

Ambiente e Sottosuolo

di Dott. Ferruccio Lorenzini

Idrogeotecnica applicata e geoservizi



Estratto da Google Earth (23/07/2019) - corografia generale

Scala 1:10.000



Estratto da Google Earth (23/07/2019) - corografia di dettaglio

Scala 1:4.000

Relazione tecnica descrittiva dei risultati
ottenuti dalle indagini ambientali ed
elaborazione dell'analisi di rischio
ai sensi del D.Lgs. n°152/2006 Parte Iv^a Titolo V^o
Area ex PIRELLI-SICE - Via Carducci, angolo Via della Meridiana
in Livorno - cod. SISBON: Li030 PIRELLI - SICE CAVI

Committente:



Comune di Livorno

Piazza del Municipio 1
57123 Livorno (LI)

Geologo consulente:

Dott. Geol. Ferruccio Lorenzini



FASCICOLO (A)

Contenuto:

***Relazione tecnica;
Allegati grafici.***

Data:

novembre 2020

**Relazione tecnica descrittiva dei risultati ottenuti
dalle indagini ambientali ed elaborazione
dell'analisi di rischio ai sensi del
D.Lgs. n° 152/2006 Parte IV^a Titolo V°
"Area ex PIRELLI-SICE – Via Carducci, angolo Via della Meridiana
in Livorno – cod. SISBON: LI030 PIRELLI – SICE CAVI"**

INDICE

1 – INTRODUZIONE.....	3
1.1 – Addendum alla caratterizzazione ambientale del sito	4
2 – INDAGINI AMBIENTALI	4
2.1 – Caratterizzazione ambientale del sito.....	5
2.1.1. Inquadramento geologico – stratigrafia locale	5
2.1.2. Modello idrogeologico	7
2.2 Analisi chimiche sui terreni prelevati nei sondaggi	8
2.3 Esiti indagini supplementari area S6-Pz4.....	12
2.4 Rilievo plani-altimetrico dei punti di indagine.....	13
2.5 Analisi chimiche sulle acque di falda.....	14
2.6 Analisi di laboratorio complementari.....	17
2.6.1. Determinazione dei coefficienti Kd sito-specifici	17
2.7 Caratterizzazione dei terreni di riporto.....	18
3 – MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO DEL SITO	21
3.1 – Generalità.....	21
3.2 – Sorgenti di contaminazione.....	22
3.3 – Percorsi di migrazione e vie di esposizione	23
3.4 – Bersagli	24
3.5 – Modello Concettuale Definitivo (SINTESI)	25
4 – ANALISI DI RISCHIO sanitario-ambientale	26
4.1 – Principi generali	26
4.2 – Calcolo del rischio.....	27
4.2.1 Calcolo del rischio per la risorsa idrica sotterranea.....	29
4.3 – Criteri di accettabilità del rischio	29
4.4 – Applicazione al sito dell'analisi di rischio sanitario.....	30
4.4.1 Generalità.....	30
4.4.2 Dati di ingresso – definizione delle sorgenti di contaminazione.....	31
4.4.3 Dati di ingresso – sostanze contaminanti	31
4.4.4 Dati di ingresso – parametri caratteristici del sito	32
4.4.4.1 Parametri caratteristici	33
4.4.4.2 Parametri caratteristici ambiente outdoor e indoor (on-site e off-site).....	34
4.4.5 Dati di ingresso – livelli di contaminazione	34
4.4.6 Calcolo del rischio – modalità diretta.....	35
4.4.6.1 Calcolo del rischio – determinazione delle CSR sito specifiche	36
5 – CONCLUSIONI.....	38

ALLEGATI GRAFICI

- **Tav. T1** – Planimetria con ubicazione sondaggi;
- **Tav. T2** – Carte geologiche generali;
- **Tav. T3a** – Planimetria area con traccia sezioni geologiche;
- **Tav. T3b** – Sezioni geologiche A-A' e B-B';
- **Tav. T4** – Planimetria con isopiezometrica prima falda al 01.10.20.
- **Tav. T4a** – Planimetria con isoconcentrazione tetracloroetene prima falda al 01.10.20.
- **Tav. T5** – Planimetria indicativa area scavi nuovo ospedale.



FASCICOLO B

ALLEGATI TECNICI

- Rapporti sondaggi/piezometri;
- Rapporti di prova analisi chimiche terreni (Gruppo CSA S.p.A.);
- Rapporti di prova analisi chimiche acque sotterranee (Gruppo CSA S.p.A.).

ALLEGATI DOCUMENTALI

- Verbali interni campionamento terreni;
- Verbali ARPAT campionamento terreni;
- Verbale interno campionamento acque sotterranee;
- Verbale ARPAT campionamento acque sotterranee.



1 – INTRODUZIONE

Su incarico del **Comune di Livorno** in qualità di proprietario dell'area, giusta Determina n. 5130 del 28.08.2020, è stato dato corso al Piano delle Indagini ambientali previste nel Piano di Caratterizzazione (maggio 2020 - documento redatto da altri tecnici incaricati dalla Committenza), approvato con prescrizioni nella Conferenza dei Servizi del 09 giugno 2020.

Nel periodo di tempo compreso fra il 15.02.2020 e il 01.10.2020 il sottoscritto, attraverso idonei mezzi ed attrezzature, ha svolto le indagini ed i rilievi in sito proposti nel succitato PdC.

Le analisi chimiche e fisiche sui terreni e sulle acque sotterranee sono state affidate, per mezzo di subappalto autorizzato, all'Istituto di Ricerca Gruppo CSA Spa di Rimini (laboratorio accreditato SINAL n°0181).

Nell'iter per la riqualificazione ambientale di un sito, il passo successivo alla caratterizzazione ambientale (PdC – **fase 1**) ed all'esecuzione del piano delle indagini di cui al PdC (**fase 2**), in presenza di superamenti delle CSC in una delle matrici ambientali, è l'elaborazione di un'analisi di rischio eseguita secondo i criteri di cui in Allegato 1, Parte IV^a Titolo V° D. Lgs. n°152/06 ed i principi dettati dal documento APAT (giugno 2005 – “*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*”)(**fase 3**).

L'elaborazione dell'analisi di rischio è finalizzata alla determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR) nelle varie matrici ambientali ove sono state superate le CSC; queste ci indicano i valori sito-specifici dei contaminati oltre i quali è necessario provvedere ad interventi di messa in sicurezza e bonifica del sito.

Le indagini ed analisi condotte per il sito interessato hanno evidenziato alcuni superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) sia sui terreni sia sulle acque sotterranee.

L'analisi di rischio sito-specifica sviluppata in virtù di tutti i dati raccolti ha evidenziato una non conformità relativa al rischio falda, conseguentemente, siamo in presenza di un **sito contaminato**.

Tenuto conto quanto sopra, il presente documento (congiuntamente a tutti gli allegati sia documentali sia grafici) rappresenta e contiene sia la “**relazione tecnica descrittiva dei risultati ottenuti dalle indagini sia l'analisi di rischio sito specifica**”.

Nel presente documento si fa riferimento (e si intende integralmente richiamato per le parti generali) il Piano della Caratterizzazione approvato sopraccitato.

La presente relazione è basata sull'applicazione di conoscenze tecniche e scientifiche di uso corrente relativamente agli studi ambientali di siti potenzialmente contaminati e richiama le indicazioni tecniche fornite dagli Enti governativi e regionali (APAT, ARPAT).

I risultati, i giudizi e le conclusioni espressi in questo documento sono basati sulle informazioni disponibili al momento dell'indagine e sono condizionate dai limiti imposti dai dati esistenti, dalle risorse, dalla finalità e dal programma di lavoro.



1.1 – Addendum alla caratterizzazione ambientale del sito

In corrispondenza del sondaggio S6-Pz4, alla base dello strato di riporto (a circa -1,80 m p.c.) è stato rilevato un sottile orizzonte (spessore circa 0,2 m) di terreno contenente una morchia oleosa di colore nero caratterizzata da un forte odore pungente.

Segnalato il ritrovamento di questa evidenza organolettica ai tecnici del Comune di Livorno, che giornalmente soprintendevano ai lavori, è stato deciso di eseguire un supplemento di indagine nell'intorno del sondaggio S6-Pz4, i cui esiti sono esposti nel prosieguo del documento.

2 – INDAGINI AMBIENTALI

Come previsto nel Piano di Indagini del PdC approvato con prescrizioni, il sottoscritto ha effettuato nell'area identificata dell'ex Pirelli-Sice Cavi le seguenti indagini ambientali (**Tav. T1**):

- esecuzione di 6 sondaggi a carotaggio continuo a secco, del diametro di 101 mm, spinti fino alla profondità di 10 metri dal piano di campagna (p.c.);
- 4 dei 6 sondaggi sono stati attrezzati a piezometro per il monitoraggio delle acque sotterranee così come previsto nel PdC e come schematicamente riprodotto nei rapporti monografici dei sondaggi geognostici;
- prelievo di 18 campioni di terreno durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo (3 campioni per ogni sondaggio) e loro confezionamento secondo quanto previsto nel PdC, da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio (sets analitico definito nel PdC). Tutti i campioni sono stati prelevati in duplice aliquota, in modo che una porzione degli stessi potesse essere utilizzata per le analisi fisiche;
- prelievo di 6 campioni (uno in ogni sondaggio) dai materiali superficiali di riporto da sottoporre ad analisi chimiche di caratterizzazione (test di cessione D.M. n. 186 05.04.2006 GU n. 115 del 19.05.2006);
- prelievo di 4 campioni di acqua di falda dai 4 piezometri realizzati, da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. I prelievi sono stati effettuati in conformità alle metodiche e procedure descritte nel PdC;
- monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee (conducibilità elettrica, temp. e pH) mediante apparecchio multi-parametrico WTW mod. Multi 340/i/SET dotato di sonda Tetracon 325-3;
- rilievo piezometrico e plano-altimetrico di tutti i piezometri realizzati.

Presso il laboratorio certificato indicato, invece, sono state svolte le seguenti attività:

- esecuzione di analisi chimiche sui campioni di terreno, materiali di riporto ed acqua di falda;
- esecuzione di analisi fisiche dei terreni per la determinazione di alcuni parametri indice necessari nell'elaborazione dell'Analisi di Rischio.



2.1 – Caratterizzazione ambientale del sito

Le indagini svolte nel sito in oggetto avevano la funzione di consentire:

- la verifica dell'assetto geologico-stratigrafico del sottosuolo del sito, per una profondità significativa in rapporto alle problematiche in esame;
- la determinazione sito-specifica di alcune proprietà fisiche dei terreni presenti nel sottosuolo, necessarie per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio;
- la definizione puntuale dell'assetto idrogeologico del sito;
- la raccolta di campioni rappresentativi delle matrici ambientali presumibilmente coinvolte in ragione delle ipotesi formulate nel Modello concettuale preliminare.

In considerazione dei risultati delle indagini in sito, si aggiornano e meglio definiscono le caratteristiche geologico-stratigrafiche ed idrogeologiche dell'area in studio.

2.1.1. Inquadramento geologico – stratigrafia locale

Le caratteristiche geologiche del comprensorio tratte dalla bibliografia (DataBase Geologico della Regione Toscana, Carta Geologica del Piano Strutturale del Comune di Livorno – **Tav. T2**) e dalle prospezioni pregresse sono state confermate con le indagini geognostiche in sito, in particolare, nel sottosuolo dell'area oggetto di studio si trovano:

- a) Terreni di riporto antropico (attuali)(**h5**);
- b) Depositi alluvionali terrazzati e non (recenti)(**bn**a);
- c) Calcareniti sabbiose di Castiglioncello (Panchina)(Pleistocene sup.)(**QCP**);
- d) Sabbie e argille ad Artica Islandica (Pleistocene inf.)(**ART**).

L'assetto geologico-stratigrafico dell'area è sostanzialmente uniforme con variazioni laterali molto modeste; nelle sezioni geologiche di **Tav. T3** sono rappresentate le geometrie geologico-stratigrafiche sito specifiche, caratterizzate dalla successione di formazioni diverse disposte secondo una stratificazione sub-orizzontale molto regolare.

Nel sottosuolo d'interesse (sono stati indagati solo i primi 10 metri di profondità), si trovano solo depositi sedimentari, caratteristici di ambienti di formazione differenti, infatti, in affioramento (coperti a tratti dai materiali antropici) troviamo depositi alluvionali (**bn**a) dei terrazzi fluviali che poggiano con un contatto discontinuo para-concordante sui sedimenti costieri (**QCP**), i quali giacciono sui sedimenti marini prevalentemente argillosi del Pleistocene inf. (**ART**).

Più in dettaglio, sulla base delle osservazioni dirette nel corso dei sondaggi eseguiti in sito è stato possibile rilevare le caratteristiche lito-stratigrafiche delle diverse formazioni presenti del sottosuolo, nel quale è possibile riconoscere le seguenti unità stratigrafiche, così distinte:



Terreni di riporto (h5): sono stati rilevati in tutti e sei i sondaggi effettuati; si tratta prevalentemente di materiali inerti misti di origine antropica (molto frequenti frammenti di laterizi) con granulometria eterometrica ma sempre con un'evidente matrice sabbioso-limosa. Lo spessore è variabile da zona a zona (*anche in conseguenza a lavori post chiusura dell'attività, in particolare nella zona dove è stato realizzato il parco*) e, oscilla fra 0,5 m e circa 2 m.

Depositi alluvionali terrazzati e non (bna): si tratta di sedimenti con granulometria variabile che nel sito in studio sono presenti come limi sabbiosi a volte debolmente ghiaiosi ed argille sabbiose entrambe di colore marrone scuro molto consistenti. Nell'area di interesse hanno uno spessore regolare di circa 3 metri. Età attribuita all'*Olocene*.

Calcareniti di Castiglioncello (Panchina) (QCP): si tratta prevalentemente calcareniti grossolane e medie ben cementate alternate a sabbie di colore chiaro, sabbie-limose e limi di colore bruno-rossiccio. I banchi calcarenitici hanno spessori che variano dai 0,50 m ai 2 m e sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli clastosostenuti alla base forati da litofagi, concrezioni intra-sedimentarie sub-orizzontali e verticali, stratificazione incrociata concava e presenza di frammenti di faune ad ospiti caldi di spiaggia. Ambiente marino litorale di spiaggia, di duna e eolico e/o colluviale. Spessore massimo complessivo intorno ai 10 metri. Nel sito sono state attraversate per uno spessore massimo di circa 3 metri. Età attribuita al *Pleistocene superiore*.

Sabbie ed argille ad Arctica Islandica (ART): sono descritte come sabbie fini di color giallo arancio, argille sabbiose e argille (*di colore azzurro avio, prevalenti nel sottosuolo del sito in esame*), con strati di calcareniti sabbiose, ricche di faune (molluschi bivalvi - Arctica Islandica). Sono sedimenti di ambiente neritico compreso tra lo *shoreface* superiore e inferiore, con evidenze di influenza fluviale nella parte sommitale, dove è stato individuato un evidente salto di facies. Spessore massimo dell'ordine dei 100 metri. Età attribuita al *Pleistocene inferiore* (Santerniano-Emiliano).

I risultati dei sondaggi effettuati in sito, correlati ai dati pregressi, sono stati utilizzati per l'elaborazione di due sezioni geo-litologiche nelle quali sono evidenziati i rapporti stratigrafici tra i diversi orizzonti litologici rilevati (**Tav. T3**).

Dall'esame delle sezioni geologico-stratigrafiche si rileva la notevole omogeneità litologica e stratigrafica del sottosuolo dell'area in oggetto, del resto già evidenziata nel PdC con i sondaggi pregressi e data da una successione stratificata con giacitura sub-orizzontale dei sedimenti, solo con modeste variazioni laterali di spessore degli orizzonti.



2.1.2. Modello idrogeologico

Le indagini svolte in sito hanno consentito di verificare puntualmente le informazioni tratte dalle indagini geologiche pregresse e da quanto estratto dalla bibliografia scientifica.

L'area oggetto di studio, posta ad una quota di circa 9,8 metri sul livello del mare, è situata lungo la fascia costiera, completamente urbanizzata, in un'area sub-pianeggiante debolmente immergente verso ovest, a circa 1,5 Km dal mare.

Come già evidenziato, l'area è caratterizzata da un contesto geologico-stratigrafico sostanzialmente uniforme sia arealmente sia in profondità, ciò si traduce in un assetto idrogeologico continuo e semplificato. In generale, il sito è caratterizzato dalla presenza di un acquifero monofalda sub-superficiale impostato nei sedimenti sabbiosi (**QCP**) che, andando verso ovest, aumentano progressivamente di spessore fino alla costa, dove vengono direttamente a contatto con le acque marine.

A livello locale, i sondaggi effettuati hanno consentito di indagare fino ad una profondità di 10 metri intercettando il corpo sabbioso di spessore medio circa 2 m (**QCP**) che costituisce l'acquifero granulare; lo stesso è limitato al tetto da circa 3 metri di limi argilloso-sabbiosi (**bna**), mentre alla base, da un potente livello argilloso-limoso (**ART**) che si sviluppa per molte decine di metri in profondità.

I depositi a grana medio-fine (**bna**) sono costituiti da terreni prevalentemente coesivi, granulometricamente correlabili ai gruppi **ML-CL** del sistema USCS, ovvero "*limi inorganici e limi argillosi*" e subordinatamente delle "*argille inorganiche a bassa plasticità*" a cui si può attribuire una permeabilità bassa ($K=10^{-6}$ cm/sec.).

I sedimenti granulari (**QCP**) sono granulometricamente correlabili ai gruppi **SW-GP** del sistema USCS, ovvero "*sabbie pulite ben selezionate*" e delle "*ghiaie poco graduate*" con permeabilità buona ($K=10^{-2}/10^{-3}$ cm/sec.).

L'orizzonte di base della successione investigata è granulometricamente correlabile al gruppo **CH** del sistema USCS ossia "*argille inorganiche di media alta plasticità*" a cui si può attribuire una permeabilità molto bassa ($K<10^{-7}$ cm/sec.).

I valori di permeabilità sopraindicati sono stati stimati in ragione della natura granulometrica dei sedimenti che costituiscono il sottosuolo.

Alcuni dei sondaggi eseguiti sono stati attrezzati a piezometro (sigla identificativa dei piezometri coincidente con la numerazione dei sondaggi); le misure freaticometriche svolte, corrette in ragione del rilievo plani-altimetrico dei boccapozzi e riassunte nella tabella successiva, hanno permesso di ricostruire la carta piezometrica di **Tav. T4**, riferita alle misure effettuate il 01 ottobre 2020.



