

**Analisi di Rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 del sito
“Località Sant’Antonio”
Comune di Santa Maria la Fossa (CE)**

**Analisi di Rischio sito specifica dell’area di proprietà Comunale
“Localita’ Sant’Antonio”
Comune di Santa Maria La Fossa (Ce)**

Indice

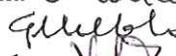
| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| PREMESSA..... | 5 |
| 1 RACCOLTA DATI ESISTENTI | 6 |
| 1.1 Descrizione sito | 6 |
| 1.2 Risultati delle indagini ambientali | 7 |
| 1.2.1 Indagini dirette..... | 7 |
| 1.2.2 Risultati analisi chimiche..... | 8 |
| 2 METODOLOGIA DELL’ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE | 13 |
| 1.1 Rischio: definizione e accettabilità..... | 15 |
| 3 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA | 17 |
| 3.1 Modello Concettuale Sito Specifico | 17 |
| 3.1.1 Suddivisione in sub-aree..... | 17 |
| 3.2 Parametri sito-specifici | 21 |
| 3.2.1 Parametri meteo climatici | 21 |
| 3.2.2 Parametri di idrogeologia locale..... | 26 |
| 3.2.3 Granulometria/Tessitura del Terreno..... | 28 |
| 3.2.4 Tabella Parametri sito specifici | 28 |
| 3.2.2 Parametri di default | 35 |
| 4 RISULTATI..... | 36 |
| 5 CONCLUSIONI | 42 |
| 6 BIBLIOGRAFIA | 43 |

ALLEGATI

1. **convenzione**
2. **Piano di Caratterizzazione**
3. **Relazione Tecnica Descrittiva**
4. **certificati analitici suoli**
5. **certificati analitici acque di falda**
6. **descrizione stratigrafica**
7. **direzione locale di deflusso della falda**
8. **schede di calcolo del coefficiente di permeabilità**
9. **analisi granulometriche**
10. **files di risk-net**

Gruppo di lavoro

Dott. Geol. Antonio di Donna 

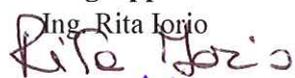
Arch. Giovanni Stellato 

Ing. Valentina Sammartino Calabrese 

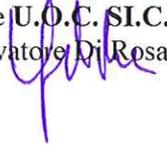
Dott. Geol. Gianluca Ragone 

Il Dirigente U.O. CAAR

Referente gruppo di lavoro

Ing. Rita Iorio 

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

Dott. Salvatore Di Rosa 

PREMESSA

Il presente elaborato di Analisi di Rischio Sito Specifica è relativo al sito “località Sant’Antonio nel comune di Santa Maria La Fossa” (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”.

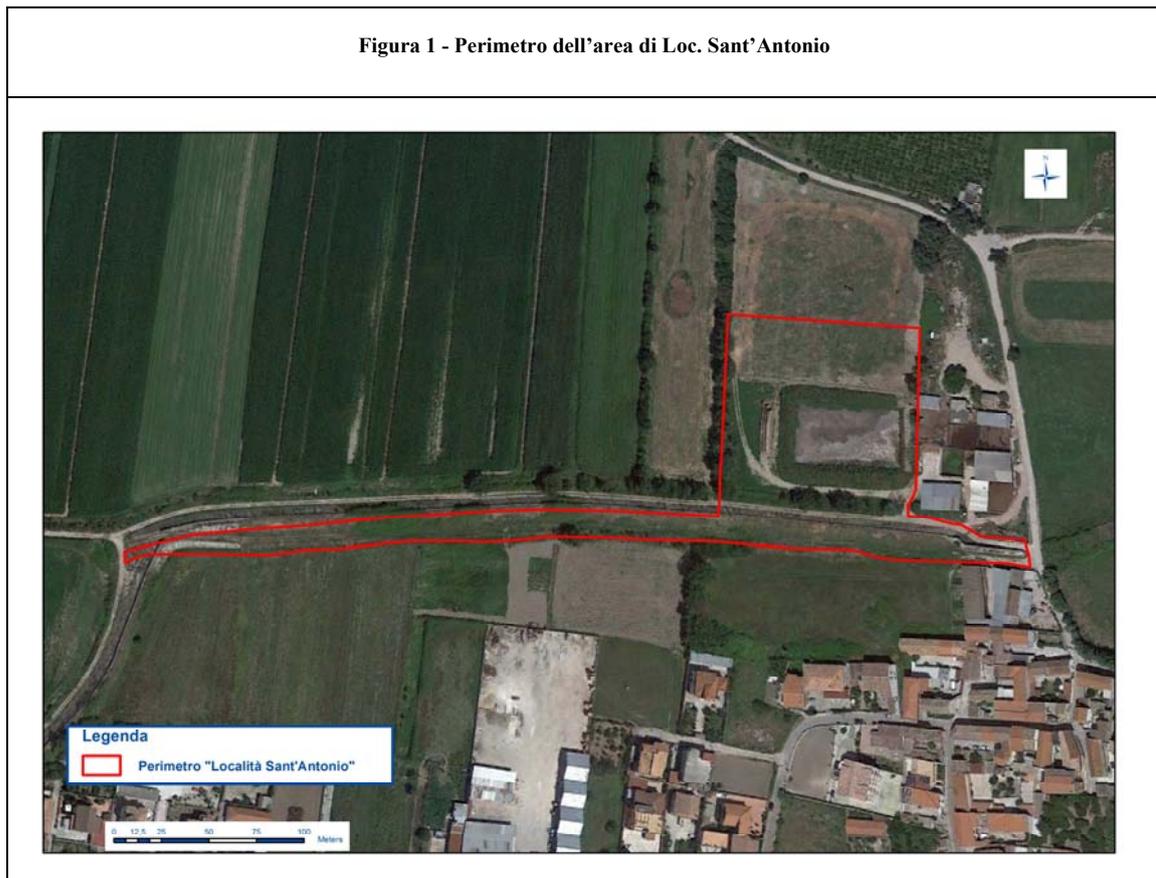
Il Titolo V del sopracitato Decreto disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati e stabilisce le procedure, i criteri e le modalità per lo svolgimento delle operazioni necessarie per l’eliminazione delle sorgenti dell’inquinamento e comunque per la riduzione delle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

1 RACCOLTA DATI ESISTENTI

1.1 Descrizione sito

Il sito è localizzato nel Comune di Santa Maria la Fossa (CE) appena a nord del centro abitato ed è compreso tra il fiume Volturno e il centro abitato stesso. E’ posto ad una quota compresa tra 16,2 e 16,9 mt sul livello del mare su un’area completamente pianeggiante. Esso è costituito da due strade interpoderali parallele che costeggiano l’argine di protezione del fiume Volturno e da un suolo agricolo di forma pressoché quadrata di lato pari a ca. 100 m per una superficie di ca. 10000 mq. La strada a nord ha una lunghezza di circa 150 mt per una superficie totale di circa 950 mq, quella a sud misura una lunghezza di 450 mt per una superficie di circa 2650 mq. In Figura 1 si riporta il perimetro dell’area.

Figura 1 - Perimetro dell’area di Loc. Sant’Antonio



Dai dati in possesso dell’ufficio tecnico del comune di Santa Maria la Fossa e del Catasto di Caserta risulta che la strada a nord è di proprietà comunale ed individuata al foglio 5 particella 193 mentre quella a sud risulta essere di proprietà del Demanio dello Stato Ministero dei Lavori Pubblici.

A nord e a sud del sito sono presenti due aziende di allevamento di bovini. In particolare l’azienda a nord insiste su un lotto di proprietà dell’Istituto diocesano per il sostentamento del clero di Capua. La scelta di estendere le indagini anche all’area agricola posta a Nord è stata fatta per l’eventualità di diffusione di sostanze inquinanti per trascinamento meccanico e/o eolico.

L’area in oggetto è stata sede, in particolare la strada a Sud, di abbandono incontrollato di rifiuti industriali. Tali rifiuti costituivano il manto stradale delle due strade per uno spessore di circa 30 cm.

