



Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania



Analisi di Rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 del sito “Località Sacchi” Comune di Marcellinara (CE)

Novembre 2015

**Analisi di Rischio sito specifica dell’area di proprietà Comunale
“Località Sacchi”
Comune di Marcianise (Ce)**

INDICE

PREMESSA	5
1. RACCOLTA DATI ESISTENTI	6
1.1 DESCRIZIONE SITO.....	6
1.2 RISULTATI DELLE INDAGINI AMBIENTALI.....	7
1.2.1 <i>Indagini indirette</i>	7
1.2.2 <i>Indagini dirette</i>	7
1.2.3 <i>Risultati analisi chimiche</i>	9
2 METODOLOGIA DELL'ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE	13
RISCHIO: DEFINIZIONE E ACCETTABILITÀ	14
3 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA.....	17
CASO 1 SORGENTE INTERA AREA.....	18
3.1 MODELLO CONCETTUALE SITO SPECIFICO	18
3.2 PARAMETRI SITO-SPECIFICI.....	20
3.2.1 <i>Parametri meteo climatici</i>	20
3.2.2 <i>Parametri di idrogeologia locale</i>	25
3.2.3 <i>Granulometria/Tessitura del terreno</i>	28
3.2.1 <i>Tabella parametri sito specifici</i>	29
3.2.2 <i>Parametri di default</i>	32
4 RISULTATI CASO 1	33
CASO 2: SORGENTE SFN1	36
3.3 MODELLO CONCETTUALE SITO SPECIFICO	36
3.4 PARAMETRI SITO-SPECIFICI.....	37
3.4.1 <i>Tabella parametri sito specifici</i>	37
5 RISULTATI CASO 2	39
6 CONCLUSIONI.....	40
7 BIBLIOGRAFIA	41

ALLEGATI

- Allegato 1 – Convenzione;
- Allegato 2- certificato di set inazione urbanistica
- Allegato 3– Bonifica ordigni bellici;
- Allegato 4 – Relazione tecnico descrittiva delle attività di caratterizzazione;
- Allegato 5 – Risultati analisi chimiche;
- Allegato 6- Validazioni dei risultati delle analisi chimiche;
- Allegato 7 –Stratigrafie
- Allegato 8- Slug Test
- Allegato 9- Analisi granulometrica
- Allegato 10- Files di risk-net

Gruppo di lavoro

Dott. Geol. Antonio di Donna *Antonio di Donna*
Arch. Giovanni Stellato *Giovanni 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*

PREMESSA

Il presente elaborato di Analisi di Rischio Sito Specifica è relativo al sito "Area di proprietà comunale loc. Sacchi" del comune di Marcianise (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 "Località Sacchi" oggetto della presente elaborazione di analisi di rischio è di proprietà del Comune di Marcianise (CE) e si trova a Sud del centro abitato, su di un'area completamente pianeggiante ad una quota di circa 24 m s.l.m. A Sud è presente una struttura sportiva adibita a velodromo (distanza di circa 40 m), mentre confina ad Est con una proprietà agricola, a Nord con una strada interpodereale, ad Ovest con via Leonardo da Vinci. In prossimità del sito si è rilevata la presenza di un capannone che risulta non essere mai stato utilizzato.

L'area, di forma rettangolare, ha dimensioni 136,00 x 58,00 m, per una superficie di circa 8000 mq, è delimitata da una recinzione metallica e risulta completamente libera da qualsiasi struttura edilizia. E' individuata al N.C.T. del Comune di Marcianise al foglio 15 particelle n. 57 e 58. In allegato 2 si riporta il certificato di destinazione urbanistica.

Il sito è stato sempre adibito ad uso agricolo fino a quando, con l'apertura del cantiere per la realizzazione del velodromo, su di esso sono stati accantonati materiali inerti provenienti dal cantiere stesso; durante il protrarsi della costruzione del velodromo l'area è gradualmente divenuta anche sede di abbandono incontrollato di rifiuti. Le operazioni di rimozione degli stessi, avvenute prima dell'avvio della redazione del piano di caratterizzazione, hanno evidenziato le seguenti tipologie: inerti, veicoli fuori uso, rifiuti domestici ed assimilabili, rifiuti da giardino e rifiuti da prodotti di agricoltura. Il Comune di Marcianise è dotato di Variante al Piano Regolatore Generale approvata con Decreto n. 1371 del Presidente dell'Amministrazione Provinciale di Caserta in data 10/09/1996 e pubblicata sul BURC n. 63 del 7/10/1996. La Variante al PRG classifica il sito in oggetto come "Zona omogenea F3 – Impianti per il tempo libero". Pertanto ai fini dei limiti previsti dal DL 152/06 è stata applicata la tabella relativa alle aree residenziali.

1.2 Risultati delle Indagini ambientali

Il Piano della caratterizzazione è stato redatto da Arpac/Ingegneria Ambientale, nel gennaio 2004, ai sensi del D.M. 471/99, su incarico del Commissariato di Governo per l’Emergenza Rifiuti, Bonifiche e Tutela delle Acque nella Regione Campania ed approvato dal MATTM in sede di CdS decisoria, in data 20/7/2004.

Il Piano di caratterizzazione ha comportato l’esecuzione di:

- indagini di tipo indiretto, ossia non invasive dei terreni indagati (indagini geofisiche) finalizzate alla verifica di eventuali sottoservizi presenti nell’area in esame;
- bonifica da ordigni bellici: attività propedeutiche alle attività di perforazione finalizzate alla verifica nel suolo e sottosuolo di ordigni bellici (Allegato 3);
- indagini di tipo diretto.

1.2.1 Indagini indirette

Prima di realizzare la caratterizzazione, l’area in esame è stata oggetto di una campagna di ricerca di ordigni bellici residuati, effettuata il 6/09/07 in corrispondenza dei punti di indagine. Conformemente alle prescrizioni tecniche della Direzione del Genio Militare, tale attività è consistita in: a) localizzazione e bonifica delle aree mediante ricerca superficiale di eventuali ordigni esplosivi tramite utilizzo di un metal detector di tipo FEREX con garanzia fino alla profondità di 1 m da p.c. e su di un’area di 1 m² nell’intorno di ciascun punto di indagine; b) localizzazione e bonifica in profondità mediante ricerca e localizzazione di ordigni esplosivi residuati bellici eseguita a mezzo di trivellazioni verticali e graduale introduzione in foro del metal detector fino alla quota prevista (-5 m dal pc), con garanzia di agibilità a fondo foro, per ciascun punto di indagine. Osservando le suddette prescrizioni tecniche, le trivellazioni sopra descritte si sono arrestate a profondità inferiori a quella prevista laddove è stata riscontrata presenza di formazioni tufacee e/o lapidee.

1.2.2 Indagini dirette

Per la caratterizzazione dei terreni sono stati raccolti campioni dalle carote estratte nel corso delle perforazioni e campioni di “top-soil”, come meglio dettagliato nella relazione tecnico descrittiva delle attività di caratterizzazione (Allegato 4).

Nel sito sono stati realizzati 9 sondaggi, di cui 4 attrezzati a piezometro, identificati come di seguito specificato:

- sondaggi S1 e S2, profondi 3 m dal piano campagna, interni al sito;
- sondaggi P1, P2, P3 e P4, profondi 20 m dal piano campagna, interni al sito e attrezzati a piezometri;
- sondaggi FN1, FN2 e FN3, profondi 3 m dal piano campagna, esterni al sito, per la determinazione dei valori di fondo.

