conservativamente indicato e deve risultare superiore alla dose effettivamente immessa (indice di rischio <1) per non avere possibilità di effetti avversi per la salute umana. Quando si considera più di un composto di interesse e più di un mezzo di immissione, l'indice di pericolo è espresso come sommatoria dei rapporti tra immissione e dose di riferimento. Se la risultante della sommatoria è <1, gli effetti sulla salute umana possono considerarsi nulli.

Il Non Cancer Hazard Quotient è espresso dalla seguente equazione:

$$\text{NonCancerHazardQuotient} = \frac{E}{RfD}$$

dove

E = assunzione (mg/kg-giorno)

RfD = Reference Dose (mg/kg-giorno)

Come detto, l'indice di rischio risulta accettabile se inferiore all'unità.

Per quanto concerne le sostanze cancerogene, non esiste invece una dose di soglia in quanto anche una dose infinitesima potrebbe dare luogo ad effetti nocivi. Pertanto, la relazione dose/effetto è espressa in termini di probabilità incrementale di tumore in seguito alla assunzione di una certa dose. Sulla base del modello lineare della relazione dose/effetto, valido per basse dosi, viene dedotto il parametro SF (Slope Factor), pendenza della retta, che indica il potere cancerogeno di una sostanza. Lo SF è espresso in (mg/kg-giorno)<sup>-1</sup>. Gli effetti cancerogeni sono, quindi, quantificati mediante la stima della probabilità (Rischio) di contrarre il cancro.

Il Cancer Risk è espresso dall'equazione seguente:

$$\text{CancerRisk} = \text{CDI} \cdot \text{SF}$$

dove

CDI =Chronic Daily Intake mediato su 70 anni (mg/kg-giorno)

SF = Slope Factor 1 /(mg/kg-giorno)

Il valore adimensionale che si ricava da questo prodotto esprime la probabilità di un individuo di contrarre il cancro nel corso della sua vita a causa dell'esposizione a quella sostanza, ad esempio Cancer Risk = 2·10<sup>-5</sup> significa che 2 individui su 100.000 potranno contrarre il cancro nel corso della vita. Il valore di rischio incrementale accettabile nel corso della vita come obiettivo di bonifica

---



nei riguardi delle sostanze cancerogene cui fare riferimento, già riportato nei più condivisi approcci europei riflessi nelle normative nazionali e nell'analisi condotta dal Network CARACAS, oltre che sulla base del criterio adottato dall'OMS nella derivazione degli standard per l'acqua potabile stabilito nelle linee guida APAT, è pari a  $1 \times 10^{-6}$  nel caso di rischio individuale e  $1 \times 10^{-5}$  nel caso di rischio cumulativo.

Dunque, ai fini del calcolo delle CSR è necessario porre rischio e indice di pericolo accettabile, parametri tossicologici, portata effettiva di esposizione, fattori di trasporto (tenendo conto della migrazione verso bersagli di tipo on-site e off-site) e criteri di calcolo delle concentrazioni obiettivo di bonifica in presenza di più vie d'esposizione.

Relativamente ai parametri tossicologici (ed anche fisico chimici) si fa riferimento nel presente documento ai valori della Banca dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018 (nota INAIL acquisita dal MATTM con Prot. 6919 del 4 aprile 2018). Detta nuova versione della Banca dati ISS-INAIL ha previsto, rispetto alle precedenti, tra le altre cose per gli agenti chimici tossici e cancerogeni la sostituzione rispettivamente dei due parametri tossicologici inalatori RfD Inal. e SF Inal. con RfC e lo IUR; "in accordo con quanto contenuto nel documento [EPA, 2009], secondo cui i parametri tossicologici da utilizzare per la stima del rischio sanitario inalatorio debbono essere espressi in termini di concentrazione e non di dose"<sup>1</sup>. Le equazioni per la stima del rischio inalatorio diventano quindi:

$$R = \frac{C_{aria} * IUR * EF_g * EF * ED}{AT * 365 \frac{giorni}{anno} * 24 \frac{h}{giorno}} \quad (\text{per effetti cancerogeni})$$

$$HQ = \frac{C_{aria} * EF_g * EF * ED}{RfC * 10^3 * AT * 365 \frac{giorni}{anno} * 24 \frac{h}{giorno}} \quad (\text{per effetti non cancerogeni})$$

dove:

R e HQ: Rischio e Hazard Quotient [adim.]

$C_{aria}$ : concentrazione dell'inquinante in aria [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], stimata a mezzo del fattore di trasporto

$EF_g$ : frequenza giornaliera di esposizione [h/giorno]

EF: frequenza di esposizione [giorni/anno]

---

<sup>1</sup> Documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL (Marzo 2018), pagine 5 – 6.



ED: durata dell'esposizione [anni]

AT: tempo medio di esposizione [anni]

#### **4.2 ASSUNZIONI GENERALI E LIMITAZIONI**

---

L'Analisi di Rischio è stata elaborata sulla base dei dati acquisiti tramite le indagini ambientali effettuate, e sulla base del Modello Concettuale utilizzando i dati derivanti dalle indagini precedentemente descritte e ipotesi ampiamente conservative.

La formulazione delle assunzioni è stata effettuata sulla base del giudizio professionale, in accordo con le attuali conoscenze scientifiche e con gli standard adottati, al fine di garantire la conservatività ed il rigore scientifico dei risultati.

Per ciò che riguarda la valutazione della tossicità/cancerogenicità delle sostanze indice si è fatto riferimento ai valori più aggiornati contenuti nel database redatto dall'Istituto Superiore di Sanità ISS e dall'Istituto Nazionale per la Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro INAIL (pubblicato nel marzo 2018).

In via cautelativa, in generale si assume l'additività del rischio delle singole sostanze cancerogene e l'additività dell'indice di rischio non cancerogeno delle singole sostanze non cancerogene, indipendentemente dagli organi-bersaglio. Non sono considerati eventuali effetti sinergici o interazioni antagonistiche delle sostanze indice.

Le elaborazioni di Analisi di Rischio sono finalizzate alla valutazione di esposizioni croniche di recettori umani e del recettore acque di falda e non includono valutazioni ecologiche od organolettiche relative alle matrici ambientali considerate.

Inoltre, la presente Analisi di Rischio non si applica ai lavoratori che potrebbero venire a contatto con i terreni potenzialmente contaminati durante eventuali attività di scavo in quanto, in fase di cantiere, i rischi potenziali derivanti da tali attività (per es. inalazione di polveri) saranno valutati ai sensi della normativa vigente in materia di sicurezza e salute dei lavoratori da attuare in cantieri temporanei o mobili (Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008).

#### **4.3 CRITERIO GENERALE PER IL CALCOLO DELLE CSR**

---

L'applicazione della procedura di Analisi di Rischio secondo la modalità inversa permette, per ogni specie chimica contaminante, il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici per ciascuna matrice sorgente di contaminazione; ossia del valore di concentrazione massimo ammissibile, in corrispondenza di ogni sorgente secondaria di contaminazione (Concentrazione Soglia di Rischio, CSR), compatibile con il livello di rischio tollerabile per il recettore esposto.



In primo luogo, vengono calcolate le CSR per la singola sostanza. Successivamente, in accordo con i criteri ISPRA, per il calcolo delle CSR per più vie di esposizione, le CSR finali vengono definite a partire dai valori più conservativi tra le CSR calcolate per i diversi percorsi attivi.

Una volta individuate le CSR relative al percorso più critico, vengono determinate le CSR finali, generalmente in modo iterativo, al fine di garantire l'accettabilità del rischio sia per le singole sostanze sia per la presenza contemporanea di più sostanze (rischio cumulato).

Si noti che, sebbene il calcolo delle CSR per le singole sostanze è univoco per un determinato modello concettuale, il calcolo delle CSR finali (rischio cumulato) ammette più soluzioni accettabili; la soluzione proposta è stata modulata in funzione del contributo al rischio delle singole sostanze per il modello concettuale considerato. Laddove necessario, le CSR per la singola sostanza possono essere ridotte applicando un fattore di riduzione al fine di determinare delle CSR "sanitarie" cumulate tali da calcolare un valore di rischio cumulato accettabile per tutti i recettori.



## 5. FORMULAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

Il Modello Concettuale del Sito (MCS) ha la finalità di individuare le potenziali fonti primarie e secondarie, pregresse e ancora in essere della contaminazione e le vie di diffusione della medesima contaminazione verso potenziali bersagli ambientali e umani.

Nel caso in esame il Modello Concettuale del Sito (MCS) è stato formulato in base alle informazioni storiche disponibili ed alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area integrate con i risultati analitici ottenuti dalle indagini ambientali svolte e con le prove di campo eseguite.

Tale modello, è strutturato per l'individuazione dei seguenti aspetti:

- tipologia delle sorgenti di contaminazione;
- tipologia delle vie di diffusione della contaminazione;
- tipologia dei bersagli della contaminazione.

### 5.1 TIPOLOGIA DELLE FONTI DI CONTAMINAZIONE

Le sorgenti di contaminazione sono differenziate in primarie e secondarie. Le sorgenti primarie sono rappresentate dall'elemento o dagli elementi che sono causa di inquinamento, mentre quelle secondarie dagli elementi soggetti alla contaminazione diretta (come acqua, suolo, aria) che a loro volta possono diventare fattori di trasferimento di inquinanti verso altri comparti ambientali o verso bersagli.

I residui del fango di dragaggio, considerati i rimaneggiamenti succedutisi nel tempo e l'affinità litologica con il substrato sono ormai indistinguibili da quest'ultimo; come evidenziato infatti anche da ARPAT nelle conclusioni del Parere del 14/02/2018, i residui del fango di dragaggio sono "ormai interamente inglobati con il substrato argilloso-limoso tanto da non essere più distinguibili da quest'ultimo".

Le caratteristiche litologiche del substrato hanno poi limitato il trasferimento degli inquinanti rilevati, di origine sicuramente antropica (idrocarburi pesanti C>12, IPA ed alcuni metalli) dai fanghi al substrato stesso.

Tali fanghi, per quanto tecnicamente identificabili come fonti primarie di potenziale contaminazione, saranno, visto quanto sopra, assunti, nello sviluppo della analisi di rischio (AdR), come parte delle sorgenti secondarie, ovvero suolo superficiale (SS) e suolo profondo (SP).

Relativamente alla matrice ambientale falda freatica superficiale sono stati riscontrati superamenti delle CSC ascrivibili però al contesto geochimico e idrogeologico del sito, ovvero condizioni



riducenti in un ambiente poco permeabile dovute a fenomeni di degradazione di sostanza organica naturalmente presente nel terreno (dalle quali la presenza di ammoniaca e metalli), associate agli effetti dovuti all'intrusione salina tramite il Canale (da cui la presenza di cloruri e solfati). I limitati superamenti della CSC rilevati in Pz2 e Pz4 nella campagna del 13/10/2016 di Benzo[b]fluorantene, non sono stati rilevati da ARPAT nel rispettivo controcampione.

## 5.2 POTENZIALI VIE DI DIFFUSIONE

A seguito della definizione della tipologia delle fonti di contaminazione di un sito, si passa alla valutazione dei possibili percorsi di migrazione della contaminazione stessa ed alle possibili modalità di esposizione dei bersagli alla contaminazione

In relazione agli esiti del piano di caratterizzazione sono state valutate le potenziali vie di diffusione della contaminazione, sintetizzate nel seguente generico schema di modello concettuale.

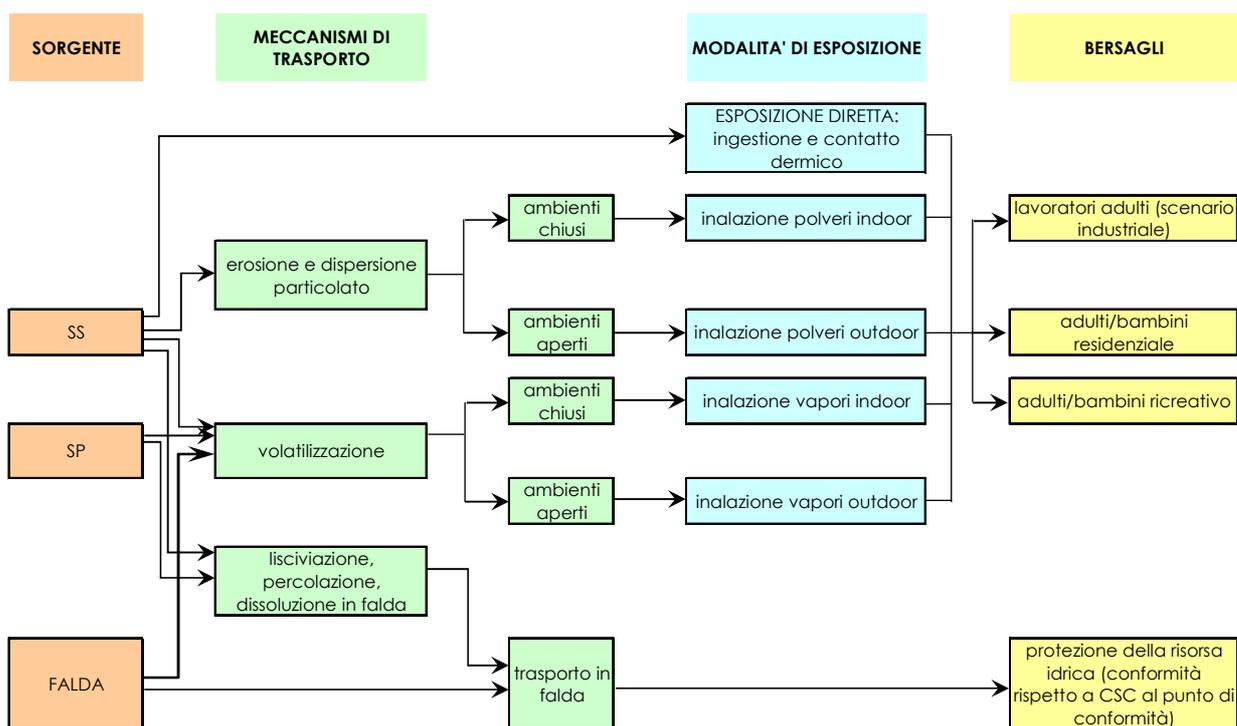


FIGURA 17. SCHEMA GENERICO MODELLO CONCETTUALE

Di seguito si riporta una sintesi di tutte le possibili vie di migrazione verso i comparti ambientali, indicando quali di queste risultino attive e quali inattive in funzione dei risultati della Caratterizzazione.



**Esposizione diretta mediante ingestione e contatto dermico nelle aree prive di impermeabilizzazione superficiale:** tale via di esposizione risulta attiva solo a partire dalla sorgente di contaminazione suolo superficiale nelle aree caratterizzate dall'assenza di un manto impermeabile superficiale. La via di esposizione diretta mediante ingestione e contatto dermico risulta attiva in quanto l'area in esame risulta essere NON pavimentata e sono presenti superamenti di CSC nella matrice suolo superficiale.

**Aerodispersione delle particelle fini nelle aree non asfaltate con conseguente inalazione di polveri indoor o outdoor:** per tale via di esposizione valgono le medesime considerazioni effettuate relativamente alle vie di esposizione diretta, in quanto la aerodispersione delle particelle può avvenire solo da una sorgente in suolo superficiale in aree non asfaltate e nelle quali la sorgente di contaminazione risulta superficiale. La presente via di migrazione/esposizione quindi risulta anch'essa attiva per il sito in esame per quanto già detto al punto precedente.

**Volatilizzazione dei composti maggiormente volatili e dispersione in aria o accumulo in ambienti confinati con conseguente inalazione di vapori indoor e outdoor:** la via di migrazione mediante volatilizzazione di vapori con possibile esposizione attraverso inalazione può risultare attiva per i soli composti dotati di una certa tensione di vapore. Nel caso in esame tale via risulta non attiva in quanto tutti i superamenti riscontrati sono relativi a composti non volatili.

**Dilavamento dei contaminanti da suolo per fenomeni di infiltrazione delle acque meteoriche e per lisciviazione e dissoluzione in falda:** tale percorso di migrazione può risultare attivo nel caso in cui vi sia una sorgente di contaminazione secondaria nella matrice ambientale suolo e sottosuolo. In ragione dei superamenti per la matrice suolo e sottosuolo, tale percorso risulta attivo.

**Trasporto di contaminanti disciolti in falda verso bersagli off site:** la via di migrazione mediante trasporto in falda risulta attiva in quanto vi è una contaminazione accertata della matrice ambientale acque sotterranee; in questo caso però i superamenti riscontrati sono ascrivibili al contesto geochimico e idrogeologico del sito (cfr. paragrafo 5.1); pertanto coerentemente anche con quanto previsto dalla DD-16B/1264 del 30/10/2018, l'AdR sarà sviluppata considerando i percorsi attivi dai soli suoli insaturi.

### 5.3 TIPOLOGIA DEI POTENZIALI BERSAGLI DELLA CONTAMINAZIONE

---

I bersagli della contaminazione sono generalmente suddivisi in ricettori ambientali e ricettori umani. I ricettori ambientali sono identificati nella flora e nella fauna, quali piante, coltivazioni, acque superficiali e profonde, zone protette o habitat particolari; mentre i ricettori umani si distinguono in residenti e frequentatori presenti nell'area di influenza (bersagli in scenario residenziale) e/o nei lavoratori presenti sul sito (bersagli in scenario industriale). I bersagli si possono, inoltre,



distinguere in base alla loro localizzazione in bersagli on-site, se presenti in corrispondenza della sorgente di contaminazione, e off-site, se localizzati ad una certa distanza dalla stessa.

L'individuazione dei ricettori della contaminazione deve inoltre essere eseguita attraverso la valutazione di alcuni importanti parametri quali:

- uso attuale e futuro del sito e dell'ambiente circostante;
- condizioni ambientali critiche (i.e. aree protette, riserve naturali, falde soggette a vincolo idrogeologico, habitat tipico di specie a rischio);
- presenza e distanza dal sito inquinato dei potenziali bersagli antropici e naturali dell'inquinamento.

Considerando che il sito è un'area in aperta campagna, privo di ambienti indoor, dove attualmente non si svolge alcuna attività lavorativa, in prossimità di una strada sterrata lungo il Canale dei Navicelli e di altri sentieri potenzialmente frequentati sostanzialmente da escursionisti, sono individuabili dei **bersagli umani** on – site in ambito ricreativo (scenario verde/residenziale). Sono stati individuati anche come possibili bersagli umani off-site i lavoratori (bersagli in scenario commerciale/industriale) che operano nei piazzali dei cantieri situati di fronte al sito, al di là del Canale mostrati nella seguente figura.



FIGURA 18: POSSIBILI BERSAGLI UMANI OFF-SITE

Per quanto riguarda i **bersagli ambientali**, essi sono individuabili nelle acque sotterranee (falda freatica superficiale).



## 5.4 SINTESI DEL MODELLO CONCETTUALE

Si visualizzano nelle seguenti figure i diagrammi che sintetizzano il Modello Concettuale del Sito così costruito, in termini di sorgenti, vie di migrazione e modalità di esposizione prese in considerazione per l'area in esame.

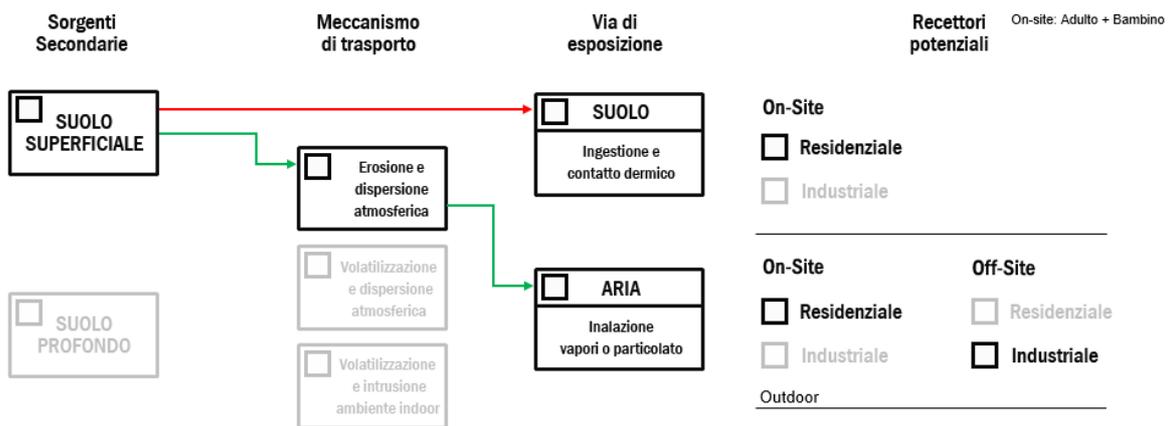


FIGURA 19: SCHEMA A BLOCCHI DEL MCS A PROTEZIONE DELL'UOMO

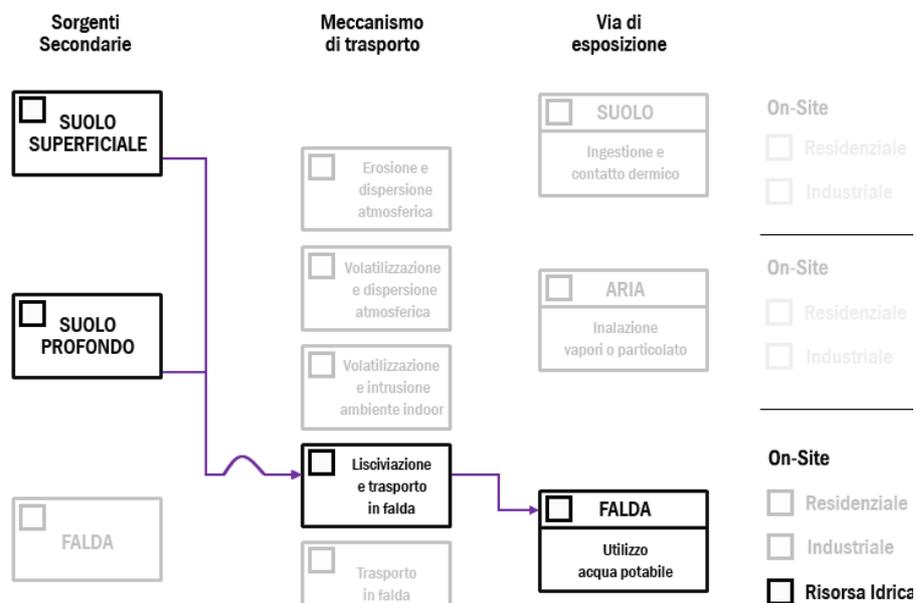


FIGURA 20: SCHEMA A BLOCCHI DEL MCS A PROTEZIONE DELLA FALDA IDRICA



## 6. PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Lo svolgimento di un'analisi di rischio igienico sanitaria sito-specifica comporta la formulazione di un Modello Concettuale del Sito (MCS) che schematizzi in modo adeguato e sufficientemente conservativo la realtà in esame. Il modello concettuale del sito può essere elaborato sia tenendo in considerazione lo stato attuale sia considerando i possibili futuri scenari di un'area.

Nel caso in oggetto, l'analisi di rischio è stata svolta considerando lo scenario corrente al fine di valutare il rischio e definire le CSR sito-specifiche.

Tutto ciò premesso, è stato definito il Modello Concettuale del Sito (MCS) che è la base di partenza per l'elaborazione dell'analisi di rischio sito-specifica in termini di:

- individuazione e caratteristiche della sorgente di contaminazione;
- valutazione e scelta dei contaminanti;
- definizione delle vie di diffusione della contaminazione nelle varie matrici ambientali;
- identificazione dei bersagli della contaminazione;
- identificazione degli scenari di esposizione alla contaminazione del bersaglio umano;
- ricostruzione degli scenari di rischio.

Costruito il Modello Concettuale del Sito (MCS) alla base dell'analisi di rischio igienico sanitaria, si possono, quindi, definire nel dettaglio le caratteristiche della sorgente e delle vie di diffusione della contaminazione, dei bersagli e delle vie di esposizione attraverso le quali essi interagiscono con le matrici potenzialmente contaminate.

Per applicare la procedura di analisi di rischio è necessario quindi eseguire una schematizzazione concettuale e fisica di elementi del mondo reale tra cui, principalmente, la geometria del sito e della sorgente di contaminazione.

Come precedentemente detto, le sorgenti di contaminazione secondarie sono state identificate nelle matrici ambientali:

- suolo insaturo superficiale (SS);
- suolo insaturo profondo (SP).

Il dataset inerente il suolo insaturo superficiale e profondo è costituito dai campioni prelevati nella campagna di caratterizzazione di agosto 2016.



Di seguito, si riportano tipologia e caratteristiche geometriche delle sorgenti di contaminazione schematizzate per lo svolgimento della presente analisi di rischio, nonché le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti di interesse, ovvero quelli che sono stati selezionati in relazione ai superamenti registrati nei campioni prelevati sul sito.

Le ipotesi iniziali di semplificazione di un sistema complesso quale quello in esame ai fini dello svolgimento dell'analisi di rischio sono le seguenti:

- Sorgente di contaminazione omogenea ed isotropa;
- Sorgente di contaminazione caratterizzata da geometria regolare rispetto alle direzioni prevalenti della falda sotterranea e del vento;
- Valori di input costanti nel tempo.

Ciò premesso, di seguito si riportano le assunzioni e semplificazioni effettuate per il caso in esame necessarie alla definizione delle caratteristiche delle sorgenti di contaminazione individuate sull'area. La procedura per la delimitazione di una o più sorgenti all'interno di un sito è stata ricavata dall'Appendice D del documento Risk Assessment Guidance for Superfunds (US EPA, 2001) e riportata anche nelle linee guida APAT. I criteri indicati nelle linee guida APAT ripresi dall'Appendice D del documento Risk Assessment Guidance for Superfunds (US EPA, 2001), per la schematizzazione areale della sorgente di contaminazione, indicano quanto segue:

- Suddivisione in poligoni di influenza dell'area oggetto d'indagine, secondo la strategia di campionamento adottata:
  - Campionamento ragionato (secondo i poligoni di Thiessen);
  - Campionamento sistematico (celle a maglia regolare);
    - Determinazione della continuità spaziale delle sorgenti;
    - Analisi del vicinato dei poligoni/celle con  $C < CSC$ .

Nel caso specifico è stata adottata una suddivisione del sito in poligoni di Thiessen.

## 6.1 SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE: SUOLO SUPERFICIALE

---

Il data set inerente al suolo insaturo superficiale (SS) è costituito dai campioni prelevati in occasione delle indagini di caratterizzazione. Sono di seguito elencati tutti i campioni inerenti la matrice ambientale SS:

- PZ3 (0-1m)
- PZ1 (0-1m)
- PZ4 (0-1m)



- S1 (0-1m)
- S2 (0-1m)
- S3 (0-1m)
- S4 (0-1m)
- S5 (0-1m)

La Tavola 3 e la seguente figura riportano l'ubicazione dei sondaggi che hanno prodotto campioni nel SS e la geometria dei corrispondenti poligoni di Thiessen.

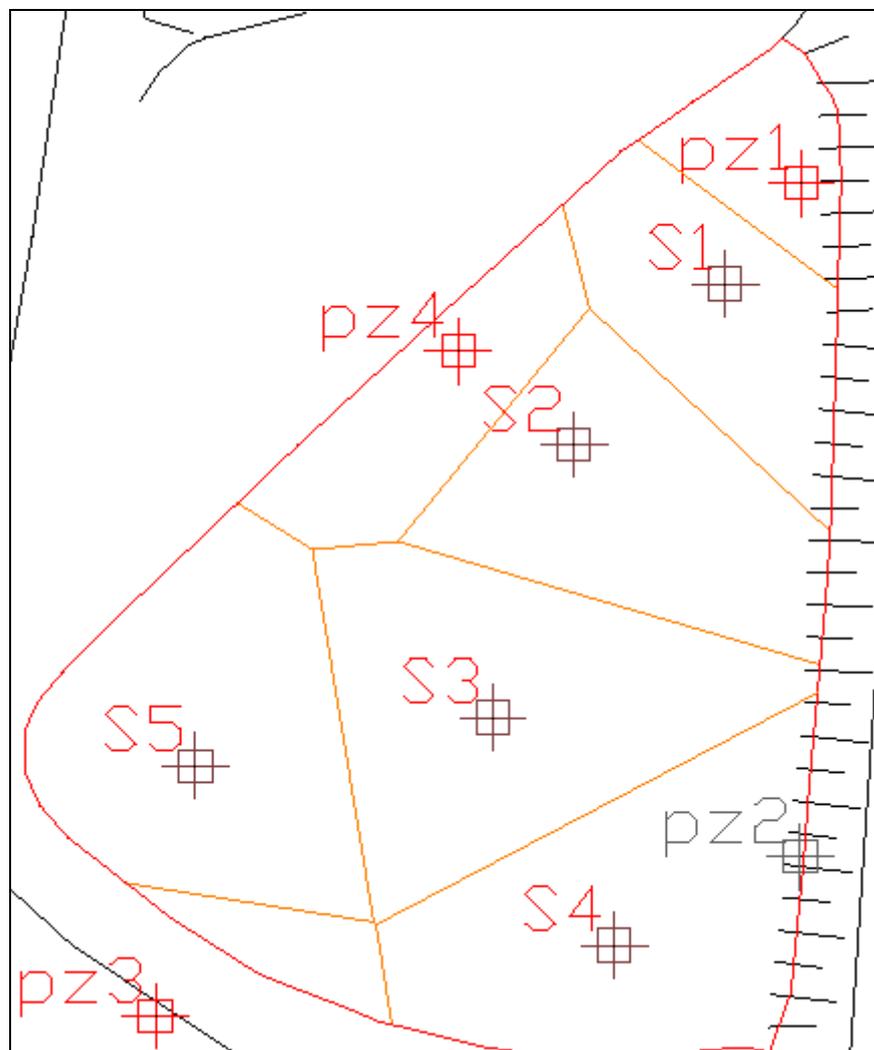


FIGURA 21- POLIGONI DI THIESSEN NEL SUOLO SUPERFICIALE



### 6.1.1 DELIMITAZIONE AREALE DELLE SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE (SS)

Le Tavole 4, 5 e le seguenti figure riportano la suddivisione del sito in poligoni di Thiessen con evidenziati i poligoni con superamenti delle CSC. Si individuano così tre distinte sorgenti denominate SS1, SS2, SS3 che rappresentano le sorgenti di potenziale contaminazione nel suolo superficiale. In dettaglio:

- SS1 comprende i superamenti di PCB nel poligono poligoni centrato sul punto S1 (Tavola 4);
- SS2 comprende i superamenti di PCB nel poligono centrato sul punto S4 (tavola 4);
- SS3 copre tutto il sito e comprende i superamenti di Antimonio, Berillio, Cadmio, Cromo totale, Piombo, Zinco, Idrocarburi totali C>12 ed IPA (Tavola 5).

Le sorgenti del tutto o parzialmente sovrapposte saranno poi cumulate fra loro. Il cumulo avverrà per ogni scenario attivo; ovvero saranno cumulate fra loro le CSR delle diverse sorgenti relative agli stessi scenari.

