

COMUNE DI CASTELFIORENTINO

Assessorato Urbanistica

Giovanni Occhipinti - Sindaco

Arch. Michela Brachi - Dirigente del Settore Urbanistica



"Studio di fattibilità atto ad approfondire e definire l'analisi ambientale, la valorizzazione e la fattibilità tecnico-economica, per la riconversione verso funzioni a carattere urbano dell'ex complesso industriale Montecatini, di proprietà comunale, ubicato nel comune di Castelfiorentino."

Gruppo di lavoro:

Ing. Massimo Giommaroni Capogruppo

Arch. Catia Lenzi

Arch. Massimo Fabbri

Geologo Franco Ceccarini

Dott. Chimico Mirko Cecchi

**RELAZIONE DESCRITTIVA
DELLE INDAGINI PRELIMINARI
E DELLA PROPOSTA DI ANALISI
DI RISCHIO SITO SPECIFICA**

(D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 - art. 242)



Sito:

AREA EX MONTECATINI
COMUNE DI CASTELFIORENTINO (FI)

Novembre 2013

**RELAZIONE DESCRITTIVA
DELLE INDAGINI PRELIMINARI
E DELLA PROPOSTA DI ANALISI
DI RISCHIO SITO SPECIFICA**



Gruppo di lavoro:

Dott. Geol. Franco Ceccarini

Dott. Chim. Mirko Cecchi

Ing. Massimo Giommaroni

Indice

1.	PRESUPPOSTI PER UNA PROPOSTA DI ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA PER L'AREA EX MONTECATINI.	4
2.	ANALISI STORICA DEL SITO.....	7
2.1.	PRODUZIONE DI ACIDO SOLFORICO.	8
2.2.	PRODUZIONE DI PERFOSFATI.	8
3.	L'ATTIVITA' PREGRESSA DI INDAGINE AMBIENTALE SVOLTA NEL SITO.....	9
3.1.	CAMPIONAMENTI DELLA MATRICE SUOLO.	11
3.2.	CAMPIONAMENTI DELLA MATRICE ACQUE SOTTERRANEE.....	14
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	15
5.	ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITU SVOLTA DAL GRUPPO DI LAVORO.	21
5.1.	ANALISI CHIMICHE.	23
5.2.	ANALISI GEOTECNICHE.	25
6.	ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.	26
6.1.	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO.	26
6.2.	FORMULAZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE.	28
6.2.1.	<i>Caratteristiche dominanti dell'ambiente con cui il sito interagisce.</i>	<i>28</i>
6.2.2.	<i>Sorgente, grado ed estensione della contaminazione nei diversi comparti ambientali.</i>	<i>29</i>
6.2.3.	<i>Percorsi di migrazione della contaminazione in relazione ai bersagli individuati.</i>	<i>36</i>
6.3.	PARAMETRI CARATTERISTICI DEL SITO.	38
6.3.1.	<i>Parametri zona insatura.....</i>	<i>38</i>
6.3.2.	<i>Parametri zona satura.....</i>	<i>39</i>
6.3.3.	<i>Parametri ambientali.....</i>	<i>43</i>
6.3.4.	<i>Parametri degli ambienti confinati.....</i>	<i>45</i>
6.4.	RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO.....	46
6.4.1.	<i>Calcolo del rischio per la falda.</i>	<i>46</i>
6.4.2.	<i>Concentrazioni Soglia di Rischio per la protezione della falda.</i>	<i>48</i>
6.4.3.	<i>Rischio sanitario per sostanze non cancerogene.</i>	<i>49</i>
6.4.4.	<i>Rischio sanitario per sostanze cancerogene.</i>	<i>51</i>
6.4.5.	<i>Concentrazioni Soglia di Rischio per la protezione dell'uomo.....</i>	<i>53</i>
7.	INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE DEL SITO.....	57
	ELENCO DEGLI ALLEGATI.	60

1. PRESUPPOSTI PER UNA PROPOSTA DI ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA PER L'AREA EX MONTECATINI.

Il Comune di Castelfiorentino, proprietario dell'area ex Montecatini, aveva incaricato la società Ambiente S.C. di Carrara dell'esecuzione di una campagna di indagini ambientali sul sito in questione al fine di fornire una prima valutazione (*screening* preliminare) in merito allo stato di contaminazione delle matrici ambientali suolo ed acque sotterranee e, conseguentemente, una preliminare valutazione economica dei possibili interventi di risanamento e riqualificazione ambientale.

I campionamenti della matrice suolo sono stati eseguiti nel mese di settembre 2002, quelli della matrice acque sotterranee nel mese di aprile 2004. I risultati di tale indagine e le valutazioni in merito sono riportati nella Relazione Tecnica "*Rapporto sullo stato di qualità ambientale dell'area ex Montecatini*", redatta da Ambiente S.C. nel mese di gennaio 2006.

L'attività di monitoraggio era stata impostata e valutata in conformità all'allora vigente normativa in materia di siti contaminati (D.M. 471/99), ovvero confrontando i livelli di concentrazione nelle matrici ambientali investigate con i valori di concentrazione limite accettabili, al fine di definire l'estensione areale interessata dai previsti interventi di bonifica.

Il gruppo di progettazione scrivente, in ragione del contratto sottoscritto con il Comune di Castelfiorentino in data 26 giugno 2013 per lo studio di fattibilità tecnico economica per il recupero ambientale e la riconversione urbanistica dell'area, ha quindi provveduto ad inquadrare i risultati della campagna di monitoraggio svolta da Ambiente S.C. nell'ottica dell'attuale normativa in materia di bonifica di siti contaminati (Parte Quarta del D. Lgs. 152/06), che prevede l'elaborazione di un'Analisi di Rischio sito specifica in modalità inversa per definire i livelli di accettabilità per il sito (concentrazioni soglia di rischio, C.S.R.), oltre i quali sono necessari interventi di bonifica o di messa in sicurezza.

Inoltre, l'utilizzo dei livelli di contaminazione riscontrati da Ambiente S.C. consentono un'elaborazione in modalità diretta della stessa Analisi al fine di fornire il grado di rischio presente nell'area sia allo stato attuale sia per le diverse ipotesi progettuali proposte.

In entrambi i casi, l'elaborazione presuppone la formulazione di un Modello Concettuale del Sito, con la determinazione di parametri sito specifici da valutare *in situ* o reperibili in modo indiretto da fonti bibliografiche, linee guida, ecc..

Il Modello Concettuale del Sito può essere formulato definendo:

- le caratteristiche dominanti dell'ambiente con cui il sito interagirà;
- la sorgente, il grado e l'estensione della contaminazione nei diversi comparti ambientali;
- i percorsi di migrazione della contaminazione in relazione ai bersagli che saranno individuati.

Per quanto riguarda le caratteristiche dominanti dell'ambiente con cui il sito interagirà queste dipenderanno dalla tipologia di uso del suolo (residenziale, ricreativo, commerciale, ecc..) secondo le definizioni riportate al punto 3.4 delle Linee Guida APAT sull'Analisi di Rischio di marzo 2008, a cui potranno corrispondere bersagli umani adulti e/o bambini, presenza/assenza di spazi *indoor* e superfici completamente o parzialmente pavimentate.

I risultati della campagna di indagini svolta da Ambiente S.C., che ha evidenziato la presenza di concentrazioni significative di contaminanti nello strato superficiale di riporto antropico presente omogeneamente su tutta l'area, forniscono un quadro conoscitivo iniziale esauriente del grado e dell'estensione della contaminazione. Considerando la diffusione di quest'ultima, la sorgente può essere fatta coincidere con l'intera estensione dell'area, identificando il materiale di riporto come una sorgente secondaria di contaminazione, in parte congenita al riporto stesso ed in parte indotta da diffuse sorgenti primarie collegate alle attività svolte in passato sul sito ed oggi non più attive.

I risultati analitici dell'indagine svolta, alla luce dell'attuale normativa in materia di siti contaminati, qualificano il sito come *potenzialmente* contaminato, secondo la definizione riportata alla lettera d) del comma 1 dell'art. 240 del D. Lgs. 152/06.

Infine, sempre in funzione della tipologia di uso del suolo (residenziale, ricreativo, commerciale, ecc..), è necessario individuare i comparti ambientali bersaglio della contaminazione presente in sito ed i percorsi di migrazione di quest'ultima.

Al fine di fornire un primo livello di Modello Concettuale del Sito è stato, pertanto, necessario integrare l'indagine svolta da Ambiente S.C., che ha fornito una caratterizzazione chimica delle matrici ambientali, con la determinazione di ulteriori parametri sito specifici di natura chimica, geologica, idrogeologica e meteorologica.

L'attività svolta dal gruppo di lavoro ha, pertanto, riguardato:

- un'analisi dei dati geologici ed idrogeologici desumibili dallo studio geologico di supporto allo Strumento Urbanistico generale del Comune;
- il reperimento e l'analisi delle pratiche edilizie e di denuncia di pozzi in zone limitrofe al sito con lo scopo di assumere dati utili quali:
 - stratigrafie ricostruite tramite sondaggi geognostici;
 - rilevamenti freaticometrici condotti nei perfori di prova e sondaggio;
 - analisi granulometriche sui sedimenti presenti;
 - eventuali risultati di prove di permeabilità;
- un'attività di indagine *in situ* con la misurazione del livello di soggiacenza della falda ed il prelievo di campioni di terreno sui quali sono state eseguite alcune determinazioni geotecniche e chimiche non presenti nello studio di Ambiente S.C. ma utili per la definizione del primo livello di Modello Concettuale del Sito e per l'elaborazione di una Analisi di Rischio preliminare, in particolare:
 - analisi granulometriche;
 - carbonio organico totale (TOC) ed umidità;
 - coefficiente di ripartizione solido-liquido (Kd);
 - specazione degli idrocarburi secondo il MADEP.

L'Analisi di Rischio è stata poi condotta ipotizzando una riqualificazione dell'area con presenza di aree a destinazione residenziale, ricreativa e commerciale, spazi *indoor* e *outdoor* e superfici esterne non completamente pavimentate (pavimentazione discontinua).

Dalla successiva analisi dei risultati dell'Analisi di Rischio, in particolare dei percorsi di esposizione che causano livelli non tollerabili di esposizione per i bersagli individuati (futuri fruitori dell'area e falda), è stato poi possibile individuare le misure da mettere in atto per isolare in modo definitivo le sorgenti di contaminazione rispetto alle matrici ambientali circostanti garantire un livello accettabile di sicurezza per le persone e l'ambiente.

L'area ex Montecatini, di proprietà del Comune di Castelfiorentino, è collocata in una zona compresa tra la linea ferroviaria Empoli-Siena, Via XXIV Maggio, Via Masini e Via Leonardo da Vinci.



Figura 1

L'area presenta una forma approssimativamente rettangolare, con lati di circa 90 e 210 metri per un'estensione di circa 19.300 mq.

2. ANALISI STORICA DEL SITO.

Le attività svolte nel sito a partire dal dopoguerra (1948-50) fino al 1965, anno di dismissione dello stabilimento, riguardavano la produzione di acido solforico (interna ai fabbricati individuati dalla lettera A di Figura 2) e la produzione di concimi a base di fosforite (fabbricati B).

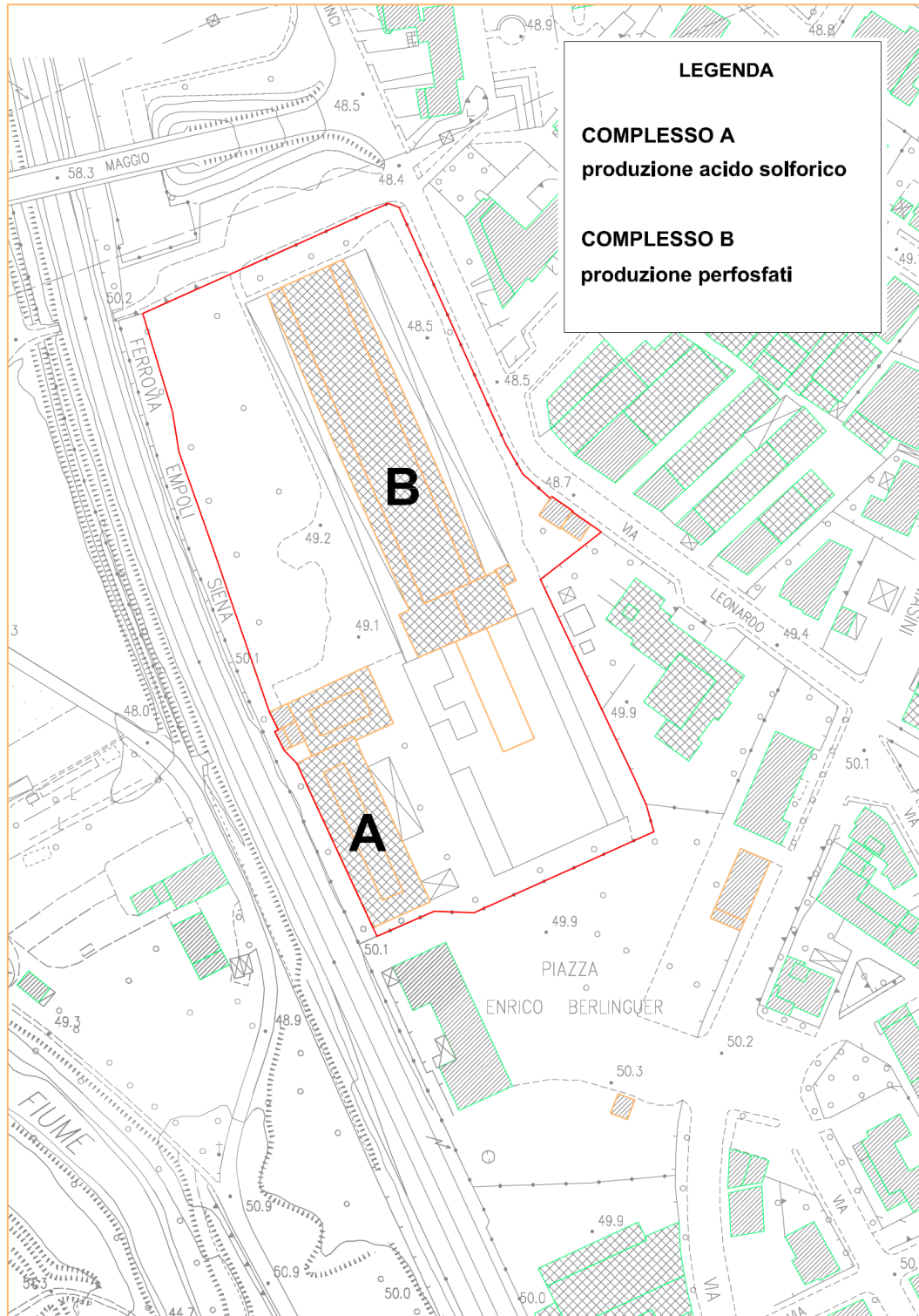


Figura 2

Produzioni di minore entità venivano svolte all'interno dei fabbricati che si estendevano lungo l'attuale Via Masini e riguardavano allumina, solfato di magnesio, solfato di alluminio e solfato di sodio.

2.1. Produzione di acido solforico.

L'acido solforico veniva preparato mediante il metodo delle camere a piombo ossidando l'anidride solforosa ottenuta con l'arrostimento della pirite (disolfuro di ferro), quest'ultima stoccata in una zona apposita lungo una ferrovia interna. L'ossidazione dell'anidride solforosa avveniva con l'intervento di ossidi di azoto che agivano da catalizzatori, trasportando l'ossigeno ed accelerando la velocità di reazione.

Il processo produttivo prevedeva:

- ricevimento della pirite, trasportata mediante la linea ferroviaria interna, e stoccaggio nei depositi adiacenti al locale di produzione;
- combustione del minerale in forni auto comburenti in condizioni di eccesso di aria (i residui di processo costituiti dalla pirite cotta venivano quindi riavviati a recupero all'esterno dello stabilimento per l'estrazione delle frazioni di ferro ancora presenti);
- produzione di anidride solforosa che, ancora calda (250-400 °C), veniva iniettata in un'apposita torre di Glover, riempita di anelli di porcellana (tipo Rashing) cu cui veniva fatto percolare acido solforico e acido nitrosolforico;
- trasformazione di una parte di anidride solforosa in acido solforico per ossidazione con acido nitrosolforico;
- incanalamento dei gas residui ancora caldi (circa 105 °C) contenenti azoto, anidride solforosa, ossigeno e ossido di azoto all'interno di camere a piombo, dove l'ossido di azoto reagendo con l'ossigeno si trasformava in parte in biossido di azoto per formare successivamente acido nitrosolforico;
- stoccaggio dell'acido solforico prodotto in cisterne adiacenti al luogo di produzione con successivo avvio alla spedizione via ferrovia e/o strada.

2.2. Produzione di perfosfati.

Il ciclo produttivo relativo alla produzione di perfosfati prevedeva la solubilizzazione delle fosforiti provenienti dall'esterno a mezzo ferrovia con acido solforico, in un'apposita camera di trattamento. Tale reazione permetteva di trasformare il fosfato di calcio insolubile in diidrogenofosfato di calcio solubile, operando in modo che l'acqua introdotta venisse completamente fissata dal solfato di calcio come gesso. I perfosfati così ottenuti venivano quindi trasferiti nell'estremità nord del capannone per il processo di essiccamento, confezionamento ed avvio alla spedizione.

Alla luce delle informazioni reperite dal gruppo di lavoro scrivente presso la sede di Milano della Borio Mangiarotti S.p.A., società di progettazione dello stabilimento, è possibile indicare con maggiore precisione la destinazione d'uso di alcuni dei locali facenti parte l'ex complesso industriale.

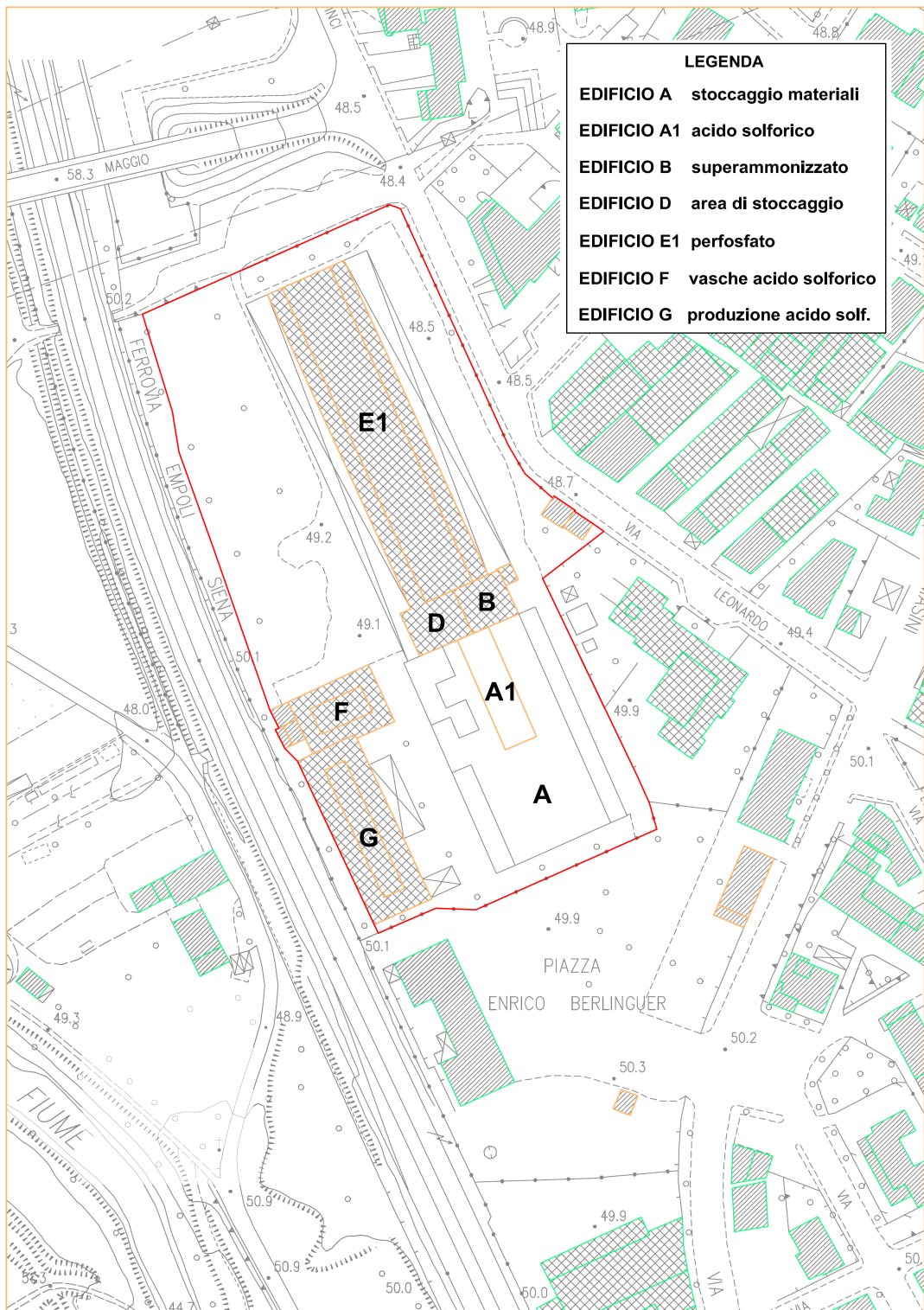


Figura 3

3. L'ATTIVITA' PREGRESSA DI INDAGINE AMBIENTALE SVOLTA NEL SITO.

Il piano di investigazione ambientale condotto da Ambiente S.C., elaborato in conformità con quelli che erano i requisiti richiesti dall'allora normativa vigente (D.M. 471/99), aveva previsto l'esecuzione di dodici postazioni di campionamento della matrice suolo mediante trincee esplorative realizzate con escavatore

meccanico (eccetto una postazione eseguita con campionatore manuale) e l'installazione di quattro piezometri con sonda a rotazione. L'attività di campionamento è stata poi condotta con il prelievo di ventiquattro campioni di suolo (due per ogni postazione) e di quattro campioni di acqua sotterranea.

I punti di indagine per la caratterizzazione del suolo erano stati ubicati, secondo le indicazioni che venivano fornite dall'Allegato 2 al D.M. 471/99, internamente ad una maglia a base quadrata di 35 metri di lato secondo un criterio di tipo casuale/statistico, mirato ad una copertura dell'intera area.