Nel novembre 2002, a seguito della rimozione dei rifiuti pericolosi (per un volume totale di 900 mc ed una superficie di 3.600 mq), furono predisposte ed effettuate alcune indagini ambientali da cui risultò che le carote analizzate presentavano concentrazioni di metalli pesanti (piombo e cadmio) superiori ai limiti della colonna A della tabella 1 del D.M. 471 per i siti ricadenti nelle destinazioni d’uso residenziale, agricola e verde pubblico.

Il Comune di Santa Maria la Fossa è dotato di Piano Regolatore Generale dal 1980. Esso classifica l’area in oggetto quale zona agricola. Sono presenti alcune abitazioni ad oltre 100 metri dal sito.

In allegato 2 si riporta il PdC.

1.2 Risultati delle indagini ambientali

Il Piano della Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 del sito “Loc. S. Antonio” nel Comune di S. Maria la Fossa (CE)” e successive “Integrazioni al Piano della Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 del sito “Loc. S. Antonio” nel Comune di S. Maria la Fossa (CE)” è stato redatto da ARPAC – Agenzia Regionale Protezione Ambientale Campania, 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.

1.2.1 Indagini dirette

In accordo alle indicazioni contenute nella normativa vigente, secondo quanto stabilito nel Piano della Caratterizzazione, ed in relazione ai risultati delle indagini georadar, l’indagine ambientale condotta ha previsto la realizzazione di:

- n°12 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (da S1 a S12) spinti sino alla profondità di 3 metri da p.c.

- n°4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (da P1 a P4) attrezzati a piezometro e spinti fino alla profondità di 18 m da p.c.

Da ciascun sondaggio, sono stati prelevati e sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio i seguenti campioni:

- un campione rappresentativo dei terreni superficiali (0-0.20 m di profondità da p.c.)
- un campione prelevato tra 0.20 e 0.50 m da p.c.
- un campione prelevato tra 0.50 e 0.80 m da p.c.
- un campione prelevato tra 0.80 e 1.10 m da p.c.
- un campione prelevato tra 1.10 e 1.40 m da p.c.
- un campione prelevato tra 1.40 e 2.20 m da p.c.
- un campione rappresentativo del fondo foro (2.20-3.00 m di profondità da p.c.)

Dai sondaggi sono stati quindi prelevati complessivamente 112 campioni di terreno, destinati ad analisi di laboratorio per verificare lo stato qualitativo dei terreni dell’area in oggetto.

Come da accordi intercorsi con il Dipartimento Provinciale ARPAC di Caserta, è stato prelevato anche n.1 campione di Top Soil in un’area non pavimentata, inizialmente non previsto dal Piano.

Nell’ambito dell’esecuzione delle indagini di caratterizzazione, sono stati prelevati e sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio n° 4 campioni di acqua sotterranea.

I campioni dei piezometri P3 e P4 sono stati prelevati in duplice aliquota in contraddittorio con ARPAC.

Il campionamento è stato preceduto dalla misura della soggiacenza della falda per mezzo di un freatometro elettrico.

Al termine dell’esecuzione dei sondaggi attrezzati a piezometro, 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.

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.

1.2.2 Risultati analisi chimiche

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

- Composti inorganici (Antimonio, Arsenico, Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Piombo Tetraetile, Rame, Selenio, Stagno, Tallio, Vanadio, Zinco e Cianuri liberi);
- Fenoli non clorurati;
- Fenoli clorurati;
- Idrocarburi (Leggeri C<12 e Pesanti C>12);
- Alifatici alogenati cancerogeni;
- PCB;
- Diossine e Furani (per il solo campione di Top Soil);
- Amianto (per il solo campione di Top Soil).

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

- Composti inorganici (Alluminio, Antimonio, Argento, Arsenico, Berillio, Boro, Cadmio, Cobalto, Cromo Totale, Cromo VI, Ferro, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Manganese, Tallio, Vanadio, Zinco, Fluoruri, Solfati e Cianuri liberi);
- 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);
- Alifatici clorurati cancerogeni;
- Alifatici clorurati non cancerogeni;
- PCB;
- Diossine e Furani.

In Allegato 4 sono riportati i certificati analitici di laboratorio con i risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di terreno. In Allegato 5 i certificati analitici di laboratorio con i risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni di acqua di falda .

Risultati

Nelle tabelle seguenti si riportano i superamenti dei valori delle CSC nel suolo e sottosuolo (Tabella 1) e nelle acque sotterranee (Tabella 2), con l’indicazione del carotaggio/piezometro di riferimento, le coordinate geografiche, la profondità di prelievo, la data di prelievo, i risultati analitici e i limiti di riferimento.

Tabella 1 - Superamenti dei valori delle CSC nel suolo e sottosuolo

| Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.1, Col. A mg/kg | | | | | 2 | 2 | 100 | 3 | 1 | 150 | 1x10 ⁻⁵ | 50 |
|--------------------------------------------------------------|---------|---------|---------------|---------------|----------|--------|--------|---------|--------|-------|----------------------|------------------|
| Sond. | Coord_X | Coord_Y | Profondità | Data prelievo | Berillio | Cadmio | Piombo | Selenio | Stagno | Zinco | Somm. PCDD PCDF | Idrocarburi C>12 |
| TS1 | 426619 | 4549718 | 0,00 – 0,20 m | | | | 131 | | 1,22 | 304 | 1,5x10 ⁻⁵ | 60 |
| S2 | 426379 | 4549600 | 0,00 – 0,20 m | 27/10/2008 | | | | | | 174 | | |
| | | | 2,20 – 3,00 m | | 5,2 | | | | | | | |
| S3 | 426426 | 4549604 | 0,00 – 0,20 m | 27/10/2008 | | | | 3,9 | | 311 | | 406 |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | 2,2 | | 133 | 3,9 | 320 | | | |
| S4 | 426486 | 4549607 | 0,00 – 0,20 m | 27/10/2008 | 2,4 | | | 3,5 | | 197 | | |
| S5 | 426549 | 4549609 | 0,00 – 0,20 m | 27/10/2008 | | 2,91 | 161 | | | 872 | | 127 |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | | 2,03 | 193 | 3,8 | 574 | | | |
| | | | 0,80 - 1,00 m | | | | | | 170 | | 60 | |
| | | | 1,00 - 1,10 m | | | | | | 170 | | 60 | |
| | | | 1,10 – 1,40 m | | | | 122 | 3,2 | 641 | | 226 | |
| S6 | 426595 | 4549607 | 0,00 – 0,20 m | 27/10/2008 | 2,1 | 7,76 | 845 | 4,5 | | 1350 | | |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | | | 272 | | 1194 | | | |
| | | | 1,10 – 1,40 m | | | | | 3,9 | 242 | | 240 | |
| | | | 1,40 – 2,20 m | | | | | 5,6 | | | | |
| S7 | 426739 | 4549597 | 0,00 – 0,20 m | 27/10/2008 | | | 124 | | 295 | | | |
| S8 | 426740 | 4549607 | 0,00 – 0,20 m | 28/10/2008 | | | | | | 310 | | |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | | | | | 232 | | | |
| S9 | 426680 | 4549620 | 0,00 – 0,20 m | 28/10/2008 | | | | | | 301 | | |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | | | | | 425 | | | |
| S12 | 426677 | 4549629 | 1,10 – 1,40 m | 29/10/2008 | 2,5 | | | | | | | |
| | | | 1,40 – 2,20 m | | 2,4 | | | | | | | |
| | | | 2,20 – 3,00 m | | 2,7 | | | | | | | |
| P1 | 426649 | 4549606 | 0,00 – 0,20 m | 26/11/2008 | 2,7 | | | | 1,14 | 156 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|---------|---------------|------------|------|------|-----|--|------|-----|------|----|-----|
| | | | 0,20 – 0,50 m | | 2,6 | | | | | | | | |
| | | | 0,50 – 0,80 m | | 2,6 | | | | | 168 | | | |
| | | | 0,80 – 1,00 m | | 2,5 | | 163 | | 1,06 | 884 | | | |
| | | | 1,00 – 1,10 m | | 2,5 | | 163 | | 1,06 | 884 | | | |
| | | | 1,10 – 1,40 m | | 2,2 | | | | | | | | |
| P2 | 426699 | 4549600 | 0,00 – 0,20 m | 29/10/2008 | 2,4 | | | | | 265 | | | |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | 2,4 | 2,81 | 277 | | | | 1455 | | |
| | | | 0,50 – 0,80 m | | 2,5 | | | | | | | | |
| | | | 0,80 – 1,00 m | | 2,2 | | | | | | | | |
| | | | 1,00 – 1,10 m | | 2,2 | | | | | | | | |
| P3 | 426621 | 4549721 | 0,00 – 0,20 m | 26/11/2008 | 2,1 | | | | | 465 | | 63 | |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | 2,25 | | | | | | 318 | | |
| | | | 0,50 – 0,80 m | | 2,63 | | | | 1,29 | | | | |
| | | | 0,80 – 1,00 m | | 2,54 | | | | 2,18 | | | | |
| | | | 1,00 – 1,10 m | | 2,54 | | | | 2,18 | | | | |
| | | | 1,10 – 1,40 m | | 2,18 | | | | 1,3 | | | | |
| | | | 1,40 – 2,20 m | | 2,18 | | | | 1,3 | | | | |
| | | | 2,20 – 3,00 m | | 2,08 | | | | | | | | |
| P4 | 2446729 | 4549718 | 0,00 – 0,20 m | 26/11/2008 | 2,04 | | | | | 370 | | 75 | |
| | | | 0,20 – 0,50 m | | 2,05 | | | | 3,1 | 226 | | | 145 |
| | | | 0,50 – 0,80 m | | 2,13 | | | | 3,02 | | | | |
| | | | 0,80 – 1,00 m | | 2,43 | | | | 2,63 | | | | |
| | | | 1,00 – 1,10 m | | 2,43 | | | | 2,63 | | | | |
| | | | 1,10 – 1,40 m | | 2,33 | | | | 3,21 | | | | |
| | | | 1,40 – 2,20 m | | 2,33 | | | | | | | | |
| | | | 2,20 – 3,00 m | | 2,37 | | | | 2,88 | | | | |