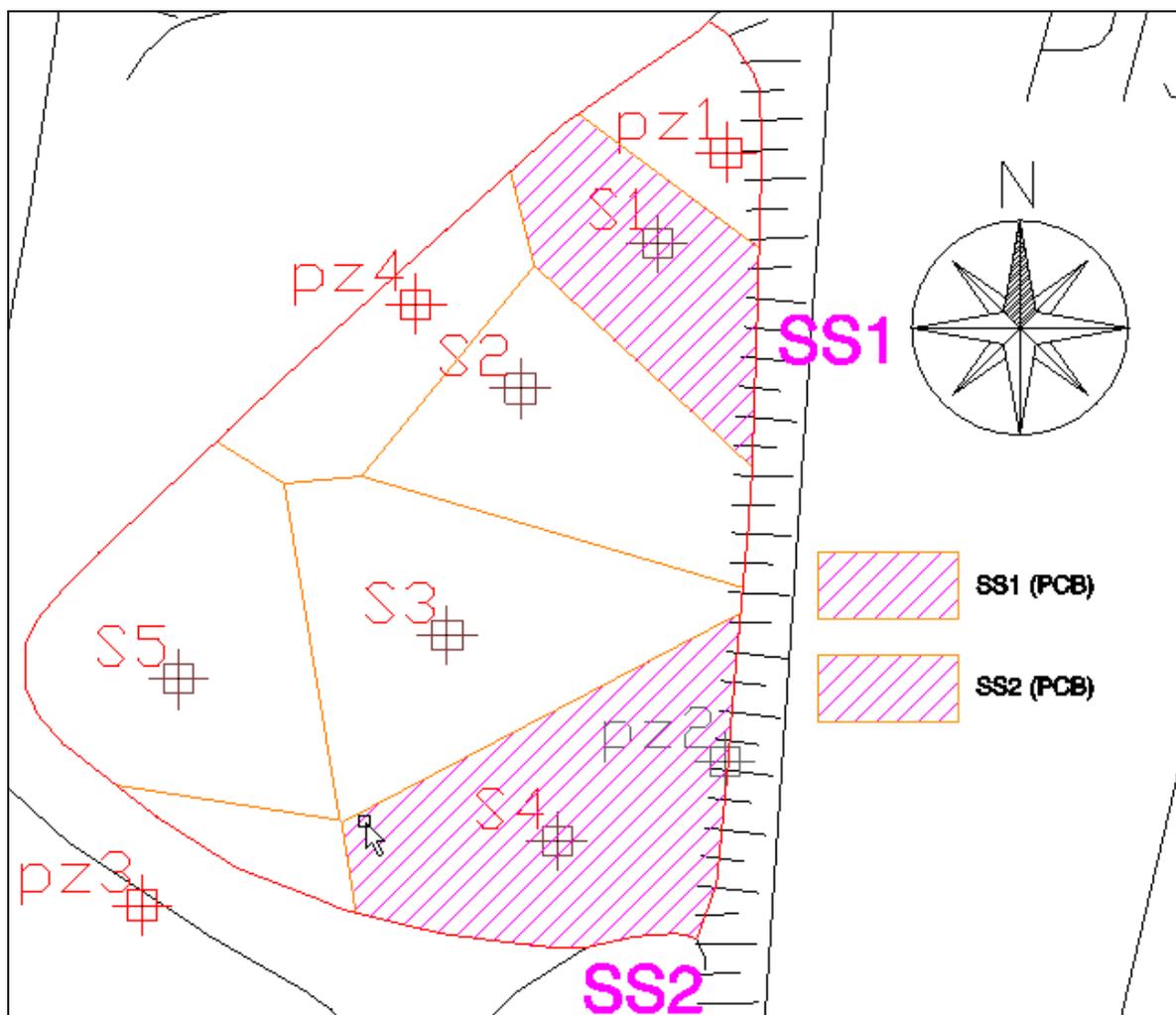


FIGURA 22- SORGENTI SS1 E SS2 NEL SUOLO SUPERFICIALE

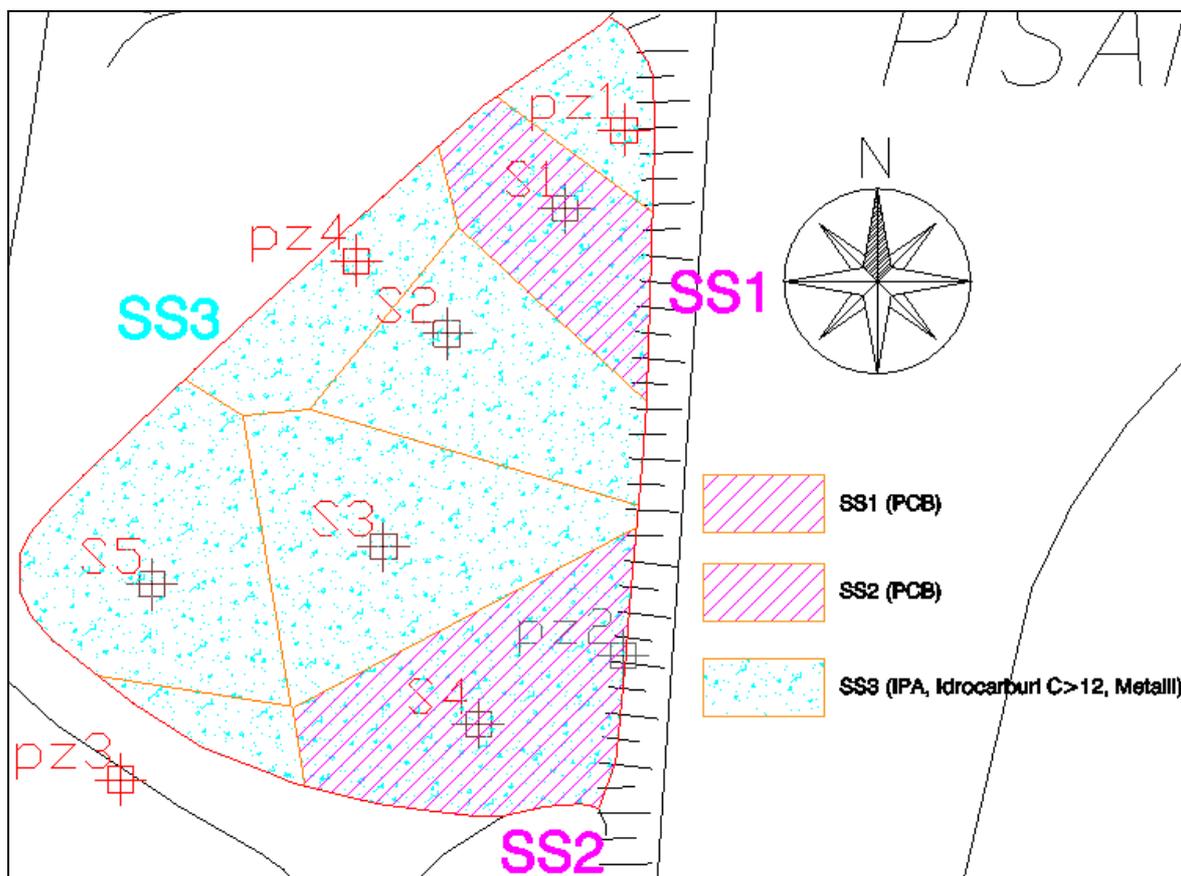


FIGURA 23- SORGENTI NEL SUOLO SUPERFICIALE

### 6.1.2 DELIMITAZIONE VERTICALE DELLE SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE (SS)

Il SS corrisponde per definizione all'orizzonte compreso tra il piano campagna (p.c.) e la profondità di un metro da p.c.; gli spessori delle sorgenti sopra descritte comprendono tutte l'intero orizzonte del suolo superficiale.

Considerato quanto esposto nel Paragrafo 3.5, si assume inoltre cautelativamente per le sorgenti nel suolo superficiale una soggiacenza pari a 1 metro da p.c..

### 6.2 SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE: SUOLO PROFONDO

Il data set inerente al suolo insaturo profondo (SP) è costituito dai campioni prelevati in occasione delle indagini di caratterizzazione. Sono di seguito elencati tutti i campioni inerenti la matrice ambientale SP:

- PZ1 (2-3m)
- PZ3 (2-3m)
- PZ4 (2-3m)



- S1 (1-2m)
- S1 (FONDO 3m)
- S2 (1-2m)
- S2 (FONDO 3m)
- S3 (1-2m)
- S3 (FONDO 3m)
- S4 (1-2m)
- S4 (FONDO 3m)
- S5 (1-2m)
- S5 (FONDO 3m)

La Tavola 6 e la seguente figura riportano l'ubicazione dei sondaggi che hanno prodotto campioni nel SP e la geometria dei corrispondenti poligoni di Thiessen.

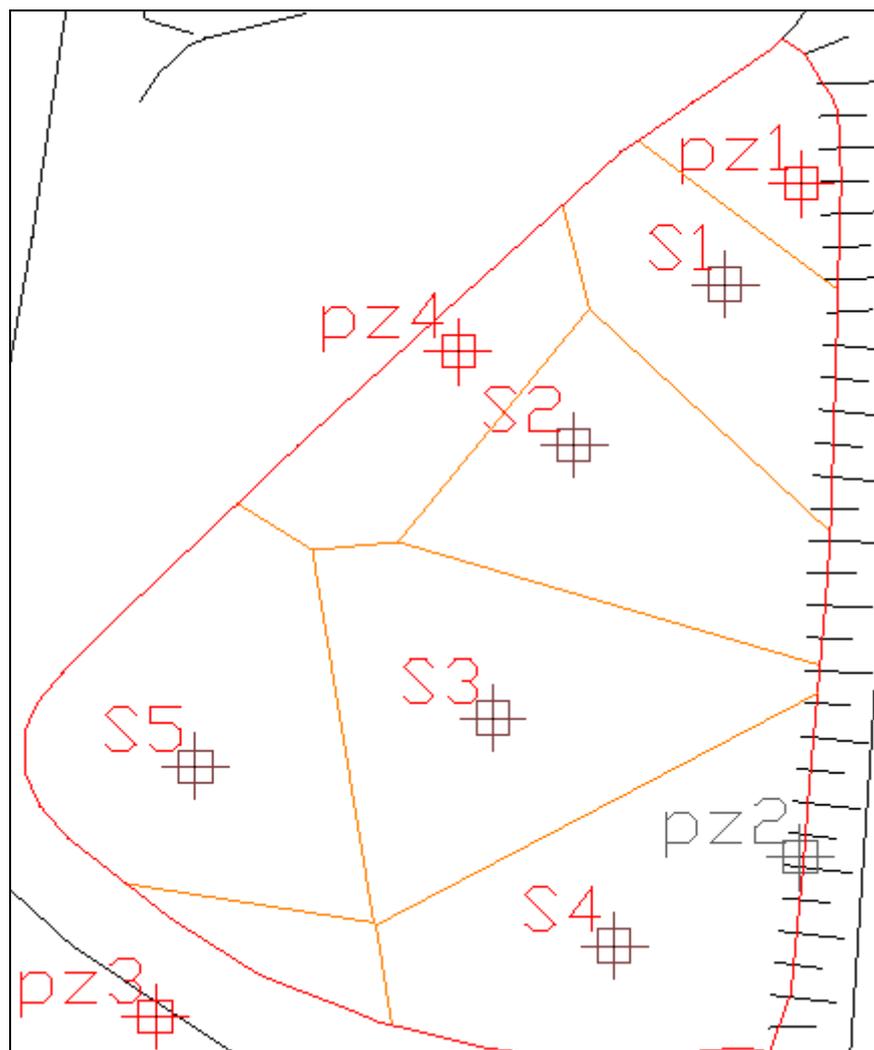


FIGURA 24- POLIGONI DI THIESSEN NEL SUOLO PROFONDO



### 6.2.1 DELIMITAZIONE AREALE DELLE POTENZIALI SORGENTI DI CONTAMINAZIONE (SP)

Le Tavole 7, 8 e le seguenti figure riportano la suddivisione del sito in poligoni di Thiessen con evidenziati i poligoni con superamenti delle CSC. Si individuano così tre distinte sorgenti denominate SP1, SP2, SP3 che rappresentano le sorgenti di potenziale contaminazione nel suolo superficiale. In dettaglio:

- SP1 comprende i superamenti di Berillio nel poligono PZ1 (Tavola 7);
- SP2 comprende i superamenti di Berillio e Cadmio nel poligono S4 (Tavola 7);
- SP3 copre tutto il sito tranne i poligoni centrati sui punti PZ1 e S1 e comprende i superamenti di IPA (Tavola 8).

Le suddette sorgenti nel SP sono state definite esclusivamente per i percorsi a protezione della falda (lisciviazione e trasporto in falda), in quanto tutte caratterizzate da inquinanti non volatili.

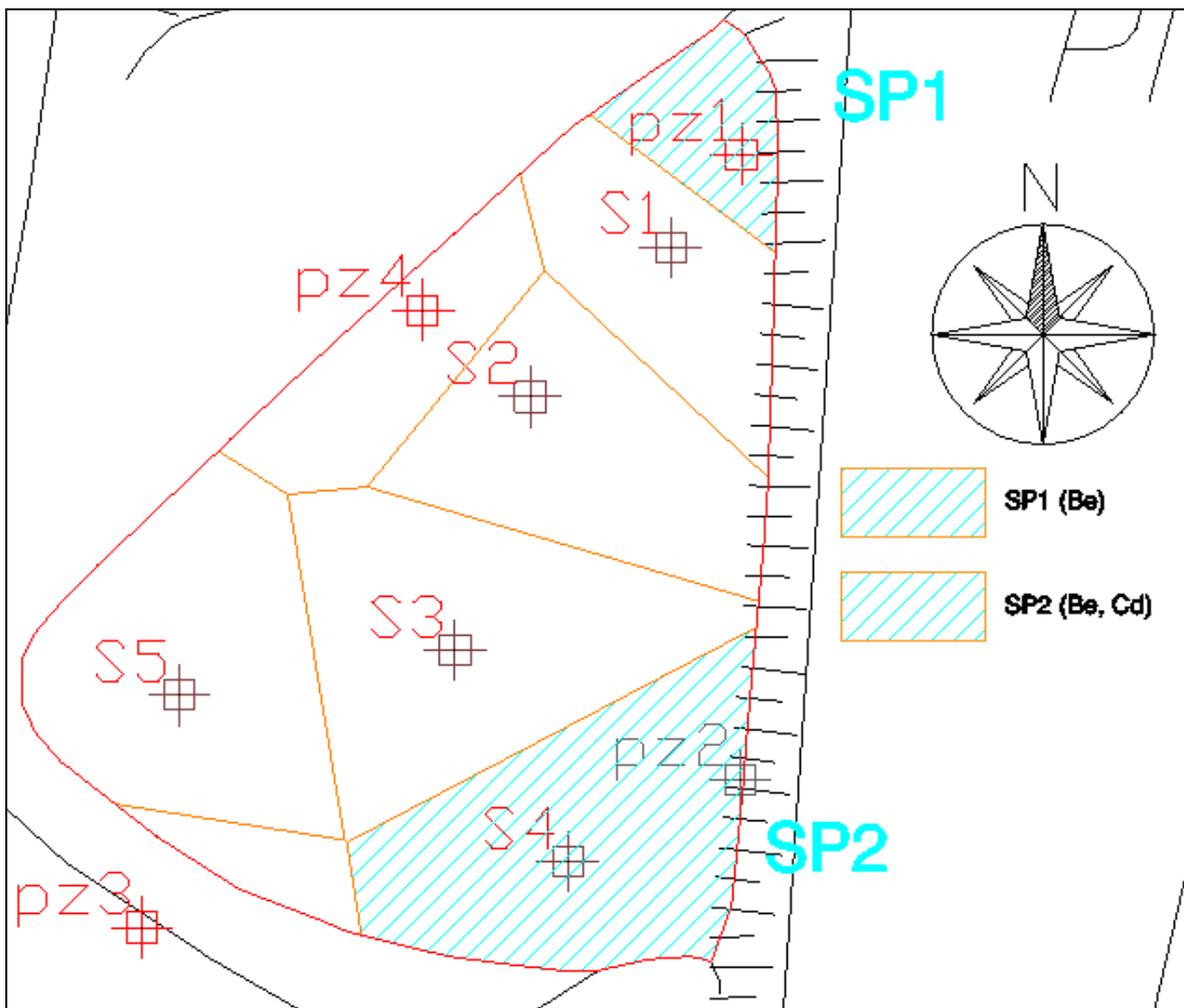


FIGURA 25- SORGENTI SP1 E SP2 NEL SUOLO PROFONDO

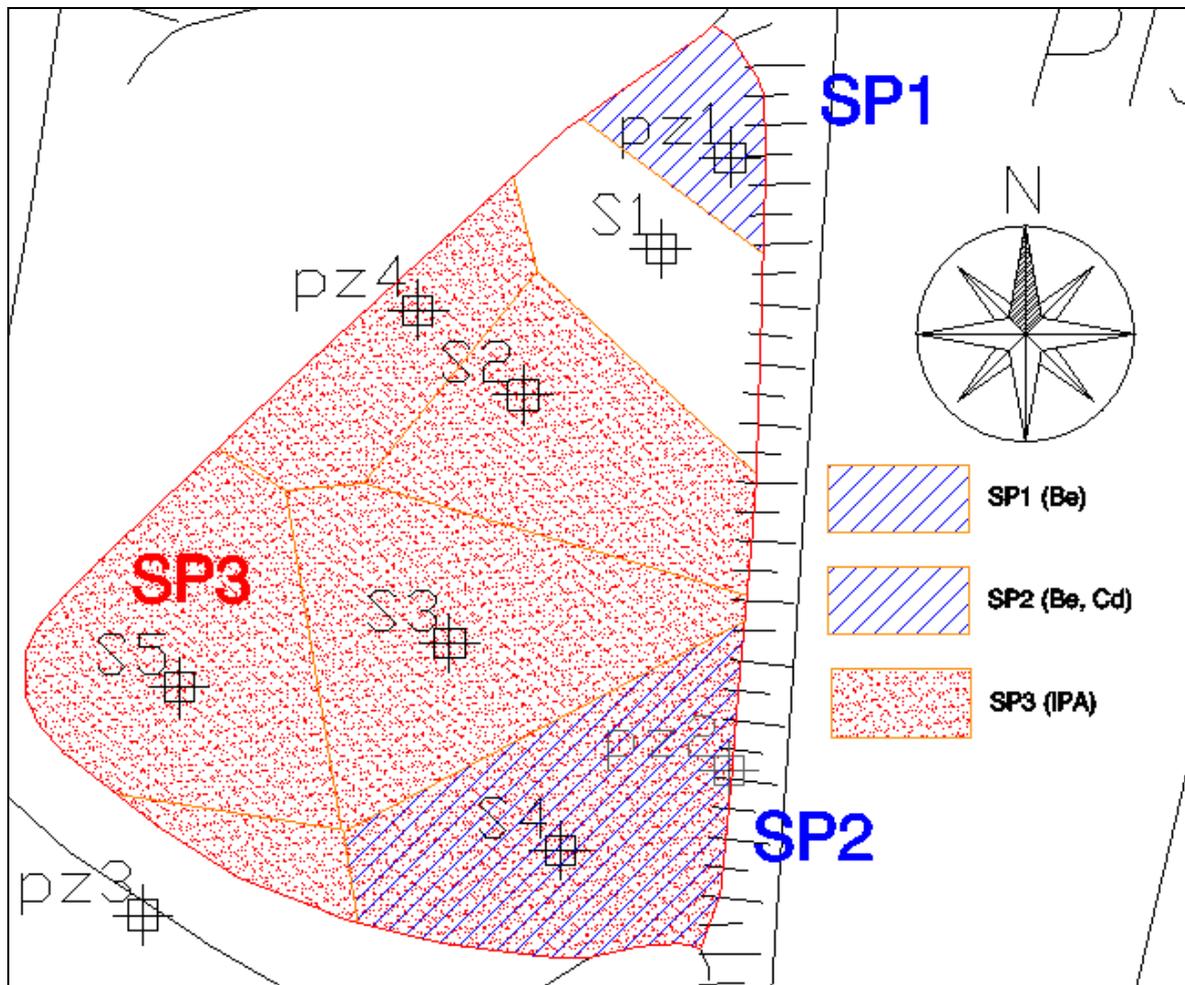


FIGURA 26- SORGENTI NEL SUOLO PROFONDO

### 6.2.2 DELIMITAZIONE VERTICALE DELLE SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE (SP)

Il SP corrisponde per definizione all'orizzonte compreso la profondità di un metro da p.c. e la soggiacenza della falda da piano di campagna.

Considerato quanto esposto nel Paragrafo 3.5, si assume cautelativamente per le sorgenti nel suolo profondo che la soggiacenza corrisponda alla massima profondità di campionamento, ovvero 3 metri da p.c..

Si riportano pertanto nella seguente Tabella gli spessori delle sorgenti sopra descritte.

Sorgenti SP	BASE (m p.c.)	TETTO (m p.c.)	Spessore (m)
SP1	3	2	1
SP2	3	1	2
SP3	3	1	2

TABELLA 13: DELIMITAZIONE VERTICALE DELLE SORGENTI DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE NEL SP



### 6.3 CONTAMINANTI DI INTERESSE

I contaminanti da utilizzare per lo svolgimento dell'analisi di rischio sito specifica dell'area sono stati selezionati in relazione ai superamenti delle rispettive CSC registrati nei campioni prelevati sul sito, nelle matrici ambientali impattate.

Nelle tabelle sotto riportate sono elencate per ogni sorgente secondaria le concentrazioni di ogni parametro, con evidenziati gli eventuali superamenti di CSC, rinvenute nei punti di indagine.

Sorgente SS1	PCB
CSC	<b>0,06</b>
S1 (0-1m)	0,08

TABELLA 14: CONTAMINANTI DI INTERESSE SORGENTE SS1

Sorgente SS2	PCB
CSC	<b>0,06</b>
S4 (0-1m)	0,18

TABELLA 15: CONTAMINANTI DI INTERESSE SORGENTE SS2

Sorgente SS3	ANTIMONIO	BERILLIO	CADMIO	CROMO TOTALE	PIOMBO	ZINCO	Idrocarburi C>12	Benzo(a)antracene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Indeno(1,2,3-c,d)pirene	Dibenzo(a,h)antracene	Benzo(g,h,i)perilene	Dibenzo(a,e)pirene
CSC	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>50</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
PZ3 (0-1m)	7,10	1,80	7,70	106	55,00	139	170	0,21	0,16	0,11	0,18	0,18	0,05	0,17	0,05
PZ1 (0-1m)	5,2	1,70	4,30	141	61,20	223	43,00	0,53	0,48	0,30	0,54	0,47	0,09	0,39	0,10
PZ4 (0-1m)	0,60	1,90	0,20	102	45,40	106	20,00	0,33	0,51	0,26	0,36	0,02	0,02	0,19	0,02
S1 (0-1m)	5,6	2,10	9,8	143	58,00	156	160	1,10	1,30	0,70	0,94	0,62	0,11	0,55	0,11
S2 (0-1m)	1,2	1,30	1,4	62,40	146	218	44,00	0,66	0,74	0,36	0,67	0,63	0,11	0,52	0,12
S3 (0-1m)	13	1,80	1,3	96,70	38,10	92,00	29,00	1,00	1,30	0,59	0,87	0,33	0,06	0,48	0,07
S4 (0-1m)	1,2	1,80	20,6	174	82,00	281	380	0,60	0,96	0,41	0,58	0,68	0,16	0,61	0,14
S5 (0-1m)	0,9	1,70	19,8	141	66,7	237	350	1,40	1,70	0,80	1,10	1,00	0,26	0,88	0,18

TABELLA 16: CONTAMINANTI DI INTERESSE SORGENTE SS3

Sorgente SP1	Be
CSC	<b>2</b>
PZ1 (2-3m)	2,3

TABELLA 17: CONTAMINANTI DI INTERESSE SORGENTE SP1



Sorgente SP2	Be	Cd
<b>CSC</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
S4 (1-2m)	1,40	7,4
S4 (FONDO 3m)	2,10	0,20

TABELLA 18: CONTAMINANTI DI INTERESSE SORGENTE SP2

Sorgente SP3	Pirene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Benzo(g,h,i)perilene	Dibenzo(a,i)pirene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,h)pirene
<b>CSC</b>	<b>5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
PZ3 (2-3m)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
PZ4 (2-3m)	0,36	0,11	0,38	0,20	0,02	0,02	0,02	0,02
S2 (1-2m)	0,26	0,22	0,14	0,20	0,09	0,02	0,02	0,02
S2 FONDO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S3 (1-2m)	0,44	0,46	0,26	0,34	0,20	0,02	0,02	0,02
S3 FONDO	0,63	0,15	0,38	0,22	0,02	0,02	0,02	0,02
S4 (1-2m)	0,46	0,53	0,28	0,36	0,27	0,02	0,02	0,02
S4 (FONDO 3m)	0,11	0,11	0,10	0,12	0,05	0,02	0,02	0,02
S5 (1-2m)	5,30	1,40	3,20	2,00	0,02	0,10	0,10	0,16
S5 FONDO	0,02	0,02	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

TABELLA 19: CONTAMINANTI DI INTERESSE SORGENTE SP3

#### 6.4 TRATTAMENTO STATISTICO DEL DATO

Le Linee Guida APAT secondo quanto previsto al Capitolo 3, Paragrafo 3.1.5 (marzo 2008), prevedono per le matrici ambientali, nel caso in cui il set di dati per un determinato parametro sia costituito da un numero maggiore di 10 che il valore rappresentativo sia quello risultante dal calcolo del UCL 95%.

Nel caso specifico il set di dati è inferiore a 10 per ogni piezometro; tutte le Concentrazioni rappresentative in sorgente (Crs) saranno pertanto pari ai valori massimi rilevati.

#### 6.5 CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE (CRS)

Si riportano nelle seguenti tabelle per sorgente di potenziale contaminazione i parametri con la rispettiva Crs che saranno oggetto della analisi di rischio.



Sorgente SS1	Cmax PCB
Cmax	0,08

TABELLA 20: CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE SS1

Sorgente SS2	PCB
Cmax	0,18

TABELLA 21: CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE SS2

Sorgente SS3	ANTIMONIO	BERILLIO	CADMIO	CROMO TOTALE	PIOMBO	ZINCO	Idrocarburi C>12	Benzo(a)antracene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Indeno(1,2,3-c,d)pirene	Dibenzo(a,h)antracene	Benzo(g,h,i)perilene	Dibenzo(a,e)pirene
Cmax	13	2,10	20,6	174	146	281	380	1,40	1,7	0,8	1,1	1,0	0,26	0,88	0,18

TABELLA 22: CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE SS3

Sorgente SP1	Be
Cmax	2,3

TABELLA 23: CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE SP1

Sorgente SP2	Be	Cd
Cmax	2,10	7,4

TABELLA 24: CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE SP2

Sorgente SP3	Pirene	Benzo(b)fluorantene	Benzo(k)fluorantene	Benzo(a)pirene	Benzo(g,h,i)perilene	Dibenzo(a,l)pirene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,h)pirene
Cmax	5,30	1,40	3,20	2,00	0,27	0,10	0,10	0,16

TABELLA 25: CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE IN SORGENTE SP3

## 6.6 SPECIAZIONE IDROCARBURI

Non essendo disponibile una speciazione MADEP, per ogni sorgente sarà attribuita a tutte le frazioni MADEP attive la rispettiva concentrazione rappresentativa in sorgente (CRS);



successivamente sarà determinata la CSR relativa a ciascuna frazione MADEP. La frazione che presenterà la CSR minore sarà quella di riferimento per determinare le CSR cumulate.

La CSR determinata pertanto per tale frazione corrisponderà alla CSR per il parametro Idrocarburi pesanti C>12.

Preliminarmente quindi alla determinazione delle CSR nel prossimo capitolo sarà determinata la frazione idrocarburica più critica.

## 6.7 PARAMETRI SITO-SPECIFICI

### 6.7.1 SCHEMATIZZAZIONE DELLE SORGENTI NEL SUOLO SUPERFICIALE NELLA DIREZIONE DEL VENTO

Una volta definita la superficie di ogni sorgente è necessario schematizzarla nella direzione del vento prevalente che è risultata essere E-O (cfr. paragrafo 2.5).

Si riportano in Tavola 9 e nella seguente figura le dimensioni nella direzione principale del vento delle sorgenti nel Suolo Superficiale (SS).

Parametro	Simbolo	Unità di misura	SS1	SS2	SS3
Estensione delle sorgenti nel SS nella direzione principale del vento	<b>W'ss</b>	m	42	67	124
Estensione delle sorgenti nel SS nella direzione ortogonale del vento	<b>S<sub>w'ss</sub></b>	m	60	57	157

TABELLA 26. ESTENSIONE DELLE SORGENTI NELLA DIREZIONE DEL VENTO (PRINCIPALE E ORTOGONALE).

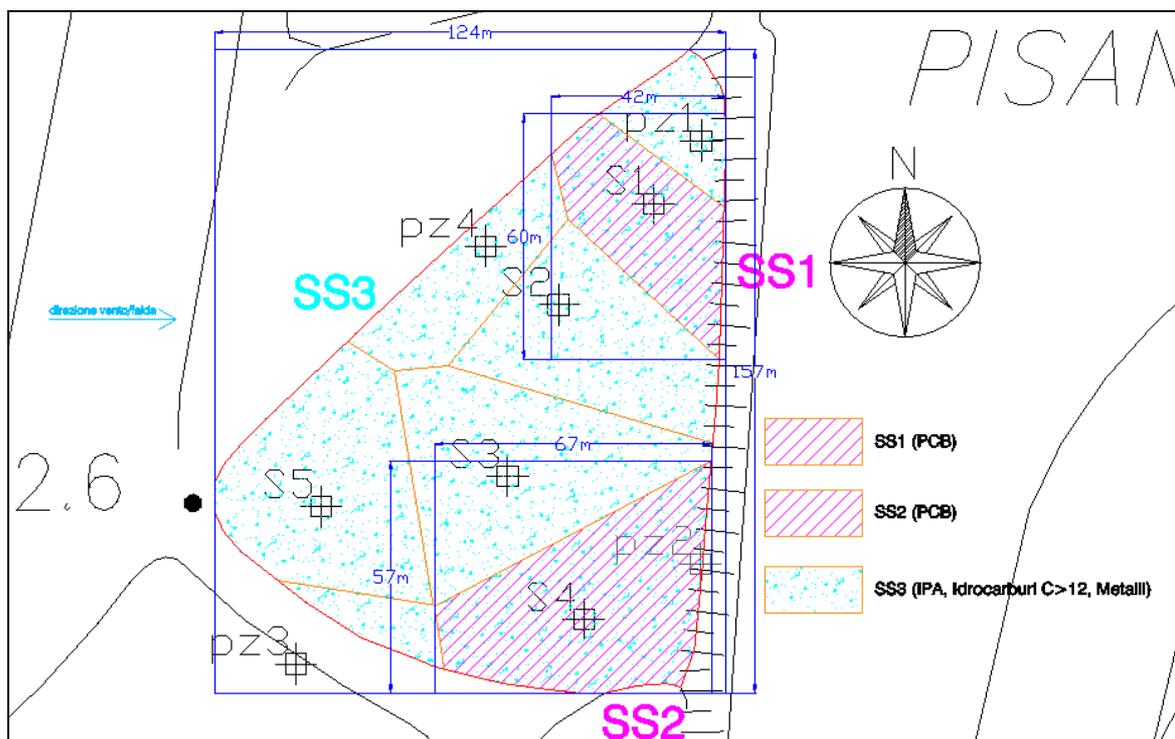


FIGURA 27- DIMENSIONI NELLA DIREZIONE PRINCIPALE DEL VENTO DELLE SORGENTI NEL SS

#### 6.7.2 SCHEMATIZZAZIONE DELLE SORGENTI NELLA DIREZIONE DI FALDA

Definita la direzione del flusso di falda che è risultata essere E-O (cfr. paragrafo 3.5), è stato possibile schematizzare le dimensioni delle sorgenti. Tale parametro coincide con la massima estensione di suolo insaturo potenzialmente contaminato, lungo la direzione parallela e ortogonale al flusso di falda.

Si riportano rispettivamente in Tavola 9, in Tavola 10 e nelle seguenti figure le dimensioni nella direzione di falda delle sorgenti nel Suolo Superficiale (SS), e nel Suolo Profondo (SP).

Parametro	Simbolo	Unità di misura	SS1	SS2	SS3
Estensione delle sorgenti nel SS nella direzione principale del flusso di falda	Wss	m	42	67	124

TABELLA 27. ESTENSIONE DELLE SORGENTI NELLA DIREZIONE DEL VENTO (PRINCIPALE E ORTOGONALE).

Parametro	Simbolo	Unità di misura	SP1	SP2	SP3
Estensione delle sorgenti nel SP nella direzione principale del flusso di falda	Wsp	m	31	67	122

TABELLA 28. ESTENSIONE DELLE SORGENTI NELLA DIREZIONE DEL FLUSSO DI FALDA (PRINCIPALE E ORTOGONALE).