Nella figura seguente è riportata l'ubicazione delle postazioni di prelievo dei campioni di suolo e dei piezometri.

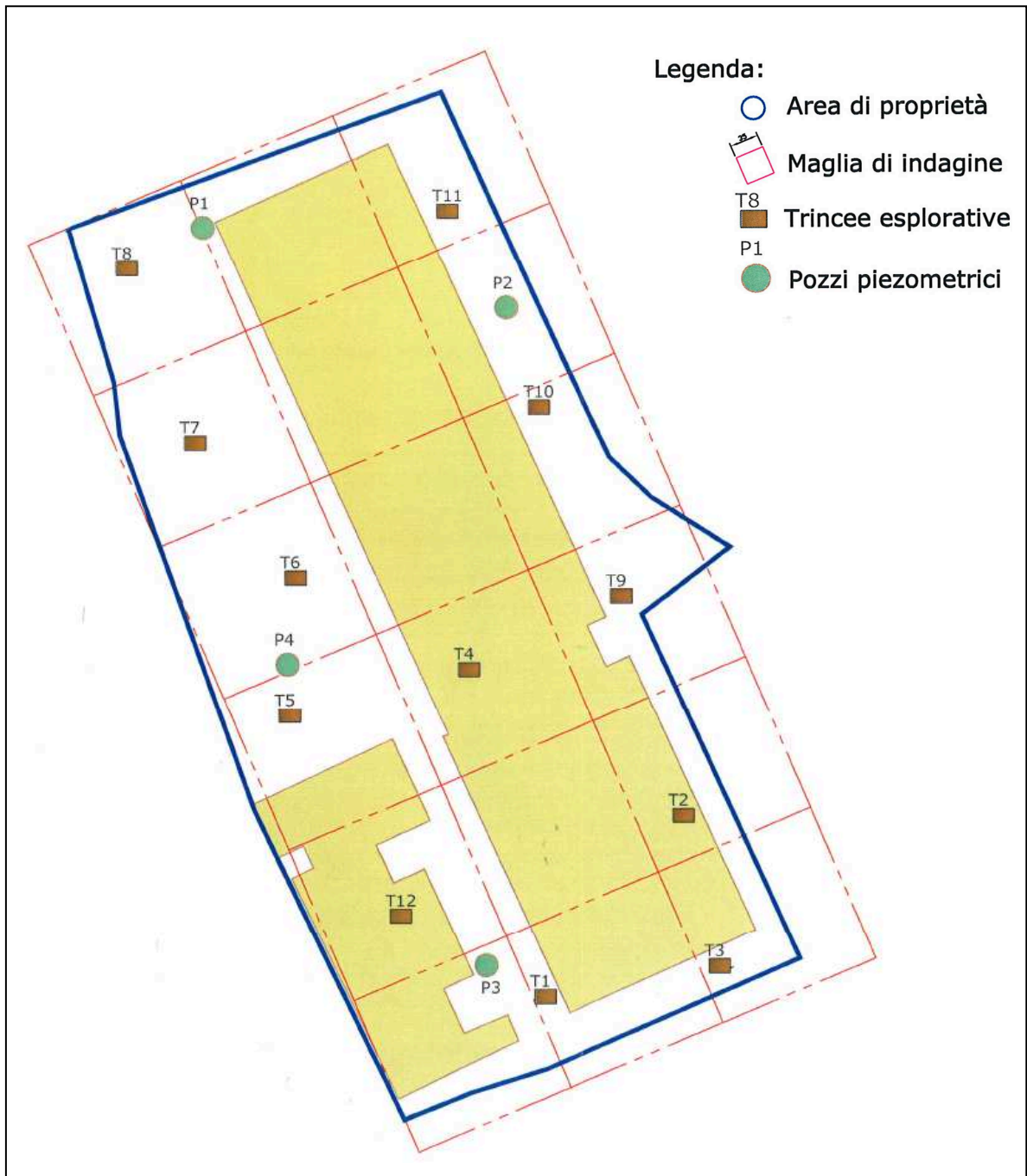


Figura 4

3.1. Campionamenti della matrice suolo.

Per ogni postazione di indagine erano stati prelevati due campioni medi di suolo, indicativamente rappresentativi dei seguenti orizzonti stratigrafici:

- p.c. - 1,5 metri;
- 1,5 - fondo scavo.

Le trincee esplorative avevano mostrato la presenza di un primo strato superficiale di riporto con spessore medio di circa 1,5 metri dal p.c., costituito da terreno rimaneggiato, talvolta caratterizzato da anomalie visive, frammisto a trovanti antropici di riempimento quali residui di laterizi e scarti di produzione costituiti da detriti di pirite ossidata a vari livelli.

Per ogni campione prelevato Ambiente S.C. aveva provveduto a ricercare i seguenti parametri:

- metalli (arsenico, cadmio, cromo tot., cromo VI, mercurio, nichel, piombo, rame, stagno, selenio, zinco);
- IPA e idrocarburi pesanti C>12.

Di seguito viene riportata la tabella di sintesi dei risultati ottenuti dalle determinazioni analitiche sui campioni di suolo, dove sono evidenziati i superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (C.S.C.) per l'uso residenziale, verde pubblico e privato (colore verde) e commerciale, industriale (colore rosso). Gli attuali riferimenti normativi per le C.S.C. sono quelli della Tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte Quarta del D. Lgs. 152/06, che numericamente coincidono con quelli riportati in tabella e che fanno riferimento all'allora vigente D.M. 471/99.

Per quanto riguarda la destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale, le analisi mostrano concentrazioni di metalli (arsenico, cadmio, mercurio, piombo, rame e zinco) superiori alle C.S.C. in tutti i campioni superficiali, ad esclusione di quelli prelevati nella trincea esplorativa T11 (nell'area asfaltata confinante con Via Leonardo da Vinci). La contaminazione legata agli analiti sopra indicati risulta estesa a tutto lo strato di riporto presente nell'area indagata. Livelli superiori alla C.S.C. per l'uso verde pubblico, privato e residenziale sono stati riscontrati anche per il parametro idrocarburi pesanti C>12 nei campioni superficiali delle trincee T1, T6, T7, T8 e T12. Infine, nel campione superficiale prelevato nella trincea T8 è stato accertato il superamento delle C.S.C. per gli IPA benzo(a)pirene, benzo(g,h,i)perilene, dibenzo(a,h)antracene e indenopirene.

Per la destinazione d'uso commerciale/industriale le analisi mostrano concentrazioni di metalli superiori alla C.S.C. nei campioni superficiali prelevati nelle trincee T1, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T12. I superamenti riguardano soprattutto piombo e rame, mentre i superamenti per arsenico, mercurio e zinco hanno interessato una sola trincea per ognuno dei tre metalli (rispettivamente T5, T1 e T3). Non sono stati riscontrati superamenti per i parametri idrocarburi pesanti C>12 e IPA.

Tabella 1. Risultati delle analisi chimiche sui campioni di suolo prelevati da Ambiente S.C.

Analisi chimiche suolo e sottosuolo	prof.(cm)	As	Cd	Cr	CrVI	Hg	Ni	Pb	Cu	Sn	Zn	Se	HC>12	IPA
c1/a	20-120	13,33	2,01	31,05	< 2,00	5,43	23,07	1.847,36	700,00	< 0,5	675,43	< 0,10	143,00	< 0,10
c1/b	160-260	3,20	< 0,5	57,90	< 2,00	0,30	59,10	20,40	45,80	< 0,5	69,80	0,30	< 20	< 0,1
c2/a	100-190	16,00	< 0,5	6,70	< 2,0	0,40	6,10	141,00	179,00	< 0,5	129,00	0,20	< 20	< 0,1
c2/b	190-220	0,30	< 0,5	62,20	< 2,0	0,20	53,20	2,50	25,50	< 0,5	48,10	< 0,10	< 20	< 0,10
c3/a	160-210	2,97	3,08	53,61	< 2,0	0,42	77,34	15,42	23.085,10	< 0,5	3.105,31	0,21	< 20	< 0,10
c3/b	210-260	0,38	< 0,5	68,83	< 2,0	0,19	57,86	7,18	28,83	< 0,5	62,52	< 0,1	< 20,0	< 0,1
c4/a	30-150	1,70	0,80	87,70	< 2,00	1,00	51,40	2.671,00	877,00	< 0,5	215,00	0,20	28,00	0,38
c4/b	300-360	0,29	< 0,5	61,96	< 2,0	0,09	60,68	26,86	28,62	< 0,5	61,47	0,29	< 20,00	< 0,10
c5/a	0-160	113,25	6,58	49,91	< 2,0	1,25	16,08	775,83	302,50	< 0,5	885,83	0,91	< 20,0	< 0,1
c5/b	250-350	0,79	< 0,5	69,00	< 2,0	0,10	54,55	4,75	24,95	< 0,5	62,87	< 0,10	< 20,00	< 0,10
c6/a	160-210	12,35	2,94	6,27	< 2,0	1,51	1,76	79.803,00	25,78	< 0,5	63,72	< 0,1	247,00	< 0,1
c6/b	210-350	0,48	< 0,5	73,26	< 2,0	0,12	60,86	2,30	25,19	< 0,5	55,00	< 0,10	< 20,0	< 0,10
c7/a	0-80	37,20	0,60	39,40	< 2,00	3,20	55,30	587,00	115,00	< 0,5	121,00	< 0,10	66,00	< 0,1
c7/b	180-250	17,80	< 0,5	35,00	< 2,0	3,10	17,70	813,00	92,50	< 0,50	77,50	0,20	39,00	0,70
c8/a	50-150	3,49	1,06	49,12	< 2,00	1,16	59,32	1.178,00	293,00	< 0,50	319,00	< 0,10	260,00	1,93
c8/b	250-330	0,49	< 0,50	68,03	< 2,0	0,29	68,82	40,00	87,35	< 0,50	88,72	0,39	< 20	< 0,10
c9/a	30-100	20,56	1,21	33,00	< 2,00	1,68	29,35	660,00	586,00	< 0,50	138,00	< 0,10	23,00	0,10
c9/b	120-250	0,34	< 0,50	56,35	< 2,00	0,42	43,47	12,20	26,27	< 0,5	48,81	< 0,10	< 20,00	< 0,10
c10/a	30-100	1,40	1,10	57,80	< 2,00	0,40	71,60	453,00	83,40	< 0,50	152,00	< 0,10	32,00	0,14
c10/b	100-250	0,30	< 0,50	42,20	< 2,00	0,20	36,40	3,10	21,10	< 0,50	39,60	< 0,10	< 20,00	< 0,10
c11/a	30-100	0,39	< 0,50	< 1,00	< 2,00	0,19	3,13	70,58	2,45	< 0,50	11,86	< 0,10	< 20,0	< 0,10
c11/b	200-350	0,30	< 0,50	47,00	< 2,00	0,20	41,20	1,80	20,40	< 0,5	46,70	< 0,10	< 20,00	< 0,10
c12/a	30-60	2,71	< 0,50	34,28	< 2,00	0,82	5,80	1.025,00	64,76	< 0,5	22,85	1,02	63,00	-
c12/b	100-150	0,65	< 0,50	70,00	< 2,00	0,25	63,33	24,16	38,33	< 0,5	75,83	0,16	< 20,00	-
Limiti D.M. 471/99 - uso residenziale		20	2	150	2	1	120	100	120	1	150	3	50	10
Limiti D.M. 471/99 - uso industriale		50	15	800	15	5	500	1000	600	350	1500	15	750	100

In ragione dei superamenti accertati ed in attesa dei risultati dell'Analisi di Rischio il sito può essere definito come *potenzialmente* contaminato, secondo la definizione riportata alla lettera d) del comma 1 dell'art. 240 del D. Lgs. 152/06. Nella sottostante figura sono state evidenziate le zone con superamento della C.S.C., per almeno un parametro, per la destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale. L'area è stata suddivisa mediante poligoni di Thiessen, prendendo come centri dei poligoni le ubicazioni delle dodici trincee esplorative.

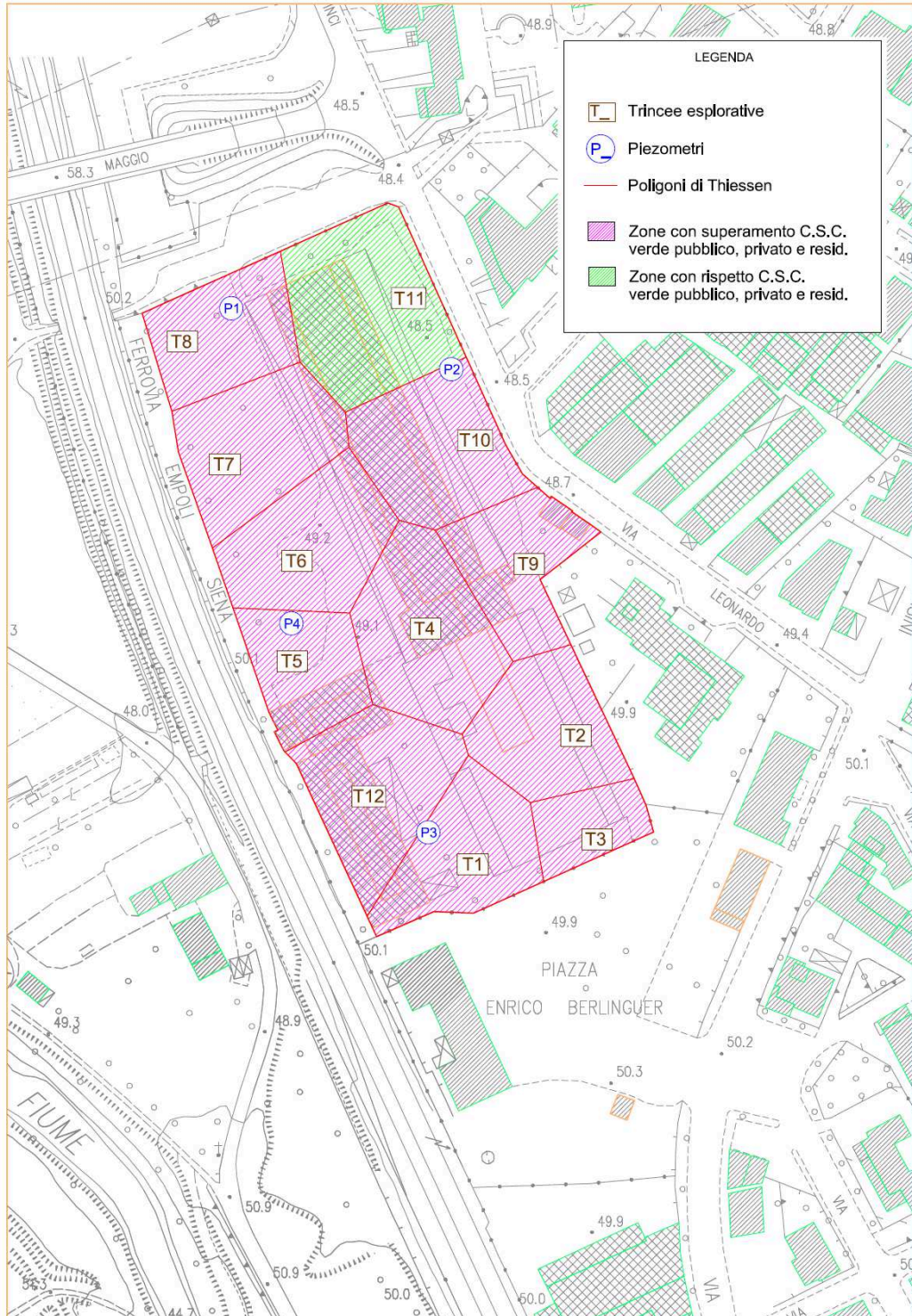


Figura 5

Nella figura seguente sono state invece indicate le zone con superamenti delle C.S.C. nell'ipotesi di destinazione d'uso commerciale/industriale.

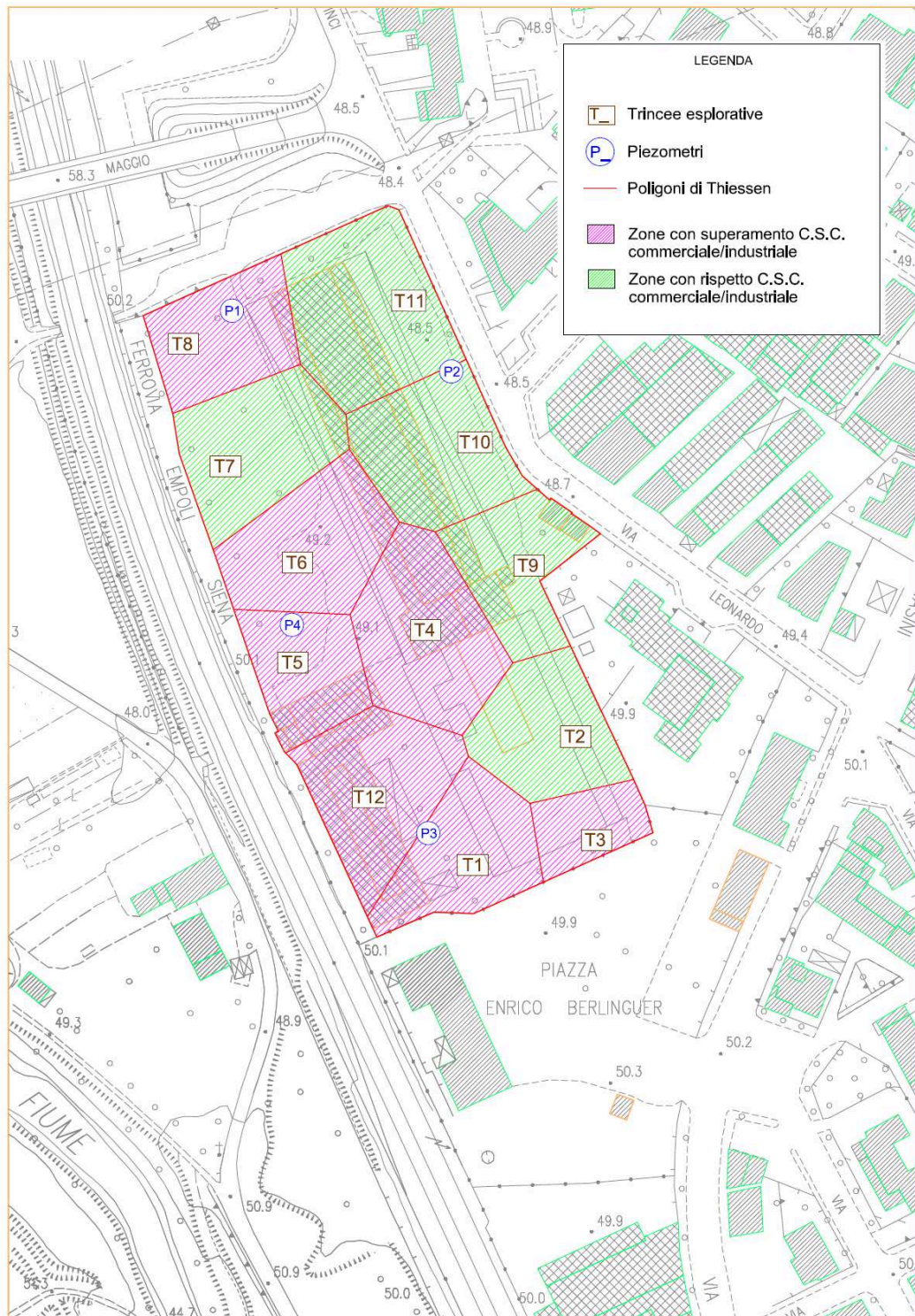


Figura 6

3.2. Campionamenti della matrice acque sotterranee.

Di seguito riportiamo la tabella con i risultati delle analisi chimiche condotte sulle acque sotterranee nei quattro piezometri installati.

Tabella 2. Risultati delle analisi chimiche dei campioni di acque sotterranee prelevati da Ambiente S.C.

Analisi chimiche acque sotterranee		Data	18/04/2002	18/04/2002	18/04/2002	18/04/2002
Parametro	Unità di misura	VCLA	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4
Arsenico	µg/l	10,0	< 1	< 1	< 1	< 1
Cadmio	µg/l	5,0	< 0,5	3,0	< 0,5	< 0,5
Cromo totale	µg/l	50,0	< 1	< 1	< 1	< 1
Cromo VI	µg/l	5,0	< 1	< 1	< 1	< 1
Mercurio	µg/l	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Nichel	µg/l	20,0	9,0	17,0	12,0	14,0
Piombo	µg/l	10,0	< 1	8,5	3,9	< 1
Rame	µg/l	1000,0	20,0	53,0	18,0	28,0
Selenio	µg/l	10,0	3,0	< 1	< 1	< 1
Zinco	µg/l	3000,0	< 10	1130,0	130,0	230,0
Solfati	mg/l	250,0	1289,0	1687,0	1440,0	932,0
Benzene	µg/l	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Idrocarburi totali	µg/l	350,0	10,0	10,0	< 10	< 10
Temperatura	°C	Nessuno	16,3	15,2	14,8	15,1

Gli esiti delle analisi chimiche avevano evidenziato il rispetto della concentrazione limite per tutti i parametri ricercati, con l'unica eccezione del parametro solfati, per il quale era stata accertata una contaminazione diffusa su tutti e quattro i piezometri, sia di monte sia di valle idrogeologico rispetto alla direzione prevalente di flusso della falda interferente con il sito in esame (da sud-est a nord-ovest). Lo stesso Fiume Elsa è caratterizzato da una accentuata salinità che gli deriva dalla presenza di solfato e di calcio dovuti ai minerali gessosi e calcarei presenti lungo il suo corso.

I valori (in particolare per il piombo) indicano tuttavia la presenza di un fenomeno di lisciviazione verticale dei contaminanti in falda dovuto alle infiltrazioni meteoriche nelle zone non pavimentate dell'area, meccanismo che si presume tuttora in corso.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.

Il territorio di Castelfiorentino è in prevalenza costituito dai depositi di origine marina originati dalla trasgressione che ha interessato parte della Regione Toscana in epoca pliocenica; essi, con i successivi fenomeni erosivi, hanno dato luogo ad un paesaggio collinare con forme prevalentemente arrotondate, tipico di sedimenti facilmente erodibili.

La zona pianeggiante di fondovalle del Fiume Elsa e dei suoi affluenti è poi occupata dai depositi alluvionali depositati da tali corsi idrici, che giacciono dunque in spessore variabile sui sottostanti depositi marini pliocenici.