Pz1	Pz2	Pz3	Pz4
quota assoluta testa tubo in metri s.l.m.			
9,68	10,34	9,71	10,16
misura della falda in metri da testa tubo			
-2,35	-3,65	-2,78	-3,58
quota assoluta falda rispetto testa tubo in metri s.l.m.			
7,33	6,69	6,93	6,58

Tab. 1 – Misure di soggiacenza e livello della falda (01.10.2020)

Nella Tavola T4 relativa al monitoraggio del 01/10/20, le curve isopiezometriche della falda superficiale presentano un andamento molto regolare sia come direzione di deflusso sia come gradiente, ciò è coerente e conferma l'uniformità dell'assetto idrogeologico del sottosuolo locale.

Nell'area esaminata la falda ha un livello compreso tra circa +6,58 e +7,33 m s.l.m., con un gradiente idraulico medio di circa 5,4 ‰, corrispondente a circa 0,30°.

La direzione di deflusso va da NE verso SO, condizione che corrisponde con quanto previsto nel PdC, perciò i piezometri Pz1 e Pz3 sono ubicati a monte idrogeologico rispetto all'area in studio, mentre i piezometri Pz2 e Pz4 sono posti a valle e conseguentemente captano le acque in uscita dal sito.

Trattandosi di un acquifero superficiale, le precipitazioni meteoriche o variazioni di regime in impluvi limitrofi possono fornire un'alimentazione immediata alla falda con incrementi evidenti dei livelli che, presumibilmente si andranno a dissipare nell'arco di pochi giorni grazie alla buona permeabilità dell'orizzonte acquifero.

Nel piezometro Pz1, lo spessore dei sedimenti sabbiosi è decisamente inferiore rispetto a tutto il resto dell'area (unica apprezzabile variazione laterale nella stratigrafia dei depositi costituenti l'acquifero), ciò tuttavia, dalla carta isopiezometrica si evidenzia la coerenza del livello piezometrico nel contesto idrogeologico locale e conseguentemente la continuità idraulica della falda, sebbene è lecito ipotizzare che in quella parte il flusso idrico sotterraneo sia sensibilmente ridotto (condizione verificata anche durante lo spurgo e campionamento delle acque sotterranee).

2.2 Analisi chimiche sui terreni prelevati nei sondaggi

Nel corso dei sondaggi, seguendo modalità e procedure previste nel PdC, sono stati prelevati 18 campioni di terreno, ovvero 3 campioni per ogni sondaggio.

Nel Piano delle indagini era previsto il prelievo dei campioni alle seguenti profondità:

- 1) n. 1 fra 0 e -1 m;
- 2) n. 1 in corrispondenza della frangia capillare;
- 3) n. 1 in posizione intermedia fra i precedenti.



Le profondità di prelievo dei campioni di terreno sono riportate nella Tab. 2. Si evidenzia che nel caso del primo campione, quello da prelevare fra 0 e -1 m dal p.c., la profondità non è quasi mai stata rispettata in quanto, lo spessore dei materiali di riporto antropico spesso era pari o eccedeva ad un metro.

1° CAMPIONE (superficiale)					
S1C1	S2C1	S3C1	S4C1	S5C1	S6C1
0,9-1,5 m da p.c.	1,40-1,50	0,8-1,1 m da p.c.	0,3-0,9 m da p.c.	1,3-1,4 m da p.c.	2,1-2,3 m da p.c.
2° CAMPIONE (intermedio)					
S1C2	S2C2	S3C2	S4C2	S5C2	S6C2
2,2-2,7 m da p.c.	2,4-2,6	2,4-2,7 m da p.c.	3,0-3,35 m da p.c.	2,3-2,4 m da p.c.	2,9-3,0 m da p.c.
3° CAMPIONE (frangia capillare)					
S1C3	S2C3	S3C3	S4C3	S5C3	S6C3
3,5-3,95 m da p.c.	3,6-3,8	3,5-3,85 m da p.c.	3,9-4,3 m da p.c.	2,8-3,0 m da p.c.	3,5-3,7 m da p.c.

Tab. 2 – Profondità di campionamento terreni. Le celle sotto marcate in verde indicano campioni prelevati anche dai tecnici ARPAT, in quei casi la scelta dei campioni è stata effettuata di concerto.

I campioni prelevati sono sempre stati conservati al riparo della luce ed a temperatura controllata fino al loro trasporto presso il laboratorio che è avvenuto nei giorni seguenti per mezzo di corriere espresso.

Il laboratorio incaricato ha provveduto ad effettuare le analisi chimiche previste nel PdC nonché di quelle indicate nelle prescrizioni ARPAT.

Le metodiche di analisi utilizzate dal laboratorio sono puntualmente indicate nei rapporti di prova allegati alla presente e sono stati preventivamente comunicati/concordati con il locale Dipartimento ARPAT per mezzo di e-mail del Direttore Laboratorio Dott. Ivan Fagiolino.

In relazione al futuro ri-utilizzo dell'area di studio (*realizzazione di una porzione del nuovo ospedale cittadino*), ai sensi e per gli effetti del D.Lgs. 152/06, ai fini del presente elaborato il presente sito viene considerato come “*area residenziale*” e pertanto ad essa sono associati i limiti di concentrazione previsti per “*Siti ad uso verde pubblico e privato e residenziale*” (Col. A Tab. 1 “*Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare*” All. 5 Allegati al Titolo V° della Parte Quarta del D.Lgs. n°152/2006).

Copia dei certificati di analisi è inserita in allegato alla presente relazione tecnica, mentre nelle tabelle seguenti (Tab. 3a e 3b) sono riassunti gli esiti delle analisi chimico-fisiche dei terreni.



I dati analitici di ogni parametro ricercato, sono messi a confronto con i limiti di legge (CSC) di cui sopra e, in caso di superamento della Colonna A Tab. 1, la corrispondente casella ha il fondo colorato di arancio. Quando i dati sono conformi alle CSC, le caselle hanno il fondo bianco.

Dei 18 campioni di terreno prelevati, soltanto in 6 non si registra alcun superamento delle CSC e precisamente sono: **S1-C2** (2,20-2,70), **S2/Pz1-C2** (2,40-2,60), **S3-C3** (3,50-3,85), **S4/Pz2-C3** (3,90-4,30), **S5/Pz3-C1** (1,30-1,40) e **S6/Pz4-C2** (2,90-3,0).

In tutti gli altri campioni (12, a varie profondità) abbiamo dei superamenti delle CSC di legge per alcuni metalli, in particolare arsenico e cobalto e solo in un caso piombo ed in un altro caso vanadio. Solo in **S3-C2** (2,40-2,70) il dato per l'arsenico supera la CSC anche della Colonna B Tab. 1, in tutti gli altri casi i terreni sarebbero conformi per una destinazione d'uso industriale-commerciale.

Esaminiamo i dati nel dettaglio, partendo dall'arsenico; la CSC di Col. A Tab. 1 è per la destinazione d'uso di progetto pari a 20 µg/Kg.

In nove campioni dove l'arsenico supera la CSC, sei campioni presentano valori di 21-22 µg/Kg che, considerata l'incertezza di determinazione analitica (+/- 5/6 µg/Kg) evidenziano una situazione proprio a cavallo del limite.

Considerando i valori di arsenico inferiori alle CSC degli altri campioni, si ottiene una media pari a 15,9 µg/Kg; è un valore decisamente apprezzabile e diffuso, tale da far ipotizzare anche ad un'origine geogenica dell'arsenico in questi suoli. Naturalmente per affermarlo con certezza sarebbe necessario effettuare studi al di fuori dell'ex area industriale.

Solo in tre campioni il limite è evidentemente superato, di cui due nella stessa verticale (S5/Pz3), in una porzione di terreno compresa fra -2,30 m e -3,0 m. L'altro superamento è in corrispondenza del sondaggio S3, fra -2,40/-2,70 m. Entrambi i sondaggi sono posti nel capannone che confina con Via della Meridiana.

Analogo discorso potrebbe essere fatto per il cobalto ed il vanadio, entrambi sono presenti in alcuni campioni con tenori poco superiori alle CSC e compresi nel valore di incertezza analitica, evidenziando altresì una situazione proprio a cavallo dei limiti.

In tutti i campioni di suolo le analisi non hanno rilevato, per i BTEX's, IPA ed idrocarburi C<12 e C>12, concentrazioni superiori ai limiti di legge. In alcuni campioni vi sono tracce delle sostanze sopra indicate, ma con valori sempre decisamente inferiori alle CSC.

Un discorso a parte deve essere fatto per il campione S4/Pz2-C1, prelevato in una porzione sciolta compresa nel materiale di riporto (0,3-0,9 m) e quindi non considerata come un suolo naturale, ma materiale "terroso" rimaneggiato frammisto a considerevoli componenti di riporto.

In questo campione sono state rilevate le evidenze chiare ed inequivocabili dell'impatto antropico, in quanto si trovano sostanze ed elementi associabili a processi produttivi di origine



industriale, ovvero: IPA ed idrocarburi pesanti oltre ad alcuni metalli probabilmente impiegati nelle lavorazioni ex Pirelli: Mercurio, piombo, rame e zinco.

E' utile evidenziare come in questo campione, così pesantemente impattato, arsenico e cobalto presentano entrambi il valore di 22 µg/Kg, ovvero poco superiore al limite e comune a molti altri campioni del sito (dove gli altri elementi sicuramente antropici non sono rilevabili).

Ciò, ancora una volta potrebbe far presupporre che questi tenori di arsenico e cobalto rientrino fra i valori naturali del contesto territoriale.

Tab. 3 – Tabella di sintesi degli esiti analitici dei terreni (pagina inserita nel testo)

Denominazione		Terreno S4- Pz2-C1	Terreno S4- Pz2-C2	Terreno S4- Pz2-C3	Terreno S5- Pz3-C1	Terreno S5- Pz3-C2	Terreno S5- Pz3-C3	Terreno S6- Pz4-C1	Terreno S6- Pz4-C2	Terreno S6- Pz4-C3	LOQ	DLgs 152/06 All 5 Tab 1 Res Verde	DLgs 152/06 All 5 Tab 1 Com- Ind
Data campionamento		16/09/20	16/09/20	16/09/20	25/09/20	25/09/20	25/09/20	17/09/20	17/09/20	17/09/20			
Profondità campione		0,30-0,90	3,0-3,35	3,90-4,30	1,30-1,40	2,30-2,40	2,80-3,0	2,10-2,30	2,90-3,0	3,50-3,70			
Parametro	U. M.	2012953-007	2012953-008	2012953-009	2012954-004	2012954-005	2012954-006	2012955-001	2012955-002	2012955-003			
Scheletro	% s.s.	6,49	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	13,67	< 0,1	1,93	0,1		
Residuo secco a 105 °C	%	94,1	91,6	87,2	85,0	79,5	80,2	88,4	85,8	87,4	0,1		
COMPOSTI INORGANICI													
Antimonio	mg/Kg s.s.	4,00	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,00	< 1	< 1	1	10	30
Arsenico	mg/Kg s.s.	22,0	15,0	19,0	19,0	79	41	22,0	10,0	21,0	1	20	50
Cadmio	mg/Kg s.s.	0,91	0,58	0,280	0,52	0,61	0,270	1,12	0,55	0,58	0,05	2	15
Cobalto	mg/Kg s.s.	18,8	22,7	7,7	15,7	11,7	5,10	50,7	14,9	23,3	0,5	20	250
Cromo totale	mg/Kg s.s.	54,3	72,3	42,1	60,3	57,7	35,5	68,0	80,7	67,6	0,5	150	800
Cromo esavalente	mg/Kg s.s.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,2	2	15
Mercurio	mg/Kg s.s.	7,4	0,0292	0,0296	0,0454	0,0368	0,0523	0,0335	0,0276	0,0242	0,005	1	5
Nichel	mg/Kg s.s.	53,4	54,4	26,7	44,8	49,1	21,9	102	56,3	54,7	0,5	120	500
Piombo	mg/Kg s.s.	1023	17,0	6,00	14,0	12,0	8,0	30,0	9,0	17,0	1	100	1000
Rame	mg/Kg s.s.	243	35,1	18,9	26,7	33,8	17,9	43,0	33,2	34,5	0,5	120	600
Stagno	mg/Kg s.s.	78,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,1		
Vanadio	mg/Kg s.s.	61,7	62,9	47,4	49,9	73,9	39,0	70,9	68,8	62,5	0,5	90	250
Zinco	mg/Kg s.s.	708	87	44,1	80	81	43,6	103	114	92	0,5	150	1500
COMPOSTI ORGANICI AROMATICI													
Benzene	mg/Kg s.s.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,1	2
Etilbenzene (A)	mg/Kg s.s.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,5	50
Stirene (B)	mg/Kg s.s.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,5	50
Toluene (C)	mg/Kg s.s.	0,057	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,5	50
Xilene (D)	mg/Kg s.s.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,5	50
Sommatoria organici aromatici (A,B,C,D)	mg/Kg s.s.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	1	100
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI													
Naftalene	mg/Kg s.s.	0,320	0,200	0,190	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,420	0,170	0,140	0,01		
Acenafilene	mg/Kg s.s.	0,0400	0,0100	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,050	< 0,01	< 0,01	0,01		
Acenafene	mg/Kg s.s.	0,090	0,0300	0,080	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0100	0,0200	0,01		
Fluorene	mg/Kg s.s.	0,110	0,080	0,170	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,150	0,060	0,060	0,01		
Fenantrene	mg/Kg s.s.	0,80	0,130	0,260	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,45	0,160	0,080	0,01		
Antracene	mg/Kg s.s.	0,140	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0200	< 0,01	0,01		
Fluorantene	mg/Kg s.s.	1,57	0,0100	0,0300	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,260	0,130	0,0200	0,01		
Pirene (A)	mg/Kg s.s.	1,45	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,200	0,120	< 0,01	0,01	5	50
Benzo(a)antracene (B)	mg/Kg s.s.	0,62	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,110	0,070	< 0,01	0,01	0,5	10
Crisene (C)	mg/Kg s.s.	0,67	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,110	0,050	< 0,01	0,01	5	50
Benzo(b)fluorantene (D)	mg/Kg s.s.	0,88	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,160	0,060	< 0,01	0,01	0,5	10
Benzo(k)fluorantene (E)	mg/Kg s.s.	0,410	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,060	0,0300	< 0,01	0,01	0,5	10
Benzo(a)pirene (F)	mg/Kg s.s.	0,77	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,100	0,050	< 0,01	0,01	0,1	10
Indeno(1,2,3-cd)pirene (G)	mg/Kg s.s.	0,45	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,070	0,0400	< 0,01	0,01	0,1	5
Dibenzo(a,h)antracene (H)	mg/Kg s.s.	0,130	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0200	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1	10
Benzo(ghi)perilene (I)	mg/Kg s.s.	0,68	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,080	0,0400	< 0,01	0,01	0,1	10
Dibenzo(a,e)pirene (L)	mg/Kg s.s.	0,210	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0200	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1	10
Dibenzo(a,h)pirene (M)	mg/Kg s.s.	0,120	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0200	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1	10
Dibenzo(a,i)pirene (N)	mg/Kg s.s.	0,060	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,0100	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1	10
Dibenzo(a,l)pirene (O)	mg/Kg s.s.	0,0200	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1	10
Somm. policiclici aromatici (da A a O)	mg/Kg s.s.	6,5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,96	0,46	< 0,01	0,01	10	100
IDROCARBURI													
Idrocarburi leggeri (C ≤ 12)	mg/Kg s.s.	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	10	250
Idrocarburi pesanti (C > 12)	mg/Kg s.s.	111	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	14,0	6,0	< 5	5	50	750
Umidità a 105 °C / [Perdita di peso a 105 °C (da calcolo)]	%				15,0	20,5	19,8	11,61	14,18	12,60			
GRANULOMETRIA (3 frazioni)													
Sabbia	% s.s.							31,0	7,00	25,0			
Limo	% s.s.							37,0	51,0	45,0			
Argilla	% s.s.							32,0	42,0	30,0			
Frazione di carbonio organico (FOC)	% s.s.							0,313	0,257	0,181			



2.3 Esiti indagini supplementari area S6-Pz4

In corrispondenza del sondaggio S6-Pz4, alla base dello strato di riporto (a circa -1,80 m p.c.) è stato rilevato un sottile orizzonte (spessore circa 0,2 m) di terreno contenente una morchia oleosa di colore nero caratterizzata da un forte odore pungente; da questo orizzonte è stato prelevato un campione per analisi chimiche sul tal quale (oltre che sull'eluato, come già previsto dal PdC), in modo da identificare la natura delle sostanze di così forte evidenza organolettica. Gli esiti sono riportati nel certificato di analisi allegato e nella **Tab. 4**.

Denominazione		Terreno S6-Pz4 riporto	LOQ	DLgs 152/06 All 5 Tab 1 Res Verde	DLgs 152/06 All 5 Tab 1 Com- Ind
Data campionamento		17/09/20			
Cod. attività		2012952			
Parametro	U. M.	2012952-001			
Scheletro	% s.s.	1,60	0,1		
Residuo secco a 105 °C	%	86,3	0,1		
<i>COMPOSTI ORGANICI AROMATICI</i>					
Benzene	mg/Kg s.s.	0,062	0,005	0,1	<u>2</u>
Etilbenzene (A)	mg/Kg s.s.	0,050	0,005	0,5	<u>50</u>
Stirene (B)	mg/Kg s.s.	0,047	0,005	0,5	<u>50</u>
Toluene (C)	mg/Kg s.s.	0,132	0,005	0,5	<u>50</u>
Xilene (D)	mg/Kg s.s.	0,45	0,005	0,5	<u>50</u>
Sommatoria organici aromatici (A,B,C,D)	mg/Kg s.s.	0,68	0,005	1	<u>100</u>
<i>IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI</i>					
Naftalene	mg/Kg s.s.	138	0,01		
Acenafilene	mg/Kg s.s.	24,5	0,01		
Acenafte	mg/Kg s.s.	220	0,01		
Fluorene	mg/Kg s.s.	250	0,01		
Fenantrene	mg/Kg s.s.	1542	0,01		
Antracene	mg/Kg s.s.	535	0,01		
Fluorantene	mg/Kg s.s.	2030	0,01		
Pirene (A)	mg/Kg s.s.	1705	0,01	5	<u>50</u>
Benzo(a)antracene (B)	mg/Kg s.s.	736	0,01	0,5	<u>10</u>
Crisene (C)	mg/Kg s.s.	733	0,01	5	<u>50</u>
Benzo(b)fluorantene (D)	mg/Kg s.s.	822	0,01	0,5	<u>10</u>
Benzo(k)fluorantene (E)	mg/Kg s.s.	460	0,01	0,5	<u>10</u>
Benzo(a)pirene (F)	mg/Kg s.s.	880	0,01	0,1	<u>10</u>
Indeno(1,2,3-cd)pirene (G)	mg/Kg s.s.	430	0,01	0,1	<u>5</u>
Dibenzo(a,h)antracene (H)	mg/Kg s.s.	114	0,01	0,1	<u>10</u>
Benzo(ghi)perilene (I)	mg/Kg s.s.	528	0,01	0,1	<u>10</u>
Dibenzo(a,e)pirene (L)	mg/Kg s.s.	247	0,01	0,1	<u>10</u>
Dibenzo(a,h)pirene (M)	mg/Kg s.s.	112	0,01	0,1	<u>10</u>
Dibenzo(a,i)pirene (N)	mg/Kg s.s.	115	0,01	0,1	<u>10</u>
Dibenzo(a,l)pirene (O)	mg/Kg s.s.	45,1	0,01	0,1	<u>10</u>
Somm. policiclici aromatici (da A a O)	mg/Kg s.s.	6900	0,01	10	<u>100</u>
<i>IDROCARBURI</i>					
Idrocarburi leggeri (C =< 12)	mg/Kg s.s.	889	1	10	<u>250</u>
Idrocarburi pesanti (C>12)	mg/Kg s.s.	29870	5	50	<u>750</u>

Tab. 4 – Tabella di sintesi degli esiti analitici del campione S6-Pz4-riporto

Di concerto con i tecnici del Comune di Livorno, acquisito il parere preventivo ARPAT, è stato deciso di eseguire un supplemento di indagine nell'intorno del sondaggio S6-Pz4, realizzando n. 4 sondaggi a carotaggio continuo della profondità massima di 3 metri (Tav. T1). Scopo di questo supplemento era la ricerca, nell'area circostante del sondaggio S6, della potenziale diffusione dell'orizzonte "contaminato" (morchia oleosa o altre evidenze organolettiche).