Il prelievo dei campioni di terreno superficiale ("top-soil") è stato eseguito, mediante operazione manuale, ad una profondità compresa tra 0÷15 cm dal piano campagna. I punti di prelievo, denominati TS1, TS2, TS3, TS4, TS5, TS6 e TS7, sono stati posti in corrispondenza rispettivamente dei carotaggi P3, S1, P1, P2, S2, P4 e FN2. Sono stati prelevati in contraddittorio i campioni P3C1, P3C2 e P3C3 ed il campione superficiale TS7.

Sono stati complessivamente prelevati 34 campioni così suddivisi:

- 6 campioni di terreno dai sondaggi S1 e S2 (3 da ciascun sondaggio);
- 9 campioni di terreno dai sondaggi FN1, FN2 e FN3 (3 da ciascun sondaggio);
- 12 campioni di terreno dai sondaggi completati a piezometro P1, P2, P3 e P4 (3 da ciascun sondaggio);
- 7 campioni di top-soil dai punti TS1, TS2, TS3, TS4, TS5, TS6 e TS7 (uno da ciascun punto).

Le profondità di prelievo dei campioni raccolti dalle carote risultano dalla seguente tabella

Tab.1 profondità prelievo campioni di terreno			
	C1	C2	C3
S1	0.00÷0.50 m	1.00÷1.70 m	2.50÷3.00 m
S2	0.00÷0.50 m	1.20÷1.80 m	2.50÷3.00 m
P1	0.50÷1.70 m	2.70÷3.40 m	7.00÷7.70 m
P2	1.00÷1.70 m	3.00÷3.70 m	6.50÷7.00 m
P3	1.50÷2.20 m	5.50÷6.20 m	8.00÷8.70 m
P4	1.20÷1.80 m	3.70÷4.60 m	7.70÷8.70 m
FN1	0.00÷0.50 m	1.00÷1.70 m	2.50÷3.00 m
FN2	0.00÷0.50 m	1.20÷1.80 m	2.50÷3.00 m
FN3	0.00÷0.50 m	1.00÷1.70 m	2.50÷3.00 m

Nella figura n. 1 sono rappresentati il perimetro del sito su ortofoto ed i sondaggi eseguiti in base al Piano di Indagine.

Fig. 1- perimetro del sito, piano di indagine



1.2.3 Risultati analisi chimiche

Per quanto riguarda i terreni, i risultati delle analisi eseguite sui campioni di terreno sono stati confrontati con le CSC della Colonna A, Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della parte IV del D.Lgs.152/06 e smi.

suolo superficiale

- superamenti per lo Stagno in tutti i campioni interni ed esterni al sito. Si evidenzia che nell'analisi di rischio non si è tenuto conto di tali superamenti in quanto lo Stagno non risulta più normato a seguito dell'emanazione della Legge 11 agosto 2014, n. 116;
- superamenti per il Berillio in tutti i campioni;
- eccedenze si rinvenivano inoltre per: Toluene, BTEX totali, Diclorometano nel campione FN1-1 (esterno al sito) con valori rispettivamente pari a 0,9 mg/kg, 2 mg/kg, 0,17 mg/kg; DDD, DDT, DDE nel campione TS1 (interno al sito) con un valore pari a 0,013 mg/kg.

suolo profondo

- superamenti per lo Stagno in tutti i campioni interni ed esterni al sito. Si evidenzia che nell'analisi di rischio non si è tenuto conto di tali superamenti in quanto lo Stagno non risulta più normato a seguito dell'emanazione della Legge 11 agosto 2014, n. 116;
- superamenti diffusi per il Berillio.

acque sotterranee

- a) superamenti per il Manganese nei piezometri P1, P2 e P3
- b) superamenti per i PCB nel Piezometro P2.

I risultati sono stati validati da ARPAC (Allegato 6).

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive di tutti i superamenti rilevati nei terreni e nelle acque sotterranee indicanti il carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità di prelievo, la data di prelievo, gli analiti ed i limiti normativi di riferimento.

Tab. 2 superamenti dei valori delle CSC nel suolo superficiale e profondo

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A [mg/kg]					2		0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,01
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Berillio	Stagno	Stirene	Xilene	Toluene	Etilbenzene	Diclorometano	DDD,DDT,DDE
TS1	440428	4541225	0,00 – 0,15 m	22/10/2007								0,013
S1	440428	4541255	0,00 – 0,50 m	22/10/2007	5,8	3,5						
			1,00 – 1,70 m		6,6	3,1						
			2,50 – 3,00 m		4,2	2,6						
S2	440500	4541227	0,00 – 0,50 m	22/10/2007	6,1	18						
			1,20 – 1,80 m		8,6	5,1						
			2,50 – 3,00 m		8,3	5,0						
P1	440457	4541257	0,50 – 1,00 m	26/10/2007	7,5	4,2						
			1,00 – 1,70 m		7,5	4,2						
			2,70 – 3,40 m		3,2	1,9						
			7,00 – 7,70 m		2,2	3,3						
P2	440499	4541259	1,00 – 1,70 m	29/10/2007		6,1						
			3,00 – 3,70 m		10							
			6,50 – 7,00 m		3,7	2,3						
P3	440428	4541225	1,50 – 2,20 m	23/10/2007	7	4,9						
			5,50 – 6,20 m		2,3	1,3						
			8,00 – 8,70 m		3,5	2,3						
P4	440456	4541226	1,20 – 1,80 m	25/10/2007	7,7	4,6						
			3,70 – 4,60 m		2,6	1,6						
			7,70 – 8,70 m			6,5						
FN1	440483	4541279	0,00 – 0,50 m	22/10/2007	3	2,2	0,2	0,4	0,9	0,2	0,17	
			1,00 – 1,70 m		8,5	4,8						
			2,50 – 3,00 m			3,7						
FN2	440462	4541208	0,00 – 0,50 m	22/10/2007	5,6	3,8						
			1,20 – 1,80 m		6,2	3,3						
			2,50 – 3,00 m		7,6	4,1						
FN3	440533	4541276	0,00 – 0,50 m	22/10/2007	4,4	1,5						
			1,00 – 1,70 m		5,7	4,0						
			2,50 – 3,00 m		6,8	3,7						

Tab.3 superamenti dei valori delle CSC nelle acque sotterranee

Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 [$\mu\text{g/l}$]						
					50	0,01
Sond.	Coord_X	Coord_Y	Profondità	Data prelievo	Manganese	PCB
P1	440457	4541257	20 m	30/10/2007	70	
P2	440499	4541259	20 m	30/10/2007	490	0,017
P3	440428	4541225	20 m	30/10/2007	150	

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:



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).

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 $(mg/kg\ giorno)^{-1}$, 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 ≤ 1 (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile);

- HI cumulato ≤ 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.

CASO 1 - SORGENTE INTERA AREA

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 proveniente dalle matrici suolo ed acque sotterranee e delle Concentrazioni Soglia di Rischio. Lo scenario di riferimento è quello attuale, in quanto, ad oggi, non esiste un progetto di riutilizzo dell'area.

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).