| Tabella 2 - Superamenti dei valori delle CSC nelle acque sotterranee | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------------|----------|-----------|--------|-----------|---------|
| Dlgs 152/06, Parte IV, titolo V, All. 5, tab.2 µg/l | | | | | 10 | 200 | 200 | 50 | 10 |
| <i>Sond.</i> | <i>Coord_X</i> | <i>Coord_Y</i> | <i>Profondità</i> | <i>Data prelievo</i> | Arsenico | Alluminio | Ferro | Manganese | Selenio |
| P1 | 426649 | 4549606 | 18 m | 26/11/2008 | | | | 596 | |
| P2 | 426699 | 4549600 | 18 m | 26/11/2008 | | 1348,2 | 2630,6 | 1480 | 41,5 |
| P3 | 426621 | 4549721 | 18 m | 26/11/2008 | 12 | | 684 | 627 | |
| P4 | 426715 | 4549712 | 18 m | 26/11/2008 | 12,8 | | 2123,7 | 1571 | |

2 METODOLOGIA DELL’ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE

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

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

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

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

I tre livelli possono così essere definiti:

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

- **terzo livello (Tier 3)** rappresenta lo stadio più approfondito di analisi di rischio. Il terzo livello prevede l’uso di strumenti di calcolo più complessi, costituiti da modelli numerici e stocastici per la simulazione dei fenomeni di trasporto dei contaminanti. L’applicazione dell’analisi di rischio di terzo livello è possibile nel caso in cui si disponga di dati chimici, biologici e fisici specifici del sito, necessari alla completa determinazione dei fenomeni di riduzione del carico di contaminante in atto nel sottosuolo. Nella procedura di analisi di rischio sanitario (AdR), connessa alla contaminazione di un sito, è importante determinare il ‘Modello Concettuale del Sito’ (MCS). Tale modello è il frutto di indagini ed analisi di caratterizzazione del sito e la sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l’AdR:

Sorgente ⇨ **Trasporto** ⇨ **Bersaglio**

pertanto devono essere definiti:

- **Le sorgenti di contaminazione:** queste si differenziano in sorgenti primarie, rappresentate dall’elemento che è causa di inquinamento, e sorgenti secondarie identificate invece con il comparto ambientale contaminato (suolo, acqua, aria). Le sorgenti secondarie possono suddividersi in:
 - zona insatura, a sua volta distinta in suolo superficiale (profondità fino a 1 m) e suolo profondo (profondità superiori a 1 m);
 - zona satura o acqua sotterranea.

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

- **Le vie di migrazione/percorsi di esposizione:** vengono distinte in base alla sorgente di contaminazione. Per il suolo superficiale si considerano l’ingestione di suolo, il contatto dermico, l’inalazione di vapori e polveri e la lisciviazione verso la risorsa idrica sotterranea; nel caso di un suolo profondo vengono attivati i percorsi di volatilizzazione e di lisciviazione in falda; per la zona satura infine la volatilizzazione e la migrazione verso il punto di conformità, cioè il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale devono essere rispettati gli obiettivi di qualità delle acque sotterranee.
- **I bersagli della contaminazione:** vengono presi in considerazione solo recettori umani, distinti in base alla destinazione d’uso del suolo contaminato, ovvero per aree residenziali/verde pubblico i bersagli sono adulti e bambini mentre per aree industriali/commerciali sono solo adulti (lavoratori).

1.1 Rischio: definizione e accettabilità

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

$R = E \times T$ 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.

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 dalla matrice suolo e delle Concentrazioni Soglia di Rischio. La matrice acque sotterranee non è stata considerata quale sorgente secondaria di contaminazione in quanto i superamenti delle CSC interessano esclusivamente i metalli che non essendo volatili non comportano rischio da inalazione. Lo scenario di riferimento è quello attuale.

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).

3.1.1 Suddivisione in sub-aree

L’area di interesse è stata suddivisa in due sub-aree, A1 ed A2, in base alla destinazione d’uso, al possibile utilizzo, alla proprietà ed alle caratteristiche di accesso al sito. Le sub-aree individuate in Figura 2, infatti, si riferiscono rispettivamente alle due strade interpoderali parallele che costeggiano l’argine di protezione del fiume Volturno (A2) ed al suolo agricolo recintato collocato a nord della strada (A1). Per ciascuna sub-area verrà definito un modello concettuale sito specifico al fine di definire le sorgenti di contaminazione, le vie di trasporto ed esposizione ed i bersagli.

Figura 2 - Suddivisione in sub aree A1 e A2.



Sub-area A1

Sorgenti

La matrice ambientale considerata è il suolo superficiale, in quanto per il suolo profondo è presente un unico punto in cui si sono rilevati superamenti esclusivamente per l’analita Berillio con un massimo di 2,7 mg/kg rispetto al limite tabellare di 2, a cui si è fatto riferimento in fase di caratterizzazione. Considerato che per le aree agricole, quale quella di interesse, non sono stati ancora stabiliti limiti di riferimento e che il 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, nella relazione finale, consegnata ai Ministri interessati il 10 marzo 2014, a seguito di una disamina degli studi scientifici esistenti ha ritenuto di utilizzare, per i Comuni ricadenti nel territorio della Terra dei Fuochi, per il berillio il valore di 6,3 mg/kg quale fondo naturale, il suolo profondo non è stato ritenuto una sorgente di

contaminazione. Le dimensioni della sorgente nel suolo superficiale sono state definite considerando che i superamenti delle CSC sono stati rilevati in n. 2 su 4 punti di indagine (P3 e P4), e nel Top soil TS1, tutti ricadenti nella parte superiore dell’area, pertanto sono stati considerati i soli 2 poligoni di Thiessen in cui ricadono i suddetti punti. Le acque sotterranee non sono state considerate una sorgente di contaminazione in quanto gli unici contaminanti presenti sono non volatili e pertanto non possono comportare un rischio per inalazione.