L'area ex Montecatini di Castelfiorentino è posta nella zona pianeggiante di fondovalle del territorio Comunale, ad una distanza di circa 150 metri sia dal corso del Fiume Elsa (che scorre ad ovest) che dalla ripresa di pendenza dei più vicini rilievi collinari (ad est).

Dal punto di vista delle cognizioni geologiche di supporto alla valutazione delle problematiche ambientali ed all'elaborazione di un'Analisi di Rischio sito specifica per l'area in oggetto, il sommario inquadramento geologico sopra riportato consente già una prima valutazione dei parametri che possono influenzare i risultati di tale Analisi.

Si possono infatti schematizzare i seguenti aspetti:

- i depositi alluvionali di origine fluviale presenti in zona sono costituiti da uno spessore solitamente prossimo a 20 metri (salvo le zone più vicine alla base dei rilievi collinari), costituito in prevalenza da limi ed argille; sono possibili livelli sempre fini ma a maggior contenuto sabbioso. Ciò già indirizza verso il ritenere che tali depositi siano interessati da una non elevata permeabilità. La conducibilità idraulica (o permeabilità) dei terreni risulta essere uno dei fattori geologici di interesse ai fini dell'Analisi di Rischio sito specifica;
- la falda idrica, ricaricata dagli apporti dei vicini versanti, risulta essere piuttosto superficiale; essendo infatti l'area posta alla quota topografica di circa 49 ÷ 49,8 metri s.l.m., la quota del pelo libero del Fiume Elsa, pari a circa 45 metri s.l.m. (ricavabile sulla cartografia 1: 10.000), fa ritenere che, essendo la falda drenata dal Fiume, essa risulti posta nell'area ex Montecatini alla quota di circa -3 metri dal p.c.; la direzione di flusso, nell'ipotesi già sopra menzionata che la falda sia drenata dal fiume, sarà disposta dai rilievi collinari verso il fiume. Ciò è quanto del resto ricavabile anche dalla Carta Idrogeologica allegata allo strumento urbanistico generale del Comune;
- data la natura fine dei sedimenti fluviali (prevalenza di limi ed argille), è da attendersi che la frangia di risalita capillare assuma uno spessore assai pronunciato (tipicamente 1 ÷ 1,5 m per terreni limo-argillosi).

Si è già sopra visto come sia presente in zona una falda idrica superficiale allocata nei depositi sedimentari fluviali; la granulometria fine di tali sedimenti (spostata verso le frazioni limo-argillose) rende tuttavia non interessante tale falda idrica per la sua potenziale produttività.

Nella stessa pianura sono poi presenti alcuni pozzi che sfruttano un sottostante livello acquifero, costituito dai depositi fluviali ghiaiosi posti al di sotto dei -15 ÷ -20 metri di profondità. La portata assicurata da tali pozzi risulta elevata, nell'ordine dei 10 litri/secondo.

E' dunque evidente che trattasi di una seconda falda, dotata di un certo grado di artesianità.

Nel caso del pozzo per uso idropotabile ed acquedottistico gestito da Acque S.p.a. denominato "Balducci Bis", ubicato circa 100 metri più ad ovest della ferrovia, e quindi dell'area ex Montecatini, il livello ghiaioso produttivo posto alla base della sequenza delle alluvioni fluviali è stato rintracciato tra -18 e -21 metri dal p.c.; il tratto filtrato del pozzo è stato collocato in esatta corrispondenza di tale livello, isolando poi il dreno in ghiaio del pozzo rispetto ai terreni soprastanti con un tampone in compactonite posto tra -10 e -14 metri dal p.c..

Il livello statico riferito per detto pozzo risulta di -6,31 metri dal p.c., il che conferma che la falda intercettata risulta descrivibile come una falda in leggera

pressione, confinata tra i terreni limo-argillosi fluviali soprastanti e l'argilla grigia compatta sottostante di origine marina pliocenica.

Sia la maggiore soggiacenza sia il confinamento rendono tale falda profonda assai più protetta della superficiale.

Anche sulla carta idrogeologica allegata allo strumento urbanistico è individuata tale situazione, distinguendo una falda superficiale da una falda profonda.

Allo scopo di definire le caratteristiche della falda superficiale, ed in particolare la sua profondità dal piano di campagna, un primo contributo risulta possibile in base alla cartografia idrogeologica dello Strumento Urbanistico comunale; in essa, la zona della ex Montecatini è compresa tra le curve isofreatiche dei 46 e dei 45 metri s.l.m., con direzione di flusso verso il Fiume Elsa ed, in particolare, da sud-est verso nord-ovest; ciò, tenuto conto che l'area ex Montecatini è posta alla quota di 48,5 ÷ 49,2 s.l.m. (quota meno elevata nel resede ad est degli edifici), corrisponderebbe ad una profondità di circa 2,5 ÷ 3,5 metri dal p.c..

Altro supporto per definire la profondità della falda è stato ricercato nella consultazione di dati geologici rintracciati negli archivi comunali, relativi ad indagini di supporto ad interventi edilizi sul territorio.

I dati reperiti in Comune sono relativi all'analisi di 14 pratiche edilizie (di cui due tuttavia relative a fasi diverse di studio dello stesso intervento).

La documentazione di natura geologica allegata a dette pratiche è stata attentamente analizzata, estraendo quei dati che potevano risultare utili ai nostri fini.

Nella figura 7 seguente sono indicati i siti disposti nei dintorni dell'area ex Montecatini da cui i dati analizzati provengono. Nella stessa figura sono riportate, per ogni sito, etichette in cui sono schematicamente descritti i dati di possibile interesse reperiti, in modo da poter rapidamente procedere ad una loro complessiva analisi e comparazione.

Occorre a questo punto notare che i dati reperiti non aggiungono molto alle informazioni in nostro possesso. Alcuni dei siti, ovvero quelli indicati con i numeri 4, 5, 10 e 14, ricadono in zona di versante, ovvero sui terreni di origine marina pliocenica e non sulle alluvioni fluviali di fondovalle su cui è posta l'area ex Montecatini; sono quest'ultimi i terreni che occorre caratterizzare per l'implementazione dei dati di natura geologica ed idrogeologica nell'Analisi di Rischio.

Il sito indicato con il numero 12 ricade in una stretta vallecchia secondaria (Borro dei Bersagli), ed anche qui dunque non si reperiscono informazioni che possono essere riferite all'area ex Montecatini, poiché non si può ipotizzare una omogeneità dei dati sedimentologici ed idrogeologici.

Purtroppo, gli unici dati granulometrici, che erano uno dei principali parametri ricercati per la classificazione del sedimento secondo gli indirizzi contenuti nelle Linee Guida APAT di marzo 2008, si riferiscono proprio a due dei siti ritenuti non utilizzabili (n. 5 e n. 12).

Negli studi geologici condotti per gli altri siti che ricadono in condizioni di pianura alluvionale simile a quella dell'area ex Montecatini non sono contenuti dati granulometrici di dettaglio, ovvero ottenuti con specifiche analisi.

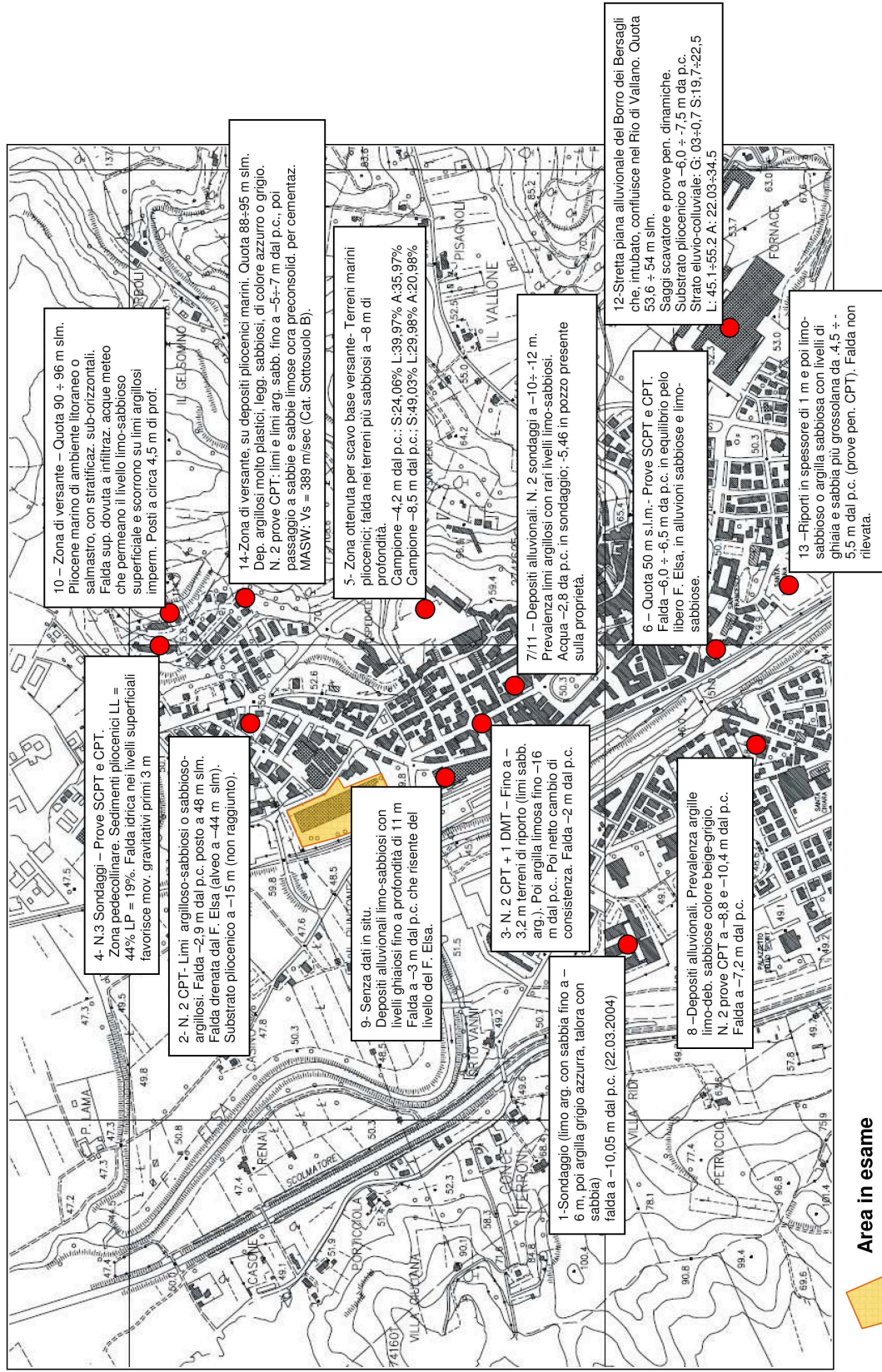


Figura 7

Da detti studi ricadenti in zone di pianura circostanti l'area ex Montecatini si può rilevare quanto segue:

- dal punto di vista litologico viene generalmente confermata la composizione prevalentemente limo-argilloso-sabbiosa dei sedimenti, con prevalenza della frazione limosa o limoso-argillosa e più rari livelli a maggior contenuto sabbioso;
- il substrato costituito dai depositi marini di età pliocenica si trova a profondità di almeno -16 metri dal piano di campagna (si veda il netto cambio di consistenza dei terreni determinato sul sito n. 3, posto circa 300 metri a sud dell'area ex Montecatini);
- la falda freatica è indicata alle seguenti profondità:
 - Sito n. 2 (300 metri a nord-est dell'area ex Montecatini): falda rilevata -2,9 metri dal p.c.;
 - Sito n. 9 (circa 100 metri a sud dell'area ex Montecatini): falda indicata a -3 metri dal p.c., ma sulla base di indicazioni generali e non direttamente rilevata *in situ*;
 - Sito n. 3 (200 metri a sud dell'area ex Montecatini): falda a -2 metri dal p.c.;
 - Sito n. 7 (circa 330 metri a sud dell'area ex Montecatini): falda a -2,8 metri dal p.c. in perforo di sondaggio; -5,46 metri dal p.c. in un pozzo presente sul lotto;
 - Sito 6 (circa 750 metri a sud dell'area ex Montecatini): falda a -6,0÷-6,5 metri dal p.c.; il sito si trova tuttavia a distanza ormai notevole dalla zona di interesse.

In sponda sinistra del fiume (dall'altro lato rispetto all'area ex Montecatini) i dati reperiti sui siti 1 e 8 indicherebbero una maggior profondità della falda (-7,2÷-10 metri dal p.c.), ma tale posizione risulta meno direttamente correlabile alla zona di attuale interesse.

I dati sopra riportati tendono dunque a definire, nei dintorni dell'area, una falda freatica posta a quota superficiale, che corrisponde assai bene con i dati indicati sulla carta idrogeologica allegata allo Strumento Urbanistico.

Non si ha invece corrispondenza con i dati freaticometrici indicati nello studio di Ambiente S.C., in cui a pagina 6, dove si danno indicazioni idrogeologiche generali, viene indicato un livello piezometrico all'interno dei terreni alluvionali a profondità variabile tra -5,2 e -5,6 metri dal p.c., mentre a pagina 13, dove si riportano le misurazioni di livello freatico condotte all'interno dei n. 4 piezometri installati, si osserva come la superficie piezometrica si attesti a quote di circa -8 metri dal piano di campagna, con livelli che indicano un andamento della falda con direzione prevalente da sud-est a nord-ovest.

Più in linea con la presenza di una falda più superficiale sono casomai le indicazioni riportate, nello stesso studio, sui report stratigrafici dei saggi di campionamento condotti con escavatore, che nella maggior parte dei casi descrivono la presenza di acqua nella parte terminale delle trincee esplorative che raggiungono la profondità di circa 3,3 ÷ 3,8 metri dal p.c..

Come ulteriori accertamenti, è possibile notare quanto segue:

sul lotto sono state ora condotte dal gruppo di progettazione alcune perforazioni atte a prelevare campioni di terreno superficiale su cui eseguire le determinazioni chimiche di alcuni parametri sito specifici da inserire nell'Analisi di Rischio, nonché campioni di suolo naturale, posto al di sotto dello strato dei terreni di riporto presenti sull'area, su cui eseguire analisi granulometriche.

In occasione di tali perforazioni, è stata constatata la presenza di acqua a quota molto superficiale, imputabile tuttavia ad una funzione di serbatoio delle acque meteoriche svolta dal riporto superficiale, acque che tendono poi a sgrondare nel perforo; non è apparso sensato attribuire tali acque alla falda superficiale, mentre è risultato evidente la funzione di potenziamento dell'infiltrazione delle acque meteoriche svolta dal riporto, la cui granulometria consente una buona permeabilità.

Uno degli accertamenti che fin dall'inizio del presente studio è apparso senz'altro interessante era il controllo del livello freatico nei quattro piezometri installati sull'area nel corso dello studio di Ambiente S.C.; in un primo momento non è risultato possibile rintracciare alcuno di essi, mentre successivamente è stato ritrovato, anche se in posizione leggermente diversa da quella indicata nelle planimetrie di Ambiente S.C., il piezometro P2, posto sul piazzale asfaltato in prossimità del vertice nord-est dell'area ex Montecatini.

In tale piezometro, in data 19 ottobre 2013, è stata rilevata presenza di acqua a -2,62 metri dal p.c..

Un controllo più approfondito di tutto il materiale fornito da Ambiente S.C. ha poi permesso di reperire, fra i certificati analitici di laboratorio delle acque sotterranee, il dettaglio delle letture freatiche condotte nei quattro piezometri, che sono le seguenti:

P1: - 2,47 metri

P2 - 8,11 metri

P3: -10,18 metri

P4: - 2,37 metri

Appare evidente la forte discrepanza e la non correlabilità dei dati, dovuta probabilmente al non raggiunto livello di equilibrio nei tubi piezometrici al momento della misurazione, fatto questo facilmente possibile in un acquifero essenzialmente limo-argilloso con sporadici livelli sabbiosi. Si nota peraltro che ora, in P2, il livello è risultato assai più superficiale di quanto riportato nella documentazione fornita.

In conclusione:

- il livello di falda rilevato *in situ* in P2 è risultato di -2,62 metri dal p.c.; il che, data la quota topografica del punto di misura, corrisponde ad una quota assoluta della tavola d'acqua di 45,88 metri s.l.m.;
- ciò è sostanzialmente concorde con le indicazioni contenute sulla carta idrogeologica allegata allo strumento urbanistico comunale;

- la direzione di flusso è sostanzialmente rivolta verso il corso del Fiume Elsa, il quale normalmente drena la falda, e più specificamente in direzione nord-ovest (concordemente con le indicazioni della carta idrogeologica comunale e con i contenuti dello studio di Ambiente S.C.);
- rifacendosi alla carta idrogeologica sopra già citata, il gradiente idraulico medio attribuibile per la falda in zona risulta di circa $1/140 = 0,007$;
- la falda sopra definita è una falda superficiale ubicata in terreni scarsamente permeabili; la falda sfruttata ad uso acquedottistico risiede invece in un livello ghiaioso posto alla base dei sedimenti fluviali limo-argillosi a circa 18 metri di profondità, dotato di permeabilità e trasmissività decisamente più elevate.

5. **ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITU SVOLTA DAL GRUPPO DI LAVORO.**



Foto n.1

Come già detto in precedenza, il gruppo di progettazione scrivente ha svolto un'attività di indagine *in situ* per la determinazione di parametri sito specifici di tipo chimico, chimico-fisico e geotecnico di carattere avanzato rispetto alle informazioni reperibili dagli studi compiuti in passato sull'area in esame, utili per la definizione di un primo livello di Modello Concettuale del Sito.

L'attività di indagine sulla matrice suolo è stata compiuta il giorno 19 ottobre 2013 mediante n.3 sondaggi ad infissione statica nei pressi delle trincee esplorative T1, T6 e T8.

Dal sondaggio prossimo a T1 sono stati prelevati un campione superficiale per le analisi chimiche (nel materiale di riporto con profondità e spessore analoghi a quello prelevato da Ambiente S.C. nel 2002) ed un campione più profondo per l'analisi granulometrica.

Dal sondaggio prossimo a T6 è stato prelevato un campione profondo per la sola analisi granulometrica.

Dal sondaggio prossimo a T8 è stato prelevato un solo campione superficiale per le analisi chimiche (nel materiale di riporto con profondità e spessore analoghi a quello prelevato da Ambiente S.C. nel 2002).

Nella tabella seguente vengono riepilogati i sondaggi eseguiti ed i campioni prelevati e nella figura 8 è rappresentata l'ubicazione degli stessi.

Tabella 3. Quadro riepilogativo dei campioni prelevati a ottobre 2013.

Campione	Profondità (m)	Analisi chimiche	Analisi granulometriche
T1	-0,2 ÷ -1,2	X	
T6	-2,5 ÷ -3,0		X
T8	-0,5 ÷ -1,5	X	
	-1,6 ÷ -2,4		X

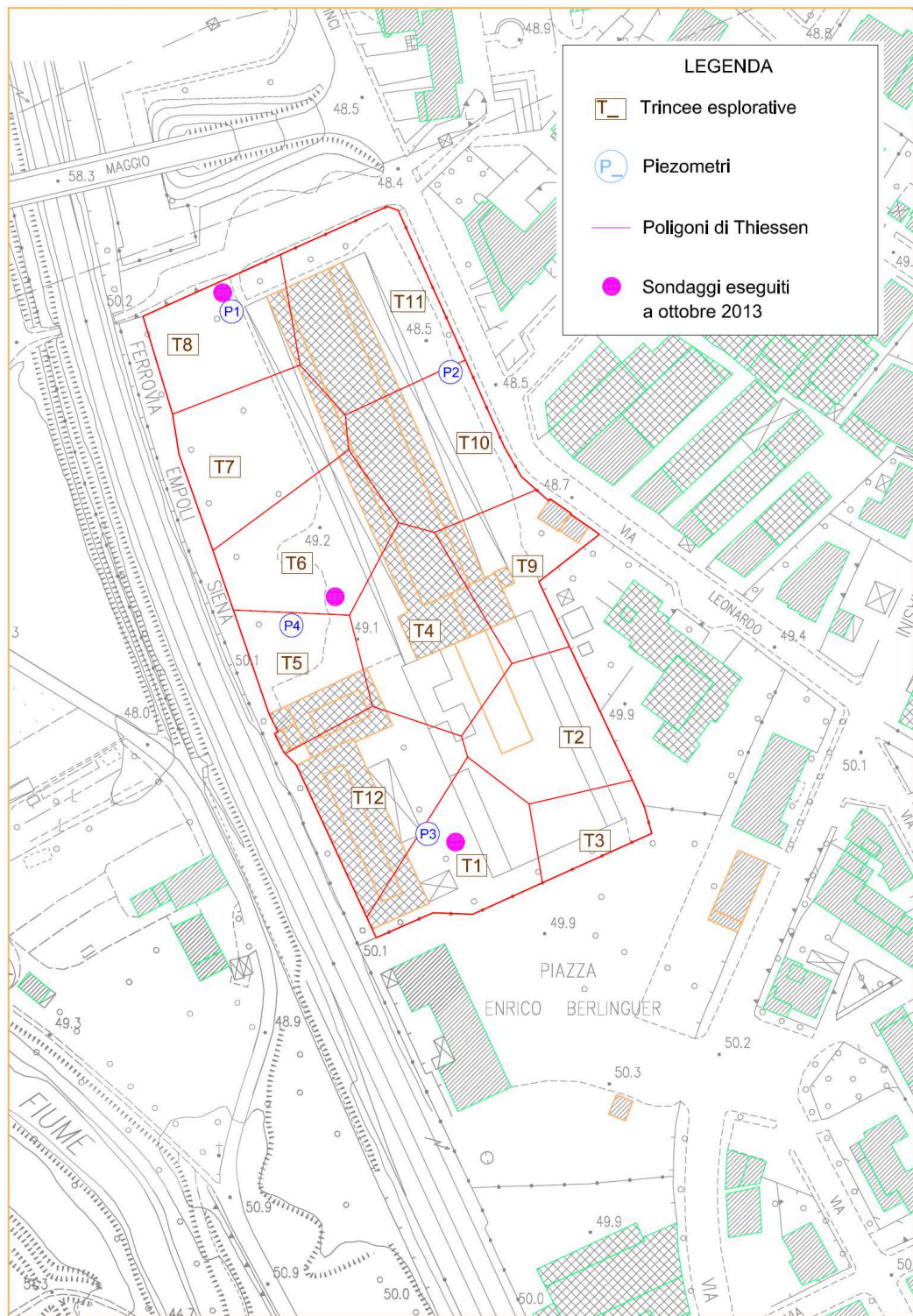


Figura 8.

