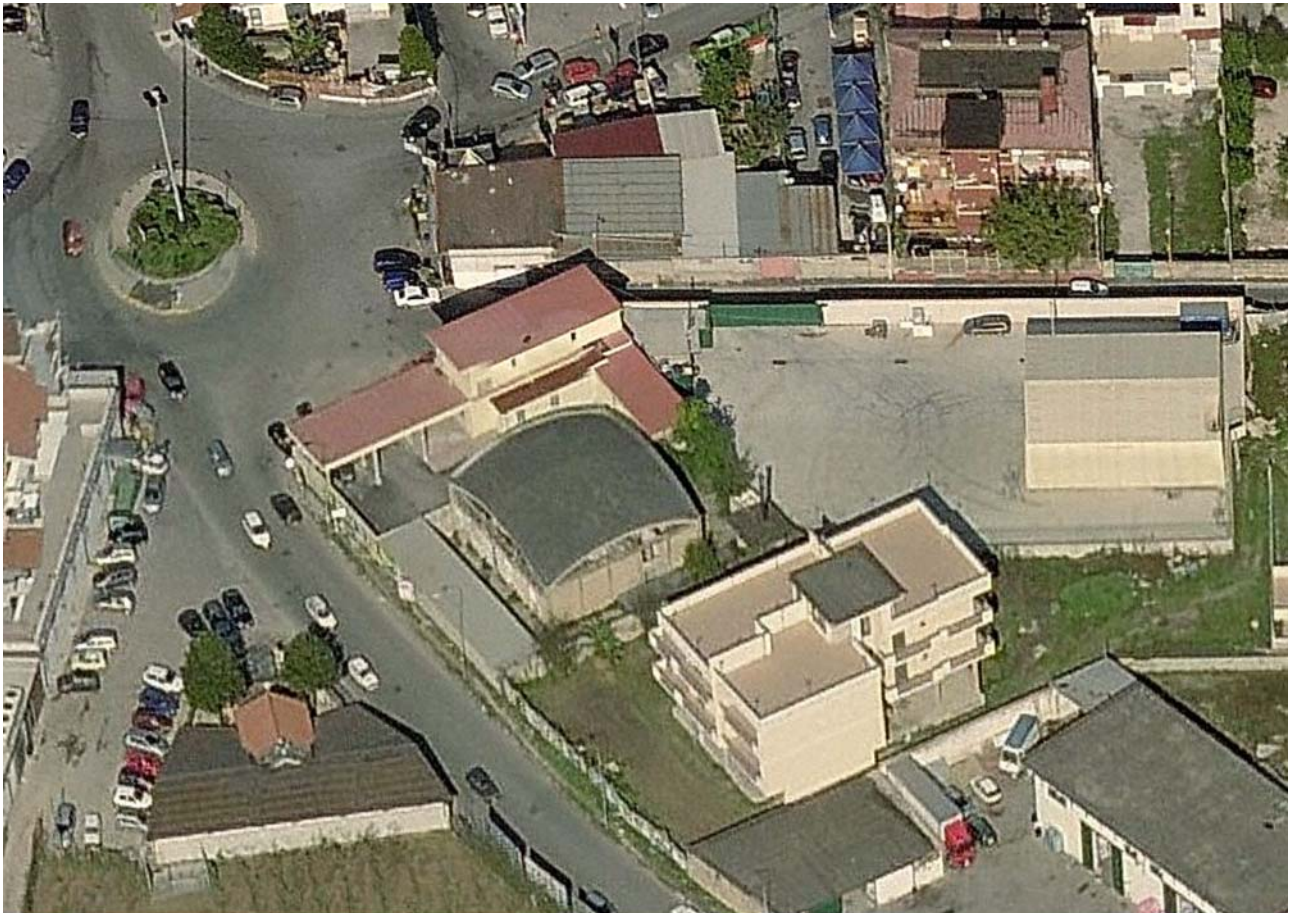




## **Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania**



**Analisi di Rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 del sito  
Ex Mattatoio Comunale – Corso Europa  
Comune di Melito di Napoli (NA)**

Novembre 2015

**Analisi di Rischio sito specifica dell’area di proprietà  
Comunale “Ex Mattatoio Comunale”  
Comune di Melito di Napoli**

1.	PREMESSA.....	5
2.	RACCOLTA DATI ESISTENTI.....	6
2.1	Descrizione sito.....	6
2.2	Risultati delle indagini ambientali .....	8
2.2.1	Indagini dirette .....	8
2.2.2	Risultati analisi chimiche.....	10
3.	METODOLOGIA DELL’ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE .....	15
3.1	Rischio: definizione e accettabilità .....	16
4.	ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.....	18
4.2	Modello Concettuale Sito Specifico .....	18
4.2	Parametri sito-specifici .....	20
4.2.1	Parametri meteo climatici .....	20
4.2.2	Parametri di idrogeologia locale .....	23
4.2.3	Parametri chimico-fisici.....	24
4.2.4	Granulometria/Tessitura del Terreno .....	25
4.2.5	Tabella Parametri sito specifici.....	26
4.2.6	Parametri di default.....	30
5.	RISULTATI.....	31
6.	CONCLUSIONI.....	37
7.	BIBLIOGRAFIA .....	39

## ALLEGATI

1. **convenzione**
2. **certificato di destinazione urbanistica**
3. **certificati analitici**
4. **dati meteo**
5. **stratigrafia**
6. **carta isopiezometrica**
7. **validazioni**
8. **analisi granulometriche**
9. **files risk-net**

**Gruppo di lavoro**

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

**Il Dirigente U.O. CAAR**

**Referente gruppo di lavoro**

Ing. Rita Iorio *Rita Iorio*

**Il Dirigente U.O.C. S.I.C.B.**

Dott. Salvatore Di Rosa *Salvatore Di Rosa*

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato di Analisi di Rischio Sito Specifica è relativo al sito “Mattatoio Comunale” nel comune di Melito di Napoli.

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.



## 2. RACCOLTA DATI ESISTENTI

### 2.1 Descrizione sito

Il sito “ex mattatoio comunale”, ormai in disuso da molti anni, è ubicato nel comune di Melito di Napoli ed è di proprietà comunale. L’area su cui insiste tale struttura, pianeggiante e di forma pressoché quadrangolare, confina ad est con un piazzale asfaltato e recintato, a sud con un complesso residenziale, a ovest con corso Europa e a nord con via Madonnelle.

L’area è completamente recintata e l’ingresso principale è posto a nord-ovest lungo C.so Europa, all’incrocio con via Madonnelle.

L’area, di superficie totale pari a circa 1200 mq (32.74 x 36.38 m), di cui circa 700 mq coperti, è individuata in Catasto al foglio di mappa n.2 particella n° 1026.

Il sito è stato acquistato dal Comune di Melito agli inizi degli anni ’60 per la realizzazione del mattatoio; nel ’66 è entrato in esercizio e fino al ’75 sono stati apportati interventi atti a migliorare le condizioni di esercizio della struttura. A partire da questa data è stato inoltre realizzato l’alloggio del custode in sopraelevazione rispetto al corpo uffici. Altri interventi hanno riguardato la costruzione di un pozzo artesiano all’interno del macello e la realizzazione di un impianto di depurazione per il trattamento dei rifiuti liquidi. La struttura è stata infine dismessa alla fine del ’95 a causa dei costi di gestione non sostenibili.

Nel 2004 infine è stato approvato il progetto preliminare per la sistemazione dei locali del mattatoio da utilizzare come struttura medica di primo soccorso territoriale. Pertanto allo stato attuale l’area è suddivisa in n.2 lotti separati; il primo, prospiciente l’ingresso, ospita la palazzina uffici del centro di primo soccorso, il secondo è costituito dalle strutture per l’attività di macellazione, completamente abbandonate e degradate.