- **Sorgenti**

Le matrici ambientali considerate quali sorgenti secondarie di contaminazione sono il suolo superficiale, il suolo profondo e la falda idrica. In via cautelativa sono stati considerati anche i tre sondaggi effettuati nell'area esterna al sito. L'area della sorgente di contaminazione, uguale per tutte le matrici, è stata pertanto ampliata rispetto a quella effettiva del sito, in modo tale da includere anche i sondaggi esterni. Le dimensioni della sorgente sono state definite sulla base delle seguenti considerazioni:

- nel suolo superficiale, all'interno del sito, si rilevano superamenti delle CSC in soli n. 3 punti di indagine, ma nei rimanenti 3 carotaggi (in totale sono pari a 6) non sono stati prelevati campioni di suolo nel primo metro di terreno, mentre si rilevano superamenti delle CSC per tutti i sondaggi esterni. Si evidenzia che l'effettivo limite di riferimento per l'analita Berillio è il valore di 6,3 mg/kg utilizzato quale fondo naturale per i Comuni ricadenti nel territorio della Terra dei Fuochi dal Gruppo di Lavoro di cui alla Direttiva Ministeriale del 23.12.2013, emanata in attuazione del Decreto Legge n.136/2013 "Disposizioni urgenti in materia di reati ambientali e per la tutela dell'ambiente, della salute e delle produzioni agroalimentari in Campania", convertito in legge 6 febbraio 2014 n.6. Utilizzando tale limite si rileva un solo superamento nel suolo superficiale, tuttavia in via cautelativa è stata comunque considerata l'intera superficie del sito quale sorgente di contaminazione;

- nel suolo profondo si riscontrano superamenti esclusivamente nei punti di indagine interni, ma è stata considerata comunque la superficie dell'intera area sorgente;
- nelle acque sotterranee n.3 su 4 piezometri risultano contaminati e non sono stati realizzati piezometri all'esterno del perimetro del sito, pertanto anche per la matrice falda è stata considerata l'intera area del sito.

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

Premesso che sull'area non sono presenti pavimentazioni artificiali ed edifici e che i contaminanti rilevati nel suolo profondo sono tutti non volatili, per ogni matrice i percorsi attivati sono:

- suolo superficiale: ingestione, contatto dermico, volatilizzazione outdoor di vapori e polveri e lisciviazione in falda;
- suolo profondo: volatilizzazione vapori outdoor e lisciviazione in falda;
- Falda: inalazione outdoor. Non è stato attivato il percorso di migrazione al POC in quanto al punto di conformità non risultano rispettati i valori delle CSC di cui all'allegato V alla parte quarta del D.Lgs 152/2006 perché la sorgente di contaminazione in falda coincide con l'intera superficie del sito.

- ***Bersagli***

In base alla destinazione urbanistica dell'area, i potenziali bersagli on site sono adulti e bambini in uno scenario ricreativo mentre i bersagli off site sono gli agricoltori dei campi circostanti per i quali si è ipotizzata una distanza di 2 m. Gli utilizzatori del velodromo non sono stati considerati quali bersagli della contaminazione in quanto tale struttura dista circa 40 m dal sito.

I contaminanti per i quali è stato valutato il rischio e le relative concentrazioni rappresentative della sorgente sono indicati in tab. n. 4. 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, aggiornata a Marzo 2015.

Tab. n. 4 – Concentrazioni rappresentative della sorgente

Contaminante suolo superficiale	CRS (mg/kg)
Berillio	7,5
DDD DDT DDE	0,013
Etilbenzene	0,2
Stirene	0,2
Toluene	0,9
Xileni	0,4
Diclorometano	0,17
Contaminante suolo profondo	CRS (mg/kg)
Berillio	10
Contaminante acque sotterranee	CRS (µg/l)
PCB	0,017

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

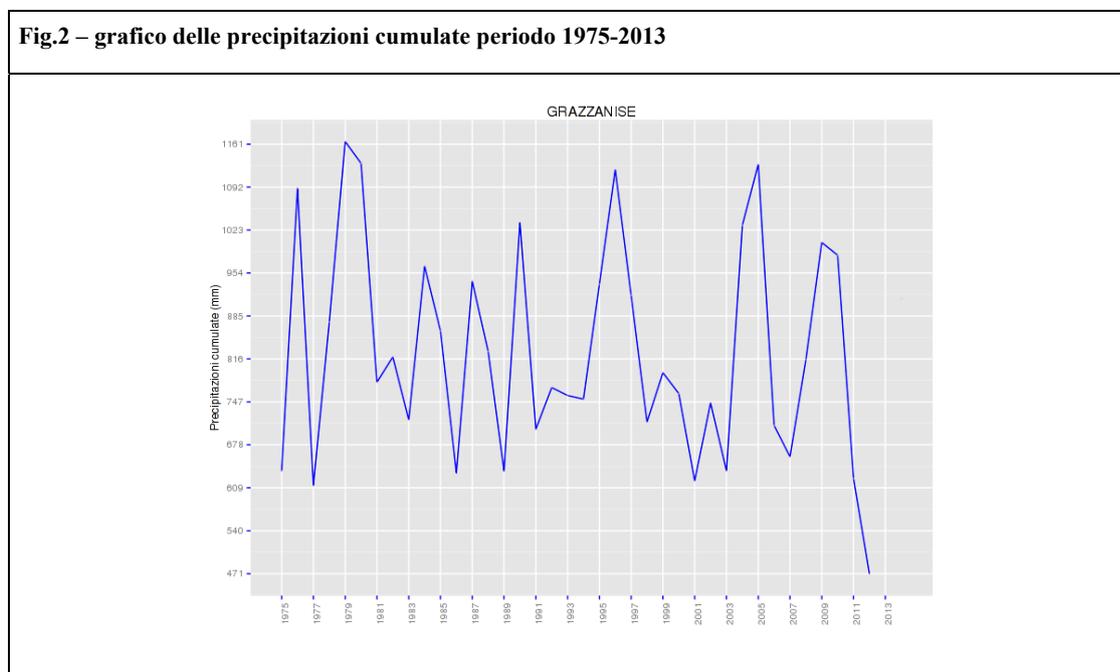
In tabella 5 si riportano i valori della serie storica dei valori max di precipitazione annua cumulata dal 1975 al 2013.

