



## Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania



**Analisi di Rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 del sito  
Ex Mattatoio Comunale – Via Jan Palach  
Comune di Santa Maria Capua Vetere (CE)**

Novembre 2015

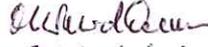
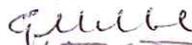
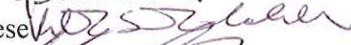
**Analisi di Rischio sito specifica dell’area di proprietà  
Comunale “Mattatoio Comunale”  
Comune di Santa Maria Capua Vetere (CE)**

PREMESSA.....	5
1 RACCOLTA DATI ESISTENTI.....	6
1.1 Descrizione sito.....	6
1.2 Risultati delle indagini ambientali .....	7
1.2.1 Indagini dirette .....	7
1.2.2 Risultati analisi chimiche .....	9
2 METODOLOGIA DELL’ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE .....	13
1.1 Rischio: definizione e accettabilità .....	14
3 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.....	16
3.1 Modello concettuale sito specifico.....	16
3.2 Parametri sito-specifici.....	18
3.2.1 Parametri meteo climatici .....	18
3.2.2 Parametri di idrogeologia locale .....	23
3.2.3 Granulometria/Tessitura del Terreno .....	24
3.2.4 Tabella Parametri sito specifici.....	25
3.2.5 Parametri di default.....	28
4 RISULTATI.....	30
5 CONCLUSIONI.....	37
6 BIBLIOGRAFIA .....	39

## ALLEGATI

1. Convenzione
2. Certificati P.R.G.
3. Certificati analitici suoli
4. Certificati analitici acque sotterranee
5. Stratigrafie
6. Schede calcolo coefficiente di permeabilità
7. Prove granulometriche
8. File risk-net

**Gruppo di lavoro**

Dott. Geol. Antonio di Donna   
Arch. Giovanni Stellato   
Ing. Valentina Sammartino Calabrese   
Dott. Geol. Gianluca Ragone 

**Il Dirigente U.O. CAAR**  
**Referente gruppo di lavoro**

Ing. Rita Lorio 

**Il Dirigente U.O.C. S.I.C.B.**  
Dott. Salvatore Di Rosa 

## PREMESSA

Il presente elaborato di Analisi di Rischio Sito Specifica è relativo al sito “Mattatoio Comunale” nel comune di Santa Maria Capua Vetere (CE).

Esso è stato redatto da ARPAC in relazione alla convenzione di servizi stipulata con la Regione Campania, prot. 2015. 0765794 del 10/11/2015 (Allegato 1), per l'esecuzione del progetto di servizi *"Elaborazione Analisi di Rischio sito-specifica" di cui all'art. 242 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., per i siti individuati dalle delibere di Giunta Regionale della Campania n. 57/2015 e n. 197/2015"*.

La presente analisi di rischio è stata condotta secondo quanto previsto dall'Allegato 1, Parte IV, Titolo V del D.lgs. 152/06 e s.m.i., contenente i “Criteri generali per l’analisi di rischio sanitario e ambientale sito specifica”.

Il Titolo V del sopracitato Decreto disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati e stabilisce le procedure, i criteri e le modalità per lo svolgimento delle operazioni necessarie per l’eliminazione delle sorgenti dell’inquinamento e comunque per la riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti.

## 1 RACCOLTA DATI ESISTENTI

### 1.1 Descrizione sito

Il sito, posto nel settore centro settentrionale del comune di Santa Maria Capua Vetere, occupa un'area di forma trapezoidale ed è delimitato da Via Vittorio Emanuele II su cui vi è un ingresso secondario, Via Jan Palach su cui si affacciano gli ingressi principali e da un terreno agricolo lungo la fascia ad Ovest. Catastalmente è identificato al foglio 2 particelle 86 e 89.

Il sito, di proprietà del Comune di Santa Maria Capua Vetere, è stato usato da metà '800 fino a circa il 1980 come mattatoio comunale. Dopo la dismissione il sito è stato utilizzato dal Comune di Santa Maria Capua Vetere come deposito di materiali vari (materiale elettorale, archivio, deposito automezzi). Attualmente il sito, in parte vincolato dalla Soprintendenza, è inutilizzato.

L'area del sito è di circa 4.150 mq, di cui circa 1.250 mq occupati da fabbricati. Tutta l'area si presenta pavimentata. In base alle planimetrie fornite dal Comune di Santa Maria Capua Vetere sono identificabili i seguenti fabbricati:

1. Edificio A – superficie circa 350 mq. Vi si svolgeva l'attività di macellazione dei suini ed degli equini; nel locale posto a Nord è presente un serbatoio che presumibilmente doveva contenere gasolio; la copertura era in Eternit (ora rimosso) su una orditura di capriate in legno; gli ingressi di quasi tutti i locali sono stati chiusi o con muratura o con cancellate;
2. Edificio B – superficie circa 330 mq. Vi si svolgeva l'attività di macellazione dei bovini, con un locale aggiunto successivamente sul lato Nord probabilmente in una ristrutturazione successiva dell'impianto; l'edificio presentava una parte della copertura in pannelli di cemento amianto anch'essi ora rimossi; i locali sono aperti ed accessibili;
3. Edificio C – superficie circa 400 mq. Vi si svolgeva l'attività di macellazione dei bovini e dei vitelli e erano presenti i locali Tripperia; l'edificio presenta una copertura in tegole su capriate in legno con alcuni cedimenti della stessa;
4. Edificio D – superficie circa 150 mq. Era destinato alle attività amministrative legate al Macello: vi era l'Ufficio del Veterinario e l'alloggio del custode;
5. Piccolo fabbricato E di circa 15 mq. Fabbricato del Vecchio Canile demolito e ricostruito in aderenza rispetto alla vecchia posizione: non è nota la sua destinazione dopo la ricostruzione;

6. Piccolo fabbricato F di circa 15 mq. Vecchio locale del Pozzo a servizio del Macello, con presenza di due serbatoi.

Tutti gli edifici sono costituiti da un solo livello fuori terra (altezza di circa 4.50 mt). Sono in muratura di tufo portante di spessore tra i 40 e 50 cm intonacati e non presentano piani interrati o seminterrati. Tutti i primi calpestii risultano essere ad una quota di circa +15/20 cm rispetto alla quota del piazzale. Le pavimentazioni interne non presentano evidenti segni di fratturazioni. La pavimentazione del piazzale presenta in più punti evidenti segni di degrado per la presenza di folta vegetazione.

Nelle immediate vicinanze (<30 mt) sono presenti edifici ad uso residenziale e commerciale.

L'area in oggetto è classificata dal P.R.G. Piano Regolatore Generale del Comune di Santa Maria Capua Vetere, adottato con Delibera di Consiglio comunale n° 443 del 22/04/1980, come zona E1 – Zona agricola. (Allegato 2)

Nel Progetto di Ampliamento Aree per l'Edilizia Economica e Popolare e nel Progetto definitivo esecutivo “Completamento urbanizzazione primaria – verde attrezzato Comprensorio C1-Nord” la particella 89 è un immobile incluso nelle “Aree di Parcheggio” con porzione Est interessata da “Viabilità”, mentre la particella 86 è inclusa nelle aree destinate per “Attrezzature scolastiche” con porzione Est interessata da “Viabilità”.

## 1.2 Risultati delle indagini ambientali

Il Piano della Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 del sito Mattatoio Comunale nel Comune di S.M. Capua Vetere (CE) è stato redatto da Arpac nel febbraio 2006 ed approvato dal MATTM in sede di Conferenza dei Servizi decisoria il 28 febbraio 2006. Tale Piano ha comportato l'esecuzione di:

- indagini di tipo indiretto: al fine di una corretta ubicazione dei punti di sondaggio per la definizione di eventuali anomalie presenti nel sottosuolo (fusti interrati, tubazioni, ordigni bellici ecc.) è stato effettuato un rilievo geofisico tramite georadar su tutta l'area oggetto di intervento, (indagini geoelettriche ed elettromagnetiche);
- indagini di tipo diretto.