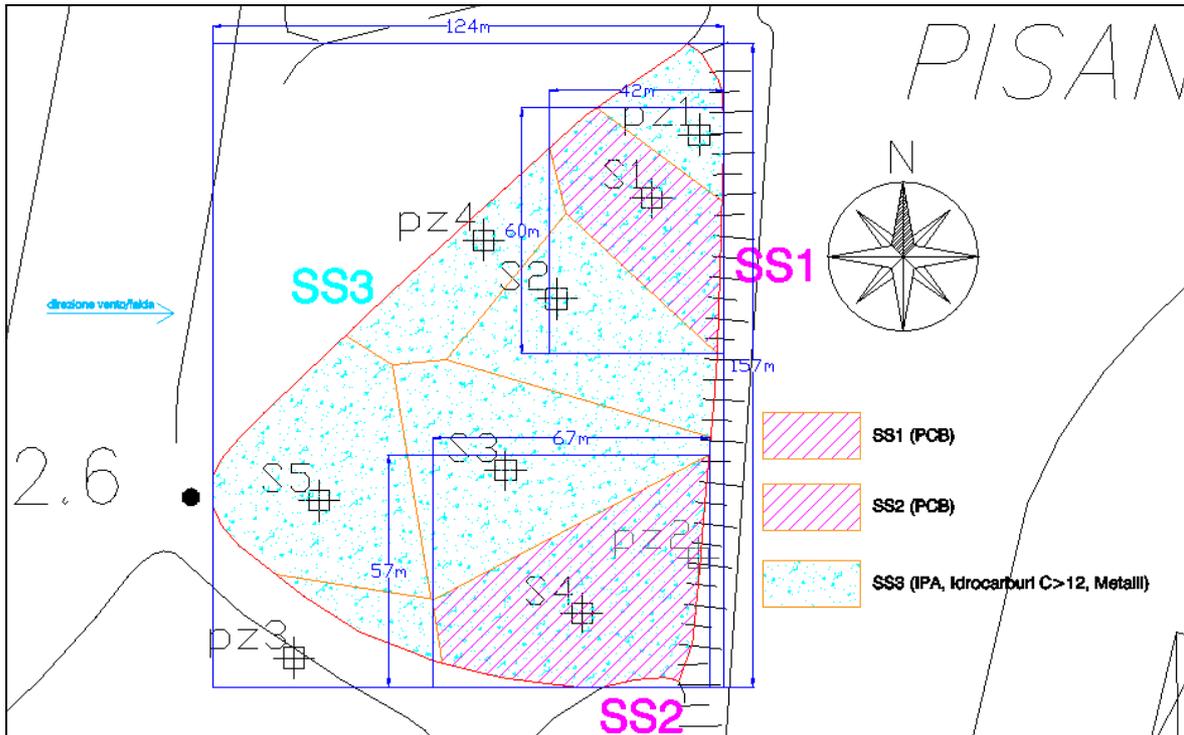


FIGURA 28- DIMENSIONI NELLA DIREZIONE PRINCIPALE DI FALDA DELLE SORGENTI NEL SS

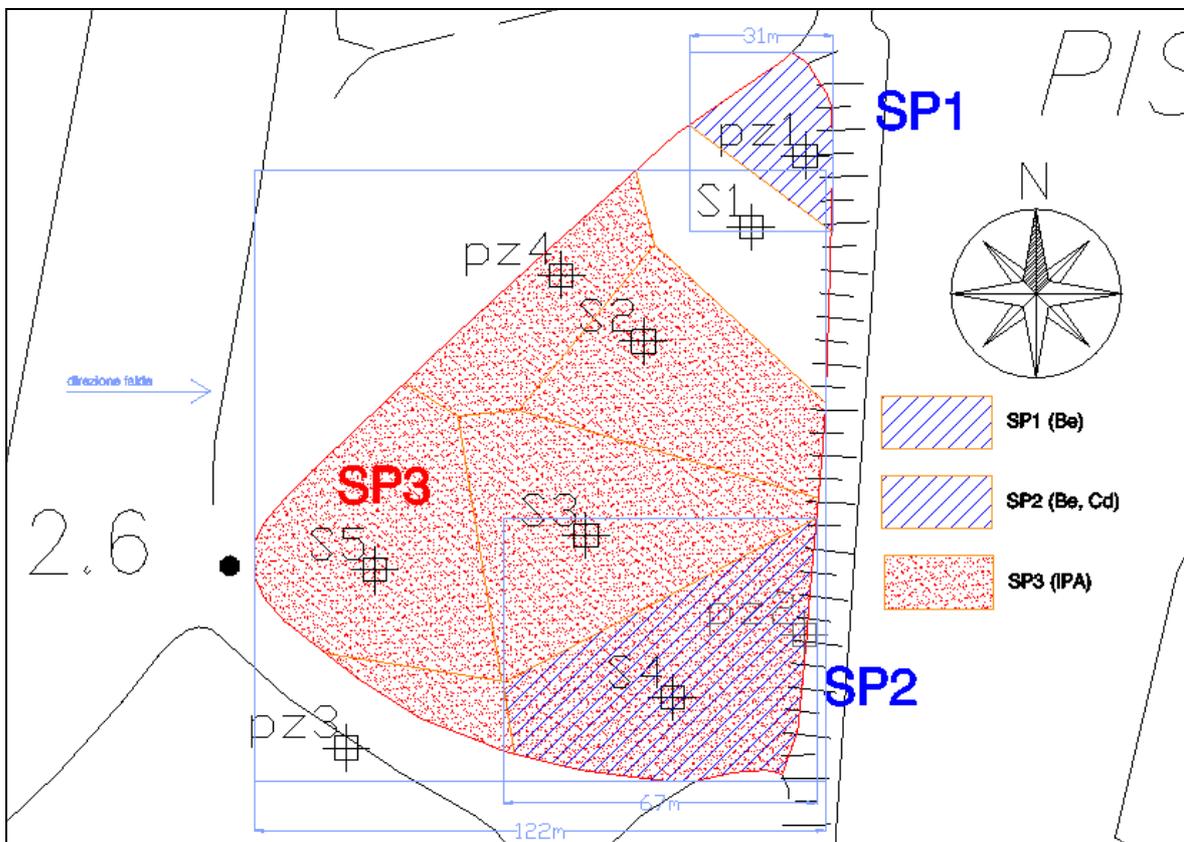


FIGURA 29- DIMENSIONI NELLA DIREZIONE PRINCIPALE DI FALDA DELLE SORGENTI NEL SP



### 6.7.3 CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE

Il parametro granulometria non entra direttamente nelle equazioni utili per il calcolo dei fattori di trasporto, ma può essere utile per la stima di molte delle proprietà fisiche del terreno difficilmente misurabili direttamente. I parametri porosità totale, contenuto volumetrico d'acqua, contenuto volumetrico d'aria e porosità effettiva sono stati ricavati utilizzando la tabella 3.2-6 delle Linee Guida APAT 2008, tenendo in considerazione la granulometria ricavata dalle analisi geotecniche; lo stesso dicasi per i parametri spessore della frangia capillare, contenuto di acqua della frangia capillare e contenuto di aria della frangia capillare, ricavati utilizzando le tabelle 3.1-2 e 3.2-8 delle linee guida APAT 2008 secondo la granulometria specifica dell'area.

Sono state pertanto effettuate le analisi granulometriche su tutti i campioni di terreno prelevati durante le indagini (cfr. paragrafo 3.7). Cautelativamente per ogni matrice insatura (SS e SP) è stata assunta come tessitura rappresentativa quella che implica una maggiore conducibilità e infiltrazione superficiale degli orizzonti insaturi, mentre per l'orizzonte saturo quella associata alla conducibilità più bassa.

Si riportano pertanto nella seguente tabella per le matrici insature e sature le percentuali delle diverse frazioni granulometriche (sabbie, limi e argille) relative ai campioni assunti come rappresentativi delle diverse matrici ambientali.

MATRICE	SABBIA	LIMO	ARGILLA	Campione di riferimento
	%	%	%	
SS	51,5	46,2	2,3	S5 (0-1m)
SP	27,8	61,6	10,6	S1 (FONDO 3m)
GW	4,6	38,2	58,2	S1 (1-2m)

TABELLA 29. CARATTERISTICHE TESSITURALI DEL SUOLO DELLA ZONA INSATURA.

Si riportano poi le granulometrie di cui sopra sul diagramma triangolare dell'USDA (U.S. Department of Agriculture) come suggerito dalle linee guida APAT 2008; la stessa figura riporta anche la matrice alla quale il singolo campione è stato associato.

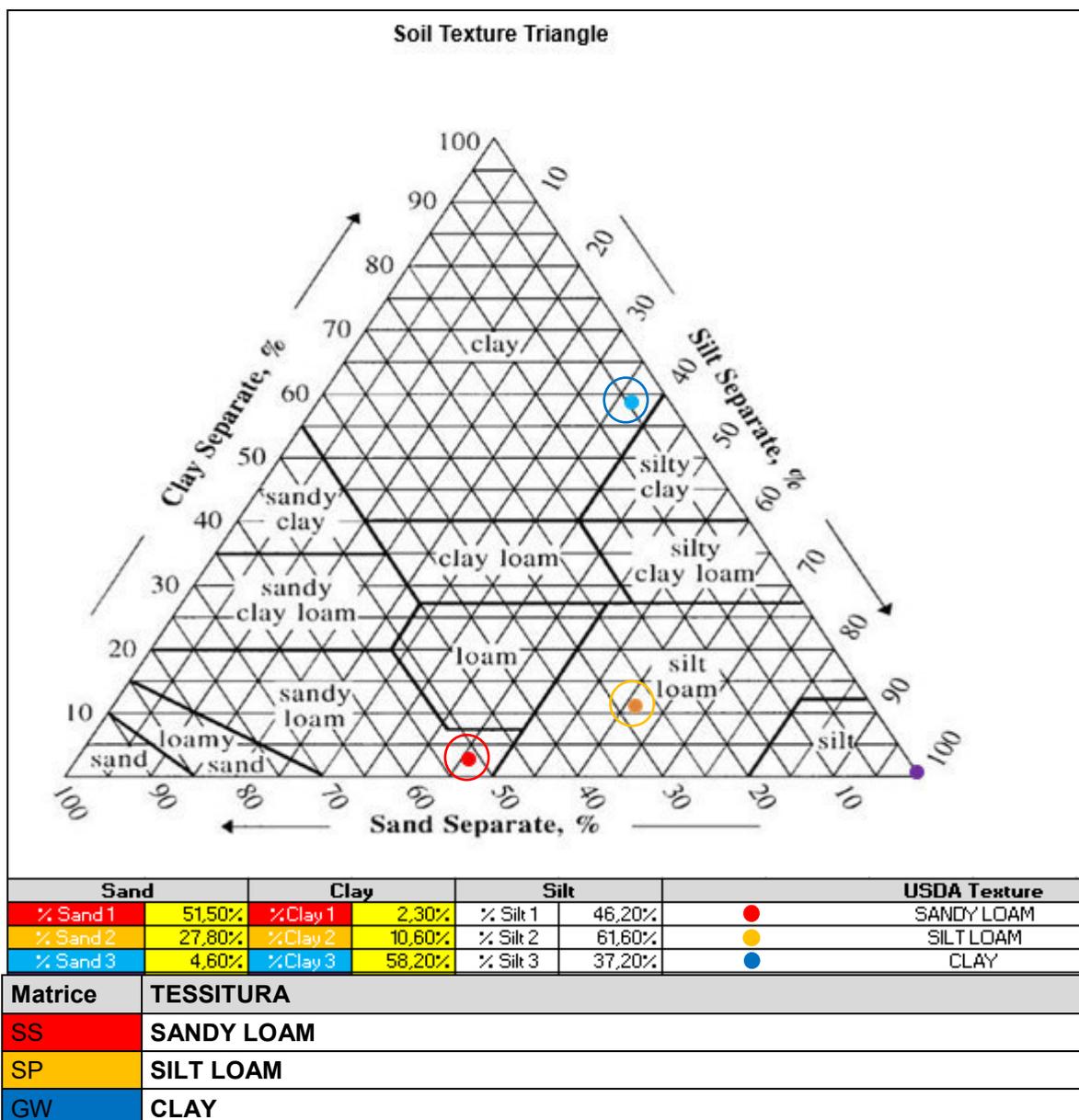


FIGURA 30 – GRANULOMETRIE DETERMINATE NELLE INDAGINI SVOLTE.

I terreni dell'intervallo insaturo sono pertanto stati indicati per il SS ed il SP rispettivamente con la classe tessiturale "Sandy Loam" e "Silt Loam", mentre i terreni saturi sono ascrivibili alla classe tessiturale "Clay". La seguente tabella indica i valori dei parametri dipendenti dalla granulometria, ricavata dalle analisi geotecniche, così come previsto dalle Linee Guida APAT 2008.

TESSITURA	m/s	adim.	adim.	adim.	adim.	adim.	adim.	cm	Matrice
	Ksat	$\theta_r$	$\theta_e$	$\theta_a$	$\theta_w$	$\theta_{a_{cap}}$	$\theta_{w_{cap}}$	$h_{cap}$	
<b>SANDY LOAM</b>	1,23E-05	0,065	0,345	0,151	0,194	0,057	0,288	25,0	<b>SS</b>
<b>SILT LOAM</b>	1,25E-06	0,067	0,383	0,128	0,255	0,086	0,297	68,2	<b>SP</b>
<b>CLAY</b>	5,56E-07	0,068	0,312	0,008	0,304	0,004	0,308	81,5	<b>GW</b>

TABELLA 30. PARAMETRI RELATIVI ALLE TESSITURE.



Le risultanze delle prove Lefranc, con permeabilità comprese tra 5,7E-05 e 4,5E-06 m/s, confermano sostanzialmente i valori adottati nella precedente tabella per gli orizzonti insaturi.

#### 6.7.4 PARAMETRI DELLA ZONA INSATURA

Nella tabella seguente si riportano i principali parametri di caratterizzazione del sito per la zona insatura, che sono stati inseriti nel software ed utilizzati dallo stesso per l'elaborazione.

Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note
<b>Zona Insatura</b>				
L <sub>s</sub> (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	
L <sub>s</sub> (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	
d	Spessore della sorgenti nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	
d <sub>s</sub> SP1	Spessore della sorgente SP1 nel suolo profondo (insaturo)	m	1	Sito specifico
d <sub>s</sub> SP2_SP3	Spessore delle sorgenti SP2 ed SP3 nel suolo profondo (insaturo)	m	2	Sito specifico
L <sub>GW</sub> SS	Profondità del piano di falda (soggiacenza adottata per il SS)	m	1,00	Sito specifico
L <sub>GW</sub> SP	Profondità del piano di falda (soggiacenza adottata per il SP)	m	3,00	Sito specifico
f <sub>oc, SS</sub>	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,00387	Sito specifico
f <sub>oc, SP</sub>	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,001	Sito specifico
pH	pH	adim.	6,8	Default
ρ <sub>s</sub>	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	Default
I <sub>ef</sub>	Infiltrazione efficace	cm/anno	14,90	Sito specifico
P	Piovosità	cm/anno	90,97	Sito specifico
η <sub>outdoor</sub>	Frazione areale di fratture outdoor	adim.	1	Default

TABELLA 31. PARAMETRI DI INPUT DELLA ZONA INSATURA.

L'infiltrazione efficace ( $I_{ef}$ ), come indicato nelle Linee Guida: "Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06" elaborato dal Gruppo di lavoro "analisi di rischio" APAT-ARPA-ISS-ISPEL del giugno 2008, è calcolata con la formula empirica riportata sulle stesse Linee Guida cautelativamente per tutte le sorgenti (sia nel SS che nel SP) per la litologia "SAND", come valore rappresentativo della piovosità cumulata annua, disponendo di più di 10 dati, è stato calcolato l'UCL (Lower Confidence Limit) al 95% di quelli riportati nel Paragrafo 2.5, che corrisponde al valore **P = 909,7 mm/anno**. Si riporta nella seguente figura la schermata di output del software EPA ProUCL 5.1, con il quale è stato effettuato il calcolo.



UCL Statistics for Uncensored Full Data Sets			
User Selected Options			
Date/ Time of Computation	ProUCL 5.101/04/2019 17:42:57		
From File	pioggia proUCL.xls		
Full Precision	OFF		
Confidence Coefficient	95%		
Number of Bootstrap Operations	2000		
<b>VALORE</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	63,00	Number of Distinct Observations	63,00
		Number of Missing Observations	0
Minimum	469,9	Mean	867,9
Maximum	1471	Median	849,2
SD	198,3	Std. Error of Mean	24,98
Coefficient of Variation	0,228	Skewness	0,526
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0,972	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk P Value	0,340	Data appear Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0,101	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0,111	Data appear Normal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	909,7	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	910,8
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	909,9

FIGURA 31- PIOVOSITÀ: SCHERMATA DI OUTPUT DEL SOFTWARE EPA PROUCL 5.1



Gamma GOF Test			
A-D Test Statistic	0,298	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0,749	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0,0855	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0,112	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
Gamma Statistics			
k hat (MLE)	19,73	k star (bias corrected MLE)	18,80
Theta hat (MLE)	44,00	Theta star (bias corrected MLE)	46,17
nu hat (MLE)	2486	nu star (bias corrected)	2369
MLE Mean (bias corrected)	867,9	MLE Sd (bias corrected)	200,2
		Approximate Chi Square Value (0,0500)	2257
Adjusted Level of Significance	0,0462	Adjusted Chi Square Value	2254
Assuming Gamma Distribution			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	911,0	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	912,1
Lognormal GOF Test			
Shapiro Wilk Test Statistic	0,984	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk P Value	0,833	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0,0738	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0,111	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
Lognormal Statistics			
Minimum of Logged Data	6,153	Mean of logged Data	6,741
Maximum of Logged Data	7,294	SD of logged Data	0,229
Assuming Lognormal Distribution			
95% H-UCL	913,1	90% Chebyshev (MVUE) UCL	944,1
95% Chebyshev (MVUE) UCL	978,5	97,5% Chebyshev (MVUE) UCL	1026
99% Chebyshev (MVUE) UCL	1120		
Nonparametric Distribution Free UCL Statistics			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
Nonparametric Distribution Free UCLs			
95% CLT UCL	909,0	95% Jackknife UCL	909,7
95% Standard Bootstrap UCL	909,5	95% Bootstrap-t UCL	913,0
95% Hall's Bootstrap UCL	908,8	95% Percentile Bootstrap UCL	909,0
95% BCA Bootstrap UCL	908,1		
90% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	942,9	95% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	976,8
97,5% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	1024	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	1117
Suggested UCL to Use			
95% Student's-t UCL	909,7		

CONTINUA FIGURA - PIOVOSITÀ: SCHERMATA DI OUTPUT DEL SOFTWARE EPA PROUCL 5.1



Relativamente alla Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale ( $f_{oc\ SS}$ ) si assume il valore minimo (cfr. paragrafo 3.7) relativo al campione “S3 (0-1m)” tra quelli determinati nella indagine del 2016 sui campioni di suolo superficiale.

Relativamente alla Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo ( $f_{oc\ SP}$ ) e saturo ( $f_{oc\ GW}$ ) si assume il valore minimo (cfr. paragrafo 3.7) del campione “S2 (FONDO 3m)” tra quelli determinati nella indagine del 2016 sui campioni di suolo profondo.

## 6.7.5 PARAMETRI DELLA ZONA SATURA

Nella tabella seguente si riportano i principali parametri del terreno saturo e della falda inseriti nel programma RISK-NET ed utilizzati dal programma stesso per elaborare l'AdR.

Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore	Note
<b>Zona Saturata</b>				
$d_{aSS}$	Spessore acquifero per il SS	m	4	Sito specifico
$d_{aSP}$	Spessore acquifero per il SP	m	2	Sito specifico
$i$	Gradiente idraulico	adim.	0,009	Sito specifico
$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	Sito specifico
<b>POC</b>	Distanza recettore off site (DAF)	m	0	Sito specifico

TABELLA 32. PARAMETRI DI INPUT DELLA ZONA SATURA.

### Gradiente idraulico

Valore minimo basato sulle ricostruzioni freaticometriche con i dati di gennaio e marzo 2019 (Cfr. paragrafo 3.5).

### Frazione di carbonio organico ( $f_{oc}$ )

Relativamente alla Frazione di carbonio organico nel suolo saturo ( $f_{oc\ GW}$ ) si assume il valore minimo (cfr. paragrafo 3.7) tra quelli determinati nella indagine del 2016 relativo al campione “S2 (FONDO 3m)” per il suolo profondo e l'orizzonte saturo.

### Spessore acquifero superficiale ( $d_a$ )

Lo spessore dell'acquifero superficiale è definito come la distanza tra la quota piezometrica (slm) e la quota dello strato impermeabile (slm). Questo parametro rientra nel calcolo della zona di miscelazione della falda ( $\delta_{GW}$ ) ed è stato definito come la distanza tra il livello di falda e la massima profondità investigata durante la realizzazione dei piezometri (5 m da p.c.).

### Distanza recettore off site (DAF)

Si pone pari a zero la distanza tra sorgente e POC considerando che tutte le sorgenti comprendono anche il confine di valle idrogeologica del sito.





#### Direzione e Velocità del vento ( $U_{air}$ )

Considerato l'inquadramento climatico di cui al Paragrafo 2.5, come valore rappresentativo delle della velocità del vento ( $U_{air}$ ) disponendo di più di 10 dati, è stato calcolato l'LCL (Lower Confidence Limit) al 95%, pari a **2,15 m/s**; si riporta nella seguente figura, la schermata di output del software EPA ProUCL 5.1, con il quale è stato effettuato il calcolo.

Tale velocità del vento si riferisce ad un'altezza di rilevazione di 10 m dal suolo. Pertanto, in accordo alle indicazioni di ISPRA, la velocità è stata riportata alla quota di 2 m (spessore di miscelazione indicato da ISPRA) tramite la formula empirica di S.R.Hanna et al. 1982 (APAT 2008, pag. 74).

$$U_{air}(z_1) = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^p \cdot U_{air}(z_2)$$

Dove:  $U_{air}$  è la velocità del vento e  $z_1$  e  $z_2$  sono rispettivamente le altezze di 2 m e 10 m.

Sempre in via cautelativa è stato utilizzato un valore del parametro  $p = 0,15$  scelto in base alle tabelle fornite nei Criteri ISPRA, corrispondente ad una classe di stabilità "D" (situazione di stabilità atmosferica "neutrale") di Pasquill-Gifford, in ambito rurale. Si riportano quindi nella seguente tabella i dati inseriti nella suddetta equazione.

$z_2$ m	$U(z_2)$ m/s	Classe Stabilità adim.	Rugosità del suolo adim.	p adim.	$z_1$ m	$U(z_1)$ m/s
10	2,15	D	suolo rurale	0,15	2	<b>1,69</b>

TABELLA 34. DATI INSERITI NELL'EQUAZIONE

La velocità del vento stimata a 2 m di quota è pertanto **1,69 m/s**. Relativamente all'ultimo valore si fa riferimento a quanto previsto dalle Linee guida APAT.



UCL Statistics for Uncensored Full Data Sets			
User Selected Options	✓		
Date/ Time of Computation	ProUCL 5.101/04/2019 17:42:19		
From File	vento proUCL.xls		
Full Precision	OFF		
Confidence Coefficient	95%		
Number of Bootstrap Operations	2000		
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	61,00	Number of Distinct Observations	20,00
		Number of Missing Observations	0
Minimum	-3,500	Mean	-2,446
Maximum	-1,300	Median	-2,600
SD	0,532	Std. Error of Mean	0,0682
Coefficient of Variation	-0,218	Skewness	0,213
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0,939	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk P Value	0,00656	Data Not Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0,142	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0,113	Data Not Normal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	-2,332	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	-2,332
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	-2,332
<b>Gamma Statistics Not Available</b>			
<b>Lognormal Statistics Not Available</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data do not follow a Discernible Distribution (0.05)</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			
95% CLT UCL	-2,334	95% Jackknife UCL	-2,332
95% Standard Bootstrap UCL	-2,334	95% Bootstrap-t UCL	-2,324
95% Hall's Bootstrap UCL	-2,330	95% Percentile Bootstrap UCL	-2,331
95% BCA Bootstrap UCL	-2,338		
90% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	-2,241	95% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	-2,149
97,5% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	-2,020	99% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	-1,768
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	-2,149		

FIGURA 33- VELOCITÀ DEL VENTO: SCHERMATA DI OUTPUT DEL SOFTWARE EPA PROUCL 5.1



## 7. VIE DI MIGRAZIONE

A seguito della definizione delle caratteristiche della sorgente di contaminazione, quali geometria, tipologia e proprietà chimiche, fisiche e tossicologiche dei contaminanti rilevati, si passa alla definizione dei possibili percorsi di migrazione, che vengono calcolati dal software mediante appositi modelli di F&T. Come illustrato precedentemente, per lo svolgimento dell'analisi di rischio sito specifica relativa all'area in esame si considerano le vie di migrazione ed esposizione riassunte nella seguente tabella:

Sorgenti	Vie di migrazione	Vie di esposizione
SS1, SS2, ed SS3	Ingestione/contatto dermico	Diretta
SS1, SS2, ed SS3	Erosione del suolo ed aerodispersione delle particelle fini	Inalazione polveri outdoor on site ed off site
SS1, SS2, ed SS3 SP1, SP2, ed SS3	Lisciviazione e Trasporto in falda	Falda

TABELLA 35: VIE DI MIGRAZIONE E DI ESPOSIZIONE



## 8. BERSAGLI DELLA CONTAMINAZIONE

Definiti i percorsi di migrazione ed i modelli di fate and transport, occorre valutare i parametri di esposizione dei bersagli individuati in termini di frequenze e modalità di esposizione. L'esposizione viene definita come il quantitativo di contaminante che può passare attraverso le barriere del corpo umano, quali pelle, polmoni, tratto gastrointestinale. Il calcolo dell'esposizione tiene conto di quanto spesso il bersaglio umano così individuato entra in contatto con la contaminazione, in che modo ed il quantitativo di contaminante che entra in contatto con il corpo in occasione di ogni singolo evento. Di seguito si riporta la sintesi dei parametri di esposizione inseriti per lo svolgimento della presente analisi di rischio relativamente ai diversi tipi di bersagli umani.

I bersagli della contaminazione per i quali sono state calcolate le Concentrazioni Soglia di Rischio sul sito in esame sono i seguenti:

- adulti/bambini in uno scenario ricreativo on-site.
- lavoratori off-site;

Per la definizione dei parametri di esposizione sono stati utilizzati i valori di default indicati nei Criteri Metodologici APAT e riproposti anche dal software Risk-net relativamente agli scenari studiati.

Esposizione			On Site	
Ambito			Residenziale	
Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Bambini	Adulti
<b>Fattori Comuni</b>				
Peso Corporeo	BW	kg	15	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70	70
Durata di esposizione	ED	y	6	24
Frequenza di esposizione	EF	d/y	350	350
<b>Ingestione di suolo</b>				
Frazione di suolo ingerita	FI	-	1	1
Tasso di ingestione suolo	IR	mg/d	200	100
<b>Contatto Dermico</b>				
Superficie di pelle esposta	SA	cm <sup>2</sup>	2800	5700
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm <sup>2</sup> /d	0.2	0.07



Esposizione			On Site	
Ambito			Residenziale	
Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Bambini	Adulti
<b>Inalazione di polveri outdoor</b>				
Frequenza giornaliera outdoor	EFgo	h/d	3	3
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor	Bo	m <sup>3</sup> /h	1.9	3.2
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1	1

TABELLA 36: PARAMETRI ESPOSIZIONE DEL BERSAGLIO UMANO (ADULTO/BAMBINO) IN AMBITO RICREATIVO ON SITE

Esposizione			Off Site
Ambito			Industriale
Parametri di esposizione	Simbolo	UM	Lavoratore
<b>Fattori Comuni</b>			
Peso Corporeo	BW	kg	70
Tempo di mediazione cancerogeni	AT	y	70
Durata di esposizione	ED	y	25
Frequenza di esposizione	EF	d/y	250
<b>Inalazione polveri outdoor</b>			
Frequenza giornaliera outdoor	EFgo	h/d	8
Tasso di inalazione di vapori e polveri outdoor	Bo	m <sup>3</sup> /h	2,5
Frazione di suolo nella polvere outdoor	Fsd	-	1

TABELLA 37: PARAMETRI ESPOSIZIONE DEL BERSAGLIO UMANO LAVORATORE OFF SITE

Per quanto riguarda il bersaglio ambientale falda freatica superficiale, il punto di esposizione o punto di conformità (POC) è stato posto, in linea con quanto previsto nel D. Lgs. 4/2008, in corrispondenza del confine di valle idrogeologica.



## 9. SOFTWARE UTILIZZATO E PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE E TOSSICOLOGICHE DEGLI INQUINANTI

Al fine dell'elaborazione dell'analisi di rischio igienico sanitaria dell'area, è stato utilizzato il software Risk-net ([www.reconnet.net](http://www.reconnet.net)), sviluppato nell'ambito della rete su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell' Università di Roma "Tor Vergata", con l'obiettivo di fornire uno strumento che ricalchi la procedura APAT-ISPRA di Analisi di Rischio ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08).

Il software Risk-net versione 3.1 Pro permette di:

- valutare le concentrazioni ad un dato punto di esposizione;
- stimare il rischio associato alla presenza di specifici contaminanti (forward e baseline calculation);
- definire gli obiettivi di bonifica sito specifici (backward calculation).

Si precisa, inoltre, che il software Risk-net 3.1 permette di calcolare il rischio e la CSR per valori di concentrazione superiori alla Csat secondo la metodologia richiesta dagli Enti cioè senza operare il "taglio alla saturazione".

Infine, il software Risk-net 3.1 permette di inserire i parametri tossicologici relativi all'inalazione in termini di IUR, per sostanze cancerogene, e RfC, per sostanze tossiche, come previsto dal nuovo "Documento di supporto" alla banca dati ISS-INAIL del marzo 2018.

Riguardo le proprietà chimico-fisiche e tossicologiche degli inquinanti sono stati inseriti nel software i valori della Banca dati ISS-INAIL aggiornata al marzo 2018 (nota INAIL acquisita dal MATTM con Prot. 6919 del 4 aprile 2018), come indicato da Ispra nel proprio sito alla pagina web:

<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/siti-contaminati/analisi-di-rischio>

Il database è scaricabile dal sito:

<http://www.iss.it/iasa>.



## 10. CALCOLO DELLE CSR SITO-SPECIFICHE

L'analisi di rischio in oggetto è stata svolta in modalità inversa per il calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio in conformità con quanto indicato dal D.Lgs. 152/06 e successivo D.Lgs. 04/2008; le CSR rappresentano le concentrazioni che forniscono un rischio accettabile per il recettore uomo e/o per il recettore acque sotterranee. Di seguito vengono riportati i risultati relativi al calcolo delle CSR in modalità inversa (modalità backward) suddivisi per matrice ambientale.

I files Risk-net 3.1 delle singole elaborazioni sono allegati al presente documento su supporto informatico in Allegato 4.

Le CSR minori della rispettiva Crs sono in sottolineate ed in grassetto nelle seguenti tabelle, quelle minori anche delle rispettive CSC sono evidenziate con uno sfondo grigio, escluse dal calcolo cumulativo e poste pari alle rispettive CSC, che per i suoli insaturi sono quelle di cui alla Tabella 1, colonna A.

Dove compare per una CSR l'espressione ">1e+6", questo implica che la Concentrazione teorica sia maggiore della Massima concentrazione possibile. Tale condizione comporta che il contaminante anche se fosse presente puro non comporterebbe comunque rischi per quel percorso di migrazione/esposizione; potrà pertanto essere omissa dalla successiva verifica delle CSR cumulate.

Si riportano pertanto nelle seguenti tabelle i valori dei rischi cumulativi associati alle CSR; quest'ultime sono state in alcuni casi corrette affinché anche tali rischi fossero accettabili.

I seguenti paragrafi riportano quindi prima le tabelle con il calcolo delle CSR per ogni singola sorgente, seguite dalle tabelle che riportano le CSR risultanti dal cumulo tra le sorgenti del tutto o parzialmente sovrapposte.

Le singole sorgenti sono state cumulate sommando tra loro i rispettivi rischi e indici di pericolo, correggendoli poi fino a rendere il rischio e l'indice di pericolo cumulativo accettabile. Le CSR sono state poi ridotte proporzionalmente alla riduzione dei rispettivi rischi.

Preliminarmente al ricalcolo del rischio e dell'indice di pericolo cumulativo tra sorgenti, sono stati esclusi anche gli analiti per i quali il software ha restituito per una CSR individuale l'espressione ">1e+6".

Considerato il Modello Concettuale adottato non si hanno da suolo profondo percorsi di esposizione attivi su bersagli umani, ma solo sul bersaglio ambientale (acque sotterranee).



## 10.1 CSR SANITARIE PER IL SUOLO SUPERFICIALE (SS)

Il presente paragrafo contiene i risultati ottenuti in modalità inversa (backward mode) per i percorsi di esposizione a protezione dell'uomo dalle sorgenti nel suolo superficiale.

Preliminarmente, in assenza di speciazione degli idrocarburi, si determina con Risknet 3.1 la frazione più critica; dalla tabella sottostante, risulta che la frazione Idrocarburi aromatici C13 – C22 implica un rischio maggiore a parità di altre condizioni. Questa sarà quindi adottata come rappresentativa degli idrocarburi pesanti (C>12).

Contaminante	CRS	Csat	Cres	CSC	CSR (HH)
<b>SS3</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>
Alifatici C13-C18	<b>3.80e+2</b>	2.64e+1	2.64e+1	5.00e+1	6110
Alifatici C19-C36	<b>3.80e+2</b>	2.31e+0	2.31e+0	5.00e+1	122210
<b>Aromatici C13-C22</b>	<b>3.80e+2</b>	<b>1.13e+2</b>	<b>1.13e+2</b>	<b>5.00e+1</b>	<b>1833</b>

TABELLA 38: DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE IDROCARBURICA PIÙ CRITICA

Le seguenti tabelle riportano quindi le CSR sanitarie per lo scenario in oggetto di ogni sorgente.