Tabella 5 - 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



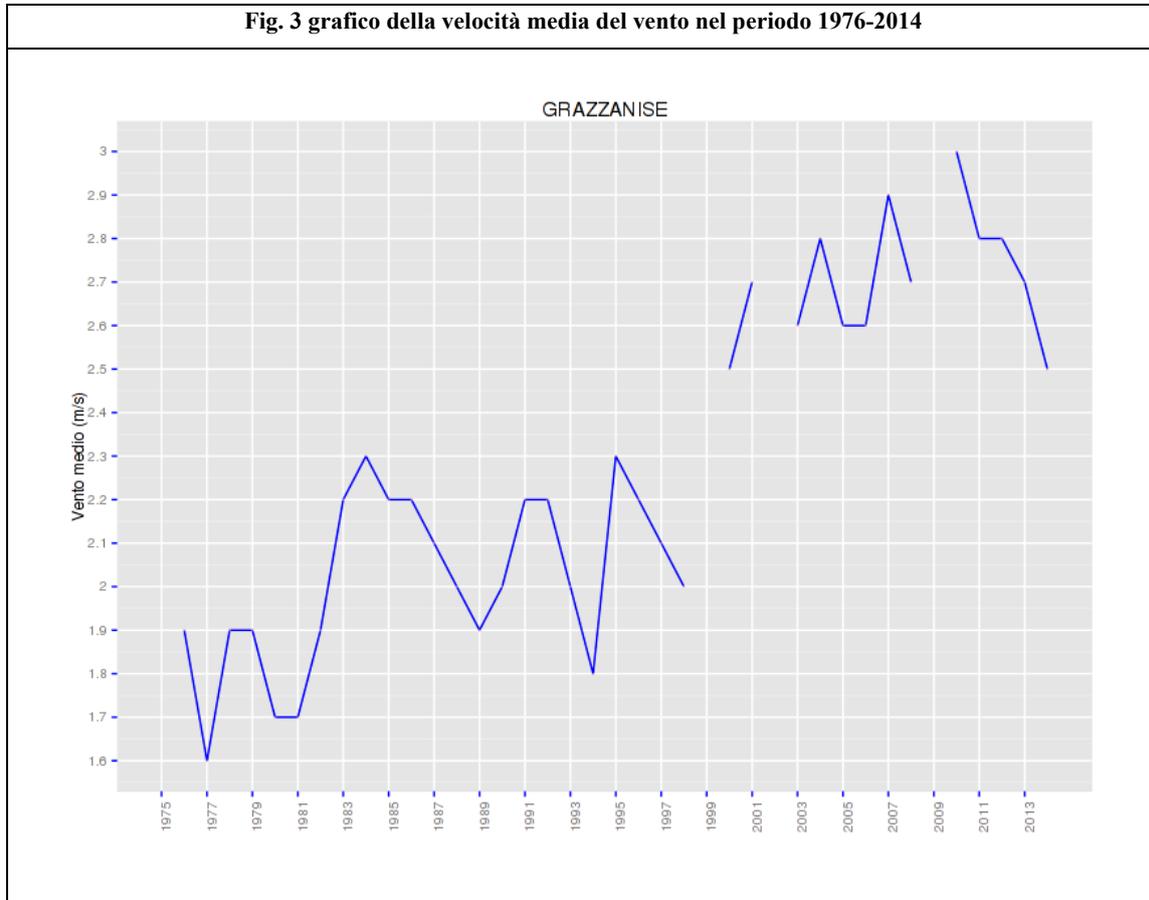
Per la definizione delle caratteristiche di ventosità del sito, tra le stazioni meteo inserite nel sistema SCIA di ISPRA (<http://www.scia.sinanet.apat.it/>), è stata selezionata quella che risulta maggiormente rappresentativa delle condizioni di Marcianise, valutata sulla base di considerazioni riguardanti 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 6 si riportano i valori della serie storica di velocità media del vento nel periodo 1976-2014

Tabella 6- 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

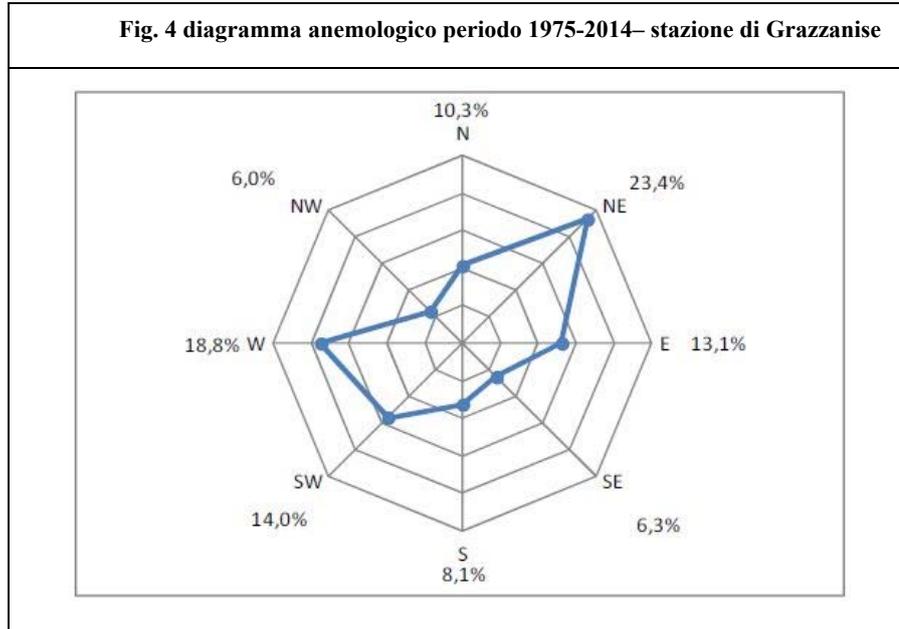


Ai fini della stima del valore di velocità media del vento alla quota di 2 m, all'interno del software sono state impostate una quota di 10 m della centralina meteo di riferimento, una classe di stabilità atmosferica D ed una tipologia di suolo "rurale".

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

Nella figura n. 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 7 vengono riportati i valori utilizzati per l'elaborazione dello stesso. La direzione principale di provenienza del vento è NE-SO.

Tab. n. 7– 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

Dal Piano di caratterizzazione si desume la seguente successione stratigrafica:

- P – Complesso delle piroclastiti prevalentemente da caduta. Piroclastiti vesuviane e flegree prevalentemente da caduta, sciolte e con granulometria da media a fine (ceneri medio fini e lapilli); locali ed esigui livelli di pomice e di paleosuoli limoso-sabbiosi. Pleistocene superiore – Olocene. Spessore circa 5 m. Permeabilità bassa.
- ICc – Complesso dell'ignimbrite campana. Cineriti grigiastre associate a scorie nere e brandelli di lava (Tufo grigio campano) in facies debolmente cementata. Permeabilità buona.
- IC – Complesso dell'ignimbrite campana. Cineriti grigiastre associate a scorie nere e brandelli di lava (Tufo grigio campano) in facies lapidea. Lo spessore dell'intero complesso è di circa 30-40 m. Permeabilità molto bassa.
- Ags – Argille marine con intercalazioni di sabbia rappresentate da piroclastici rimaneggiati. Permeabilità molto bassa.

Dall'esame delle stratigrafie riportate nell'allegato 7 è possibile sintetizzare la seguente successione litologica:

- 0-0,8 m: terreno vegetale;
- 0,8-2,0 m: pozzolana marrone chiaro con piccoli lapilli eterometrici e nuclei di alterazione;
- 2,0-2,5 m: pozzolana limoso sabbiosa grigio verde mediamente addensata;
- 2,5-5,2 m: "cappellaccio" tufaceo con grosse pomice, piccoli lapilli e scorie in una matrice sabbiosa;
- 5,2-8,0 m: tufo giallo da semilitoide a litoide con scorie, lapilli e pomice;
- 8,0-10,5 m: tufite grigia con scorie e pomice in un'abbondante matrice cineritica sabbiosa;
- 10,5-20,0 m: cinerite grigia con microscopici lapilli a matrice sabbiosa fine.

È evidente la correlazione degli orizzonti litologici incontrati al di sotto dello strato di terreno vegetale alterato e fino a 8,0 m di profondità con P, Complesso delle piroclastiti prevalentemente da caduta, mentre quelli sottostanti fino a 20,0 m sono correlabili con ICc, Complesso dell'Ignimbrite Campana, facies debolmente cementata.