5.1. Analisi chimiche.

Nella tabella seguente vengono riepilogati i parametri chimici ricercati nei due campioni di suolo superficiale.

Tabella 4. Parametri chimici.

Parametro	Metodo
TOC	D.M. 13/09/1999 Met. VII.3 + D.M. 25/03/2002
Umidità	D.M. 13/09/1999 Met. II.2
Coeff. ripartiz. solido-liquido Arsenico (Kd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020A 2007
Coeff. ripartiz. solido-liquido Cadmio (Kd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020A 2007
Coeff. ripartiz. solido-liquido Mercurio (Kd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020A 2007
Coeff. ripartiz. solido-liquido Piombo (Kd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020A 2007
Coeff. ripartiz. solido-liquido Rame (Kd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020A 2007
Coeff. ripartiz. solido-liquido Zinco (Kd)	EPA 3051A 2007 + EPA 6020A 2007
IPA	EPA 3540C 1996 + EPA 8270D 2007
Idrocarburi pesanti C>12	EPA 3540C 1996 + EPA 8015D 2003
Idrocarburi leggeri C<12	EPA 5021A 2003 + EPA 8015D 2003

La ricerca degli idrocarburi e degli IPA è stata funzionale alla speciazione delle varie frazioni idrocarburistiche secondo il MADEP, necessaria per l'elaborazione di un'Analisi di Rischio con presenza di tali sostanze.

Per tutti i metalli con superamento della C.S.C. per destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale è stato determinato il coefficiente di ripartizione solido/liquido secondo la metodica riportata in allegato al Parere congiunto ISS/APAT Prot. 011376 del 4 aprile 2007.

Infine, è stata eseguita la determinazione del carbonio organico totale e dell'umidità.

Le analisi chimiche sono state effettuate presso il laboratorio di analisi BIOCHEMIE LAB s.r.l. Via Francesco Petrarca n. 35/a, 35/b - 50041 Calenzano (FI); laboratorio accreditato ACCREDIA con n. 0195.

I certificati di analisi vengono accludi in allegato (**Allegato 1**).

Nella tabella seguente riportiamo i risultati delle analisi chimiche.

Tabella 5. Parametri chimici.

Sigla Sondaggio	Profondità	TOC	Umidità	Idrocarburi	
				C<12	C>12
		%	%	mg/Kg	mg/Kg
T1	-0,2 ÷ -1,2 m	2,7	16,4	< 1,0	8,1
T8	-0,5 ÷ -1,5 m	2,9	21,8	< 1,0	22,4
					IPA*
					mg/Kg
					< 1,00
					< 1,00

* Ogni singolo IPA ricercato è risultato in concentrazione inferiore al limite di rilevanza del metodo analitico utilizzato.

Tabella 6. Speciazione idrocarburi.

Sigla Sondaggio	Profondità	Frazioni di idrocarburi alifatici				Frazioni di idrocarburi aromatici		
		C5 - C8	C9 - C12	C13 - C18	C19 - C36	C9 - C10	C11 - C22	
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	
T1	-0,2 ÷ -1,2 m	< 1	< 1	< 5	8,1	< 0,1	< 0,1	
T8	-0,5 ÷ -1,5 m	< 1	< 1	< 5	22,4	< 0,1	< 0,1	

Tabella 7. Coefficienti di ripartizione solido-liquido dei metalli.

Sigla Sondaggio	Profondità	Coefficiente di ripartizione solido-liquido (Kd)					
		Arsenico	Cadmio	Mercurio	Piombo	Rame	Zinco
		L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg	L/Kg
T1	-0,2 ÷ -1,2 m	12.378	9.545	2.941	13.353	124.643	125.840
T8	-0,5 ÷ -1,5 m	30.950	3.478	1.200	45.238	94.875	25.095

La valutazione dei risultati sui campioni prelevati indica che:

- gli idrocarburi sono composti esclusivamente dalla frazione degli idrocarburi alifatici C19-C36, considerata immobile nei percorsi di esposizione indiretti dalla banca dati ISS;
- i coefficienti di ripartizione solido-liquido dei metalli presentano dei valori tipici di metalli con scarsa tendenza alla ripartizione in fase liquida.

5.2. Analisi geotecniche.

Le analisi geotecniche sono state effettuate presso il laboratorio SIGMA s.r.l. Via P. Gobetti n. 1 – 50013 Campi Bisenzio (FI); laboratorio autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove geotecniche sui terreni.

In allegato (**Allegato 2**) accludiamo le copie dei certificati delle analisi geotecniche.

Sui due campioni prelevati si sono ottenuti i seguenti risultati granulometrici.

Tabella 8. Granulometria campioni di terreno.

Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
T6	-2,5 ÷ -3,0 m dal p.c.	4,21%	11,39%	55,14%	22,97%
T8	-1,6 ÷ -2,4 m dal p.c.	0,27%	21,58%	53,43%	24,72%

Si riportano i dati granulometrici in diagramma triangolare.

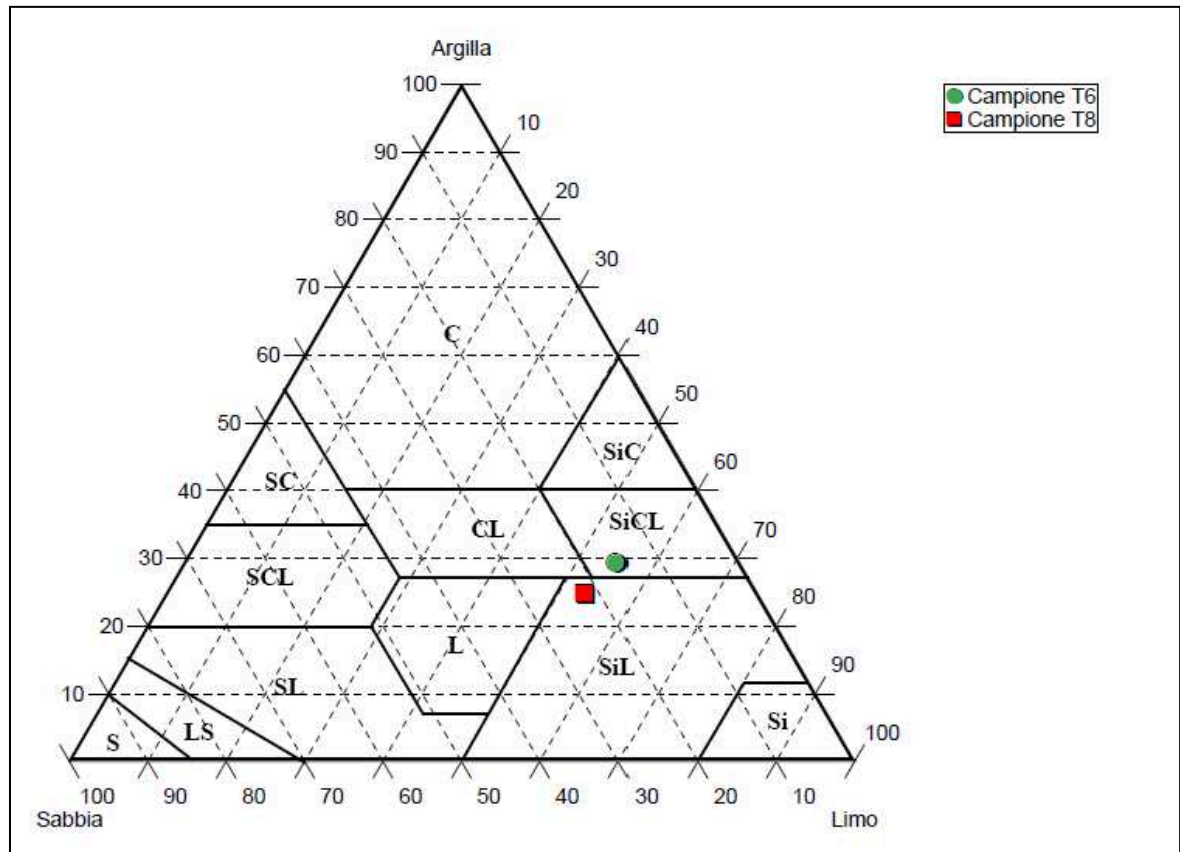


Figura 9

Come suggerito nel documento pubblicato dall'APAT "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*", si è proceduto alla classificazione granulometrica dei terreni secondo il sistema USDA.

Tale classificazione si basa sulla percentuale di sabbia-limo-argilla; la frazione ghiaiosa risultante dalle granulometrie è stata quindi accorpata alla frazione sabbiosa, giungendo in tal modo alla classificazione granulometrica.

I due campioni ricadono in punti molto prossimi, confermando la sostanziale uniformità granulometrica del sedimento analizzato.

I punti ricadono in due aree definite secondo la classificazione USDA, ovvero SiCL (Silty Clay Loam) e SiL (Silt Loam). I parametri sito specifici derivabili indirettamente da tale classificazione dovranno quindi essere mediati su queste due aree.

6. ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.

Nel presente capitolo vengono riportati inizialmente i dati sito specifici necessari alla definizione di un primo livello di Modello Concettuale ed i risultati della proposta di Analisi di Rischio relativa al sito in questione.

Il modello concettuale è stato formulato su uno scenario che prevede la presenza di zone ad uso misto residenziale, ricreativo e commerciale, con superfici esterne non completamente pavimentate e la presenza di ambienti confinati.

L'elaborazione dell'Analisi di Rischio è stata effettuata mediante il *software* Giuditta versione 3.2 prodotto dalla URS Italia S.p.a. e distribuito dal Servizio Bonifiche Siti Contaminati della Provincia di Milano.

La presente Analisi di Rischio è stata elaborata, ai sensi del D. Lgs. n. 152/06, al fine di identificare le Concentrazioni Soglia di Rischio (C.S.R.), in funzione delle quali impostare gli eventuali interventi di bonifica o di messa in sicurezza permanente.

6.1. Norme tecniche di riferimento.

L'esecuzione dell'Analisi di Rischio è stata condotta facendo riferimento - per quanto possibile - al documento "*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*" Revisione 2 di marzo 2008, elaborato dal Gruppo di Lavoro "Analisi di Rischio" istituito e coordinato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT, oggi ISPRA) e costituito da rappresentanti dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL) e del Sistema delle Agenzie per l'Ambiente (ARPA/APPA).

E' stato inoltre fatto riferimento a tutti i documenti di riferimento correlati disponibili sul sito *web* ISPRA - siti e suoli contaminati.

Nel documento APAT vengono fornite indicazioni tecniche per l'applicazione dell'Analisi di Rischio di Livello 2, così come definito dalla procedura RBCA (*Risk Based Corrective Action*) descritta negli standard ASTM E-1739-95, PS-104-98,

E-2081-00, sia in modalità diretta (*forward*), per il calcolo del rischio per l'uomo associato alla presenza di contaminanti nei comparti ambientali, sia in modalità inversa (*backward*), per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito specifici ovvero delle concentrazioni residue ammissibili (C.S.R.) in sorgente secondaria affinché non si verifichi rischio per la salute umana.

Il rischio viene valutato in maniera differente a seconda delle caratteristiche tossicologiche delle sostanze esaminate, distinguendo tra:

- sostanze cancerogene il cui rischio, riferito alla probabilità di assumere forme di cancro nel corso della vita, corrisponde al prodotto della dose cronica assunta giornalmente, da un recettore umano presente in sito, per un fattore correttivo detto *slope factor*. Tale parametro rappresenta il coefficiente angolare della retta che interpola, nella zona delle basse dosi, i risultati derivanti dai test effettuati in laboratorio. Il rischio individuale derivante dal singolo parametro, è ritenuto accettabile se inferiore a $1/1000000$ ($1 \cdot 10^{-6}$); il rischio cumulato, dovuto alla presenza di più parametri, è ritenuto accettabile se inferiore a $1/100000$ ($1 \cdot 10^{-5}$), così come indicato nel D. Lgs. n 152/06 e successive integrazioni (D. Lgs. n.4 del 16 gennaio 2008);
- sostanze tossiche il cui rischio, definito *Hazard Index* (HI), rappresenta il rapporto tra la dose massima assunta giornalmente e la dose tollerabile quotidiana, espressa per unità di peso corporeo, assimilabile dall'essere umano senza danni all'organismo. A livello internazionale, per le sostanze non cancerogene, è stato assunto un livello massimo di rischio accettabile, derivante dal singolo parametro (rischio individuale) e dalla presenza di più parametri (rischio cumulato), pari a $HI = 1$. In questo caso la dose di riferimento viene determinata sulla base della tossicità acuta della sostanza.

L'Analisi di Rischio può essere condotta a diversi livelli, differenti per grado di accuratezza, come specificato di seguito:

- livello 1 (*Tier 1*): valutazione preliminare che prevede il confronto tra la contaminazione rilevata in sito e le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (C.S.C.) del D. Lgs. n 152/06 (Parte Quarta, Titolo V, Allegato 5). Seguendo ipotesi conservative ed applicando modelli analitici semplificati, vengono calcolati i *Risk Based Screening Levels* (RBSL), valori generici, non sito specifici, delle concentrazioni ammissibili in sito affinché non si verifichi rischio per la salute umana. Il punto di esposizione coincide con la sorgente di contaminazione: vengono considerati esclusivamente i bersagli presenti in corrispondenti del sito (*on site*);
- livello 2 (*Tier 2*): determinazione di obiettivi di bonifica sito specifici (*backward mode*). Assumendo un sistema omogeneo ed isotropo, utilizzando dati di *input* derivanti da indagini di caratterizzazione del sito o, laddove non disponibili, bibliografici ed applicando modelli semplificati (che valutino i fattori coinvolti nel trasporto e, ove possibile, nella degradazione della contaminazione), si calcola il rischio nel punto di esposizione, effettivo o potenziale, considerando i bersagli presenti in corrispondenza del sito (*on site*) ed al confine dello stesso (*off site*). Il secondo livello di analisi prevede la determinazione dei *Site Specific Target Levels* (SSTL), ovvero le Concentrazioni Soglia di Rischio (C.S.R.), corrispondenti alla contaminazione residua ammissibile in sito affinché non si

verifichi rischio per la salute umana. In caso di superamento dei suddetti SSTL si rende necessaria la bonifica o la messa in sicurezza permanente del sito in oggetto;

- livello 3 (*Tier 3*): applicazione di modelli numerici e di analisi probabilistiche che, assumendo un sistema eterogeneo, consentono di delimitare la geometria della sorgente e di fissare le condizioni al contorno. Tale livello non trova applicazione nel presente studio poiché necessita di dati (chimici, biologici e fisici) aggiuntivi, indispensabili per la stima dei fenomeni di riduzione del carico inquinante, effettivamente in atto in sito. Inoltre, a vantaggio di un approccio molto prossimo alla realtà, la valutazione del rischio risulta meno conservativa.

Nel presente studio, al fine di valutare il livello di esposizione per i vari comparti ambientali e per l'uomo, connesso alla contaminazione riscontrata in sito, è stata effettuata una valutazione del rischio approfondita ad un livello di analisi "*Tier 2*".

L'elaborazione è stata sviluppata per fasi, seguendo il criterio riassunto di seguito:

- formulazione del Modello Concettuale del Sito (M.C.S.);
- ricerca di parametri sito specifici per l'implementazione dell'Analisi di Rischio;
- calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio (C.S.R.).

Ciascuna delle suddette fasi verrà descritta dettagliatamente nei capitoli successivi.

6.2. Formulazione del modello concettuale.

L'Analisi di Rischio di livello 2 prevede l'utilizzo di modelli analitici e la creazione di un modello concettuale che riesca a definire le tre componenti principali caratterizzanti il sito oggetto di studio:

Sorgente >>> Trasporto >>> Bersaglio

In base a quanto detto, il modello concettuale del sito deve essere formulato definendo:

- caratteristiche dominanti dell'ambiente con cui il sito interagisce;
- sorgente, grado ed estensione della contaminazione nei diversi comparti ambientali;
- percorsi di migrazione della contaminazione in relazione ai bersagli individuati.

6.2.1. Caratteristiche dominanti dell'ambiente con cui il sito interagisce.

L'individuazione e l'analisi dei potenziali percorsi di esposizione e dei bersagli e la definizione degli obiettivi di bonifica devono tenere presente la destinazione d'uso del sito prevista.

Al fine di individuare i rischi per i bersagli (fruitori dell'area e falda) ed i relativi percorsi di esposizione è stata ipotizzata la presenza di fabbricati ad uso residenziale e commerciale e la sistemazione delle aree esterne ricreative con presenza di aree non completamente pavimentate. A tale scenario corrispondono bersagli umani sia adulti sia bambini con presenza di spazi *indoor*. Tale scenario è trova rispondenza in quella che potrà essere la riqualificazione dell'area ex Montecatini, in cui è previsto il recupero di gran parte dei fabbricati esistenti, con allocazione di residenze ed attività commerciali ed aree contermini adibite ad usi ricreativi.

E' stata, pertanto, condotta sia un'elaborazione per l'uso residenziale/ricreativo sia per l'uso commerciale, con la determinazione dei rispettivi livelli di rischio e concentrazioni soglia.

Per quanto riguarda la verifica del rispetto dei limiti normativi nelle acque sotterranee, il punto di conformità, lungo la direzione di falda, è stato fatto coincidere con il sito stesso, ossia praticamente coincidente con la sorgente di contaminazione.

6.2.2. Sorgente, grado ed estensione della contaminazione nei diversi comparti ambientali.

In relazione ai risultati della campagna di indagini svolta da Ambiente S.C., integrata da quella eseguite dal gruppo di progettazione scrivente, la sorgente viene fatta coincidere con l'intera estensione dell'area. Il terreno di riporto (matrice suolo rimaneggiata) viene considerato come una sorgente secondaria di contaminazione, in parte congenita al riporto stesso ed in parte indotta da diffuse sorgenti primarie collegate alle attività svolte in passato sul sito ed oggi non più attive.

Concentrazione caratteristica della sorgente.

L'elaborazione dell'Analisi di Rischio è stata eseguita inserendo nel *software* i valori di concentrazione per i quali si sono registrati superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione per la destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale.

Per gli idrocarburi C>12 è stata eseguita la speciazione secondo l'approccio MADEP e sono risultati composti interamente dalla frazione degli idrocarburi alifatici C19-36.

Per i campioni formati da prelievi effettuati sia in suolo superficiale (da 0 a -1 metro dal p.c.) sia in suolo profondo (oltre -1 metro dal p.c.) è stato inserito lo stesso valore di concentrazione per entrambi i comparti.

Come valore di umidità del suolo è stato utilizzato il valore medio delle due determinazioni eseguite sui campioni prelevati in T1 e T8, ovvero 19,1 %.

Tabella 9. Valori di concentrazione inseriti nel software.

Campione	Punto	Profondità Z (m)	Parametro	Conc. (mg/kg s.s.)
C1/a -0,2 m ÷ -1,2 m	C1/a/1	1	Cadmio	2,01
			Mercurio	5,43
			Piombo	1.847,36
			Rame	700,00
			Zinco	675,43
			Idrocarburi alifatici C19-36	143,00
	C1/a/1,2	1,2	Cadmio	2,01
			Mercurio	5,43
			Piombo	1.847,36
			Rame	700,00
			Zinco	675,43
			Idrocarburi alifatici C19-36	143,00
C2/a -1,0 m ÷ -1,9 m	C2/a/1,9	1,9	Piombo	141,00
			Rame	179,00
C3/a -1,6 m ÷ -2,1 m	C3/a/2,1	2,1	Cadmio	3,08
			Rame	23.085,10
			Zinco	3.105,31
C4/a -0,3 m ÷ -1,5 m	C4/a/1	1	Piombo	2.671,00
			Rame	877,00
			Zinco	215,00
	C4/a/1,5	1,5	Piombo	2.671,00
			Rame	877,00
			Zinco	215,00
C5/a -0,0 m ÷ -1,6 m	C5/a/1	1	Arsenico	113,25
			Cadmio	6,58
			Mercurio	1,25
			Piombo	775,83
			Rame	302,50
			Zinco	885,83
	C5/a/1,6	1,6	Arsenico	113,25
			Cadmio	6,58
			Mercurio	1,25
			Piombo	775,83
			Rame	302,50
			Zinco	885,83
C6/a -1,6 m ÷ -2,1 m	C6/a/2,1	2,1	Cadmio	2,94
			Mercurio	1,51
			Piombo	79.803,00
			Idrocarburi alifatici C19-36	247,00

Campione	Punto	Profondità Z (m)	Parametro	Conc. (mg/kg s.s.)
C7/a -0,0 m ÷ -0,8 m	C7/a/0,8	0,8	Arsenico	37,20
			Mercurio	3,20
			Piombo	587,00
			Idrocarburi alifatici C19-36	66,00
C7/b -1,8 m ÷ -2,5 m	C7/b/2,5	2,5	Mercurio	3,10
			Piombo	813,00
C8/a -0,5 m ÷ -1,5 m	C8/a/1	1	Mercurio	1,16
			Piombo	1.178,00
			Rame	293,00
			Zinco	319,00
			Idrocarburi alifatici C19-36	260,00
			Benzo(a)pirene	0,29
			Benzo(g,h,i)perilene	0,18
			Dibenzo(a,h)antracene	0,17
	Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,12		
	C8/a/1,5	1,5	Mercurio	1,16
			Piombo	1.178,00
			Rame	293,00
			Zinco	319,00
			Idrocarburi alifatici C19-36	260,00
			Benzo(a)pirene	0,29
			Benzo(g,h,i)perilene	0,18
Dibenzo(a,h)antracene			0,17	
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,12			
C9/a -0,3 m ÷ -1,0 m	C9/a/1	1	Arsenico	20,56
			Mercurio	1,68
			Piombo	660,00
			Rame	586,00
C10/a -0,3 m ÷ -1,0 m	C10/a/1	1	Piombo	453,00
			Zinco	152,00
C12/a -0,3 m ÷ -0,6 m	C12/a/0,6	0,6	Piombo	1.025,00
			Idrocarburi alifatici C19-36	63,00

Il numero di dati disponibili (n<10) per ogni parametro e per ogni comparto ambientale (suolo superficiale e suolo profondo) non è sufficiente al trattamento statistico per definire la concentrazione rappresentativa dell'areale sorgente di contaminazione. Le concentrazioni rappresentative di ogni parametro per il suolo superficiale e per il suolo profondo sono riportate nella tabella seguente e corrispondono al valore massimo riscontrato nelle indagini di Ambiente S.C.. Tali valori sono quelli utilizzati dal software per il calcolo del rischio in modalità diretta nei confronti della falda e dei bersagli umani nelle due destinazioni d'uso

previste (residenziale e commerciale). Tra parentesi è riportato il valore di concentrazione sul *tal quale*. (il *software* utilizza quest'ultimo, calcolato dalla concentrazione sulla sostanza secca con il valore di umidità inserito).