L’intervento di sistemazione ed adeguamento dei locali costituenti l’ex mattatoio comunale a sede del primo soccorso territoriale, ha riguardato l’adeguamento e la sistemazione di alcuni locali costituenti l’ex palazzina adibita ad uffici ed alloggio custode, i locali ospitanti i servizi igienici dei macellai e del personale addetto, la sistemazione del piazzale esterno ed il porticato d’ingresso. In virtù di tale nuova destinazione d’uso è stato realizzato un muro di separazione tra l’area oggetto dei lavori di ristrutturazione e quella in disuso. L’accesso a quest’ultima area è consentito da un vano porta posto di fronte l’ingresso principale.

Di seguito si riporta la descrizione di ogni edificio attualmente presente.

1. porticato di forma rettangolare che definisce l'ingresso principale al complesso; presenta un'area di ingombro pari a circa 15.73x6,15 m con un'altezza stimata di 3,50 ed è costituito da un sistema pilastri-travi in c.a. che sostengono una pensilina piana sempre in c.a.; ha una superficie coperta di circa 96.73 mq.
2. palazzina a due piani, attualmente utilizzata a struttura medica di primo soccorso territoriale, al piano terra erano allocati gli uffici e sala per veterinario, al primo piano invece l'abitazione del custode provvisto d'ingresso dal piazzale esterno e completamente separato dall'area del mattatoio. Il fabbricato realizzato in c.a. ha forma rettangolare di dimensioni pari a 17.00x4.85 con altezza stimata di interpiano di 3,50 mt e copertura piana. La superficie coperta è pari a 82.45 mq.
3. edificio che ospitava i servizi igienici per i macellai e per il personale del mattatoio. La struttura, realizzata in c.a. si sviluppa su un solo livello e presenta una copertura piana e con un'altezza stimata di 3,50 mt; in pianta presenta una forma rettangolare di dimensioni pari a 4.20 x 11.00 m. La superficie coperta è pari a 46.20 mq.
4. edificio Mattatoio comunale che ospitava tutte le attività proprie della macellazione delle carni bovine, suine ed ovine. Il locale, di forma pressochè quadrangolare e di lato pari a 16,50 x 16,39 m, ha una superficie di circa 270,00 mq e si sviluppa su un unico livello, di altezza stimata al colmo pari a 8,00 mt. La struttura è realizzata in c.a. secondo un sistema pilastri-travi, la copertura si presenta secondo una tipologia a volta a vela costituita da un reticolo di profilati in ferro e tavelle.
5. due ricoveri coperti adibiti alla sosta degli animali.
6. un locale coperto in muratura tufo e solaio laterocementizio, ospitante il forno inceneritore utilizzato per i residui provenienti dalla macellazione.

Tutti gli edifici non presentano locali interrati ed hanno uno spessore delle murature pari a 40 cm.

Le superfici di calpestio si trovano ad una quota di circa +15 cm dalla quota del piazzale e presentano un massetto di sottopavimentazione, stimato intorno ai 15 cm.

Le condizioni degli edifici in uso ristrutturati dopo il 2004 sono discrete, mentre l'edificio Mattatoio Comunale in stato di abbandono versa in condizioni fatiscenti. Anche le pavimentazioni esterne tutte in asfalto presentano condizioni manutentive differenti, ossia quelle relative all'area della struttura medica di primo soccorso territoriale sono in discreto stato di manutenzione, mentre quelle relative all'area in disuso sono in condizioni fatiscenti e infestate da vegetazione spontanea.

Il Comune di Melito di Napoli è dotato di Piano Regolatore Generale approvato con D.P.A.P. n.12 del 06/10/87 ed entrato in vigore il 28/01/88 con annesse Norme di Attuazione. L'area su cui insiste l'ex



macello comunale risulta classificata nel PRG vigente come Zona Omogenea H -“Attrezzature di interesse collettivo” (allegato 2).

Le Norme di Attuazione, relativamente nella zona omogenea “H” – Attrezzature di interesse collettivo”, individuano le attrezzature esistenti divise per l’istruzione, le attività collettive, il verde attrezzato e i parcheggi. Non è consentito il cambio della destinazione d’uso se non nell’ambito delle attrezzature stesse. Sono individuate altresì le attrezzature di progetto da destinare rispettivamente all’istruzione, alle attività collettive, al verde attrezzato e ai parcheggi.

A seguito di Delibera di Consiglio Comunale n. 85 del 27/12/1995 la destinazione d’uso del sito è “Struttura Polivalente”.

## 2.2 Risultati delle indagini ambientali

Il Piano della Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 del sito Mattatoio Comunale nel Comune di Melito di Napoli è stato redatto da Arpac nel Febbraio 2006 ed approvato dal Ministero dell’Ambiente 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.

### 2.2.1 Indagini dirette

In accordo alle indicazioni contenute nella normativa vigente, secondo quanto stabilito nel PdC, ed in relazione ai risultati delle indagini georadar sono stati ubicati in corrispondenza delle superfici indagate n° 4 sondaggi geognostici, di cui n° 2 spinti sino alla profondità di 10 m da p.c. e n° 2 e spinti rispettivamente fino alla profondità di 76,60 m e 78,00 m da p.c e completati a pozzi di monitoraggio della falda, allo scopo di verificare l’assetto idrogeologico dell’area.

Nel corso dell’indagine ambientale è stato effettuato, il prelievo di campioni di terreno, avendo cura di scartare la frazione a granulometria >2 cm, successivamente sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio per la ricerca degli analiti elencati nel PdCA.

L’indagine ambientale condotta ha previsto quindi la realizzazione di:

- n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1 e S2) spinti sino alla profondità di 10 metri da p.c.
- n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (P1 e P2) attrezzati a piezometro da 4” e spinti rispettivamente fino alla profondità di 76,60 m e m da p.c.

In fig.1 è riportata la planimetria del sito con l’ubicazione dei punti di indagine.



Il campionamento delle acque del piezometro è stato preceduto dalla misura della soggiacenza della falda per mezzo di un freaticometro elettrico. Alle profondità raggiunte (75,00 m dal p.c.) non è stata individuata la falda acquifera. Si è reso quindi necessario prolungare i n. 2 piezometri fino a 76.60 m (P2) e 78.00 m (P1). La profondità della superficie freatica è stata intercettata ad una quota di circa 76.50 m da p.c.

La scarsa presenza d’acqua presente al fondo dei piezometri, legata alla frangia capillare, ha reso possibile il solo campionamento statico del piezometro P1. Pertanto, nell’ambito dell’esecuzione delle indagini di caratterizzazione, è stato prelevato e sottoposto ad analisi chimiche di laboratorio solo n°1 campione di acqua sotterranea (P1).