Secondo quanto ricostruito nel Piano di caratterizzazione, il sito in esame ricade nell'ambito di affioramento del "Complesso idrogeologico delle Piroclastiti prevalentemente da caduta", consistente in terreni vulcanici

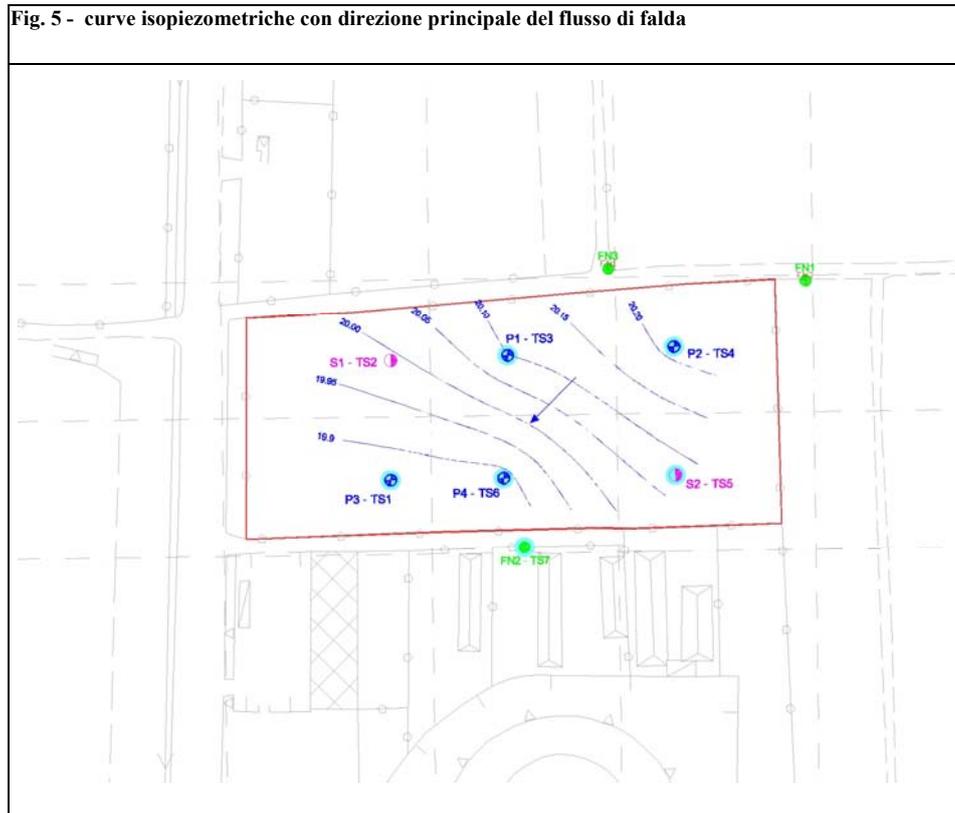
fini, sciolti e poco permeabili di spessore pari a pochi metri. Sottostanti a tale complesso idrogeologico sono i terreni della facies incoerente del "Complesso dell'Ignimbrite Campana", i quali possiedono un buon grado di permeabilità, in ogni caso più alto di quello dei terreni ad essi sovrapposti. Il quadro idrogeologico ricostruito nel Piano di caratterizzazione indica che nel sito in esame la falda acquifera è posta a circa una decina di metri dal piano campagna ed è ospitata dal Complesso dell'Ignimbrite Campana. La circolazione idrica sotterranea, alimentata a scala dell'intera Piana Campana dai massicci carbonatici appenninici, è orientata all'incirca NE =>SO.

La falda idrica si rinviene, come indicano le misure piezometriche effettuate nei quattro piezometri P1 e P2, P3 e P4 a circa 7.50 m dal piano campagna. (Tab. 8)

Tab.8- Soggiacenza della falda dal p.c. e s.l.m.		
Piezometro	Livello falda (m da p.c.)	Livello falda (m s.l.m.)
P1	7,58	20,00
P2	7,43	20,22
P3	7,79	19,87
P4	7,70	19,88

Il flusso idrico sotterraneo è orientato NE =>SO, con un gradiente idraulico all'incirca pari a 0,4%.

In figura 5 si riportano le curve isopiezometriche con direzione principale del flusso di falda desunte dalla Relazione tecnico descrittiva del Piano di Caratterizzazione

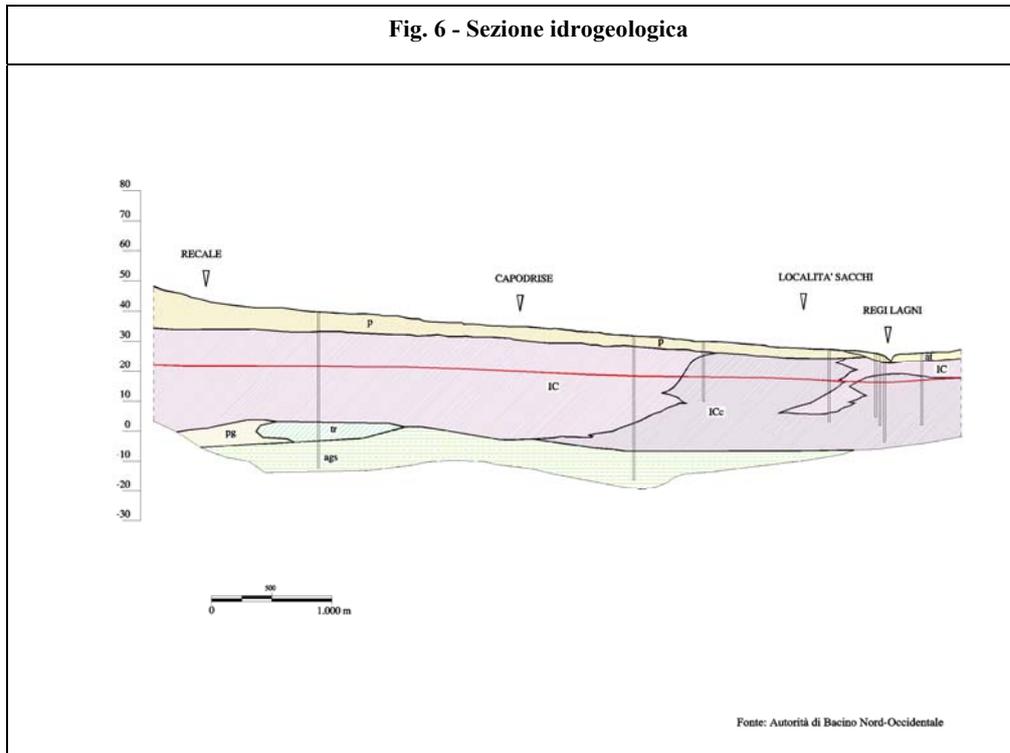


In base alle prove di Slug test (allegato 8) la conducibilità idraulica risulta compresa in un intervallo tra $2,6 \times 10^{-7}$ e $1,7 \times 10^{-7}$ m/s come si evidenzia nella tabella 9

Tab.9- Risultati delle prove slug test con i relativi valori di conducibilità idraulica.