Tabella 10. Concentrazioni rappresentative della sorgente.

Contaminante	Suolo superficiale (0 m ÷ -1 m)	Suolo profondo (< -1 m)
Arsenico	113,25 (91,73)	113,25 (91,73)
Cadmio	6,58 (5,33)	6,58 (5,33)
Mercurio	5,43 (4,40)	5,43 (4,40)
Piombo	2.671,00 (2.163,51)	79.803,00 (64.640,43)
Rame	877,00 (710,37)	23,085,10 (18.698,93)
Zinco	885,83 (717,52)	3.105,31 (2.515,30)
Idrocarburi alifatici C19-36	260,00 (210,60)	260,00 (210,60)
Benzo(a)pirene	0,29 (0,23)	0,29 (0,23)
Benzo(g,h,i)perilene	0,18 (0,15)	0,18 (0,15)
Dibenzo(a,h)antracene	0,17 (0,14)	0,17 (0,14)
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,12 (0,10)	0,12 (0,10)

Determinazione sperimentale dei coefficienti di ripartizione solido-liquido.

I coefficienti di ripartizione solido-liquido dei metalli sono stati determinati sperimentalmente sui due campioni sottoposti ad analisi chimiche secondo la metodica standardizzata messa a punto da APAT e ISS nell'ambito dell'attività del gruppo di lavoro APAT-ARPA-ISS-ISPEL per l'Analisi di Rischio applicata ai siti contaminati. La metodica è riportata in allegato al Parere congiunto ISS/APAT Prot. 011376 del 4 aprile 2007.

Il coefficiente di ripartizione solido-liquido misura la naturale tendenza di un contaminante a ripartirsi tra la fase solida e la fase liquida.

Per i metalli i fenomeni di adsorbimento risultano estremamente più complessi rispetto ai contaminanti organici, dipendendo da numerosi fattori geochimici (pH, contenuto di argilla, di materia organica ed ossidi di ferro, condizioni redox, presenza di altre specie chimiche, forma in cui si trova il metallo). Il numero di fattori influenti sui fenomeni di adsorbimento dei metalli e la loro variabilità in natura portano ad una variabilità estremamente elevata nei valori del coefficiente di ripartizione solido/liquido.

La metodica proposta da APAT-ISS permette la valutazione dell'effettiva ripartizione tra fase solida e fase liquida del contaminante al momento della caratterizzazione del sito ed il valore determinato può essere utilizzato nell'implementazione dell'Analisi di Rischio sito specifica.

Per l'elaborazione è stata utilizzata la media dei due valori determinati per

ciascun metallo nei campioni prelevati per le analisi chimiche.

Tabella 11. Kd utilizzati nel software.

Parametro	Kd (L/Kg)
Arsenico	21.664
Cadmio	6.512
Mercurio	2.071
Piombo	29.296
Rame	109.759
Zinco	75.468

I valori sperimentali indicano che i metalli sono presenti in una forma (ossidi o solfuri) con scarsa tendenza al passaggio nella fase liquida, tendendo a rimanere adsorbiti alla matrice solida.

A titolo comparativo riportiamo una tabella dell'Agencia EPA statunitense dove sono riportati i valori di Kd di alcuni metalli determinati sperimentalmente.

Tabella 12. Valori di Kd per alcuni metalli (U.S. EPA, 2000).

Elemento	N. di valori utilizzati	Media	Deviazione standard	Mediana	Minimo	Massimo
Ag	9	1805.24	2144.93	1200	26.8	6700
As	35	2363.82	4022.42	225	0.005	20412
B	34	1.39	1.07	1165	0.06	3.99
Ba	2	698.75	928.08	698.75	42.5	1355
Be	2	5186.25	6807.67	5186.25	372.5	10000
Cd	102	935.50	2196.15	202.85	2	18263
Co	20	2123.15	3259.10	935	19	14000
Cr (III)	25	7696.44	7038.37	5977	25	24217
Cr (VI)	21	305.78	571.59	26.9	0.2	1729
Cu	22	669.68	919.08	476	25	4318
Hg	9	4542.54	4185.96	4500	0.22	10526.7
Mn	12	536.33	1155.32	113	34	4100
Mo	5	66.10	81.59	10.56	2.75	162.5
Ni	40	1444.46	1816.82	445	3	7250
Pb	39	18599.21	22163.92	5310	14	67856
Sb	2	12.50	2.12	12.5	11	14
Se	14	23.09	12.36	24.76	2.17	46.7
Sn	2	4950.00	3959.80	4950	2150	7750
V	2	202.50	180.31	202.5	75	330
Zn	40	3584.54	5324.70	2019.5	2.7	28000

In merito alle proprietà chimico-fisiche degli idrocarburi alifatici C19-36, la banca dati ISS/ISPESL considera tali inquinanti immobili e, pertanto, i rischi correlati alle vie indirette dovrebbero essere nulli.

La banca dati di Giuditta versione 3.2 (a differenza della versione precedente 3.1) pone arbitrariamente uguali a zero i parametri chimico-fisici di tali idrocarburi, tra cui il Koc (coefficiente di ripartizione nel carbonio organico). Ponendo il Koc uguale a zero si ipotizza che il contaminante si ripartisca completamente in fase

acquosa, che è l'esatto contrario dell'immobilità.

Pertanto, al fine di non escludere a priori i rischi correlati alle vie indirette di esposizione, nella banca dati della versione utilizzata del software sono stati inseriti i valori dei parametri chimico-fisici (P.M., Koc e Kow) presenti nella precedente versione 3.1 di Giuditta.

Geometria della sorgente.

Nell'elaborazione la sorgente di contaminazione è stata assunta come coincidente con l'estensione dell'intero sito, tralasciando un'eventuale delimitazione della sorgente mediante poligoni di Thiessen o celle a maglia regolare.

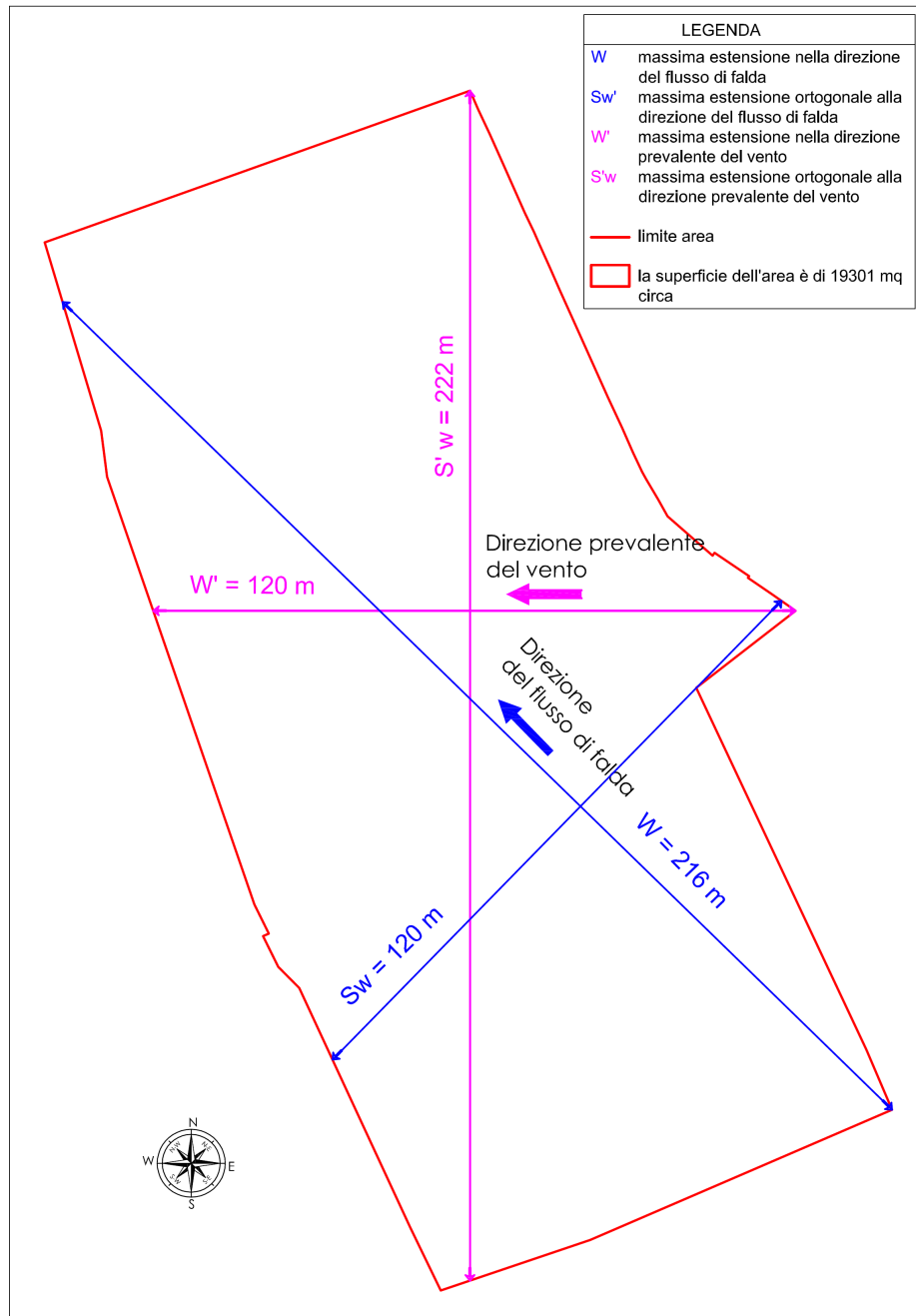


Figura 10

Facendo riferimento alla Figura 10, riportiamo di seguito le caratteristiche geometriche della sorgente. Come già detto in precedenza, per la direzione della falda abbiamo assunto una direzione da sud-est a nord-ovest. Per la direzione prevalente del vento occorre fare riferimento ai successivi paragrafi.

Suolo superficiale.

Tabella 13. Parametri sorgente suolo superficiale.

Contaminante	Wss (Sw) Larghezza s.s. perpendicolare direzione falda (cm)	Wvs (W') Larghezza sorgente s.s. nella direzione del vento dominante (cm)	Lss (W) Lunghezza sorgente s.s. nella direzione della falda (cm)
Arsenico	12.000	12.000	21.600
Cadmio	12.000	12.000	21.600
Mercurio	12.000	12.000	21.600
Piombo	12.000	12.000	21.600
Rame	12.000	12.000	21.600
Zinco	12.000	12.000	21.600
HC alif. C19-36	12.000	12.000	21.600
Benzo(a)pirene	12.000	12.000	21.600
Benzo(g,h,i)perilene	12.000	12.000	21.600
Dibenzo(a,h) antracene	12.000	12.000	21.600
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	12.000	12.000	21.600

Suolo profondo.

Tabella 14. Parametri sorgente suolo profondo.

Contaminante	Wsp (Sw) Larghezza sorgente in s.p. (cm)	Lsp (W) Lunghezza sorgente in s.p. nella direzione della falda (cm)	Sdsp Spessore sorgente in s.p. (cm)	Wvp (W') Lunghezza sorgente in s.p. in direzione del vento dominante (cm)
Arsenico	12.000	21.600	150	12.000
Cadmio	12.000	21.600	150	12.000
Mercurio	12.000	21.600	150	12.000
Piombo	12.000	21.600	150	12.000
Rame	12.000	21.600	150	12.000
Zinco	12.000	21.600	150	12.000
HC alif. C19-36	12.000	21.600	150	12.000
Benzo(a)pirene	12.000	21.600	150	12.000
Benzo(g,h,i)perilene	12.000	21.600	150	12.000
Dibenzo(a,h) antracene	12.000	21.600	150	12.000
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	12.000	21.600	150	12.000

Falda.

Tabella 15. Parametri sorgente falda.

Contaminante	Sw-w Larghezza sorgente in falda (cm)	Sd-w Spessore sorgente in falda (cm)
Arsenico	0	0
Cadmio	0	0
Mercurio	0	0
Piombo	0	0
Rame	0	0
Zinco	0	0
HC alif. C19-36	0	0
Benzo(a)pirene	0	0
Benzo(g,h,i)perilene	0	0
Dibenzo(a,h) antracene	0	0
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0	0

Gli esiti delle analisi chimiche delle acque di falda avevano evidenziato il rispetto della concentrazione limite per tutti i parametri ricercati, con l'unica eccezione del parametro solfati, per il quale era stata accertata una contaminazione diffusa su tutti e quattro i piezometri, sia di monte sia di valle idrogeologico rispetto alla direzione prevalente di flusso della falda interferente con il sito in esame.

Lo spessore della sorgente in suolo profondo è pari alla massima profondità con superamento delle C.S.C. per almeno uno dei contaminanti presenti (da -1,0 fino a -2,5 metri per la trincea T7).

6.2.3. Percorsi di migrazione della contaminazione in relazione ai bersagli individuati.

È stata condotta un'analisi per l'individuazione dei percorsi di migrazione attivi, delle modalità di esposizione e dei recettori che possono potenzialmente entrare in contatto con le sostanze presenti nel sottosuolo del sito in esame.

Comparti ambientali.

Si mostrano, di seguito, i comparti ambientali coinvolti nell'elaborazione in esame:

- suolo superficiale: il livello più superficiale di sottosuolo, compreso tra il piano campagna ed 1 metro di profondità;
- suolo profondo: il livello di sottosuolo compreso tra la base del precedente e la massima profondità indagata (-2,5 metri);
- aria *outdoor*: la porzione di ambiente aperto, aeriforme, ove si possono avere concentrazioni di vapori di sostanze inquinanti, provenienti dal sottosuolo o sospensione di particolato contaminato;
- aria *indoor*: la porzione di ambiente confinato, aeriforme, ove si può avere sospensione di particolato contaminato entrato dall'ambiente esterno; cautelativamente il fattore di emissione in ambiente *indoor* è posto dal

software pari a 1 (in pratica coincide con l'esposizione *outdoor*);

- acque sotterranee: le acque sotterranee eventualmente contaminate dalla lisciviazione di sostanze inquinanti presenti nel terreno insaturo.

Percorsi di esposizione.

Per gli scenari considerati, sono state attivate le modalità di contatto, tra l'inquinante ed il bersaglio della contaminazione, riportate di seguito:

- ingestione di suolo;
- contatto dermico;
- inalazione polveri all'aperto (*outdoor*) da suolo superficiale;
- inalazione polveri al chiuso (*indoor*) da suolo superficiale;
- inalazione vapori all'aperto (*outdoor*) da suolo superficiale;
- inalazione vapori al chiuso (*indoor*) da suolo superficiale;
- inalazione vapori all'aperto (*outdoor*) da suolo profondo;
- inalazione vapori al chiuso (*indoor*) da suolo profondo;
- migrazione della contaminazione lisciviata dal terreno nelle acque di falda.

Non sono stati presi in considerazione, non essendo risultata contaminata, né percorsi di esposizione dalla falda né da prodotto libero.

Meccanismi di trasporto.

Lo schema riportato di seguito, sintetizza i meccanismi di trasporto mediante i quali i bersagli potrebbero entrare in contatto con le specie chimiche contaminanti considerate nello scenario di rischio elaborato.

Tabella 16. Meccanismi di trasporto e sorgenti.

sorgente contaminazione	terreno superficiale (< 1 m)	terreno profondo (> 1 m)	Disciolta nelle acque sotterranee	Prodotto in fase libera
meccanismi trasporto/contatto				
erosione del vento e dispersione atmosferica	X	-	-	-
volatilizzazione e dispersione atmosferica	X	X	-	-
volatilizzazione e accumulo in spazi confinati	X	X	-	-
lisciviazione/trasporto nelle acque sotterranee	X	X	-	-
Migrazione del prodotto in fase libera	-	-	-	-
Dilavamento/trasporto in acque superficiali	-	-	-	-
contatto dermico/ingestione suolo	X	-	-	-

Recettori/Bersagli.

I bersagli sono identificati in funzione delle destinazioni d'uso previste nel sito, ovvero per un uso misto residenziale, ricreativo e commerciale.

I recettori presenti in corrispondenza del sito (*on-site*) saranno, pertanto, gli adulti ed i bambini.

Inoltre, per la verifica del rispetto dei limiti normativi nelle acque sotterranee, il punto di conformità, lungo la direzione di falda, è stato fissato coincidente con il

sito stesso.

Il punto di conformità per le acque sotterranee rappresenta il punto a valle idrogeologico della sorgente, al quale deve essere garantito il ripristino dello stato originale (ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo onde consentire tutti i suoi usi potenziali. Il punto di conformità deve essere fissato non oltre i confini del sito.

Di seguito riportiamo uno schema generale delle sorgenti, meccanismi di trasporto, modalità di esposizione e bersagli nel quale vengono evidenziati quelli considerati nella presente elaborazione.

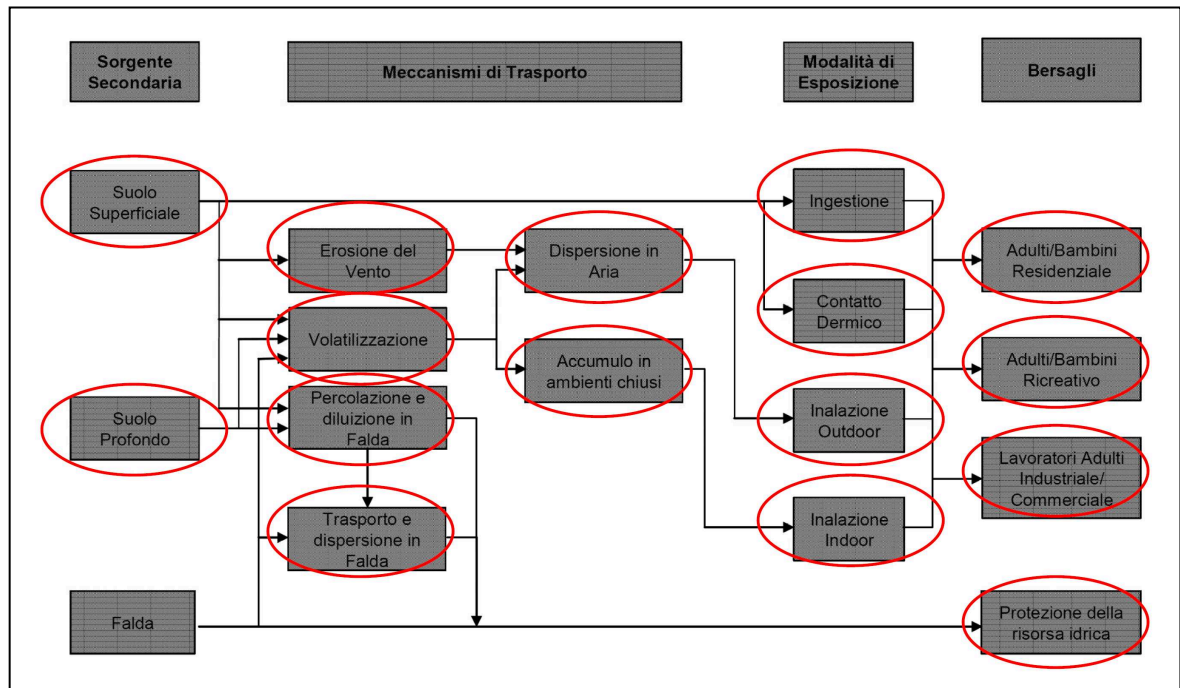


Figura 11

6.3. Parametri caratteristici del sito.

Per la definizione dei parametri caratteristici del sito sono stati utilizzati:

- i risultati delle prove di laboratorio geotecnico (analisi granulometriche), condotte sui due campioni di terreno disturbati, prelevati nell'insaturo (ma senz'altro in zona di frangia capillare); dalla classificazione granulometrica dei terreni secondo il sistema USDA sono stati ricavati, mediante apposite tabelle di seguito riportate, alcuni dei parametri caratteristici richiesti per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio;
- il valore di soggiacenza piezometrica rilevato il 19 ottobre 2013 nel piezometro P2 installato nel corso della campagna di monitoraggio di Ambiente S.C..

6.3.1. Parametri zona insatura.

Densità secca o massa volumica apparente, ρ_s (g/cm³).

Essendo un parametro con bassa sensitività è stato utilizzato il valore di *default* proposto dalle Linee Guida APAT, ovvero **1,7**.

Frazione di carbonio organico nel non saturo F_{oc} , (adim).

Il contenuto di carbonio organico è stato ricercato nei due campioni prelevati il 19 ottobre e sottoposti ad analisi chimica. E' stata utilizzata la media dei due valori determinati, ovvero **0,028**.

Contenuto volumetrico di aria nel non saturo, θ_a (adim).

Mediante la successiva Tabella 17, si è valutato indirettamente il parametro adimensionale θ_a , che equivale alla differenza tra la porosità totale ed il contenuto volumetrico di acqua; considerando il valore medio corrispondente alle tessiture *Silt Loam* (0,128) e *Silty Clay Loam* (0,095) tale valore è stato posto uguale a **0,112**.

Contenuto volumetrico di acqua nel non saturo, θ_w (adim).

Ancora tramite la Tabella 17 è stato stimato indirettamente il dato adimensionale θ_w , che esprime il rapporto tra il volume di acqua contenuto nel suolo e il volume totale di suolo.

Anche in questo caso è stato considerato il valore medio corrispondente alle tessiture *Silt Loam* (0,255) e *Silty Clay Loam* (0,246) e cioè **0,251**.

Tabella 17. Valori di θ_T , θ_r , θ_e , θ_w e θ_a in funzione della distribuzione granulometrica.