### 1.2.1 Indagini dirette

Complessivamente l'indagine ambientale condotta ha riguardato:

- la realizzazione di n°5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo S3, S4, S5, P1, P2, spinti sino alla massima profondità di 10 metri da p.c.;

- l’allestimento a piezometro di n°2 dei sondaggi ambientali effettuati (P1 e P2), approfonditi fino alla profondità di 40 m da p.c.

In Figura 1 è riportata la planimetria del sito con ubicazione dei punti di indagine realizzati.



In tabella 1 si riportano le coordinate rilevate per ciascun punto di indagine (UTM 33T WGS 84 riferite alla cartografia della Campania 1:5000).

**Tab. 1: coordinate rilevate per ciascun punto di indagine**

Sigla sondaggio	Coord. X	Coord. Y
P1	437744	4548829
P2	437721	4548815
S3	437723	4548781
S4	437727	4548856
S5	437750	4548778

### 1.2.2 Risultati analisi chimiche

Complessivamente, nel corso delle indagini ambientali sono stati prelevati e sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio:

- n° 25 campioni di terreno di cui:
  - un campione rappresentativo dei terreni superficiali compreso tra la profondità di 0-1 m di da p.c.;
  - un campione rappresentativo dei terreni compreso tra la profondità di 1 – 3 m da p.c.;
  - un campione rappresentativo dei terreni compreso tra la profondità di 4 – 6 m da p.c.;
  - un campione rappresentativo dei terreni compreso tra la profondità di 7 – 9 m da p.c.;
  - un campione rappresentativo del fondo foro compreso tra la profondità di 9-10 m da p.c.;
- n° 5 campioni di Top Soil in corrispondenza di ogni sondaggio (0-10 cm di profondità da p.c.);
- n° 2 campioni di acque di falda (n° 1 campione per Piezometro).

**Per i suoli** sono state effettuate analisi chimiche finalizzate alla ricerca di:

- Composti inorganici (Arsenico, Cadmio, Cromo Totale, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco);
- Fluoruri e cianuri liberi;
- Composti Organici Aromatici ( Benzene, Etilbenzene, Toluene, Xileni, Stirene, sommatoria organici aromatici);
- Aromatici Policiclici: (Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(ghi)terilene, Crisene, Dibenzo(a, e)pirene, Dibenzo(a, l) pirene, Dibenzo(a, i)pirene, Dibenzo(a, h) pirene, Dibenzo(ah)antracene, Indeno (1,2,3)pirene e Pirene, sommatoria Policiclici aromatici);
- Idrocarburi (Leggeri C<12 e Pesanti C>12);

- Alifatici clorurati cancerogeni; (Clorometano, Diclorometano, Triclorometano, Cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene, 1,2-dicloropropano, 1,1,2-tricloroetano, 1,2,3-tricloropropano, 1,1,2,2-tetracloroetano)
- Alifatici clorurati non cancerogeni; (1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetilene, 1,1,1-Tricloroetano)
- Alifatici Alogenati cancerogeni; (Tribromometano (bromoformio), 1,2-dibromoetano, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano)
- Fenoli non clorurati; (Fenolo, O,m,p-metilfenolo)
- Fenoli clorurati; (2-Clorofenolo, 2,4-Diclorofenolo, 2,4,6-Triclorofenolo, Pentaclorofenolo)
- Amianto e PCB su n°5 campioni di top-soil (P2TS e S4TS per aree non pavimentate e P1TS, S3TS e S5TS per aree pavimentate);
- Diossine e Furani su n° 3 campioni di top-soil (S3TS e P1TS per area pavimentata e P2TS per area non pavimentata).

**Per le acque di falda** sono state eseguite analisi di laboratorio finalizzate alla ricerca di:

- Composti inorganici (Alluminio, Antimonio, Argento, Arsenico, Boro, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Cromo VI, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Manganese, Tallio, Zinco);
- Composti Organici Aromatici (Benzene, Etilbenzene, Toluene, para-Xilene e Stirene );
- Policiclici Aromatici (Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(ghi)terilene, Crisene, Dibenzo(a, e)pirene, Dibenzo(a, l) pirene, Dibenzo(a, i)pirene, Dibenzo(a, h) pirene, Dibenzo(ah)antracene, Indeno (1,2,3)pirene, Pirene, Sommatoria IPA);
- Fenoli e clorofenoli; (2-clorofenolo, 2,4-diclorofenolo, 2,4,6-triclorofenolo, Pentaclorofenolo);
- Idrocarburi Totali;
- Parametro “n-esano”;
- Cianuri liberi;
- Fluoruri, Solfati, Nitriti;

- Alifatici clorurati cancerogeni; (Clorometano, Triclorometano, Cloruro di vinile, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene, Esaclorobutadiene, 1,2-dicloropropano, 1,1,2-tricloroetano, 1,2,3-tricloropropano, 1,1,2,2-tetracloroetano, Sommatoria alifatici clorurati cancerogeni);
- Alifatici clorurati non cancerogeni; (1,1 dicloroetano, 1,2 dicloroetilene);

I certificati analitici di laboratorio con i risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di terreno sono inclusi nell’Allegato 3. I certificati analitici di laboratorio con i risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acqua di falda sono inclusi nell’Allegato 4.

### **Campioni di Terreno**

Confrontando i risultati delle determinazioni analitiche effettuate sui campioni di terreno in rapporto alla totalità dei materiali secchi comprensiva anche dello scheletro come previsto dal D. Lgs. 152/06 con le CSC indicate nella Tabella 1, colonna A del D.Lgs. n.152/06, è possibile notare che vi sono superamenti dei limiti per Arsenico, Piombo, Rame, Idrocarburi C>12, oltre a PCB e Diossine e Furani nei Top Soil. Nelle tabelle 2 e 3 sono riportati rispettivamente i superamenti delle CSC riscontrati nei campioni di suolo superficiale e profondo.

**Tab. 2 Superamenti delle CSC nei campioni di *Suolo superficiale***

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A mg/kg					50	100	0,06	1*10 <sup>-5</sup>
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Idrocarburi C>12	Piombo	PCB	Diossine e Furani
S4	437727	4548856	0,00 – 1,00	07/04/2008	538			
P1TS	437744	4548829	0,00 – 0,10	08/04/2008			0,071	
P2	437721	4548815	0,00 – 1,00	10/04/2008		133		
P2TS	437721	4548815	0,00 – 0,10	10/04/2008				2,3*10 <sup>-5</sup>

<b>Tab. 3: risultati delle determinazioni analitiche campioni Suolo profondo</b>								
Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A mg/kg					100	20	120	50
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Piombo	Arsenico	Rame	Idrocarburi C>12
P1	437744	4548829	1,00 – 3,00 m	08/04/2008	288			
			4,00 – 6,00 m		127,8		163,7	
S4	437727	4548856	1,00 – 3,00 m	07/04/2008	152		295	
			7,00 – 9,00 m			37,7		
S3	437723	4548781	1,00 – 3,00 m	07/04/2008	165		587	
			4,00 – 6,00 m		115,4		471	
			7,00 – 9,00 m		339			
P2	437721	4548815	1,00 – 3,00 m	10/04/2008	120		192	
			4,00 – 6,00 m		154		260	
S5	437750	4548778	1,00 – 3,00 m	11/04/2008			214	
			9,00 – 10,0 m					172

Confrontando i risultati delle determinazioni analitiche effettuate sui campioni di acqua di falda con le CSC previste dal D. Lgs. 152/06 (All.5 - Tab.2), risulta che il sito è interessato da una contaminazione dovuta a Ferro, Manganese e Nitriti. In tabella 4 sono riportati i superamenti delle CSC riscontrati nelle acque di falda.

<b>Tab.4: Superamenti delle CSC nei campioni di Acqua di falda</b>							
Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 µg/l					50 µg/L	500 µg/L	200 µg/L
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Manganese	Nitriti	Ferro
P1	437744	4548829	40,00 m	22/04/2008	1180	1170	634
P2	437721	4548815	40,00 m	22/04/2008	1406	807	

## 2 METODOLOGIA DELL’ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE

L’analisi di rischio rappresenta una procedura avanzata per valutare il grado di contaminazione di un sito e dei rischi per la salute umana e per l’ambiente circostante connessi con l’inquinamento rilevato. Essa costituisce lo strumento più indicato per supportare le strategie di gestione della contaminazione e per quantificare i pericoli legati alla presenza di sostanze presenti in concentrazioni superiori a quelle previste dalla normativa vigente.