Vie di trasporto e percorsi di esposizione

L’area è di tipo agricolo, pertanto non risulta pavimentata e non sono presenti spazi confinati. Con la presente analisi di rischio verranno valutati esclusivamente i rischi per i bersagli lavoratore agricolo e falda acquifera, mentre si rimanda ad ulteriori approfondimenti la valutazione del rischio associato al consumo di prodotti agricoli provenienti dal sito o al pascolo di animali. I percorsi attivati sono: ingestione, contatto dermico, volatilizzazione outdoor di vapori e polveri e lisciviazione in falda.

Bersagli

In base alla destinazione urbanistica dell’area, i potenziali bersagli on site sono i lavoratori.

È stato inoltre verificato il rispetto al punto di conformità (POC) delle concentrazioni in falda relativamente alla lisciviazione dei contaminanti presenti nel suolo superficiale.

I contaminanti per i quali è stato valutato il rischio e le relative concentrazioni rappresentative della sorgente sono indicati in Tabella 3. 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.

| Tabella 3 – Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo superficiale | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Contaminante | CRS (mg/kg) |
| Zinco | 465 |
| Piombo | 131 |
| Idrocarburi >12 | 145 |
| Somm. PCDD PCDF | 1,5E-05 |

Sub-area A2

Sorgenti

Le matrici ambientali considerate sono il suolo superficiale e il suolo profondo. Le acque sotterranee non sono state considerate una sorgente di contaminazione in quanto gli unici contaminanti presenti sono non volatili e pertanto non possono comportare un rischio per inalazione. Le dimensioni della sorgente nel suolo superficiale sono state definite considerando che i superamenti delle CSC sono stati rilevati in n. 10 su 12 punti di indagine, pertanto è stato escluso un solo poligono di Thiessen per la delimitazione dell’area. Nel suolo profondo, invece, la contaminazione è molto meno estesa, avendo riscontrato superamenti delle CSC in soli n. 3 punti di indagine.

Vie di trasporto e percorsi di esposizione

L’area si configura come una strada sterrata interpodereale, pertanto non risulta pavimentata e non sono presenti spazi confinati. I percorsi attivati sono: ingestione, contatto dermico, volatilizzazione outdoor di vapori e polveri e lisciviazione in falda.

Bersagli

In base alla destinazione urbanistica dell’area, i potenziali bersagli sia on site che off site sono i lavoratori. I bersagli on site sono esposti nel momento in cui percorrono la strada per accedere alle aree agricole confinanti, e quindi è stata considerata un’esposizione temporale giornaliera ridotta (3 ore) mentre come bersagli off site la durata dell’esposizione è stata posta pari a 8 ore.

È stato inoltre verificato il rispetto al punto di conformità (POC) delle concentrazioni in falda relativamente alla lisciviazione dei contaminanti presenti sia nel suolo superficiale che profondo.

I contaminanti per i quali è stato valutato il rischio e le relative concentrazioni rappresentative della sorgente sono indicati nelle Tabella 4 e 5. I superamenti del berillio non vengono considerati, in quanto inferiori al valore di fondo pari a 6,3 mg/kg. 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.

Tabella 4 – Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo superficiale

| Contaminante | CRS (mg/kg) |
|-----------------|-------------|
| Zinco | 1455 |
| Piombo | 845 |
| Idrocarburi >12 | 406 |
| Cadmio | 7,76 |
| Selenio | 4,5 |

Tabella 5 – Concentrazioni rappresentative della sorgente suolo profondo

| Contaminante | CRS (mg/kg) |
|-----------------|-------------|
| Zinco | 884 |
| Piombo | 163 |
| Idrocarburi >12 | 240 |
| Selenio | 5,6 |

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.

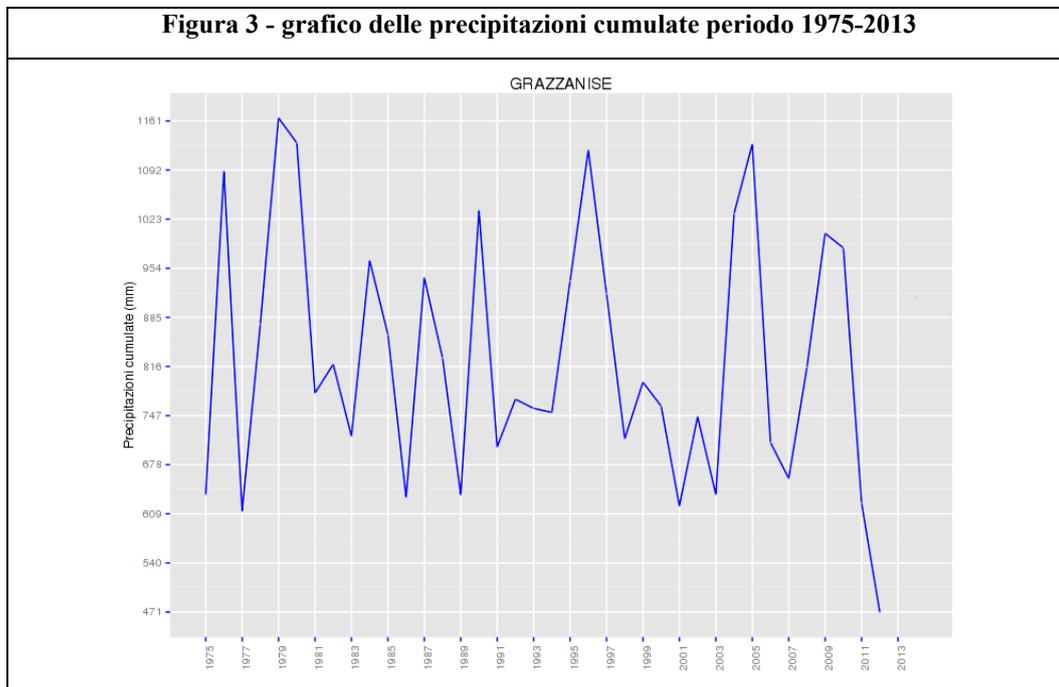
In particolare, è stato considerato, ai fini dell’elaborazione, il massimo dei valori di precipitazione media annua cumulata (anno 2005) per la serie storica relativa agli ultimi dieci anni: 1128 mm/anno.

In Tabella 6 si riportano i valori della serie storica dei valori max di precipitazione annua cumulata dal 1975 al 2013.

Tabella 6 - 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 3 è riportato il grafico delle precipitazioni cumulate periodo 1975-2013.



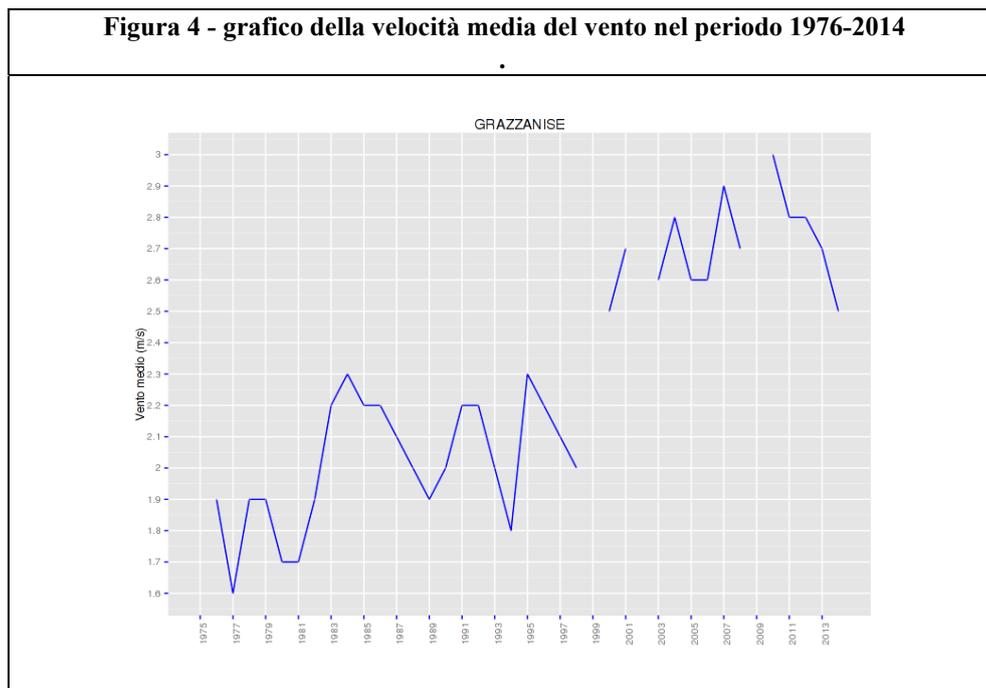
Per la definizione delle caratteristiche di ventosità del sito, tra le stazioni meteo inserite nel sistema SCIA di ISPRA (<http://www.scia.sinanet.apat.it/>), è stata selezionata quella che risulta maggiormente rappresentativa delle condizioni di Santa Maria La Fossa, valutata sulla base di considerazioni 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 7 si riportano i valori della serie storica di velocità media del vento nel periodo 1976-2014.