In tabella 1 si riporta il riepilogo delle coordinate rilevate per ciascun punto di indagine (UTM 33T WGS84)

<b>Tab. n 1 Coordinate dei punti di prelievo</b>			
Sigla sondaggio	Coord. X	Coord. Y	Quota p.c.
P1	434820	4529944	100.46
P2	434802	4529927	100.50
S1	434821	4529938	100.47
S2	434791	4529941	100.46
TS1	434821	4529945	
TS2	434822	4529942	

### 2.2.2 Risultati analisi chimiche

Complessivamente, nel corso delle indagini ambientali eseguite

- n° 20 campioni di terreno di cui:
  - o un campione rappresentativo dei terreni superficiali (0-1 m di profondità da p.c.)
  - o un campione prelevato tra 1 e 3 m da p.c.
  - o un campione prelevato tra 4 e 6 m da p.c.
  - o un campione prelevato tra 7 e 9 m da p.c.
  - o un campione rappresentativo del fondo foro (9-10 m di profondità da p.c.)
- n°2 Top Soil
- n° 1 duplicato anonimo di campo
- n° 1 campioni di acqua di falda;

Per i **terreni** 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);
- Composti Organici Aromatici ( Benzene, Etilbenzene, Toluene, Xilene e Stirene);
- Aromatici Policiclici: (Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Crisene, Dibenzo(a)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a, i)pirene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indeno (1,2,3-c,d)pirene, Pirene);
- Fenoli non clorurati;
- Idrocarburi (Leggeri C<12 e Pesanti C>12);
- Alifatici clorurati cancerogeni;
- Alifatici alogenati cancerogeni;
- Clorobenzeni;
- PCB (solo sugli strati che mostrano la presenza di rifiuti o ceneri)
- Diossine e furani (solo sugli strati che mostrano la presenza di rifiuti o ceneri);

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

- PCB;
- Amianto;
- Diossine e Furani

Per le **acque di falda** sono state eseguite analisi di laboratorio su un numero complessivo di n°1 campione di acqua 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, Fluoruri, Nitriti, Solfati e Cianuri liberi);
- 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(g,h,i)perilene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene, Indeno(1,2,3-c,d)pirene e Pirene);
- Fenoli e clorofenoli
- Parametro "n-esano"
- Alifatici clorurati cancerogeni;
- Alifatici clorurati non cancerogeni;
- Clorobenzeni.

I campioni di terreno analizzati sono stati preparati mediante setacciatura con vaglio da 2 mm e ne è stato valutato il residuo secco. Va specificato che il campionamento finalizzato all'analisi dei composti volatili è stato eseguito immediatamente dopo l'estrusione della carota di terreno, al fine di evitare la dispersione dei volatili durante le fasi successive di formazione del campione.

#### **- Campioni di Suolo**

Confrontando i risultati delle determinazioni analitiche effettuate sui campioni di suolo con le CSC previste dal D. Lgs. 152/06, risulta che il sito è interessato da una contaminazione dovuta Benzene, Idrocarburi pesanti e Diclorometano. I Top Soil prelevati risultano interessati dalla presenza di Diossine e Furani. Tutti gli altri parametri sono conformi ai limiti normativi di riferimento (Allegato 5 Tabella 1 - Col. A del D.Lgs.152/06). Nelle tabelle 2 e 3 si riportano i superamenti delle CSC riscontrati rispettivamente nei campioni di suolo superficiale e nei campioni di suolo profondo.

#### **- Campioni di Acqua di falda**

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 Manganese, Alluminio, Ferro, Tallio, Idrocarburi totali (n-esano), Triclorometano, 1,1Dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene e Sommatoria organoalogenati. Tutti gli parametri sono conformi ai limiti normativi di riferimento (All. 5 Tab. 2 del D.Lgs.152/06). Nella tabella 4 si riportano i superamenti delle CSC riscontrati nei campioni di acqua di falda.

In allegato 3 sono riportati i certificati analitici. In allegato 7 sono riportate le validazioni.

**Tab. n. 2 Superamenti delle CSC nei campioni di suolo superficiale**

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A mg/kg							
					0,1	50	$1,0 \times 10^{-5}$
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Diclorometano	Idrocarburi pesanti	Somm. PCDD - PCDF
TS1	434821	4529945	0,00 – 0,20	08/04/2008			$6,5 \times 10^{-5}$
TS2	434822	4529942	0,00 – 0,20	08/04/2008			$17,0 \times 10^{-5}$
S1	434821	4529938	0,00 – 1,00 m	08/04/2008	0,285		
S2	434791	4529941	0,00 – 1,00 m	08/04/2008		174	

**Tab. n. 3 Superamenti delle CSC nei campioni di suolo profondo**

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A mg/kg						
					0,1	0,1
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Diclorometano	Benzene
S1	434821	4529938	1,00 – 3,00 m	08/04/2008	0,415	0,23
			4,00 – 6,00 m		0,274	
			9,00 – 10,00 m		0,323	
P2	434802	4529927	4,00 – 6,00	08/04/2008	2,44	



**Tab. n. 4 Superamenti delle CSC nei campioni di acqua di falda**

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 µg/l					50	200	200	2	350	0,15	0,05	0,2	1,1	10
<i>Sond.</i>	<i>Coord_X</i>	<i>Coord_Y</i>	<i>Profondità</i>	<i>Data prelievo</i>	Manganese	Alluminio	Ferro	Tallio	Idrocarburi totali (n-esano)	Triclorometano	1,1 Dicloroetilene	Tricloroetilene	Tetracloroetilene	Sommatoria organoalogenati
P1	434820	4529944	76,50	8/4/08	4340	808	603	5,5	1769	0,318	0,493	44,077	3,739	48,624

### 3. 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).

### 3.1 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:

$$HI = \text{Dose Assunta} / \text{Reference Dose (RfD)}$$

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

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  $(\text{mg/kg giorno})^{-1}$ , 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).

#### 4. 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

##### 4.2 Modello Concettuale Sito Specifico

L'analisi di rischio è stata svolta in modalità diretta e inversa ai fini del calcolo del Rischio e delle concentrazioni soglia di rischio ed è stato utilizzato il software 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 gli obiettivi di bonifica) 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 destinazione attuale ed alla presenza di edifici residenziali in prossimità del sito, sono stati individuati due casi distinti in cui l'implementazione dell'analisi di rischio ha tenuto conto rispettivamente di:

- **Caso 1:** bersagli lavoratori on site e bersagli residenziali off site;
- **Caso 2:** bersagli residenziali on site.

##### CASO 1

###### 1. Sorgenti

Le matrici ambientali considerate quali sorgenti secondarie di contaminazione sono: suolo superficiale, suolo profondo e falda, le cui estensioni in via cautelativa coincidono con l'intera superficie del sito.

###### 2. Vie di trasporto e percorsi di esposizione

suolo superficiale: lisciviazione verso la falda, inalazione di polveri e vapori, ingestione e contatto dermico;

suolo profondo: lisciviazione verso la falda, inalazione vapori;

falda: inalazione vapori.

### 3. Bersagli

Sono stati selezionati come bersagli on site i lavoratori e come bersagli off site i residenti data la presenza di edifici ad uso residenziale a ridosso del sito.

#### CASO 2

Per valutare l’inalazione indoor da suolo per i residenti off site, è stata effettuata un’ulteriore simulazione che ha preso in considerazione i soli composti volatili, attivando quali vie di migrazione l’Inalazione vapori e polveri indoor on site.

#### 1. Sorgenti

Le sorgenti secondarie di contaminazione sono il suolo superficiale ed il suolo profondo le cui estensioni in via cautelativa coincidono con l’intera superficie del sito.

#### 2. Vie di trasporto e percorsi di esposizione

suolo superficiale: inalazione indoor di polveri e vapori

suolo profondo: inalazione vapori

#### 3. Bersagli

Sono stati selezionati come bersagli i residenti, data la presenza di edifici ad uso residenziale a ridosso del sito.

I contaminanti per i quali è stato valutato il rischio e le relative concentrazioni rappresentative della sorgente sono indicati in tab 5, 6 e 7. Le concentrazioni rappresentative della sorgente 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, aggiornati a marzo 2015.

I composti inorganici rinvenuti nelle acque sotterranee non sono stati implementati nell’analisi di rischio in quanto non volatili così come indicato nel documento di supporto alla Banca Dati elaborata da ISS-ISPEL aggiornata a marzo 2015.