Tessitura	θ_T	θ_r	θ_e	θ_w	θ_a
Sand	0,43	0,045	0,385	0,068	0,317
Loamy Sand	0,41	0,057	0,353	0,103	0,250
Sandy Clay Loam	0,41	0,065	0,345	0,194	0,151
Sandy Loam	0,39	0,100	0,290	0,178	0,112
Loam	0,43	0,078	0,352	0,213	0,139
Silt Loam	0,45	0,067	0,383	0,255	0,128
Clay Loam	0,41	0,095	0,315	0,200	0,115
Silty Clay Loam	0,43	0,089	0,341	0,246	0,095
Silty Clay	0,36	0,070	0,290	0,274	0,016
Silt	0,46	0,034	0,426	0,278	0,148
Sandy Clay	0,38	0,100	0,280	0,288	0,052
Clay	0,38	0,068	0,312	0,304	0,008

6.3.2. Parametri zona satura.**Soggiacenza della falda, L_{GW} (cm).**

Rappresenta la distanza tra il piano campagna e la superficie piezometrica dell'acquifero.

Per l'elaborazione dell'Analisi di Rischio è stato considerato il valore misurato nel piezometro P2 il 19 ottobre 2013, ovvero **262 centimetri**.

Spessore della frangia capillare, h_{cap} (cm).

La frangia capillare rappresenta la zona posta subito al di sopra della superficie piezometrica cui è idraulicamente legata, ed è caratterizzata da un coefficiente di saturazione superiore al 75%. Tale spessore è legato alla granulometria dei

terreni, essendo inversamente proporzionale alle dimensioni granulometriche; esso è stato stimato secondo quanto riportato in Tabella 18. Considerando il valore medio corrispondente alle tessiture *Silt Loam* (68,2) e *Silty Clay Loam* (133,9), è stato posto uguale a **101,05 centimetri**.

Tabella 18. Valori di h_{cap} in funzione della distribuzione granulometrica.

Tessitura del suolo	h_{cap} (cm) (Fetter, 1994)
Sand	10
Loamy Sand	18,8
Sandy Clay Loam	25
Sandy 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	81,50

Contenuto d'aria in frangia capillare: $\theta_{a,cap}$ (adim) e contenuto d'acqua in frangia capillare: $\theta_{w,cap}$ (adim).

Entrambi questi parametri adimensionali, utili a valutare la volatilizzazione degli inquinanti presenti nell'acquifero superficiale, sono ricavabili dalla seguente Tabella 19.

Tabella 19. Valori di θ_T , θ_r , θ_e , $\theta_{w,cap}$ e $\theta_{a,cap}$ in funzione della distribuzione granulometrica.

Tessitura	θ_T	θ_r	θ_e	$\theta_{w,cap}$	$\theta_{a,cap}$
Sand	0,43	0,045	0,385	0,330	0,055
Loamy Sand	0,41	0,057	0,353	0,318	0,035
Sandy Clay Loam	0,41	0,065	0,345	0,288	0,057
Sandy Loam	0,39	0,100	0,290	0,248	0,042
Loam	0,43	0,078	0,352	0,317	0,035
Silt Loam	0,45	0,067	0,383	0,297	0,086
Clay Loam	0,41	0,095	0,315	0,288	0,027
Silty Clay Loam	0,43	0,089	0,341	0,317	0,024
Silty Clay	0,36	0,070	0,290	0,282	0,008
Silt	0,46	0,034	0,426	0,383	0,043
Sandy Clay	0,38	0,100	0,280	0,252	0,028
Clay	0,38	0,068	0,312	0,308	0,004

Considerando i valori medi corrispondenti alle tessiture *Silt Loam* e *Silty Clay Loam*, i valori utilizzati sono pari a **0,055** per $\theta_{a,cap}$ ed a **0,307** per $\theta_{w,cap}$.

Conducibilità idraulica, K_{sat} (m/giorno).

La conducibilità idraulica (coefficiente di permeabilità), è un parametro che indica la capacità di un terreno di trasmettere l'acqua; il suo valore è in massima parte legato alla porosità (efficace) dell'acquifero.

Questo parametro è stato valutato indirettamente tramite la tabella 20, in funzione della tessitura dei campioni prelevati.

Tabella 20: valori di K_{sat} in funzione della distribuzione granulometrica.

Tessitura del suolo	K_{sat} (cm/s) (Carsel and Parrish, 1988)
Sand	$8,25 \times 10^{-3}$
Loamy Sand	$4,05 \times 10^{-3}$
Sandy Clay Loam	$3,64 \times 10^{-4}$
Sandy Loam	$1,23 \times 10^{-3}$
Loam	$2,89 \times 10^{-4}$
Silt Loam	$1,25 \times 10^{-4}$
Clay Loam	$7,22 \times 10^{-5}$
Silty Clay Loam	$1,94 \times 10^{-5}$
Silty Clay	$5,56 \times 10^{-6}$
Silt	$6,94 \times 10^{-5}$
Sandy Clay	$3,33 \times 10^{-5}$
Clay	$5,56 \times 10^{-5}$

Il valore di K_{sat} utilizzato nel *software* è $7,22 \times 10^{-5}$ cm/sec, pari al valore medio corrispondente alle tessiture *Silt Loam* ($1,25 \times 10^{-4}$) e *Silty Clay Loam* ($1,94 \times 10^{-5}$). Convertendolo nelle unità di misura richieste, si ottiene un valore di **0,0624 m/giorno**.

Gradiente idraulico in zona satura, i (adim).

Rifacendosi alla carta idrogeologica allegata allo strumento urbanistico comunale, il gradiente idraulico medio attribuibile per la falda in zona risulta di circa 1/140, ovvero **0,007**.

Porosità efficace, θ_e (adim).

Questo parametro adimensionale è stato ricavato ancora mediante la Tabella 19. Considerando il valore medio corrispondente alle tessiture *Silt Loam* (0,383) e *Silty Clay Loam* (0,341), il valore utilizzato è pari a **0,362**.

Infiltrazione efficace, I_{ef} (m/anno).

Questo dato, che indica la quantità di acqua meteorica che si infila nel suolo, è legato alle precipitazioni atmosferiche e alla granulometria del terreno; per un suolo a tessitura prevalentemente limosa (*Silt Loam*) si può utilizzare la seguente relazione:

$$I_{eff} = 0,0009 \times P^2$$

Per un suolo a tessitura prevalentemente argillosa (*Silty Clay Loam*) si può invece utilizzare la seguente relazione:

$$I_{\text{eff}} = 0,00018 \times P^2$$

In entrambi i casi sono previsti valori di precipitazione media annua (P) e di infiltrazione efficace espressi in cm/anno.

Per il caso in questione sarà utilizzato il valore medio calcolate per le due tessiture.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli del Servizio Idrologico Regionale relativamente alla stazione di Castelfiorentino (TOS01004971, UTM [M] E 6590024 N 4829794, 49,75 m s.l.m.).

Tabella 21. Dati pluviometrici espressi in mm/anno.

Anno									
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
680,4	771,8	760,8	645,0	565,6	816,0	659,5	1.114,6	487,0	890,4

Prendendo cautelativamente il valore di piovosità maggiore (P = 111,46 cm/anno), considerando l'ipotesi di un'area pavimentata discontinua in ambiente urbano, si è ritenuto ragionevole effettuare una riduzione del 30% delle acque infiltrate:

$$P' = P \times 0,7 = 78,022 \text{ cm/anno}$$

Utilizzando il valore corretto di P otteniamo per le due tessiture:

Per terreno limoso $I_{\text{eff}} = 0,0009 \times (78,022)^2 = 5,48 \text{ cm/anno} = 0,0548 \text{ m/anno}$

Per terreno argilloso $I_{\text{eff}} = 0,00018 \times (78,022)^2 = 1,10 \text{ cm/anno} = 0,0110 \text{ m/anno}$

Il valore utilizzato è pari alla media dei due: **0,0329 m/anno**.

Densità secca dell'acquifero (g/cm³).

Essendo un parametro con bassa sensibilità è stato utilizzato il valore di *default* proposto dalle Linee Guida APAT, ovvero **1,7**.

Frazione di carbonio organico nel saturo, Foc (adim).

Il parametro entra in gioco nel calcolo della dispersione laterale in falda, DAF. Avendo fatto coincidere il punto di conformità con la sorgente stessa (solo lisciviazione verticale), il valore non influenza il risultato e viene utilizzato il valore di *default* proposto dalle Linee Guida APAT, ovvero **0,001**.

Dispersività longitudinale, dispersività trasversale, dispersività verticale, α_x , α_y , α_z (cm) e distanza dal punto di conformità L (m).

Questi parametri indicano la dispersione idrodinamica dell'inquinante rispetto alla sua direzione principale di moto a causa della miscelazione meccanica del soluto nell'acqua.

La dispersività viene espressa secondo gli assi di riferimento x, y e z a mezzo della dispersività longitudinale x, trasversale y e verticale z.

Secondo la relazione di Pickens e Grisak, 1981:

$$a_x = 0,1 \cdot L$$

dove L rappresenta la distanza tra la sorgente ed il punto di conformità in metri. Per i parametri a_y e a_z si utilizzano le seguenti relazioni (*American Petroleum Institute's Report, 1987*):

$$a_y = a_x/3 \quad a_z = a_x/20$$

Nel caso in questione l'intero sito è stato considerato come una sorgente unica, facendo coincidere il punto di conformità con la sorgente di contaminazione. Per esigenze di elaborazione del *software* è stata posta una distanza L dal punto di conformità uguale a **1 metro**.

In tali condizioni la concentrazione al punto di conformità dipende solamente dal percorso di lisciviazione verticale da suolo superficiale e/o profondo e non anche da fenomeni di attenuazione laterale durante il trasporto in falda - essendo il punto di conformità praticamente coincidente con la sorgente. In assenza del DAF i valori delle dispersività idrodinamiche risultano pressoché ininfluenti nel calcolo del rischio per la falda stessa. In merito alla lisciviazione verticale dal suolo verso la falda abbiamo ritenuto non necessaria l'applicazione del coefficiente di attenuazione del suolo (SAM).

In tal modo, i tre coefficienti di dispersività, espressi in metri, risultano:

$$a_x = 0,1 \quad a_y = 0,033 \quad a_z = 0,005$$

Spessore dell'acquifero, (m).

Si è sopra definita la presenza di un acquifero superficiale nei terreni limo-argillosi scarsamente permeabili, distinto dal sottostante acquifero ubicato in ghiaie ad elevata permeabilità. Lo spessore dell'acquifero è per definizione dato dalla differenza di quota tra la superficie freatica ed il livello impermeabile, che nel caso in oggetto è costituito dalle argille plioceniche sottostanti al livello ghiaioso, poste a -21 m dal p.c. (dati pozzo Balducci Bis); in tal modo lo spessore totale dell'acquifero è pari a $21 - 2,6 = 18,4$.

6.3.3. Parametri ambientali.

Direzione e velocità del vento U_{air} (cm/sec).

La direzione e la velocità del vento vengono di solito considerati costanti sull'area di interesse (nel caso in questione dalla sorgente al bersaglio *on site*) e pari al valore medio annuo nella medesima area.

La direzione prevalente e la velocità media del vento sono state stabilite prendendo come riferimento la stazione meteorologica di Poggibonsi Montemorli, gestita dalla Regione Toscana (ex ARSIA). Il palo anemometrico è collocato a 3 metri di altezza dal piano campagna (197 metri s.l.m., TOS11000066, UTM [M] E

672030 N 4813867). In particolare è stato utilizzato il documento “Valutazione tecnica di alcuni aspetti proposti nel S.I.A. dell’impianto di produzione bio-olio (olio da pirolisi) e generazione elettrica proposto da Coll’Energia srl”.

Tabella 22. Dati anemometrici anno 2009.

VELOCITÀ DEL VENTO (m/s)												
Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Velocità media	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5
Velocità massima	4,2	4,4	5,8	5,6	5,1	5,6	6,2	5,5	5,0	3,7	4,0	4,6

Il valore medio della velocità del vento per l’anno 2009 è pari a 0,58 m/sec.

Tabella 23. Dati anemometrici anno 2010.

VELOCITÀ DEL VENTO (m/s)												
Mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Velocità media	0,3	0,6	0,7	0,6	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,7
Velocità massima	3,4	5,2	5,1	5,2	7,3	7,1	6,8	6,7	6,0	4,9	6,8	5,5

Il valore medio della velocità del vento per l’anno 2010 è pari a 0,77 m/sec.

Utilizzando la media dei due otteniamo 0,68 m/sec, a cui corrisponde un valore di 68 cm/sec.

Per stimare il valore di velocità alla quota di 2 metri, e quindi in corrispondenza della zona di miscelazione, è possibile applicare la seguente relazione empirica [S.R. Hanna et al., 1982]:

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

dove “p” è funzione della classe di stabilità atmosferica e della rugosità del suolo. Cautelativamente all’area in esame è stata attribuita una classe di stabilità atmosferica corrispondente a F con rugosità del suolo di tipo urbano.

A tale condizione corrisponde un valore del parametro p pari a 0,6, ottenendo:

$$U_{air} = 53,3 \text{ cm/sec}$$

In merito alla direzione prevalente è stata analizzata la distribuzione delle frequenze annuali di direzione e velocità, sintetizzata nelle rose dei venti sotto riportate.

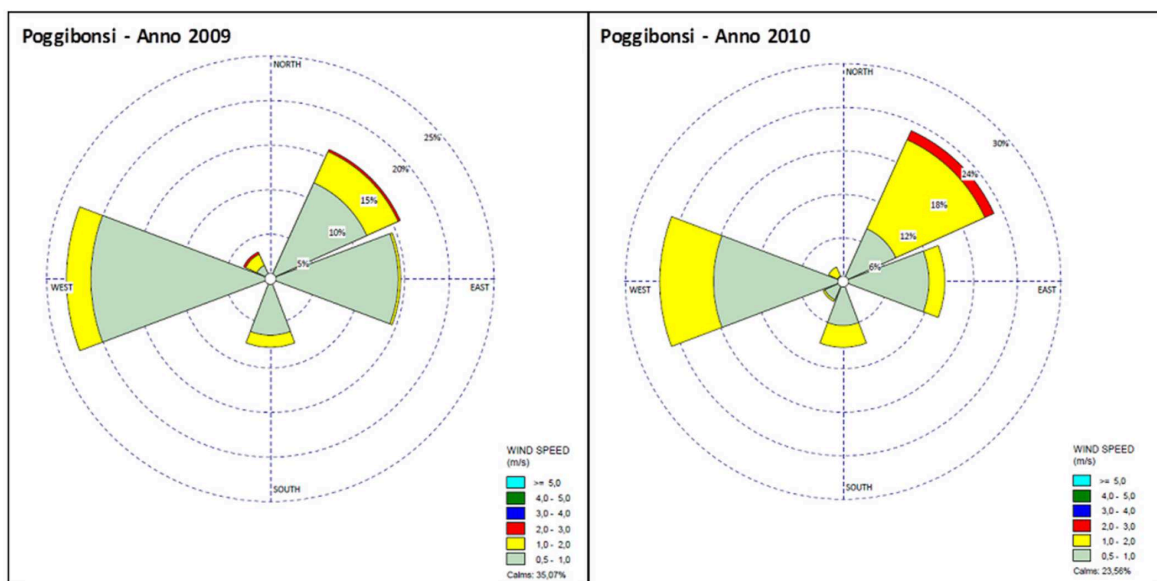


Figura 12

Possiamo osservare come i venti soffino prevalentemente in direzione ovest.

6.3.4. Parametri degli ambienti confinati.

I parametri degli ambienti confinati saranno mantenuti con i valori di *default* delle Linee Guida APAT.

Riportiamo di seguito tutti i parametri di *input* del terreno, dell'acquifero ed ambientali/spazi confinati utilizzati per l'elaborazione con Giuditta 3.2. I simboli dei parametri sono quelli riportati nel *software*.

Tabella 24. Parametri zona insatura.

Descrizione	Simbolo	AdR	Riferimento/note
Densità secca (g/cm ³)	Rs	1,7	Default – Manuale APAT
Foc della zona non satura (adim.)	Foc	0,028	Sito specifico – Analisi chimica
Contenuto d'aria nel non saturo (adim.)	Tas	0,112	Sito specifico - Il valore è stato determinato sulla base dell'analisi granulometrica e delle tabelle riportate nel Manuale APAT
Contenuto d'acqua nel non saturo (adim.)	Tws	0,251	

Tabella 25. Parametri zona satura.

Descrizione	Simbolo	AdR	Riferimento/note
Soggiacenza della falda (cm)	Lgw	262	Sito specifico – Misura diretta
Spessore della frangia capillare (cm)	Hcap	101,05	Sito specifico - Il valore è stato determinato sulla base dell'analisi granulometrica e delle tabelle riportate nel Manuale APAT
Contenuto d'aria in frangia capillare (adim.)	Tacap	0,055	
Contenuto d'acqua in frangia capillare (adim.)	Twcap	0,307	
Conducibilità idraulica (m/giorno)	K	0,0624	Sito specifico – Valore ricavato dalla carta idrogeologica del Comune
Gradiente idraulico (adim.)	i	0,007	
Porosità efficace (adim.)	Ts	0,362	Sito specifico - Il valore è stato determinato sulla base dell'analisi granulometrica e delle tabelle riportate nel Manuale APAT

Descrizione	Simbolo	AdR	Riferimento/note
Infiltrazione efficace (m/anno)	I	0,0329	Sito specifico – Dato storico
Densità secca dell'acquifero (g/cm ³)	Rs(sat)	1,7	Default – Manuale APAT
Foc nella zona satura (adim.)	Foc(sat)	0,001	Default – Manuale APAT
Dispersività longitudinale (m)	Ax	0,1	I valori sono calcolati in funzione del POC mediante le equazioni indicate nel Manuale APAT
Dispersività trasversale (m)	Ay	0,033	
Dispersività verticale (m)	Az	0,005	
Distanza dal punto di conformità POC (m)	X	1	Sito specifico
Spessore dell'acquifero (m)	da	18,4	Sito specifico – Misura diretta

Tabella 26. Parametri ambientali e degli spazi confinati.

Descrizione	Simbolo	AdR	Riferimento/note
Altezza degli edifici residenziali (cm)	Lb(res)	200	Default – Manuale APAT
Altezza degli edifici industriali (cm)	Lb(ind)	300	Default – Manuale APAT
Spessore di fondazioni/pareti degli edifici (cm)	LCrack	15	Default – Manuale APAT
Frazione areale di fratture (adim.)	N	0,01	Default – Manuale APAT
Contenuto d'aria nelle fratture (adim.)	Tacrack	0,26	Default – Manuale APAT
Contenuto di acqua nelle fratture (adim.)	TWcrack	0,12	Default – Manuale APAT
Tasso di ricambio di aria Res (1/h)	RE	0,504	Default – Manuale APAT
Tasso di ricambio di aria Ind (1/h)	RE	0,828	Default – Manuale APAT
Velocità del vento (cm/s)	Uair	53,3	Sito specifico – Dati storici
Altezza della zona di miscelazione in aria (cm)	Dair	200	Default – Manuale APAT
Particelle di suolo nella polvere (adim.)	g	1	Default – Manuale APAT
Differenza di pressione suolo/edifici (g/cm-s ²)	dp	0	Default – Manuale APAT
Permeabilità del suolo (cm ²)	Kv	1x10⁻⁸	Default – Manuale APAT
Profondità della soletta di fondazione (cm)	ZCrack	15	Default – Manuale APAT
Perimetro della soletta di fondazione (cm)	XCrack	3400	Default – Manuale APAT
Area della soletta di fondazione (cm ²)	Ab	700000	Default – Manuale APAT
Tempo medio emissione flusso di vapori Res (anni)	tau-r	30	Default – Manuale APAT
Tempo medio emissione flusso di vapori Ind (anni)	tau-i	25	Default – Manuale APAT
Viscosità dell'aria (g/cm-s)	muair	0,000181	Default – Manuale APAT

6.4. Risultati dell'Analisi di Rischio.

6.4.1. Calcolo del rischio per la falda.

Il rischio di trasporto in falda dei contaminanti può essere dovuto a due distinti meccanismi:

- 1) infiltrazione verticale di acque meteoriche attraverso la zona insatura sede della contaminazione;
- 2) flusso orizzontale della falda idrica superficiale se essa arriva a lambire la zona contaminata.

Il primo rischio appare nel caso in oggetto qualitativamente assai probabile, data la constatata permeabilità dei terreni di riporto superficiali che costituiscono la sorgente inquinante e la loro funzione di serbatoio delle acque meteoriche affluite. A ciò si oppongono i risultati analitici ottenuti per le acque nelle indagini

di Ambiente S.C., che non individuano una contaminazione delle acque stesse (eccetto per il solfato che risulta comunque presente in tutti e quattro i piezometri installati, a monte ed a valle rispetto al sito nella direzione della falda); tuttavia, il proseguire della percolazione verticale, perdurando la presenza della sorgente di contaminazione, può conseguire nel tempo effetti negativi.

Il secondo meccanismo appare nel caso in oggetto al limite: la profondità dei terreni contaminati, sempre secondo i risultati ottenuti nell'indagine di Ambiente S.C. è risultata pari a 2,5 metri (nella sola trincea esplorativa T7), mentre la superficie freatica risulta posta a quota leggermente inferiore (2,62 metri dal p.c., essendo essa oltre tutto misurata nel punto altimetricamente più basso del lotto). Risulta decisamente confortante nel caso in questione il già citato esito delle analisi effettuate da Ambiente S.C. sulla matrice acque sotterranee, che evidenziano il rispetto delle C.S.C. per metalli ed idrocarburi.

Tenendo conto di quanto sopra, una valutazione sui costi e sui benefici di un eventuale intervento per mitigare l'infiltrazione laterale della falda porterebbe nella direzione di concentrare le risorse disponibili in un più efficace intervento di isolamento superficiale che eliminerebbe il percorso a maggior rischio di lisciviazione verticale, ancora attivo nelle aree non pavimentate del sito e responsabile della contaminazione negli strati di suolo sottostanti al riporto superficiale. In ogni caso riteniamo opportuno pianificare una campagna periodica di monitoraggio delle acque sotterranee, al fine di valutare sia gli effetti (positivi) nel tempo di una copertura superficiale impermeabile permanente sia quelli residui della ipotizzata ed eventuale infiltrazione laterale.

Nel caso in questione il rischio per la falda deriva dalle sorgenti di contaminazione rappresentate dal suolo superficiale e dal suolo profondo.

Nella tabella seguente sono riportati gli indici di rischio calcolati per la falda.