In nessuno dei 4 sondaggi eseguiti a 5 metri di distanza dal S6 è stata rilevata la morchia oleosa ne tantomeno altre evidenze organoletticamente apprezzabili, pertanto, in questa fase si è deciso in accordo con i tecnici del Comune di Livorno di non prelevare ulteriori campioni e disporre le cassette in luogo coperto per eventuali futuri accertamenti. In allegato alla presente relazione sono inseriti i report relativi ai sondaggi supplementari di cui sopra con documentazione fotografica.

2.4 Rilievo plani-altimetrico dei punti di indagine

Al termine della campagna geognostica, tutti i punti di indagine sono stati oggetto di un rilievo plani-altimetrico mediante un set livellatore ottico Steinberg SBS-LIS-32/80 (foto 1).

La strumentazione utilizzata per il rilievo è composta da un livellatore ottico allestito su treppiede con relativa componentistica, il quale consente di rilevare distanza, differenze di altezza e angolo azimutale con una precisione compatibile per lo scopo del presente lavoro (rif. **Tav. T1**).



Foto 1 - stazione 1 limitrofa al piezometro Pz4.

In particolare, particolare attenzione è stata posta nel rilevamento delle differenze di quota delle teste dei piezometri. Queste misure sono state utilizzate per l'elaborazione della carta piezometrica di Tav. T4. Le quote assolute sono state stimate rilevando punti noti della CTR. La precisione ottenuta è +/- 1 centimetro. Nella tabella seguente sono riportate le coordinate X e Y nel sistema di coordinate WGS-84 con formato decimale.



COORDINATE GEOGRAFICHE (WGS-84)	S1	S2-Pz1	S3	S4-Pz2	S5-Pz3	S6-Pz4
Latitudine (Y)	43,552543°	43,552792°	43,552166°	43,552031°	43,551664°	43,551349°
Longitudine (X)	10,323264°	10,324119°	10,324201°	10,323015°	10,324277°	10,323358°

Tab. 5 – Sistema di coordinate dei punti di indagine

2.5 Analisi chimiche sulle acque di falda

Come previsto dal programma dei lavori, in data 01 ottobre 2020, in contraddittorio con i tecnici ARPAT del Dipartimento di Livorno, è stato effettuato il prelievo dei campioni di acqua di falda dai 4 piezometri costituenti la rete di monitoraggio del sito.

Tutti i piezometri, una volta ultimati erano stati spurgati con le modalità specificate nel PdC.

Il campionamento è stato svolto secondo le procedure e modalità previste nel PdC.

Durante la fase di attivazione dei piezometri, preliminare ai campionamenti, sono stati misurati i parametri fisici di base delle acque di falda (Tab. 6), ovvero conducibilità elettrica, temperatura e pH.

Parametro	Piezometro	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4
Temperatura (°C)		18,5	20,7	19,8	19,6
Conducibilità (µS/cm) (25°C)		1050	952	1047	1018
pH		8,08	7,31	7,23	7,36

Tab. 6 – Parametri chimico-fisici delle acque di falda (01.10.2020)

Nel loro insieme i parametri fisico-chimici delle acque captate nei quattro piezometri realizzati nell'area sono omogenei e ci confermano ulteriormente l'uniformità geologico-stratigrafica e conseguentemente idrogeologica del sito. L'orizzonte sabbioso (QCP) costituisce un acquifero superficiale con caratteristiche idrologiche sostanzialmente costanti e contiene una falda idrica debolmente artesianiana (o in pressione). Esaminando nel dettaglio i dati però, si può rilevare come le acque del Pz1 si differenzino leggermente.

Dopo un pompaggio protratto per un intervallo di tempo (mediamente 20 minuti) sufficiente ad eliminare almeno 3 volte il volume di acqua contenuta nel piezometro, verificata la stabilizzazione dei parametri fisico-chimici delle acque di falda, si è proceduto al campionamento delle stesse in modalità dinamica (a bassa portata).

I campioni prelevati sono stati conservati al riparo della luce ed a temperatura controllata fino al loro trasporto presso il laboratorio che è avvenuto celermente per mezzo di corriere espresso.

Il laboratorio incaricato ha provveduto ad effettuare le analisi chimiche previste nel PdC nonché di quelle indicate nelle prescrizioni ARPAT.

Copia dei certificati di analisi è inserita in allegato alla presente relazione tecnica, mentre nella tabella seguente (Tab. 6) sono riassunti gli esiti delle analisi chimico-fisiche.



I dati analitici di ogni parametro ricercato, sono messi a confronto con i limiti di legge (CSC) e, in caso di superamento, la corrispondente casella ha il fondo colorato in arancio. Quando il dato è conforme alle CSC, le caselle hanno il fondo bianco.

In tutti i piezometri presenti nel sito sono stati rilevati superamenti delle CSC di legge, per diverse tipologie di sostanze.

Nelle acque piezometro Pz1, **presidio di monte idrogeologico posto al margine Nord dell'area in esame**, caratterizzato da una portata idrica scarsa e decisamente inferiore rispetto agli altri, è stato rilevato il superamento delle CSC per: *manganese* 111 µg/L (CSC: 50 µg/L); *nitriti* 1750 µg/L (CSC: 500 µg/L).

Tutti gli altri parametri ricercati sono conformi ai limiti ed addirittura nella maggioranza dei casi sotto il limite di rilevabilità.

I nitriti non parrebbero correlabili con le pregresse attività industriali, presumibilmente, potrebbero essere la conseguenza di locali infiltrazioni dal sistema fognario cittadino. Si segnala infatti che, nel test di cessione effettuato sul campione superficiale di terreno con materiali di riporto del sondaggio S2-Pz1, è risultato eccedente il limite di legge il parametro *nitriti* (il quale è il prodotto finale dell'ossidazione dell'*ammoniacca* che ha come fase intermedia proprio i *nitriti*).

Il superamento per il manganese in presenza di tutti gli altri metalli in concentrazioni modeste non è al momento sicuramente interpretabile.

L'altro piezometro posizionato come monte idrogeologico, ma posto al margine Sud dell'area in esame, è il Pz3. In queste acque i tenori di metalli e di numerosi altri parametri sono ampiamente entro i limiti di legge. Compare invece, con concentrazione oltre la CSC, una sostanza di sicura origine antropica, ovvero il *tetracloroetene* (o *tetracloroetilene*). Il valore rilevato è decisamente importante, pari a 12,2 µg/L, quindi oltre 10 volte il limite consentito (CSC: 1,1 µg/L).

Visto questo dato, è importante rilevare che anche nel Pz1 il *tetracloroetene* è stato rilevato, sebbene per solo 0,60 µg/L, quindi in concentrazione inferiore alla CSC (pari a 1,1 µg/L).

Osservando la carta piezometrica di **Tav. T4**, è facile comprendere come i piezometri siano stati volontariamente disposti andando a formare due coppie, ovvero ad ogni piezometro di monte corrisponde indicativamente uno di valle, ossia le coppie di piezometri sono disposti all'incirca lungo la direzione di flusso della falda in modo che il Pz2 capti le acque in transito nel Pz1 ed il Pz4 quelle del Pz3. Tutto ciò al netto dei naturali fenomeni di dispersione laterale che possono avvenire nella falda.

Nel caso della coppia Pz1-Pz2 ciò non è proprio vero, in quanto il Pz1 presenta una stratigrafia decisamente diversa dal Pz2 e dagli altri, infatti, il livello acquifero nel Pz1 è estremamente sottile 0,2-0,3 m (rispetto a circa 2/2,5 m nella restante parte del sito) e meno produttivo e, sebbene in continuità idraulica, questa porzione dell'acquifero appare marginale e con deflusso ridotto.



Visto quanto sopra, si esaminano i dati dei piezometri di valle (Pz2 e Pz4), ovvero quelli che, preso atto della qualità delle acque in ingresso e rilevate nei piezometri di monte (Pz1 e Pz3), permettono di rilevare l'eventuale contributo di inquinanti del sito in esame.

Nel piezometro Pz2, si rilevano i superamenti di due sostanze, il manganese (68,1 µg/L) e il tetracloroetene (6,5 µg/L).

Nel piezometro Pz4, si rileva il superamento soltanto per il tetracloroetene (9,4 µg/L).

Avendo a disposizione una sola campagna di monitoraggio, possiamo fare delle considerazioni preliminari, in quanto si potrebbero rilevare variazioni conseguenti al mutare del regime idrologico della falda.

Il *manganese* è un elemento sempre presente nelle acque sotterranee in quanto questo metallo si trova in numerosi minerali che costituiscono le rocce della crosta terrestre. In Toscana sono numerose le anomalie documentate da specifici studi¹ che mostrano come il 71% dei corpi idrici verificati mostri superi delle CSC di riferimento.

Nel Pz2, la concentrazione è poco superiore alla CSC e sensibilmente minore di quanto rilevato nel Pz1 (piezometro di monte), valore, quest'ultimo, che ci qualifica le acque in ingresso nel sito.

Tutti i valori degli altri metalli nel Pz2 sono pressoché sovrapponibili a quelli del Pz1, solo il ferro è 4 volte superiore (in entrambi inferiori alla CSC). La presenza di ambedue gli elementi è probabilmente correlabile alle condizioni di basso potenziale redox rilevabile in questo acquifero a bassa permeabilità ed alimentato prevalentemente dalla superficie topografica. In queste condizioni, tali elementi sono presumibilmente solubilizzati per alterazione dei minerali ferro-magnesiaci presenti nel terreno agrario/suolo ad opera di organismi riducenti.

Queste correlazioni fra i dati dei piezometri Pz1-Pz2 ci permettono di ipotizzare che le acque sotterranee in ingresso nel sito ex Pirelli presentano una modesta anomalia relativamente al *manganese*, tuttavia, le cause di tale anomalia sono probabilmente imputabili a situazioni esterne al sito o a fattori geogenici locali.

La presenza del *tetracloroetene* nella falda è stata graficamente rappresentata nella **Tav. 4a**. Il valore massimo rilevato nella nostra rete di controllo è in corrispondenza del Pz3 e presumibilmente, vista la distribuzione delle concentrazioni nella falda, il focolaio di contaminazione è esterno al sito.

Nelle acque dei piezometri Pz2 e Pz4, presidi di valle rispetto al sito in esame, **il *tetracloroetene* mostra una evidente riduzione**, seppur i dati restano superiori alla CSC.

Concludendo, le acque sotterranee della prima falda, attraversando il sito ex Pirelli, non si arricchiscono in *manganese* né in *tetracloroetene*, ma anzi, i naturali processi di dispersione ne riducono la concentrazione. In base ai dati disponibili, presumibilmente, le sorgenti di contaminazione si trovano esternamente al perimetro dell'area oggetto di esame.

¹ Studio per la definizione dei valori di fondo nelle acque sotterranee della Toscana SO₄, Cl, NH₄, Mn, Fe, F, Al, Na (DLgs 30/2009 DLgs 31/2001 – ARPAT).

Denominazione		Acqua S2-	Acqua S4-	Acqua S5-	Acqua S6-	LOQ	DLgs 152/06 All 5 Tab 2
		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4		
Data campionamento		01/10/20	01/10/20	01/10/20	01/10/20		
Cod. attività		2013381	2013381	2013381	2013381		
Parametro	U. M.	2013381-001	2013381-002	2013381-003	2013381-004		
pH	unità pH	7,96	7,72	7,67	7,7	0,01	
Conducibilità elettrica a 20 °C	µS/cm	730	890	970	940	5	
METALLI							
Antimonio	µg/L	0,6	0,4	0,1	0,2	0,1	5
Arsenico	µg/L	0,9	0,9	0,4	0,3	0,1	10
Cadmio	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	5
Cobalto	µg/L	0,3	0,5	0,6	0,5	0,1	50
Cromo totale	µg/L	0,9	1,6	0,5	0,3	0,1	50
Cromo esavalente	µg/L	2	1,8	2,7	1,8	0,5	5
Mercurio	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1
Nichel	µg/L	2,3	3,3	4,9	3,5	0,5	20
Piombo	µg/L	0,8	0,3	0,3	0,2	0,1	10
Rame	µg/L	1,5	1,3	1,1	0,6	0,1	1000
Stagno	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	
Vanadio	µg/L	1	1,2	0,8	0,7	0,1	
Ferro	µg/L	116	26	11	16	5	200
Manganese	µg/L	111	68,1	14,6	14,8	0,1	50
Zinco	µg/L	10	12	11	5	5	3000
Calcio	mg/L	69	122	128	127	0,5	
Magnesio	mg/L	17,7	19	18,5	17,6	0,5	
Sodio	mg/L	54	75	72	65	0,5	
Potassio	mg/L	3,8	4,7	4,1	3,9	0,5	
INQUINANTI INORGANICI							
Cianuri liberi (ione cianuro)	µg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	5	50
Fluoruri (ione fluoruro)	µg/L	< 100	< 100	< 100	< 100	100	1500
Nitriti (ione nitrito)	µg/L	1750	320	120	30	20	500
Solfati (ione solfato)	mg/L	122	90	91	85	0,1	250
Azoto ammoniacale (come N)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02	
COMPOSTI ORGANICI AROMATICI							
Benzene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1
Etilbenzene	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	1	50
Stirene	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	1	25
Toluene	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	1	15
p-Xilene	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	1	10
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI							
Naftalene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Acenafilene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Acenafene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Fluorene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Fenantrene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Antracene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Fluorantene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	
Pirene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	50
Benzo(a)antracene	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1
Crisene	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	5
Benzo(b)fluorantene (A)	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1
Benzo(k)fluorantene (B)	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,05
Benzo(ghi)perilene (C)	µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Benzo(a)pirene	µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Indeno(1,2,3-cd)pirene (D)	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Somm. policiclici aromatici (A,B,C,D)	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,1
ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI							
Clorometano	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1,5
Triclorometano	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,15
Cloruro di vinile	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,5
1,2-Dicloroetano	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	3
1,1-Dicloroetilene	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,05
Tricloroetilene	µg/L	0,1	0,6	0,4	0,5	0,1	1,5
Tetracloroetene	µg/L	0,6	6,5	12,2	9,4	0,1	1,1
Esaclorobutadiene	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,15
Sommatoria organoalogenati	µg/L	0,7	7,1	12,6	9,9	0,1	10
ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI							
1,1-Dicloroetano	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	1	810
1,2-Dicloroetilene	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	1	60
1,2-Dicloropropano	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,15
1,1,2-Tricloroetano	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02	0,2
1,2,3-Tricloropropano	µg/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	0,001
1,1,2,2-Tetracloroetano	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,05
ALTRE SOSTANZE							
Composti organoalogenati	µg/L	1	7	13	10	1	
Idrocarburi totali (n-esano)	µg/L	< 30	< 30	< 30	< 30	30	350



2.6 Analisi di laboratorio complementari

Come previsto nel PdC, su nove campioni di terreno sono state eseguite delle determinazioni per determinare la natura granulometrica dei terreni insaturi e in tre di questi, anche la FOC, ovvero la frazione di carbonio organico nel suolo, parametri sito-specifici necessari per lo svolgimento dell'analisi di rischio.

I risultati sono riportati nei certificati in allegato, di seguito si riassumono gli esiti e le conseguenti classificazioni.

Sondaggio	Profondità	FOC	Granulometria			Litologia	Classificazione U.S.C.S.
			S	L	A		
	m	% s.s.	%	%	%	Descrizione AGI	
S2-C1	2,10-2,30	--	20	45	35	Limo con argilla sabbioso	ML
S2-C2	2,90-3,00	--	34	36	30	Limo con sabbia e argilla	ML
S2-C3	3,50-3,70	--	8	62	30	Limo con argilla deb. sabbioso	ML
S5-C1	2,10-2,30	--	21	49	30	Limo con argilla sabbioso	ML
S5-C2	2,90-3,00	--	30	23	47	Argilla con sabbia limosa	OL
S5-C3	3,50-3,70	--	51	27	22	Sabbia con limo argillosa	SC
S6-C1	2,10-2,30	0,313	31	37	32	Limo con argilla e sabbia	ML
S6-C2	2,90-3,00	0,257	7	51	42	Limo con argilla debolmente sabbioso	ML
S6-C3	3,50-3,70	0,181	25	45	30	Limo con argilla sabbioso	ML

Tab. 7 – Tabella di sintesi degli esiti delle analisi geotecniche svolte sui terreni

I campioni scelti sono quelli riferiti ai sondaggi S2, S5 e S6 in quanto le loro stratigrafie apparivano ben rappresentative del sito nel suo insieme.

I terreni esaminati appartengono tutti alla formazione delle alluvioni terrazzate e non (bna) i quali, poggiano in discontinuità sui depositi di panchina (QCP) sede dell'acquifero superficiale locale.

Le determinazioni analitiche evidenziano una buona omogeneità dei sedimenti costituenti la porzione insatura, sostanzialmente si tratta di limi con argilla e percentuale di sabbia variabile ma sempre apprezzabile.

La frazione di carbonio organico nel suolo (FOC) decresce coerentemente con la profondità.