Contaminante	CRS	CSR ind	f	CSR cum	CSC	Csat	R (HH)	HI (HH)
<b>SS1</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	-
PCB Totali	8.00e-2	2.21e-1		2.21e-1	6.00e-2	2.12e+2	1.00e-6	-
<b>Cumulato Outdoor (On-site)</b>							<b>1.00e-6</b>	-
<b>Cumulato Indoor (On-site)</b>							-	-
<b>Cumulato Outdoor (Off-site)</b>							<b>7.37e-14</b>	-

TABELLA 39: DETERMINAZIONE CSR SANITARIA SORGENTE SS1

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	R (HH)	HI (HH)
<b>SS2</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	-
PCB Totali	1.80e-1	2.21e-1		2.21e-1	6.00e-2	2.12e+2	1.00e-6	-
<b>Cumulato Outdoor (On-site)</b>							<b>1.00e-6</b>	-
<b>Cumulato Indoor (On-site)</b>							-	-
<b>Cumulato Outdoor (Off-site)</b>							<b>1.41e-13</b>	-

TABELLA 40: DETERMINAZIONE CSR SANITARIA SORGENTE SS2

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	R (HH)	HI (HH)
<b>SS3</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	-
<u>Antimonio</u>	1.30e+1	30.4	4.7	<b>6.5</b>	1.00e+1	-	-	2.13e-1
<u>Berillio</u>	2.10e+0	152	60	2.5	2.00e+0	-	1.26e-11	1.67e-2
<u>Cadmio</u>	2.06e+1	39.0	1.88	20.7	2.00e+0	-	7.71e-11	5.32e-1
<u>Cromo totale</u>	1.74e+2	113844	600	190	1.50e+2	-	-	1.67e-3
<u>Piombo</u>	1.46e+2	<b>72.8</b>		<b>100.0</b>	1.00e+2	-	-	-



Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	R (HH)	HI (HH)
<b>SS3</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>-</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<u>Zinco</u>	2.81e+2	22825	80	285	1.50e+2	-	-	1.25e-2
Aromatici C13-C22	3.80e+2	1833	4.81	381	5.00e+1	1.13e+2	-	2.08e-1
Benzo(a)antracene	1.40e+0	<b>1.2</b>		<b>1.2</b>	5.00e-1	6.44e+0	1.00e-6	-
Benzo(b)fluorantene	1.70e+0	<b>1.2</b>		<b>1.2</b>	5.00e-1	3.48e+0	1.00e-6	-
Benzo(k)fluorantene	8.00e-1	12.2		12.2	5.00e-1	1.82e+0	1.00e-6	-
Benzo(a)pirene	1.10e+0	<b>0.12</b>		<b>0.12</b>	1.00e-1	3.68e+0	1.00e-6	7.10e-3
Indenopirene	1.00e+0	1.2		1.2	1.00e-1	1.43e+0	1.00e-6	-
Dibenzo(a,h)pirene	2.60e-1	<b>0.0067</b>		<b>0.100</b>	1.00e-1	1.94e+0	-	-
Benzo(g,h,i)perilene	8.80e-1	1720	200	8.6	1.00e-1	1.59e+0	-	5.00e-3
Dibenzo(a,e)pirene	1.80e-1	1720	200	8.6	1.00e-1	1.07e+0	-	5.00e-3
<b>Cumulato Outdoor (On-site)</b>							<b>5.00e-6</b>	<b>1.00e+0</b>
<b>Cumulato Indoor (On-site)</b>							-	-
<b>Rischio per la risorsa idrica per gli idrocarburi - MADEP</b>							-	-
<b>Cumulato Outdoor (Off-site)</b>							<b>9.04e-11</b>	<b>2.12e-5</b>

TABELLA 41: DETERMINAZIONE CSR SANITARIE SORGENTE SS3

Il seguente dettaglio delle CSR per la sorgente SS3 mostra come i percorsi critici siano unicamente quelli diretti (Ingestione/contatto dermico).

Contaminante	CRS	Csat	On-Site	On-Site	On-Site	On-Site	Off-Site	Off-Site
			Ingestione di suolo	Contatto Dermico	Polveri Outdoor	Cumulato outdoor	Polveri Outdoor	Cumulato outdoor
			HH	HH	HH	HH	HH	HH
<b>SS3</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>
<u>Antimonio</u>	1.30e+1	-	3.13e+1	1.12e+3	>1e+6	3.04e+1	>1e+6	>1e+6
<u>Berillio</u>	2.10e+0	-	1.56e+2	5.59e+3	3.20e+5	1.52e+2	2.02e+5	2.02e+5
<u>Cadmio</u>	2.06e+1	-	3.91e+1	1.40e+4	4.27e+5	3.90e+1	2.69e+5	2.69e+5
<u>Cromo totale</u>	1.74e+2	-	1.17e+5	>1e+6	>1e+6	1.14e+5	>1e+6	>1e+6
<u>Piombo</u>	1.46e+2	-	<b>7.51e+1</b>	2.38e+3	>1e+6	<b>7.28e+1</b>	>1e+6	>1e+6
<u>Zinco</u>	2.81e+2	-	2.35e+4	8.38e+5	>1e+6	2.28e+4	>1e+6	>1e+6
Aromatici C13-C22	3.80e+2	1.13e+2	2.35e+3	8.38e+3	>1e+6	1.83e+3	>1e+6	>1e+6
Benzo(a)antracene	1.40e+0	6.44e+0	1.68e+0	4.47e+0	>1e+6	<b>1.22e+0</b>	>1e+6	>1e+6
Benzo(b)fluorantene	1.70e+0	3.48e+0	<b>1.68e+0</b>	4.47e+0	>1e+6	<b>1.22e+0</b>	>1e+6	>1e+6
Benzo(k)fluorantene	8.00e-1	1.82e+0	1.68e+1	4.47e+1	>1e+6	1.22e+1	>1e+6	>1e+6
Benzo(a)pirene	1.10e+0	3.68e+0	<b>1.68e-1</b>	<b>4.47e-1</b>	6.59e+5	<b>1.22e-1</b>	3.46e+5	3.46e+5
Indenopirene	1.00e+0	1.43e+0	1.68e+0	4.47e+0	>1e+6	1.22e+0	>1e+6	>1e+6
Dibenzo(a,h)pirene	2.60e-1	1.94e+0	<b>8.75e-3</b>	<b>2.77e-2</b>	9.61e+4	<b>6.65e-3</b>	6.06e+4	6.06e+4
Benzo(g,h,i)perilene	8.80e-1	1.59e+0	2.35e+3	6.45e+3	>1e+6	1.72e+3	>1e+6	>1e+6
Dibenzo(a,e)pirene	1.80e-1	1.07e+0	2.35e+3	6.45e+3	>1e+6	1.72e+3	>1e+6	>1e+6

TABELLA 42: DETTAGLIO CSR SANITARIE SORGENTE SS3

Il seguente diagramma mostra sulla base della distribuzione areale delle singole sorgenti quali sorgenti debbano essere cumulate fra loro.



sorgenti	SS1	SS2	SS3
SS1		NO	cumulo
SS2	NO		cumulo
SS3	cumulo	cumulo	

TABELLA 43: SCHEMA DEL CUMULO DEGLI EFFETTI

Contaminante	CRS	CSR ind	f	CSR cum	R (HH)	HI (HH)	f	R (HH)	HI (HH)	CSRcum SS3_SS1
<b>SS3</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	<b>mg/kg</b>	-	-	-	-	-	<b>mg/kg</b>
<u>Antimonio</u>	13	30,4	4,7	<b>10</b>	-	2,1E-01	1	-	2,1E-01	<b>10</b>
<u>Berillio</u>	2,1	152	60	2,5	1,3E-11	1,7E-02	1	1,3E-11	1,7E-02	<b>2,5</b>
<u>Cadmio</u>	20,6	39	1,9	20,7	7,7E-11	5,3E-01	1	7,7E-11	5,3E-01	<b>20,7</b>
<u>Cromo totale</u>	174	113844	600	190	-	1,7E-03	1	-	1,7E-03	<b>190</b>
<u>Piombo</u>	146	<b>72,8</b>		<b>100</b>	-	-				<b>100</b>
<u>Zinco</u>	281	22825	80	285	-	1,3E-02	1	-	1,3E-02	<b>285</b>
Aromatici C13-C22	380	1833	5	381	-	2,1E-01	1	-	2,1E-01	<b>381</b>
<u>Benzo(a)antracene</u>	1,4	<b>1,2</b>		<b>1,2</b>	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>1,2</b>
<u>Benzo(b)fluorantene</u>	1,7	<b>1,2</b>		<b>1,2</b>	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>1,2</b>
Benzo(k)fluorantene	0,8	12,2		12,2	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>12,2</b>
<u>Benzo(a)pirene</u>	1,1	<b>0,12</b>		<b>0,12</b>	1,0E-06	7,1E-03	1	1,0E-06	7,1E-03	<b>0,12</b>
Indenopirene	1,0	1,2		1,2	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>1,2</b>
<u>Dibenzo(a,h)pirene</u>	0,3	<b>0,0067</b>		<b>0,1</b>	-	-				<b>0,1</b>
Benzo(g,h,i)perilene	0,9	1720	200	9	-	5,0E-03	1	-	5,0E-03	<b>8,6</b>
Dibenzo(a,e)pirene	0,2	1720	200	9	-	5,0E-03	1	-	5,0E-03	<b>8,6</b>
<b>SS1</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>	-	<b>mg/kg</b>	-	-	-	-	-	<b>mg/kg</b>
PCB Totali	0,08	0,221		0,221	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>0,221</b>
<b>Cumulato Outdoor SS3 con SS2 (On-site)</b>								<b>6,0E-06</b>	<b>1,0E+00</b>	

TABELLA 44: CUMULO DEGLI EFFETTI TRA SS1 ED SS3



Contaminante	CRS	CSR ind	f	CSR cum	R (HH)	HI (HH)	f	R (HH)	HI (HH)	CSRcum SS3_SS1
<b>SS3</b>	mg/kg	mg/kg	-	mg/kg	-	-	-	-	-	mg/kg
<u>Antimonio</u>	13,0	30,4	4,7	<b>10</b>	-	2,1E-01	1	-	2,1E-01	<b>10</b>
<u>Berillio</u>	2,1	152	60	2,5	1,3E-11	1,7E-02	1	1,3E-11	1,7E-02	<b>2,5</b>
<u>Cadmio</u>	20,6	39	1,9	20,7	7,7E-11	5,3E-01	1	7,7E-11	5,3E-01	<b>20,7</b>
<u>Cromo totale</u>	174	113844	600	190	-	1,7E-03	1	-	1,7E-03	<b>190</b>
<u>Piombo</u>	146	<b>72,8</b>		<b>100</b>	-	-				<b>100</b>
<u>Zinco</u>	281	22825	80	285	-	1,3E-02	1	-	1,3E-02	<b>285</b>
Aromatici C13-C22	380,0	1833	5	381	-	2,1E-01	1	-	2,1E-01	<b>381</b>
<u>Benzo(a)antracene</u>	1,4	<b>1,2</b>		<b>1,2</b>	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>1,2</b>
<u>Benzo(b)fluorantene</u>	1,7	<b>1,2</b>		<b>1,2</b>	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>1,2</b>
<u>Benzo(k)fluorantene</u>	0,8	12,2		12,2	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>12,2</b>
<u>Benzo(a)pirene</u>	1,1	<b>0,12</b>		<b>0,12</b>	1,0E-06	7,1E-03	1	1,0E-06	7,1E-03	<b>0,12</b>
<u>Indenopirene</u>	1,0	1,2		1,2	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>1,2</b>
<u>Dibenzo(a,h)pirene</u>	0,3	<b>0,0067</b>		<b>0,1</b>	-	-				<b>0,1</b>
<u>Benzo(g,h,i)perilene</u>	0,9	1720	200	9	-	5,0E-03	1	-	5,0E-03	<b>8,6</b>
<u>Dibenzo(a,e)pirene</u>	0,2	1720	200	9	-	5,0E-03	1	-	5,0E-03	<b>8,6</b>
<b>SS1</b>	mg/kg	mg/kg	-	mg/kg	-	-	-	-	-	mg/kg
PCB Totali	0,18	0,221		0,221	1,0E-06	-	1	1,0E-06	-	<b>0,221</b>
<b>Cumulato Outdoor SS3 con SS2 (On-site)</b>								<b>6,0E-06</b>	<b>1,0E+00</b>	

TABELLA 45: CUMULO DEGLI EFFETTI TRA SS2 ED SS3

Si riporta nella seguente tabella una sintesi delle CSR cumulate ottenute per i percorsi di esposizione a protezione dell'uomo dalle sorgenti nel suolo superficiale.

Le CSR inferiori alle rispettive Crs sono evidenziate in rosso.

Contaminante	CRS	CSC	CSRcum SS
<b>SS3</b>	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<u>Antimonio</u>	13,0	1.00e+1	<b>10</b>
<u>Berillio</u>	2,1	2.00e+0	<b>2,5</b>
<u>Cadmio</u>	20,6	2.00e+0	<b>20,7</b>
<u>Cromo totale</u>	174	1.50e+2	<b>190</b>



Contaminante	CRS	CSC	CSRcum SS
SS3	mg/ kg	mg/kg	mg/kg
<i>Piombo</i>	146	1.00e+2	<b>100</b>
<i>Zinco</i>	281	1.50e+2	<b>285</b>
Aromatici C13-C22	380,0	5.00e+1	<b>381</b>
<i>Benzo(a)antracene</i>	1,4	5.00e-1	<b>1,2</b>
<i>Benzo(b) fluorantene</i>	1,7	5.00e-1	<b>1,2</b>
Benzo(k) fluorantene	0,8	5.00e-1	<b>12,2</b>
<i>Benzo(a)pirene</i>	1,1	1.00e-1	<b>0,12</b>
Indenopirene	1,0	1.00e-1	<b>1,2</b>
<i>Dibenzo(a,h) pirene</i>	0,3	1.00e-1	<b>0,1</b>
Benzo(g,h,i) perilene	0,9	1.00e-1	<b>8,6</b>
Dibenzo(a,e) pirene	0,2	1.00e-1	<b>8,6</b>
SS1	mg/ kg		mg/kg
PCB Totali	0,18	6.00e-2	<b>0,221</b>
SS1	mg/ kg		mg/kg
PCB Totali	0,08	6.00e-2	<b>0,221</b>

TABELLA 46: SINTESI CSR CUMULATE – SS

Si riporta la CSR relativa alla frazione idrocarburica Aromatici C13-C22 totalmente al parametro Idrocarburi pesanti C>12 (cfr. Paragrafo 6.6).

## 10.2 CSR AMBIENTALI PER IL SUOLO SUPERFICIALE (SS)

Il presente paragrafo contiene i risultati ottenuti in modalità inversa (backward mode) per i percorsi di esposizione a protezione delle acque sotterranee dalle sorgenti nel suolo superficiale.

Preliminarmente si determina con Risknet 3.1 la frazione idrocarburica più critica; dalla tabella sottostante, risulta che la frazione Idrocarburi aromatici C13 – C22 implica un rischio maggiore a parità di altre condizioni. Questa sarà quindi adottata come rappresentativa degli idrocarburi pesanti (C>12).

Contaminante	CRS	Csat	Cres	CSC	CSR (GW)
SS3	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Alifatici C13-C18	<b>3.80e+2</b>	2.64e+1	2.64e+1	5.00e+1	> Csat
Alifatici C19-C36	<b>3.80e+2</b>	2.31e+0	2.31e+0	5.00e+1	> Csat
<i>Aromatici C13-C22</i>	<b>3.80e+2</b>	<b>1.13e+2</b>	<b>1.13e+2</b>	<b>5.00e+1</b>	<b>7,0</b>

TABELLA 47: DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE IDROCARBURICA PIÙ CRITICA



Le seguenti tabelle riportano quindi le CSR ambientali per lo scenario in oggetto di ogni sorgente.

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	Rgw (GW)
SS1	mg/kg	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
PCB Totali	8.00e-2	<b>3.33e-3</b>		<b>3.33e-3</b>	6.00e-2	2.12e+2	1.00e+0

TABELLA 48: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE SS1

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	Rgw (GW)
SS2	mg/kg	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
PCB Totali	1.80e-1	<b>3.21e-3</b>		<b>3.21e-3</b>	6.00e-2	2.12e+2	1.00e+0

TABELLA 49: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE SS2

Cautelativamente per quanto riguarda Dibenzo(a,e)pirene e Dibenzo(a,h)pirene al fine di poter determinarne le CSR, non essendo previste dalla normativa CSC per le acque sotterranee, sono state attribuite a tali composti, delle CSC sulla base delle seguenti assunzioni:

- Dibenzo(a,e)pirene: si fa riferimento alla CSC del surrogato previsto dalla Tabella 5 del Documento di Supporto del marzo 2018 al DB ISS-INAIL, ovvero il Pirene (50ug/l);
- Dibenzo(a,h)pirene: si assume la CSC più cautelativa tra quelle previste per gli IPA con la stessa classificazione di cancerogenicità IARC, pari a 2B, ovvero quella del Benzo(k)fluorantene (0,05 ug/l).

Contaminante	CRS	CSRind	f	CSRcum	CSC	Csat	Rgw (GW)
SS3	mg/kg	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
<u>Antimonio</u>	1.30e+1	<b>7.7</b>		<b>7.7</b>	1.00e+1	-	1.00e+0
<u>Berillio</u>	2.10e+0	12.4		12.4	2.00e+0	-	1.00e+0
<u>Cadmio</u>	2.06e+1	<b>5.5</b>		<b>5.5</b>	2.00e+0	-	1.00e+0
<u>Cromo totale</u>	1.74e+2	207		207	1.50e+2	-	1.00e+0
<u>Piombo</u>	1.46e+2	558		558	1.00e+2	-	1.00e+0
<u>Zinco</u>	2.81e+2	10084		10084	1.50e+2	-	1.00e+0
Aromatici C13-C22	3.80e+2	<b>7.0</b>		<b>7.0</b>	5.00e+1	1.13e+2	1.00e+0
Benzo(a)antracene	1.40e+0	<b>0.071</b>		<b>0.071</b>	5.00e-1	6.44e+0	1.00e+0
Benzo(b)fluorantene	1.70e+0	<b>0.24</b>		<b>0.24</b>	5.00e-1	3.48e+0	1.00e+0
Benzo(k)fluorantene	8.00e-1	<b>0.12</b>		<b>0.12</b>	5.00e-1	1.82e+0	1.00e+0
Benzo(a)pirene	1.10e+0	<b>0.023</b>		<b>0.023</b>	1.00e-1	3.68e+0	1.00e+0
Indenopirene	1.00e+0	<b>0.78</b>		<b>0.78</b>	1.00e-1	1.43e+0	1.00e+0
Dibenzo(a,h)pirene	2.60e-1	4,8		4,8	1.00e-1	1.94e+0	1.00e+0
Benzo(g,h,i)perilene	8.80e-1	<b>0.063</b>		<b>0.063</b>	1.00e-1	1.59e+0	1.00e+0
Dibenzo(a,e)pirene	1.80e-1	1297		1297	1.00e-1	1.07e+0	1.00e+0

TABELLA 50: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE SS3



Si riporta la CSR relativa alla frazione idrocarburica Aromatici C13-C22 totalmente al parametro Idrocarburi pesanti C>12 (cfr. Paragrafo 6.6).

### 10.3 CSR AMBIENTALI PER IL SUOLO PROFONDO (SP)

Il presente paragrafo contiene i risultati ottenuti in modalità inversa (backward mode) per i percorsi di esposizione a protezione delle acque sotterranee dalle sorgenti nel suolo profondo.

Le seguenti tabelle riportano quindi le CSR ambientali per lo scenario in oggetto di ogni sorgente.

Contaminante	CRS	CSC	CSR (GW)	Rgw (GW)
SP1	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
<u>Berillio</u>	2.10e+0	2.00e+0	13.6	1.00e+0

TABELLA 51: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE SP1

Contaminante	CRS	CSC	CSR (GW)	Rgw (GW)
SP2	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
<u>Berillio</u>	2.30e+0	2.00e+0	12.8	1.00e+0
<u>Cadmio</u>	7.40e+0	2.00e+0	<b>5.7</b>	1.00e+0

TABELLA 52: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE SP2

Cautelativamente per quanto riguarda Dibenzo(a,e)pirene e Dibenzo(a,l)pirene al fine di poter determinarne le CSR, non essendo previste dalla normativa CSC per le acque sotterranee per tali composti, sono state attribuite delle CSC sulla base delle seguenti assunzioni:

- Dibenzo(a,e)pirene: si fa riferimento alla CSC del surrogato previsto dalla Tabella 5 del Documento di Supporto del marzo 2018 al DB ISS-INAIL, ovvero il Pirene (50ug/l);
- Dibenzo(a,l)pirene: si assume la CSC più cautelativa tra quelle previste per gli IPA con la stessa classificazione di cancerogenicità IARC pari a 2A, ovvero quella del Dibenzo(a,h)antracene (0,01 ug/l).

Contaminante	CRS	Csat	CSC	CSR (GW)	Rgw (GW)
SP3	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
Pirene	5.30e+0	7.35e+0	5.00e+0	<b>2.8</b>	1.00e+0
Benzo(b)fluorantene	1.40e+0	8.99e-1	5.00e-1	<b>0.062</b>	1.00e+0
Benzo(k)fluorantene	3.20e+0	4.70e-1	5.00e-1	<b>0.030</b>	1.00e+0
Benzo(a)pirene	2.00e+0	9.51e-1	1.00e-1	<b>0.0061</b>	1.00e+0
Benzo(g,h,i)perilene	2.70e-1	4.11e-1	1.00e-1	<b>0.016</b>	1.00e+0
<u>Dibenzo(a,l)pirene</u>	1.03e-1	4.76e+0	1.00e-1	<b>0.020</b>	1.00e+0
<u>Dibenzo(a,e)pirene</u>	1.02e-1	2.75e-1	1.00e-1	335	1.00e+0
Dibenzo(a,h)antracene	1.60e-1	4.76e+0	1.00e-1	<b>0.020</b>	1.00e+0

TABELLA 53: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE SP3



## 11. OBIETTIVI DI BONIFICA SITO SPECIFICI

### 11.1 OBIETTIVI DI BONIFICA A PROTEZIONE DELL'UOMO

Risulta dalla seguente tabella, che i superamenti delle CSR nel SS e pertanto gli obiettivi di bonifica sanitari, sono dovuti esclusivamente ai percorsi diretti, relativamente ad inquinanti non volatili sia organici (IPA) che inorganici (Antimonio e Piombo); laddove siano risultate CSR inferiori alle rispettive CSC, quest'ultime sono state adottate come effettive CSR.

Contaminante	CRS	CSC	CSR	Percorsi critici di esposizione
	mg/ kg	mg/kg	mg/kg	
<u>Antimonio</u>	13,0	10	<b>10</b>	Ingestione
<u>Piombo</u>	146	100	<b>100</b>	Ingestione
Benzo(a)antracene	1,4	0,5	<b>1,2</b>	Ingestione
Benzo(b)fluorantene	1,7	0,5	<b>1,2</b>	Ingestione
Benzo(a)pirene	1,1	0,1	<b>0,12</b>	Ingestione / contatto dermico
Dibenzo(a,h) pirene	0,3	0,1	<b>0,1</b>	Ingestione

TABELLA 54: SINTESI PERCORSI CRITICI DI ESPOSIZIONE

Considerate le CSR risultanti (si veda anche la tabella seguente) sostanzialmente si confermano i superamenti localizzati di antimonio e piombo rispettivamente nei poligoni centrati sui punti S3 ed S2; mentre per quanto riguarda gli IPA permane un rischio, dovuto principalmente al Benzo(a)pirene, su tutta l'area del sito; in dettaglio si hanno superamenti delle CSR per :

- il Benzo(a)antracene nel poligono S5;
- il Benzo(b)fluorantene nei poligoni S1, S3 ed S5;
- il Benzo(a)pirene su tutto il sito;
- il Dibenzo(a,h) antracene nei poligoni S1, S2, S4 ed S5.

Poligono	ANTIMONIO	PIOMBO	Benzo(a) antracene	Benzo(b) fluorantene	Benzo(a) pirene	Dibenzo(a,h) antracene
CSR	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>0,12</b>	<b>0,1</b>
PZ3	7,10	55,00	0,21	0,16	<b>0,18</b>	0,05
PZ1	5,2	61,20	0,53	0,48	<b>0,54</b>	0,09
PZ4	0,60	45,40	0,33	0,51	<b>0,36</b>	0,02
S1	5,6	58,00	1,10	<b>1,30</b>	<b>0,94</b>	<b>0,11</b>
S2	1,2	<b>146,00</b>	0,66	0,74	<b>0,67</b>	<b>0,11</b>
S3	<b>13</b>	38,10	1,00	<b>1,30</b>	<b>0,87</b>	0,06



Poligono	ANTIMONIO	PIOMBO	Benzo(a) antracene	Benzo(b) fluorantene	Benzo(a) pirene	Dibenzo(a,h) antracene
CSR	10	100	1,2	1,2	0,12	0,1
S4	1,2	82,00	0,60	0,96	0,58	0,16
S5	0,9	66,7	1,40	1,70	1,10	0,26

TABELLA 55: SINTESI DEGLI EFFETTIVI SUPERAMENTI DELLE CSR SANITARIE PER IL SUOLO SUPERFICIALE

## 11.2 OBIETTIVI DI BONIFICA PER IL SS A PROTEZIONE DELLA FALDA SUPERFICIALE

Si riportano nella seguente tabella gli obiettivi di bonifica ambientali per il suolo superficiale; i superamenti delle CSR sono dovuti ad inquinanti sia organici (Idrocarburi pesanti C>12, IPA e PCB totali) che inorganici (Antimonio e Piombo); anche in questo caso laddove siano risultate CSR inferiori alle rispettive CSC, quest'ultime sono state adottate come effettive CSR.

Contaminante	CRS	CSC	CSR
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Antimonio	1.30e+1	1.00e+1	10
Cadmio	2.06e+1	2.00e+0	5.5
Idrocarburi pesanti C>12	3.80e+2	5.00e+1	50
Benzo(a)antracene	1.40e+0	5.00e-1	0.5
Benzo(b)fluorantene	1.70e+0	5.00e-1	0.5
Benzo(k)fluorantene	8.00e-1	5.00e-1	0.5
Benzo(a)pirene	1.10e+0	1.00e-1	0.1
Indenopirene	1.00e+0	1.00e-1	0.78
Benzo(g,h,i)perilene	8.80e-1	1.00e-1	0.1
PCB totali	1.80e-1	6.00e-2	0,06

TABELLA 56: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALI PER IL SS

La seguente tabella mostra poi per quali inquinanti ed in quali poligoni, secondo il modello, si ha lisciviazione in falda.

Considerate le CSR risultanti (si veda anche la tabella seguente) sostanzialmente si confermano i superamenti localizzati di idrocarburi pesanti C>12, antimonio e cadmio; mentre per quanto riguarda gli IPA permane un rischio, dovuto principalmente a Benzo(a)pirene e Benzo(g,h,i)perilene, su tutta l'area del sito.

Poligono	Sb	Cd	Idrocarburi C>12	Benzo(a) antracene	Benzo(b) fluorantene	Benzo(k) fluorantene	Benzo (a)pirene	Indeno (1,2,3-c,d) pirene	Benzo (g,h,i) perilene	PCB
CSR	10	5,5	50	0,5	0,5	0,5	0,1	0,78	0,1	0,06
PZ3	7,10	7,70	170,00	0,21	0,16	0,11	0,18	0,18	0,17	0,03
PZ1	5,2	4,30	43,00	0,53	0,48	0,30	0,54	0,47	0,39	0,01
PZ4	0,60	0,20	20,00	0,33	0,51	0,26	0,36	0,02	0,19	0,01



Poligono	Sb	Cd	Idrocarburi C>12	Benzo(a) antracene	Benzo(b) fluorantene	Benzo(k) fluorantene	Benzo (a)pirene	Indeno (1,2,3-c,d) pirene	Benzo (g,h,i) perilene	PCB
<b>CSR</b>	<b>10</b>	<b>5,5</b>	<b>50</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,78</b>	<b>0,1</b>	<b>0,06</b>
<b>S1</b>	5,6	9,8	160,00	1,10	1,30	0,70	0,94	0,62	0,55	0,08
<b>S2</b>	1,2	1,4	44,00	0,66	0,74	0,36	0,67	0,63	0,52	0,02
<b>S3</b>	13	1,3	29,00	1,00	1,30	0,59	0,87	0,33	0,48	0,01
<b>S4</b>	1,2	20,6	380,00	0,60	0,96	0,41	0,58	0,68	0,61	0,18
<b>S5</b>	0,9	19,8	350,00	1,40	1,70	0,80	1,10	1,00	0,88	0,06

TABELLA 57: SINTESI DEGLI EFFETTIVI SUPERAMENTI DELLE CSR AMBIENTALI PER IL SUOLO SUPERFICIALE

### 11.3 OBIETTIVI DI BONIFICA PER IL SP A PROTEZIONE DELLA FALDA

Si riportano nella seguente tabella gli obiettivi di bonifica ambientali per il suolo profondo; i superamenti delle CSR sono dovuti ad inquinanti sia organici (IPA) che inorganici (Cadmio); anche in questo caso laddove siano risultate CSR inferiori alle rispettive CSC, quest'ultime sono state adottate come effettive CSR.

Contaminante	CRS	CSC	CSR (GW)
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Cadmio	7.40e+0	2.00e+0	5.7
Pirene	5.30e+0	5.00e+0	5
Benzo(b)fluorantene	1.40e+0	5.00e-1	0.5
Benzo(k)fluorantene	3.20e+0	5.00e-1	0.5
Benzo(a)pirene	2.00e+0	1.00e-1	0.1
Benzo(g,h,i)perilene	2.70e-1	1.00e-1	0.1
Dibenzo(a,l)pirene	1.03e-1	1.00e-1	0.1
Dibenzo(a,h)antracene	1.60e-1	1.00e-1	0.1

TABELLA 58: DETERMINAZIONE CSR AMBIENTALE SORGENTE PER IL SP

La seguente tabella mostra poi per quali inquinanti ed in quali poligoni, secondo il modello, si ha lisciviazione in falda. Considerate le CSR risultanti (si veda anche la tabella seguente) sostanzialmente si confermano i superamenti localizzati di Cadmio (in S4); mentre per quanto riguarda gli IPA permane un rischio, dovuto principalmente a Benzo(a)pirene, su tutta l'area del sito.

Poligono	Cadmio	Pirene	Benzo(b) fluorantene	Benzo(k) fluorantene	Benzo(a) pirene	Benzo (g,h,i) perilene	Dibenzo (a,l) pirene	Dibenzo (a,h) pirene
<b>CSR</b>	<b>5,7</b>	<b>5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>PZ4</b>	0,20	0,36	0,11	0,38	0,20	0,02	0,02	0,02
<b>S2</b>	0,20	0,26	0,22	0,14	0,20	0,09	0,02	0,02



Poligono	Cadmio	Pirene	Benzo(b) fluorantene	Benzo(k) fluorantene	Benzo(a) pirene	Benzo (g,h,i) perilene	Dibenzo (a,l) pirene	Dibenzo (a,h) pirene
<b>CSR</b>	<b>5,7</b>	<b>5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>S3</b>	0,20	0,44	0,46	0,26	0,34	0,20	0,02	0,02
<b>S4</b>	7,4	0,46	0,53	0,28	0,36	0,27	0,02	0,02
<b>S5</b>	0,21	5,30	1,40	3,20	2,00	0,02	0,103	0,16

TABELLA 59: SINTESI DEGLI EFFETTIVI SUPERAMENTI DELLE CSR AMBIENTALI PER IL SUOLO PROFONDO



## 12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente documento costituisce l'Analisi di Rischio Sanitario - Ambientale (AdR) del sito denominato Vasca 7 è ubicato lungo la via di Viaccia, Pisa in destra idrografica al Canale dei Navicelli. Il sito è costituito da una vasca per il deposito dei sedimenti provenienti da attività di dragaggio.

I sedimenti della Vasca 7 furono stati spostati nel 2014 con la realizzazione del progetto: *“Lavori di sistemazione morfologica della vasca 1, predisposizione della vasca 2 per lo stoccaggio dei sedimenti presenti attualmente presenti nella vasca 7, sistemazione morfologica e piantumazione di alcune specie vegetali sulle vasche denominate 1 e 2.* La successiva verifica del fondo scavo, eseguita congiuntamente con ARPAT, rilevò delle non conformità; per le quali fu inoltrata alle PP.AA competenti una notifica secondo quanto previsto dall'articolo 242 comma 1 del D.Lgs. 152/06 (codice SISBON PI-PI 1016).

Il Comune di Pisa con la Determina DD-16A/701 del 10/6/2016 ha poi approvato il Piano di Caratterizzazione.

L'elaborazione della AdR si è resa pertanto necessaria a seguito delle risultanze delle indagini di caratterizzazione ambientale (trasmesse alla PP.AA in data 7 febbraio 2017), dalle quali risultano superamenti rispetto alla Colonna A della Tabella 1, Allegato 5 al D. Lgs.152/06, nel suolo superficiale ed in misura minore nel suolo profondo di metalli, IPA, idrocarburi pesanti e PCB.