MW	Modello Acquifero	K	Metodo di risoluzione
P1	Non confinato	1,711 E-6 m/sec	Bouer-Rice
P2	Non confinato	1,0 E-6 m/sec	Bouer-Rice
P3	Non confinato	4,0 E-7 m/sec	Bouer-Rice
P4	Non confinato	2,6 E-7 m/sec	Bouer-Rice

Lo spessore dell'acquifero, pari a 25-30 m, è stato ricavato dai dati bibliografici riportati nel Piano di Caratterizzazione e più precisamente dalla sezione idrogeologica riportata in figura 6.



3.2.3 Granulometria/Tessitura del terreno

Per la caratterizzazione dei terreni sono stati raccolti campioni dalle carote estratte nel corso delle perforazioni e campioni di "top-soil", prelevati manualmente, da dette carote sono inoltre stati prelevati 8 campioni di terreno sottoposti ad analisi granulometrica sia mediante vagliatura sia per sedimentazione e a determinazione del peso specifico dei granuli (allegato 9).

In tabella 10 sono riportati i risultati delle analisi granulometriche effettuate sugli 8 campioni

Tab. 10- Distribuzione granulometrica

Sondaggio	Campione	Profondità	γ_s	Sabbia	Limo	Ghiaia	Argilla	Descrizione
P1	CG1	0,50÷1,50 m	2,50	37%	53%	5%	5%	Limo con sabbia debolmente ghiaiosa e debolmente argillosa
P1	CG2	2,40÷3,40 m	2,49	29%	60%		8%	Limo con sabbia debolmente argillosa
P3	CG1	0,00÷1,00 m	2,63	44%	33%	13%	10%	Sabbia con limo ghiaiosa e debolmente argillosa
P3	CG2	2,00÷3,00 m	2,57	51%	29%	17%		Sabbia con limo ghiaiosa
S2	CG1	0,00÷1,00 m	2,68	47%	40%		10%	Sabbia con limo debolmente argillosa
S2	CG2	2,00÷3,00 m	2,58	40%	38%	12%	10%	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa e debolmente argillosa
FN2	CG1	0,00÷1,00 m	2,55	35%	62%			Limo con sabbia
FN2	CG2	2,00÷3,00 m	2,50	50%	48%			Sabbia con limo

I terreni campionati appaiono pertanto classificabili come sabbie con limo.

3.2.1 Tabella parametri sito specifici

In base al modello concettuale attivato, in tabella n. 11 vengono riportati 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 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.

Tab. n.11 – Parametri sito specifici

Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Valore utilizzato
L_{GW}	Profondità del piano di falda	cm	300	743
h_V	Spessore della zona insatura	cm	281.2	721
d_a	Spessore della falda	cm	-----	25
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	cm	4500	11900
W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm	4500	11900
S_W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm	4500	9300
$L_{s(SS)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al	cm	0	0
$L_{s(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm	100	100
L_f	Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.	cm	300	721
d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm	200	640
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	100
L_F	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm	300	743
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	2.68
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo	0.01	0.01
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	22.9
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6.8	6.8
V_{gw}	Velocità di Darcy	m/s		2.8E-09
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	-----	7.00E-07
i	Gradiente idraulico	adim.	-----	0.004
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0.001	0.001
pH	pH del suolo saturo	adim.	6.8	6.8
W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione	cm	4500	11900
S_w'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione	cm	4500	9300
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	125

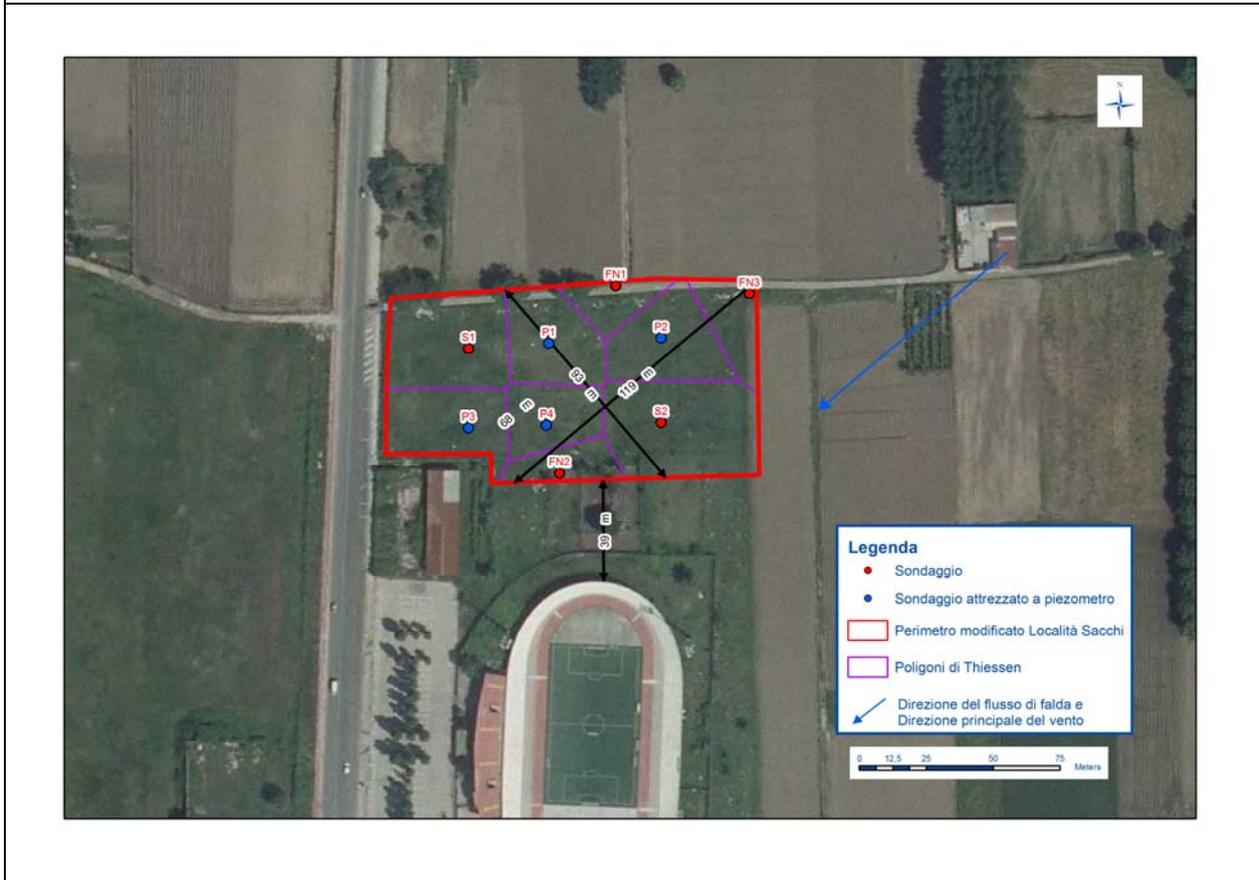
Le considerazioni effettuate ai fini della scelta dei valori dei parametri indicati in tab. n. 11 sono:

- le dimensioni della sorgente rispetto alle direzioni del vento e della falda sono le massime così come evidenziato in figura n. 7;
- per la soggiacenza delle falda è stato selezionato il valore minimo;
- come spessore dell'acquifero è stato inserito il valore minore;
- alla densità del suolo è stato attribuito il massimo rilevato;
- la velocità del vento è stata selezionata considerando il valore minore tra quelli riportati in tabella 6, un suolo " rurale" ed una classe di stabilità D;
- l'infiltrazione efficace è stata calcolata a partire dal massimo dei valori di piovosità media annua indicati in Tab. 5;
- la tessitura del suolo è stata assimilata ad una sabbia limosa;
- come valore di conducibilità idraulica è stato considerato il minimo;
- assenza di pavimentazione;
- la distanza del recettore off site è stata posta pari a 2 m, considerando gli utilizzatori dei campi confinanti.