2.6.1. Determinazione dei coefficienti Kd sito-specifici

Come previsto nel PdC, su sei campioni nei quali era stato registrato il superamento delle CSC per i metalli, è stato dato mandato al laboratorio incaricato di eseguire specifiche analisi per la determinazione dei singoli valori del coefficiente di ripartizione solido-liquido (Kd). Sono stati selezionati i campioni dove erano stata rilevate le concentrazioni più significative.

Nella tabella seguente vengono riassunti gli esiti di tali determinazioni, condotte secondo il metodo "Documento tecnico APAT PR/SUO-TEC/151-2007".



Denominazione		Terreno S1-C1	Terreno S1-C3	Terreno S3-C2	
Data campionamento		14/09/20	14/09/20	15/09/20	
Parametro	U. M.	2014931-001	2014931-002	2014931-003	LOQ
Esecuzione Test Kd					
Piombo	mg/Kg	247			0,1
Piombo (eluato)	mg/L	0,00100			0,0001
Valore Kd - Piombo	L/Kg	247000			0,001
Arsenico	mg/Kg		27,0	63,0	0,1
Arsenico (eluato)	mg/L		0,000400	0,000300	0,0001
Valore Kd - Arsenico	L/Kg		67000	209000	0,001
Cobalto	mg/Kg		29,0	20,0	0,5
Cobalto (eluato)	mg/L		0,000100	0,000200	0,0001
Valore Kd - Cobalto	L/Kg		292000	100000	0,001
Vanadio	mg/Kg			92,0	0,5
Vanadio (eluato)	mg/L			0,000500	0,0001
Valore Kd - Vanadio	L/Kg			183000	0,001

Tab. 8 – Determinazione del coefficiente di ripartizione solido-liquido (Kd).

I parametri Kd sopra indicati sono stati aggiornati nel software Risk-net 3.1.1 nell'apposito menù “Contaminati indicatori/Proprietà contaminati”. Per gli elementi con doppia determinazione, si è utilizzato il valore inferiore, che fornisce un approccio più cautelativo.

2.7 Caratterizzazione dei terreni di riporto

Il Piano indagini del PdC prevedeva il prelievo, per ogni sondaggio che avesse attraversato dei terreni di riporto, di un almeno campione da sottoporre ad analisi chimiche (test di cessione) così come previsto dal D.M. n°186 05/04/2006 G.U. n°115 del 19/05/2006.

Per la definizione di “terreni di riporto” si è presa in considerazione la definizione di “suolo” dell’art. 2 comma 1 lettera b) del D.P.R. n.120/2017, ovvero: *“lo strato più superficiale della crosta terrestre situato tra il substrato roccioso e la superficie. Il suolo è costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi, comprese le matrici materiali di riporto ai sensi dell’articolo 3, comma 1, del decreto-legge 25 gennaio 2012, n. 2, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 marzo 2012, n. 28.”*

Ai sensi dell’art. 4 comma 3 del D.Lgs. n.120/2017, ai fini della caratterizzazione ambientale di un sito, non può considerarsi “suolo naturale” una matrice quando: la componente di materiali di origine antropica frammisti ai materiali di origine naturale supera la quantità massima del 20% in peso. La determinazione non è stata effettuata ai sensi dell’Allegato 10 del succitato decreto, tuttavia in questo caso, i campioni a mano sono sempre apparsi estremamente ricchi di materiale antropico fino al punto, in alcune porzioni, di costituire la totalità della matrice (rendendo così anche difficoltoso il campionamento). Quando la percentuale dei materiali di origine antropica supera il 20% in peso, automaticamente quella matrice assume lo stato di “rifiuto.”



Per la loro definitiva caratterizzazione, specifici approfondimenti dovranno essere eseguiti successivamente, per la redazione del piano scavi collegato alla realizzazione dell'opera in progetto nel sito in esame.

Gli esiti delle analisi effettuate sui campioni di materiali di riporto sono riportati in Tab. 9a-b.

Denominazione		Terreno S1 riporto	Terreno S2- Pz1 riporto	Terreno S3 riporto	LOQ	DLgs 152/06 All 5 Tab 2 (acque sot.)	DM 186 All 3
Data campionamento		14/09/20	24/09/20	15/09/20			
Cod. attività		2012951	2012951	2012951			
Parametro	U. M.	2012951-001	2012951-002	2012951-003			
<i>TEST DI CESSIONE</i>							
Nitrati (ione nitrato)	mg/L	<u>56,0</u>	5,00	2,70	0,1		<u>50</u>
Fluoruri (ione fluoruro)	mg/L	0,100	0,130	0,220	0,1	1,5	<u>1,5</u>
Solfati (ione solfato)	mg/L	119,0	38,2	44,7	0,1	250	<u>250</u>
Cloruri (ione cloruro)	mg/L	26,0	4,79	2,33	0,1		<u>100</u>
Cianuri totali (ione cianuro)	µg/L	< 20	< 20	< 20	20		<u>50</u>
Bario	mg/L	0,0369	0,0463	0,151	0,0005		<u>1</u>
Rame	mg/L	0,00260	0,00160	0,0329	0,0001	1	<u>0,05</u>
Zinco	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,062	0,005	3	<u>3</u>
Berillio	µg/L	< 0,1	< 0,1	0,300	0,1	4	<u>10</u>
Cobalto	µg/L	0,100	0,100	3,50	0,1	50	<u>250</u>
Nichel	µg/L	< 0,5	0,50	4,50	0,5	20	<u>10</u>
Vanadio	µg/L	90,1	18,6	8,0	0,1		<u>250</u>
Arsenico	µg/L	0,90	5,00	10,2	0,1	10	<u>50</u>
Cadmio	µg/L	< 0,1	< 0,1	0,100	0,1	5	<u>5</u>
Cromo totale	µg/L	2,60	5,20	6,30	0,1	50	<u>50</u>
Cromo esavalente	µg/L	2,60	5,20	3,80	0,5	5	
Piombo	µg/L	0,100	2,80	28,4	0,1	10	<u>50</u>
Selenio	µg/L	< 0,5	< 0,5	1,10	0,5	10	<u>10</u>
Mercurio	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1	<u>1</u>
Amianto	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1		<u>30</u>
COD	mg/L	15,0	16,0	<u>33,0</u>	5		<u>30</u>
pH	unità pH	10,42	10,01	8,90	0,01		<u>5,5 - 12,0</u>

Tab. 9a – Esiti test di cessione sui materiali di riporto superficiali.



Denominazione		Terreno S4- Pz2 riporto	Terreno S5- Pz3 riporto	Terreno S6- Pz4 riporto	LOQ	DLgs 152/06 All 5 Tab 2 (acque sot.)	DM 186 All 3
Data campionamento		16/09/20	25/09/20	17/09/20			
Cod. attività		2012951	2012951	2012952			
Parametro	U. M.	2012951-004	2012951-005	2012952-002			
<i>TEST DI CESSIONE</i>							
Nitrati (ione nitrato)	mg/L	1,03	3,90	< 0,1	0,1		<u>50</u>
Fluoruri (ione fluoruro)	mg/L	0,390	< 0,1	< 0,1	0,1	1,5	<u>1,5</u>
Solfati (ione solfato)	mg/L	6,8	26,1	4,99	0,1	250	<u>250</u>
Cloruri (ione cloruro)	mg/L	2,88	5,29	2,24	0,1		<u>100</u>
Cianuri totali (ione cianuro)	µg/L	< 20	< 20	< 20	20		<u>50</u>
Bario	mg/L	0,117	0,0400	0,189	0,0005		<u>1</u>
Rame	mg/L	0,0398	0,00580	0,162	0,0001	1	<u>0,05</u>
Zinco	mg/L	0,095	< 0,005	0,50	0,005	3	<u>3</u>
Berillio	µg/L	0,100	< 0,1	0,50	0,1	4	<u>10</u>
Cobalto	µg/L	0,60	0,200	2,30	0,1	50	<u>250</u>
Nichel	µg/L	2,60	0,70	6,60	0,5	20	<u>10</u>
Vanadio	µg/L	5,20	47,0	10,9	0,1		<u>250</u>
Arsenico	µg/L	2,70	0,70	5,00	0,1	10	<u>50</u>
Cadmio	µg/L	< 0,1	< 0,1	0,300	0,1	5	<u>5</u>
Cromo totale	µg/L	4,90	67,1	5,20	0,1	50	<u>50</u>
Cromo esavalente	µg/L	1,40	67	< 0,5	0,5	5	
Piombo	µg/L	116	< 0,1	386	0,1	10	<u>50</u>
Selenio	µg/L	0,50	1,40	1,80	0,5	10	<u>10</u>
Mercurio	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1	<u>1</u>
Amianto	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1		<u>30</u>
COD	mg/L	14,0	19,0	92	5		<u>30</u>
pH	unità pH	11,03	11,36	9,06	0,01		<u>5,5 - 12,0</u>

Tab. 9b – Esiti test di cessione sui materiali di riporto superficiali.

Come si evince chiaramente già dalla grafica (valori in rosso), ad esclusione del campione del sondaggio S2, in tutti i campioni sono stati rilevati dei superamenti dei limiti di cui all'Allegato 3 del D.M. n. 186/2006.

I terreni (*suolo*) contenenti materiali di riporto non possono permanere in sito qualora si accerti la sussistenza anche di una sola delle seguenti condizioni:

- superamento delle CSC di cui alla Tab. 1 colonna A;
- non conformità ai limiti del test di cessione;
- presenza di materiale antropico oltre il limite del 20%.

Conseguentemente, questi materiali (rifiuti) non possono essere definiti “inerti” (ed avviati a recupero), ma di fatto devono essere considerati “rifiuti speciali” ed in quanto tali, è incompatibile la loro presenza sul suolo naturale sottostante.

La fattispecie esula dalla normativa dei siti contaminati ma si prefigura come condizione di rifiuti su suolo.

Per questo motivo questi materiali non saranno tenuti in considerazioni ai fini dell'elaborazione dell'analisi di rischio sito-specifica.

3 – MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO DEL SITO

3.1 – Generalità

Il *modello concettuale definitivo* del sito, realizzato sulla base delle indagini sito-specifiche condotte nelle varie matrici ambientali, tenuto conto delle informazioni storiche disponibili, è lo strumento che, valutate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche ed ambientali s.l. del sito, definisce le caratteristiche delle fonti di contaminazione, le caratteristiche e qualità delle matrici ambientali influenzate nonché le vie di trasporto e migrazione dalle fonti di contaminazione ai possibili bersagli sensibili. La corretta definizione del *modello concettuale definitivo* consente di valutare l'eventuale necessità di eseguire interventi mirati all'eliminazione delle sorgenti primarie e secondarie di contaminazione, all'interruzione di ogni eventuale percorso di migrazione individuato ed infine alla bonifica ed al ripristino ambientale del sito stesso.

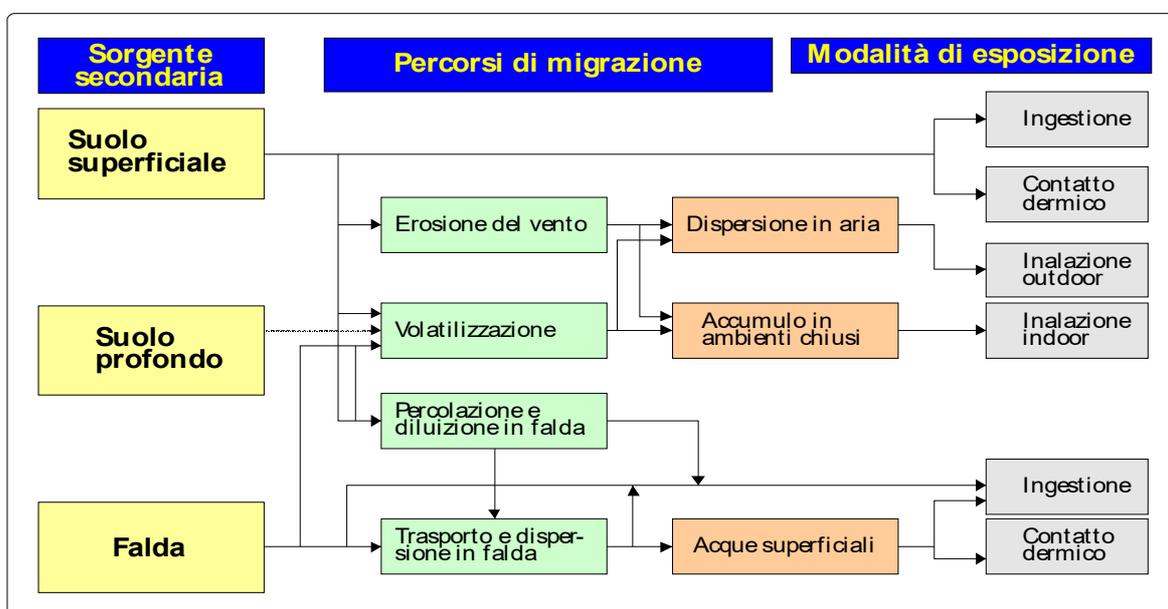


Fig. 5 - Definizione del modello concettuale – diagramma di flusso

Come si evince dalla figura di cui sopra, per la definizione del *modello concettuale definitivo* è indispensabile definire le diverse componenti ed i legami reciproci fra gli stessi, in dettaglio:

- > sorgenti di contaminazione (primarie e secondarie)
- > percorsi di migrazione (meccanismi di trasporto)
- > modalità di esposizione
- > bersagli

L'analisi di rischio viene elaborata considerando lo scenario futuro conseguente la realizzazione del nuovo ospedale cittadino, come da progetto di fattibilità.

Per i nostri scopi è importante rilevare che:

- 1) in tutta l'area in oggetto saranno rimossi i terreni con riporto antropico (per uno spessore di almeno un metro);



- 2) buona parte del lotto sarà oggetto di escavazione per la creazione del piano interrato del nuovo ospedale. Il perimetro non è ancora ben definito, sebbene occuperà quasi completamente il lotto, in particolare ad Est coinciderà con Via della Meridiana, a Nord con il limite del costruito, ad Ovest sarà prossimo al confine del lotto ed a Sud con il confine del vecchio ospedale (sarà fatto salvo il parcheggio esistente);
- 3) lo scavo nella zona locali interrati sarà di -5 metri dal p.c., conseguentemente sarà rimosso anche una parte dello strato sabbioso che costituisce l'acquifero superficiale. Lungo Via della Meridiana e Viale Carducci saranno messe in opera delle palancole (ben oltre lo strato acquifero) per garantire la stabilità dei fronti di scavo, le quali creeranno una barriera al libero deflusso delle acque sotterranee.

3.2 – Sorgenti di contaminazione

Il sito è uno stabilimento industriale dismesso oramai già da oltre 40 anni, in parte già oggetto di lavori e trasformazioni urbanistiche. Nel sito non vi è traccia di impianti di produzione o similari, materie prime o altro che possa essere chiaramente identificato come sorgente primaria di contaminazione. In base ai dati disponibili, si può affermare come nel sito non siano presenti sorgenti primarie² di contaminazione attive che possano rilasciare sostanze nel sottosuolo.

Per quanto riguarda le sorgenti secondarie di contaminazione, visti i risultati delle indagini ambientali riportati nella presente relazione, queste possono essere individuate in:

- **zona insatura – suolo superficiale** (*ossia, la porzione di suolo a profondità pari o inferiore ad un metro*)

E' praticamente sempre costituita da terreni di riporto antropico, così come caratterizzati nel Par. 2.7. Le analisi svolte hanno caratterizzato tali materiali come “rifiuti speciali”, pertanto in nessun caso possono essere considerati nell'analisi di rischio. Ad ogni modo il progetto del nuovo ospedale prevederà lo scotico di tutta l'area e conseguentemente la loro completa rimozione (a tal proposito dovrà essere predisposto uno specifico piano scavi).

- **zona insatura/frangia capillare – suolo profondo** (*ossia, la porzione di suolo a profondità maggiore ad un metro, posta al di sopra del tetto dello strato acquifero*).

Nel suolo profondo, le analisi chimiche dei terreni hanno evidenziato superamenti delle CSC di riferimento (Col. A Tab. 1) per alcuni metalli.

Gran parte dei terreni insaturi (e anche una porzione dei saturi) sarà rimossa a seguito degli scavi necessari per la realizzazione del piano interrato del nuovo ospedale.

² Per sorgente primaria si deve intendere l'elemento che è causa dell'inquinamento. Per *sorgente secondaria* invece, si intendono le matrici ambientali adiacenti alla sorgente primaria nelle quali si trovano sostanze inquinanti nelle diverse fasi che possono migrare attraverso i potenziali meccanismi di trasporto.



- o **falda idrica sotterranea** – in tutti i piezometri sono stati rilevati superamenti della CSC, nel piezometro Pz1 per il *manganese* e *nitriti* e negli altri per il *tetracloroetene*, pertanto la falda costituisce anch'essa sorgente di contaminazione secondaria.

3.3 – Percorsi di migrazione e vie di esposizione

Le vie di potenziale migrazione della contaminazione verso i recettori sono strettamente collegate alla natura delle sostanze contaminanti ed alla situazione geologico-ambientale del sito.

In teoria, data la tipologia e ubicazione delle sorgenti secondarie di contaminazione, le possibili vie di migrazione dell'inquinamento possono essere schematizzate come nella tabella Tab. 8.

<i>Percorsi di migrazione (possibili)</i>		<i>Stato di attività e note</i>
Volatilizzazione	dispersione in aria	attivo
	accumulo in ambienti chiusi	attivo
Percolazione e diluizione in falda		attivo
Trasporto e dispersione in falda		attivo

Tab. 8 – Percorsi di migrazione

Definite le sorgenti di contaminazione ed i potenziali percorsi di migrazione, le vie di potenziale esposizione della contaminazione sono ancora collegate alla natura delle sostanze contaminanti ed alla situazione ambientale del sito.

In teoria le possibili vie di esposizione all'inquinamento possono essere così schematizzate:

- o inalazione di vapori;
- o ingestione accidentale e/o contatto dermico di acqua contaminata.