La procedura di analisi di rischio codificata dall’ASTM e ripresa dal D.lgs. 152/06 - Parte IV – Titolo V e s.m.i., prevede un approccio graduale di approfondimento, denominato Risk Based Corrective Action (RBCA). Tale approccio è articolato in tre differenti livelli di approfondimento, che si differenziano fondamentalmente per conservatività, difficoltà di applicazione e rappresentatività sito specifica.

Il livello di dettaglio dell’analisi di rischio è legato allo scopo che ci si prefigge e alla complessità e criticità del sito:

- Risk Screening (livello 1)
- Procedura sito specifica (livello 2)
- Procedura approfondita (livello 3)

I tre livelli possono così essere definiti:

- **primo livello (Tier 1)** corrisponde ad una valutazione di screening, in cui vengono determinati, sulla base di scenari, modelli ed assunzioni conservative generiche, i *Risk Based Screening Levels* (RBSL). I valori RBSL sono valori di concentrazione per le diverse matrici ambientali che hanno valore generico e non sito specifico. Se le concentrazioni rappresentative della contaminazione nel sito superano i suddetti valori, i RBSL possono essere un riferimento per gli obiettivi di bonifica, oppure si può passare al livello 2 di analisi che prevede la caratterizzazione specifica del sito;
- **secondo livello (Tier 2)** consiste in una valutazione sito specifica in cui vengono calcolati i *Site Specific Target Level* (SSTL), che corrispondono ai valori di concentrazione che possono costituire gli obiettivi di bonifica per le matrici contaminate. Nel livello 2 sono utilizzati modelli di trasporto analitici, in cui i dati d’ingresso sono ricavati da indagini ambientali condotte in sito. Qualora alcuni dati di input non siano disponibili, si ricorre a valori riportati in letteratura o a dati validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi. Se le concentrazioni rappresentative della contaminazione nel sito superano i SSTL, questi ultimi possono essere presi come riferimento nell’individuazione degli obiettivi di bonifica, oppure si può passare al livello 3 di analisi che prevede l’uso di modelli di simulazione complessi e un maggior numero di dati;
- **terzo livello (Tier 3)** rappresenta lo stadio più approfondito di analisi di rischio. Il terzo livello prevede l’uso di strumenti di calcolo più complessi, costituiti da modelli numerici e stocastici per la

simulazione dei fenomeni di trasporto dei contaminanti. L'applicazione dell'analisi di rischio di terzo livello è possibile nel caso in cui si disponga di dati chimici, biologici e fisici specifici del sito, necessari alla completa determinazione dei fenomeni di riduzione del carico di contaminante in atto nel sottosuolo. Nella procedura di analisi di rischio sanitario (AdR), connessa alla contaminazione di un sito, è importante determinare il ‘Modello Concettuale del Sito’ (MCS). Tale modello è il frutto di indagini ed analisi di caratterizzazione del sito e la sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l'AdR:

**Sorgente**  $\Rightarrow$  **Trasporto**  $\Rightarrow$  **Bersaglio**

pertanto devono essere definiti:

- **Le sorgenti di contaminazione:** queste si differenziano in sorgenti primarie, rappresentate dall'elemento che è causa di inquinamento, e sorgenti secondarie identificate invece con il comparto ambientale contaminato (suolo, acqua, aria). Le sorgenti secondarie possono suddividersi in:

- zona insatura, a sua volta distinta in suolo superficiale (profondità fino a 1 m) e suolo profondo (profondità superiori a 1 m);
- zona satura o acqua sotterranea.

In accordo agli standard di riferimento la procedura di analisi di rischio viene applicata esclusivamente alle sorgenti secondarie di contaminazione.

- **Le vie di migrazione/percorsi di esposizione:** vengono distinte in base alla sorgente di contaminazione. Per il suolo superficiale si considerano l'ingestione di suolo, il contatto dermico, l'inalazione di vapori e polveri e la lisciviazione verso la risorsa idrica sotterranea; nel caso di un suolo profondo vengono attivati i percorsi di volatilizzazione e di lisciviazione in falda; per la zona satura infine la volatilizzazione e la migrazione verso il punto di conformità, cioè il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale devono essere rispettati gli obiettivi di qualità delle acque sotterranee.

- **I bersagli della contaminazione:** vengono presi in considerazione solo recettori umani, distinti in base alla destinazione d'uso del suolo contaminato, ovvero per aree residenziali/verde pubblico i bersagli sono adulti e bambini mentre per aree industriali/commerciali sono solo adulti (lavoratori).

## 1.1 Rischio: definizione e accettabilità

Il rischio (R) derivante da un sito contaminato è dato dalla seguente espressione:

**R = E x T** dove:

**E** = esposizione, definisce la condizione in cui un composto chimico viene a contatto con il recettore ed è il termine che quantifica la probabilità di contatto degli inquinanti con i bersagli.

L'esposizione è pari al prodotto tra la concentrazione del contaminante al punto di esposizione e i fattori di esposizione (tasso di contatto, durata e frequenza di esposizione, peso corporeo, durata della vita etc.).

**T** = tossicità di un composto chimico, stimato mediante studi scientifici condotti da organismi internazionali, fornito sotto forma di valori di potenziali cancerogeni o delle dosi massime assimilabili, a seconda che si tratti di una sostanza cancerogena o non cancerogena.

Il rischio **R** viene confrontato con i criteri di accettabilità individuali e cumulativi del rischio sanitario, per decidere se esistono o meno condizioni in grado di causare effetti sanitari nocivi. Il calcolo del rischio si differenzia a seconda che l'inquinante sia cancerogeno oppure non cancerogeno.

Per quantificare il rischio per la salute umana dovuto all'esposizione alla contaminazione, e valutarne l'accettabilità o la non accettabilità, si devono calcolare i quozienti di pericolo HI (*Hazard Index*) per le sostanze non cancerogene e i valori di rischio incrementale R per le sostanze cancerogene:

$$HI = Dose\ Assunta / Reference\ Dose\ (RfD)$$

$$R = Dose\ Assunta \times Slope\ Factor\ (SF),$$

in cui la **dose assunta**, ovvero la dose media giornaliera assunta, viene espressa come mg/kg giorno; **la dose di riferimento (RfD)** è espressa in mg/kg giorno e rappresenta la dose massima ammissibile, cioè la dose o concentrazione di sostanza tossica per la quale, in letteratura, non vengono riportati effetti avversi per l'uomo esposto alla sostanza stessa; **lo Slope Factor (SF)** è espresso in (mg/kg giorno)<sup>-1</sup>, esso rappresenta il potenziale cancerogeno e stima la probabilità incrementale di ammalarsi di cancro nel corso della vita, associata all'assunzione di una dose unitaria di una certa sostanza cancerogena per unità di peso corporeo. Per le sostanze cancerogene, a differenza di quelle semplicemente tossiche, si ritiene che non esista un valore di soglia al di sotto della quale non vi siano effetti. Ciò a significare che non esiste un livello di esposizione alla sostanza che non ponga una probabilità anche se minima di generare una risposta cancerogena, in pratica non esiste una dose senza rischi.

A livello nazionale, secondo quanto previsto nel Testo Unico in campo Ambientale (D.Lgs. 152/06 e s.m.i.), il rischio per la salute umana è accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- R per singola sostanza  $\leq 10^{-6}$ ;
- R cumulato  $\leq 10^{-5}$ ;
- HI per singola sostanza  $\leq 1$  (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile);
- HI cumulato  $\leq 1$  (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile).

### 3 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA

L’analisi di rischio applicata nel presente studio è di secondo livello (*Tier 2*), pertanto è stata effettuata una valutazione sito specifica in cui i dati d’ingresso sono stati ricavati da indagini ambientali condotte in sito e, in assenza di queste, da valori riportati in letteratura o da dati validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi.