Tabella 7 - 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. |

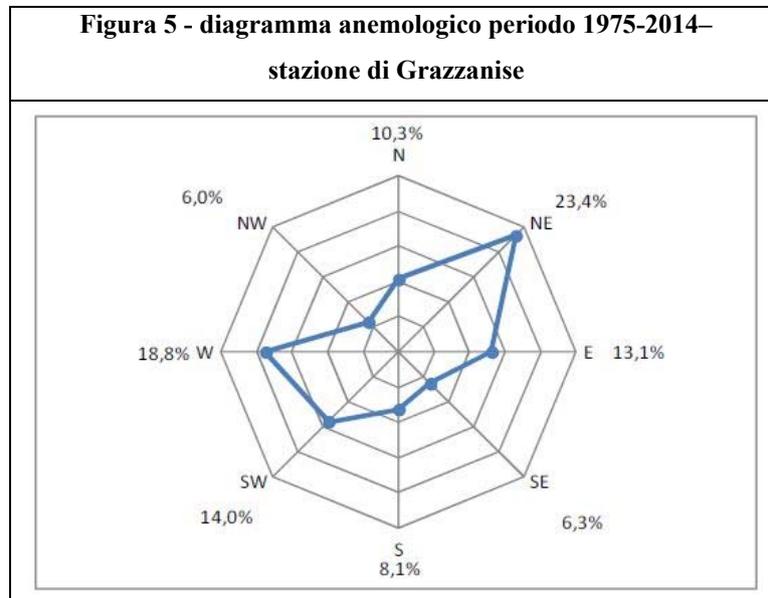
In Figura 4 è riportato il grafico della velocità media del vento nel periodo 1976-2014.



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



In Tabella 8 vengono riportati i valori utilizzati per l’elaborazione dello stesso. La direzione principale di provenienza del vento è NE-SO

Tabella 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 | 2,32% | 2,47% | 0,81% | 0,46% | 0,06% |
| | Settore 2 | 2,32% | 5,20% | 2,10% | 0,68% | 0,07% |
| | Settore 3 | 2,32% | 5,12% | 3,31% | 2,03% | 0,22% |
| | Settore 4 | 2,32% | 3,22% | 1,80% | 1,80% | 0,24% |
| | Settore 5 | 2,32% | 0,93% | 0,37% | 0,12% | 0,00% |
| | Settore 6 | 2,32% | 0,62% | 0,17% | 0,07% | 0,00% |
| | Settore 7 | 2,32% | 0,50% | 0,16% | 0,14% | 0,04% |
| | Settore 8 | 2,32% | 0,95% | 0,52% | 0,46% | 0,06% |
| | Settore 9 | 2,32% | 0,58% | 0,45% | 0,44% | 0,03% |
| | Settore 10 | 2,32% | 1,16% | 1,19% | 1,00% | 0,10% |
| | Settore 11 | 2,32% | 1,82% | 2,58% | 1,38% | 0,09% |
| | Settore 12 | 2,32% | 3,23% | 4,84% | 3,48% | 0,32% |
| | Settore 13 | 2,32% | 0,70% | 0,70% | 0,76% | 0,08% |
| | Settore 14 | 2,32% | 0,43% | 0,13% | 0,07% | 0,01% |
| | Settore 15 | 2,32% | 0,54% | 0,14% | 0,04% | 0,01% |
| | Settore 16 | 2,32% | 1,21% | 0,37% | 0,25% | 0,06% |

3.2.2 Parametri di idrogeologia locale

Il territorio del Comune di S. Maria la Fossa è all’interno della 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 nelle immediate vicinanze del Fiume Volturno in un settore di Piana distante ca. 10 km dai rilievi carbonatici appenninici e ca. 18 km dal mare. Successivamente furono depositati i terreni più superficiali, costituiti dai prodotti vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio. Inoltre la presenza del Fiume Volturno ha determinato la sussistenza di sedimenti di tipo fluvio-lacustre. Pertanto in affioramento si rinvencono i termini stratigrafici della serie fluvio lacustre, ovvero argille, limi e sabbie. Al di sotto si rinvencono prodotti effusivi costituiti da terreni a grana fine con inclusi scoriacei.

Dal punto di vista litostratigrafico è possibile distinguere i seguenti depositi:

- Facies detritico-alluvionale composta da terreni alluvionali spesso legati a terreni piroclastici per dilavamento e trasporto.
- Facies delle piroclastiti rappresentata da termini, ascrivibili al Tufo Grigio Campano, costituiti da bancate piroclastiche alternate a livelli di scorie, lapilli e pomici.
- Depositi di acque basse a rappresentare l’interruzione nella deposizione piroclastica e la deposizione di frammenti calcarei proveniente da monte idrologico.

Dall’esame delle stratigrafie riportate nell’allegato 6 è possibile sintetizzare la seguente successione litologica:

- da 0,00 a ca 1,00 m da p.c. (quota 0.00 testa del sondaggio): terreno di riporto costituito da terreno sabbioso-ghiaioso di colore bruno verdastro con frammenti laterizi e di materiale di risulta;
- da ca. 1,00 a ca. 4.00-10.00 m da p.c.: cinerite a granulometria di limo sabbioso-limo argilloso di colore dal marrone chiaro al giallognolo;
- da ca. 4.00-10.00 a 11.00-16.00 m da p.c.: argilla limoso-sabbiosa di colore dal grigio-azzurro al grigio-giallastro con inclusi di sostanza organica degradata;
- da ca. 11.00-16.00 m a 18.00 m da p.c.: sabbie grigio-verdi fini con inclusi rari.

La falda freatica è stata rinvenuta alla profondità di 4.26 m dal boccaforo nel piezometro P1, 7.60 m dal boccaforo nel piezometro P2, 5.94 m dal boccaforo nel piezometro P3 e 9.10 m dal boccaforo nel piezometro P4; la soggiacenza media è di circa 6.7 m da p.c. (Tabella 9).

| Piezometro | Quota dal p.c. |
|------------|----------------|
| P1 | 4.26 m |
| P2 | 7.60 m |
| P3 | 5.94 m |
| P4 | 9.10 m |

Le rilevazioni della falda idrica effettuate in corrispondenza dei piezometri realizzati sono state utilizzate nella redazione della carta piezometrica. La carta è stata realizzata tracciando le linee isopiezometriche, rappresentanti la disposizione della superficie piezometrica. L’elaborazione dei dati raccolti ha permesso di definire una direzione locale di deflusso della falda da Ovest a Est (allegato 7).

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

Le prove sono state eseguite nei piezometri P1, P2, P3 e P4 (Tabella 10). Il valore medio della conducibilità idraulica è risultato dell’ordine di circa $1.98 \cdot 10^{-6}$ m/s. In allegato 8 sono riportate le schede di calcolo del coefficiente di permeabilità dei quattro piezometri.

| MW | Modello acquifero | K |
|----|-------------------|----------------------|
| P1 | Non confinato | $3,03 \cdot 10^{-6}$ |
| P2 | Non confinato | $1,19 \cdot 10^{-6}$ |
| P3 | Non confinato | $2,19 \cdot 10^{-6}$ |
| P4 | Non confinato | $1,51 \cdot 10^{-6}$ |

Il gradiente idraulico medio (i) è stato calcolato su di un profilo determinato da un piano verticale passante per la linea di flusso con la maggior pendenza e risulta pari a 0,01.