Entrando più in dettaglio, è possibile ulteriormente suddividere:

<i>Percorsi di esposizione dal suolo</i>		<i>Stato di attività e note</i>
Ingestione di suolo		non attivo – non c'è suolo superficiale contaminato
Contatto dermico		non attivo – non c'è suolo superficiale contaminato
Inalazione indoor di polvere		non attivo – non c'è suolo superficiale contaminato
Inalazione outdoor di polvere		non attivo – non c'è suolo superficiale contaminato
Inalazione vapori indoor	da suolo superf.	non attivo – non c'è suolo superficiale contaminato
	da suolo prof.	attivo, vi saranno edifici nelle aree contaminate e nelle immediate vicinanze (distanza < 10 metri)
Inalazione vapori outdoor	da suolo superf.	non attivo – non c'è suolo superficiale contaminato
	da suolo prof.	attivo
Dilavamento del suolo verso la falda		attivo

Tab. 9 – Percorsi di esposizione dal suolo



<i>Percorsi di esposizione dalla falda</i>	<i>Stato di attività e note</i>
Ingestione di acqua di falda cont.	non attivo, nel sito e suo intorno non sono presenti captazioni sotterranee per uso idropotabile
Contatto dermico con acqua di falda	attivo, eventuali pozzi domestici limitrofi
Inalazione vapori indoor dalla falda	attivo, vi saranno edifici nelle aree di falda contaminata e nelle immediate vicinanze (distanza < 10 metri)
Inalazione vapori outdoor dalla falda	attivo
Migrazione della fase dissolta in falda	attivo

Tab. 10 – Percorsi di esposizione dalla falda

3.4 – Bersagli

Nell'analisi di rischio sanitario-ambientale, i potenziali bersagli della contaminazione presi in considerazione sono esclusivamente umani. Per la definizione dei bersagli si è tenuto conto della futura destinazione del sito, così come trasmessa dal Comune di Livorno, infatti, nel sito è prevista la realizzazione del nuovo ospedale di Livorno (si fa riferimento allo Studio di fattibilità per il nuovo ospedale di Livorno in area ex-Pirelli del 14.04.2020).

La definizione dei recettori è effettuata in funzione:

- > della localizzazione, ossia, si devono prendere in considerazione nell'analisi tutti i recettori umani compresi nell'area logica di influenza del sito contaminato. Si differenziano bersagli on-site quelli posti in corrispondenza della sorgente di contaminazione e bersagli off-site quelli posti ad una certa distanza da questa (fuori dal confine di proprietà).
- > della destinazione d'uso del suolo (residenziale, ricreativo, produttivo, agricolo).

Il sito oggetto dell'analisi di rischio ambientale è un ex stabilimento industriale, in parte in stato di semi-abbandono, in parte convertito in parco pubblico ed in parte utilizzato come uffici o locali pluriuso, situato nella parte centrale della città di Livorno e quindi confinante su tutti i lati con aree residenziali; visto lo stato dei luoghi e la progettualità in essere, **la destinazione d'uso del sito è “residenziale – verde pubblico”**.

Conseguentemente, i bersagli potenzialmente esposti alla contaminazione sono:

on-site (residenziale)

- *esposizione mediata (adjusted) fra 6 anni da bambino e 24 da adulto (opzione Risk-net)*
- *la falda idrica sotterranea nel sito*

off-site (residenziale)

- *esposizione mediata (adjusted) fra 6 anni da bambino e 24 da adulto (opzione Risk-net)*
- *la falda idrica sotterranea oltre il confine del sito.*



3.5 – Modello Concettuale Definitivo (SINTESI)

In funzione dei dati ottenuti dalle indagini ambientali è stato possibile ricostruire il **modello concettuale del sito** che individua e definisce lo stato di attività delle sorgenti di contaminazione, i percorsi di migrazione, le vie di esposizione ed i bersagli.

In sintesi:

- > in base ai dati disponibili, nel sito non sono più presenti sorgenti di contaminazione primaria, gli impianti, le materie prime ed altro sono state rimosse con la dismissione dello stabilimento e la parziale riconversione delle aree.
- > Il **primo metro** di profondità (suolo superficiale), in base ai dati raccolti, è costituito in tutta l'area investigata da terreni di riporto con test di cessione non conforme e presenza di materiali antropici oltre del 20% in peso. Tutti questi terreni di riporto dovranno essere rimossi in quanto *rifiuti speciali* (ai fine dell'AdR, sorgente primaria), pertanto, considerando lo scenario progettuale (nuovo ospedale), nell'analisi di rischio il primo metro sarà considerato come un terreno con valori conformi alla Col. A Tab. 1. Questi materiali superficiali, in occasione dei lavori in progetto, dovranno essere rimossi e smaltiti in ragione della loro classificazione, da definire con uno specifico Piano Scavi ai sensi del D.P.R. n.120/2017.
- > Nel **suolo profondo** (naturale), le indagini ambientali hanno evidenziato, in tutte le verticali investigate, almeno un campione con superamento delle CSC per i metalli (riferito Tab. 1, Col. A)(sorgenti di contaminazione secondarie).
- > La matrice **acque di falda** è “alterata” da *tetracloroetene, manganese e nitriti* con superamento CSC della Tabella 2 in tutti i piezometri (non per tutte le sostanze contemporaneamente).
- > Alle sorgenti di contaminazione secondaria sono associati diversi percorsi di migrazione in ragione delle caratteristiche sito-specifiche.
- > Conseguentemente, data la destinazione d'uso del sito e quindi i bersagli, sono attive diverse potenziali vie di esposizione i cui effetti sono stati valutati nella seguente analisi di rischio sanitaria.



4 – ANALISI DI RISCHIO sanitario-ambientale

Visto il modello concettuale definitivo prima esposto, con superamenti delle CSC nelle diverse matrici ambientali (di non particolare rilevanza), il D.Lgs. n.152/2006 prevede l'implementazione di una analisi di rischio sito specifica, la quale venga sviluppata secondo i criteri pervisti dalle norme e regolamenti in vigore.

Vista la progettualità prevista nel lotto in esame, l'analisi di rischio è stata condotta considerando lo scenario futuro, ovvero la realizzazione del nuovo ospedale cittadino come da Studio di Fattibilità (aprile 2020).

4.1 – Principi generali

L'analisi di rischio assoluta viene generalmente definita come una procedura di calcolo per stimare il rischio in determinati scenari, in termini di probabilità che un evento avvenga e di severità delle conseguenze nel caso esso avvenga. La normativa italiana, ex D.M. n. 471/99, definisce l'analisi di rischio come il riassunto di *“tutte le indagini e le valutazioni necessarie a stabilire il rischio posto da uno specifico sito sospetto di inquinamento alla salute pubblica e all'ambiente naturale e costruito”*.

Nella formulazione scientifica il rischio è calcolato come prodotto tra la probabilità di occorrenza e l'entità delle conseguenze di un dato evento, perciò, lo strumento “analisi di rischio” consente di stimare i pericoli legati alla presenza nelle matrici ambientali di sostanze inquinanti in concentrazioni maggiori di quelle consentite per legge e conseguentemente permette la definizione delle priorità e modalità degli interventi di bonifica nel sito stesso.

Il concetto fondamentale attorno al quale si sviluppa tutta la metodologia dell'analisi di rischio è la definizione del Modello Concettuale del Sito, il quale si basa sull'individuazione di tre elementi principali:

- 1) la sorgente di contaminazione; 2) i percorsi di migrazione; 3) i bersagli.

Per la reale sussistenza del rischio, è necessario che in un dato sito siano presenti ed attive tutte e tre le componenti del modello concettuale.

La procedura di analisi di rischio codificata dall'ASTM nel 1995 e 1998 ed acquisita (mediante analisi critica della metodologia) dall'APAT (oggi ISPRA) nel 2005 *“Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati”* (rev. 0 - giugno 2005, rev. 1 - luglio 2006, rev. 2 - marzo 2009), prevede un approccio graduale di approfondimento, denominato *Risk-Based Corrective Action* (“RBCA” o altrimenti “Rebecca”), articolato in tre differenti livelli di analisi (*tier*), i quali si differenziano essenzialmente per conservatività, difficoltà di applicazione e rappresentatività sito specifica.

In dettaglio, si riporta di seguito la differenziazione fra i diversi livelli di analisi di rischio.



- **Livello 1 (Tier 1)** – Rappresenta nella procedura RBCA la fase di screening in cui vengono calcolati i *Risk Based Screening Levels* (RBSLs), ovvero i criteri di qualità delle matrici ambientali, utilizzando parametri non sito specifici. In questa fase, i calcoli sono eseguiti con equazioni di tipo analitico e vengono utilizzati i parametri più conservativi.

In questa fase si assume che i dati a disposizione siano scarsi e pertanto si assumono fattori di sicurezza elevati per sopperire alla carenza e/o incertezza delle informazioni. Si ipotizza che la posizione del punto di esposizione coincida con la sorgente.

Il livello 1 prevede il confronto delle concentrazioni misurate in sito con i RBSLs (CSC); qualora si evidenzino dei superamenti dei criteri di qualità, si può procedere con la bonifica oppure approfondire le indagini e passare al livello 2 dell'analisi di rischio.

- **Livello 2 (Tier 2)** – Prevede il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici mediante l'uso di parametri sito-specifici come la permeabilità, la porosità, la geometria della sorgente, il contenuto di carbonio organico e vengono considerati i relativi scenari di migrazione della contaminazione dalla sorgente. Le equazioni utilizzate, di tipo analitico, sono, generalmente le stesse del livello 1.

Il livello 2 prevede il confronto delle concentrazioni misurate in sito con i valori calcolati SSTLs (*Site-Specific Target Levels*)(CSR); in caso di superamento di tali valori, si può decidere di procedere con la bonifica o di sviluppare il livello 3 di analisi, dopo un ulteriore approfondimento delle indagini.

- **Livello 3 (Tier 3)** – Prevede l'utilizzo di modelli di calcolo più complessi (numerici e/o probabilistici) che richiedono un maggior dettaglio e accuratezza dei dati di caratterizzazione. L'applicazione del livello 3 di analisi di rischio consente il calcolo di nuovi SSTLs basati su una conoscenza dettagliata ed approfondita di tutte le caratteristiche del sito (estensione e caratteristiche della contaminazione, variabilità spaziale, presenza di eventuali disomogeneità dal punto di vista geologico ed idrogeologico, ect.). Le analisi di rischio di livello 3 costituiscono lo strumento di valutazione del rischio meno conservativo e maggiormente vicino alla realtà, purtroppo, hanno dei costi molto elevati e spesso poco sostenibili.

I tre livelli di analisi di rischio considerati nella procedura RBCA garantiscono sempre uno stesso livello di protezione dell'uomo e dell'ambiente.

4.2 – Calcolo del rischio

La stima del rischio (R) per la salute umana, connesso alla esposizione ad una specie chimica contaminate, deriva dall'applicazione della seguente relazione:

$$R = E \times T \quad (1)$$

dove E (mg/Kg x giorno) rappresenta l'assunzione cronica giornaliera di contaminate mentre T [(mg/Kg x giorno)⁻¹] è la tossicità della sostanza considerata.



Il rischio per la salute umana associato ad una specifica via di esposizione ed a una particolare sostanza contaminata è definito come “*rischio individuale*”. La stima del rischio individuale si sviluppa in maniera differente in funzione della natura degli effetti che la sostanza inquinante può produrre sull'uomo. Nel caso di effetti cancerogeni, l'espressione (1) diventa:

$$\mathbf{R} = \mathbf{E} \times \mathbf{SF} \quad (1a)$$

dove **R** è il rischio (adimensionale) e definisce la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita causati dall'esposizione alla sostanza rispetto alle condizioni di vita usuale mentre **SF** (*slope factor*) indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita riferito ad una dose unitaria ed è espresso in (mg/Kg x giorno)⁻¹.

Il fattore **E** è mediato convenzionalmente su un periodo di esposizione pari a 70 anni.

Nel caso invece di effetti tossici ma non cancerogeni, si procede a determinare l'Indice di Pericolo o Hazard Quotient (HQ – adimensionale):

$$\mathbf{HQ} = \mathbf{E} / \mathbf{RfD} \quad (1b)$$

dove **E**, in questo caso mediato sull'effettivo periodo di esposizione e **RfD** (*Reference Dose*), esprime la dose assunta della sostanza inquinante considerata.

La stima di **HQ** consente di definire di quanto l'esposizione alla sostanza inquinante considerata supera la dose di riferimento.

Gli effetti cancerogeni o tossici conseguenti all'esposizione contemporanea a più sostanze inquinanti e/o in conseguenza di diverse modalità di esposizione (*rischio cumulativo*), viene affrontata mediante l'applicazione di ipotesi semplificative ma conservative, in quanto conducono ad una sovrastima dell'effettivo rischio associato all'esposizione multipla.

In dettaglio, il rischio cumulativo per la salute umana si determina sommando i rischi individuali determinati per ogni singola specie inquinante considerando ogni via di esposizione.

Il calcolo del rischio può svilupparsi secondo due distinte modalità:

- **modalità diretta** (*forward mode*) – Permette la stima del rischio associato al recettore esposto derivante da una sorgente inquinante a concentrazione nota. Applicando alla concentrazione della sorgente l'attenuazione dovuta a fattori di trasporto e di tossicità delle sostanze, si valuta l'esposizione del recettore e, conseguentemente, si determina il rischio ad esso associato.
- **Modalità inversa** (*backward mode*) – Permette la stima della massima concentrazione alla sorgente compatibile con un livello di rischio ritenuto accettabile per il bersaglio esposto. Nota la soglia di rischio accettabile, si determina conseguentemente la concentrazione tollerabile nel punto di esposizione e, considerando l'attenuazione dovuta a fattori di trasporto si può stimare la concentrazione accettabile presso la sorgente; tale valore rappresenta l'obiettivo di bonifica sito specifico.



4.2.1 Calcolo del rischio per la risorsa idrica sotterranea

Il rischio per la risorsa idrica sotterranea si calcola ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda (C_{GW}) in corrispondenza del punto di conformità posto al confine del sito (misurato o stimato con modelli di trasporto nell'ambito della procedura di analisi di rischio) con il più conservativo tra i valori di concentrazione limite della falda (CL_{GW}) previste dal D.Lgs. n°152/06 e quelli per le acque per uso umano previste dal D.Lgs. n°31/2001.

Il rapporto tra la concentrazione del contaminante in falda (C_{GW}) e la concentrazione limite prevista dalla normativa (CL_{GW}) definisce numericamente il rischio per la risorsa idrica sotterranea (R_{GW}), che per essere accettabile deve assumere valori pari o inferiori all'unità:

$$R_{GW} = C_{GW}/CL_{GW} \qquad R_{GW}(\text{accettabile}) \leq 1$$

Tale valore di rischio ha una valenza diversa rispetto al rischio stimato per l'uomo, in quanto non rappresenta un rischio di carattere sanitario, bensì solo una stima del superamento della CL_{GW} nel punto di conformità.

Il calcolo del rischio per la risorsa idrica sotterranea si differenzia in funzione della possibile sorgente di contaminazione, che possono essere:

1. suolo insaturo (come valore di concentrazione rappresentativa per il suolo insaturo, si assume il valore maggiore dei valori di concentrazione individuati per il suolo sup. e profondo);
2. falda;
3. prodotto libero (se presente – assente in questo specifico caso).

Le stime in funzione delle diverse sorgenti non vengono cumulate.

4.3 – Criteri di accettabilità del rischio

Come già evidenziato, il rischio per la salute umana si differenzia per gli effetti che la sostanza considerata può avere sull'uomo.

Per valutare i risultati dell'analisi di rischio, è necessario definire il limite di accettabilità del rischio, ossia un valore soglia di rischio al di sotto del quale si ritiene accettabile la probabilità incrementale di sviluppo degli effetti indesiderati.

Nel caso delle sostanze cancerogene, sulla base delle indicazioni dell'Istituto Superiore di Sanità, il valore di **R** rischio accettabile individuale e cumulativo sia pari a 10^{-6} . Ciò significa che, il rischio per le sostanze cancerogene è accettabile nel caso in cui il rischio incrementale di contrarre tumore è inferiore a 1 individuo su 1.000.000.

Per le sostanze che hanno effetti tossici non cancerogeni sulla salute umana (come gli idrocarburi), il criterio di accettabilità si traduce nell'imporre il non superamento della dose di contaminate effettivamente assunta rispetto alla RfD (*Reference Dose*); di conseguenza, **sia nel caso di Indice di Pericolo individuale (HQ) sia cumulativo (HI), entrambi devono essere sempre inferiori all'unità.**



4.4 – Applicazione al sito dell'analisi di rischio sanitario

4.4.1 Generalità

In base a quanto dettato dal comma 4 art. 242 del D.Lgs. n°152/06 (o Allegato 4 per i siti per i quali si possono applicare le procedure semplificate), sulla base delle risultanze della caratterizzazione è applicata la procedura di analisi di rischio (secondo i criteri riportati nell'Allegato 1, Parte IV^a del D.Lgs. n°152/06) per la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR).

Per il sito in esame, rappresentato da un ex stabilimento Pirelli, ubicato in Livorno fra l'angolo di Viale G. Carducci con Via Meridiana, l'analisi di rischio è stata sviluppata fino al livello 2 (*tier 2*).

Particolare attenzione è stata posta nella scelta dei parametri usati per l'elaborazione dell'analisi di rischio, in modo che questi rispondessero sia a criteri di conservatività sia a quelli di sito-specificità ottenuti con le indagini ambientali svolte.

Per l'implementazione dell'analisi di rischio è stato impiegato il software di calcolo **Risk-net ver. 3.1.1**, sviluppato nell'ambito della rete RECONnet (*Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati*) su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Il software permette di calcolare i rischi e gli obiettivi di bonifica legati alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria (*"Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT-ISPRA 2008"*), in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. n°152/06 e D.Lgs. n°04/08).

La banca dati dei parametri tossicologici impiegata è quella ufficiale ISS-INAIL (2018).

Il software permette di calcolare sia il rischio in modo diretto ("Forward"), associato alla concentrazione rilevata in sorgente, che gli obiettivi di bonifica (CSR, concentrazioni soglia di rischio) in maniera indiretta ("Backward"), definendo i limiti di accettabilità del rischio e dell'indice di pericolo.

Per ogni percorso di esposizione attivato dall'utente vengono calcolate, attraverso i modelli analitici di trasporto descritti nelle linee guida APAT-ISPRA (2008), le concentrazioni massime attese in condizioni stazionarie al punto di esposizione. Tali modelli tengono conto della ripartizione dei contaminanti nelle diverse fasi del suolo e dell'attenuazione subita durante la migrazione dalla sorgente al punto di esposizione. Successivamente, sulla base dei parametri di esposizione definiti dall'utente, viene calcolata la dose giornaliera dei diversi ricettori. Tali dosi, combinate con i corrispondenti parametri tossicologici e con le concentrazioni al punto di esposizione, sono utilizzate nel calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica (CSR). Successivamente, per ciascun contaminante vengono cumulati gli effetti legati alla presenza di più vie di esposizione attive e vengono calcolati gli obiettivi di bonifica ed i rischi individuali (legati alla singola sostanza) e cumulativi (derivanti dalla presenza di più sostanze).



I modelli utilizzati nella presente analisi di rischio prevedono l'introduzione di svariati parametri di *input*, che possono essere suddivisi in parametri relativi all'esposizione umana, alle caratteristiche del sito, parametri chimico-fisici delle specie contaminanti e parametri tossicologici.

I valori utilizzati nella presente analisi di rischio sono di seguito esposti e commentati.