#### 3.1 Modello concettuale sito specifico

L’analisi di rischio è stata svolta in modalità sia diretta che inversa ai fini del calcolo del rischio e delle Concentrazioni Soglia di Rischio.

Il software utilizzato è Risk-net 2.0 sviluppato nell’ambito della rete RECONnet (Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati) su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica dell’ Università di Roma “Tor Vergata”. Il software permette di calcolare il rischio (e le CSR) legato alla presenza di contaminanti all’interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria (“Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”; APAT-ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08).

In base alla presenza di edifici residenziali in prossimità del sito, all’ utilizzo attuale e a quello futuro sono stati individuati tre casi distinti in cui l’implementazione dell’analisi di rischio ha tenuto conto rispettivamente di:

- **Caso 1:** bersagli residenziali on site;
- **Caso 2:** bersagli lavoratori on site;
- **Caso 3:** bersagli ricreativi on site.

- **Sorgenti**

Le matrici ambientali considerate quali sorgenti secondarie di contaminazione sono il suolo superficiale e il suolo profondo. Ad entrambe è stata associata l’intera superficie del sito ai fini della determinazione dei parametri dimensionali. Le acque di falda, invece, non sono state considerate una sorgente di contaminazione per il bersaglio uomo in quanto presentano una contaminazione esclusivamente da sostanze non volatili.

- **Vie di trasporto e percorsi di esposizione**

- suolo superficiale: lisciviazione verso la falda, inalazione di polveri e vapori, ingestione e contatto dermico nei casi 2 e 3 e solo inalazione di vapori e polveri nel caso 1;
- suolo profondo: lisciviazione verso la falda e inalazione di vapori nei casi 2 e 3; inalazione di vapori nel caso 1.

- **Bersagli**

Il sito risulta al momento non utilizzato, pertanto non sono presenti recettori on site.

Nel caso 1 sono stati selezionati bersagli residenziali data la presenza di edifici ad uso residenziale ad una distanza di 18 m dal sito, nel caso 2 i bersagli sono i lavoratori secondo l'attuale destinazione urbanistica e nel caso 3 è stato scelto un bersaglio di tipo ricreativo vista la possibile destinazione futura (area parcheggio e attrezzature scolastiche). E' stata inoltre considerata la falda idrica quale ulteriore bersaglio.

I contaminanti selezionati sono tutti quelli presenti nel suolo superficiale e profondo. Le rispettive concentrazioni rappresentative della sorgente sono indicate nelle tabelle n. 5 e n. 6 e corrispondono alle concentrazioni massime rilevate, comprese le analisi eseguite dall'Ente di Controllo.

I parametri chimico fisici e tossicologici utilizzati sono quelli riportati nella banca dati ISS-ISPEL, aggiornata a Marzo 2015

**Tab. n. 5 – Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo superficiale**

Contaminante	CRS (mg/kg)
Idrocarburi C>12	538
Piombo	133
PCB	0,071
Diossine e Furani	2,3E-05

**Tab. n.6 – Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo profondo**

Contaminante	CRS ( mg/kg )
Piombo	339
Arsenico	37,7
Rame	587
Idrocarburi C>12	172

### 3.2 Parametri sito-specifici

#### 3.2.1 Parametri meteo climatici

Per quanto riguarda l’acquisizione dei dati di precipitazioni meteoriche, necessari ai fini della presente elaborazione di analisi di rischio è stato consultato il database Sinanet (ISPRA).

Nello specifico, sono stati utilizzati i dati rilevati alla stazione Grazzanise misurati nel periodo 1975-2013.

In particolare, è stato considerato, ai fini dell’elaborazione, il massimo dei valori di precipitazione media annua cumulata (anno 2005) per la serie storica relativa agli ultimi dieci anni: 1128 mm/anno.

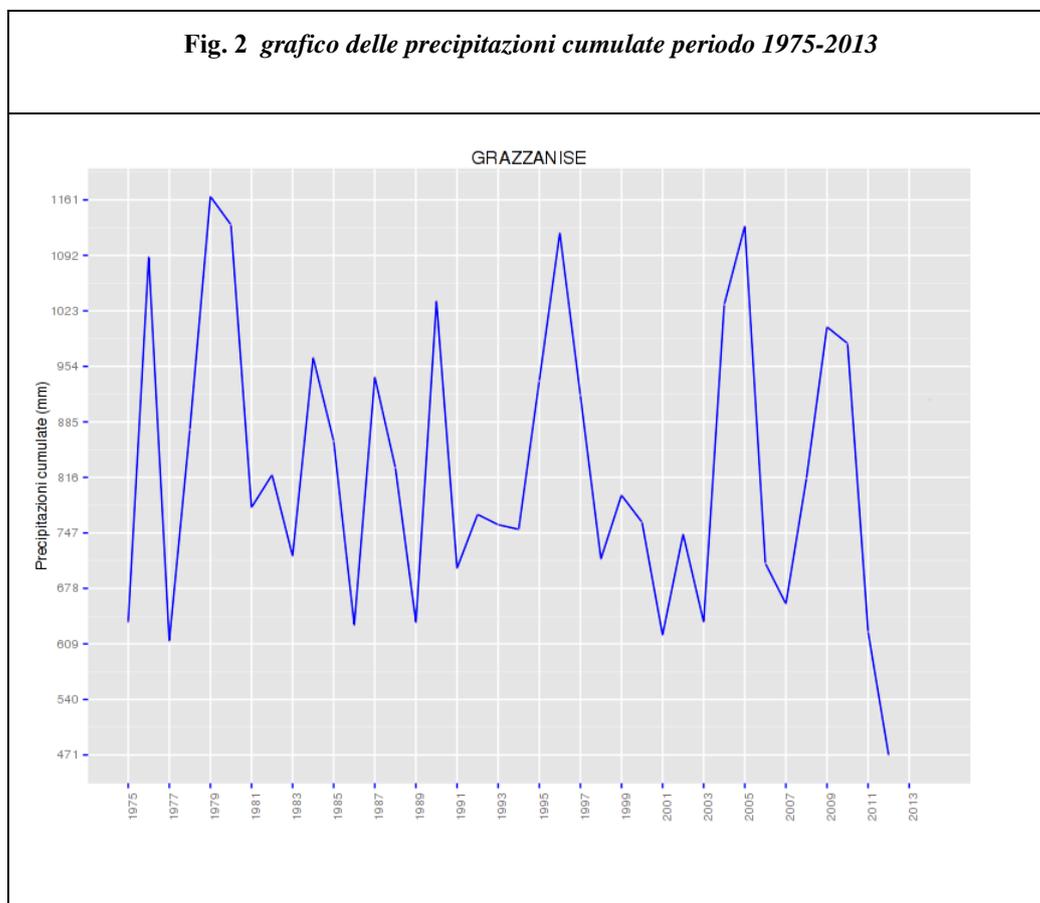
In tabella 7 si riportano i valori della serie storica dei valori max di precipitazione annua cumulata dal 1975 al 2013.

**Tabella 7 - Serie storica dei valori max di precipitazione media annua cumulata dal 1975 al 2013**

Anno	Precipitazioni cumulate (mm/anno)	Anno	Precipitazioni cumulate (mm/anno)	Anno	Precipitazioni cumulate (mm/anno)
1975	635	1988	828,1	2001	620,0
1976	1090	1989	635,6	2002	745,5
1977	612	1990	1035,2	2003	636,2
1978	875,4	1991	703,0	2004	1030,7
1979	1165,3	1992	770,0	2005	1128,4
1980	1130,1	1993	757,2	2006	709,2
1981	778,6	1994	751,4	2007	658,8
1982	819,2	1995	935,8	2008	814,8
1983	718,2	1996	1119,9	2009	1003,1
1984	965,0	1997	918,3	2010	982,5
1985	861,1	1998	714,6	2011	624,0
1986	632,2	1999	793,9	2012	470,6
1987	940,7	2000	760,3	2013	NA

In figura 2 è riportato il grafico delle precipitazioni cumulate periodo 1975-2013

**Fig. 2 grafico delle precipitazioni cumulate periodo 1975-2013**



Per la definizione delle caratteristiche di ventosità del sito, tra le stazioni meteo inserite nel sistema SCIA di ISPRA (<http://www.scia.sinanet.apat.it/>), è stata selezionata quella che risulta maggiormente rappresentativa delle condizioni di Santa Maria Capua Vetere, valutata sulla base di considerazioni riguardanti la distanza dal sito, la quota altimetrica e l'esposizione della stazione. E' stata quindi selezionata la stazione di Grazzanise (Codice Stazione: 162530), per la quale sono disponibili i dati di velocità media annua per il periodo 1976-2014.