Relativamente alla scelta dei contaminanti:

- Sono stati inseriti anche Stirene, Etilbenzene e Xilene in quanto la concentrazione della sommatoria degli organici aromatici supera la CSC;
- I contaminanti considerati in falda sono esclusivamente i PCB tot perché considerati semivolatili (OMS, 1989), mentre il manganese è non volatile.

Fig. n. 7 – Dimensioni della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda ed alla direzione principale del vento



3.2.2 Parametri di default

In fase di caratterizzazione ambientale non sono stati determinati il pH ed il foc del suolo, pertanto i valori inseriti corrispondono a quelli di default ISPRA.

4 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:

A. **Suolo Superficiale:** Rischio non accettabile per Toluene per la risorsa idrica.

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 del rischio.

Fig. n. 8 – Valori del Rischio e dell'Indice di Pericolo suolo superficiale

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)
Berillio	7,50E+00	---		7,50E+00	---	1,84E-10	4,93E-02	2,97E-01
DDT	1,30E-02	---		1,30E-02	---	7,85E-09	3,60E-04	9,62E-03
Etilbenzene	2,00E-01	---		2,00E-01	---	2,55E-08	7,28E-05	1,10E-01
Stirene	2,00E-01	---		2,00E-01	---	---	5,64E-05	2,22E-01
Toluene	9,00E-01	---		9,00E-01	---	---	2,20E-04	3,12E+00
Xileni	4,00E-01	---		4,00E-01	---	---	8,27E-04	NA
Diclorometano	1,70E-01	---		1,70E-01	---	1,78E-09	5,21E-04	NA

On-site	R tot	HI tot
	Outdoor	3,53E-08
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
	Outdoor	1,95E-08

B. **Suolo profondo:** Rischio non accettabile per Berillio per la risorsa idrica

In figura n. 9 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. 9 – Valori del Rischio suolo profondo

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]
Berillio	1,00E+01	1,00E+01	---	---	---	2,93E+00	2,00E+00	1,00E+01

C. Acque sotterranee: rischio accettabile

In figura n. 10 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio

Fig. n. 10 – Valori del Rischio

Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m ³]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CRS ridotta falda [mg/L]	CRS ridotta soil-gas [mg/m ³]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)
PCB Tot.	1,70E-05	---		1,70E-05	---	1,60E-11	---

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità inversa ha portato all'individuazione delle CSR indicate nelle fig. n. 11, n.12 e n. 12BIS. Il Toluene è stato eliminato dall'implementazione in quanto la CSR calcolate risultano minori delle CSC. Quest' ultima pertanto è da ritenersi l' obiettivo di bonifica. 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. 11 – 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)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]
Berillio	2,53E+01		2,53E+01	2,43E+01	6,20E-10	1,66E-01	1,00E+00	2,00E+00
DDT	1,35E+00		1,35E+00	1,30E+00	8,17E-07	3,75E-02	1,00E+00	1,00E-02
Etilbenzene	1,81E+00		1,81E+00	1,74E+00	2,31E-07	6,59E-04	1,00E+00	5,00E-01
Stirene	9,02E-01		9,02E-01	8,67E-01	---	2,54E-04	1,00E+00	5,00E-01
Xileni	4,84E+02	2,00E+00	2,42E+02	2,33E+02	---	5,00E-01	NA	5,00E-01
Diclorometano	9,53E+01		9,53E+01	9,16E+01	1,00E-06	2,92E-01	NA	1,00E-01

On-site	R tot	HI tot
	Outdoor	2,05E-06
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
	Outdoor	2,37E-07

Fig. n. 12 – 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)
Berillio	3,42E+00		3,42E+00	3,28E+00	---	---	1,00E+00

Per il Berillio la CSR risulta inferiore al valore di 6,3 mg/kg stabilito quale valore di fondo naturale, pertanto quest'ultimo rappresenta l'effettivo obiettivo di bonifica.

Fig. n. 12 BIS – CSR falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
PCB Tot.	5,59E-01	1,00E-06	---	1,00E-05	1,70E-05

CASO 2: SORGENTE SFN1

3.3 Modello concettuale sito specifico

Nel caso 2 l'analisi di rischio è stata svolta in modalità sia diretta che inversa ai fini del calcolo sia del rischio proveniente dalla matrice suolo superficiale limitatamente al sondaggio FN1 che della Concentrazione Soglia di Rischio per il Toluene. Visto il risultato ottenuto nel **Caso 1** in cui la contaminazione da Toluene è stata associata all'intera area della sorgente, si è ritenuto opportuno verificare l'effettiva presenza di rischio dal suolo per la falda facendo riferimento ad una più realistica porzione di suolo coinvolta dalla contaminazione ed inserendo la distanza effettiva della suddetta area dal punto di conformità.

Il software utilizzato è Risk-net 2.0.

- **Sorgenti**

La matrice ambientale considerata quale sorgente secondaria di contaminazione è il suolo superficiale. Le dimensioni della sorgente sono state determinate attraverso la definizione dei poligoni di Thiessen.

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

Le uniche vie di trasporto considerate sono la lisciviazione e il trasporto in falda.

- **Bersagli**

Falda idrica al punto di conformità.

Il contaminante per cui è stato valutato il rischio per la risorsa idrica è il Toluene e la concentrazione rappresentativa della sorgente è la massima pari a 0,9 mg/kg.