Il Comune di Pisa con la Determina DD-16B/1264 del 30/10/2018 ha infatti approvato la Caratterizzazione svolta con la richiesta di elaborazione di un'AdR per i suoli insaturi associata al monitoraggio periodico delle acque sotterranee.

E' stata quindi condotta un'analisi di rischio igienico-sanitaria sito-specifica, conformemente a quanto previsto dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i (AdR). L'analisi di rischio è stata sviluppata in modalità inversa (backward), per la definizione della massima concentrazione di contaminanti compatibile con un rischio accettabile per il recettore (stima CSR sito-specifiche).

È stato quindi sviluppato un Modello Concettuale con le matrici ambientali suolo insaturo profondo (SP) e suolo insaturo superficiale (SS). Sono state poi modellizzate tutte le sorgenti secondarie di potenziale contaminazione sulla base dei dati delle risultanze analitiche.

I residui del fango di dragaggio come evidenziato anche da ARPAT sono “ormai interamente inglobati con il substrato argilloso-limoso tanto da non essere più distinguibili da quest'ultimo”. Tali fanghi sono stati quindi assunti, nello sviluppo della AdR, come parte delle sorgenti secondarie (suolo superficiale e/o profondo).



Sono stati individuati poi per ciascuna sorgente i contaminanti di interesse con le rispettive Concentrazioni Rappresentative.

In sintesi lo stato di potenziale contaminazione risulta il seguente:

- suolo superficiale: metalli (Antimonio, Berillio, Cadmio, Cromo totale, Piombo, Zinco), idrocarburi pesanti C>12, IPA, PCB;
- suolo profondo: metalli (Berillio, Cadmio), IPA.

Gli scenari definiti sono risultati:

- Ricreativo outdoor on-site, in quanto il sito fa parte di un parco urbano (Cfr paragrafo 2.1);
- Commerciale outdoor off-site (piazzali dei cantieri situati di fronte, sull'altra sponda del canale).

Sulla base degli scenari sopra definiti, i bersagli umani sono risultati rispettivamente:

- frequentatori on-site outdoor in scenari esclusivamente ricreativi;
- lavoratori off-site outdoor.

I bersagli ambientali sono individuabili nelle acque sotterranee con il punto di conformità (POC) posto in corrispondenza del confine di valle idrogeologica.

Considerato quanto sopra e la tipologia degli inquinanti, tutti non volatili, le vie di migrazione e di esposizione attive risultano, per quanto riguarda i bersagli umani, ingestione/contatto dermico e inalazione polveri outdoor e per quanto riguarda il bersaglio ambientale (falda freatica superficiale) lisciviazione/trasporto in falda.

Per la definizione dei parametri sito-specifici è stato utilizzato il seguente criterio: per quanto possibile i parametri sito specifici sono stati determinati mediante misure dirette; in mancanza misure dirette sono stati in primis utilizzati dati da bibliografia relativi all'area in esame e secondariamente mediante criteri di stima indiretta; infine, qualora non fosse applicabile alcuno dei criteri succitati sono stati utilizzati i valori di default proposti per una analisi di Livello di 1.

Il calcolo delle CSR è stato effettuato con il software Risk-net versione 3.1; le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti sono quelle riportate sul database ISS-INAIL aggiornato al marzo 2018.

Considerate le CSR SANITARIE calcolate:

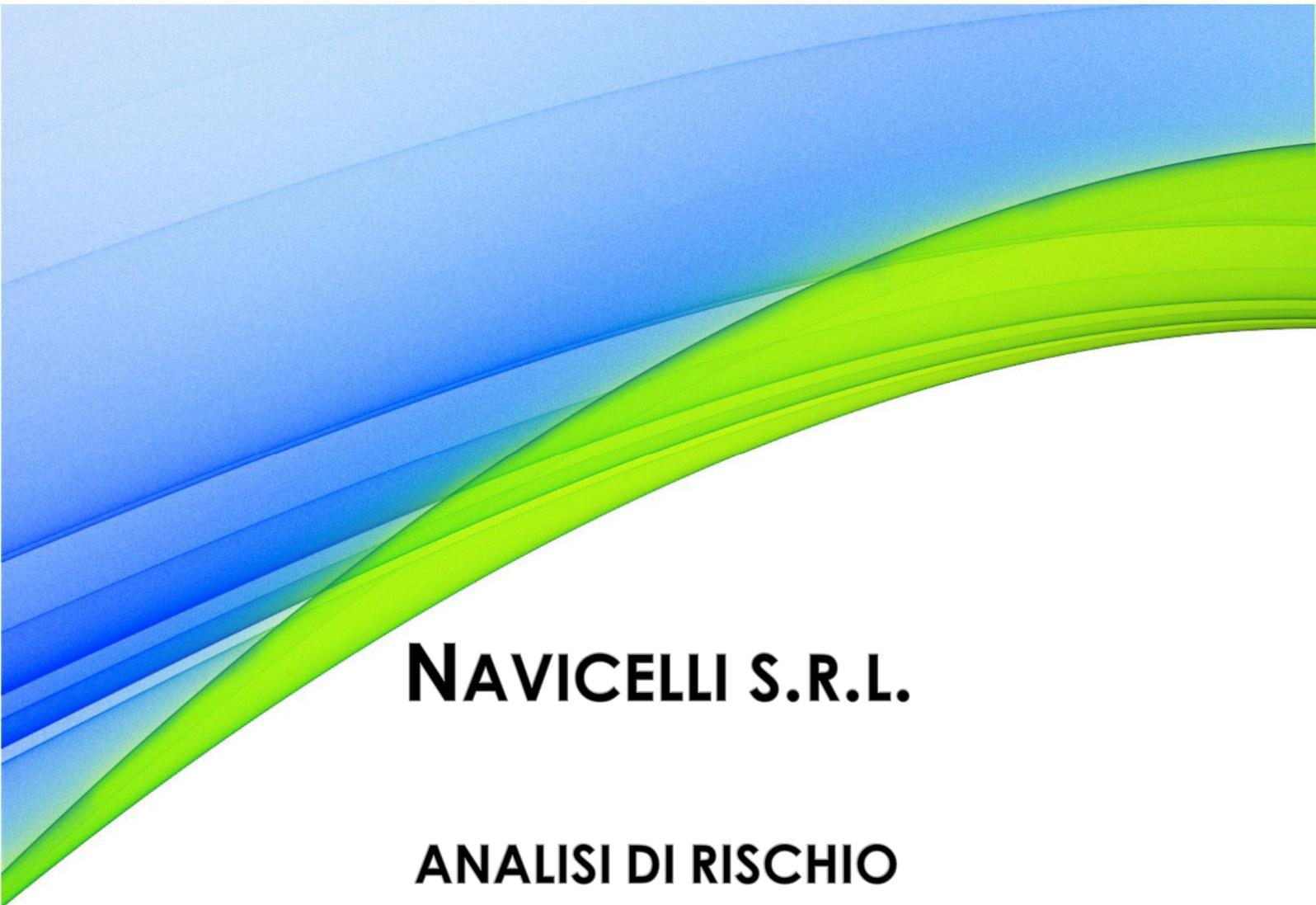
- per lo scenario **ricreativo on site** risulta che per i frequentatori la criticità è dovuta all'esposizione diretta (ingestione e contatto dermico) agli inquinanti non volatili sia organici (IPA) che inorganici (Antimonio e Piombo) del suolo superficiale;
- per lo scenario **commerciale off site** non risultano criticità per i lavoratori dei cantieri.



Le criticità rilevate indicano che dal punto di vista sanitario gli interventi di bonifica dovranno essere finalizzati a interrompere i percorsi diretti indicativamente mediante la rimozione e/o copertura, con materiale compatibile da un punto di vista sia litologico-tessiturale che chimico, del suolo superficiale.

Considerate le CSR AMBIENTALI da suolo insaturo, risulta che si ha lisciviazione dal suolo superficiale degli inquinanti sia organici (Idrocarburi pesanti C>12, IPA e PCB totali) che inorganici (Antimonio e Piombo) e dal suolo profondo lisciviano IPA e Cadmio.

La presenza nelle acque sotterranee, rilevata nell'ultimo monitoraggio (gennaio 2019), di tenori sempre inferiori alle rispettive CSC ma non nulli di idrocarburi totali e Cadmio, non consente di considerare il percorso lisciviazione in falda da suolo insaturo non attivo. Il prosieguo del monitoraggio periodico delle acque sotterranee (in ottemperanza anche alle prescrizioni previste nella DD-16B/1264 del 30/10/2018) consentirebbe pertanto di verificare l'effettiva attività di tale percorso e di valutare quindi l'opportunità di integrare gli interventi relativi al SS di cui sopra con opere finalizzate a impedire l'infiltrazione delle acque meteoriche.

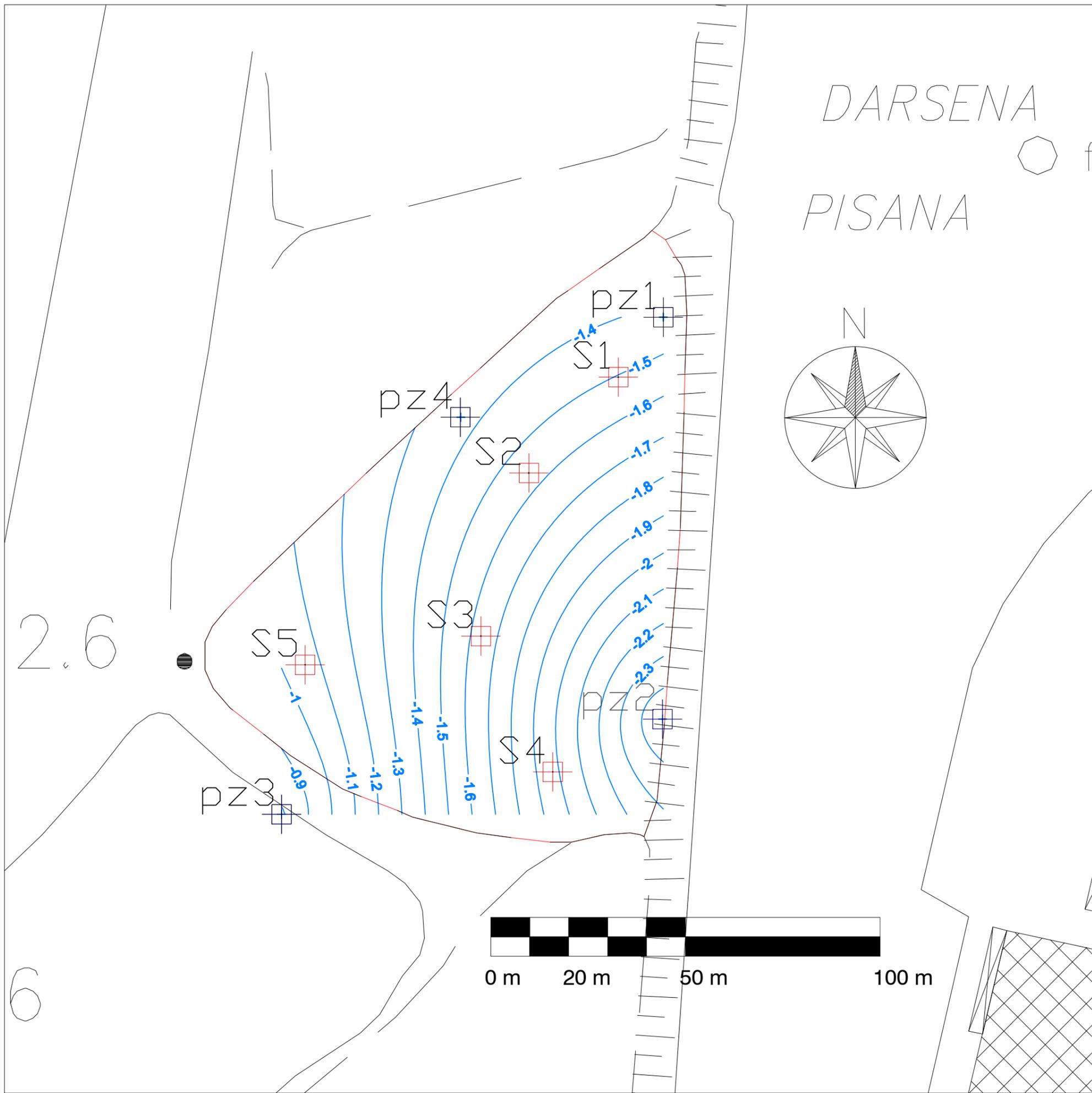


**NAVICELLI S.R.L.**

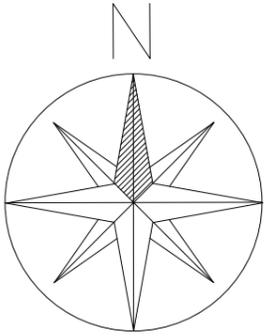
**ANALISI DI RISCHIO  
SITO SPECIFICA**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

TAVOLE



DARSENA  
PISANA



**Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale**

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

**Tavola 1**  
**Freatimetria Gennaio 2019 (m slm)**

**Legenda**

- Quota piezometrica in m slm
- Piezometro
- Trincea
- Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

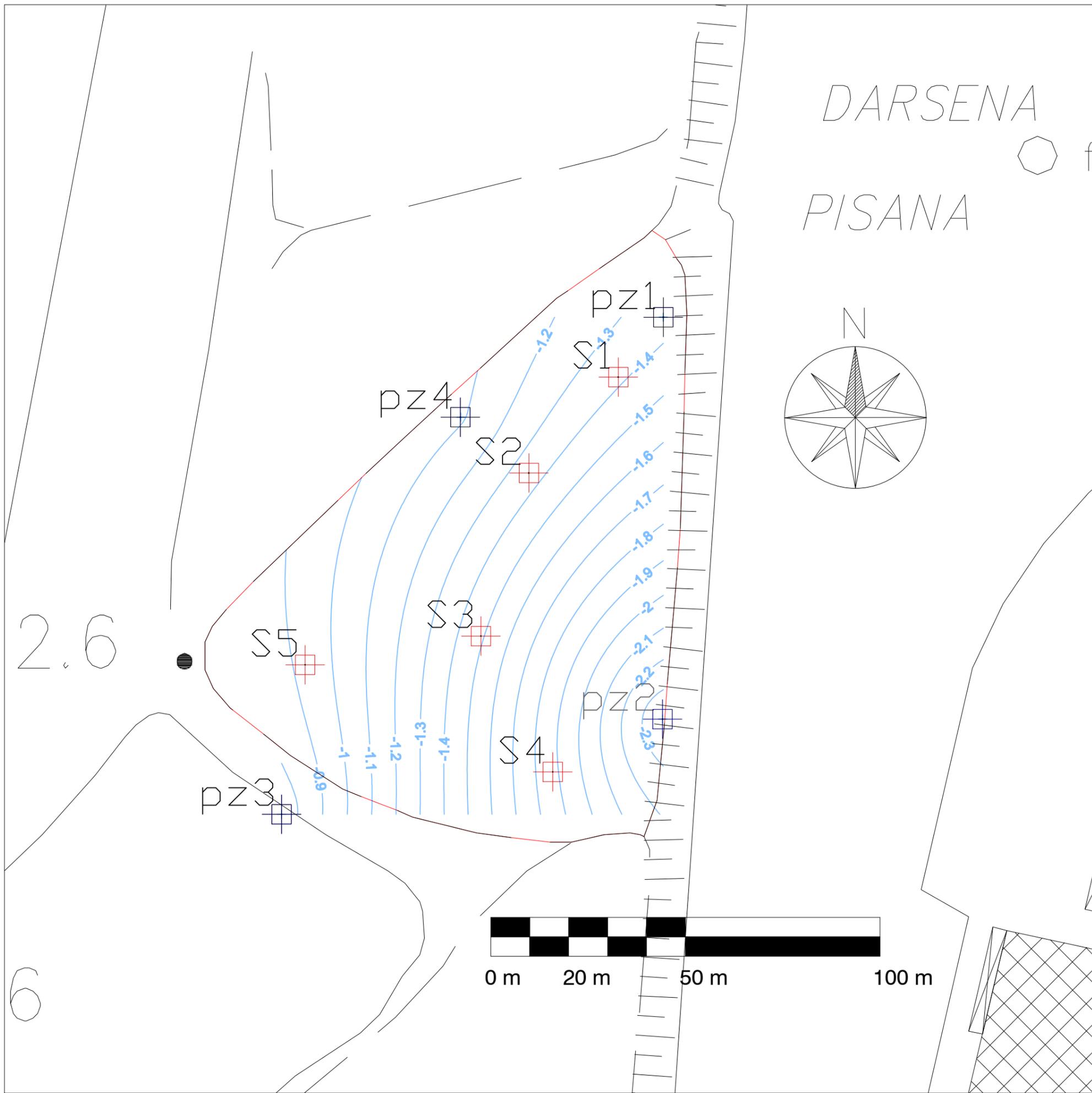
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**1**



## Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 2 Freatimetria Marzo 2019 (m slm)

#### Legenda

- Quota piezometrica in m slm
- Piezometro
- Trincea
- Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

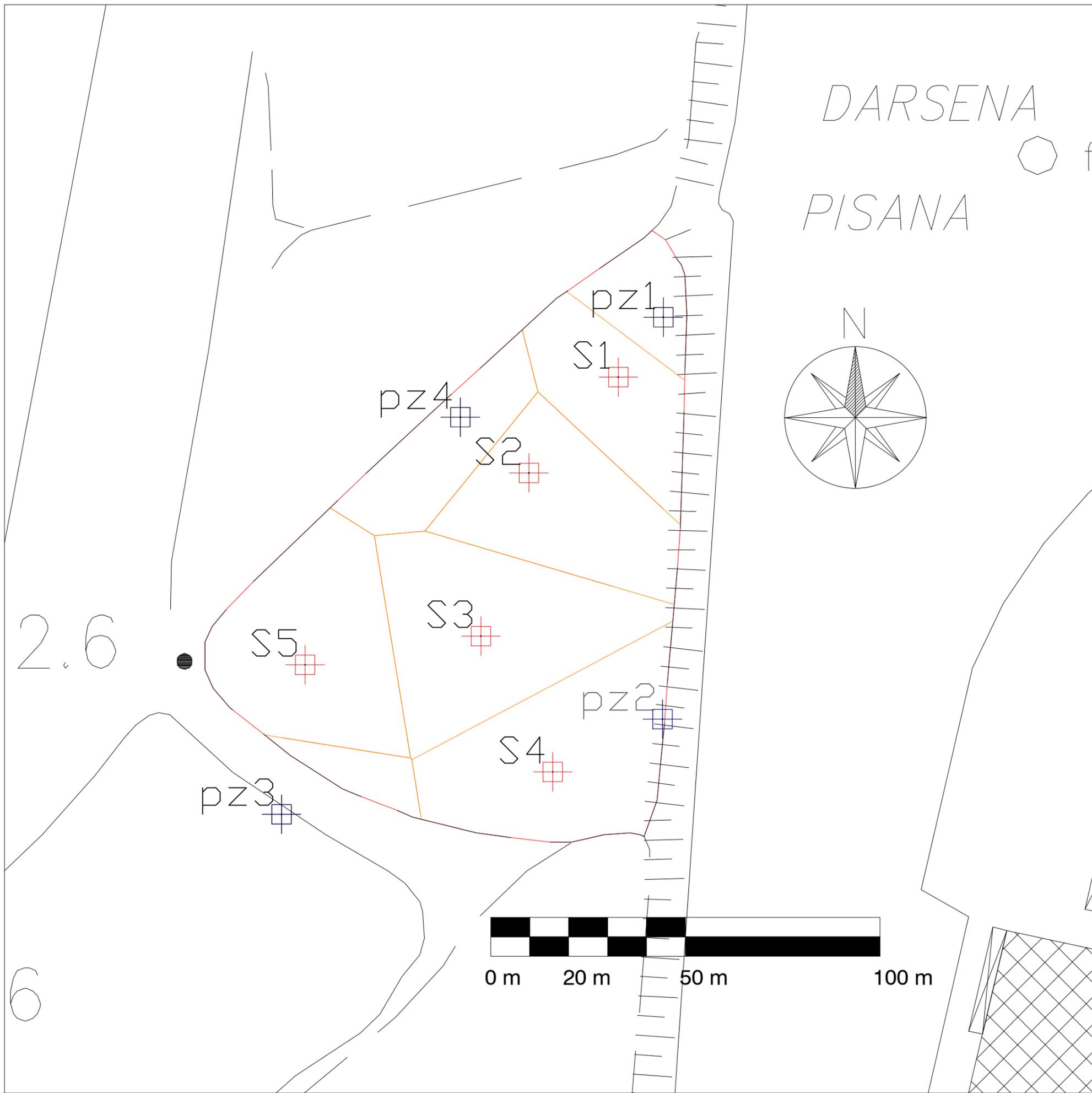
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**2**



## Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 3 Poligoni di Thiessen SS

#### Legenda

-  Poligoni di Thiessen
-  Piezometro
-  Trincea
-  Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

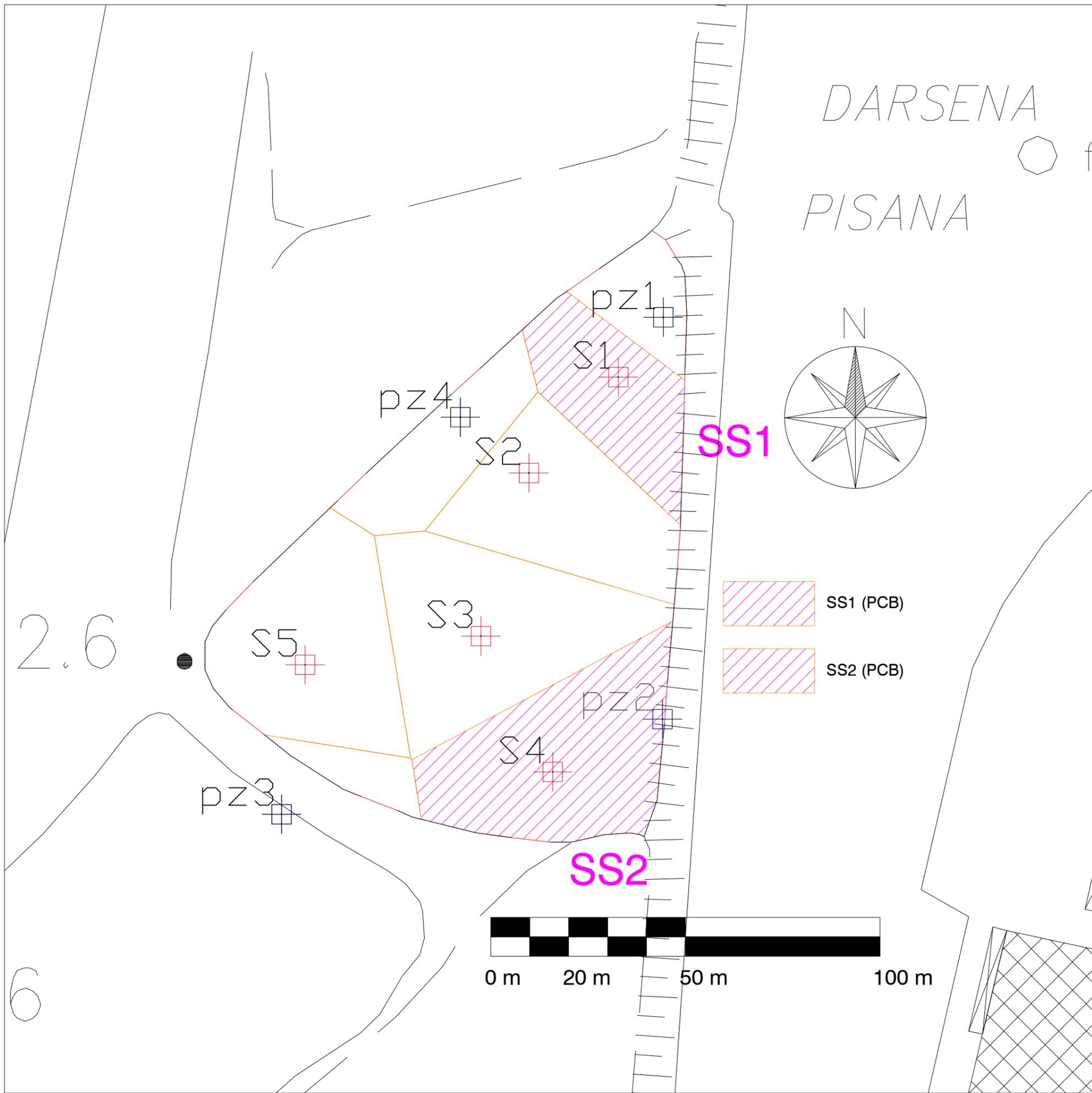
SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA

**3**



### Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 4 Sorgenti SS1 e SS2

#### Legenda

-  Poligoni di Thiessen
-  Piezometro
-  Trincea
-  Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

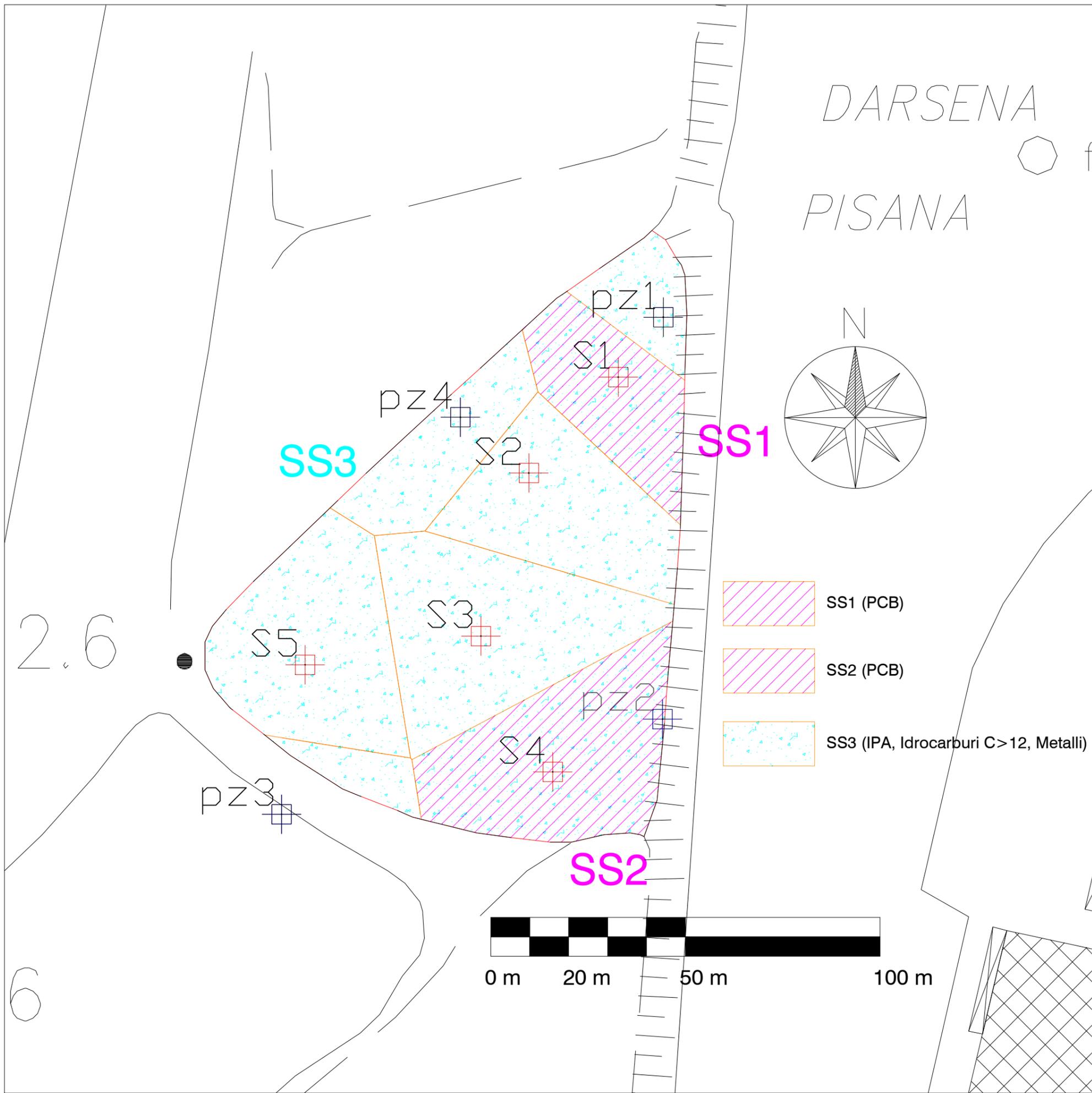
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**4**



### Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 5 Sorgenti SS1, SS2 e SS3

#### Legenda

- Poligoni di Thiessen
- Piezometro
- Trincea
- Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

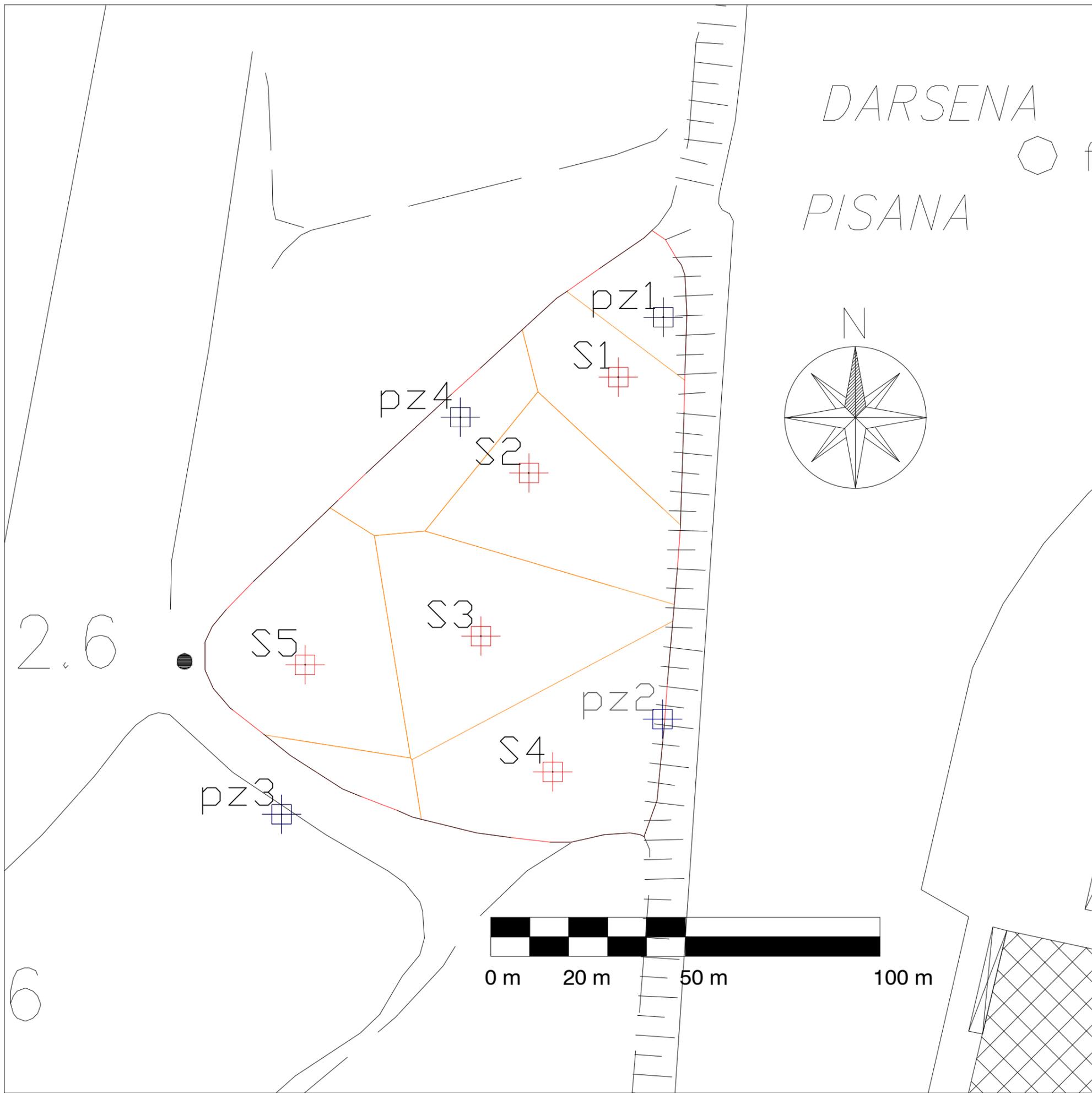
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**5**



## Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 6 Poligoni di Thiessen SP

#### Legenda

-  Poligoni di Thiessen
-  Piezometro
-  Trincea
-  Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