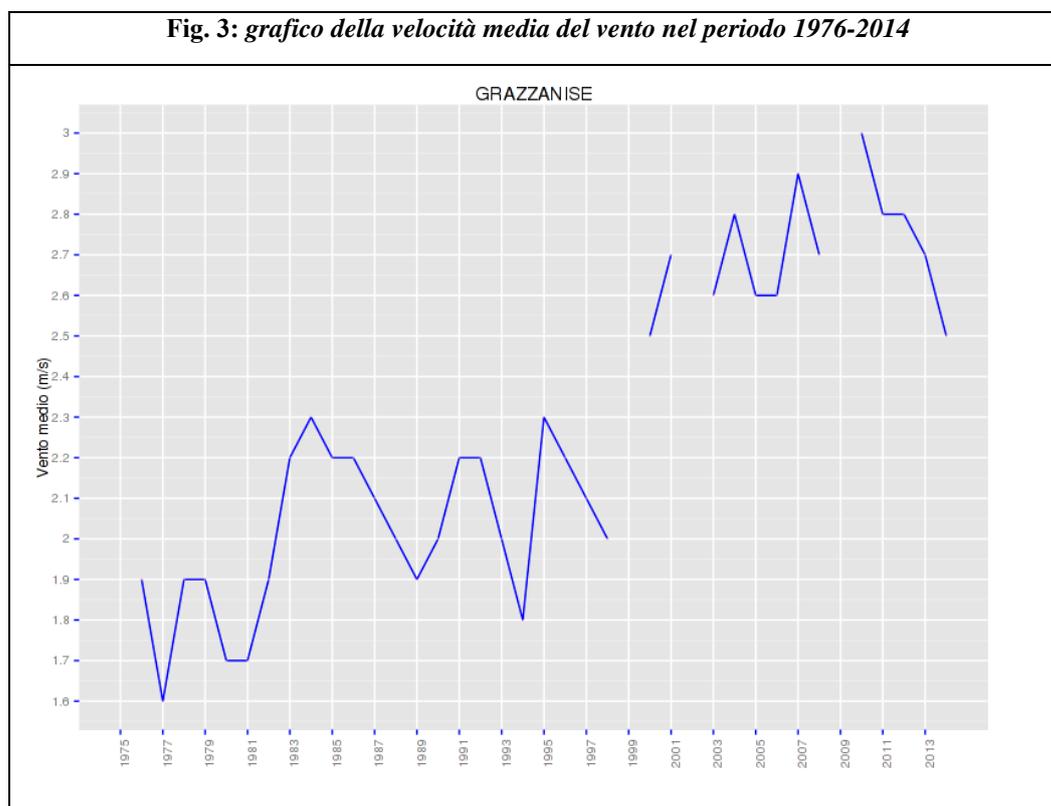
In tabella 8 si riportano i valori della serie storica di velocità media del vento nel periodo 1976-2014

**Tabella 8** - Serie storica dei valori di velocità media del vento relativa al periodo 1976-2014. Stazione di Grazzanise (Codice Stazione: 162530)

Anno	Velocità media vento (m/s)	Numero di dati	Anno	Velocità media vento (m/s)	Numero di dati
1976	1,9	366	1995	2,3	365
1977	1,6	365	1996	2,2	366
1978	1,9	365	1997	2,1	365
1979	1,9	365	1998	2	365
1980	1,7	363	1999	n.d.	n.d.
1981	1,7	365	2000	2,5	366
1982	1,9	365	2001	2,7	365
1983	2,2	303	2002	n.d.	n.d.
1984	2,3	366	2003	2,6	363
1985	2,2	362	2004	2,8	366
1986	2,2	365	2005	2,6	355
1987	2,1	365	2006	2,6	334
1988	2	358	2007	2,9	365
1989	1,9	365	2008	2,7	364
1990	2	365	2009	n.d.	n.d.
1991	2,2	365	2010	3	362
1992	2,2	366	2011	2,8	358
1993	2	365	2012	2,8	n.d.
1994	1,8	365	2013	2,7	n.d.
			2014	2,5	n.d.

In figura 3 è riportato il grafico della velocità media del vento nel periodo 1976-2014

**Fig. 3: grafico della velocità media del vento nel periodo 1976-2014**

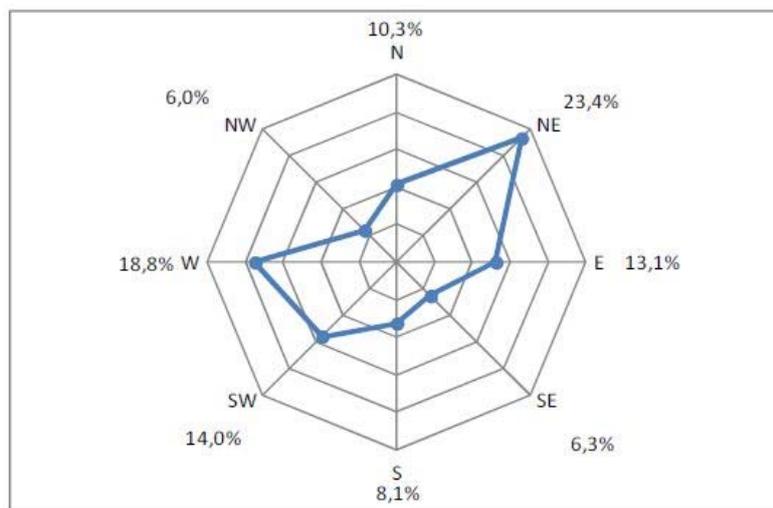


Ai fini della stima del valore di velocità media del vento alla quota di 2 m, all'interno del software sono state impostate una quota di 10 m della centralina meteo di riferimento, una classe di stabilità atmosferica D ed una tipologia di suolo “rurale”.

Come direzione del vento prevalente è stata assunta la direzione NE-SO (fonte: stazione meteo di Grazzanise).

Nella figura 4 viene riportato il diagramma della frequenza del vento in relazione all'intensità ed alla direzione di provenienza.

**Fig. 4 diagramma anemologico periodo 1975-2014– stazione di Grazzanise**



In tabella 9 vengono riportati i valori utilizzati per l’elaborazione dello stesso. La direzione principale di provenienza del vento è NE-SO

**Tab. n. 9– Percentuali delle frequenze dell’intensità del vento, per l’elaborazione diagramma anemometrico**

Intensità (m/s)		CALM	0.5 – 3.0	3.0 – 5.0	5.0 – 10.0	> 10.0
Frequenze espresse in %	Settore 1	2,32%	2,47%	0,81%	0,46%	0,06%
	Settore 2	2,32%	5,20%	2,10%	0,68%	0,07%
	Settore 3	2,32%	5,12%	3,31%	2,03%	0,22%
	Settore 4	2,32%	3,22%	1,80%	1,80%	0,24%
	Settore 5	2,32%	0,93%	0,37%	0,12%	0,00%
	Settore 6	2,32%	0,62%	0,17%	0,07%	0,00%
	Settore 7	2,32%	0,50%	0,16%	0,14%	0,04%
	Settore 8	2,32%	0,95%	0,52%	0,46%	0,06%
	Settore 9	2,32%	0,58%	0,45%	0,44%	0,03%
	Settore 10	2,32%	1,16%	1,19%	1,00%	0,10%
	Settore 11	2,32%	1,82%	2,58%	1,38%	0,09%
	Settore 12	2,32%	3,23%	4,84%	3,48%	0,32%
	Settore 13	2,32%	0,70%	0,70%	0,76%	0,08%
	Settore 14	2,32%	0,43%	0,13%	0,07%	0,01%
	Settore 15	2,32%	0,54%	0,14%	0,04%	0,01%
	Settore 16	2,32%	1,21%	0,37%	0,25%	0,06%

### 3.2.2 Parametri di idrogeologia locale

Il territorio del Comune di Santa Maria Capua Vetere oggetto di interesse rientra in quella vasta area attraversata dal basso Volturno, nota come Piana Campana.