<b>Tab. n.5– Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo superficiale</b>	
<b>Contaminante</b>	<b>CRS (mg/kg)</b>
Idrocarburi C>12	174
Diclorometano	0,285
Diossine e Furani	17E-05

<b>Tab. n. 6– Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo profondo</b>	
<b>Contaminante</b>	<b>CRS ( mg/kg )</b>
Diclorometano	2,44
Benzene	0,23

<b>Tab. n 7– Concentrazioni rappresentative della sorgente falda</b>	
<b>Contaminante</b>	<b>CRS (µg/l)</b>
Idrocarburi totali(n-esano)	1769
Triclorometano	0,318
1,1 Dicloroetilene	0,493
Tricloroetilene	44,077
Tetracloroetilene	3,739

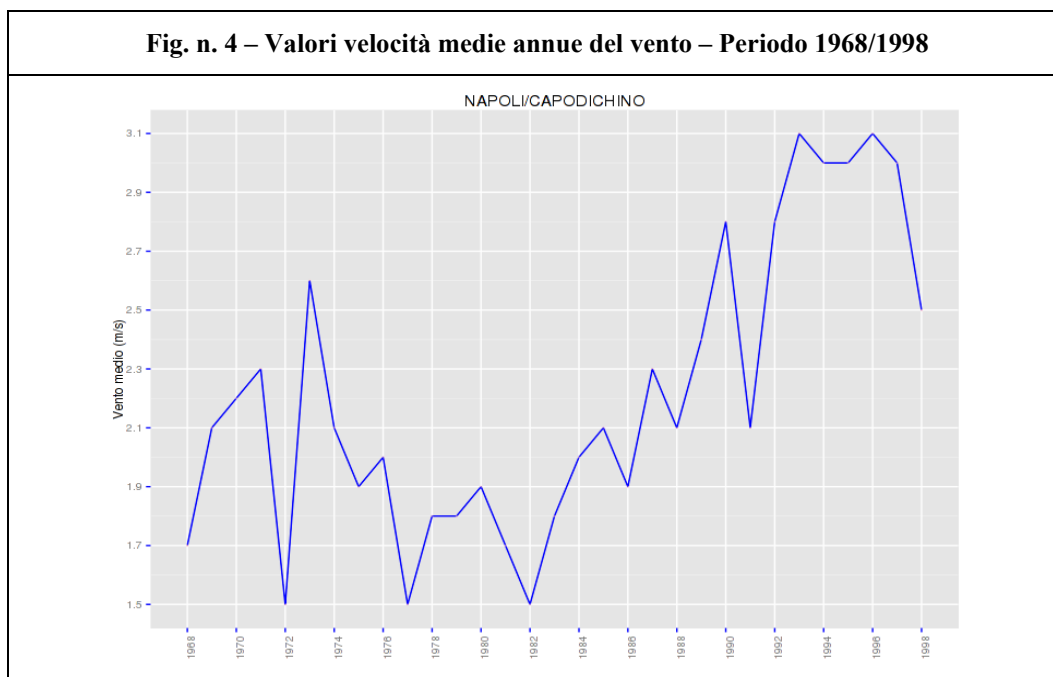
## 4.2 Parametri sito-specifici

### 4.2.1 Parametri meteo climatici

Per quel che concerne la velocità del vento e la piovosità, sono stati utilizzati i dati meteorologici ricavati dall’archivio SCIA (Sistema nazionale per la raccolta, l’elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale) al link <http://www.scia.isprambiente.it> e fanno riferimento alla stazione meteo di Napoli Capodichino.

Nella figura n. 4 vengono rappresentate le velocità medie annuali del vento relativamente alla serie storica 1968 -1998. Il valore utilizzato ai fini dell’implementazione dell’analisi di rischio è **1,5 m/s** corrispondente al minimo rilevato.

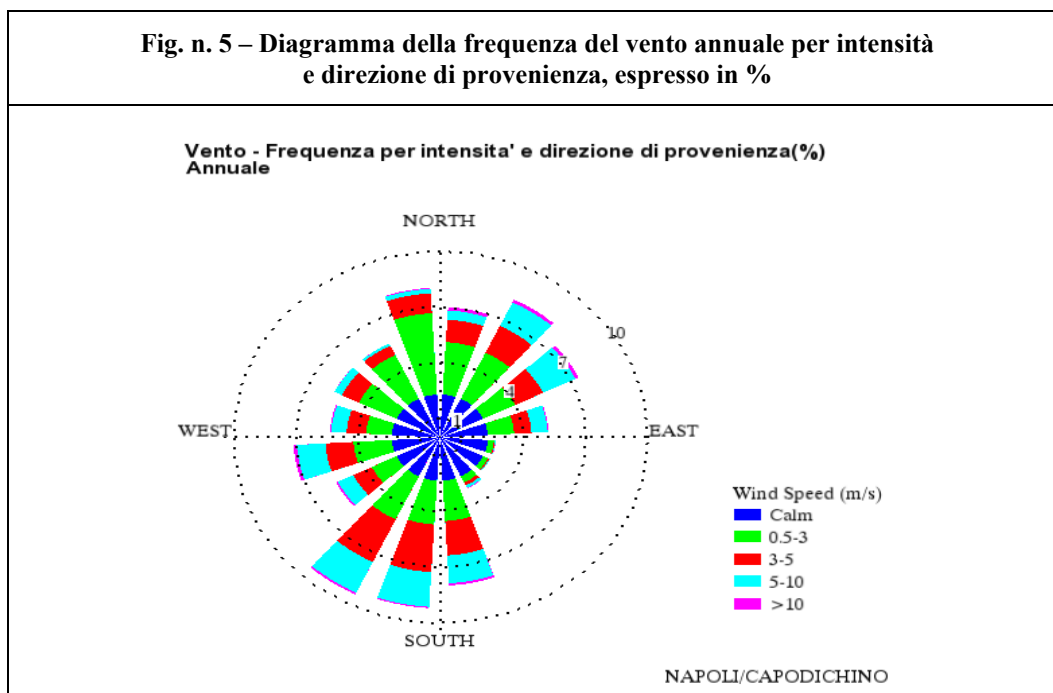
**Fig. n. 4 – Valori velocità medie annue del vento – Periodo 1968/1998**



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 “urbano”.

Nella figura n. 5 viene riportato il diagramma della frequenza del vento in relazione all’intensità ed alla direzione di provenienza.

**Fig. n. 5 – Diagramma della frequenza del vento annuale per intensità e direzione di provenienza, espresso in %**



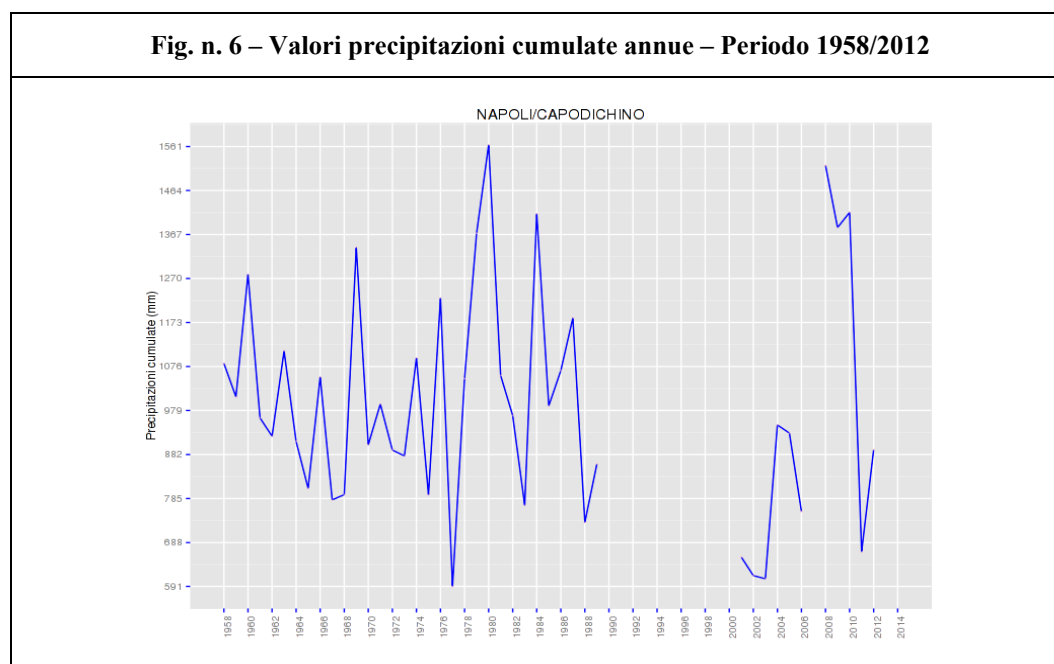
Nella tabella n. 8 vengono riportati i valori utilizzati per l’elaborazione dello stesso. La direzione principale di provenienza del vento è **S-SW**.