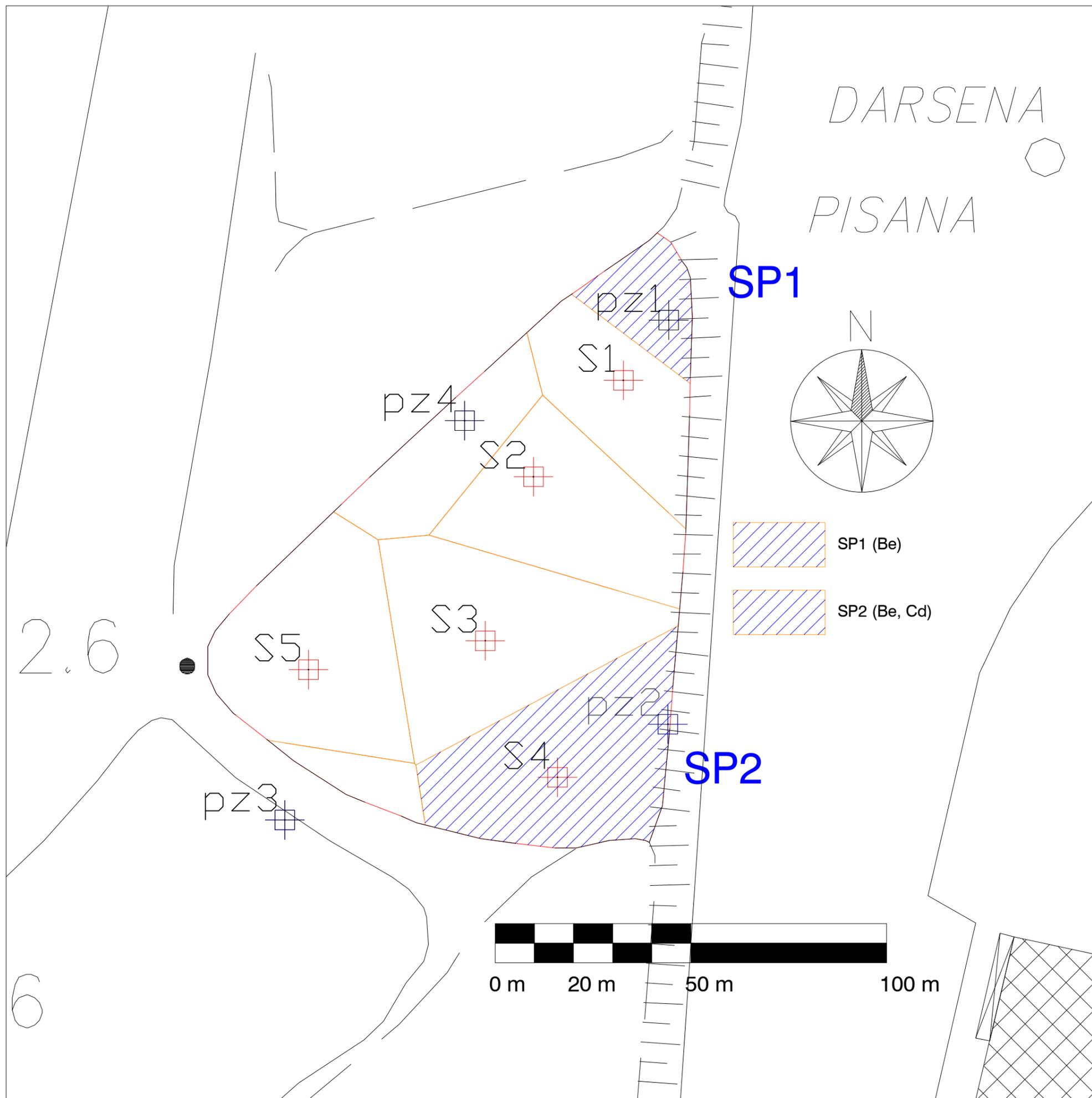
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**6**



## Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 7 Sorgenti SP1 e SP2

#### Legenda

-  Poligoni di Thiessen
-  Piezometro
-  Trincea
-  Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

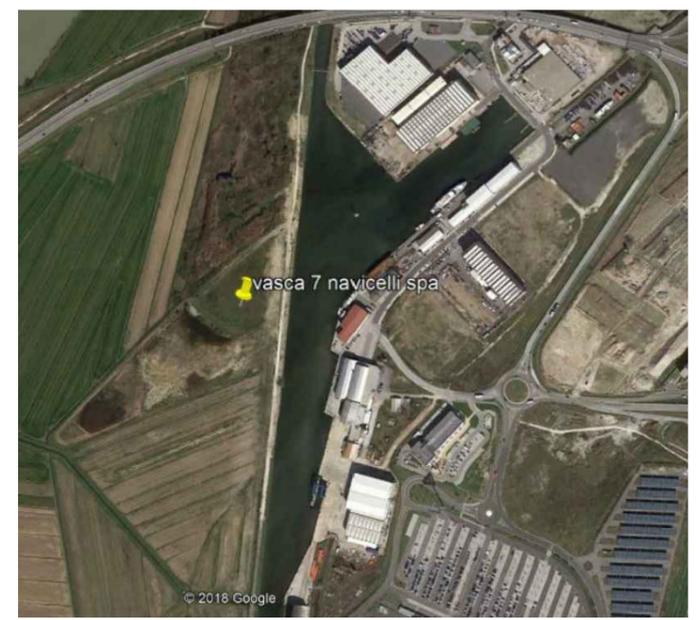
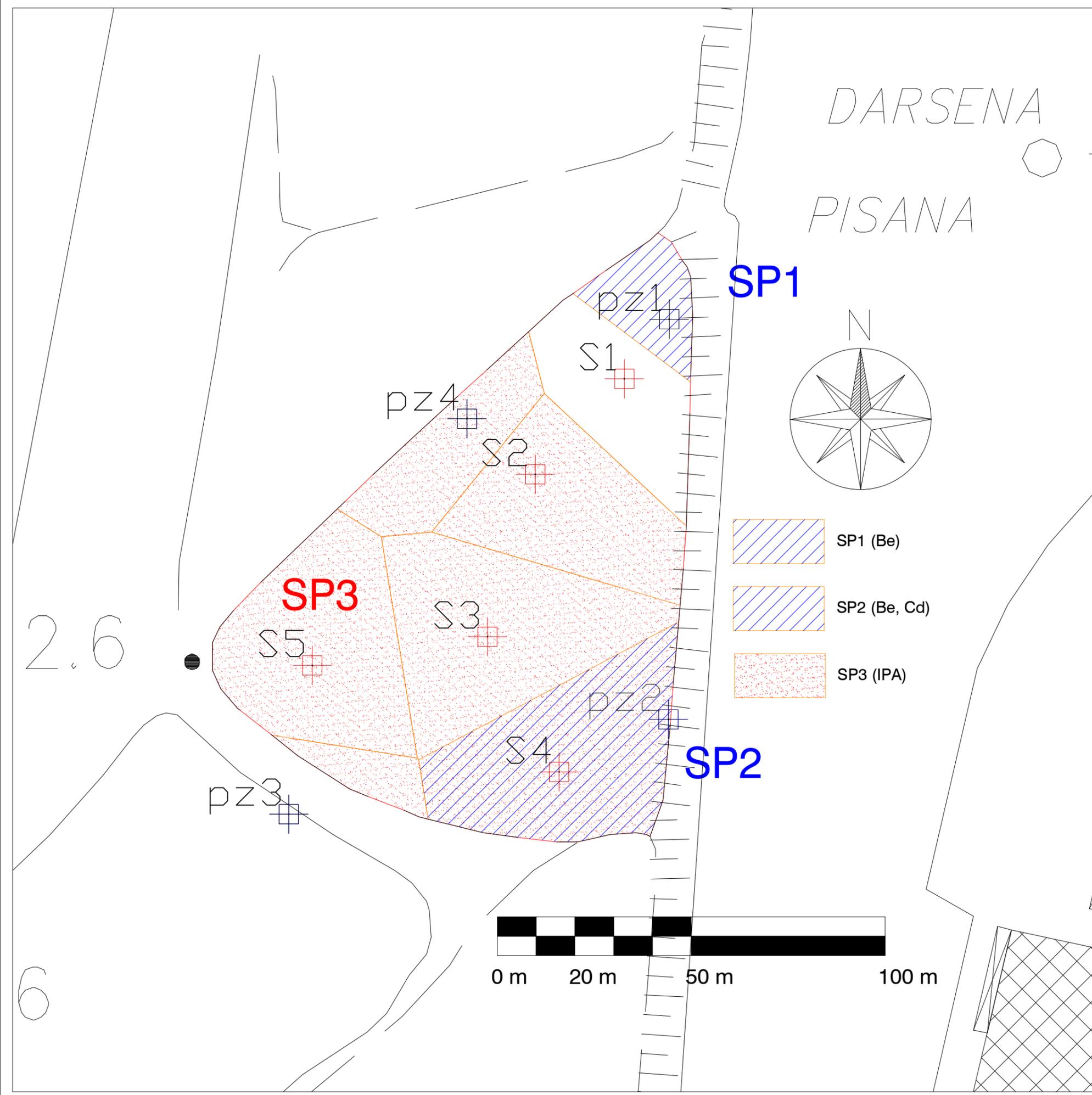
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**7**



### Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 8 Sorgenti SP1, SP2 e SP3

#### Legenda

- Poligoni di Thiessen
- Piezometro
- Trincea
- Perimetro area di indagine

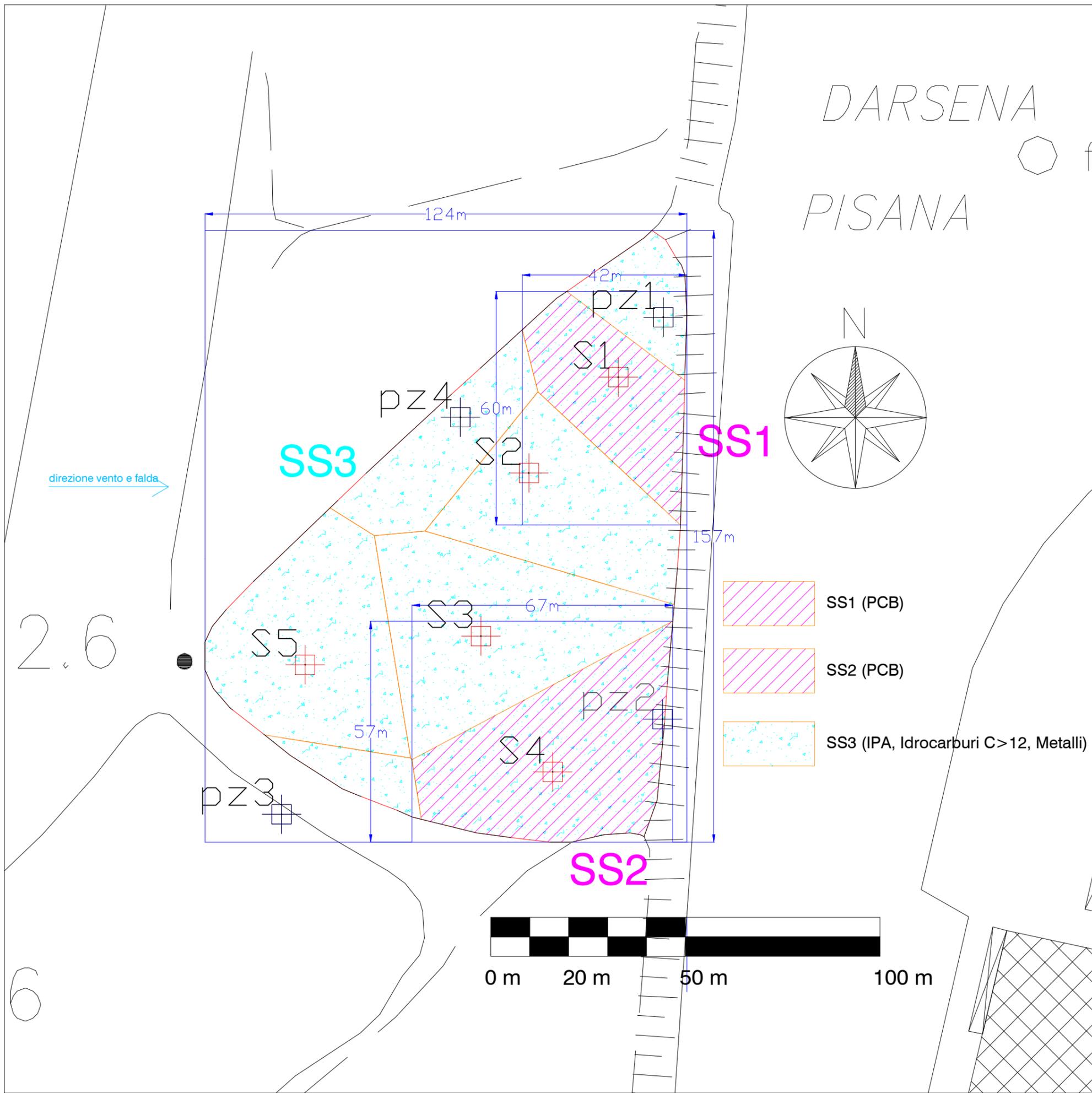
A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA	formato	rev	TAVOLA
1:1.000	A 3	0	<b>8</b>



## Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 9

Dimensioni delle Sorgenti nel SS nella direzione del Vento e della Falda

#### Legenda

- Poligoni di Thiessen
- Piezometro
- Trincea
- Perimetro area di indagine

A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

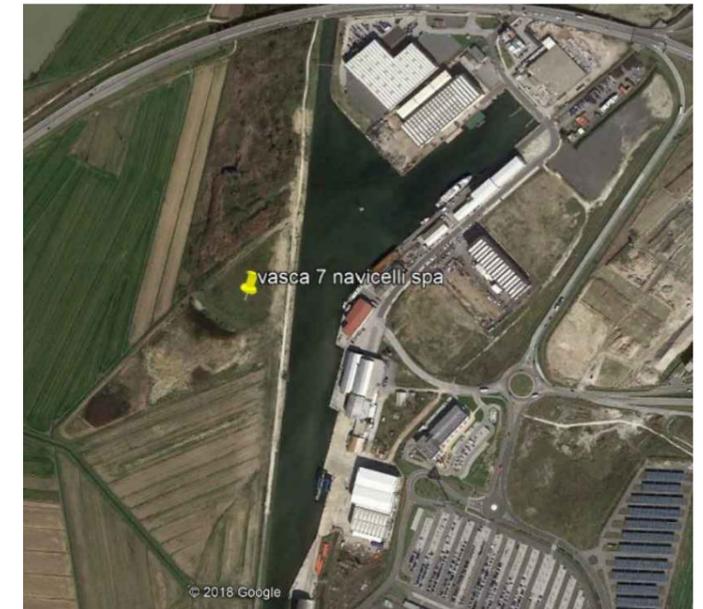
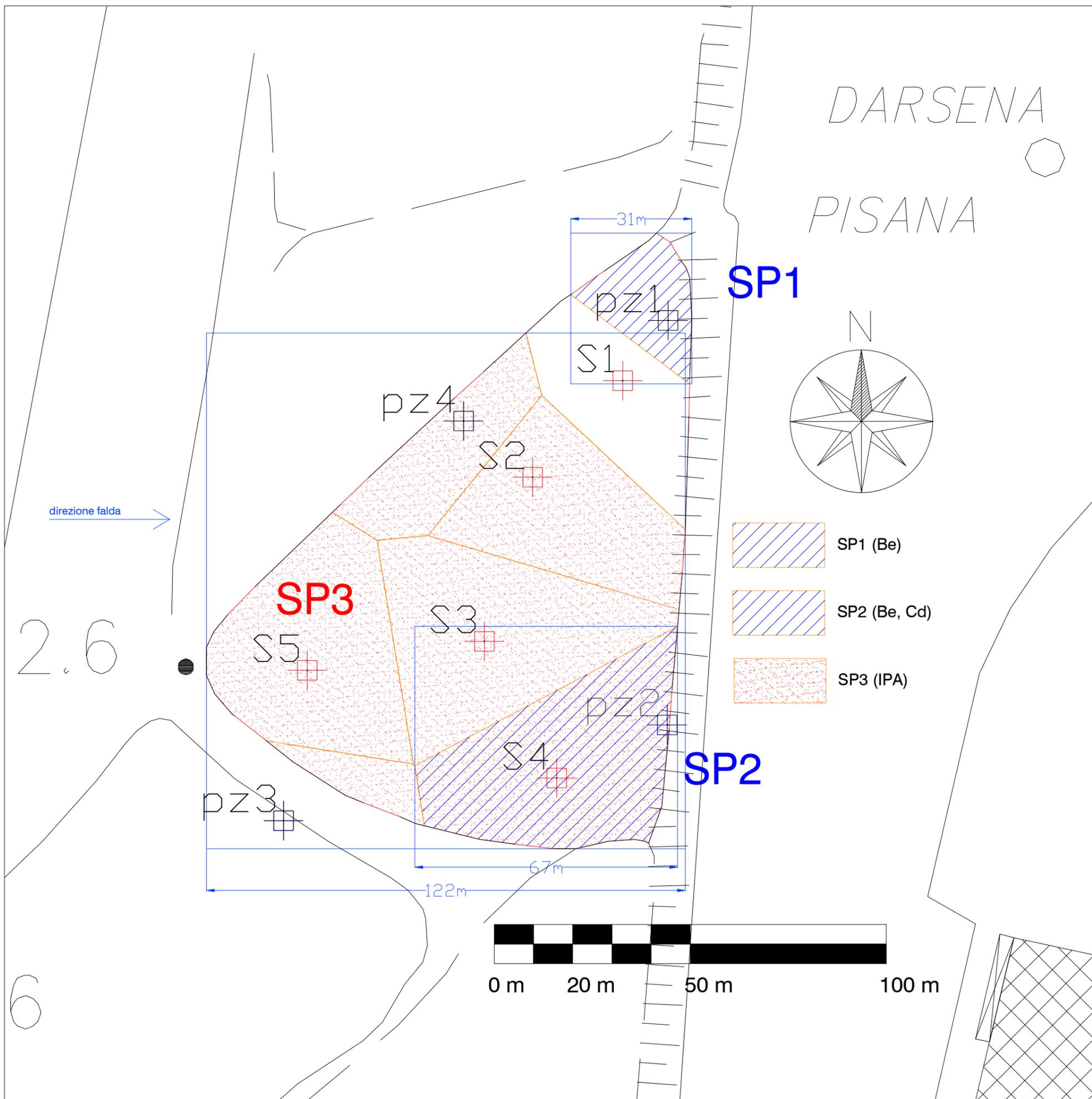
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**9**



## Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 10

Dimensioni delle Sorgenti nel SP nella direzione  
della Falda

#### Legenda

-  Poligoni di Thiessen
-  Piezometro
-  Trincea
-  Perimetro area di indagine

A CURA DI :

**ambiente s.p.a.**  
Ingegneria consulenza laboratori  
per l'ambiente

**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

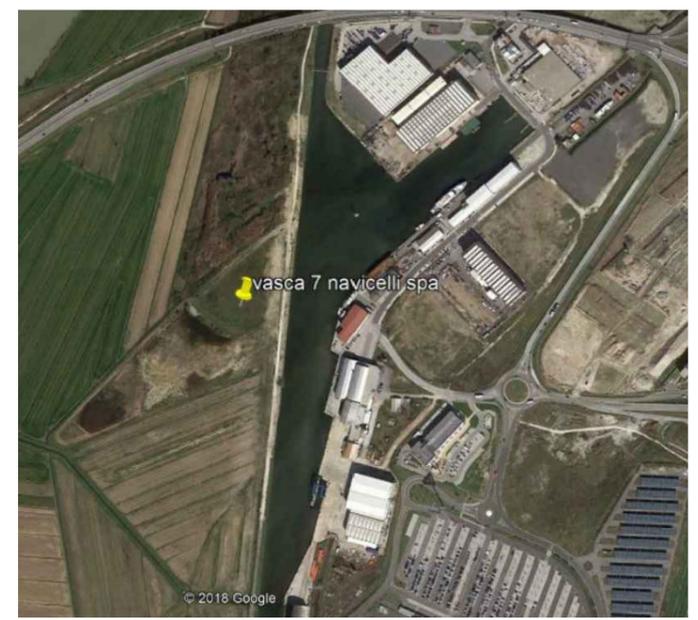
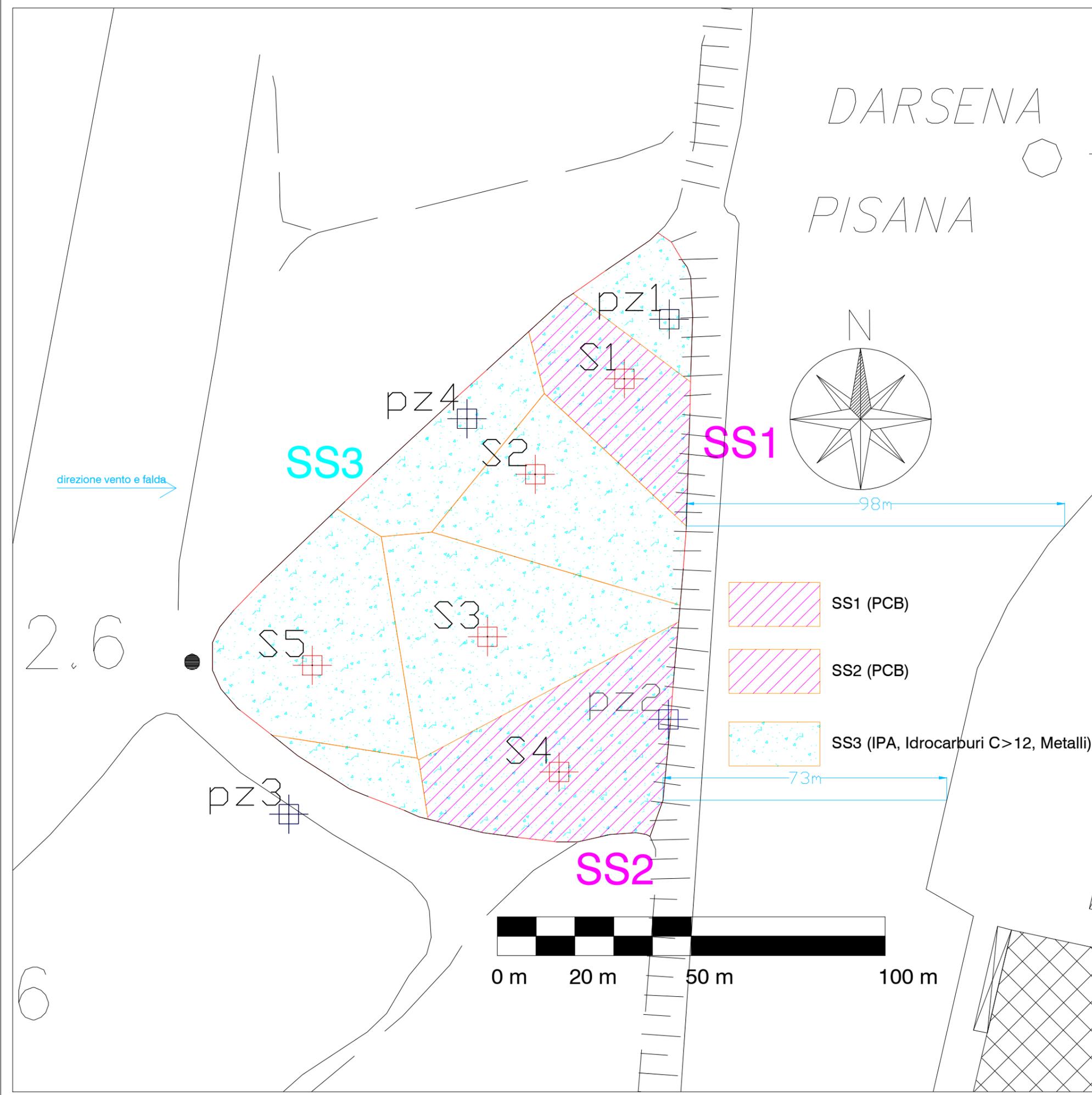
rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA  
1:1.000

formato  
A 3

rev  
0

TAVOLA  
**10**



### Analisi di Rischio Sanitaria - Ambientale

Navicelli srl - Sito Vasca 7  
Codice SISBON PI-PI 1016  
Comune di Pisa

### Tavola 11

Distanze dei Bersagli OFF SITE

#### Legenda

- Poligoni di Thiessen
- Piezometro
- Trincea
- Perimetro area di indagine

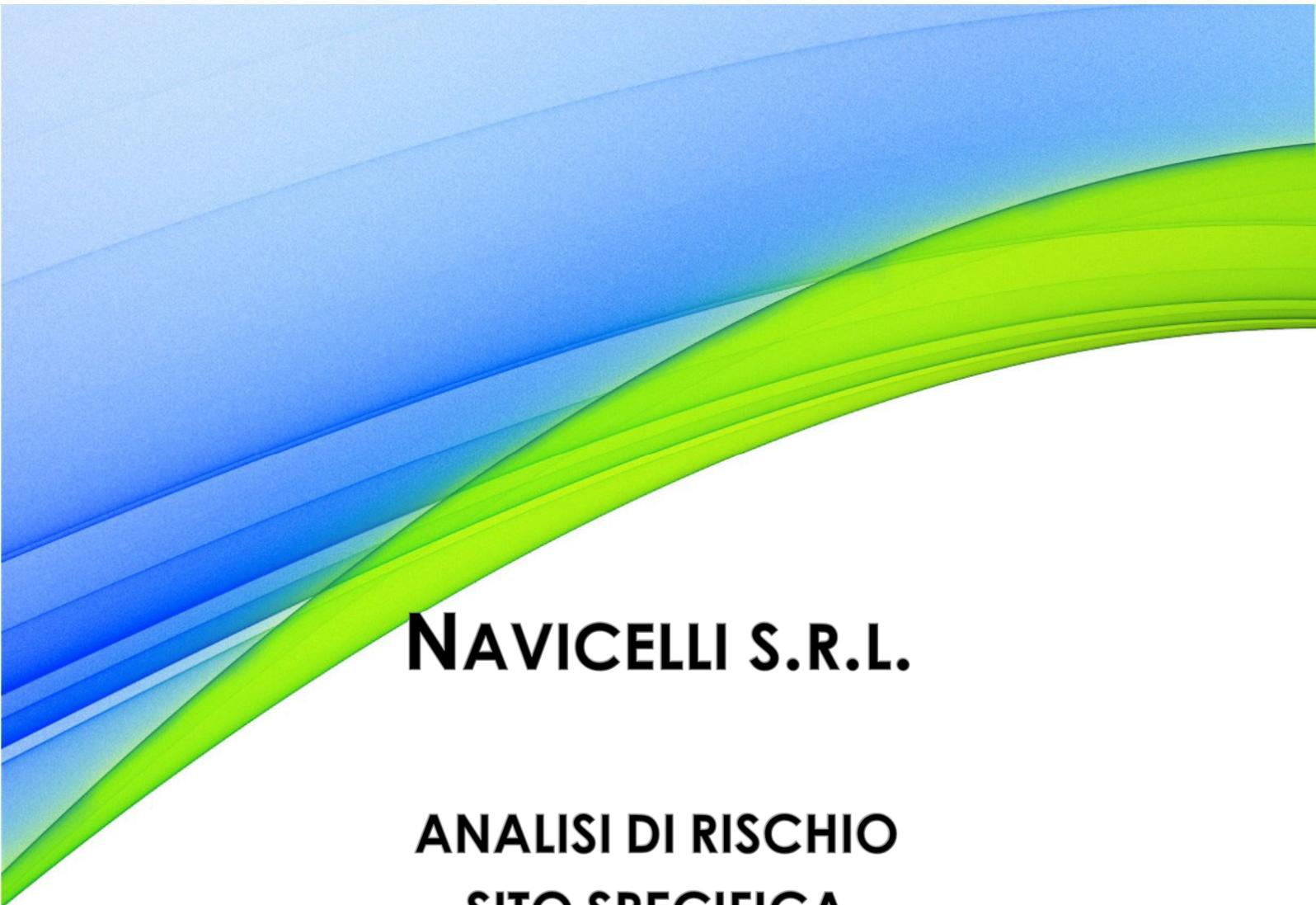
A CURA DI :



**ambiente sc**  
Carrara, via Frassina 21 - Tel. 0585-855624  
Firenze, via di Soffiano, 15 - Tel. 055-7399056

rev	data	descrizione	redatto	verificato
0	05/04/2019		am	pm

SCALA	formato	rev	TAVOLA
1:1.000	A 3	0	<b>11</b>



**NAVICELLI S.R.L.**

**ANALISI DI RISCHIO  
SITO SPECIFICA**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

ALLEGATO 1  
DETERMINA DEL COMUNE DI PISA  
DD-16B/1264 DEL 30/10/2018



## COMUNE DI PISA

<b>TIPO ATTO <i>PROVVEDIMENTO SENZA IMPEGNO con FD</i></b>	
<b>N. atto DD-16B / 1264</b>	<b>del 30/10/2018</b>
<b>Codice identificativo 1678874</b>	

**PROPONENTE *Piano strutturale - Politiche della casa - Ambiente - Edilizia privata***

<b>OGGETTO</b>	<b>VALIDAZIONE CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE E GEOLOGICA DEL SITO DENOMINATO "S.P.A. NAVICELLI DI PISA VASCA N.7" (CODICE SISBON PI-PI-1016)</b>
----------------	---

Istruttoria Procedimento	
Posizione Organizzativa responsabile	<b><i>REDINI MARCO</i></b>
Dirigente della Direzione	<b><i>PESCATORE PIETRO</i></b>

## COMUNE DI PISA



### DIREZIONE PIANO STRUTTURALE DI AREA E PIANIFICAZIONE SOVRACOMUNALE - POLITICHE DELLA CASA - AMBIENTE - EDILIZIA PRIVATA

**OGGETTO:** validazione caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato "S.p.A. Navicelli di Pisa Vasca n.7" (codice SISBON PI-PI-1016).

#### IL RESPONSABILE P.O.

##### VISTI:

- il D.Lgs. 03/04/2006, n. 152, "Norme in materia ambientale", e ss.mm.ii.;
- la L.R. 18/05/1998, n. 25, "Norme per la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati", e ss.mm.ii.;
- la L.R. 24/02/2016, n. 15, "Riordino delle funzioni amministrative in materia ambientale in attuazione della L.R. 22/2015 nelle materie rifiuti, tutela della qualità dell'aria, inquinamento acustico";
- la L.R. 10/07/2006, n. 30, "Funzioni amministrative di competenza comunale in materia di bonifica di siti inquinati";
- la deliberazione della G.R. n. 301 del 15/03/2010, "L.R. 25/98 - Art. 5 - Comma 1 (Lett. E bis) - Linee guida e indirizzi operativi in materia di bonifica di siti inquinati";
- le decisioni del Sindaco n. 55 del 27/06/2018, n. 126 del 18/10/2018 e n. 139 del 22/10/2018 di attribuzione/modifica/conferma/dell'incarico di Dirigente della Direzione Piano Strutturale d'Area - Politiche della Casa - Ambiente - Edilizia Privata all'Avv. Pietro Pescatore;
- la determinazione dirigenziale n. 1241 del 26/10/2018 con la quale il dirigente della Direzione, Avv. Pescatore, conferma al dott. Marco Redini l'incarico di Responsabile della Posizione Organizzativa dell'Ufficio Ambiente della Direzione, con decorrenza 22/10/2018 e fino a scadenza del Dirigente stesso e comunque fino a diverso provvedimento;

##### PREMESSO CHE:

- con nota prot. n. 49 del 06/02/2017 acquisita al protocollo generale del Comune il 07/02/2017 con prot. n. 10703, la società S.p.A. Navicelli di Pisa ha presentato l'elaborato "Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato Vasca 7" che rappresenta il risultato delle indagini di caratterizzazione eseguite nelle modalità approvate dal Comune di Pisa con la determinazione n. DD-16A/701 del 10/06/2016 rivolte alla ricostruzione del modello concettuale definitivo del sito denominato "S.p.A. Navicelli di Pisa Vasca n.7";

##### VISTI:

- il parere di ARPAT prot. n. 11098 del 14/02/2018 acquisito al protocollo generale con prot. n. 14941 del 14/02/2018, allegato al presente atto del quale fa parte integrante e sostanziale (allegato A);
- il parere della Regione Toscana prot. n. 106160 del 23/02/2018 acquisito al protocollo generale con prot. n. 18308 del 23/02/2018, allegato al presente atto del quale fa parte integrante e sostanziale (allegato B);

RILEVATA la propria competenza ai sensi dell'art. 107 del D. Lgs. 18/08/2000, n. 267;

## DETERMINA

- di prendere atto dei pareri di ARPAT e della Regione Toscana allegati al presente atto quale parti integranti e sostanziali (allegati A e B), e di fare proprie le indicazioni ivi contenute;
- di validare con prescrizioni il quadro ambientale ricostruito dalla società S.p.A. Navicelli di Pisa;
- di richiedere alla stessa società:
  - a) la presentazione di una Analisi di Rischio sito specifica/proposta di intervento per i superamenti del limite normativo rinvenuti nella matrice terreno sia dal laboratorio di parte che da quello di ARPAT (determinando i parametri sito specifici necessari, come già prescritto dalla Conferenza del 18/11/2015);
  - b) l'esecuzione di una ulteriore fase di monitoraggio delle acque sotterranee (dai n.4 piezometri presenti sul sito), da effettuarsi a cadenza trimestrale per la durata di un anno solare, determinando i seguenti parametri: anioni maggiori (solfati, cloruri, nitrati, fluoruri), ammoniaca, metalli (Zn, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr) e idrocarburi "C>12"; dovranno essere determinati inoltre i parametri fisico-chimici in campo (conducibilità, temperatura, potenziale redox, O<sub>2</sub> disciolto, Ph).
- di prescrivere alla stessa società:
  - a) una tempistica di 60 giorni per l'inizio della fase di monitoraggio delle acque sotterranee per permettere di acquisire un più elevato grado di conoscenza della situazione ambientale del sito;
  - b) una tempistica di 90 giorni per la presentazione delle valutazioni di rischio per la matrice terreno;
  - c) almeno 10 giorni prima della realizzazione di qualsiasi intervento dovrà esserne fatta comunicazione a tutte le Amministrazioni competenti e che almeno 10 giorni prima della realizzazione di qualsiasi operazione di campionamento dovrà essere preso preliminare contatto con l'ARPAT - Dipartimento di Pisa, affinché i suoi tecnici possano provvedere al prelievo dei controcampioni necessari alla validazione del dato di parte;
- di trasmettere copia del presente provvedimento a:
  - S.p.A. Navicelli di Pisa
  - ARPAT - Dipartimento di Pisa
  - Azienda USL Toscana nord ovest - Dipartimento di Prevenzione - UF ISPAN
  - Regione Toscana - Direzione Ambiente - Settore Bonifiche
  - Prefettura di Pisa - Area V

## RENDE NOTO CHE

il responsabile del procedimento, ai sensi e per gli effetti dell'art. 6 della L. 07/08/1990, n. 241, e ss.mm.ii., è il Dott. Andrea Sbrana, dipendente del Comune di Pisa, responsabile dell'U.O. Bonifiche Siti Contaminati.