L’assetto geologico, costruito sulla base di dati stratigrafici, vede uno spessore di circa 40 metri di tufo poggiare su di un’alternanza di vulcanoclastiti sciolte di varia granulometria, alcuni metri di depositi limo – argillosi ed ancora materiali detritico – piroclastici più o meno grossolani ed alluvioni con spessori relativi anche molto variabili da una zona all’altra, fino a profondità che generalmente superano i 100 m, sotto i quali si rinviene il substrato calcareo.

L’attività di monitoraggio ambientale del sottosuolo, eseguita nell’ambito dell’intervento di esecuzione dei sondaggi, ha permesso di ricostruire l’assetto litostratigrafico locale del sottosuolo che viene di seguito sintetizzato:

- da 0,00 a 0,10 circa m da p.c.: asfalto;
- da 0,10 a 0,8 m da p.c. : Materiale di riporto - Sabbia di colore marrone con limo, ghiaioso. Presenza di mattoni e resti antropici;
- da 0,80 a 4,50 m circa da p.c.: Limo di colore marrone con sabbia, ghiaioso e rari ciottoli;
- da 4,50 a 12,00 m da p.c.: Sabbia di colore grigio – marrone limosa e ghiaiosa, rari ciottoli;
- da 12,00 a 30,00 m da p.c. : Limo di colore marrone scuro sabbioso e argilloso

Le descrizioni stratigrafiche di ogni singolo punto d’indagine e analisi granulometrica sono riportati nell’Allegato 5.

Dal punto di vista idrogeologico, l’area in esame fa parte della ben nota unità idrogeologica della Piana del Volturno – Regi Lagni. L’acquifero principale è rappresentato dai depositi sedimentari e piroclastici sciolti con granulometria da media a grossolana, sottostanti l’Ignimbrite Campana, la base dell’acquifero si trova intorno ai 150 metri.

Al di sopra di questi livelli, sono talora presenti spessori ridotti di materiali sciolti, anch’essi sede di falde freatiche, il cui livello piezometrico si instaura ai 20 metri s.l.m., con un’alimentazione quasi esclusivamente meteorica, la direzione di deflusso Nord Est – Sud Ovest.

Per la falda profonda invece, la ricarica è legata agli apporti pluviometrici, laddove non sussistono condizioni di confinamento, o travasi sotterranei con origine nei rilievi carbonatici o vulcanici.

Il tetto della superficie freaticometrica è stato intercettato durante l’esecuzione dei sondaggi/piezometri a **quota 14,9 da p.c.**

La direzione di flusso preferenziale è da Nord Est verso Sud Ovest con un **gradiente medio dell’ordine di 0,45%** .

Al termine delle attività di perforazione sono state eseguite delle prove di Slug Test al fine di determinare la conducibilità idraulica dell’acquifero.

Le prove sono state eseguite imponendo all’acquifero una variazione volumetrica impulsiva, e misurando la variazione del ripristino del livello, che risulta essere direttamente correlato alla permeabilità idraulica dell’acquifero.

Le prove sono state eseguite nei piezometri P1 e P2. Il valore medio è dell’ordine di circa **6.0\*10<sup>-4</sup> m/s.** In Allegato 6 sono riportate le schede di calcolo del coefficiente di permeabilità dei 2 piezometri. In tabella 10 sono riportati i valori di conducibilità idraulica.

<b>Tab.10 - Risultati delle prove slug test con i relativi valori di conducibilità idraulica</b>	
MW	K
P1	8,55 E-04 m/sec
P2	3,45 E-04 m/sec

### 3.2.3 Granulometria/Tessitura del Terreno

Al fine di valutare le caratteristiche geomeccaniche dei suoli, nel corso della perforazione dei sondaggi di monitoraggio, è stato prelevato un campione (circa 5 Kg) rappresentativo dei terreni riscontrati in sito. Le analisi granulometriche sono state eseguite secondo lo standard ASTM D422-98.

I dati dei risultati delle prove granulometriche indicano che si tratta nel complesso di materiale eterogeneo, costituito prevalentemente da sabbia (55%), da limo come frazione secondaria (23%), da ghiaia (18%) e argilla (4%).

Nella tabella 11 si riportano: il sondaggio, il peso specifico, litologie e la descrizione litologica.

**Tab. 11- Distribuzione granulometrica**

Sondaggio	$\gamma_s$ ,	Sabbia	Limo	Ghiaia	Argilla	Descrizione
P1	2,55	51%	18%	29%	2%	sabbia con ghiaia limosa
P2	2,56	53%	23%	20%	4%	sabbia limoso ghiaiosa
S3	2,52	50%	23%	22%	5%	sabbia limoso, ghiaiosa, debolmente argillosa
S4	2,57	54%	23%	20%	3%	sabbia ghiaioso limosa
S5	2,55	55%	23%	18%	4%	sabbia limoso ghiaiosa

I terreni campionati risultano prevalentemente come sabbia limoso-ghiaiosa. In allegato 7 si riportano i relativi certificati.

### 3.2.4 Tabella Parametri sito specifici

In base al modello concettuale attivato, vengono riportati in Tabella 12 i parametri richiesti dal software Risk-net ed i relativi valori implementati, selezionati in base a quanto previsto dai “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” e dal documento “Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell’applicazione dell’analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06” elaborati da APAT-ARPA-ISS-ISPEL

**Tabella 12 – Parametri sito specifici**

Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Valore utilizzato
<b>L<sub>GW</sub></b>	Profondità del piano di falda	cm	300	1490
<b>W<sub>SS</sub></b>	Estensione della sorgente nel suolo superficiale nella direzione del flusso di falda	cm	4500	5300
<b>W<sub>sp</sub></b>	Estensione della sorgente nel suolo profondo nella direzione del flusso di falda	cm	4500	5300
<b>W'<sub>ss</sub></b>	Estensione della sorgente nel suolo superficiale nella direzione principale del vento	cm	4500	5300
<b>W'<sub>sp</sub></b>	Estensione della sorgente nel suolo profondo nella direzione principale del vento	cm	4500	5300
<b>L<sub>f</sub></b>	Profondità della base della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	100	100
<b>d</b>	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	100
<b>L<sub>s(Sp)</sub></b>	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	100
<b>d</b>	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200	1390
<b>da</b>	Spessore acquifero	m	—	150
<b>I<sub>ef</sub></b>	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	2,44
<b>K<sub>sat</sub></b>	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	-----	3,45x10-4
<b>i</b>	Gradiente idraulico	adim.	-----	0.0045
<b>U<sub>air</sub></b>	Velocità del vento	cm/s	225	125
<b>Lb</b>	Rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione (res- com)	m	2-3	2-4
<b>EF</b>	Frequenza giornaliera di esposizione (res-com)	Ore/giorno	24-8	24-8

Le considerazioni effettuate ai fini della scelta dei parametri e dei contaminanti sono:

- Le dimensioni della sorgente rispetto alle direzioni del vento e della falda sono le massime così come evidenziato nelle figure 5 e 6;
- Lo spessore della contaminazione nel suolo profondo è stato valutato in base alla soggiacenza della falda, considerato che nel campione più profondo prelevato (9-10 m da pc) è stata rilevata contaminazione e non sono state eseguite indagini oltre i 10 m;
- L'infiltrazione efficace è stata calcolata considerando il valore massimo di piovosità media annua tra quelli riportati in tabella 7, un terreno limo sabbioso e una frazione areale di fratture pari a 1;
- La velocità del vento è stata calcolata considerando il valore minore tra quelli riportati in tabella 8 un suolo rurale ed una classe di stabilità D.
- Granulometria selezionata: loamy sand.
- Il rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione è stato considerato pari a 2 m (dato di default) nel caso di bersagli residenziali e ricreativi (in quanto non si conoscono le caratteristiche degli edifici off site e degli eventuali edifici futuri da realizzare on site) e pari a 4 m nel caso di bersagli lavoratori.
- La frequenza giornaliera di esposizione è pari a 24 ore nel caso 1, mentre nei casi n. 1 e n. 3 è stata posta uguale a 8 ore.