Lo spessore dell’acquifero, ricavato dai dati bibliografici riportati nel Piano di Caratterizzazione, è pari a 40 m.

In Tabella 11 si riportano, i valori rilevati dei parametri chimico-fisici relativi a ciascun piezometro:

| Tabella 11 - parametri chimico-fisici delle acque sotterranee | | | | | |
|---------------------------------------------------------------|------------------|-------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| Piezometro | Temperatura (°C) | pH | Conducibilità (mS) | Ossigeno disciolto (%) | Potenziale Redox (mV) |
| P1 | 16.80 | 7.112 | 1.253 | 43.25 | 84,5 |
| P2 | 16.99 | 7.235 | 2.589 | 35.21 | 87,8 |
| P3 | 17.25 | 7.427 | 1.896 | 33.68 | 77,6 |
| P4 | 16.94 | 7.380 | 1.586 | 34.65 | 81,1 |

3.2.3 Granulometria/Tessitura del Terreno

Le analisi granulometriche sono state eseguite secondo lo standard ASTM D422-98. Nella Tabella 12 sono riportati: il sondaggio, la profondità di prelievo, il peso specifico medio e la descrizione litologica dei campioni.

| Tabella 12 - Distribuzione granulometrica | | | |
|-------------------------------------------|----------------|------------|-----------------------------|
| Sondaggio | Profondità (m) | γ_s | Descrizione |
| P1 | 0.00-3.00 | 2,66 | Limo argilloso sabbioso |
| P2 | 0.00-3.00 | 2,70 | Limo sabbioso argilloso |
| P3 | 0.00-18.00 | 2,71 | Limo con argilla con sabbia |
| P4 | 0.00-18.00 | 2,65 | Limo sabbioso argilloso |
| S1 | 0.00-3.00 | 2,58 | Argilla con limo sabbiosa |
| S2 | 0.00-3.00 | 2,53 | Limo con argilla sabbiosa |
| S3 | 0.00-3.00 | 2,48 | Limo con argilla sabbiosa |
| S4 | 0.00-3.00 | 2,48 | Limo con argilla sabbiosa |
| S5 | 0.00-3.00 | 2,63 | Limo con argilla sabbiosa |
| S6 | 0.00-3.00 | 2,69 | Limo con argilla sabbiosa |
| S7 | 0.00-3.00 | 2,76 | Limo con sabbia argillosa |
| S8 | 0.00-3.00 | 2,67 | Limo con sabbia argillosa |
| S9 | 0.00-3.00 | 2,66 | Limo con sabbia argillosa |
| S10 | 0.00-3.00 | 2,64 | Limo con sabbia argillosa |
| S11 | 0.00-3.00 | 2,69 | Limo argilloso sabbioso |

I terreni campionati risultano prevalentemente come limo con argilla sabbiosa (5 sondaggi su 15) o limo con sabbia argillosa (4 sondaggi su 15), come riportato nelle schede allegate. (allegato 9).

3.2.4 Tabella Parametri sito specifici

In base al modello concettuale attivato, vengono riportati nelle Tabelle 13 e Tabella 14 i parametri richiesti dal software Risk-net ed i relativi valori implementati, selezionati in base a quanto previsto dai “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” e dal documento

“Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell’applicazione dell’analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06” elaborati da APAT-ARPA-ISS-ISPEL.

Tabella 13 – Parametri sito specifici Sub area A1

| Simbolo | Parametro | Unità di misura | Valore di default doc. APAT (tab. 5.2) | Valore utilizzato |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------|
| L_{GW} | Profondità del piano di falda | cm | 300 | 426 |
| d_a | Spessore della falda | cm | ----- | 4000 |
| W | Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda | cm | 4500 | 10400 |
| W' | Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento | cm | 4500 | 5700 |
| $L_{s(SS)}$ | 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 |
| 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 |
| K_{sat} | Conducibilità idraulica del terreno saturo | m/s | ----- | $1,19 \times 10^{-6}$ |
| i | Gradiente idraulico | adim. | ----- | 0.01 |
| 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 |
| U_{air} | Velocità del vento | cm/s | 225 | 133 |

Tabella 14 – Parametri sito specifici Sub area A2

| Simbolo | Parametro | Unità di misura | Valore di default doc. APAT (tab. 5.2) | Valore utilizzato |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------|
| L_{GW} | Profondità del piano di falda | cm | 300 | 426 |
| d_a | Spessore della falda | cm | ----- | 4000 |
| W_{ss} | Estensione della sorgente nel suolo superficiale nella direzione del flusso di falda | cm | 4500 | 12100 |
| W_{sp} | Estensione della sorgente nel suolo profondo nella direzione del flusso di falda | cm | 4500 | 11100 |
| W’_{ss} | Estensione della sorgente nel suolo superficiale nella direzione principale del vento | cm | 4500 | 3100 |
| W’_{sp} | Estensione della sorgente nel suolo profondo nella direzione principale del vento | cm | 4500 | 3100 |
| S’_{wss} | Estensione della sorgente nel suolo superficiale nella direzione ortogonale a quella principale del vento | cm | 4500 | 5800 |
| S’_{wsp} | Estensione della sorgente nel suolo profondo nella direzione ortogonale a quella principale del vento | cm | 4500 | 5400 |
| L_f | Profondità della base della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. | cm | 300 | 100 |
| d | Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo) | cm | 100 | 100 |
| L_{s(sp)} | Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. | cm | 100 | 100 |
| d | Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo) | cm | 200 | 200 |
| 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 |
| K_{sat} | Conducibilità idraulica del terreno saturo | m/s | ----- | 1,19x10 ⁻⁶ |
| i | Gradiente idraulico | adim. | ----- | 0.01 |
| 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 |
| U_{air} | Velocità del vento | cm/s | 225 | 133 |

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

- Le dimensioni della sorgente rispetto alle direzioni del vento e della falda sono le massime così come evidenziato nelle figure 6, 7, 8, 9, 10 e 11;
- Per la soggiacenza delle falde è stato selezionato il valore minimo che si presenta, in questo caso, come il più cautelativo;
- L’infiltrazione efficace è stata calcolata considerando il valore massimo di piovosità media annua tra quelli riportati in tabella 6 e un terreno limo sabbioso;
- La velocità del vento è stata calcolata considerando il valore minore tra quelli riportati in tabella 7 un suolo rurale ed una classe di stabilità D;
- Granulometria selezionata:
 - Limo con sabbia argillosa corrispondente al sondaggio P4 per la sub-area A1.
 - Sabbia per il suolo superficiale della sub-area A2, in quanto in base alla stratigrafia allegata trattasi di terreno di riporto.
 - Limo con sabbia argillosa corrispondente al sondaggio S10 per il suolo profondo della sub-area A2.
- Per la conducibilità idraulica è stato selezionato il valore minore.

Relativamente alla scelta dei contaminanti:

- lo Stagno non è stato considerato nell’elaborazione dell’analisi di rischio in quanto non risulta più normato a seguito dell’emanazione della Legge 11 agosto 2014, n. 116;
- per gli idrocarburi C>12 è stata selezionata la frazione MADEP più cautelativa: Aromatici C11-C22;
- i contaminanti rinvenuti nel top soil (Somm. PCDD - PCDF) sono stati associati al suolo superficiale della Sub-area A1;
- il Berillio non è stato considerato in quanto i valori riscontrati (valore massimo 5,7 mg/kg) sono ascrivibili a fondo naturale.

Figura 6 – Dimensioni della sorgente nella sub-area A1 rispetto alla direzione principale del vento



Figura 7 – Dimensioni della sorgente nella sub-area A1 rispetto alla direzione del flusso di falda



Figura 8 – Dimensioni della sorgente nel suolo superficiale nella sub-area A2 rispetto alla direzione principale del vento



Figura 9 – Dimensioni della sorgente nel suolo superficiale nella sub-area A2 rispetto alla direzione del flusso di falda.



Figura 10 – Dimensioni della sorgente nel suolo profondo nella sub-area A2 rispetto alla direzione principale del vento.