**Il Responsabile**  
**P.O. Ambiente**  
**Dott. Geol. Marco Redini**



REGIONE TOSCANA  
Giunta Regionale

**Direzione  
Ambiente ed Energia**

**Settore  
Bonifiche e Autorizzazioni Rifiuti**  
*regionetoscana@postacert.toscana.it*

*Spett.le Comune di Pisa  
Via degli Uffizi, 1 56100 Pisa  
Ufficio Ambiente*

*PEC: comune.pisa@postacert.toscana.it*

**p.c.**

*Spett.le ARPAT – Dip.to di Pisa  
Via V. Veneto, 27 – 56127 Pisa*

*PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it*

**Oggetto:** procedura di bonifica relativa al sito denominato “vasca n.7 ” ubicato in destra idrografica rispetto al Canale dei Navicelli lungo via di Viaccia (codice “Sisbon” PI-PI-1016) – **parere** sull’elaborato dal titolo “Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato Vasca 7”

Questo Settore in merito al documento in oggetto, inoltrato agli Enti interessati dalla società Navicelli s.p.a., esprime le seguenti considerazioni:

Il documento in questione (inoltrato agli Enti interessati con rilevante ritardo rispetto ai tempi prescrittivi) rappresenta il risultato delle indagini di caratterizzazione eseguite nelle modalità approvate dal Comune di Pisa (ricependo il parere della Conferenza dei Servizi del 18/11/2015), rivolte alla ricostruzione del modello concettuale definitivo del sito denominato “vasca n.7”, rappresentante un’area di ca. 1,2 ha, provvista di argini, su cui in passato sono stati depositati sedimenti provenienti da attività di dragaggio del Canale dei Navicelli, in parte asportati nel 2014.

Nell’ambito della Conferenza dei Servizi del 18/11/2015 la società Navicelli s.p.a. aveva chiarito di non essere in possesso di una precisa stima di quanti fanghi fossero stati accumulati in passato in seguito alle operazioni di dragaggio e che le osservazioni qualitative effettuate in situ non avevano permesso di individuare una chiara discontinuità tra sedimenti di dragaggio e terreno originariamente in posto (data la loro similarità litologica). Dopo una stima approssimativa (basata soltanto sull’applicazione di un criterio geometrico) erano stati asportati comunque ca. 9000 m<sup>3</sup> di materiale, rimuovendo gli argini perimetrali ed ottenendo una superficie finale in continuità con il locale piano campagna, con il permanere di alcuni dubbi sulla possibile presenza di un ulteriore residuo di fanghi di dragaggio (anche sulla base del riscontro avuto sul “bianco” di riferimento, acquisito nel 2014).

Le indagini eseguite in seguito a queste operazioni di rimozione sul terreno rimasto in posto, in contraddittorio con Arpat, hanno mostrato l’esistenza di superamenti del limite normativo per destinazioni d’uso di tipo “verde/residenziale” per alcuni metalli ed “IPA” (allegato 5, colonna “b”, parte IV del Dlgs n.152/2006).

In questa fase di caratterizzazione sono state quindi realizzate n.5 trincee profonde 3 m dal p.c. con prelievo di n.3 campioni di terreno da ciascuna, a diverse profondità (0-1, 1-2 e 2-3 m dal p.c.) e n.3 sondaggi a carotaggio continuo (con prelievo di un campione di suolo superficiale e di uno profondo per ciascuna carota ottenuta), profondi 5 m ed adibiti a



**REGIONE TOSCANA**  
Giunta Regionale

**Direzione**  
**Ambiente ed Energia**

**Settore**  
**Bonifiche e Autorizzazioni Rifiuti**  
*regionetoscana@postacert.toscana.it*

piezometro per il campionamento delle acque sotterranee. A causa della bassa conducibilità idraulica dei terreni in questione (ricarica lentissima) il campionamento é avvenuto in due distinti momenti, a distanza di alcuni giorni dalle operazioni di spurgo per i piezometri “pz2” e “pz4” e addirittura dopo circa un mese nel caso di “pz1” e “pz3”.

Le indagini effettuate hanno confermato l’esistenza di una litologia limoso argillosa a bassa conducibilità idraulica con sottili alternanze, più in profondità, con litologia debolmente limose e sabbiose. Come ipotizzato non é stato possibile distinguere in maniera chiara ed inequivocabile il contatto tra i residui fanghi di dragaggio e terreno in posto, data la similitudine litologica tra i due materiali, basandosi soltanto su evidenze “colorimetriche” e caratteristiche di addensamento.

I n.21 campioni di terreno analizzati hanno mostrato la presenza di superamenti del limite normativo per destinazioni d’uso di tipo “verde/residenziale” (tabella 1, colonna “a”, allegato 5 alla parte IV del Dlgs n.152/2006) per alcuni metalli (zinco, berillio, cadmio e in un solo caso per cromo totale e piombo) e per alcuni “IPA” (in un solo caso anche per “C>12”). Nel caso del cadmio n.2 campioni hanno mostrato valori superiori ai limiti contemplati nella colonna “b” della tabella 1 di cui sopra.

Tale “potenziale contaminazione” risulta essenzialmente concentrata nel primo metro di profondità (a parte il benzo(a)pirene che in alcune verticali di indagine é presente anche nel campione sottostante) e soltanto nei sondaggi “S4” e “S5” arriva al primo metro di suolo profondo. La presenza di superamenti al di sotto del primo metro di terreno potrebbero essere anche imputabili all’instaurarsi di fenomeni di lisciviazione e trasporto in profondità da parte delle acque di provenienza meteorica.

Il dato Arpat (ns prot.n.88412-A del 16/2/2018), relativo ai campioni prelevati in fase di contraddittorio, mostra un buon accordo con il dato di parte evidenziando soprattutto la presenza di superamenti del limite normativo per i metalli Zinco e Cadmio (quest’ultimo rinvenuto sopra il limite anche per destinazioni d’uso di tipo “commerciale/industriale”) e per idrocarburi ed alcuni “IPA” da imputare, data la loro combinazione ed al fatto che sono limitati alla porzione più superficiale di sottosuolo, ad una probabile residua presenza di fanghi di dragaggio, assimilabili alla matrice terreno e non chiaramente separabili dall’originario substrato.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, riscontrate alla profondità di ca.1,5-2 m e campionate a Ottobre e Dicembre 2016, sono risultati essere sopra il limite normativo esclusivamente il nichel (in Pz1 e Pz2 con un max di 71 µg/l) ed il benzo(b)fluorantene (in Pz3 e Pz4 con un max di 0,017 µg/l) a testimonianza della scarsa mobilità dell’originaria contaminazione presente nei fanghi di dragaggio dovuta sia alle caratteristiche geochimiche dei contaminanti in questione che alle caratteristiche litologiche del sottosuolo.

Anche per questa matrice, il dato Arpat (ns prot.n.88412-A del 16/2/2018) conferma il quadro definito dal proponente, evidenziando come la presenza di elevati valori di cloruri e solfati possa essere imputata a fenomeni di intrusione marina (attraverso le acque superficiali del Canale dei Navicelli, come da pubblicazione di Franceschini F. e Signorini R., 2016 nella



REGIONE TOSCANA  
Giunta Regionale

**Direzione  
Ambiente ed Energia**

**Settore  
Bonifiche e Autorizzazioni Rifiuti**  
*regionetoscana@postacert.toscana.it*

rivista “*Groundwater for Sustainable Development*) e come le alte concentrazioni di ammoniaca, ferro e manganese possano essere legate alla presenza di fenomeni di degradazione della materia organica (rinvenuta in quantitativi significativi durante le operazioni di sondaggio). L’instaurarsi di un ambiente riducente a bassa permeabilità (indicativa la presenza di ammoniaca) può giustificare anche la presenza di metalli come il Nichel la cui lisciviazione dal terreno é fortemente favorita in tali condizioni. L’assenza di contaminanti rinvenuti invece nel terreno (Cd e IPA) é a testimonianza che, in queste condizioni, non risulta favorita la loro mobilizzazione.

Si evidenzia infine che non sono state rispettate le due prescrizioni della Conferenza dei Servizi del 18/11/2015 riguardanti rispettivamente il monitoraggio delle acque sotterranee (che avrebbe dovuto essere quadrimestrale) e la determinazione dei principali parametri sito specifici utili per l’eventuale Analisi di Rischio.

Tutto ciò premesso, questo Settore prende atto dei risultati delle indagini realizzate dal proponente e delle conferme analitiche del Dipartimento Arpat di Pisa, ritenendo necessario che la società Navicelli s.p.a. elabori una valutazione di rischio/proposta di intervento per i superamenti del limite normativo rinvenuti nella matrice terreno sia dal laboratorio di parte che da quello di Arpat (determinando i parametri sito specifici necessari, come già prescritto dalla Conferenza del 18/11/2015).

Per quanto riguarda le acque sotterranee, si ritiene necessario che sia eseguito un ulteriore monitoraggio delle stesse (dai n.4 piezometri presenti sul sito), da effettuarsi a cadenza trimestrale per la durata di un anno solare, determinando i seguenti parametri: anioni maggiori (solfati, cloruri, nitrati, fluoruri), ammoniaca, metalli (Zn, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr) e idrocarburi “C>12”; dovranno essere determinati inoltre i parametri fisico-chimici in campo (conducibilità, temperatura, potenziale redox, O<sub>2</sub> disciolto, Ph).

Pertanto, si ritiene che il Comune di Pisa, in qualità di Ente competente in materia di bonifiche ai sensi della L.R. n.10/2006, possa formalizzare la validità del quadro ambientale ricostruito dalla società Navicelli s.p.a., richiedendo alla stessa società la presentazione di una Analisi di Rischio sito specifica/proposta di intervento e l’esecuzione di una ulteriore fase di monitoraggio delle acque sotterranee nelle modalità precedentemente riportate, prescrivendo una adeguata tempistica sia per l’inizio della fase di monitoraggio delle acque (es: 60 gg) che per la presentazione delle valutazioni di rischio per la matrice terreno (es: 90 gg).

Si ritiene infine necessario che almeno 10 giorni prima della realizzazione di qualsiasi intervento debba esserne fatta comunicazione a tutte le Amministrazioni competenti e che almeno 10 giorni prima della realizzazione di qualsiasi operazione di campionamento debba essere preso preliminare contatto con l’Arpat-dipartimento di Pisa, affinché i suoi tecnici possano provvedere al prelievo dei controcampioni necessari alla validazione del dato di parte.

IL RESPONSABILE DEL SETTORE  
Ing. Andrea Rafanelli

SA/

**ARPAT - AREA VASTA COSTA - Dipartimento di Pisa - Settore Supporto tecnico**

Via Vittorio Veneto, 27 - 56127 - Pisa

N. Prot: Vedi segnatura informatica cl.: **PI.01.23.27/108.8** del **14/02/2018** a mezzo: PEC

- a **COMUNE DI PISA**  
Ufficio Ambiente  
[comune.pisa@postacert.toscana.it](mailto:comune.pisa@postacert.toscana.it)
  
- e **REGIONE TOSCANA**  
Settore bonifiche e autorizzazione rifiuti  
[regione toscana@postacert.toscana.it](mailto:regione_toscana@postacert.toscana.it)

**Oggetto: Parere in merito al completamento delle attività di caratterizzazione ambientale effettuate da Navicelli SpA presso il sito denominato Vasca 7, Comune di Pisa, CODICE SISBON PI-PI 1016 - Parte quarta, Titolo V, Dlgs 152/06 e smi.**

### **Premessa**

Le indagini di caratterizzazione ambientale sono state eseguite a seguito del Provvedimento DD-16A/701 del 10/6/2016 emesso dal Comune di Pisa che approvava, con prescrizioni, il Piano di Caratterizzazione (PdC) inviato dalla ditta Navicelli SpA.

L'area è stata oggetto di riprofilatura arginale e deposito di fanghi di dragaggio provenienti dal vicino canale dei Navicelli. La maggior parte dei fanghi, contenenti vari contaminanti, sono stati successivamente rimossi dalla vasca il cui fondo, a seguito di alcuni campionamenti effettuati, presentava superamenti per le CSC col.A, dando luogo alla comunicazione di avvio del procedimento di bonifica (art.242).

Il documento valutato in questo parere è costituito dalla relazione dal titolo "Caratterizzazione ambientale e geologica del sito denominato Vasca 7" trasmessa dalla Navicelli SpA (ns.prot.8571 del 7/2/2017).

### **Modello concettuale e indagini svolte**

L'area si presenta pianeggiante ed è ubicata in adiacenza alla strada sterrata che corre sull'argine destro del canale dei Navicelli. Come previsto dal PdC approvato sono state eseguite cinque trincee con escavatore profonde 3m dalle quali sono stati prelevati campioni di terreno a varie profondità. Sono inoltre stati realizzati tre piezometri per il monitoraggio della

Pagina 1 di 6

tel. 055.32061 - fax 055.3206324 - p.iva 04686190481 - [www.arpato.toscana.it](http://www.arpato.toscana.it)  
per comunicazioni ufficiali PEC: [arpato.protocollo@postacert.toscana.it](mailto:arpato.protocollo@postacert.toscana.it) - (accetta solo PEC),  
per informazioni ambientali: [urp@arpato.toscana.it](mailto:urp@arpato.toscana.it)

falda a cui si è aggiunto un quarto piezometro preesistente per il completamento della rete piezometrica.

Il verbale di sopralluogo allegato al presente parere riporta le attività svolte con la planimetria dei punti di indagine.

### Terreni

Nella tabella seguente sono riportati i dati analitici del contraddittorio eseguito da questa Agenzia confrontati con i valori del campionamento del 30/9/2014 i cui superamenti delle CSC di col.A portarono all'attivazione del procedimento di bonifica.

	Campionamento del 30/9/2014					Campionamento del 3/8/2016									CSC	
	C1	C2	C3	C4	BIANCO	S1 0-1m	S2 0-1m	S3 0-1m	S4 0-1m	S5 0-1m	PZ4 1-2m	PZ3 0-1m	PZ1 0-1m	col.A	col.B	
CROMO (IMCR20)	116	248	125	160	115	103	50	65	120	112	103	98	87	150	800	
NICHEL (IMN100)						67	44	52	58	59	70	72	75	120	500	
RAME (IMCU00)	39	75	54	66	46	44	51	28	55	50	41	42	38	120	600	
ZINCO (IMZ100)	159	368	193	295	126	156	218	92	212	192	199	133	98	150	1500	
ARSENICO (IMAS00)						9,3	9,2	7,8	8,6	8,5	11	8,6	7,9	20	50	
CADMIO (IMCD00)	3,5	33	11	29	0,4	9,8	1,4	1,3	20	19	4,3	7,7	0,3	2	15	
PIOMBO (IMPB00)	27	71	49	70	28	39	68	32	44	40	29	30	24	100	1000	
COBALTO (IMCO00)						14	8,7	11	13	12	15	15	20	20	250	
VANADIO (IMVO00)						55	35	41	46	47	65	62	65	90	250	
MERCURIO (IMHC00)	< 0,1	0,4	0,5	0,4	< 0,1	0,4	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2	1	5	
BERILLIO (IMBE20)	1,8	1,6	1,5	1,3	1,9	1,3	0,9	0,9	1,1	1,1	1,5	1,4	1,5	2	10	
ANTIMONIO (IMSB00)						0,8	1,2	1,3	1,2	0,9	0,8	0,4	0,3	10	30	
SELENIO (IMSE00)						1,4	1,1	1,3	1,4	1,3	1,4	1,3	1,5	3	15	
FERRO (IMFE00)						36200	22000	28500	29800	30600	37700	36410	37800	np	np	
MANGANESE (IMMN00)						1229	355	538	451	312	796	663	1100	np	np	
TALLIO (IMTL00)						0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1	10	
STAGNO (IMSN00)						4,1	7,6	6,3	5,4	5,4	3,4	2,8	1,9	np	np	
PCB TOTALI (XPCB_TOT)	0,0155	0,21	0,052	0,12	0,0077	0,081	0,017	0,008	0,18	0,060	0,042	0,029	0,004	0,06	5	
IDROCARBURI PESANTI C>12	73	1300	270	580	57	160	44	79	380	350	100	170	43	50	750	
BENZO [A] ANTRACENE	0,07	0,57	0,78	0,38	0,11	0,72	0,66	0,33	0,55	1,3	0,10	0,21	0,53	0,5	10	
BENZO [A] PIRENE	0,07	< 0,05	0,79	0,44	0,11	0,69	0,67	0,34	0,56	1,1	0,11	0,18	0,54	0,1	10	
BENZO [B] FLUORANTENE	0,09	0,63	0,85	0,47	0,13	0,58	0,65	0,30	0,58	1,0	0,06	0,16	0,48	0,5	10	
BENZO [K] FLUORANTENE	< 0,05	0,34	0,41	0,24	0,07	0,35	0,36	0,15	0,34	0,64	0,06	0,10	0,30	0,5	10	
BENZO [GH] PERILENE	0,08	0,42	0,63	0,47	< 0,05	0,51	0,52	0,22	0,61	0,88	0,12	0,17	0,39	0,1	10	
CRISENE	0,08	0,60	1,00	0,48	0,13	0,86	0,86	0,42	0,67	1,6	0,14	0,22	0,69	5	50	
DIBENZO [A,E] PIRENE	< 0,05	0,14	0,19	0,12	< 0,05	0,11	0,12	0,07	0,14	0,18	0,04	0,05	0,10	0,1	10	
DIBENZO [A,L] PIRENE	< 0,05	0,15	0,15	0,10	< 0,05	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,1	10	
DIBENZO [A,I] PIRENE	< 0,05	0,14	0,11	0,07	< 0,05	0,07	0,10	0,08	0,08	0,13	0,04	0,05	0,09	0,1	10	
DIBENZO [A,H] PIRENE	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	0,02	< 0,01	0,1	10	
DIBENZO [A,H] ANTRACENE	< 0,05	0,16	0,19	0,13	< 0,05	0,11	0,11	0,06	0,16	0,26	0,03	0,05	0,09	0,1	10	
INDENO [1,2,3-cd] PIRENE	0,08	0,59	0,74	0,49	0,11	0,62	0,63	0,33	0,68	1,0	0,14	0,18	0,47	0,1	5	
PIRENE	0,10	1,02	1,30	0,56	0,15	1,18	0,91	0,39	0,77	2,1	0,17	0,18	0,89	5	50	
SOMMATORIA IPA	< 1,0	3,0	4,9	2,8	< 1,0	3,9	4,0	1,9	3,5	6,9	< 1,0	1,2	3,1	10	100	
FRAZIONE GRAN < 2 mm	%	97,1	99,5	97,1	98,8	98,5	99,0	90,7	96,9	98,5	95,4	98,6	98,2	94,8	np	
FRAZIONE GRAN > 2 mm	%	2,9	0,5	2,9	1,2	1,5	1,0	9,3	3,1	1,5	4,6	1,4	1,8	5,2	np	

La tabella evidenzia il superamento generalizzato, su quasi tutti i campioni prelevati, delle CSC di col.A (giallo) per zinco e cadmio tra i contaminanti inorganici e idrocarburi e IPA, per alcuni singoli parametri ma non nella sommatoria, per quanto riguarda i contaminanti inorganici. Nei campioni delle trincee S4 e S5 il cadmio supera anche le CSC di col B (rosa), in analogia a quanto già osservato nei campionamenti del 2014 nei punti C2 e C4.

I parametri indagati sono chiaramente la conseguenza di fenomeni di contaminazione di origine primaria (presenza di residui di fanghi di dragaggio) poggianti su un substrato naturale ormai indistinguibile essendo costituito litologicamente dallo stesso materiale fine a prevalenza limo-argilloso. I contaminanti organici presenti nel terreno mescolato ai fanghi (idrocarburi e IPA)

sono di indubbia derivazione antropica che supporta l'ipotesi che anche zinco e cadmio abbiano la stessa provenienza.

Dalle analisi effettuate dal proponente (tabella pag.10 della relazione valutata) si evince una buona correlazione dei risultati nei quali viene evidenziata, nei campioni delle sezioni più profonde (1-2m e fondo scavo (3m) l'attenuazione della contaminazione rilevata nel primo metro, a testimonianza che quest'ultima è legata alla presenza di residui spessori di fanghi e che tale contaminazione non presenta fenomeni di migrazione verso il basso.

#### Acque sotterranee

Nelle acque sotterranee c'è da segnalare innanzitutto l'inadempienza della prescrizione della determina di approvazione del PdC che richiedeva il campionamento trimestrale per un intero anno solare. I campioni sono, invece, stati prelevati parzialmente e solo in due campagne (ottobre e dicembre). Nella tabella seguente sono riportati i valori del contraddittorio.

		13/10/16				01/12/16		CSC/VL*
		pz1	pz2	pz3	pz4	Pz1	Pz3	
CLORURI	mg/L		8451		7758	8140	9669	250
NITRATI	mg/L		nd		nd	13,5	< 10,0	50
SOLFATI	mg/L		nd		nd	1886	1834	250
NH4	mg/L		1,30		8,10	< 0,5	< 0,5	0,5
FLUORURI	mg/L		nd		nd	< 2,0	< 2,0	1,5
BORO	µg/L		nd		nd	400	300	1000
ALLUMINIO	µg/L		< 20		20	< 20	< 20	200
CROMO	µg/L		< 1		< 1	< 1	< 1	50
MANGANESE	µg/L		11470		7950	2750	8280	50
FERRO	µg/L		246		7080	37	3900	200
NICHEL	µg/L		58		5,3	36	66	20
RAME	µg/L		5,7		< 1	3,1	< 1	1000
ZINCO	µg/L	secco	4,9	secco	< 1	4,6	2,9	10
ARSENICO	µg/L		< 1		1,1	< 1	2,4	10
SELENIO	µg/L		< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	10
CADMIO	µg/L		1,1		< 0,05	0,68	0,11	5
ANTIMONIO	µg/L		< 0,5		< 0,5	< 0,5	< 0,5	5
PIOMBO	µg/L		< 1		< 1	< 1	< 1	10
BERILLIO	µg/L		< 0,05		< 0,05	< 0,05	0,05	4
COBALTO	µg/L		8,7		3,0	1,9	18	50
TALLIO	µg/L		< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	2
IDROCARBURI TOTALI	µg/L		< 50		100	< 50	< 50	350
PIRENE	µg/L		0,004		< 0,001	0,003	0,002	50
BENZO [A] ANTRACENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	0,001	< 0,001	0,1
CRISENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	0,002	< 0,001	5
BENZO[B]FLUORANTENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	0,001	< 0,001	0,1
BENZO[K]FLUORANTENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,05
BENZO [A] PIRENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	0,001	< 0,001	0,01
INDENO[1,2,3-CD]PIRENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1
BENZO[GHI]PERILENE	µg/L		< 0,001		< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01
DIBENZO [A, H] ANTRACENE	µg/L		0,002		0,002	0,002	< 0,001	0,01
PCB TOTALI	µg/L		< 0,0031		< 0,0031	< 0,003	< 0,003	0,01

\* tab.2, all.5 al Dlgs 152/06 e tab..2 e 3, all.3 al Dlgs 30/09

Gli alti valori di cloruri e solfati sono legati alla presenza di intrusione salina dal canale Navicelli che, come noto<sup>1</sup>, veicola acqua di mare all'interno della pianura pisana. Le alte concentrazioni di ammoniaca, ferro e manganese possono essere legate alla presenza di fenomeni di degradazione della sostanza organica, rinvenuta in quantitativi significativi durante l'esecuzione dei sondaggi. L'ammoniaca è indicativa di ambienti riducenti a bassa e bassissima permeabilità come evidenziato dalla natura dei terreni e dalle prove di permeabilità in avanzamento eseguite. Nella prima campagna di prelievi i piezometri 1 e 3 sono risultati non contenere acque a causa della lenta ricarica. Il nichel ha probabilmente la stessa origine per lisciviazione dei terreni in ambiente fortemente riducente. Sono assenti tutti i contaminanti organici rinvenuti nei campioni di terreno (Cd e IPA) a testimonianza che gli effetti dell'ambiente sotterraneo non favoriscono la loro mobilizzazione.

I dati della ditta concordano in pieno con i dati ARPAT confermando l'interpretazione proposta. Risulta però necessaria una conferma da effettuarsi mediante il campionamento periodico trimestrale su almeno un anno solare da effettuarsi con la determinazione dei seguenti parametri:

- parametri di campo; conducibilità, temperatura, pH, Ossigeno disciolto, Potenziale redox.
- parametri di laboratorio; anioni maggiori (cloruri, solfati, fluoruri, nitrati), ammoniaca, metalli (Zn, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr), IPA e idrocarburi C>12.

### Conclusioni

La caratterizzazione ha permesso di identificare la presenza di spessori residui di fanghi di dragaggio ormai interamente inglobati con il substrato argilloso-limoso tanto da non essere più distinguibili da quest'ultimo. Le contaminazioni riscontrate risultano, quindi, essenzialmente di tipo primario contenute cioè solo nei materiali di dragaggio, con scarsi o assenti fenomeni di trasferimento al substrato naturale sottostante. Anche le acque sotterranee confermano l'assenza di migrazioni della contaminazione.

Alla luce anche delle concentrazioni mai particolarmente elevate dei contaminanti rinvenuti nei terreni superficiali e sulla base delle loro caratteristiche geochimiche che ne limitano fortemente la mobilità, si ritiene di poter procedere con una valutazione del rischio e la definizione di CSR adeguate alla destinazione d'utilizzo dell'area. Tale destinazione dovrà essere proposta e condivisa dall'amministrazione competente (comune di Pisa) ed in base ad essa indirizzate le scelte dei parametri dell'analisi di rischio.

In parallelo dovrà essere realizzato il campionamento periodico per almeno un anno solare (con quattro campagne trimestrali) sui quattro piezometri presenti sul sito. Il campionamento dovrà essere preceduto da un adeguato spurgo dei punti di prelievo e la determinazione dei seguenti parametri:

- parametri di campo; conducibilità, temperatura, pH, Ossigeno disciolto, Potenziale redox.

1 Franceschini F., Signorini R., (2016) Seawater intrusion via surface water vs. deep shoreline salt-wedge: A case history from the Pisa coastal plain (Italy). *Groundwater for Sustainable Development*, 2-3, pp.73-84.

- parametri di laboratorio; anioni maggiori (cloruri, solfati, fluoruri, nitrati), ammoniaca, metalli (Zn, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr), IPA e idrocarburi C>12. Si ricorda di comunicare con congruo anticipo le date dei campionamenti per permettere l'esecuzione del contraddittorio da parte di questa Agenzia.

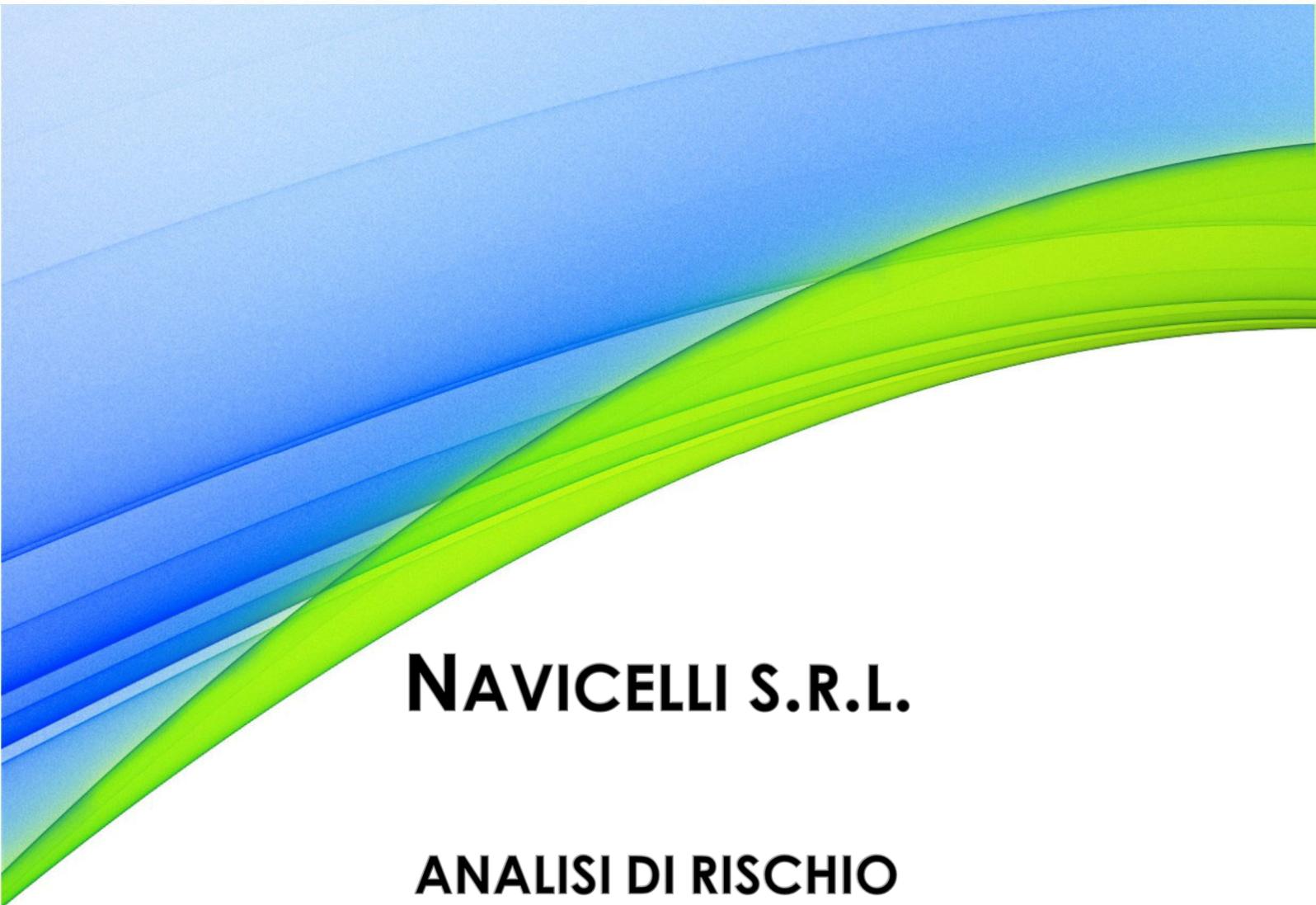
Cordiali saluti,

Il Responsabile del Settore  
Supporto Tecnico  
*Dr Marco Paoli*<sup>2</sup>

ALLEGATO1 - Verbale di sopralluogo

---

<sup>2</sup> Documento informatico sottoscritto con firma digitale ai sensi del D.Lgs 82/2005. L'originale informatico è stato predisposto e conservato presso ARPAT in conformità alle regole tecniche di cui all'art. 71 del D.Lgs 82/2005. Nella copia analogica la sottoscrizione con firma autografa è sostituita dall'indicazione a stampa del nominativo del soggetto responsabile secondo le disposizioni di cui all'art. 3 del D.Lgs 39/1993



**NAVICELLI S.R.L.**

**ANALISI DI RISCHIO  
SITO SPECIFICA**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

ALLEGATO 2  
RAPPORTI DI PROVA ANALITICI ACQUE SOTTERRANEE  
GENNAIO 2019

Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900065/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

Pagina 1 di 2

Spett.le  
NAVICELLI DI PISA S.r.l.  
Sede Legale  
VIA DELLA DARSENA, 3  
56121 PISA (PI)

**1. Dati del campione****Denominazione:** ACQUA PIEZOMETRO PZ1**Codice campione:** 21900065/1**Matrice:** ACQUE DI FALDA**Lotto:** -**Ricevuto il:** 07/01/2019**Aspetto:** LIQUIDO CON PRECIPITATO**2. Dati del campionamento****Stabilimento:** Sede Legale, VIA DELLA DARSENA, 3 56121 PISA (PI)**Punto di prelievo:** PIEZOMETRO**Prelevato il:** 07/01/2019**Campionato da:** Venturini, Garzella - ARCHA**rif. Verbale campionamento:** V01019010701M**Modalità:** (\*) IST. OP. 006 rev 03 - CAMPIONAMENTO DI ACQUE DA POZZO O PIEZOMETRO**3. Dati amministrativi****Codice cliente:** 047433**Commessa:** -**Ordine:** 201801068**4. Avvertenze e legende**

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione della Laboratori ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura k=2 corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

(\*) Prova non accreditata da ACCREDIA

**5. Note sul campione**

Nessuna

**Responsabile Area Chimica**  
Dott. Yuri Pelosi

Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900065/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

Pagina 2 di 2

**6. Risultati analitici (data inizio prove: 07/01/2019 - data fine prove: 11/01/2019)**

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
INDICE DI IDROCARBURI (C10-C40)	µg/L	286		± 46	* UNI EN ISO 9377-2:2002
CADMIO	µg/L	1,60		± 0,47	UNI EN ISO 17294-2:2016
CROMO TOTALE	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
NICHEL	µg/L	46		± 10	UNI EN ISO 17294-2:2016
PIOMBO	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
ZINCO	µg/L	19,9		± 3,5	UNI EN ISO 17294-2:2016
MERCURIO	µg/L	< LQ	0,05		UNI EN ISO 17294-2:2016
AMMONIO	mg/L	0,22		± 0,15	UNI EN ISO 14911:2001
FLUORURI	mg/L	0,289		± 0,052	UNI EN ISO 10304-1:2009
CLORURI	mg/L	7830		± 870	UNI EN ISO 10304-1:2009
NITRATI	mg/L	1,01			UNI EN ISO 10304-1:2009
SOLFATI	mg/L	2020		± 370	UNI EN ISO 10304-1:2009

**7. Pareri e interpretazioni (non oggetto di accreditamento da parte di ACCREDIA)**

Nessuno

Responsabile Area Chimica  
Dott. Yuri Pelosi



Laboratori ARCHA S.r.l. unipersonale

Via di Tegulaia 10/a - 56121 - PISA - ph. +39 050 985165 - fax +39 050 985233 - www.archa.it - archainf@archa.it

C.F., P.IVA, Iscr. Reg. Impr. Di Pisa n. 01115340505 - Rep. Econ. Amm. Di Pisa n°101169 - Capitale Sociale 101.400,00 i.v.