Relativamente alla scelta dei contaminanti:

- per gli idrocarburi  $C>12$ , non essendo stata effettuata una speciazione, è stata selezionata la frazione MADEP che è risultata in questo caso maggiormente cautelativa: alifatici C9-C18;
- la concentrazione dei PCB è stata associata ai PCB dl per i percorsi diretti e inalazione di polveri in quanto rappresentano la classe con rischio maggiore ed ai PCB tot per i percorsi di inalazione in quanto i PCB dl sono ritenuti non volatili nella Banca Dati ISS INAIL Marzo 2015 ;
- le sostanze inorganiche rinvenute nelle acque sotterranee non sono state implementate nell'analisi di rischio in quanto sono ritenute non volatili così come indicato nel Documento di supporto alla Banca Dati elaborata da ISS ed aggiornata a Marzo 2015.

### 3.2.5 Parametri di default

In fase di caratterizzazione ambientale non sono stati determinati i seguenti parametri: foc, pH e densità del suolo. I valori inseriti, pertanto, corrispondono a quelli di default ISPRA. Anche per il rapporto tra volume indoor e l’area di infiltrazione, nel caso 1, è stato selezionato in via cautelativa il valore di default.

**Figura 5: dimensioni della sorgente suolo superficiale e profondo rispetto alla direzione della falda**



**Figura 6: dimensioni della sorgente suolo superficiale e profondo rispetto alla direzione principale del vento**



## 4 RISULTATI

### CASO 1

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel sito per i bersagli residenziali off site ha evidenziato:

A. **Suolo Superficiale:** Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione vapori indoor. In figura n. 7 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile. Si evidenzia che per i PCB dl risulta un rischio da inalazione di vapori, ma considerato che gli stessi sono non volatili e che tale via di esposizione è stata associata ai PCB tot, non si è tenuto conto del risultato ottenuto.

Fig. n. 7 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo suolo superficiale

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	
Alifatici C9-C18	5,38E+02	---		5,38E+02	---	---	1,34E+01	
PCB dl	7,10E-02	---		7,10E-02	---	2,57E-04	9,40E-01	
Piombo	1,33E+02	---		1,33E+02	---	---	5,94E-07	
2,3,7,8-TCDD	2,30E-05	---		2,30E-05	---	3,31E-07	1,21E-03	
PCB Tot.	7,10E-02	---		7,10E-02	---	5,12E-08	---	
						<b>On-site</b>	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
						Outdoor	2,57E-04	1,33E+00
						Indoor	8,31E-05	1,37E+01

B. **Suolo profondo:** Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione vapori indoor.

In figura n. 8 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile.

*Fig. n. 8 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo suolo profondo*

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	1,72E+02	---		1,72E+02	---	---	4,04E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nelle figura n. 9 e n.10. Le CSR degli alifatici C9-C18 per il suolo superficiale e per il suolo profondo sono inferiori alle CSC residenziali, pertanto queste ultime andranno considerate quali effettivi obiettivi di bonifica.

*Fig. n. 9 – CSR suolo superficiale*

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	
Alifatici C9-C18	4,03E+01		4,03E+01	3,78E+01	---	1,00E+00	
Piombo	NA		NA		---	---	
2,3,7,8-TCDD	6,96E-05		6,96E-05	6,54E-05	1,00E-06	3,66E-03	
PCB Tot.	1,39E+00		1,39E+00	1,30E+00	1,00E-06	---	
					<b>On-site</b>	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
					Outdoor	2,00E-06	3,24E-02
					Indoor	5,57E-07	1,00E+00

*Fig. n. 10 – CSR suolo profondo*

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	4,25E+01		4,25E+01	3,99E+01	---	1,00E+00	NA	1,00E+01

## CASO 2

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel sito per il bersaglio lavoratore on site ha evidenziato:

**Suolo Superficiale:** Rischio non accettabile per PCB dl per ingestione e contatto dermico. Si evidenzia che per i PCB dl risulta un rischio da inalazione di vapori, ma considerato che gli stessi sono non volatili e che tale via di esposizione è stata associata ai PCB tot, non si è tenuto conto del risultato ottenuto.

In figura n. 11 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio e rischio cumulato non accettabile.

Fig. n. 11 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo suolo superficiale

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
Alifatici C9-C18	5,38E+02	---		5,38E+02	---	---	4,38E-01
PCB dl	7,10E-02	---		7,10E-02	---	5,52E-04	1,43E+01
Piombo	1,33E+02	---		1,33E+02	---	---	2,10E-02
2,3,7,8-TCDD	2,30E-05	---		2,30E-05	---	8,49E-07	2,27E-02
PCB Tot.	7,00E-02	---		7,00E-02	---	8,79E-08	---
					On-site	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
					Outdoor	5,53E-04	1,44E+01
					Indoor	5,40E-06	4,48E-01

**Suolo profondo:** Rischio per la risorsa idrica non accettabile per Piombo ed Arsenico.

In figura n. 12 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

Fig. n. 12 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo suolo profondo

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)
Arsenico	3,77E+01	---		3,77E+01	---	---	---	5,59E+00
Piombo	3,39E+02	---		3,39E+02	---	---	---	1,62E+00
Rame	5,87E+02	---		5,87E+02	---	---	---	7,21E-01
Alifatici C9-C18	1,72E+02	---		1,72E+02	---	---	1,33E-01	3,11E-03

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nelle figure n. 13 e n.14. Le CSR dei PCB dl (suolo superficiale) e dell’Arsenico (suolo profondo) sono inferiori alle CSC residenziali, pertanto queste ultime saranno considerate quali effettivi obiettivi di bonifica.

Fig. n. 13 – CSR suolo superficiale

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	1,23E+03	<b>1,23E+03</b>	1,15E+03	---	1,00E+00	1,49E-03	1,00E+01
PCB dl	1,29E-04	<b>1,29E-04</b>	1,21E-04	1,00E-06	2,59E-02	2,93E-05	6,00E-02
Piombo	3,11E+03	<b>3,11E+03</b>	2,92E+03	---	4,92E-01	1,00E+00	1,00E+02
2,3,7,8-TCDD	2,71E-05	<b>2,71E-05</b>	2,55E-05	1,00E-06	2,67E-02	7,87E-03	1,00E-05
PCB Tot.	7,96E-01	<b>7,96E-01</b>	7,48E-01	1,00E-06	---	2,95E-01	6,00E-02

On-site	R tot	HI tot
	Outdoor	3,00E-06
Indoor	2,90E-08	<b>1,00E+00</b>

Fig. n. 14 – CSR suolo profondo

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industrial e [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Arsenico	6,74E+00	<b>6,74E+00</b>	---	---	1,00E+00	2,00E+01	5,00E+01	---	3,77E+01
Piombo	2,09E+02	<b>2,09E+02</b>	---	---	1,00E+00	1,00E+02	1,00E+03	---	3,39E+02
Rame	8,14E+02	<b>8,14E+02</b>	---	---	1,00E+00	1,20E+02	6,00E+02	---	5,87E+02
Alifatici C9-C18	1,30E+03	<b>1,30E+03</b>	---	1,00E+00	2,34E-02	1,00E+01	2,50E+02	6,81E+01	1,72E+02

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	3,37E-01
Indoor	---	1,00E+00

### CASO 3

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel sito per uno scenario di tipo ricreativo ha evidenziato:

**Suolo Superficiale:** Indice di pericolo e Rischio cancerogeno non accettabili per PCB dl per ingestione e contatto dermico, Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione vapori indoor e Rischio cancerogeno per diossine per ingestione. Rischio ed Indice di pericolo cumulati superiori ai valori soglia accettabili.

In figura n. 15 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile del rischio.