Nel caso degli idrocarburi alifatici C19-C36 l'indice calcolato indica un rischio nullo, come previsto dalle indicazioni della banca dati ISS. Analoga situazione è stata riscontrata per il rischio sanitario. Pertanto, da ora in avanti eviteremo di riportare i risultati (non realistici) di tale parametro. causa

Tabella 27. Indici di rischio per la falda.

Parametro	Suolo superficiale (0÷-1 m)	Suolo profondo (< -1 m)
Arsenico	0,283	0,283
Cadmio	0,114	0,114
Mercurio	1,49	1,49
Piombo	4,83	144
Rame	$3,44 \times 10^{-3}$	$9,04 \times 10^{-2}$
Zinco	$1,84 \times 10^{-3}$	$6,44 \times 10^{-3}$
HC alif. C19-36	Da considerarsi immobili	Da considerarsi immobili
Benzo(a)pirene	0,611	0,611
Benzo(g,h,i)perilene	0,229	0,229
Dibenzo(a,h) antracene	0,194	0,194
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	$7,02 \times 10^{-3}$	$7,02 \times 10^{-3}$
Totale indice di rischio per la falda	7,763	147,025

Il rischio per la falda, dovuto al fenomeno di lisciviazione, risulta non accettabile. Il rischio è dovuto prevalentemente alla lisciviazione di mercurio, piombo ed, in misura minore, IPA. Interrompendo il percorso di lisciviazione nelle zone con presenza di tali contaminanti il rischio diventa accettabile. Da evidenziare che le analisi *in situ* avevano comunque evidenziato il rispetto delle C.S.C. per le acque sotterranee.

6.4.2. Concentrazioni Soglia di Rischio per la protezione della falda.

Dall'elaborazione con il software GIUDITTA 3.2 i livelli calcolati di accettabilità dei parametri presenti per la protezione della falda sono riportati nella tabella 28 seguente. Al fine del confronto con i livelli riscontrati nell'indagine di Ambiente S.C. occorre convertire i risultati dell'Analisi di Rischio (espressi sul tale) nei valori riferiti alla sostanza secca.

La trasformazione viene effettuata sulla base della formula: $CSR_{s.s.} = CSR_{t.q.} / (1-\alpha)$ dove:

$CSR_{s.s.}$ è la CSR riferita alla sostanza secca

$CSR_{t.q.}$ è la CSR riferita alla sostanza tal quale

α è l'umidità presente nel suolo (0,191)

Tabella 28. Livelli di accettabilità (C.S.R.) per la protezione della falda (in rosso le concentrazioni di saturazione).

Parametro	Protezione falda	
	Suolo mg/Kg t.q.	Suolo mg/Kg s.s.
Arsenico	324	400
Cadmio	46,8	57,8
Mercurio	2,95	3,65
Piombo	449	555
Rame	2,07x10 ⁵	2,56x10⁵
Zinco	3,91x10 ⁵	4,83x10⁵
Benzo(a)pirene	0,384	0,475
Benzo(g,h,i)perilene	0,637	0,787
Dibenzo(a,h) antracene	0,710	0,878
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	2,14*	2,64*

* Per l'indeno(1,2,3-c,d) assumiamo come C.S.R. la concentrazione di saturazione. La verifica in modalità diretta ha fornito un livello di rischio accettabile.

Confrontando le C.S.R. per la falda calcolate con i livelli riscontrati nel sito da Ambiente S.C. è possibile individuare le zone dove è necessario intervenire per interrompere il percorso di lisciviazione in falda e rendere il rischio accettabile.

Dal confronto risulta che le aree in cui non è necessario alcun intervento per la protezione della falda sono quelle contraddistinte dalle trincee esplorative T2, T3, T10 e T11. Nelle altre aree è necessario che il progetto preveda interventi atti ad interrompere il meccanismo di trasporto dei contaminanti in falda.

Nella figura 13 seguente è rappresentato quanto sopra detto.

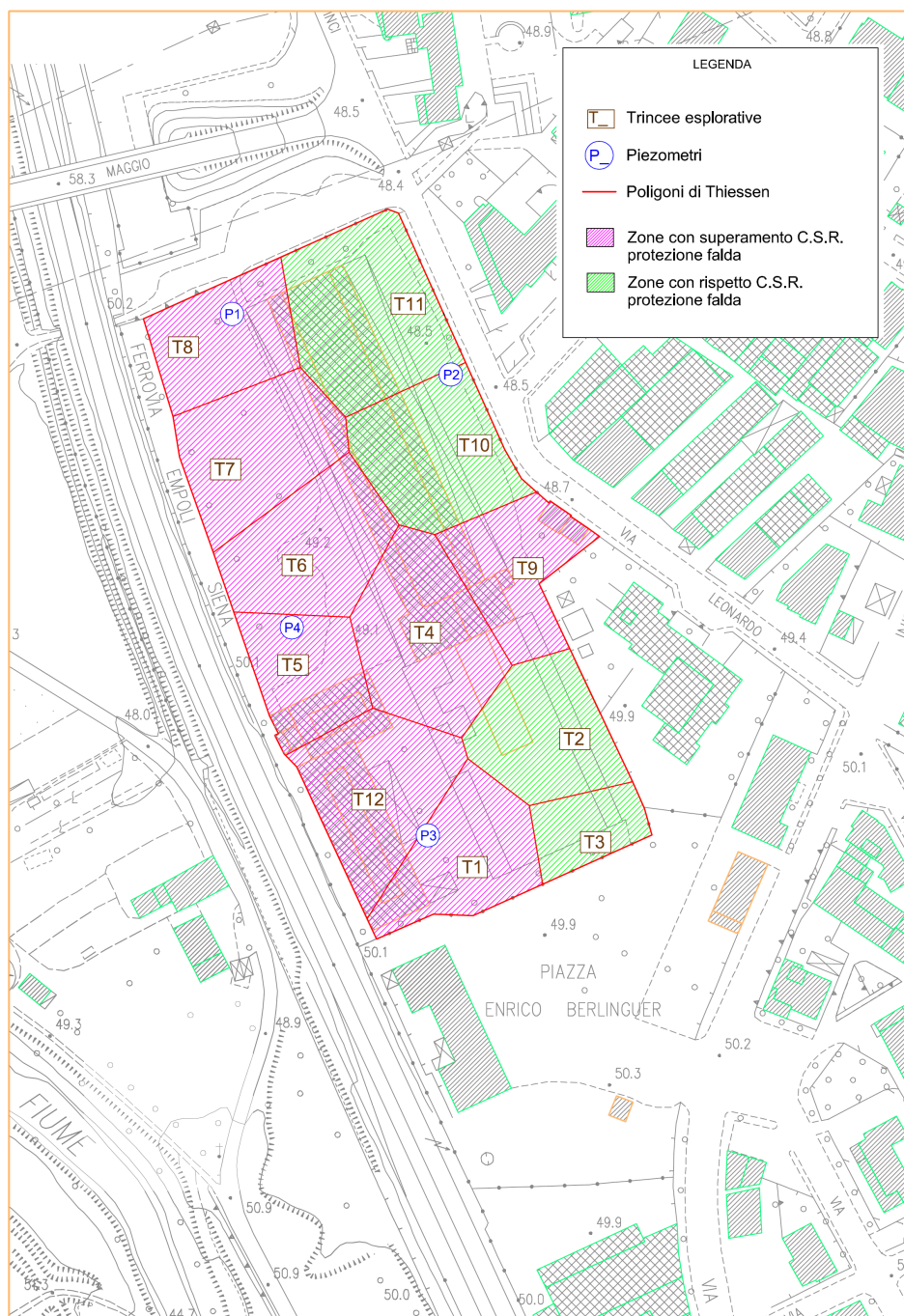


Figura 13

6.4.3. Rischio sanitario per sostanze non cancerogene.

Scenario residenziale.

La seguente tabella 29 riporta il rischio sanitario dovuto alle sostanze non cancerogene nel suolo superficiale per il recettore bambino nell'ipotesi di destinazione residenziale/ricreativa. Possiamo osservare come il rischio sia dovuto prevalentemente al percorso di esposizione diretto "ingestione di suolo" in ambiente esterno (*outdoor*). Interrompendo i percorsi diretti di esposizione (ingestione di suolo e contatto dermico) l'indice di rischio per il comparto suolo superficiale diventerebbe pari a 1,197, con il rischio dovuto esclusivamente all'esposizione *indoor* ed *outdoor* ai vapori di mercurio. Per rendere il rischio

accettabile occorre interrompere anche tale percorso di esposizione, che come vedremo in seguito è concentrato nell'area che contiene la trincea esplorativa T1.

Tabella 29. Indici di rischio per sostanze non cancerogene dovuti al suolo superficiale per l'uomo (bambino) nello scenario residenziale/ricreativo.

Parametro	Percorsi di esposizione - suolo superficiale (residenziale)					
	Ingestione suolo	Contatto dermico	Polveri outdoor	Vapori outdoor	Polveri indoor	Vapori indoor
Arsenico	3,91	0,328	2,55x10 ⁻⁵	0,00	2,55x10 ⁻⁵	0,00
Cadmio	0,136	3,82x10 ⁻⁴	7,80x10 ⁻⁶	0,00	7,80x10 ⁻⁶	0,00
Mercurio	0,187	5,25x10 ⁻³	4,27x10 ⁻⁶	0,635	4,27x10 ⁻⁶	0,562
Piombo	7,90	0,221	5,16x10 ⁻⁶	0,00	5,16x10 ⁻⁶	0,00
Rame	0,227	6,36x10 ⁻³	1,48x10 ⁻⁶	0,00	1,48x10 ⁻⁶	0,00
Zinco	0,0306	8,56x10 ⁻⁴	2,00x10 ⁻⁷	0,00	2,00x10 ⁻⁷	0,00
Benzo(a)pirene	0,00	0,00	6,24x10 ⁻¹²	2,19x10 ⁻⁸	6,24x10 ⁻¹²	1,61x10 ⁻¹¹
Benzo(g,h,i)perilene	6,21x10 ⁻⁵	2,26x10 ⁻⁵	4,05x10 ⁻¹⁰	2,76x10 ⁻⁶	4,05x10 ⁻¹⁰	1,37x10 ⁻⁹
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	4,14x10 ⁻⁵	1,51x10 ⁻⁵	2,58x10 ⁻¹²	3,80x10 ⁻⁹	2,58x10 ⁻¹²	1,16x10 ⁻¹²
Indice di rischio per percorso	12,391	0,562	4,44x10⁻⁵	0,635	4,44x10⁻⁵	0,562
Indice di rischio cumulato per suolo superficiale	14,076 > 1					

La tabella 30 riporta il rischio sanitario dovuto alle sostanze non cancerogene nel suolo profondo per il recettore bambino nell'ipotesi di destinazione residenziale. Possiamo osservare che il rischio sanitario dovuto ai contaminanti presenti nel suolo profondo è accettabile e non occorre prevedere alcun intervento.

Tabella 30. Indici di rischio per sostanze non cancerogene dovuti al suolo profondo per l'uomo (bambino) nello scenario residenziale/ricreativo.

Parametro	Percorsi di esposizione - suolo profondo (residenziale)	
	Vapori outdoor	Vapori indoor
Arsenico	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00
Mercurio	0,0335	0,335
Piombo	0,00	0,00
Rame	0,00	0,00
Zinco	0,00	0,00
Benzo(a)pirene	2,78x10 ⁻¹¹	1,56x10 ⁻¹¹
Benzo(g,h,i)perilene	6,76x10 ⁻⁹	1,35x10 ⁻⁹
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	2,02x10 ⁻¹²	1,13x10 ⁻¹²
Indice di rischio per percorso	0,0335	0,335
Indice di rischio cumulato per suolo profondo	0,3685 < 1	

Dal successivo confronto tra le concentrazioni soglia di rischio calcolate ed i livelli riscontrati nell'indagine di Ambiente S.C. è possibile individuare le zone dove sarà necessario intervenire per interrompere i percorsi di esposizione diretti e quello di esposizione ai vapori di mercurio al fine di mantenere il rischio sanitario per la destinazione d'uso residenziale, verde pubblico e privato ad un livello accettabile.

Scenario commerciale.

Per lo scenario commerciale ci limitiamo a riportare gli indici di rischio sanitario calcolati per le sostanze non cancerogene, pari a **0,675** (< 1) per il suolo superficiale e pari a **0,0143** (< 1) per il suolo profondo. Il rischio sanitario per tale destinazione d'uso è, pertanto, accettabile e non sono richiesti interventi. Per il rischio sanitario nello scenario commerciale sono stati considerati solo i parametri che presentavano superamenti della C.S.C. per tale destinazione d'uso.

6.4.4. Rischio sanitario per sostanze cancerogene.

Scenario residenziale.

La tabella seguente riporta il rischio sanitario dovuto alle sostanze cancerogene nel suolo superficiale nell'ipotesi di destinazione residenziale, verde pubblico e privato. Nel caso delle sostanze cancerogene i valori di rischio considerati tollerabili sono: 10^{-6} come valore di rischio individuale per ogni sostanza e 10^{-5} come valore di rischio cumulativo.

Tabella 31. Indici di rischio per sostanze cancerogene dovuti al suolo superficiale per l'uomo nello scenario residenziale/ricreativo.

Parametro	Percorsi di esposizione - suolo superficiale (residenziale)					
	Ingestione suolo	Contatto dermico	Polveri outdoor	Vapori outdoor	Polveri indoor	Vapori indoor
Arsenico	$2,15 \times 10^{-4}$ ($> 1 \times 10^{-6}$)	$2,04 \times 10^{-5}$ ($> 1 \times 10^{-6}$)	$2,07 \times 10^{-8}$	0,00	$2,07 \times 10^{-8}$	0,00
Cadmio	0,00	0,00	$5,05 \times 10^{-10}$	0,00	$5,05 \times 10^{-10}$	0,00
Benzo(a)pirene	$2,68 \times 10^{-6}$ ($> 1 \times 10^{-6}$)	$1,10 \times 10^{-6}$ ($> 1 \times 10^{-6}$)	$2,58 \times 10^{-11}$	$9,07 \times 10^{-8}$	$2,58 \times 10^{-11}$	$6,65 \times 10^{-11}$
Dibenzo(a,h)antracene	$1,57 \times 10^{-6}$ ($> 1 \times 10^{-6}$)	$6,46 \times 10^{-7}$	$1,51 \times 10^{-11}$	$2,94 \times 10^{-8}$	$1,51 \times 10^{-11}$	$3,21 \times 10^{-12}$
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	$1,11 \times 10^{-7}$	$4,56 \times 10^{-8}$	$4,53 \times 10^{-13}$	$6,66 \times 10^{-10}$	$4,53 \times 10^{-13}$	$2,04 \times 10^{-13}$
Indice di rischio per percorso	$2,19 \times 10^{-4}$	$2,22 \times 10^{-5}$	$2,10 \times 10^{-8}$	$1,21 \times 10^{-7}$	$2,10 \times 10^{-8}$	$6,99 \times 10^{-11}$
Indice di rischio cumulato per suolo superficiale	$2,41 \times 10^{-4} > 1 \times 10^{-5}$					

Possiamo osservare come il rischio sia dovuto essenzialmente ai percorsi di esposizione diretti "ingestione di suolo" e "contatto dermico" in ambiente esterno (*outdoor*) per l'arsenico, il benzo(a)pirene ed il dibenzo(a,h)antracene, i cui indici di rischio individuali sono anche superiori al valore tollerabile di 1×10^{-6} . Interrompendo i percorsi diretti di esposizione l'indice di rischio per il comparto suolo superficiale diventerebbe accettabile. Come vedremo più avanti l'intervento

per l'arsenico è relativo all'area contenente la trincea T5, mentre per gli IPA all'area contenente la trincea T8.

La tabella seguente riporta il rischio sanitario dovuto alle sostanze cancerogene nel suolo profondo nell'ipotesi di destinazione residenziale. Possiamo osservare che il rischio sanitario dovuto ai contaminanti cancerogeni presenti nel suolo profondo è accettabile e non occorre prevedere alcun intervento.

Tabella 32. Indici di rischio per sostanze cancerogene dovuti al suolo profondo per l'uomo nello scenario residenziale/ricreativo.

Parametro	Percorsi di esposizione - suolo profondo (residenziale)	
	Vapori outdoor	Vapori indoor
Arsenico	0,00	0,00
Cadmio	0,00	0,00
Benzo(a)pirene	$1,15 \times 10^{-10}$	$6,47 \times 10^{-11}$
Dibenzo(a,h)antracene	$2,05 \times 10^{-11}$	$3,18 \times 10^{-12}$
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	$3,54 \times 10^{-13}$	$1,98 \times 10^{-13}$
Indice di rischio per percorso	$1,36 \times 10^{-10}$	$6,81 \times 10^{-11}$
Indice di rischio cumulato per suolo profondo	$1,36 \times 10^{-10} < 1 \times 10^{-5}$	$6,81 \times 10^{-11} < 1 \times 10^{-5}$

Scenario commerciale.

La tabella seguente riporta il rischio sanitario dovuto alle sostanze cancerogene nel suolo superficiale nell'ipotesi di destinazione commerciale. E' stato considerato solo l'arsenico, essendo l'unico parametro cancerogeno che presentava superamenti della C.S.C. per la destinazione d'uso commerciale.

Tabella 33. Indici di rischio per sostanze cancerogene dovuti al suolo superficiale per l'uomo nello scenario commerciale.

Parametro	Percorsi di esposizione - suolo superficiale (commerciale)					
	Ingestione suolo	Contatto dermico	Polveri outdoor	Vapori outdoor	Polveri indoor	Vapori indoor
Arsenico	$2,31 \times 10^{-5}$	$9,14 \times 10^{-6}$	$7,10 \times 10^{-9}$	0,00	$2,56 \times 10^{-9}$	0,00
Indice di rischio per percorso	$2,31 \times 10^{-5}$	$9,14 \times 10^{-6}$	$7,10 \times 10^{-9}$	0,00	$2,56 \times 10^{-9}$	0,00
Indice di rischio cumulato per suolo superficiale	$2,41 \times 10^{-4} > 1 \times 10^{-6}$					

Possiamo osservare come il rischio sia dovuto essenzialmente ai percorsi di esposizione diretti "ingestione di suolo" e "contatto dermico" in ambiente esterno (*outdoor*). Interrompendo i percorsi diretti di esposizione l'indice di rischio per il comparto suolo superficiale diventerebbe accettabile. Come vedremo più avanti l'intervento per l'arsenico è relativo all'area contenente la trincea T5.

Il rischio sanitario per le sostanze cancerogene nel suolo profondo nell'ipotesi di destinazione commerciale è nullo, non essendo attivi percorsi di esposizione indiretta per l'arsenico.

6.4.5. Concentrazioni Soglia di Rischio per la protezione dell'uomo.

Dall'elaborazione con il software GIUDITTA 3.2 i livelli di accettabilità calcolati per la protezione dell'uomo per i contaminanti presenti sono riportati nelle tabelle seguenti. Al fine del confronto con i livelli riscontrati nell'indagine di Ambiente S.C. occorre convertire i risultati dell'Analisi di Rischio (espressi sul tale) nei valori riferiti alla sostanza secca, come fatto in precedenza.

La seguente tabella 34 riporta le concentrazioni soglia di rischio per l'uomo per lo scenario residenziale/ricreativo.

La C.S.R. per l'arsenico corrispondente alla soglia di rischio di 1×10^{-6} è inferiore alla C.S.C. per l'uso verde pubblico, privato e residenziale. Riteniamo sufficientemente cautelativo porre la C.S.R. pari alla C.S.C. (20 mg/Kg s.s.).

Nella seguente figura 14 sono rappresentate le zone dove occorre intervenire per interrompere i percorsi di esposizione che rendono non accettabile il rischio sanitario per l'uomo nello scenario residenziale/ricreativo. Il rischio è dovuto ai percorsi diretti di esposizione, eccetto nel poligono T1 dove vi è anche il rischio di esposizione indiretto a vapori di mercurio. Per tale area è necessario prevedere una copertura impermeabile, analoga a quella prevista per l'interruzione del percorso di infiltrazione delle acque meteoriche.

Tabella 34. Livelli di accettabilità (C.S.R.) per la protezione dell'uomo - scenario residenziale/ricreativo (in rosso le concentrazioni di saturazione).