4.4.2 Dati di ingresso – definizione delle sorgenti di contaminazione

L'analisi di rischio condotta considerando lo scenario di progetto, così come prima descritto, comporta necessariamente la suddivisione del sito in aree distinte, infatti, l'escavazione per la realizzazione dei locali interrati comporterà la rimozione dei terreni fino a -5 metri dal p.c. in quasi tutta l'area del lotto ad esclusione della zona parcheggio esistente lungo Via della Meridiana ed altre piccole aree perimetrali.

Pertanto, nell'implementazione dell'analisi di rischio, le dimensioni delle sorgenti di contaminazione secondaria (da attribuire in funzione della direzione del vento, ect.), sono state così considerate:

- 1) per il **suolo profondo**: area rettangolare 45 m x 45 m che approssima l'area del parcheggio di Via della Meridiana, l'unica zona dove non avverranno scavi significativi. In questo caso, non avendo dati specifici per quella porzione, si è fatto riferimento ai superamenti CSC rilevati nel suolo profondo in tutte le altre aree, creando di fatto una cella tipo con i valori massimi rilevati in tutto il sito (ipotesi cautelativa).
- 2) **falda**: area all'incirca quadrata compresa fra Pz2-S3-Pz3 e Pz4 (80 m x 100 m). Come si evince dalla Tav.4a, questa zona corrisponde grossomodo alla porzione di sottosuolo dove nella falda è verificato il superamento della CSC per il *tetrachloroetene* e *manganese*. I *nitriti* sono stati inseriti sebbene sia stato registrato un solo dato nel Pz1 e l'origine sia senz'altro esterna al sito.

4.4.3 Dati di ingresso – sostanze contaminanti

L'analisi di rischio (*tier 2*) è stata implementata considerando le sostanze contaminanti ricercate per le quali erano stati rilevati superamenti delle rispettive CSC di riferimento.

Si ricorda che, la contaminazione nel sito in studio è legata alla presenza di specie chimiche aventi effetti tossici (nel suolo) e cancerogeni (nelle acque sotterranee).



In corrispondenza del sito oggetto di caratterizzazione sono stati rilevati i superamenti delle CSC di riferimento per le seguenti sostanze:

Sostanza	Matrice	Terreno superficiale	Terreno profondo	Falda
Arsenico		NO	SI	NO
Cobalto		NO	SI	
Piombo		NO	SI	
Vanadio		NO	SI	
Manganese		--	--	SI
Nitriti		--	--	SI
Tetracloroetene		--	--	SI

Tab. 11 – Specie chimiche contaminanti nel sito.

Tenuto conto le caratteristiche delle sorgenti di contaminazione, la natura delle sostanze inquinanti e gli altri aspetti definiti nel **modello concettuale definitivo**, in questa prima fase è stata cautelativamente trascurata la naturale biodegradazione dei contaminanti lungo le vie di migrazione.

Le proprietà fisiche e tossicologiche delle sostanze sopraelencate sono visionabili nella banca dati ISS-INAIL aggiornata al 2018, consultabile anche attraverso il software Risk-net.

I valori dello Slope Factor e della Reference Dose per contatto dermico si assumono corrispondenti rispettivamente allo Slope Factor e alla Reference Dose per ingestione. Nella presente revisione si è ritenuto opportuno eliminare i due parametri tossicologici inalatori: RfD Inal. e SF Inal., mantenendo solo la RfC e lo IUR. Ciò in accordo con quanto contenuto nel documento [EPA, 2009], secondo cui i parametri tossicologici da utilizzare per la stima del Documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL (marzo 2018) 6 rischio sanitario inalatorio debbono essere espressi in termini di concentrazione e non di dose.

4.4.4 Dati di ingresso – parametri caratteristici del sito

I parametri di ingresso per la caratterizzazione del sito utilizzati per l'implementazione dell'analisi di rischio, come strutturati all'interno del Software Risk-net ver. 3.1.1 – 2019, sono di seguito riportati, con eventuali commenti e note.

I parametri per i quali non sono state effettuate misurazioni dirette in sito, si è fatto riferimento a fonti bibliografiche ed in particolare al Manuale APAT che riporta, per le varie voci, i *range* di dati applicabili/consigliati (nel software si è lasciato i dati di default); l'uso dei dati di default fornisce sempre un approccio cautelativo ed a favore della sicurezza.

Nelle note alle tabelle sono illustrate le modalità di determinazione del parametro quando non si è fatto riferimento a dati di default o direttamente rilevati o misurati.

Si dettagliano nel prosieguo i parametri sito-specifici, considerati uniformi per tutta l'area.

**4.4.4.1 Parametri caratteristici**

Sito ex Pirelli – SISBON: LI030		
Analisi di Rischio sanitario-ambientale		
PARAMETRI TERRENI ZONA INSATURA		
Descrizione	Simbolo	Valore
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo (m)	Ls, sp	1,50
Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo) (m)	ds	2,00
Profondità del piano di falda (tetto strato acquifero) (m)	Lgw	4,00
Spessore zona insatura (m)	hv	3,531
Frazione del carbonio organico nel suolo prof. insaturo (g C/g suolo)	Foc, sp	0,0028
pH	pH	6,8
Densità suolo (g/cm ³)	ρs	1,7
Porosità efficace del terreno in zona insatura	θe	0,315
Spessore frangia capillare (m)	hcap	0,469
Infiltrazione efficace (cm/anno)	Ief	1,17

Tab. 12 – Parametri zona insatura

Ls, sp: corrisponde alla profondità minima oltre la quale sono stati rilevati terreni “contaminati” nella zona di riferimento.

ds: spessore (intervallo) dove sono stati rilevati i terreni “contaminati”.

Lgw: profondità del tetto dello strato acquifero contenente una falda idrica debolmente artesiane, questo valore non corrisponde al livello piezometrico, ma il limite fisico dello strato acquifero.

hv: corrisponde a **Lgw-hcap**

Foc: parametro medio rappresentativo in ragione delle determinazioni delle analisi chimiche sui campioni di terreno prelevati perimetralmente alla zona (ved.^{re} certificati di analisi allegati).

ρs: parametro di default, considerato idoneo viste la granulometria la tipologia di terreno (litofacies).

θe: valore stimato in ragione della granulometria con correlazioni bibliografiche.

Hcap: è stato valutato vista la natura litologica del tetto dell'acquifero nella zona di studio tenendo conto i dati bibliografici di cui alla figura seguente.

Tessitura del suolo	h_{cap} [cm]
	<i>Fetter(1994)</i>
Sand	10
Loamy Sand	18.8
Sandy Loam	25
Sandy Clay Loam	25.9
Loam	37.5
Silt Loam	68.2
Clay Loam	46.9
Silty Clay Loam	133.9
Silty Clay	192
Silt	163
Sandy Clay	30
Clay	81.5

Spessore della frangia capillare da FETTER (1994)

Ief: il parametro secondo le indicazioni del manuale è stato determinato facendo riferimento alla formula $Ie=0,0018 \cdot P^2$ dove P sono le piogge annuali cumulate in cm/anno (valore considerato come media di pioggia annuale locale $P=805$ cm/anno).



Sito ex Pirelli – SISBON: LI030		
Analisi di Rischio sanitario-ambientale		
PARAMETRI TERRENI ZONA SATURA		
Descrizione	Simbolo	Valore
Estensione sorgente nella direz. del flusso della falda (m)	W	80
Estensione sorgente nella direz. ortog.le al flusso della falda (m)	Sw	60
Spessore acquifero (m)	da	2,0
Conducibilità idraulica del terreno saturo (m/sec.)	Ksat	8,25E-05
Gradiente idraulico (adim.)	i	0,005
Porosità efficace del terreno in zona satura	θe sat	0,385
Frazione del carbonio organico nel suolo saturo (g C/g suolo)	Foc	0,0018
Distanza dal punto di conformità (m)	POC	140

Tab. 13 – Parametri zona satura

W: lato del quadrilatero che inviluppa l'area "contaminata" nella direzione di flusso della falda.

Sw: lato del quadrilatero che inviluppa l'area "contaminata" ortogonalmente alla direzione di flusso della falda.

da: lo spessore dell'acquifero è un valore medio in ragione dei sondaggi effettuati nel sito.

Ksat: tale parametro è stimato in ragione della natura granulometrica dello strato acquifero.

i: il parametro è stato ricavato grazie all'analisi dei dati idrodinamici della falda al 01.10.2020.

θe sat: stimata in ragione della granulometria dello strato acquifero.

Foc: parametro stimato viste le analisi chimiche sui campioni di terreno prelevati nel sito (è stato inserito il valore del campione in frangia capillare).

POC: il punto di conformità è stato assunto pari a **140 metri** (Tav. T4). Il valore massimo di *tetracloroetene* è stato rilevato nel Pz3, pertanto il POC è la distanza fra il Pz3 e il confine lungo la direzione di deflusso della falda rilevata.

4.4.4.2 Parametri caratteristici ambiente outdoor e indoor (on-site e off-site)

I parametri ambientali outdoor ed indoor necessari per l'espletamento dell'analisi di rischio sanitario-ambientale utilizzati nelle seguenti valutazioni corrispondono ai valori di default inseriti nel software Risk-net 3.1.1 integralmente ripresi dalle indicazioni APAT-ISPRA (2008).

Per la loro visione, basta accedere ai file dell'analisi di rischio allegati alla presente relazione tecnica o ancora più semplicemente attraverso il software Risk-net 3.1.1.

4.4.5 Dati di ingresso – livelli di contaminazione

Come specificato nel paragrafo 3.1.4 del Manuale APAT, in presenza di un ridotto insieme di dati tali da non giustificare un'analisi statistica (<10), il valore di **concentrazione rappresentativa** in corrispondenza della **sorgente** di contaminazione **CRS** (in questo caso, terreno profondo e falda) è stato assunto pari alla concentrazione massima rilevata con le analisi chimiche, come riportato nella **Tabella 14**. Sia per il suolo profondo che per la falda, è un'ipotesi molto conservativa e cautelativa.



Matrice Sostanza	Terreno superficiale	Terreno profondo	Falda
	mg/Kg s.s.	mg/Kg s.s.	µg/L
Arsenico	--	79,0 (S5-C2)	
Cobalto	--	50,7 (S6-C1)	
Piombo	--	248 (S1-C1)	
Vanadio	--	92,1 (S3-C2)	
Manganese	--		111 (Pz1)
Nitriti	--		1750 (Pz1)
Tetracloroetene	--		12,2 (Pz3)

Tab. 14 – Concentrazioni specie chimiche rappresentative con in evidenza il campione su cui è stato rinvenuto il superamento delle CSC.

4.4.6 Calcolo del rischio – modalità diretta

I risultati dello svolgimento dell'analisi di rischio, condotta in modalità diretta, ossia per la determinazione dell'indice di rischio, sono riassunti nelle tabelle sottostanti dove, sono riportati in modo dettagliato i risultati relativamente all'indice di rischio per le sostanze tossiche non cancerogene in ragione delle diverse modalità di esposizione.

I valori inseriti nelle celle riportate con il colore rosso indicano il superamento del **HI (HH)** di soglia per le sostanze tossiche non cancerogene, che per legge è fissato pari ad 1; **tali superamenti indicano la non conformità nella matrice e la non accettabilità del rischio conseguente.**

Analogamente, per le sostanze cancerogene, i valori inseriti nelle celle riportate con il colore rosso indicano il superamento di **R (HH)** di soglia per le sostanze cancerogene, che per legge è fissato pari a 1×10^{-6} ; **tali superamenti indicano la non conformità nella matrice e la non accettabilità del rischio conseguente.**

Rischio da Suolo Profondo								
Contaminante	CRS	f	CRS/f	Csat	Cres	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	mg/kg	-	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-	-	-
<u>Arsenico</u>	7.90e+1		7.90e+1	-	-	-	-	9.88e-5
<u>Cobalto</u>	5.07e+1		5.07e+1	-	-	-	-	8.49e-6
<u>Piombo</u>	2.48e+2		2.48e+2	-	-	-	-	8.41e-5
<u>Vanadio</u>	9.21e+1		9.21e+1	-	-	-	-	-
Tetracloroetilene			-	8.91e+1	1.21e+4	-	-	-
Manganese			-	-	-	-	-	-
Nitriti			-	-	-	-	-	-
Cumulato Outdoor (On-site)						-	-	
Cumulato Indoor (On-site)						-	-	
Cumulato Outdoor (Off-site)						-	-	



Rischio dalla Falda							
Contaminante	CRS	f	CRS/f	Sol	R (HH)	HI (HH)	Rgw (GW)
	µg/L	-	µg/L	µg/L	-	-	-
Arsenico	-		-	-	-	-	-
Cobalto	-		-	-	-	-	-
Piombo	-		-	-	-	-	-
Vanadio	-		-	-	-	-	-
Tetracloroetilene	1.22e+1		1.22e+1	2.06e+5	4.43e-8	9.93e-3	7.47e-1
Manganese	1.11e+2		1.11e+2	-	-	-	1.50e-1
Nitriti	1.75e+3		1.75e+3	-	-	-	2.36e-1
Cumulato Outdoor (On-site)					6.11e-12	1.37e-6	
Cumulato Indoor (On-site)					4.43e-8	9.93e-3	
Cumulato Outdoor (Off-site)					1.72e-12	3.85e-7	
Cumulato Indoor (Off-site)					2.25e-10	5.06e-5	

L'analisi di rischio (AdR) per le aree oggetto di interesse stima condizioni di rischio accettabili (dati in verde), ovvero non sono emerse “non conformità”. Per quanto riguarda la falda, questo studio è stato condotto sulla base di un'unica campagna di monitoraggio, che rappresenta quindi un'istantanea del sito, quindi senza tenere conto di eventuali variazioni dovute al naturale regime idrogeologico delle acque sotterranee.

4.4.6.1 Calcolo del rischio – determinazione delle CSR sito specifiche

Determinato l'indice di rischio HI ed il rischio R per le diverse specie chimiche del sito in studio, il software consente l'implementazione dell'analisi di rischio in modalità inversa e permette la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR) delle sostanze contaminanti significative localizzate nei focolai di contaminazione.

Per il suolo profondo, dato che le specie chimiche considerate non sono “volatili” alle condizioni naturali, le CSR sono determinate solo ai fini della protezione della falda idrica sotterranea. Il software stima indirettamente la CSR (HH) nel suolo profondo anche per il *tetracloroetene*.



CSR per il Suolo Profondo							
Contaminante	CRS	Csat	Cres	CSC	CSR (HH)	CSR (GW)	CSR
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Arsenico	7.90e+1	-	-	2.00e+1	-	8.00e+5	8.00e+5
Cobalto	5.07e+1	-	-	2.00e+1	-	>1e+6	>1e+6
Piombo	2.48e+2	-	-	1.00e+2	-	>1e+6	>1e+6
Vanadio	9.21e+1	-	-	9.00e+1	-	-	-
Tetracloroetilene		8.91e+1	1.21e+4	5.00e-1	7.29e-1	5.68e-1	5.68e-1
Manganese		-	-		-	3.89e+3	3.89e+3
Nitriti		-	-		-	-	-

CSR per la Falda						
Contaminante	CRS	Sol	CSC	CSR (HH)	CSR (GW)	CSR
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Arsenico	-	-	1.00e+1	-	1.48e+2	1.48e+2
Cobalto	-	-	5.00e+1	-	7.42e+2	7.42e+2
Piombo	-	-	1.00e+1	-	1.48e+2	1.48e+2
Vanadio	-	-	-	-	-	-
Tetracloroetilene	1.22e+1	2.06e+5	1.10e+0	2.76e+2	1.63e+1	1.63e+1
Manganese	1.11e+2	-	5.00e+1	-	7.42e+2	7.42e+2
Nitriti	1.75e+3	-	5.00e+2	-	7.42e+3	7.42e+3

CSR=concentrazione soglia di rischio; CSR (HH) =concentrazione soglia di rischio per la salute umana; CSR(GW) =concentrazione soglia di rischio per la risorsa idrica;

Il file sorgente completo dell'analisi di rischio (software Risk-net 3.1.1 – 2019) è allegato alla presente relazione per la visione e verifica dei risultati.



5 – CONCLUSIONI

In questa relazione si dà conto delle indagini ambientali svolte nel sito ex Pirelli-Sice Cavi in Livorno, indagini eseguite secondo quanto previsto nel PdC approvato con prescrizioni, come esposto in premessa. In ragione degli esiti dei rilievi, sondaggi ed analisi è stato possibile definire il modello concettuale definitivo sito-specifico, primo obiettivo del presente studio.

Nel modello concettuale definitivo sito-specifico sono state così identificate le sorgenti di contaminazione secondaria, i percorsi di migrazione e le vie di esposizione in riferimento ai bersagli considerati in ragione della destinazione d'uso dell'area in studio.

Tutti questi dati, geologici, idrogeologici e chimico-fisici delle varie matrici ambientali, sono stati utilizzati nell'implementazione dell'analisi di rischio sanitario-ambientale sito-specifica, condotta in ragione delle istruzioni ISPRA (*“Criteri Metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”* – Revisione 2 del 2008).

Le simulazioni condotte hanno evidenziato per il suolo in posto/naturale, **stante la progettualità considerata nel sito**, un rischio ambientale stimato **accettabile**, conseguentemente non risultano necessari interventi di bonifica o messa in sicurezza sui terreni naturali.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, sono stati valutati fattori di rischio **HI** (HH) e **R** (HH) inferiore ai limiti di legge ed anche il **Rgw (Rischio risorsa idrica)** è inferiore ad uno, pertanto conforme alle norme.

Riguardo allo stato attuale del sito, si riportano delle considerazioni qualitative in ragione dei dati acquisiti e delle elaborazioni condotte. L'analisi di rischio condotta considerando lo scenario del futuro intervento prevede condizioni di esposizione analoghe o al limite più gravose rispetto allo stato attuale, infatti, ad oggi l'assenza di locali interrati in tutta l'area determina che non sia possibile alcun contatto diretto con il suolo profondo e la falda sia coperta da almeno 4 metri di terreno.

Queste considerazioni ci consentono di affermare che, allo stato attuale, per quanto riguarda i terreni naturali e la falda, si registrano condizioni di rischio accettabili del tutto analoghe allo scenario post progetto.

Nelle settimane precedenti al campionamento (01.10.2020), vi sono state piogge significative ed il dato è configurabile, per una falda idrica posta a così modesta profondità, come momento idrogeologicamente di *“morbida”*, ovvero con livelli piezometrici mediamente più superficiali rispetto alla media annua.