*Fig. n. 15 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo suolo superficiale*

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)
Alifatici C9-C18	5,38E+02	---		5,38E+02	---	---	4,45E+00	6,53E-04
PCB dl	7,10E-02	---		7,10E-02	---	2,35E-03	1,81E+02	1,62E-02
Piombo	1,33E+02	---		1,33E+02	---	---	4,99E-01	4,27E-02
2,3,7,8-TCDD	2,30E-05	---		2,30E-05	---	5,47E-06	4,56E-01	6,68E-03
PCB Tot.	7,10E-02	---		7,10E-02	---	3,74E-07	---	2,63E-02

On-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	2,36E-03	1,83E+02	
Indoor	2,77E-05	4,55E+00		

**Suolo profondo:** Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 per inalazione vapori indoor e rischio per la risorsa idrica per Arsenico e Piombo.

In figura n. 16 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un valore non accettabile.

**Fig. n. 16 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo suolo profondo**

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)
Arsenico	3,77E+01	<b>3,77E+01</b>	---	---	---	5,59E+00
Piombo	3,39E+02	<b>3,39E+02</b>	---	---	---	1,62E+00
Rame	5,87E+02	<b>5,87E+02</b>	---	---	---	7,21E-01
Alifatici C9-C18	1,72E+02	<b>1,72E+02</b>	---	---	1,35E+00	3,11E-03

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	2,22E-01
Indoor	---	1,35E+00

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate nelle figure n. 17 e n.18. Le CSR dei PCB dl e delle diossine per il suolo superficiale e la CSR dell’arsenico per il suolo profondo sono inferiori alle CSC residenziali, pertanto queste ultime andranno considerate quali effettivi obiettivi di bonifica. Ai fini del rispetto del rischio cumulato è stato inserito un fattore di correzione per ridurre la CSR del Piombo nel suolo superficiale.

**Fig. n. 17 – CSR suolo superficiale**

Contaminanti	CSR individual e [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.]	CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	1,21E+02		<b>1,21E+02</b>	1,14E+02	---	1,00E+00	1,47E-04	1,00E+01
PCB dl	3,02E-05		<b>3,02E-05</b>	2,83E-05	1,00E-06	7,71E-02	6,87E-06	6,00E-02
Piombo	2,66E+02	1,50E+00	<b>1,78E+02</b>	1,67E+02	---	6,67E-01	5,70E-02	1,00E+02
2,3,7,8-TCDD	4,20E-06		<b>4,20E-06</b>	3,95E-06	1,00E-06	8,34E-02	1,22E-03	1,00E-05
PCB Tot.	1,90E-01		<b>1,90E-01</b>	1,78E-01	1,00E-06	---	7,02E-02	6,00E-02

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	3,00E-06	9,25E-01
Indoor	3,39E-08	1,00E+00

Fig. n. 18 – CSR suolo profondo

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischi o risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Arsenico	6,74E+00	<b>6,74E+00</b>	---	---	1,00E+00	2,00E+01	5,00E+01	---	<b>3,77E+01</b>
Piombo	2,09E+02	<b>2,09E+02</b>	---	---	1,00E+00	1,00E+02	1,00E+03	---	<b>3,39E+02</b>
Rame	8,14E+02	<b>8,14E+02</b>	---	---	1,00E+00	1,20E+02	6,00E+02	---	5,87E+02
Alifatici C9-C18	1,28E+02	<b>1,28E+02</b>	---	1,00E+00	2,31E-03	1,00E+01	2,50E+02	6,81E+01	<b>1,72E+02</b>

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	1,65E-01
Indoor	---	1,00E+00

In allegato 8 si riportano i files del software risk-net.

## 5 CONCLUSIONI

L'applicazione dell'analisi di rischio in modalità diretta ha fornito i seguenti risultati:

### Caso 1- Bersaglio residenziale:

- a) suolo superficiale: Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18 ;
- b) suolo profondo: Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18.

### Caso 2 –Scenario attuale:

- a) suolo superficiale: Rischio cancerogeno non accettabile per PCB dl;
- b) suolo profondo: Rischio per la risorsa idrica non accettabile per Piombo ed Arsenico.

### Caso 3 – Scenario futuro:

- a) suolo superficiale: Rischio cancerogeno non accettabile per PCB dl e diossine, Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18;
- b) suolo profondo: Indice di Pericolo non accettabile per idrocarburi alifatici C9-C18, Rischio per la risorsa idrica non accettabile per Piombo ed Arsenico.

Inoltre, per quanto riguarda le acque sotterranee, le stesse risultano contaminate in quanto al punto di conformità non risultano rispettate le CSC per i contaminanti rilevati (Manganese, Ferro, Nitriti). Pertanto il sito deve ritenersi contaminato e si rende necessario, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, attuare idonei interventi di bonifica ai fini del rispetto delle CSC al punto di conformità nelle acque sotterranee e del raggiungimento degli obiettivi di bonifica nei suoli superficiale e profondo.

Tuttavia è necessario effettuare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti ai fini della scelta delle soluzioni più efficaci per gli interventi da attuare:

- dalla fase di caratterizzazione ambientale del sito è intercorso un considerevole lasso di tempo (circa 7 anni);
- la presenza di Manganese e Ferro in falda potrebbe essere ascrivibile alle caratteristiche geochimiche dell'area. Si evidenzia inoltre che la contaminazione nelle acque di falda è presente anche nel piezometro di monte;
- non essendo stata effettuata la speciazione degli idrocarburi e dei PCB, le concentrazioni rilevate sono state attribuite alla classe a cui è associato il rischio maggiore. In particolare per gli idrocarburi C>12 la frazione MADEP selezionata in via cautelativa è la C9-C18, che comprende anche idrocarburi C<12 che rappresentano l'effettiva frazione volatile;

- le equazioni utilizzate nell’applicazione dell’analisi di rischio di Livello 2 portano spesso ad una sovrastima del rischio e a una sottostima delle CSR associate al percorso di volatilizzazione;
- Il Piombo e l’Arsenico per i quali è risultato rischio di lisciviazione in falda non sono stati rilevati nelle acque sotterranee. Anche per la lisciviazione le equazioni utilizzate nell’applicazione dell’analisi di rischio di Livello 2 portano spesso ad una sovrastima del rischio;

Fatte tali premesse, si ritiene che al fine di valutare l’effettiva necessità di bonifica e le più idonee strategie per attuarla potrebbe essere utile adottare una o più delle seguenti azioni:

1. accertarsi dell’effettiva necessità di attivare i percorsi di volatilizzazione, anche attraverso indagini mirate alla speciazione degli idrocarburi;
2. individuare i congeneri dei PCB realmente presenti;
3. misure dirette dei vapori provenienti dai suoli e utilizzo di dati di campo (misure di soil gas, campionamenti dell’aria indoor e outdoor) per la verifica dei risultati ottenuti con l’applicazione modellistica;
4. fare riferimento ad un modello concettuale realmente rappresentativo di quelle che saranno le eventuali modifiche da apportare in base all’effettivo utilizzo del sito;
5. eseguire una campagna di monitoraggio delle acque sotterranee al fine di verificarne l’attuale stato di contaminazione e di verificare l’effettiva lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nel suolo;
6. verificare che la presenza di analiti in concentrazioni superiori alle CSC possa essere ascrivibile a valori di fondo, anche sulla base di dati disponibili nelle aree prossime a quella di interesse.

Si evidenzia, che in ogni caso dovrà essere implementata una nuova analisi di rischio in caso di modifiche allo scenario attuale quali ad esempio: costruzione di edifici, cambio di destinazione d’uso, rifacimento pavimentazione, ecc.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- "Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT-ISPRA 2008
- Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06” elaborati da APAT-ARPA-ISS-ISPE;
- Documento di supporto alla Banca dati ISS-INAIL (Marzo 2015);
- Linee guida sull'analisi di Rischio ai sensi del D.Lgs. 152/2006 (Novembre 2014)
- Piano di Caratterizzazione “Ex Mattatoio Comunale” e sue Integrazioni (gennaio 2004 e Aprile 2005)
- Relazione tecnico descrittiva “Piano di Caratterizzazione Ex Mattatoio Comunale” (Settembre 2008).