Figura 11 – Dimensioni della sorgente nel suolo profondo nella sub-area A2 rispetto alla direzione del flusso di falda.



3.2.2 Parametri di default

In fase di caratterizzazione ambientale non sono stati determinati i seguenti parametri: foc, pH, densità del suolo. I valori inseriti, pertanto, corrispondono a quelli di default ISPRA.

4 RISULTATI

Sub-area A1

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel suolo superficiale nella sub-area A1 ha evidenziato un Rischio non accettabile per il Piombo per la risorsa idrica.

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

Tabella 15 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo – suolo superficiale

| Contaminanti | CRS [mg/kg s.s.] | 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) | CSC Residenziale [mg/kg s.s.] |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Zinco | 4,65E+02 | | 4,65E+02 | --- | --- | 8,58E-04 | 1,80E-01 | 1,50E+02 |
| Aromatici C11-C22 | 1,45E+02 | | 1,45E+02 | --- | --- | 2,22E-02 | 5,95E-01 | 1,00E+01 |
| Piombo | 1,31E+02 | | 1,31E+02 | --- | --- | 2,07E-02 | 1,05E+00 | 1,00E+02 |
| 2,3,7,8-TCDD | 1,50E-05 | | 1,50E-05 | --- | 5,16E-07 | 1,47E-02 | 1,08E-01 | 1,00E-05 |

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate in Tabella 16.

Tabella 16 – CSR suolo superficiale

| Contaminanti | CSR individuale [mg/kg s.s.] | CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.] | CSR suolo superficiale [mg/kg T.Q.] | Rischio cancerogeno (R) | Indice di pericolo (HI) | Rischio Risorsa Idrica (RGW) | CSC Residenziali [mg/kg s.s.] | Csat [mg/kg s.s.] | CSR in sorgente [mg/kg s.s.] |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Zinco | 2,59E+03 | 2,59E+03 | 2,29E+03 | --- | 4,78E-03 | 1,00E+00 | 1,50E+02 | --- | 4,65E+02 |
| Aromatici C11-C22 | 2,44E+02 | 2,44E+02 | 2,16E+02 | --- | 3,72E-02 | 1,00E+00 | 1,00E+01 | 2,91E+02 | 7,50E+01 |
| Piombo | 1,25E+02 | 1,25E+02 | 1,11E+02 | --- | 1,98E-02 | 1,00E+00 | 1,00E+02 | --- | 1,31E+02 |
| 2,3,7,8-TCDD | 2,91E-05 | 2,91E-05 | 2,58E-05 | 1,00E-06 | 2,85E-02 | 2,10E-01 | 1,00E-05 | 4,98E-01 | 1,50E-05 |

In Figura 12 vengono indicati i sondaggi per i quali le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica e, attraverso l’impiego dei poligoni di Thiessen, l’effettiva estensione dell’area contaminata che risulta pari a 2270 mq.

Figura 12 – Area contaminata per la matrice suolo superficiale per l’area A1



Sub-area A2

Suolo superficiale

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel suolo superficiale nella sub-area A2 ha evidenziato un Rischio non accettabile per la risorsa idrica per tutti i contaminanti: Zinco, C>12, Piombo, Cadmio, Selenio.

In Tabella 17 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un rischio non accettabile.

Tabella 17 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo

| 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) |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Zinco | 1,46E+03 | --- | | 1,46E+03 | --- | --- | 2,69E-03 | 1,19E+00 |
| Aromatici C11-C22 | 4,06E+02 | --- | | 4,06E+02 | --- | --- | 3,62E-02 | 2,52E+00 |
| Piombo | 8,45E+02 | --- | | 8,45E+02 | --- | --- | 1,34E-01 | 1,43E+01 |
| Cadmio | 7,76E+00 | --- | | 7,76E+00 | --- | 1,03E-11 | 7,69E-03 | 3,15E+00 |
| Selenio | 4,50E+00 | --- | | 4,50E+00 | --- | --- | 4,98E-04 | 1,36E+01 |

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate in Tabella 18.

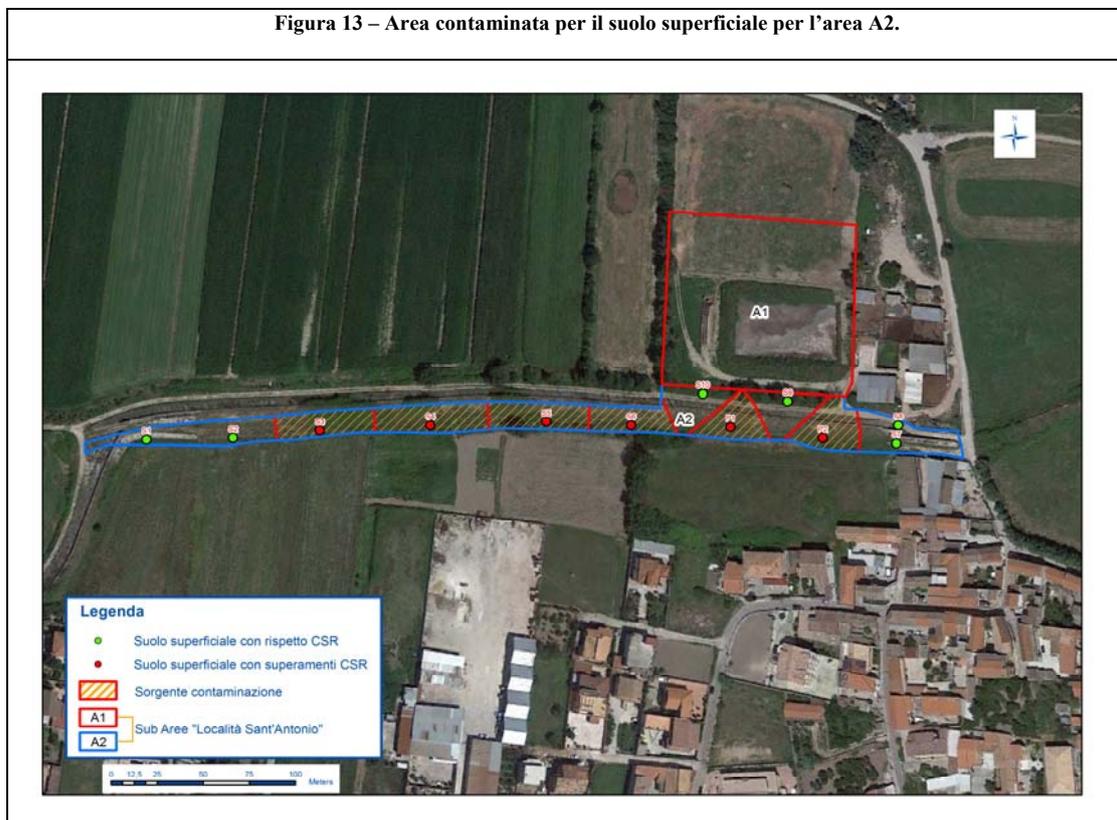
Tabella 18 – CSR suolo superficiale

| Contaminanti | CSR individuale [mg/kg s.s.] | CSR suolo superficiale [mg/kg s.s.] | Rischio cancerogeno (R) | Indice di pericolo (HI) | Rischio Risorsa Idrica (RGW) | CSC Residenziali [mg/kg s.s.] | Csat [mg/kg s.s.] | CSR in sorgente [mg/kg s.s.] |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Zinco | 1,22E+03 | 1,22E+03 | --- | 2,26E-03 | 1,00E+00 | 1,50E+02 | --- | 1,46E+03 |
| Aromatici C11-C22 | 1,15E+02 | 1,15E+02 | --- | 1,26E-02 | 1,00E+00 | 1,00E+01 | 2,90E+02 | 4,06E+02 |
| Piombo | 5,91E+01 | 5,91E+01 | --- | 9,35E-03 | 1,00E+00 | 1,00E+02 | --- | 8,45E+02 |
| Cadmio | 2,46E+00 | 2,46E+00 | 3,26E-12 | 2,44E-03 | 1,00E+00 | 2,00E+00 | --- | 7,76E+00 |
| Selenio | 3,31E-01 | 3,31E-01 | --- | 3,67E-05 | 1,00E+00 | 3,00E+00 | --- | 4,50E+00 |

Le CSR del Piombo e del Selenio sono inferiori alla CSC, pertanto si assumeranno queste ultime quali obiettivi di Bonifica.

