



## COMUNE DI CHIETI

### PIANO DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

"Zone agricole e zone industriali libere individuate nell'Ordinanza sindacale n° 542 del 29.10.2008"

Titolo V° Parte IV D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.

### REPORT FINALE ED ANALISI DI RISCHIO SITO-SPECIFICA

00 - Relazione generale  
01 - Assetto geologico  
02 - Complessi idrogeologici  
03 - Laboratorio - Rifiuti  
04 - Modello Concettuale  
**05 - Analisi di Rischio**

<b>ID Elaborati</b>	AdR_05		
<b>Revisione</b>	02		
<b>Data emissione</b>	Luglio 2018		
<b>Controllo copia</b>	Copia controllata	Copia non controllata	Consegnatario



**Nome file:** AdR\_05 - Analisi di Rischio

**COMMITTENTE**

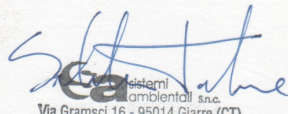
Responsabile integrazione attività

**COMUNE DI CHIETI (CH)**

**sa** sistemi  
ambientali  
Ingegneria e geologia per il territorio  
R.T.P. S.A. snc & Ing. G. Longo

Il R.u.p.

I Progettisti

  
**sa** sistemi  
ambientali s.n.c.  
Via Gramsci, 16 - 95014 Giarre (CT)  
Partita IVA: 0429353 087 1

## Sommario

1	premessa .....	1
2	dati di base .....	4
3	Analisi di rischio sito specifica area WTS .....	9
	<b>3.1 Considerazioni di base.....</b>	<b>9</b>
	<b>3.2 Dati di input per l'analisi di rischio .....</b>	<b>10</b>
	<b>3.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio .....</b>	<b>13</b>
4	Analisi di rischio sito specifica area fin.bell-adiacentE.....	16
	<b>4.1 Considerazioni di base.....</b>	<b>16</b>
	<b>4.2 Dati di input per l'analisi di rischio .....</b>	<b>17</b>
	<b>4.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio .....</b>	<b>20</b>
5	Analisi di rischio sito specifica area dragaggio del ponte.....	23
	<b>5.1 Considerazioni di base.....</b>	<b>23</b>
	<b>5.2 Dati di input per l'analisi di rischio .....</b>	<b>24</b>
	<b>5.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio .....</b>	<b>27</b>
6	Analisi di rischio sito specifica area ex eco-trans.....	30
	<b>6.1 Considerazioni di base.....</b>	<b>30</b>
	<b>6.2 Dati di input per l'analisi di rischio .....</b>	<b>31</b>
	<b>6.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio .....</b>	<b>34</b>
7	Analisi di rischio sito specifica area ACA .....	37
	<b>7.1 Considerazioni di base.....</b>	<b>37</b>
	<b>7.2 Dati di input per l'analisi di rischio .....</b>	<b>38</b>
	<b>7.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio .....</b>	<b>41</b>
8	considerazioni conclusive.....	43

## Indice delle Tabelle

Tabella 1	Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).....	12
Tabella 2	Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda..	13
Tabella 3	Parametri ambientali .....	13
Tabella 4	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo superficiale .....	14
Tabella 5	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo .....	14
Tabella 6	Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS).....	14
Tabella 7	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda .....	15
Tabella 8	Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda.....	15
Tabella 9	Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).....	19
Tabella 10	Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda..	20
Tabella 11	Parametri ambientali .....	20
Tabella 12	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo superficiale .....	21
Tabella 13	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo .....	21
Tabella 6	Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS).....	21
Tabella 15	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda .....	22
Tabella 8	Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda.....	22
Tabella 17	Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).....	26
Tabella 18	Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda..	27
Tabella 19	Parametri ambientali .....	27
Tabella 20	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo superficiale .....	28
Tabella 21	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo .....	28
Tabella 22	Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS).....	28
Tabella 23	Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda .....	29

Tabella 24 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda.....	29
Tabella 25 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).....	33
Tabella 26 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda..	34
Tabella 27 Parametri ambientali .....	34
Tabella 28 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo superficiale .....	35
Tabella 29 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS).....	35
Tabella 30 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo .....	35
Tabella 31 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda .....	36
Tabella 32 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda.....	36
Tabella 33 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).....	40
Tabella 34 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda..	41
Tabella 35 Parametri ambientali .....	41
Tabella 36 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda .....	42
Tabella 37 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda.....	42

## Indice delle Figure

Figura 1 Modello concettuale del sito.....	11
Figura 2 Potenziali recettori considerati .....	12
Figura 3 Modello concettuale del sito.....	18
Figura 4 Potenziali recettori considerati .....	19
Figura 5 Modello concettuale del sito.....	25
Figura 6 Potenziali recettori considerati .....	26
Figura 7 Modello concettuale del sito.....	32
Figura 8 Potenziali recettori considerati .....	33
Figura 6 Modello concettuale del sito.....	39
Figura 10 Potenziali recettori considerati .....	40