**Tab. n. 8 – 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	2.31	2.82	1.21	0.50	0.18
	Settore 2	2.31	2.74	1.60	1.40	0.17
	Settore 3	2.31	1.72	1.49	1.73	0.17
	Settore 4	2.31	1.28	0.83	0.79	0.04
	Settore 5	2.31	0.30	0.05	0.03	0.01
	Settore 6	2.31	0.26	0.06	0.04	0.00
	Settore 7	2.31	0.37	0.18	0.14	0.03
	Settore 8	2.31	2.18	1.85	1.50	0.12
	Settore 9	2.31	2.36	2.56	1.87	0.07
	Settore 10	2.31	2.57	2.54	1.83	0.10
	Settore 11	2.31	1.32	0.98	0.83	0.09
	Settore 12	2.31	1.85	1.35	1.38	0.16
	Settore 13	2.31	1.24	0.94	0.74	0.06
	Settore 14	2.31	2.02	0.91	0.39	0.01
	Settore 15	2.31	2.60	0.56	0.13	0.01
	Settore 16	2.31	4.38	1.07	0.24	0.05

In allegato 4 si riportano i valori della serie storica di velocità media del vento nel periodo 1968-1998.

Nella figura 6 viene rappresentato l’andamento delle precipitazioni cumulate annue nel periodo 1958-2012, mentre in allegato 4 si riportano i corrispondenti valori annuali. Il valore utilizzato ai fini dell’implementazione dell’analisi di rischio è **1.561 mm/anno**, corrispondente al massimo rilevato.



#### 4.2.2 Parametri di idrogeologia locale

Il territorio del Comune di Melito di Napoli è situato nella Piana Campana, basso morfologico delimitato a Nord dal Monte Massico, a Sud dai Monti Lattari, e ad Est dai primi contrafforti appenninici (monti di Avella). In particolare si colloca nel settore di Piana che risale verso il rilievo dei Camaldoli.

La morfologia del distretto Flegreo – Napoletano è il risultato congiunto di fenomeni di collassamento vulcanico e di subsidenza/sollevamento tettonici; infatti essa è legata sia ai due collassi successivi, legati alle eruzioni dell’Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano, i cui prodotti presentano elevato spessore e buona distribuzione areale tanto da poter essere utilizzati come marker nella ricostruzione delle successioni stratigrafiche, sia agli articolati fenomeni deformativi descritti di seguito:

- Depositi vulcanici pre-Ignimbrite Campana (>37.000 anni);
- Ignimbrite Campana (37.000 anni b.p.)
- Tufo Giallo Napoletano (12.000 anni b.p.)
- Depositi vulcanici, sedimenti marini, transizionali e palustri (<12.000 anni)

Questa sequenza stratigrafica, a partire dai depositi del T.G.N., è stata riscontrata con continuità areale nel territorio oggetto di indagine.

Dal punto di vista geomorfologico l’area in esame presenta aspetto sub pianeggiante con un leggero gradiente orientato verso Nord a costituire il raccordo tra il rilievo flegreo a Sud e la Piana Campana a Nord; tale conformazione è attribuibile alla non centralità rispetto ai centri eruttivi flegrei che ha determinato il riempimento, per successione di eventi eruttivi, del settore meridionale della Piana e la sua progressiva erosione in direzione dei Regi Lagni che costituiscono lo sbocco idrologico del sito in esame.

Dall’esame delle stratigrafie riportate nell’allegato 5 è possibile sintetizzare la seguente successione litologica:

- da 0,00 a ca 2,00 m da p.c.: terreno di riporto costituite da numerosi frammenti laterizi rosso mattone, cemento, di dimensioni da sub-centimetriche a centimetriche immersi in matrice sabbiosa fine di colore marrone scuro;
- da ca. 2,00 a 39,00 m da p.c.: alternanza di cinerite e piroclastite a granulometria di sabbia fine, a tratti limo sabbioso, di colore dal grigio-marroncino al verdognolo e sabbia grossolana da grigio scuro a giallo;
- da ca. 39,00 a 57,00 m da p.c.: Tufo di colore grigio scuro;

- da ca. 57,00 a 72,00 m da p.c.: Sabbia grigio - violacea con scorie, litici e pomici di dimensioni anche centimetriche.
- da ca. 72,00 a fondo foro: Tufo di colore giallo ocre ricchissimo in scorie.

Il campionamento delle acque del piezometro è stato preceduto dalla misura della soggiacenza della falda per mezzo di un freatometro elettrico. La falda freatica non è stata rinvenuta alla profondità prevista nel Piano di Caratterizzazione; si è reso quindi necessario prolungare i n. 2 piezometri fino a 76.60 m (P2) e 78.00 m (P1). La profondità della superficie freatica è stata intercettata ad una quota di circa 76.50 m da p.c. Tuttavia la esigua quantità d’acqua reperita non ha consentito l’esecuzione di spurghi e slug test ed ha reso possibile il campionamento statico solo dal piezometro P1.

Al termine dell’esecuzione dei sondaggi attrezzati a piezometro della fase di caratterizzazione allo scopo di ricostruire l’andamento della superficie piezometrica della falda acquifera superficiale, è stato effettuato il rilievo della soggiacenza della falda per mezzo di sonda rilevatrice di interfaccia. In nessuno dei piezometri è stata riscontrata la presenza di fase surnatante. E’ stato inoltre eseguito un rilievo piano altimetrico di dettaglio finalizzato ad assegnare una quota relativa ai singoli livelli di riferimento (bocca del piezometro) delle soggiacenze piezometriche misurate (Allegato 6).

L’elaborazione dei dati raccolti ha permesso di definire una soggiacenza media di circa 76.50 m dal p.c. e una direzione locale di deflusso della falda da Sud a Nord: difatti il rilievo flegreo e dei Camaldoli a Sud del sito generano un alto piezometrico che fa sì che la direzione del flusso della falda avvenga in direzione Sud - Nord, contrariamente a quanto avviene nelle parti più depresse della Piana Campana ove il deflusso naturale è in direzione del mare (Nord-Est - Sud-Ovest)

Le rilevazioni della falda idrica effettuata in corrispondenza dei piezometri realizzati sono state utilizzate nella redazione della Carta piezometrica (Allegato 6). La carta è stata realizzata tracciando le linee isopiezometriche, rappresentanti la disposizione della superficie piezometrica. Il gradiente idraulico calcolato sulla base della carta isopiezometrica è pari a 0,020; dai dati bibliografici lo spessore dell’acquifero è stimato approssimativamente in 100 m.