In Figura 13 vengono indicati i sondaggi per i quali le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica e, attraverso l’impiego dei poligoni di Thiessen, l’effettiva estensione dell’area contaminata che risulta pari a 4580 mq.

Figura 13 – Area contaminata per il suolo superficiale per l’area A2.



Suolo profondo

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità diretta per la valutazione dell’esposizione ai contaminanti presenti nel suolo profondo nella sub-area A2 ha evidenziato un Rischio non accettabile per la risorsa idrica per tutti i contaminanti: Zinco, C>12, Piombo, Selenio.

In Tabella 19 si riporta parte della schermata del software risk-net relativa al calcolo del rischio. I valori evidenziati in arancione indicano un rischio non accettabile.

Tabella 19 – Valori del Rischio e dell’Indice di Pericolo

| 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) |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Piombo | 1,63E+02 | --- | | 1,63E+02 | --- | --- | --- | 6,99E+00 |
| Selenio | 5,60E+00 | --- | | 5,60E+00 | --- | --- | --- | 4,22E+01 |
| Zinco | 8,84E+02 | --- | | 8,84E+02 | --- | --- | --- | 1,83E+00 |
| Aromatici C11-C22 | 2,40E+02 | --- | | 2,40E+02 | --- | --- | 2,15E-03 | 5,28E+00 |

L’elaborazione dell’analisi di rischio in modalità inversa ha portato all’individuazione delle CSR indicate in Tabella 20.

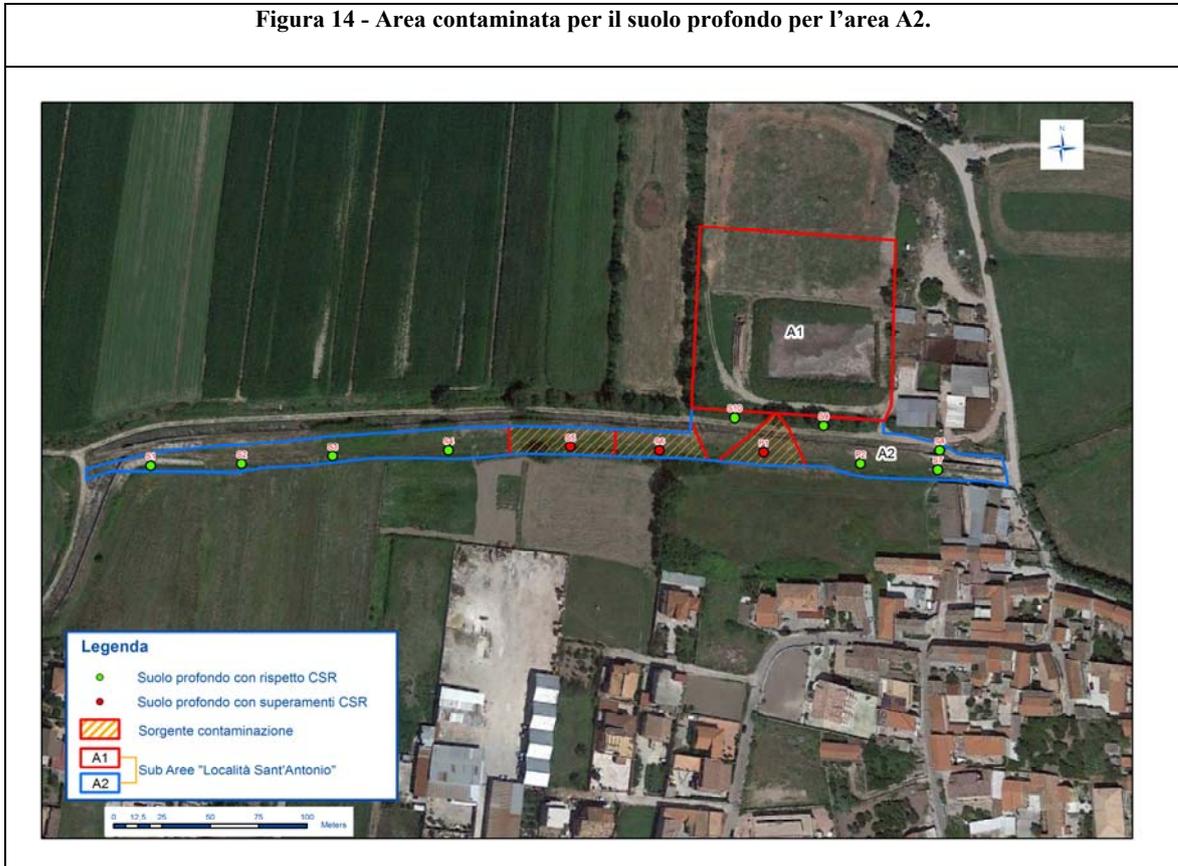
Tabella 20 - CSR suolo profondo

| Contaminanti | CSR individuale [mg/kg s.s.] | CSR suolo profondo [mg/kg s.s.] | Rischio Cancerogeno (R) | Indice di Pericolo (HI) | Rischio risorsa idrica (RGW) | CSC Residenziale [mg/kg s.s.] | Csat [mg/kg s.s.] | CSR in sorgente [mg/kg s.s.] |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Piombo | 2,33E+01 | 2,33E+01 | --- | --- | 1,00E+00 | 1,00E+02 | --- | 1,63E+02 |
| Selenio | 1,33E-01 | 1,33E-01 | --- | --- | 1,00E+00 | 3,00E+00 | --- | 5,60E+00 |
| Zinco | 4,83E+02 | 4,83E+02 | --- | --- | 1,00E+00 | 1,50E+02 | --- | 8,84E+02 |
| Aromatici C11-C22 | 4,55E+01 | 4,55E+01 | --- | 4,07E-04 | 1,00E+00 | 1,00E+01 | 2,91E+02 | 2,40E+02 |

Le CSR del Piombo e del Selenio risultano inferiori alle CSC, pertanto si assumeranno queste ultime quali obiettivi di bonifica.

In Figura 14 vengono indicati i sondaggi per i quali le concentrazioni in sorgente superano gli obiettivi di bonifica e, attraverso l’impiego dei poligoni di Thiessen, l’effettiva estensione dell’area contaminata che risulta pari a 2100 mq.

Figura 14 - Area contaminata per il suolo profondo per l’area A2.



5 CONCLUSIONI

L’applicazione dell’analisi di rischio in modalità diretta ha indicato per la Sub area A1 un rischio non accettabile dovuto alla lisciviazione in falda del Piombo presente nel suolo superficiale e per la Sub area A2 un rischio non accettabile dovuto alla lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nel suolo superficiale (Zinco, C>12, Piombo, Cadmio, Selenio) e nel suolo profondo (Zinco, C>12, Piombo, Selenio).

I risultati delle indagini di caratterizzazione hanno mostrato la presenza di contaminazione in falda e il non rispetto delle CSC delle acque sotterranee al punto di conformità.

Pertanto 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, non rilevati tra l’altro nei suoli, potrebbe essere ascrivibile alle caratteristiche geochimiche dell’area;
- i modelli di lisciviazione e di trasporto in falda possono sovrastimare il rischio calcolato;
- ad eccezione del Selenio, tutte le sostanze rilevate nei suoli per cui è risultato rischio per la risorsa idrica non sono state rinvenute nelle acque sotterranee.

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, accertare la presenza di valori di fondo per Ferro e Manganese e verificare con misure dirette quanto risultato dai modelli analitici. A valle del suddetto monitoraggio potranno essere individuate in modo maggiormente incisivo ed efficace le misure atte a garantire la protezione dell’ambiente e della salute.

Per quanto riguarda il suolo agricolo, si ritiene necessario che vengano analizzati le colture presenti, al fine di ricercare l’eventuale presenza dei contaminati rilevati nel suolo superficiale.

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.

6 BIBLIOGRAFIA

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