Visti gli esiti della caratterizzazione e dell'analisi di rischio, si propone di ritenere concluso il procedimento di bonifica e di eseguire dei monitoraggi di controllo delle acque sotterranee per i parametri che hanno mostrato superamenti delle CSC, durante almeno tutto un anno



Comune di Livorno

Relazione tecnica descrittiva dei risultati ottenuti dalle indagini ambientali ed elaborazione dell'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. n°152/2006 Parte IV^a Titolo V° - Area ex Pirelli-SICE Viale Carducci - Via della Meridiana in Livorno (cod. SISBON: LI030 PIRELLI – SICE CAVI).

idrologico per verificare le eventuali differenze in ragione delle variazioni del regime idrogeologico stagionale.

Grosseto, li 16.11.2020

Il tecnico incaricato
Dott. Geol. Ferruccio Lorenzini



ALLEGATI GRAFICI

- Tav. T1** – Planimetria con ubicazione sondaggi;
 - Tav. T2** – Carte geologiche generali;
 - Tav. T3a** – Planimetria area con traccia sezioni geologiche;
 - Tav. T3b** – Sezioni geologiche A-A' e B-B';
 - Tav. T4** – Planimetria con isopiezometrica prima falda al 01.10.20;
 - Tav. T4a** – Planimetria con isoconcentrazione tetracloroetene prima falda al 01.10.20;
 - Tav. T5** – Planimetria indicativa area scavi nuovo ospedale.
-

Legenda

Indagini preliminari

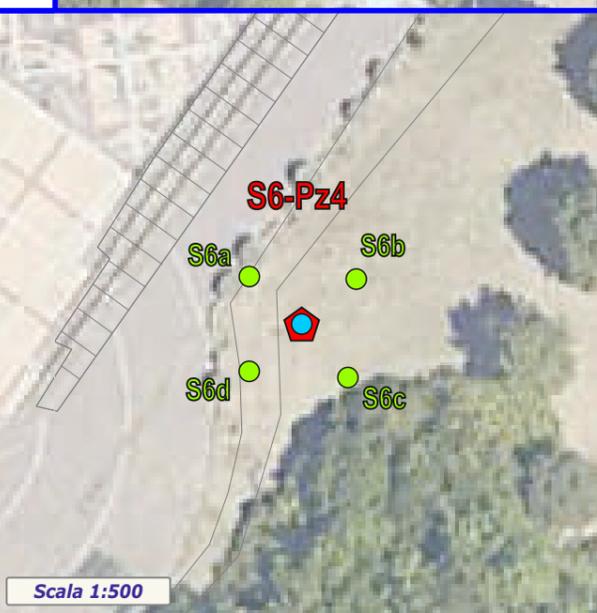
-  Sondaggi ambientali della profondità di 9/10 m con prelievo di campioni, ricostruzione stratigrafica attrezzati a piezometri
-  Sondaggi ambientali della profondità di 10 m con prelievo di campioni e ricostruzione stratigrafica

Indagini integrative

-  Sondaggi ambientali della profondità di 3.0 m eseguiti alla distanza di 5.0 m rispetto al sondaggio S6-Pz4

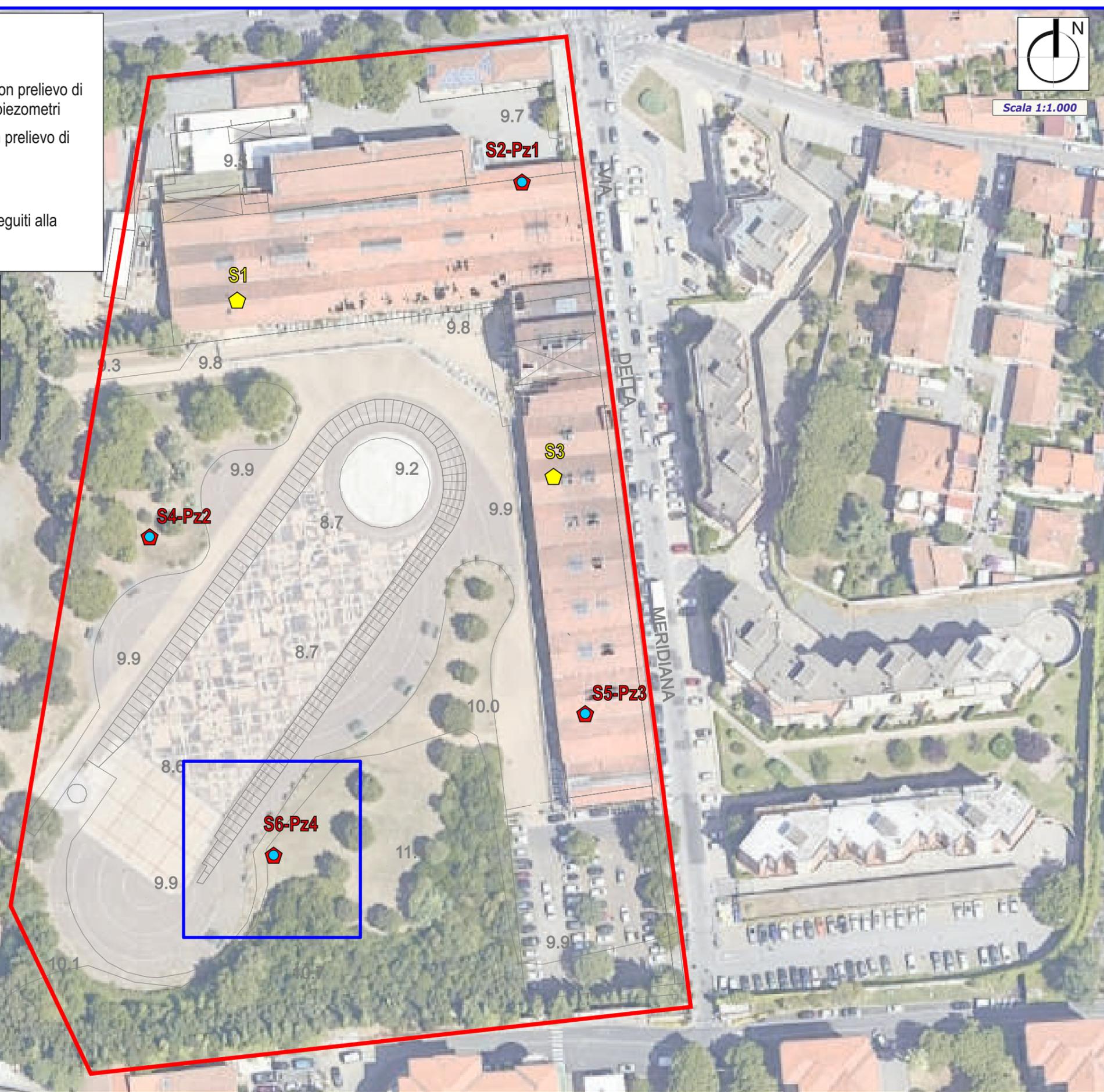
Coordinate geografiche (WGS-84)

- S1 = Latitudine: 43.552543° - Longitudine: 10.323264°
- S2-Pz1 = Latitudine: 43.552792° - Longitudine: 10.324119°
- S3 = Latitudine: 43.552166° - Longitudine: 10.324201
- S4-Pz2 = Latitudine: 43.552031° - Longitudine: 10.323015°
- S5-Pz3 = Latitudine: 43.551664° - Longitudine: 10.324277°
- S6-Pz4 = Latitudine: 43.551349° - Longitudine: 10.323358°

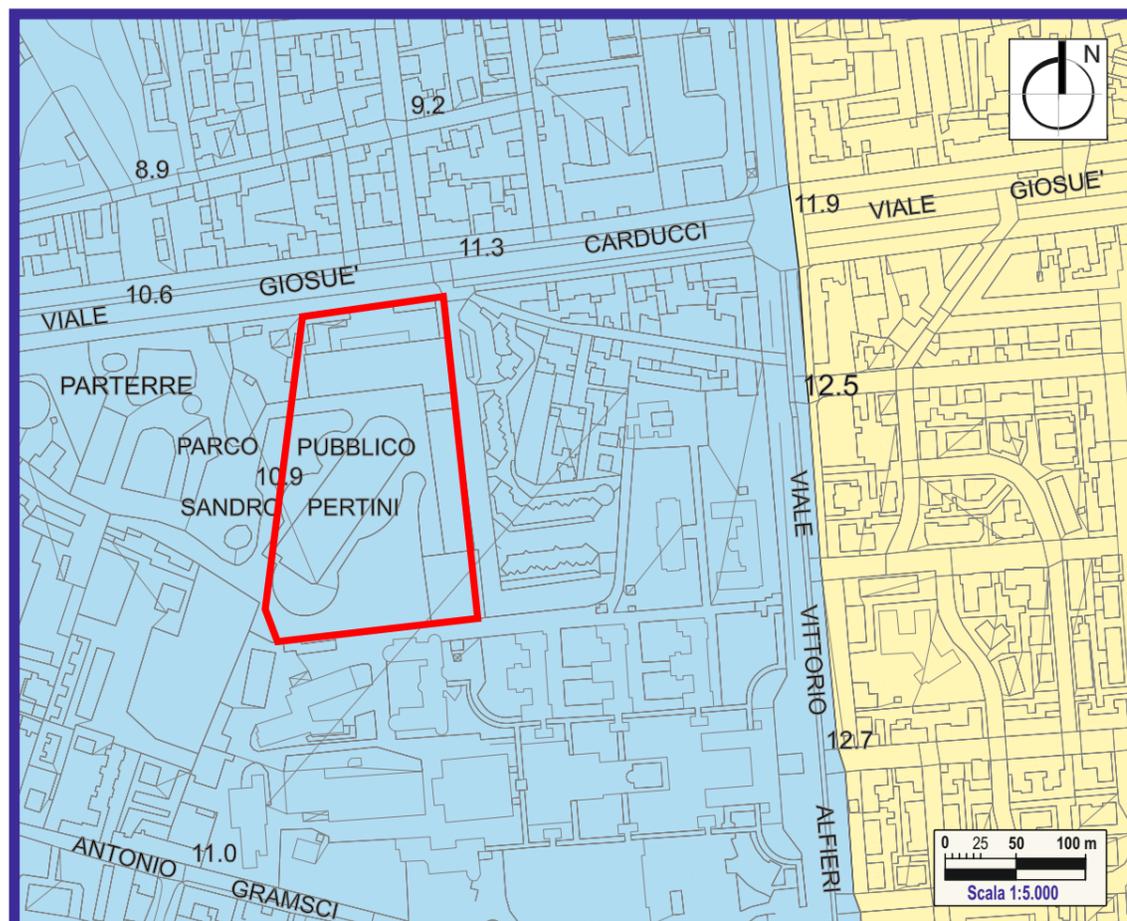


Coordinate geografiche (WGS-84)

- S6a = Latitudine: 43.551391° - Longitudine: 10.323328°
- S6b = Latitudine: 43.551394° - Longitudine: 10.323415°
- S6c = Latitudine: 43.551322° - Longitudine: 10.323390
- S6d = Latitudine: 43.551328° - Longitudine: 10.323318°



CARTA GEOLOGICA
database Regione Toscana



Legenda (geologia)

Depositi quaternari

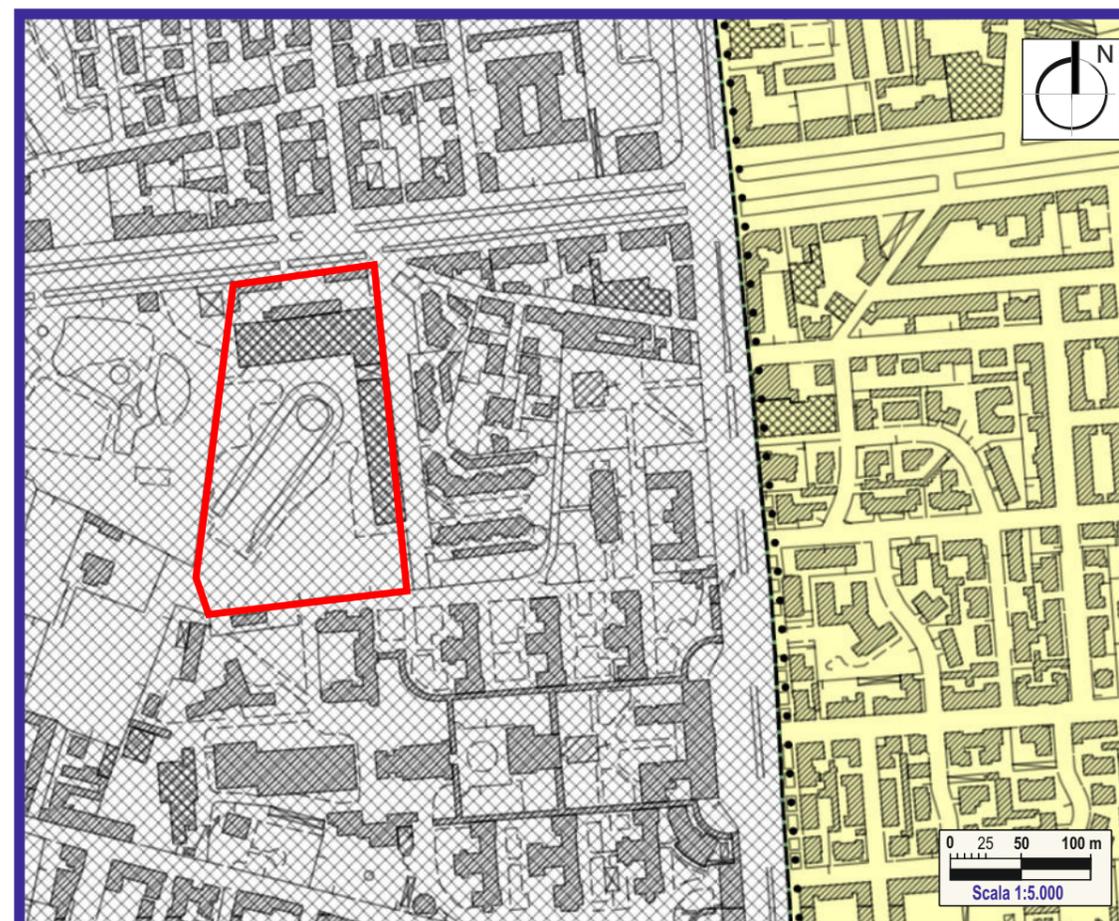
 **(bna) Depositi alluvionali recenti (Olocene)**

Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati. Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali

 **(bnb) Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene)**

Sedimenti alluvionali formati da limi sabbiosi e sabbie limose in superficie e prevalgono livelli di sabbie ghiaiose, ghiaie sabbiose e ciottolame eterometrico ed eterogeneo a strati anche cementato (a costituire dei livelli conglomeratici).

CARTA GEOLOGICA
P.S. Comune di Livorno



Legenda (geologia)

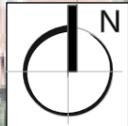
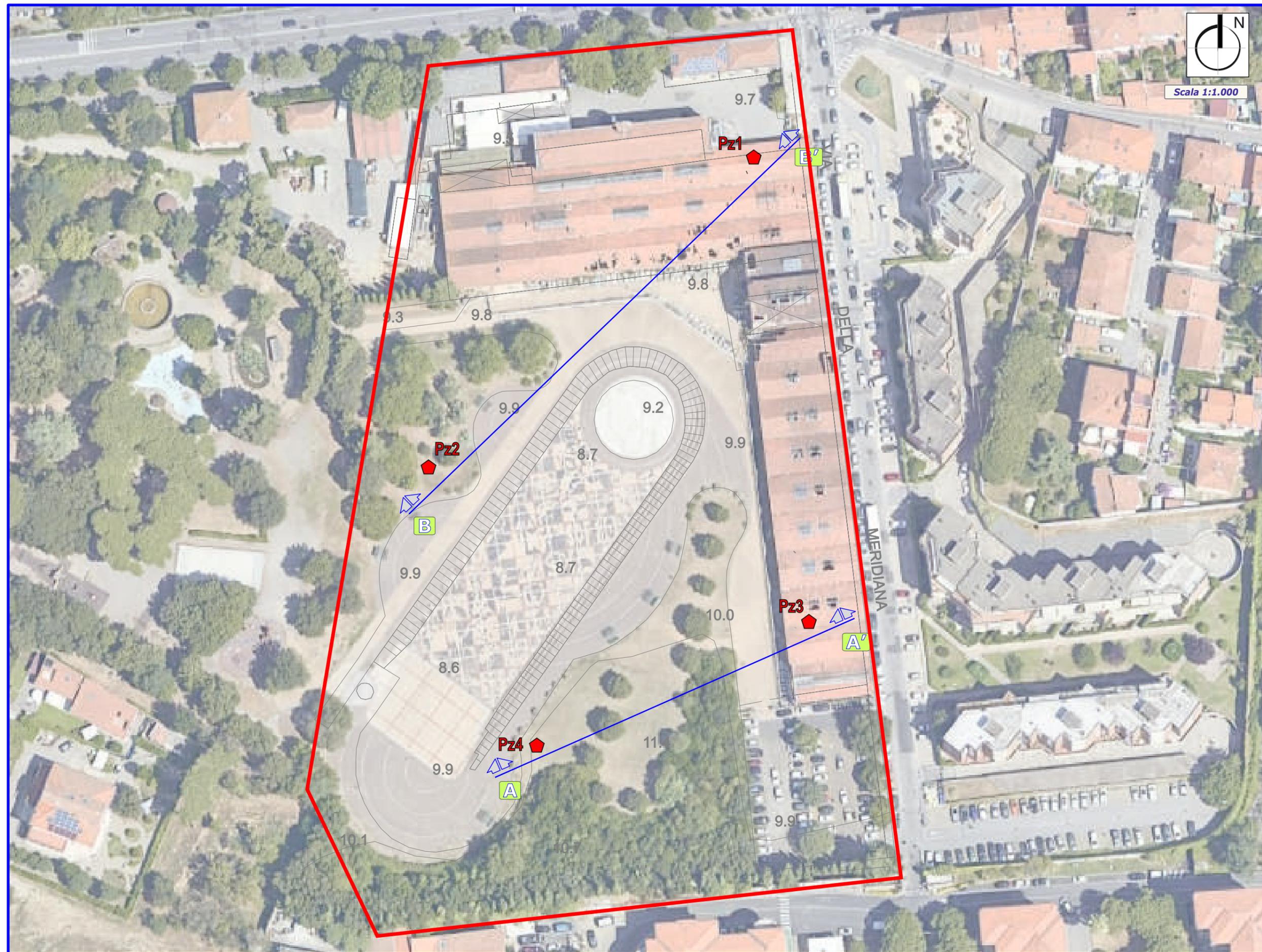
Depositi quaternari

 **(ant) Depositi antropici**

Area non rilevabile con strutture e manufatti antropici

 **(QSD) Sabbie rosso arancio di Donoratico (Pleistocene sup.)**

sabbie massive, di colore rosso-arancio, a granulometria fine e/o molto fine, prive di strutture interne e di resti fossili. Si tratta di un deposito d'ambiente di sedimentazione continentale, non omogeneo, in cui si possono riconoscere varie facies, fra cui quella eolica, quella di spiaggia, quella colluviale e quella di piana d'esondazione fluviale.