#### 4.2.3 Parametri chimico-fisici

A fronte delle modestissime quantità d’acqua presenti, non è stato possibile procedere allo spurgo del piezometro. Sono stati comunque misurati alcuni parametri chimico-fisici quali temperatura, pH, conducibilità elettrica e potenziale di ossido-riduzione al fine verificare l’avvenuta stabilizzazione dei parametri prima di effettuare il campionamento;

I dati chimico-fisici raccolti durante l’indagine di caratterizzazione sui 2 piezometri presenti sono così sintetizzabili (tabella 9):

- Relativamente alla temperatura delle acque sotterranee, i dati rilevati nel corso del monitoraggio eseguito nel mese di Aprile 2008, mostrano valori che si attestano nell’intervallo tra 16,70°C e 16,75°C circa.
- Il pH registrato nei piezometri presenta prossimi a 7,6 unità di pH, vale a dire leggermente basico.
- I valori di conducibilità specifica rilevati in corrispondenza dei 2 piezometri risultano compresi tra circa 0.763 e 0.765  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- I valori di ossigeno disciolto rilevati in corrispondenza dei 2 piezometri risultano compresi tra 84.41 % e 80.44 %.
- Il potenziale redox misurato in corrispondenza dei piezometri presenti presso il sito varia da 124,3 mV a 117,8 mV.

<b>Tab. 9 Parametri chimico-fisici</b>					
Piezometro	Temperatura(°C)	pH	Conducibilità (mS)	Ossigeno disciolto (%)	Potenziale RedOx (mV)
P1	16.70	7.597	0.763	84.41	124.3
P2	16.75	7.599	0.765	80.44	117.8

#### 4.2.4 Granulometria/Tessitura del Terreno

Le analisi granulometriche sono state eseguite secondo lo standard ASTM D422-98. Come riportato nelle schede dell’allegato 8, i dati dei risultati delle prove granulometriche indicano che si tratta nel complesso di materiale eterogeneo, costituito prevalentemente da sabbia (40 – 50%) e limo (30 – 40 %).

Nella tabella 10 è riportato: il sondaggio, la profondità di prelievo e la descrizione litologica.



<b>Tab. 10 Distribuzione granulometrica</b>			
<b>Sondaggio</b>	<b>Profondità (m)</b>	$\gamma_s$	<b>Descrizione</b>
P1	0.00-10.00	2,71	sabbia con limo debolmente argillosa debolmente ghiaiosa.
P2	0.00-10.00	2,64	sabbia con limo debolmente ghiaiosa
S1	0.00-10.00	2,64	sabbia con limo ghiaiosa debolmente argillosa
S2	0.00-10.00	2,60	sabbia con limo ghiaiosa

I terreni campionati risultano prevalentemente come “loam” (allegato 8).

#### 4.2.5 Tabella Parametri sito specifici

In base al modello concettuale attivato, vengono riportati di seguito 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.

<b>Tabella 11 – Parametri sito specifici</b>			
<b>Zona Insatura</b>		<b>U.M.</b>	<b>Valore</b>
$L_s$ (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	<b>0,0</b>
$L_s$ (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	<b>1,0</b>
<b>d</b>	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	<b>1,0</b>
$d_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	<b><u>75,5</u></b>
$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	m	<b><u>76,5</u></b>
$h_v$	Spessore della zona insatura	m	<b><u>76,25</u></b>
$f_{oc,SS}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	<b>0,01</b>
$f_{oc,SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	<b>0,01</b>
<b>pH</b>	pH	adim.	<b>6,8</b>
$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	<b><u>2,6</u></b>
$\theta_e$	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	<b><u>0,352</u></b>
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	<b>0,213</b>
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<b><u>0,139</u></b>
$\theta_{wcap}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	<b><u>0,317</u></b>
$\theta_{acap}$	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.	<b><u>0,035</u></b>

$h_{cap}$	Spessore frangia capillare	m	<u>0,375</u>
$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno	<u>2,19E+01</u>
$P$	Piovosità	cm/anno	<u>156,1</u>
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per lisciviazione)	adim.	<u>1,0</u>
<b>Zona Saturata</b>			
$W$	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	<u>49,0</u>
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	<u>40,0</u>
$d_a$	Spessore acquifero	m	<u>100,0</u>
$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	<u>8,25E-05</u>
$i$	Gradiente idraulico	adim.	<u>0,02</u>
$v_{gw}$	Velocità di Darcy	m/s	<u>1,65E-06</u>
$v_e$	Velocità media effettiva nella falda	m/s	<u>4,29E-06</u>
$\theta_{e\ sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adim.	<u>0,385</u>
$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	<u>0,001</u>
$POC$	Distanza recettore off site (DAF)	m	<u>0</u>
$a_x$	Dispersività longitudinale	m	<u>1,00E-01</u>
$a_y$	Dispersività trasversale	m	<u>3,33E-02</u>
$a_z$	Dispersività verticale	m	<u>5,00E-03</u>
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	<u>7,92E+00</u>
$LDF$	Fattore di diluizione in falda	adim.	<u>3,93E+01</u>
<b>Ambiente Outdoor</b>			
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione	m	<u>2,0</u>
$W'$	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	<u>36,0</u>
$S_w'$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	<u>51,0</u>
$U_{air}$	Velocità del vento	m/s	<u>1,0031</u>
$P_e$	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm·s <sup>2</sup> )	<u>6,90E-14</u>
$\tau_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	<u>25,0</u>
$POE\ ADF$	Distanza recettore off site (ADF)	m	<u>1,0</u>
$\sigma_y$	Coefficiente di dispersione trasversale	m	<u>1,60E-01</u>
$\sigma_z$	Coefficiente di dispersione verticale	m	<u>1,40E-01</u>
<b>Ambiente Indoor</b>			
<b>Edificio On-Site</b>			
$Z_{crack}$	Profondità fondazioni da p.c.	m	<u>0,15</u>
$L_{crack}$	Spessore delle fondazioni/muri	m	<u>0,15</u>
$\eta$	Frazione areale di fratture indoor	adim.	<u>0,01</u>
$L_b$	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	m	<u>3,5</u>
$\theta_{wcrack}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adim.	<u>0,12</u>
$\theta_{acrack}$	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adim.	<u>0,26</u>

<b>ER</b>	Tasso di ricambio di aria indoor	1/s	<b>2,30E-04</b>
$\tau_{, indoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	<b>25,0</b>
<b>Edificio Off-site</b>			
$Z_{crack}$	Profondità fondazioni da p.c.	m	<b>0,15</b>
$L_{crack}$	Spessore delle fondazioni/muri	m	<b>0,15</b>
$\eta$	Frazione areale di fratture indoor	adim.	<b>0,01</b>
$L_b$	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione	m	<b>2,0</b>
$\theta_{wcrack}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adim.	<b>0,12</b>
$\theta_{acrack}$	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adim.	<b>0,26</b>
<b>ER</b>	Tasso di ricambio di aria indoor	1/s	<b><u>2,30E-04</u></b>
$\tau_{, indoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	<b>30,0</b>