Parametro	Protezione uomo - scenario residenziale			
	Suolo sup. (0÷-1 m) mg/Kg t.q.	Suolo prof. (< -1 m) mg/Kg t.q.	Suolo sup. (0÷-1 m) mg/Kg s.s.	Suolo prof. (< -1 m) mg/Kg s.s.
Arsenico	-	-	20	-
Cadmio	39	-	48	-
Mercurio	3,17	11,9	3,92	14,7
Piombo	266	-	329	-
Rame	3.040	-	3.758	-
Zinco	22.800	-	28.183	-
Benzo(a)pirene	0,0606	44	0,0749	54
Benzo(g,h,i)perilene	31,4	31,4	38,8	38,8
Dibenzo(a,h) antracene	0,0612	125	0,0756	155
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,618	2,14	0,764	2,65

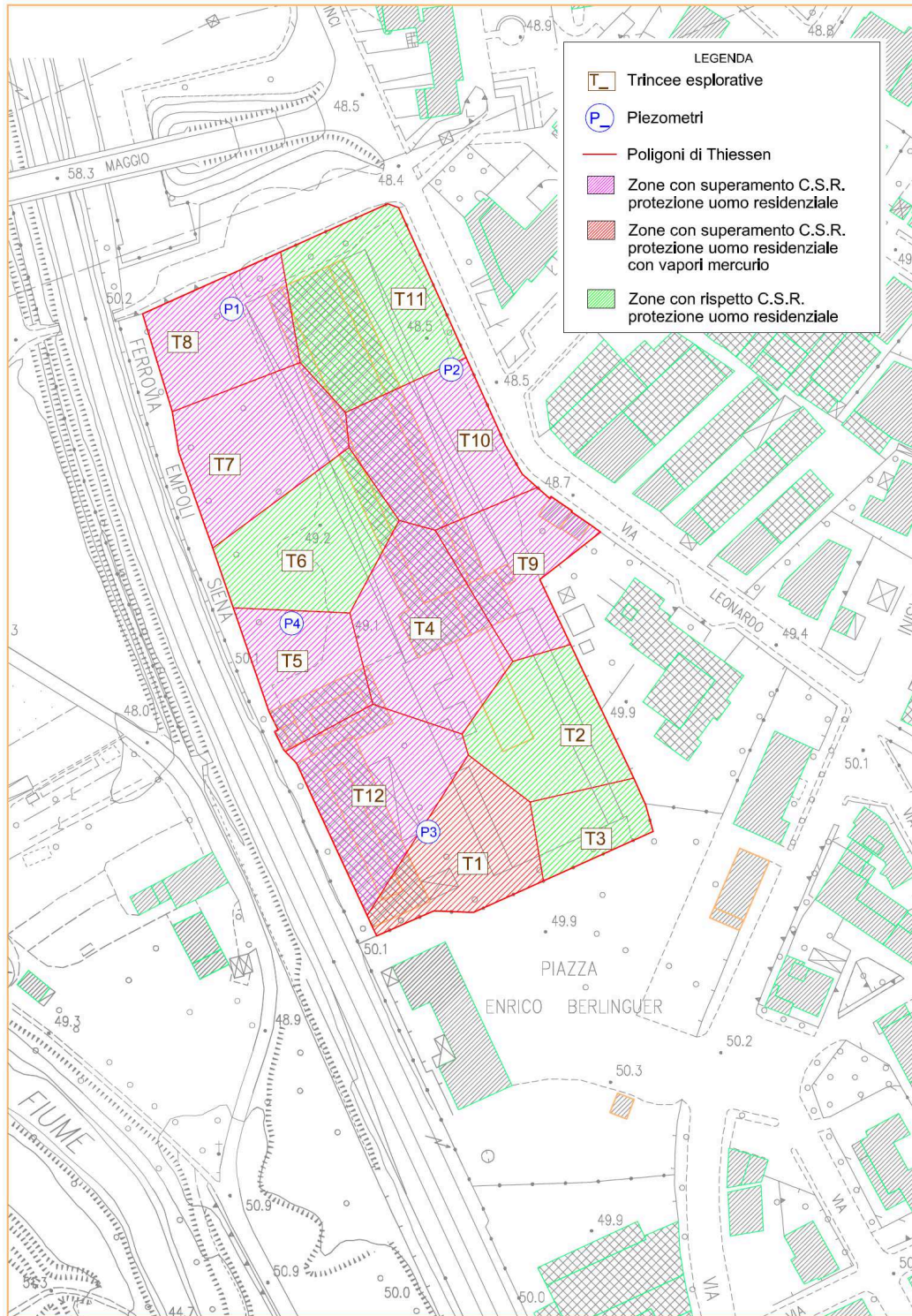


Figura 14

La seguente tabella 35 riporta le concentrazioni soglia di rischio per lo scenario commerciale. Sono stati riportati solo i parametri che presentavano superamenti della C.S.C. per la destinazione d'uso.

Osserviamo come la C.S.R. per lo zinco (ed in parte per il rame) assuma un valore non realistico, indice di un rischio pressoché nullo per tale parametro.

La C.S.R. per l'arsenico corrispondente alla soglia di rischio cancerogeno individuale di 1×10^{-6} è inferiore alla C.S.C. per l'uso commerciale. Riteniamo sufficientemente cautelativo porre la C.S.R. pari alla C.S.C..

Tabella 35. Livelli di accettabilità (C.S.R.) per la protezione dell'uomo - scenario commerciale

Parametro	Protezione uomo - scenario commerciale			
	Suolo sup. (0÷-1 m) mg/Kg t.q.	Suolo prof. (< -1 m) mg/Kg t.q.	Suolo sup. (0÷-1 m) mg/Kg s.s.	Suolo prof. (< -1 m) mg/Kg s.s.
Arsenico	-	-	50	-
Mercurio	33,7	308	41,7	381
Piombo	6.580	-	8.133	-
Rame	75.200	-	92.954	-
Zinco	564.000	-	697.157	-

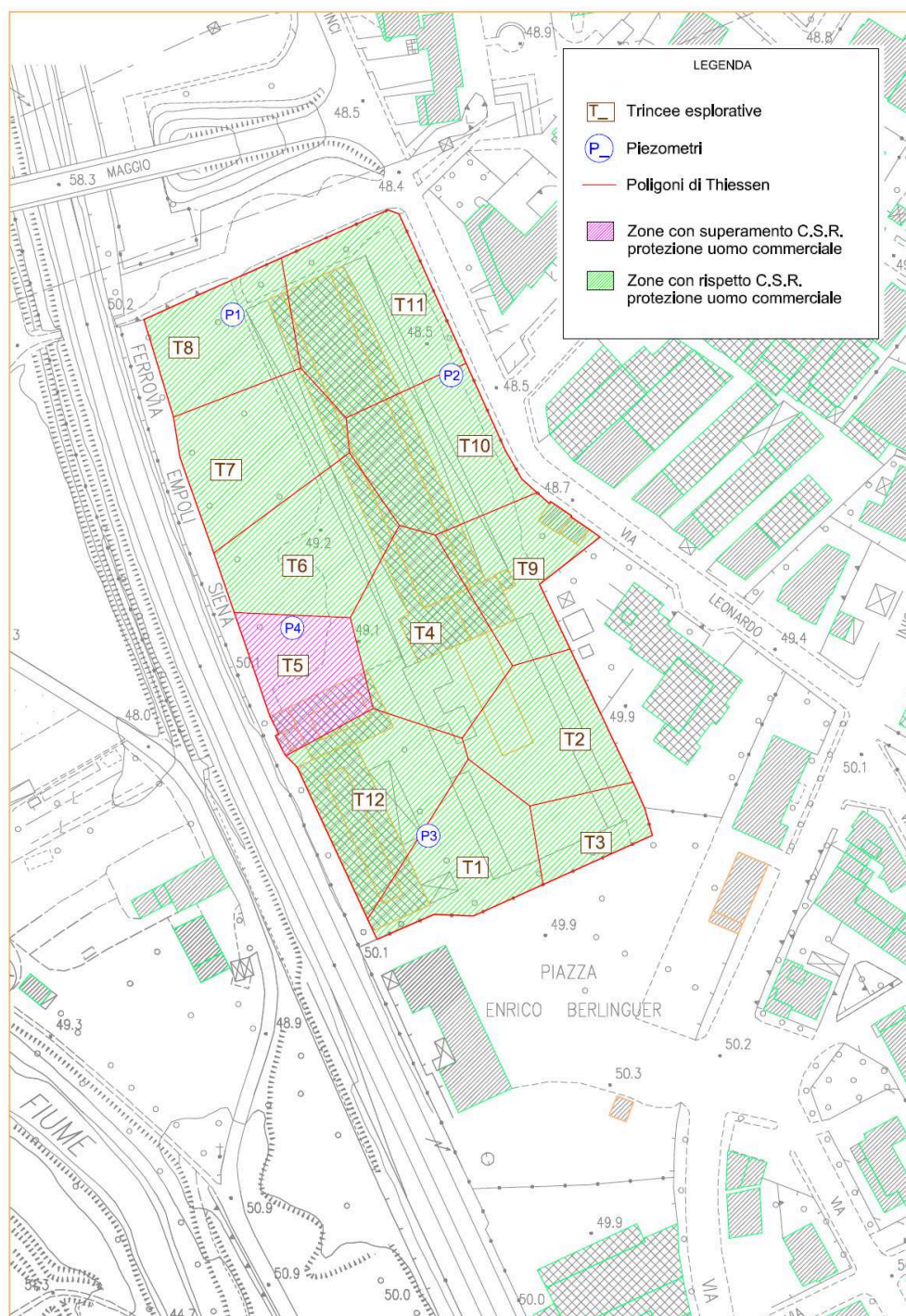


Figura 15

Nella figura 15 sono rappresentate le zone dove occorre intervenire per interrompere i percorsi di esposizione che rendono non accettabile il rischio sanitario per l'uomo nello scenario commerciale.

Per completezza di seguito riportiamo le concentrazioni soglia di rischio comprensive del rischio per la falda e di quello sanitario (scegliendo il valore più cautelativo per ognuno dei due comparti suolo superficiale e profondo).

Nella tabella 36 sono riportate quelle per la destinazione residenziale/ricreativa.

Tabella 36. Livelli di accettabilità (C.S.R.) per lo scenario residenziale/ricreativo (in rosso le concentrazioni di saturazione).

Parametro	Scenario residenziale/ricreativo	
	Suolo superficiale mg/Kg s.s.	Suolo profondo mg/Kg s.s.
Arsenico	20	400
Cadmio	48	57,8
Mercurio	3,65	3,65
Piombo	329	555
Rame	3.758	2,56x10 ⁵
Zinco	28.183	4,83x10 ⁵
Benzo(a)pirene	0,0749	0,475
Benzo(g,h,i)perilene	0,787	0,787
Dibenzo(a,h) antracene	0,0756	0,878
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	0,764	2,64

Nella tabella 37 sono riportate quelle per la destinazione commerciale. Per i parametri che non superano la C.S.C. per la destinazione d'uso, la C.S.R. è relativa al solo rischio per la falda.

Tabella 37. Livelli di accettabilità (C.S.R.) per lo scenario commerciale (in rosso le concentrazioni di saturazione).

Parametro	Scenario commerciale	
	Suolo superficiale mg/Kg s.s.	Suolo profondo mg/Kg s.s.
Arsenico	50	400
Cadmio	57,8	57,8
Mercurio	3,65	3,65
Piombo	555	555
Rame	92.954	2,56x10 ⁵
Zinco	4,83x10 ⁵	4,83x10 ⁵
Benzo(a)pirene	0,475	0,475
Benzo(g,h,i)perilene	0,787	0,787
Dibenzo(a,h) antracene	0,878	0,878
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	2,64	2,64

7. INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE DEL SITO.

La messa in sicurezza permanente del sito ex Montecatini presuppone l'interruzione dei percorsi di esposizione che rendono non accettabile il rischio per la falda e per i bersagli umani (figura 16).

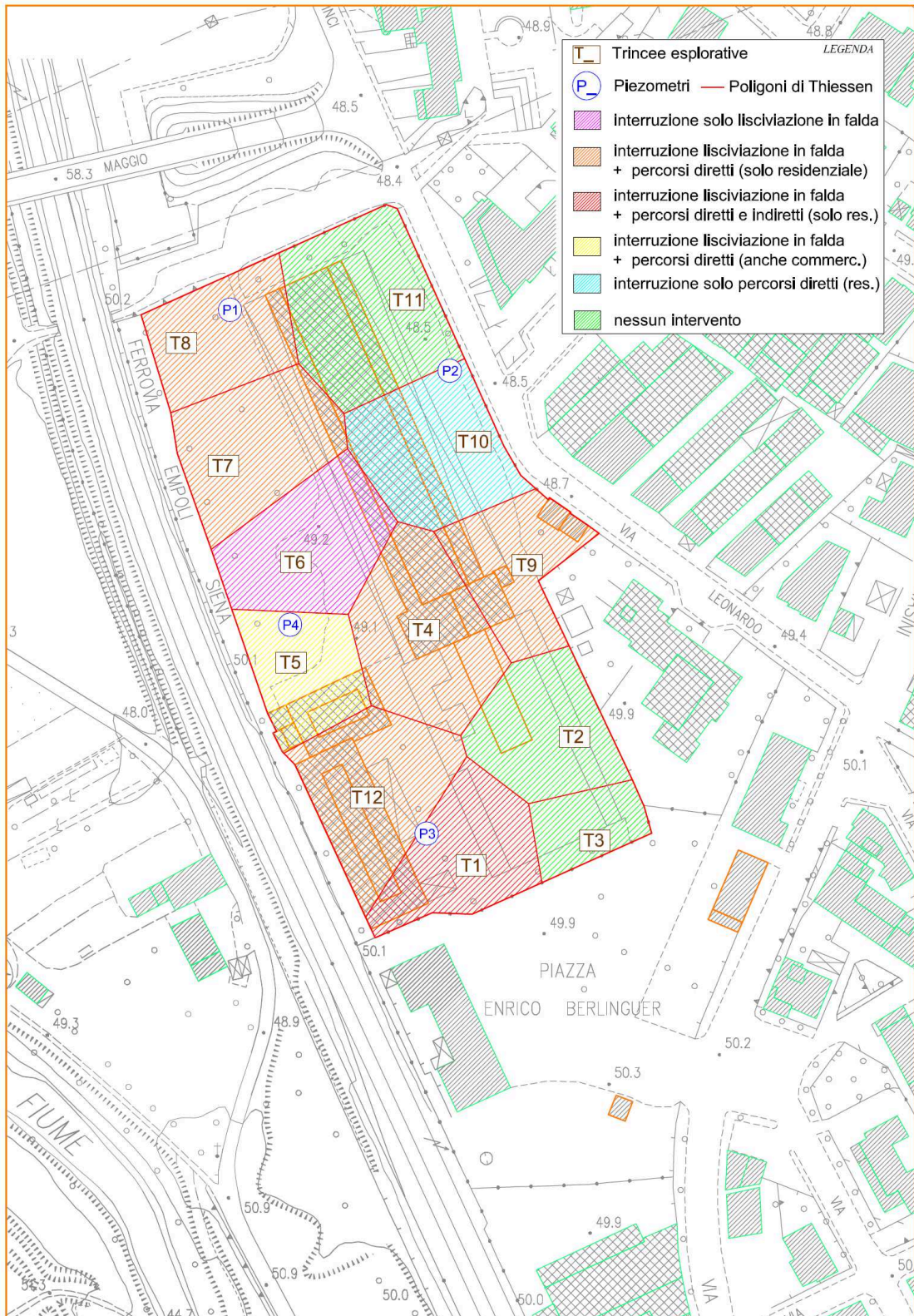


Figura 16

L'interruzione del percorso di lisciviazione verticale nelle superfici non pavimentate del sito può essere realizzata mediante un isolamento superficiale impermeabile permanente che impedisca l'infiltrazione delle acque meteoriche. Lo stesso isolamento può avere anche la funzione di interrompere i percorsi diretti di esposizione (ingestione di suolo e contatto dermico) e contenere le emissioni di vapori dal sottosuolo. Pertanto, tale isolamento impermeabile ha la duplice funzione di proteggere la falda ed i bersagli umani, futuri fruitori dell'area.

A titolo esemplificativo, l'isolamento può essere realizzato mediante:

- a *pavimentazione/opere di urbanizzazione primaria (ad esempio asfaltatura)*: sistema che può essere adottato, ad esempio, in corrispondenza di aree transitabili (parcheggi, strade) e pedonali;
- b *copertura superficiale impermeabilizzante*: sistema adottato, ad esempio, per aree verdi; costituito da strato di regolarizzazione + barriera impermeabile (geocomposito bentonitico o argilla compattata) + strato di terreno vegetale con strato superficiale di pendenza 3-5%. Può essere necessario uno strato drenante dei gas o delle acque meteoriche. Di seguito riportiamo una sezione esemplificativa.

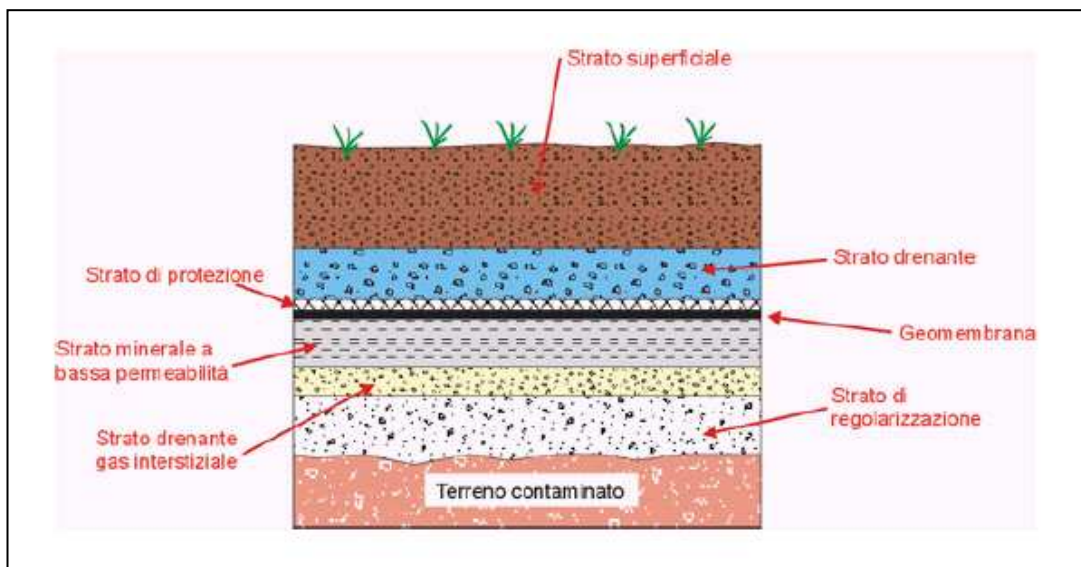


Figura 17

Partendo dal piano di campagna:

- ♦ *copertura vegetale*: viene installata per incrementare l'evapotraspirazione, ridurre l'erosione generata dagli agenti atmosferici, migliorare la stabilità del terreno e l'aspetto estetico del paesaggio;
- ♦ *terreno di copertura*: materiale non compattato che consenta lo sviluppo della vegetazione. Funzione di accumulo di acqua e nutrienti, protezione degli strati sottostanti, deflusso delle acque superficiali (pendenza 3-5%); il materiale dovrà avere una concentrazione di contaminanti inferiore alle C.S.R. calcolate per la specifica destinazione d'uso; allo scopo potrebbero anche essere riutilizzati materiali provenienti dal sito stesso previa caratterizzazione;
- ♦ *strato di drenaggio delle acque meteoriche*: ha lo scopo di rimuovere l'acqua che si infiltra attraverso lo strato superficiale e ridurre il carico sopra lo

- strato impermeabile; è costituito da sabbia e ciottoli ed ha una pendenza del 2%, oppure da geocompositi drenanti (georeti + geotessile filtrante);
- ♦ *strato di protezione*: ha lo scopo di proteggere lo strato impermeabile ed è costituito da un geotessile di adeguato spessore e resistenza;
 - ♦ *strato impermeabilizzante*: ha lo scopo di prevenire l'infiltrazione delle acque meteoriche nella zona contaminata. Può essere costituito da *materiali naturali* (con elevato tenore di argilla come ad esempio miscele di sabbia e bentonite compattate) o da *materiali sintetici* come geomembrane con teli di HDPE, LDPE o PVC (i cui supporti polimerici possono essere impregnati con asfalto o bitume) eventualmente installati tra due strati di materiale geotessile. Possibili sistemi intermedi (argilla compattata e geomembrana o geocomposito bentonitico);
 - ♦ *strato di regolarizzazione*: per favorire la messa in opera degli strati superiori.

Nel caso sia necessario interrompere solo i percorsi di esposizione diretti può essere sufficiente interporre tra lo strato contaminato superficiale ed il futuro piano di campagna uno spessore di materiale non contaminato di almeno 1 metro (in alternativa può essere collocato anche uno spessore inferiore a condizione di interporre un geotessuto separatore tra la sorgente di contaminazione ed il materiale non contaminato).

Il materiale da utilizzare per tale funzione separatrice potrà essere costituito da terreno o da aggregati riciclati con una concentrazione di contaminanti inferiore alle C.S.R. calcolate per la specifica destinazione d'uso.

Come detto, la stessa funzione separatrice può essere svolta anche da manufatti edilizi quali asfaltature, solette o altri sistemi atti ad impedire il contatto diretto tra sorgente di contaminazione e futuri fruitori dell'area.

Nella figura seguente è rappresentata una sezione tipo esemplificativa con geotessuto separatore. Gli spessori sono meramente indicativi.

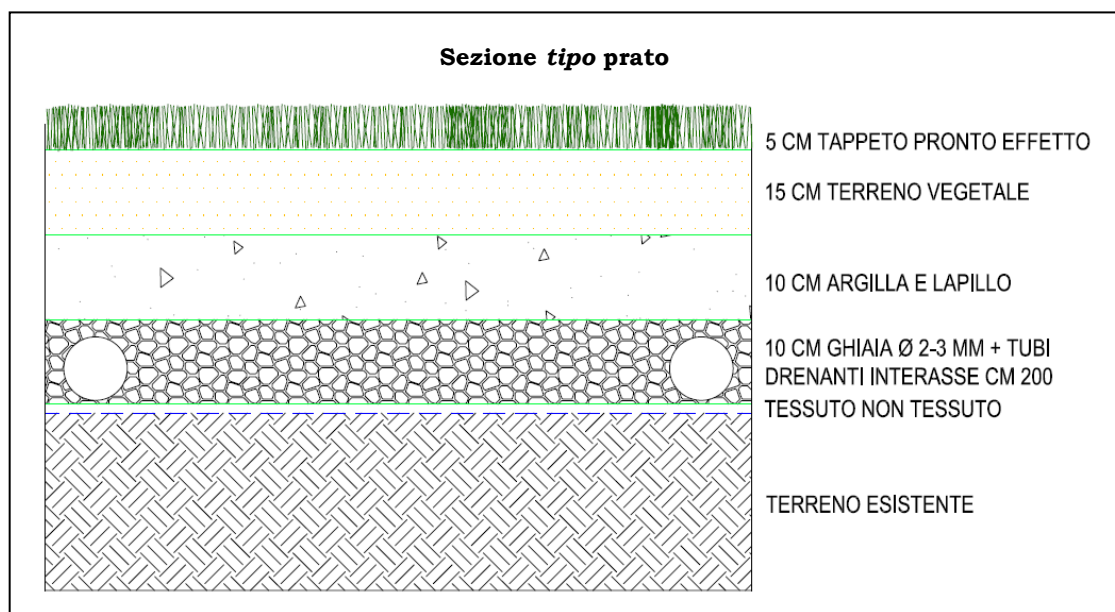


Figura 18

Nell'area, in prossimità del confine sul lato ferrovia, è presente un cumulo di rifiuti inerti di circa 5.000 mc, composto da materiale terrigeno frammisto a detriti di demolizione. Il riutilizzo di tale materiale potrebbe essere attuato previa caratterizzazione dello stesso e successivo trattamento di recupero *in situ* con impianto mobile al fine di ottenere materia prima seconda (aggregati riciclati) da impiegare per riempimenti o rilevati (con la verifica del rispetto delle C.S.R. calcolate per la destinazione d'uso prevista ed esecuzione del test di cessione per l'ecocompatibilità).

Elenco degli allegati.

- Allegato 1:** certificati delle analisi chimiche;
- Allegato 2:** certificati delle analisi geotecniche;
- Allegato 3:** *file* in formato .mdb dell'Analisi di Rischio.