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

3.4 Parametri sito-specifici

3.4.1 Tabella parametri sito specifici

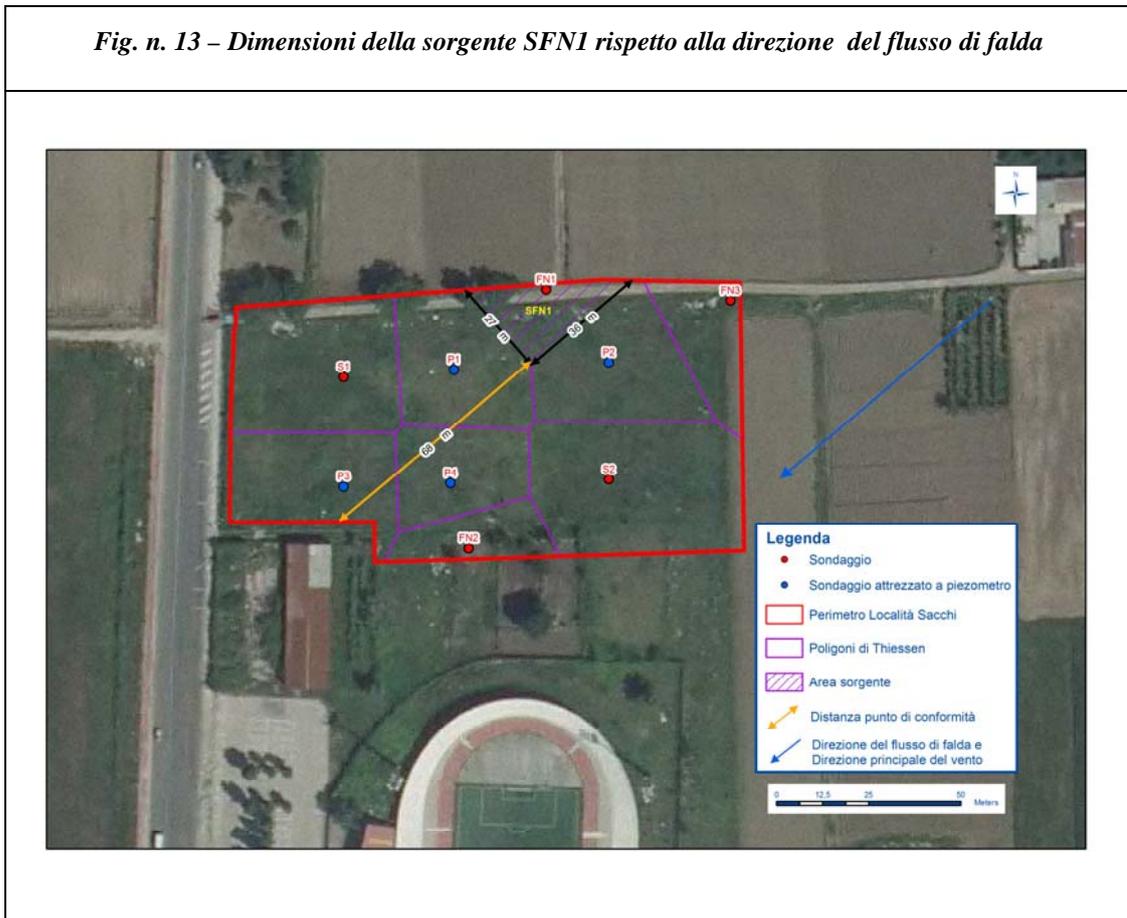
In base al modello concettuale attivato, in tabella n. 12 vengono riportati i parametri richiesti dal software Risk-net ed i relativi valori implementati, selezionati in base a quanto previsto dai "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" e dal "Documento 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:

<i>Tab. n. 12 – Parametri sito specifici</i>				
Simbolo	Parametro	Unità di misura	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Valore utilizzato
L_{GW}	Profondità del piano di falda	cm	300	743
h_V	Spessore della zona insatura	cm	281.2	721
d_a	Spessore della falda	cm	-----	25
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	cm	4500	3600
S_w	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	cm	4500	2700
L_{s(SS)}	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm	0	0
L_f	Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.	cm	300	50
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm	100	50
L_F	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm	300	743
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1.7	2.68
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo	0.01	0.01
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	22.9
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6.8	6.8
V_{gw}	Velocità di Darcy	m/s		2.8E-09
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	-----	7.00E-07
i	Gradiente idraulico	adim.	-----	0.004
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0.001	0.001
pH	pH del suolo saturo	adim.	6.8	6.8

Le considerazioni effettuate ai fini della scelta dei valori dei parametri indicati in tab. n. 12 sono:

- le dimensioni della sorgente rispetto alle direzioni del vento e della falda sono le massime così come evidenziato in fig. n. 13;
- per la soggiacenza delle falda è stato selezionato il valore minimo;
- come spessore dell'acquifero è stato inserito il valore minore;
- alla densità del suolo è stato attribuito il massimo rilevato;
- l'infiltrazione efficace è stata calcolata a partire dal massimo dei valori di piovosità media annua indicati in tab. 5;
- la tessitura del suolo è stata assimilata ad una sabbia limosa;
- come valore di conducibilità idraulica è stato considerato il minimo;
- assenza di pavimentazione;
- la distanza del punto di conformità è stata posta pari a 68 m (vedi figura 13).

Fig. n. 13 – Dimensioni della sorgente SFN1 rispetto alla direzione del flusso di falda



5 RISULTATI CASO 2

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità diretta ha evidenziato Rischio accettabile.

In figura n.14 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio.

Fig. n. 14 – Valori del Rischio e dell'Indice di Pericolo

Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS ridotta suolo [mg/kg s.s.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]
Toluene	9,00E-01	9,00E-01	---	5,45E-06	6,31E-01	5,00E-01

L'elaborazione dell'analisi di rischio in modalità inversa ha portato all'individuazione della CSR indicata nella fig. n. 15.

Fig. n. 15 – Valori delle CSR

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Rischio cancerogeno (R)	Indice di pericolo (HI)	Rischio Risorsa Idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]	CSR in sorgente [mg/kg s.s.]
Toluene	1,43E+00	---	8,64E-06	1,00E+00	5,00E-01	9,00E-01

In allegato 10 si riportano i files di risk-net.

6 CONCLUSIONI

L'applicazione dell'analisi di rischio in modalità diretta ha indicato nel **Caso 1** un rischio non accettabile per la risorsa idrica dovuto al Toluene nel suolo superficiale e al Berillio nel suolo profondo. Nel **Caso 2**, invece, in cui la sorgente di contaminazione per il Toluene è stata limitata all'effettivo sondaggio con superamento, non risulta rischio dal suolo superficiale.

Considerato, inoltre, il non rispetto delle CSC dei contaminanti presenti nelle acque sotterranee al punto di conformità, il sito deve ritenersi contaminato. Si rende necessario, pertanto, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e smi, attuare idonei interventi di bonifica ai fini del rispetto del valore di fondo del Berillio nel suolo profondo e delle CSC nelle acque sotterranee al punto di conformità per tutti gli analiti per cui sono risultati superamenti 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 Berillio nel suolo, anche in concentrazioni superiori a quella individuata quale valore di fondo, potrebbe essere ascrivibile alle caratteristiche geochimiche dell'area;
- la presenza di Manganese in falda può essere ascrivibile alle caratteristiche geochimiche dell'area;
- il superamento dei PCB in falda è limitato ad un unico piezometro posto a monte idrogeologico dell'area;
- i modelli di lisciviazione e di trasporto in falda possono sovrastimare il rischio calcolato;
- il Berillio non è stato rinvenuto nei campioni di acque sotterranee analizzati.

Fatte tali premesse, si ritiene che l'azione da intraprendere nell'immediato sia l'esecuzione di una campagna di monitoraggio delle acque sotterranee al fine di verificarne l'attuale stato di contaminazione ed al fine di verificare con misure dirette quanto risultato dal modello di analisi di rischio. Si ritiene necessario, inoltre, individuare le cause e le eventuali sorgenti primarie della contaminazione, in particolare relativamente alla presenza di BTEX nel sondaggio SFN1, che, qualora ancora presenti, dovranno essere rimosse. Sarà inoltre necessario valutare, anche sulla base di dati disponibili nelle aree prossime a quella di interesse, se i superamenti di manganese in falda e berillio nel suolo possano essere attribuiti alle caratteristiche geochimiche dell'area.

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-ISPES;
- 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 "Loc. Sacchi" e sue Integrazioni (gennaio 2004 e Aprile 2005)
- Relazione tecnico descrittiva "Piano di Caratterizzazione dell'area di proprietà comunale in loc. Sacchi" (Settembre 2008).