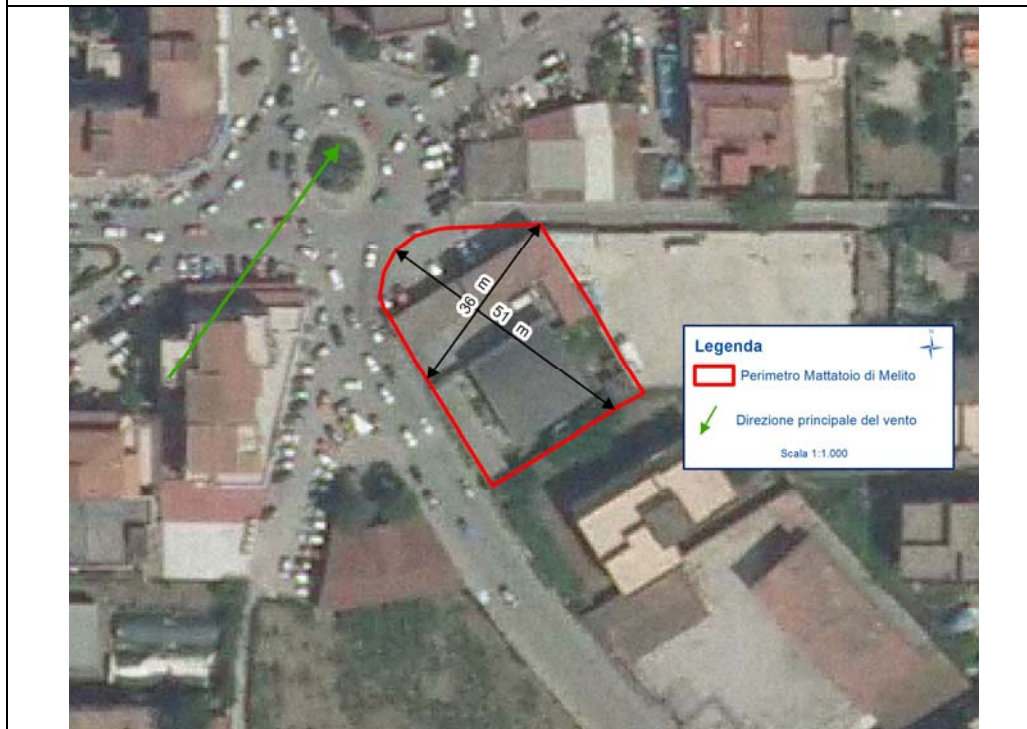
Le considerazioni effettuate ai fini della scelta dei parametri e dei contaminanti sono:

- Lo spessore dell’acquifero è stato valutato in base alla soggiacenza della falda, alla quota del p.c. e ai dati bibliografici locali;
- Come densità del suolo è stato inserito il valore maggiore ;
- La granulometria selezionata è: “loam”;
- L’infiltrazione efficace è stata calcolata considerando il valore massimo di piovosità media annua e la granulometria selezionata;
- La velocità del vento è stata calcolata considerando il valore minore tra quelli riportati in tabella, un suolo urbano ed una classe di stabilità D;
- Le dimensioni delle sorgenti rispetto alle direzioni del vento e della falda sono le massime come evidenziato nelle figura 7 e 8;
- La frequenza giornaliera di esposizione è stata posta pari a 8 ore per i lavoratori e 24 per i residenti.

Relativamente alla scelta dei contaminanti:

- Alluminio, Manganese, Ferro e Tallio nelle acque sotterranee non sono stati implementati nell’analisi di rischio in quanto non volatili così come indicato nel documento di supporto alla Banca Dati elaborata da ISS – INAIL ed aggiornata a Marzo 2015.
- Per gli idrocarburi, non essendo stata effettuata una speciazione degli stessi, si è proceduto selezionando la frazione più cautelativa rispetto ai percorsi di esposizione attivati.

**Fig. n. 7 – estensione della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento**



**Fig. 8- estensione della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda**



#### 4.2.6 Parametri di default

Per tutti i parametri non determinati in fase di caratterizzazione ambientale sono stati utilizzati i valori di default ISPRA.



## 5. RISULTATI

### CASO 1

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel sito in esame ha evidenziato i seguenti risultati come riportato in figura 9, 10 e 11:

#### Suolo Superficiale

- Rischio cancerogeno cumulato accettabile.
- Indice di pericolo cumulato accettabile.
- Rischio cancerogeno non accettabile per ingestione suolo e contatto dermico on site e per inalazione vapori outdoor off site per Diossine e furani.
- Rischio accettabile per la risorsa idrica

Fig. n.9 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	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)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	1,74E+02		1,74E+02	---	---	1,08E-01	2,43E-05	1,00E+01
Diclorometano	2,85E-01		2,85E-01	---	1,03E-09	4,84E-04	NA	1,00E-01
2,3,7,8-TCDD	1,70E-04		1,70E-04	---	5,81E-06	1,67E-01	5,67E-03	1,00E-05
Aromatici C11-C22	1,74E+02		1,74E+02	---	---	9,80E-02	3,30E-03	1,00E+01
Alifatici C19-C36	1,74E+02		1,74E+02	---	---	3,91E-03	4,15E-08	5,00E+01

<b>On-site</b>	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
	Outdoor	5,81E-06
Indoor	1,52E-08	1,19E-01
<b>Off-site</b>	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
	Outdoor	1,17E-06

#### Suolo Profondo

- Rischio cancerogeno e indice di pericolo cumulato accettabile
- Rischio per la risorsa idrica da Benzene



Fig. n.10 – Valori del Rischio e dell'Indice di Pericolo

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	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)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Diclorometano	2,44E+00		2,44E+00	---	4,34E-08	2,04E-02	NA	1,00E-01
Benzene	2,30E-01		2,30E-01	---	9,60E-07	1,15E-02	3,76E+00	1,00E-01

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	6,36E-08	1,47E-03
Indoor	1,00E-06	3,19E-02
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	1,80E-07	8,06E-03

### Falda

- Indice di pericolo non accettabile per inalazione vapori indoor off site per alifatici C5-C8;
- Rischio cancerogeno cumulato accettabile on site e off site
- Indice di pericolo cumulato non accettabile per indoor off site e accettabile per on site.

Fig. n.11 – Valori del Rischio e dell'Indice di Pericolo

Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta falda [mg/L]	CRS ridotta soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]
Alifatici C5-C8	1,77E+00	---		1,77E+00	---	---	3,08E+00	3,50E-01
Triclorometano	3,18E-04	---		3,18E-04	---	1,51E-09	3,72E-06	1,50E-04
Tricloroetilene	4,41E-02	---		4,41E-02	---	1,60E-07	5,55E-02	1,50E-03
Tetracloroetilene (PCE)	3,74E-03	---		3,74E-03	---	5,66E-10	3,03E-04	1,10E-03
1,1-Dicloroetilene	4,93E-04	---		4,93E-04	---	---	1,92E-05	5,00E-05

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	2,56E-10	4,79E-03
Indoor	6,26E-09	1,17E-01
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	1,37E-09	2,63E-02
Indoor	1,63E-07	3,13E+00

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità inversa ha portato all'individuazione delle CSR individuali come riportato nelle Figure 12, 13, 14.

### Suolo Superficiale

Nel calcolo del CSR, non essendo stata effettuata una speciazione, è stata selezionata la frazione MADEP che è risultata in questo caso maggiormente cautelativa cioè gli alifatici C9-C18.

Attraverso i fattori di correzione sono state calcolate le CSR per tutti i contaminanti ai fini del rispetto dell'Indice di Pericolo cumulato.

**Fig. 12 Concentrazione Soglia di Rischio 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	1,61E+03	2,00E+00	<b>8,06E+02</b>	7,40E+02	---	5,00E-01	1,12E-04	1,00E+01
Diclorometano	2,77E+02		<b>2,77E+02</b>	2,54E+02	1,00E-06	4,71E-01	NA	1,00E-01
2,3,7,8-TCDD	2,93E-05		<b>2,93E-05</b>	2,69E-05	1,00E-06	2,87E-02	9,76E-04	1,00E-05

On-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	1,26E-06		2,00E-01
Indoor	1,00E-06		9,27E-01	
Off-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	4,17E-07		6,04E-01

### Suolo Profondo

La CSR per il Benzene risulta inferiore alla CSC per cui l'obiettivo di bonifica sarà la CSC.