## 1 PREMESSA

---

La Valutazione del Rischio è stata definita in modi diversi da molti autori che hanno affrontato la materia (Rowe, 1977; NRC, 1983; OTA, 1993; US EPA, 1984; Bowles et al., 1987; Asante-Duah, 1990); in termini estremamente tecnici il *Risk Assessment* viene definito come “processo sistematico per la stima di tutti i fattori di rischio significativi che intervengono in uno scenario di esposizione causato dalla presenza di pericoli”. In termini meno tecnici la *Valutazione del Rischio* è la stima delle conseguenze sulla salute umana di un evento potenzialmente dannoso, in termini di probabilità che le stesse conseguenze si verifichino. Il criterio della analisi assoluta conduce ad una valutazione del rischio connesso ad un sito, in termini di verifica delle possibili conseguenze legate alla sua situazione qualitativa e di definizione degli obiettivi di risanamento vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito<sup>1</sup>.

L'art. 242, comma 4 del D. Lgs. 152/2006 riporta:

*“Sulla base delle risultanze della caratterizzazione, al sito è applicata la procedura di analisi del rischio sito specifica per la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR). I criteri per l'applicazione della procedura di analisi di rischio sono stabiliti con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e del mare, di concerto con i Ministri dello sviluppo economico e della salute entro il 30 giugno 2008. Nelle more dell'emanazione del predetto decreto, i criteri per l'applicazione della procedura di analisi di rischio sono riportati nell'Allegato 1 alla parte quarta del presente decreto...”*

L'Allegato 1 al titolo V del D. Lgs. 152/2006 prescrive, inoltre, che:

*“data l'importanza della definizione dei livelli di bonifica (CSR) le procedure per il calcolo dovranno essere condotte mediante l'utilizzo di metodologie quali ad esempio ASTM-PS 104, di comprovata validità sia dal punto di vista delle basi scientifiche che supportano gli algoritmi di calcolo che della riproducibilità dei risultati”.*

Nella procedura di analisi di rischio sito specifica si farà riferimento, per quanto applicabile, a quanto segue:

- D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.;
- APAT-ISS-ISPEL-ARPA/APPA (2008) “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”, rev. 2;
- ISS-ISPEL (2009) “Banca dati ISS-ISPEL. Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti”, aggiornata a maggio del 2009
- UNICHIM (2002) “Suoli e falde contaminati: analisi di rischio sito-specifica, criteri e parametri” Manuale UNICHIM N. 196/1.

---

<sup>1</sup> APAT-ISS-ISPEL-ARPA/APPA (2008) “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”, rev. 2.

L'Analisi di Rischio svolta per le aree oggetto di caratterizzazione nell'ambito della "Redazione del piano della caratterizzazione ambientale – elaborazione dati e analisi di rischio, direzione e coordinamento indagini ai fini dell'individuazione e determinazione dell'estensione di discariche incontrollate di rifiuti e monitoraggio dello stato di qualità delle acque di falda nelle zone agricole e industriali libere individuate nell'ordinanza sindacale n° 542 del 29.10.2008" (complessivamente cinque aree individuate e sottoposte a caratterizzazione tra il 2014 ed il 2017: area WTS, FIN.BELL ed adiacenti, DRAGAGGIO DEL PONTE, EX ECO-TRANS ed ACA) è da considerarsi un'analisi di secondo livello, eseguita adottando valori sito-specifici, disponibili e derivanti dalla caratterizzazione ed, in alternativa, valori conservativi di default; per la modellazione idrogeologica e di trasporto della contaminazione sono state utilizzate equazioni di tipo analitico.

Un presupposto fondamentale per la applicazione di un livello 2 di analisi riguarda la scelta di utilizzare modelli analitici per la stima dei fattori di trasporto delle specie chimiche contaminanti attraverso i diversi comparti ambientali. Ciò comporta una estrema semplificazione del modello concettuale del sito e quindi l'utilizzo un numero ridotto di parametri caratteristici dello stesso [EPA, 1998]. In generale, l'applicazione di modelli analitici comporta la:

- semplificazione della geometria del sito;
- semplificazione delle proprietà fisiche del comparto ambientale attraverso cui avviene la migrazione (es. ipotesi di omogeneità);
- definizione semplificata della geologia e della idrogeologia del sito;
- indipendenza dei parametri di input rispetto alla variabile tempo;
- rappresentazione semplificata dei meccanismi di trasporto e dispersione.