MOD. AQ034/PG08-02 del 15/09/2016

Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900068/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

Pagina 1 di 2

Spett.le  
NAVICELLI DI PISA S.r.l.  
Sede Legale  
VIA DELLA DARSENA, 3  
56121 PISA (PI)

**1. Dati del campione**

Denominazione: ACQUA PIEZOMETRO PZZ  
Codice campione: 21900068/1  
Matrice: ACQUE DI FALDA  
Lotto: -

Ricevuto il: 07/01/2019  
Aspetto: LIQUIDO CON PRECIPITATO

**2. Dati del campionamento**

Stabilimento: Sede Legale, VIA DELLA DARSENA, 3 56121 PISA (PI)  
Punto di prelievo: PIEZOMETRO  
Campionato da: Venturini, Garzella - ARCHA  
Modalità: (\*) IST. OP. 006 rev 03 - CAMPIONAMENTO DI ACQUE DA POZZO O PIEZOMETRO

Prelevato il: 07/01/2019  
rif. Verbale campionamento: V01019010701M

**3. Dati amministrativi**

Codice cliente: 047433      Commessa: -      Ordine: 201801068

**4. Avvertenze e legende**

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione della Laboratori ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura k=2 corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

(\*) Prova non accreditata da ACCREDIA

**5. Note sul campione**

Nessuna



Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900068/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

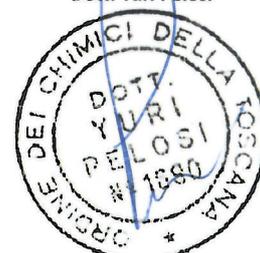
Pagina 2 di 2

**6. Risultati analitici (data inizio prove: 07/01/2019 - data fine prove: 11/01/2019)**

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
INDICE DI IDROCARBURI (C10-C40)	µg/L	202		± 31	* UNI EN ISO 9377-2:2002
CADMIO	µg/L	0,52		± 0,15	UNI EN ISO 17294-2:2016
CROMO TOTALE	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
NICHEL	µg/L	21,1		± 4,7	UNI EN ISO 17294-2:2016
PIOMBO	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
ZINCO	µg/L	13,9		± 2,5	UNI EN ISO 17294-2:2016
MERCURIO	µg/L	< LQ	0,05		UNI EN ISO 17294-2:2016
AMMONIO	mg/L	1,48		± 0,19	UNI EN ISO 14911:2001
FLUORURI	mg/L	0,340		± 0,059	UNI EN ISO 10304-1:2009
CLORURI	mg/L	7570		± 850	UNI EN ISO 10304-1:2009
NITRATI	mg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 10304-1:2009
SOLFATI	mg/L	2210		± 400	UNI EN ISO 10304-1:2009

**7. Pareri e interpretazioni (non oggetto di accreditamento da parte di ACCREDIA)**

Nessuno

 Responsabile Area Chimica  
 Dott. Yuri Pelosi


Laboratori ARCHA S.r.l. unipersonale

Via di Tegulaia 10/a - 56121 - PISA - ph. +39 050 985165 - fax +39 050 985233 - www.archa.it - archainf@archa.it

C.F., P.IVA, Iscr. Reg. Impr. Di Pisa n. 01115340505 - Rep. Econ. Amm. Di Pisa n°101169 - Capitale Sociale 101.400,00 i.v.

MOD. AQ034/PG08-02 del 15/09/2016

Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900069/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

Pagina 1 di 2

Spett.le  
NAVICELLI DI PISA S.r.l.  
Sede Legale  
VIA DELLA DARSENA, 3  
56121 PISA (PI)

**1. Dati del campione**

Denominazione: **ACQUA PIEZOMETRO PZ3**  
Codice campione: 21900069/1  
Matrice: ACQUE DI FALDA  
Lotto: -

Ricevuto il: 07/01/2019  
Aspetto: LIQUIDO CON PRECIPITATO

**2. Dati del campionamento**

Stabilimento: Sede Legale, VIA DELLA DARSENA, 3 56121 PISA (PI)

Punto di prelievo: PIEZOMETRO

Prelevato il: 07/01/2019

Campionato da: Venturini, Garzella - ARCHA

ref. Verbale campionamento: V01019010701M

Modalità: (\*) IST. OP. 006 rev 03 - CAMPIONAMENTO DI ACQUE DA POZZO O PIEZOMETRO

**3. Dati amministrativi**

Codice cliente: 047433

Commessa: -

Ordine: 201801068

**4. Avvertenze e legende**

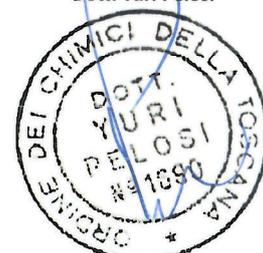
La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione della Laboratori ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura  $k=2$  corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

(\*) Prova non accreditata da ACCREDIA

**5. Note sul campione**

Nessuna



Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900069/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

Pagina 2 di 2

**6. Risultati analitici (data inizio prove: 07/01/2019 - data fine prove: 11/01/2019)**

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
INDICE DI IDROCARBURI (C10-C40)	µg/L	< LQ	100		* UNI EN ISO 9377-2:2002
CADMIO	µg/L	0,174		± 0,051	UNI EN ISO 17294-2:2016
CROMO TOTALE	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
NICHEL	µg/L	26,5		± 5,9	UNI EN ISO 17294-2:2016
PIOMBO	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
ZINCO	µg/L	< LQ	10		UNI EN ISO 17294-2:2016
MERCURIO	µg/L	0,080		± 0,017	UNI EN ISO 17294-2:2016
AMMONIO	mg/L	1,30		± 0,18	UNI EN ISO 14911:2001
FLUORURI	mg/L	0,425		± 0,071	UNI EN ISO 10304-1:2009
CLORURI	mg/L	7260		± 830	UNI EN ISO 10304-1:2009
NITRATI	mg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 10304-1:2009
SOLFATI	mg/L	1440		± 270	UNI EN ISO 10304-1:2009

**7. Pareri e interpretazioni (non oggetto di accreditamento da parte di ACCREDIA)**

Nessuno

Responsabile Area Chimica  
Dott. Yuri Pelosi



Laboratori ARCHA S.r.l. unipersonale

Via di Tegulaia 10/a - 56121 - PISA - ph. +39 050 985165 - fax +39 050 985233 - www.archa.it - archainf@archa.it

C.F., P.IVA, Iscr. Reg. Impr. Di Pisa n. 01115340505 - Rep. Econ. Amm. Di Pisa n°101169 - Capitale Sociale 101.400,00 i.v.

MOD. AQ034/PG08-02 del 15/09/2016

Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900070/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

Pagina 1 di 2

Spett.le  
NAVICELLI DI PISA S.r.l.  
Sede Legale  
VIA DELLA DARSENA, 3  
56121 PISA (PI)

**1. Dati del campione****Denominazione:** ACQUA PIEZOMETRO PZ4**Codice campione:** 21900070/1**Matrice:** ACQUE DI FALDA**Lotto:** -**Ricevuto il:** 07/01/2019**Aspetto:** LIQUIDO CON PRECIPITATO**2. Dati del campionamento****Stabilimento:** Sede Legale, VIA DELLA DARSENA, 3 56121 PISA (PI)**Punto di prelievo:** PIEZOMETRO**Prelevato il:** 07/01/2019**Campionato da:** Venturini, Garzella - ARCHA**rif. Verbale campionamento:** V01019010701M**Modalità:** (\*) IST. OP. 006 rev 03 - CAMPIONAMENTO DI ACQUE DA POZZO O PIEZOMETRO**3. Dati amministrativi****Codice cliente:** 047433**Commessa:** -**Ordine:** 201801068**4. Avvertenze e legende**

La riproduzione parziale del presente rapporto di prova è consentita solo previa autorizzazione della Laboratori ARCHA S.r.l.. I dati riportati nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove. Il campione è stato sottoposto alle prove come pervenuto al laboratorio, salvo diverse indicazioni. Se non già indicato nel Rapporto di Prova sono disponibili su richiesta i dati di incertezza di misura delle singole prove.

SD = Standard Deviation o Scarto Tipo; LQ = Limite di Quantificazione del metodo; U = Incertezza estesa della prova espressa con la stessa unità di misura del risultato e calcolata con un fattore di copertura  $k=2$  corrispondente ad un livello di probabilità di circa il 95 % o come intervallo di confidenza calcolato ad un livello di probabilità di circa il 95 %; U.M. = Unità di Misura.

(\*) Prova non accreditata da ACCREDIA

**5. Note sul campione**

Nessuna



Data 16/01/2019

Rapporto di Prova 21900070/1

NAVICELLI DI PISA S.r.l.

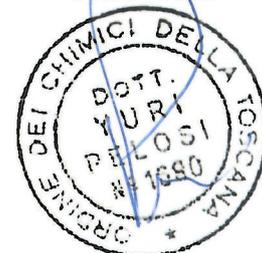
Pagina 2 di 2

**6. Risultati analitici (data inizio prove: 07/01/2019 - data fine prove: 11/01/2019)**

Parametro	U.M.	Risultato	LQ	U	Metodo di prova
INDICE DI IDROCARBURI (C10-C40)	µg/L	164		± 25	* UNI EN ISO 9377-2:2002
CADMIO	µg/L	< LQ	0,1		UNI EN ISO 17294-2:2016
CROMO TOTALE	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
NICHEL	µg/L	1,74		± 0,39	UNI EN ISO 17294-2:2016
PIOMBO	µg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 17294-2:2016
ZINCO	µg/L	15,1		± 2,7	UNI EN ISO 17294-2:2016
MERCURIO	µg/L	0,125		± 0,027	UNI EN ISO 17294-2:2016
AMMONIO	mg/L	4,79		± 0,29	UNI EN ISO 14911:2001
FLUORURI	mg/L	0,447		± 0,074	UNI EN ISO 10304-1:2009
CLORURI	mg/L	2830		± 400	UNI EN ISO 10304-1:2009
NITRATI	mg/L	< LQ	1		UNI EN ISO 10304-1:2009
SOLFATI	mg/L	780		± 150	UNI EN ISO 10304-1:2009

**7. Pareri e interpretazioni (non oggetto di accreditamento da parte di ACCREDIA)**

Nessuno

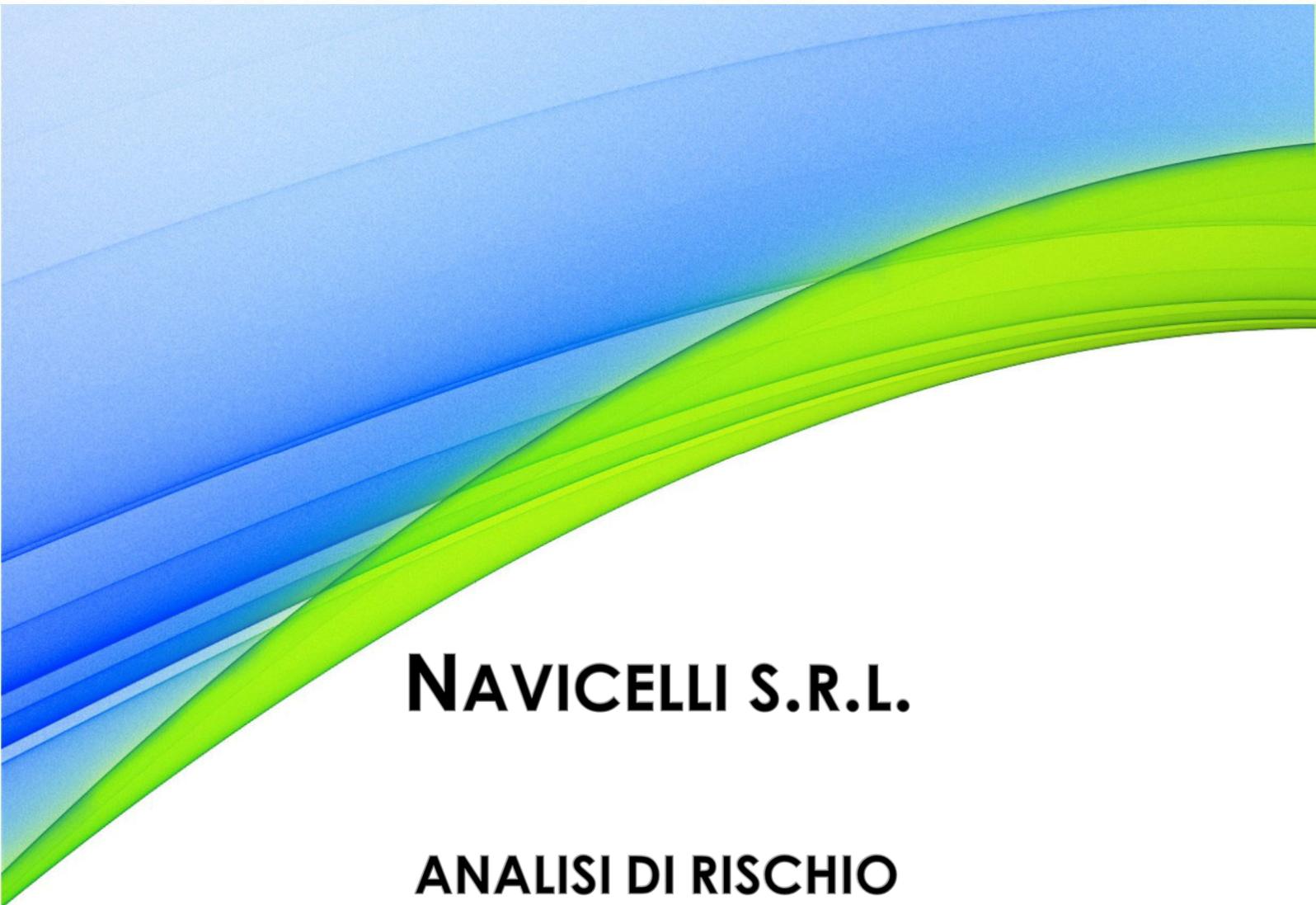
 Responsabile Area Chimica  
 Dott. Yuri Pelosi


Laboratori ARCHA S.r.l. unipersonale

Via di Tegulaia 10/a - 56121 - PISA - ph. +39 050 985165 - fax +39 050 985233 - www.archa.it - archainf@archa.it

C.F., P.IVA, Iscr. Reg. Impr. Di Pisa n. 01115340505 - Rep. Econ. Amm. Di Pisa n°101169 - Capitale Sociale 101.400,00 i.v.

MOD. AQ034/PG08-02 del 15/09/2016



**NAVICELLI S.R.L.**

**ANALISI DI RISCHIO  
SITO SPECIFICA**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

ALLEGATO 3  
RAPPORTI DI PROVA ANALITICI TERRENI  
DETERMINAZIONE K<sub>D</sub>

Rapporto di prova n°: **19LA0013439** del **08/04/2019**

**LAB N° 0510**



19LA0013439

Spett.  
**NAVICELLI DI PISA S.R.L.**  
VIA DELLA DARSENA, 3-5  
56121 PISA (PI)

Denominazione del Campione: **Campione di terreno - c/o S1**

Luogo di campionamento: **Vasca 7 - Canale Navicelli Pisa**

Punto di prelievo: **c/o S1**

Prelevato da: **Personale Cliente**

Verbale di prelievo n°: **19/00246**

Data Prelievo: **25/02/2019**

Data Accettazione: **12/03/2019**

Data Inizio Analisi: **13/03/2019** Data Fine Analisi: **27/03/2019**

<b>Parametro Metodo</b>	<b>U.M.</b>	<b>Risultato</b>	<b>Incertezza</b>
* Berillio <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014</i>	mg/kg	<b>1,2</b>	±0,4
* Berillio <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014</i>	µg/l	<b>&lt; 0,40</b>	
Residuo secco a 105°C <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.2</i>	%p/p	<b>80</b>	±4
Frazione granulometrica < 2 mm <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1</i>	%p/p	<b>71,97</b>	±7,20
Frazione granulometrica > 2 mm e < 2 cm <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1</i>	%p/p	<b>28,03</b>	±2,80

(\*) - Prova non accreditata ACCREDIA

Tutte le procedure, i metodi utilizzati per le determinazioni analitiche e le incertezze delle misure sono quelli definiti nei metodi di prova; non sono state effettuate aggiunte, esclusioni e derivazioni rispetto alle specifiche richieste. Con il termine Incertezza si intende incertezza estesa (espressa con livello di fiducia del 95%), fattore di copertura utilizzato K = 2; il recupero non è utilizzato nel calcolo del valore analitico.

File firmato digitalmente da:

Responsabile di Laboratorio  
Dott. Galatà Riccardo  
N° 543 A - Ordine dei Chimici della  
provincia di Catania

Fine del rapporto di prova n° **19LA0013439**

Rapporto di prova n°: **19LA0013440** del **08/04/2019**

**LAB N° 0510**



19LA0013440

Spett.  
**NAVICELLI DI PISA S.R.L.**  
VIA DELLA DARSENA, 3-5  
56121 PISA (PI)

Denominazione del Campione: **Campione di terreno - c/o S2**

Luogo di campionamento: **Vasca 7 - Canale Navicelli Pisa**

Punto di prelievo: **c/o S2**

Prelevato da: **Personale Cliente**

Verbale di prelievo n°: **19/00244**

Data Prelievo: **25/02/2019**

Data Accettazione: **12/03/2019**

Data Inizio Analisi: **13/03/2019** Data Fine Analisi: **27/03/2019**

Parametro Metodo	U.M.	Risultato	Incertezza
* Piombo PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014	mg/kg	<b>54</b>	±16
* Piombo PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014	µg/l	<b>&lt; 1,0</b>	
Residuo secco a 105°C DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.2	%p/p	<b>81</b>	±4
Frazione granulometrica < 2 mm DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1	%p/p	<b>70,30</b>	±7,03
Frazione granulometrica > 2 mm e < 2 cm DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1	%p/p	<b>29,70</b>	±2,97

(\*) - Prova non accreditata ACCREDIA

Tutte le procedure, i metodi utilizzati per le determinazioni analitiche e le incertezze delle misure sono quelli definiti nei metodi di prova; non sono state effettuate aggiunte, esclusioni e derivazioni rispetto alle specifiche richieste. Con il termine Incertezza si intende incertezza estesa (espressa con livello di fiducia del 95%), fattore di copertura utilizzato K = 2; il recupero non è utilizzato nel calcolo del valore analitico.

File firmato digitalmente da:

Responsabile di Laboratorio  
Dott. Galatà Riccardo  
N° 543 A - Ordine dei Chimici della  
provincia di Catania

Fine del rapporto di prova n° **19LA0013440**

Rapporto di prova n°: **19LA0013441** del **08/04/2019**

**LAB N° 0510**



19LA0013441

Spett.  
**NAVICELLI DI PISA S.R.L.**  
VIA DELLA DARSENA, 3-5  
56121 PISA (PI)

Denominazione del Campione: **Campione di terreno - c/o S3**

Luogo di campionamento: **Vasca 7 - Canale Navicelli Pisa**

Punto di prelievo: **c/o S3**

Prelevato da: **Personale Cliente**

Verbale di prelievo n°: **19/00245**

Data Prelievo: **25/02/2019**

Data Accettazione: **12/03/2019**

Data Inizio Analisi: **13/03/2019** Data Fine Analisi: **27/03/2019**

<b>Parametro Metodo</b>	<b>U.M.</b>	<b>Risultato</b>	<b>Incertezza</b>
* <b>Antimonio</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014</i>	mg/kg	<b>1,3</b>	±0,4
* <b>Antimonio</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014</i>	µg/l	<b>0,87</b>	±0,26
<b>Residuo secco a 105°C</b> <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.2</i>	%p/p	<b>81</b>	±4
<b>Frazione granulometrica &lt; 2 mm</b> <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1</i>	%p/p	<b>74,15</b>	±7,42
<b>Frazione granulometrica &gt; 2 mm e &lt; 2 cm</b> <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1</i>	%p/p	<b>25,85</b>	±2,58

(\*) - Prova non accreditata ACCREDIA

Tutte le procedure, i metodi utilizzati per le determinazioni analitiche e le incertezze delle misure sono quelli definiti nei metodi di prova; non sono state effettuate aggiunte, esclusioni e derivazioni rispetto alle specifiche richieste. Con il termine Incertezza si intende incertezza estesa (espressa con livello di fiducia del 95%), fattore di copertura utilizzato K = 2; il recupero non è utilizzato nel calcolo del valore analitico.

File firmato digitalmente da:

Responsabile di Laboratorio  
Dott. Galatà Riccardo  
N° 543 A - Ordine dei Chimici della  
provincia di Catania

Fine del rapporto di prova n° **19LA0013441**

Rapporto di prova n°: **19LA0013442** del **08/04/2019**

**LAB N° 0510**



19LA0013442

Spett.  
**NAVICELLI DI PISA S.R.L.**  
VIA DELLA DARSENA, 3-5  
56121 PISA (PI)

Denominazione del Campione: **Campione di terreno - c/o S4**

Luogo di campionamento: **Vasca 7 - Canale Navicelli Pisa**

Punto di prelievo: **c/o S4**

Prelevato da: **Personale Cliente**

Verbale di prelievo n°: **19/00237**

Data Prelievo: **25/02/2019**

Data Accettazione: **12/03/2019**

Data Inizio Analisi: **13/03/2019** Data Fine Analisi: **27/03/2019**

<b>Parametro Metodo</b>	<b>U.M.</b>	<b>Risultato</b>	<b>Incertezza</b>
* <b>Cadmio</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014</i>	mg/kg	<b>4,8</b>	±1,5
* <b>Cromo totale</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014</i>	mg/kg	<b>48</b>	±14
* <b>Zinco</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 3051A 2007 + EPA 6020B 2014</i>	mg/kg	<b>65</b>	±20
* <b>Cadmio</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014</i>	µg/l	<b>4,5</b>	±1,4
* <b>Cromo Totale</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014</i>	µg/l	<b>12</b>	±4
* <b>Zinco</b> <i>PR/SUO-TEC/151-2007 + EPA 6020B 2014</i>	µg/l	<b>&lt; 20</b>	
<b>Residuo secco a 105°C</b> <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.2</i>	%p/p	<b>86</b>	±4
<b>Frazione granulometrica &lt; 2 mm</b> <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1</i>	%p/p	<b>76,62</b>	±7,66
<b>Frazione granulometrica &gt; 2 mm e &lt; 2 cm</b> <i>DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1</i>	%p/p	<b>23,38</b>	±2,34

(\*) - Prova non accreditata ACCREDIA

Tutte le procedure, i metodi utilizzati per le determinazioni analitiche e le incertezze delle misure sono quelli definiti nei metodi di prova; non sono state effettuate aggiunte, esclusioni e derivazioni rispetto alle specifiche richieste. Con il termine Incertezza si intende incertezza estesa (espressa con livello di fiducia del 95%), fattore di copertura utilizzato K = 2; il recupero non è utilizzato nel calcolo del valore analitico.

File firmato digitalmente da:

Laboratorio Inserito negli elenchi del programma di controllo Qualità dei laboratori che effettuano la determinazione quantitativa delle fibre di amianto promosso dal Ministero della Salute, ai sensi del D.M. 14/05/96.

Laboratorio di ricerca riconosciuto "Altamente Qualificato" da parte del Ministero della Università e Ricerca (MIUR) secondo il Decreto Ministeriale 8 agosto 2000

Laboratorio riconosciuto dal Ministero della Sanità (prot. 600.5/59.619/1773) e iscritto al n. 017 dell'elenco regionale dei laboratori che effettuano analisi di autocontrollo delle industrie alimentari ai sensi della LR 9 marzo 2006, n. 9 (decreto 1236 del 20.03.2007)

Laboratorio con Sistema di Gestione Qualità certificato ai sensi della UNI EN ISO 9001, con Sistema di Gestione Ambientale certificato ai sensi della UNI EN ISO 14001, e con Sistema di Gestione della Salute e Sicurezza dei lavoratori secondo lo standard OHSAS 18001

segue Rapporto di prova n°: **19LA0013442** del **08/04/2019**

Responsabile di Laboratorio  
Dott. Galatà Riccardo  
N° 543 A - Ordine dei Chimici della  
provincia di Catania

Fine del rapporto di prova n° **19LA0013442**

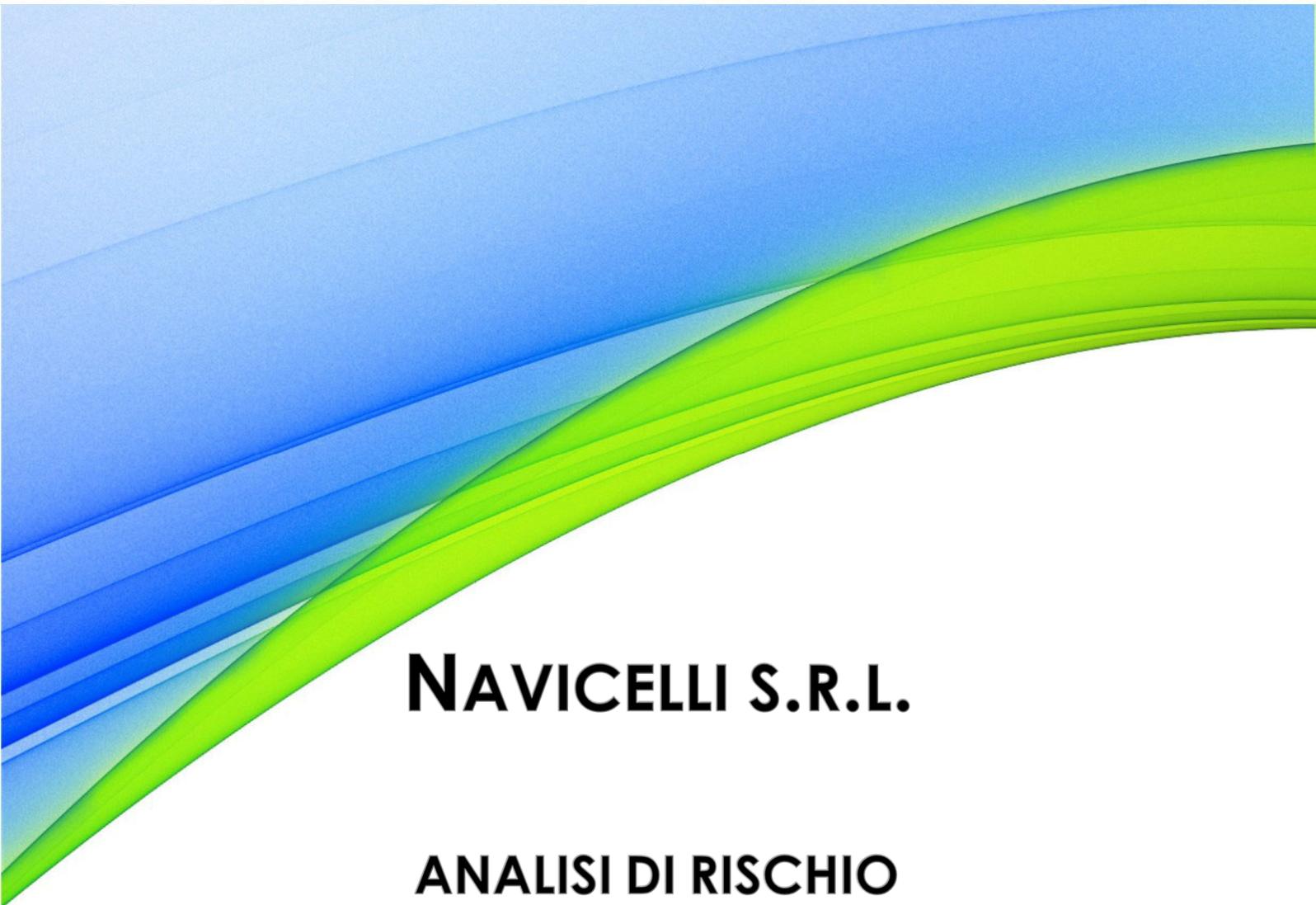
---

Laboratorio Inserito negli elenchi del programma di controllo Qualità dei laboratori che effettuano la determinazione quantitativa delle fibre di amianto promosso dal Ministero della Salute, ai sensi del D.M. 14/05/96.

Laboratorio di ricerca riconosciuto "Altamente Qualificato" da parte del Ministero della Università e Ricerca (MIUR) secondo il Decreto Ministeriale 8 agosto 2000

Laboratorio riconosciuto dal Ministero della Sanità (prot. 600.5/59.619/1773) e iscritto al n. 017 dell'elenco regionale dei laboratori che effettuano analisi di autocontrollo delle industrie alimentari ai sensi della LR 9 marzo 2006, n. 9 (decreto 1236 del 20.03.2007)

Laboratorio con Sistema di Gestione Qualità certificato ai sensi della UNI EN ISO 9001, con Sistema di Gestione Ambientale certificato ai sensi della UNI EN ISO 14001, e con Sistema di Gestione della Salute e Sicurezza dei lavoratori secondo lo standard OHSAS 18001



**NAVICELLI S.R.L.**

**ANALISI DI RISCHIO  
SITO SPECIFICA**

SITO VASCA 7  
CODICE SISBON PI-PI 1016  
COMUNE DI PISA

ALLEGATO 4  
FILES RISK-NET 3.1 (SU SUPPORTO INFORMATICO)