**Fig. 13 Concentrazione Soglia di Rischio Suolo Profondo**

Contaminanti	CSR individual e [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 Residenziali [mg/kg s.s.]
Diclorometano	5,62E+01		<b>5,62E+01</b>	5,16E+01	1,00E-06	4,71E-01	NA	1,00E-01
Benzene	6,11E-02		<b>6,11E-02</b>	5,61E-02	2,55E-07	3,05E-03	1,00E+00	1,00E-01

On-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	5,20E-08		1,69E-02
Indoor	1,26E-06		4,74E-01	
Off-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	2,38E-07		9,28E-02

## Falda

Attraverso i fattori di correzione sono state calcolate le CSR per il rispetto del rischio sanitario per tutti i contaminanti ai fini del rispetto dell’Indice di Pericolo cumulato.

**Fig. 14 Concentrazione Soglia di Rischio Falda**

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]
Triclorometano	2,10E-01		<b>2,10E-01</b>	1,00E-06	2,46E-03	1,50E-04
Tricloroetilene	2,75E-01	1,00E+01	<b>2,75E-02</b>	1,00E-07	3,46E-02	1,50E-03
Tetracloroetilene (PCE)	6,61E+00	1,00E+02	<b>6,61E-02</b>	1,00E-08	5,35E-03	1,10E-03
1,1-Dicloroetilene	2,56E+01	1,00E+02	<b>2,56E-01</b>	---	1,00E-02	5,00E-05
Alifatici C5-C8	5,75E-01	1,05E+00	<b>5,48E-01</b>	---	9,52E-01	3,50E-01

On-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	3,23E-09	1,54E-03	
Indoor	7,89E-08	3,77E-02		
Off-site	R tot		HI tot	
	Outdoor	9,36E-09	8,44E-03	
Indoor	1,11E-06	<b>1,00E+00</b>		

## CASO 2

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel sito in esame ha evidenziato i seguenti risultati come riportato in figura 15 e 16:

### Suolo Superficiale

Non essendo stata effettuata una speciazione, è stata selezionata la frazione MADEP che è risultata in questo caso maggiormente cautelativa cioè gli alifatici C9-C18.

- indice di pericolo non accettabile per inalazione vapori indoor per alifatici C9-C18.
- Indice di pericolo cumulato non accettabile.

Fig. n.15 – Valori del Rischio e dell'Indice di Pericolo

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)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	1,74E+02	---		1,74E+02	---	---	2,63E+00	NA	1,00E+01
Diclorometano	2,85E-01	---		2,85E-01	---	2,25E-08	1,08E-02	NA	1,00E-01
2,3,7,8-TCDD	1,70E-04	---		1,70E-04	---	1,91E-07	7,00E-04	NA	1,00E-05

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---
Indoor	2,14E-07	2,64E+00

Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---

### Suolo Profondo

- Rischio cancerogeno cumulato non accettabile
- Indice di pericolo cumulato accettabile
- Rischio cancerogeno non accettabile per inalazione vapori indoor per Benzene e Diclorometano.

Fig. n.16 – Valori del Rischio e dell'Indice di Pericolo

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)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Diclorometano	2,44E+00	---		2,44E+00	---	1,14E-06	5,45E-01	1,00E-01
Benzene	2,30E-01	---		2,30E-01	---	1,29E-05	3,06E-01	1,00E-01

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---
Indoor	1,41E-05	8,51E-01

Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR individuali come riportato in Figura 17 e 18

### Suolo Superficiale

Attraverso i fattori di correzione sono state calcolate le CSR per tutti i contaminanti ai fini del rispetto dell’Indice di Pericolo cumulato

**Fig. n.17 – Concentrazione soglia di rischio 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)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Alifatici C9-C18	6,61E+01	1,50E+00	<b>4,41E+01</b>	4,23E+01	---	6,67E-01	1,00E+01
Diclorometano	1,27E+01	1,50E+00	<b>8,44E+00</b>	8,11E+00	6,67E-07	3,19E-01	1,00E-01
2,3,7,8-TCDD	8,89E-04		<b>8,89E-04</b>	8,54E-04	1,00E-06	3,66E-03	1,00E-05

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---
Indoor	1,67E-06	9,89E-01
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---

### Suolo Profondo

La CSR del Benzene risulta inferiore alla CSC, quindi quest’ultima sarà l’obiettivo di bonifica.

**Fig. n.18 – Concentrazione soglia di rischio Suolo Profondo**

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	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.]
Diclorometano	2,14E+00	<b>2,14E+00</b>	1,97E+00	1,00E-06	4,78E-01	NA	1,00E-01
Benzene	1,78E-02	<b>1,78E-02</b>	1,63E-02	1,00E-06	2,37E-02	NA	1,00E-01

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---
Indoor	2,00E-06	5,02E-01
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---

## 6. CONCLUSIONI

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

### CASO 1:

1. **Suolo Superficiale:** Rischio cancerogeno non accettabile per ingestione di suolo e contatto dermico di Diossine e Furani per i lavoratori on site ed inalazione vapori di Diossine e furani per residenti off site.
2. **Suolo Profondo:** Rischio cancerogeno non accettabile da inalazione vapori indoor di benzene per i lavoratori on site e rischio per la risorsa idrica per lisciviazione di Benzene
3. **Falda:** Indice di pericolo non accettabile da inalazione vapori indoor di idrocarburi alifatici C5-C8 per i residenti off site.

### CASO 2:

1. **Suolo Superficiale:** indice di pericolo non accettabile da inalazione vapori indoor di idrocarburi alifatici C9-C18 per bersaglio residenziale;
2. **Suolo Profondo:** Rischio cancerogeno non accettabile da inalazione vapori indoor di Benzene e Diclorometano per bersaglio residenziale.

Da tali evidenze il sito deve ritenersi contaminato e si rende necessario, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., attuare idonei interventi di bonifica ai fini del rispetto degli obiettivi di bonifica calcolati per il suolo superficiale e profondo e delle CSC al punto di conformità per tutti gli analiti per cui sono risultati superamenti in falda e la cui presenza non sia ascrivibile a valori di fondo dell'area.

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 Ferro e Manganese in falda potrebbe essere ascrivibile alle caratteristiche geochimiche dell'area;
- mancano analisi di speciazione degli idrocarburi e pertanto tutta la contaminazione è stata associata alla frazione più critica dal punto di vista della presenza di rischio sanitario con conseguente sovrastima dello stesso. 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;



- la concentrazione delle sommatoria delle PCDB e dei PCDF è stata associata al congenere 2,3,7,8-TCDD, a cui è associata la tossicità maggiore e che è l'unico ad essere considerato semivolatile nella Banca Dati ISS- ISPESL Marzo 2015. Pertanto i risultati ottenuti in termini di rischio sono estremamente conservativi;
- i modelli di lisciviazione e di trasporto in falda possono sovrastimare il rischio calcolato;
- 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.

Fatte tali premesse, si ritiene che le azioni da intraprendere nell'immediato siano:

1. l'esecuzione di una campagna di monitoraggio delle acque sotterranee al fine di verificarne l'attuale stato di contaminazione relativamente all'estensione ed alla tipologia della stessa ed al fine di verificare con misure dirette quanto risultato dai modelli analitici;
2. 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 per la valutazione dell'efficacia – efficienza delle eventuali misure di prevenzione e degli eventuali interventi di bonifica da attuare.

Si ritiene necessario, inoltre, individuare le cause e le eventuali sorgenti primarie della contaminazione che, qualora ancora presenti, dovranno essere rimosse.

Si evidenzia, inoltre che 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, ecc.

## 7. 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).