Scala 1:1.000

T3a

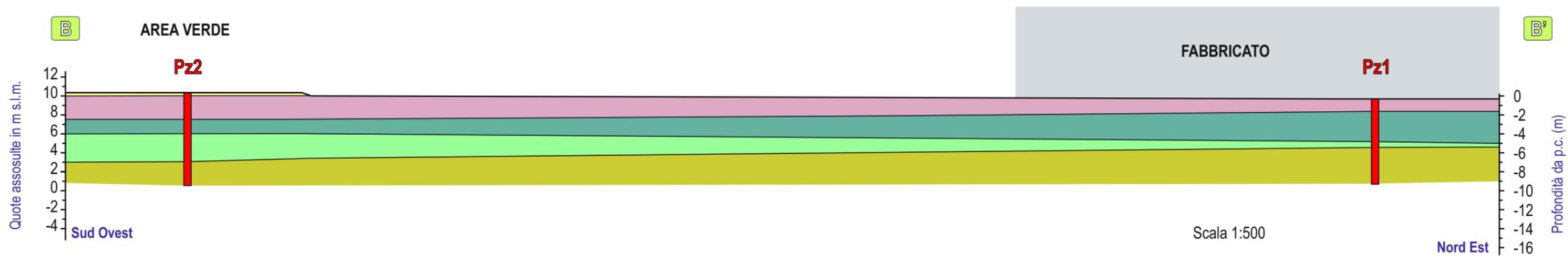
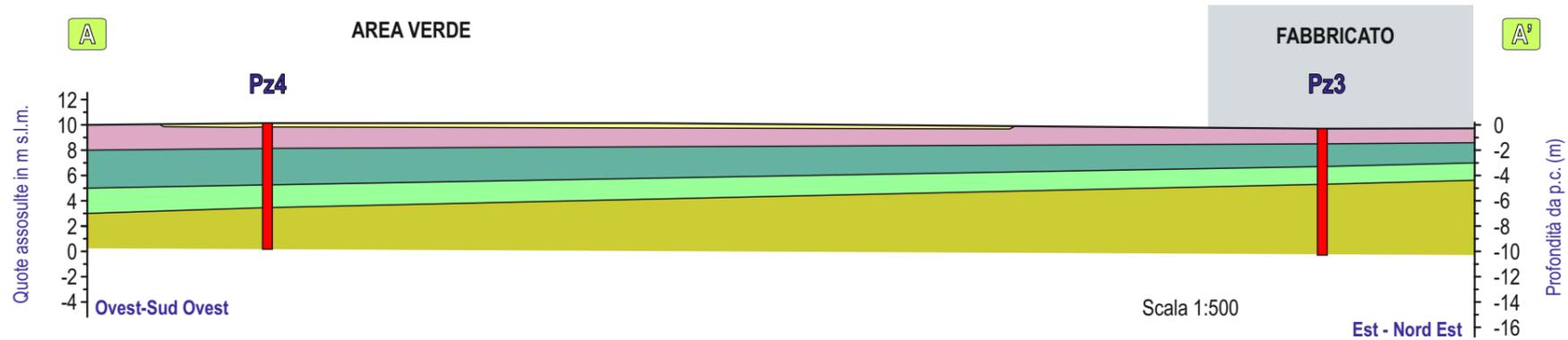
TRACCE SEZIONI GEOLOGICHE
SU PLANIMETRIA DI DETTAGLIO

Via Giacomo Matteotti n. 2 58100 GROSSETO
c.f.: LRNFR68T051504G p.iva 01618330532
Tel. ufficio: 0564 643414 Cell.: 328 0311006
e-mail: ambiente.sottosuolo@gmail.com

Ambiente e Sottosuolo
di Dott. Ferruccio Lorenzini
Idrogeotecnica applicata e geoservizi

Estratto da Google Earth (23/07/2019) sovrapposto a CTR_1:2.000 Sezione n°16E38_2004 (Perimetro colore rosso **Perimetrazione provvisoria da SISBON**)

SEZIONI GEOLOGICHE



LEGENDA sezione

UNITÀ GEO-LITOLOGICHE

- Suolo agrario
- Terreni misti con riporti antropici - h (in questo strato lo spessore ha un valore indicativo, in quanto costituito con lavori antropici)
- Depositi alluvionali - b - (Olocene)
- Calcareniti sabbiose - Panchina - QCP - (Pleistocene sup.)
- Sabbie ed argille ad Arctica Islandica - ART (Pleistocene inf.)

Via Giacomo Matteotti n. 2 58100 GROSSETO
 c.f.: LRNFR68T051504G p.iva 01618330532
 Tel. ufficio: 0564 643414 Cell.: 328 0311006
 e-mail: ambiente.sottosuolo@gmail.com

Ambiente e Sottosuolo
 di Dott. Ferruccio Lorenzini
 Idrogeotecnica applicata e geoservizi

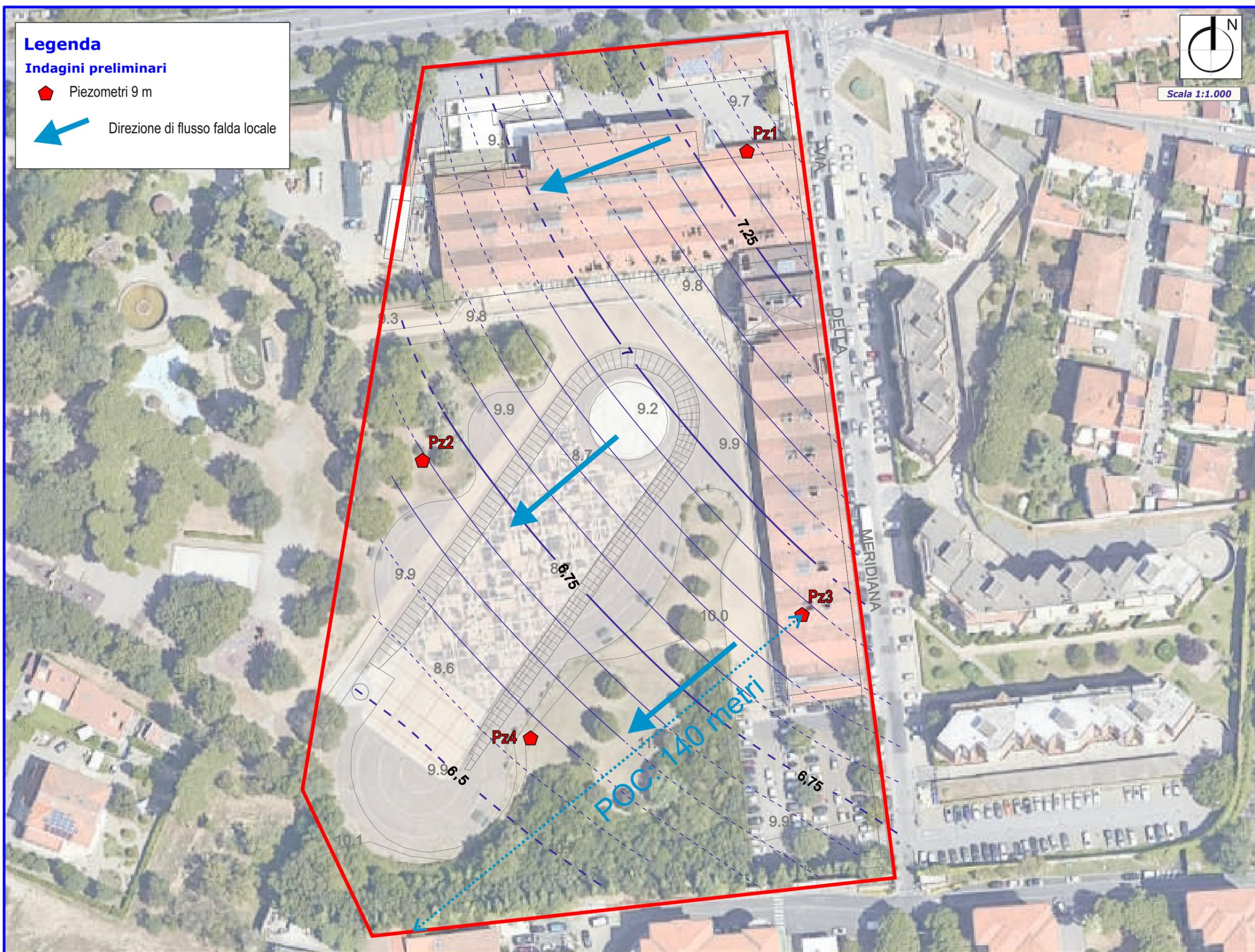
Legenda

Indagini preliminari

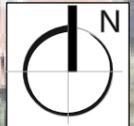
-  Piezometri 9 m
-  Direzione di flusso falda locale



Scala 1:1.000



Estratto da Google Earth (23/07/2019) sovrapposto a CTR_1:2.000 Sezione n°16E38_2004 (Perimetro colore rosso Perimetrazione provvisoria da SISBON)



Scala 1:1.000

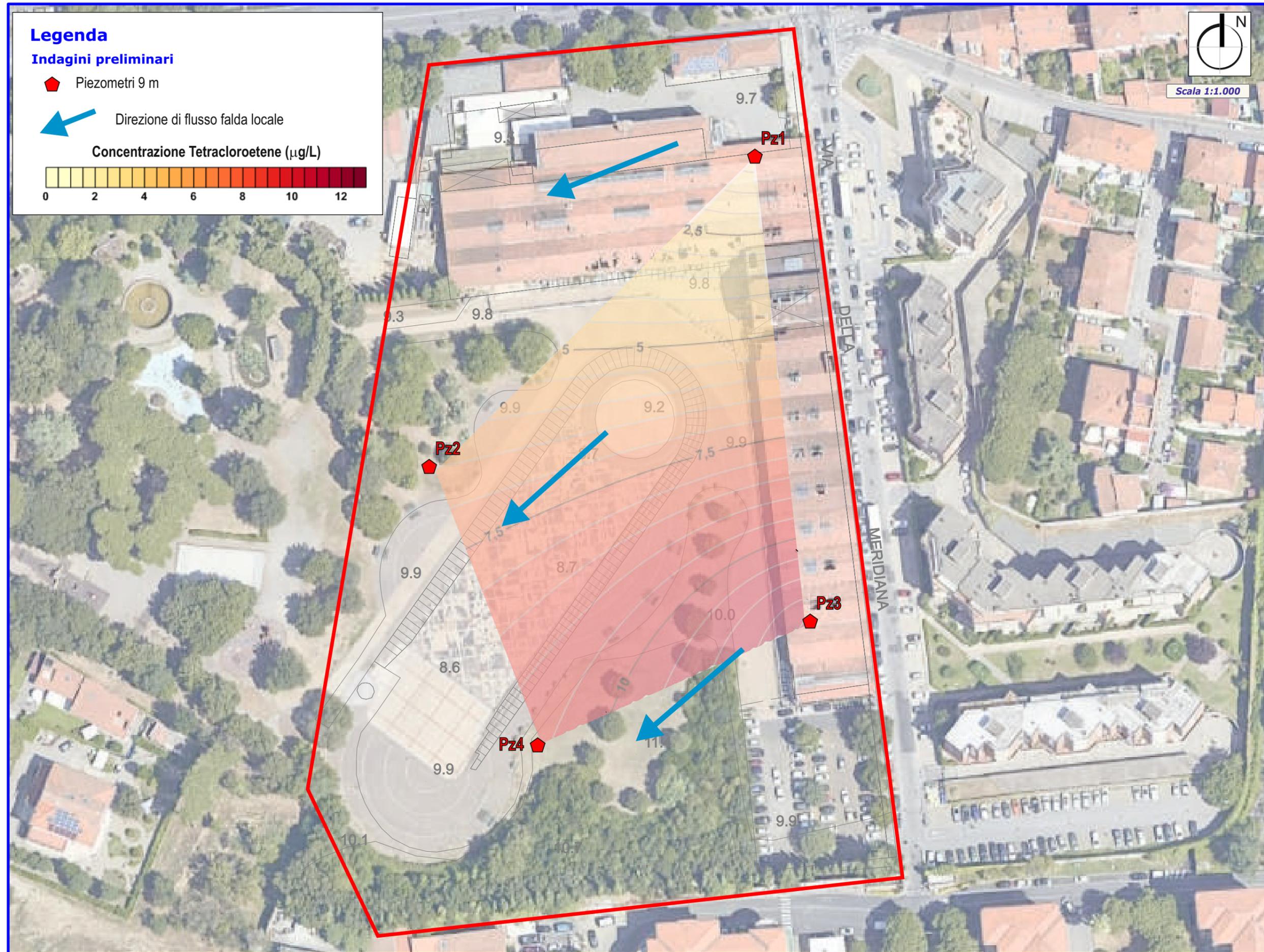
Legenda

Indagini preliminari

 Piezometri 9 m

 Direzione di flusso falda locale

Concentrazione Tetracloroetene ($\mu\text{g/L}$)



Estratto da Google Earth (23/07/2019)-(Perimetro colore rosso **Perimetrazione provvisoria da SISBON** - Perimetro colore giallo tratteggiato **area Ex-Pirelli**)

**PLANIMETRIA con andamento isoconcentrazione
tetracloroetene nella prima falda al 01.10.2020**

Via Giacomo Matteotti n. 2 58100 GROSSETO
c.f.: LRNFR687051504G p.iva 01618330532
Tel. ufficio: 0564 643414 Cell.: 328 0311006
e-mail: ambiente.sottosuolo@gmail.com

Ambiente e Sottosuolo
di Dott. Ferruccio Lorenzini
Idrogeotecnica applicata e geoservizi

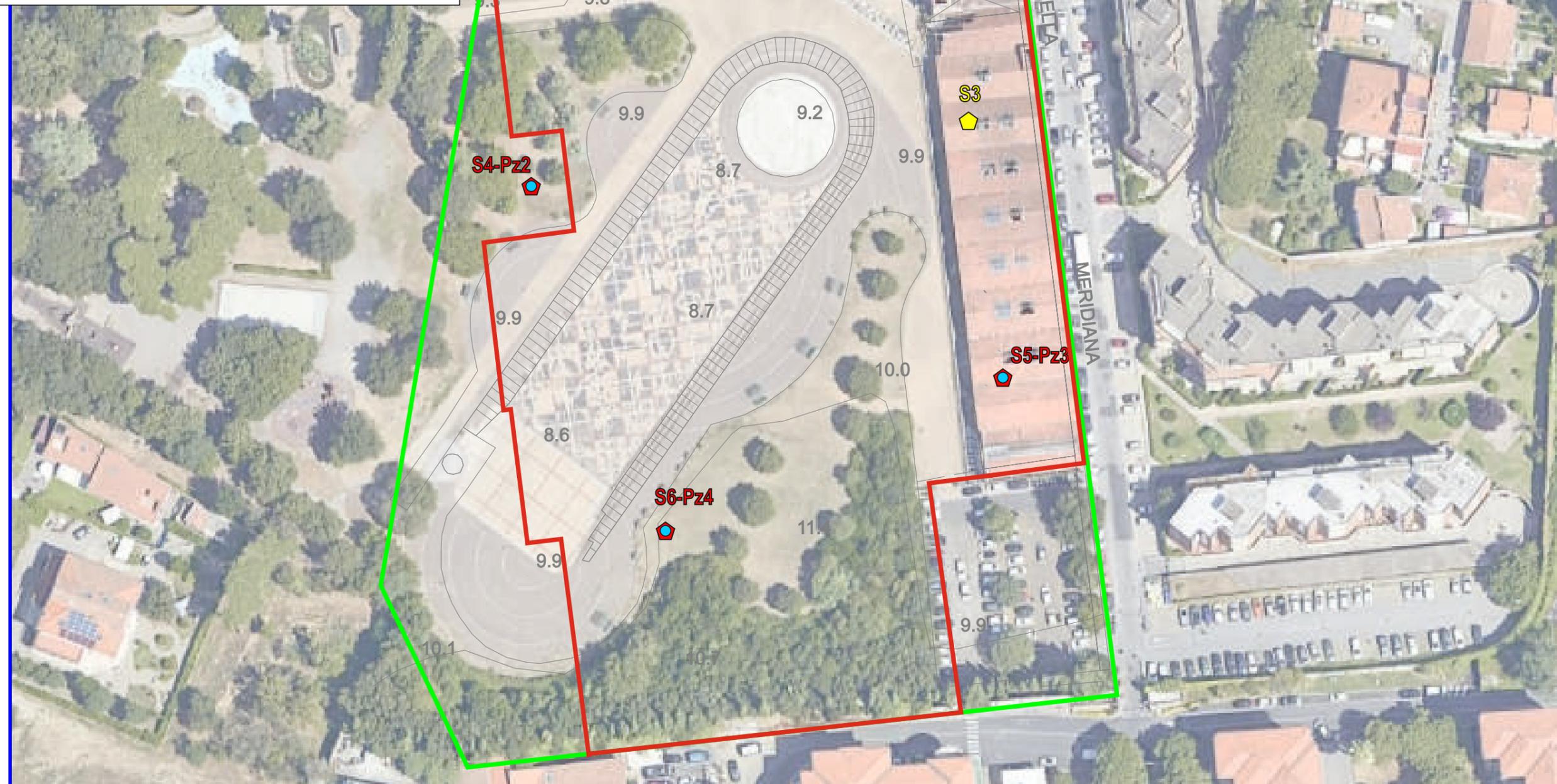
Legenda

Indagini preliminari

-  Sondaggi ambientali della profondità di 9/10 m con prelievo di campioni, ricostruzione stratigrafica attrezzati a piezometri
-  Sondaggi ambientali della profondità di 10 m con prelievo di campioni e ricostruzione stratigrafica

Interventi in progetto

-  Perimetro area ingombro nuovo edificio (ospedale). Ad esclusione del lato Via Meridiana (dove saranno messe in opera delle palancole), l'area scavo sarà ragionevolmente più ampia del perimetro in rosso



Scala 1:1.000

Estratto da Google Earth (23/07/2019) sovrapposto a CTR_1:2.000 Sezione n°16E38_2004 (Perimetro colore verde **Perimetrazione provvisoria da SISBON**)

**PLANIMETRIA con indicazione
area scavi in progetto**

Via Giacomo Matteotti n. 2 58100 GROSSETO
c.f.: LRNFR68T051504G p.iva 01618330532
Tel. ufficio: 0564 643414 Cell.: 328 0311006
e-mail: ambiente.sottosuolo@gmail.com

Ambiente e Sottosuolo
di Dott. Ferruccio Lorenzini
Idrogeotecnica applicata e geoservizi