Tali incertezze insite nell'uso di modelli analitici sono compensate dalla conservatività sia delle equazioni di *fate and transport* sia dei parametri inseriti quali input.

Per le elaborazioni numeriche è stato utilizzato il software Risk-net versione 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 dell'Università di Roma "Tor Vergata"). Il software permette di calcolare il rischio e gli obiettivi di bonifica legato alla presenza di contaminanti all'interno di un sito, applicando la procedura APAT-ISPRA di analisi di rischio sanitaria ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT-ISPRA 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08).

Per ogni percorso di esposizione attivo vengono calcolate, attraverso i modelli analitici di trasporto descritti nelle linee guida APAT-ISPRA (2008), le concentrazioni massime attese in condizioni stazionarie al punto di esposizione. Tali modelli tengono conto della ripartizione dei contaminanti nelle diverse fasi del suolo e dell'attenuazione subita durante la migrazione dalla sorgente al punto di esposizione. Successivamente, sulla base dei parametri di esposizione definiti

dall'utente, viene calcolata la dose giornaliera dei diversi ricettori. Tali dosi, combinate con i corrispondenti parametri tossicologici e con le concentrazioni al punto di esposizione, sono utilizzate nel calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica (CSR). Successivamente, per ciascun contaminante vengono cumulati gli effetti legati alla presenza di più vie di esposizione attive e vengono calcolati gli obiettivi di bonifica e i rischi individuali (legati alla singola sostanza) e cumulativi (derivanti dalla presenza di più sostanze).

L'incertezza associata ad un'analisi di rischio è dovuta ad una combinazione delle incertezze legate alla caratterizzazione del sito, alla valutazione della tossicità/cancerogenicità delle sostanze indice e dell'esposizione.

Per ciò che riguarda la valutazione della tossicità/cancerogenicità delle sostanze indice si è fatto riferimento a valori conservativi, riconosciuti a livello italiano e internazionale. Inoltre in via cautelativa si è assunta l'additività degli effetti tossici e cancerogeni delle singole sostanze. Non sono stati considerati eventuali effetti sinergici o interazioni antagonistiche delle sostanze indice.

## 2 DATI DI BASE

---

Il processo di analisi di rischio si articola nelle seguenti fasi:

- caratterizzazione del sito;
- definizione del modello concettuale;
- determinazione della concentrazione nel punto di esposizione;
- calcolo del rischio.

Le prime due fasi del processo hanno un ruolo fondamentale in quanto dal loro esito dipende la qualità della modellizzazione dei percorsi sorgente di contaminazione ⇒ vie di migrazione ⇒ bersagli dei contaminanti. Solo un'accurata e dettagliata caratterizzazione del sito nelle sue più importanti specificità permette infatti di individuare tutte le fonti di contaminazione, le sostanze contaminanti, i percorsi di migrazione attivi ed i potenziali bersagli.

Definito il modello concettuale del sito, si procede al calcolo della concentrazione del contaminante nel punto di esposizione. L'utilizzo della concentrazione misurata alla sorgente risulterebbe infatti eccessivamente conservativo, in quanto lungo il percorso dal focolaio di contaminazione al punto di esposizione, hanno luogo una serie di processi che contribuiscono ad attenuare la concentrazione del contaminante. Per simulare i meccanismi di trasporto e di diffusione dei contaminanti si utilizzano modelli matematici. L'adozione del modello da utilizzare dipende dall'accuratezza scelta per l'analisi di rischio. È disponibile infatti una grande varietà di modelli: analitici o numerici (più semplici ma meno accurati i primi, più realistici ma più esigenti in termini di parametri di input i secondi); monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali (questi ultimi ancora poco diffusi a scala reale); deterministici o probabilistici (i primi restituiscono un unico valore di output, i secondi forniscono invece una distribuzione probabilistica dei valori di output). Si può inoltre scegliere di applicare il modello in condizioni stazionarie (cioè condizioni al contorno e rilascio di contaminanti costanti nel tempo), o in condizioni dinamiche.

Individuato il modello più idoneo alla specifica situazione, la sua applicazione restituisce infine il fattore di attenuazione naturale (NAF) per ogni percorso attivo di migrazione. Il NAF è per definizione il rapporto tra la concentrazione del contaminante nel punto di esposizione e la corrispondente concentrazione alla sorgente (per le vie di esposizione diretta  $NAF = 1$ ). Noto il NAF, si può quindi calcolare la concentrazione del contaminante nel punto di esposizione:

$$C_e = C_s \cdot NAF$$

Determinata la concentrazione nel punto di esposizione, si può infine determinare l'assunzione cronica giornaliera (CDI, Chronic Daily Intake) di contaminante da parte di un potenziale recettore:

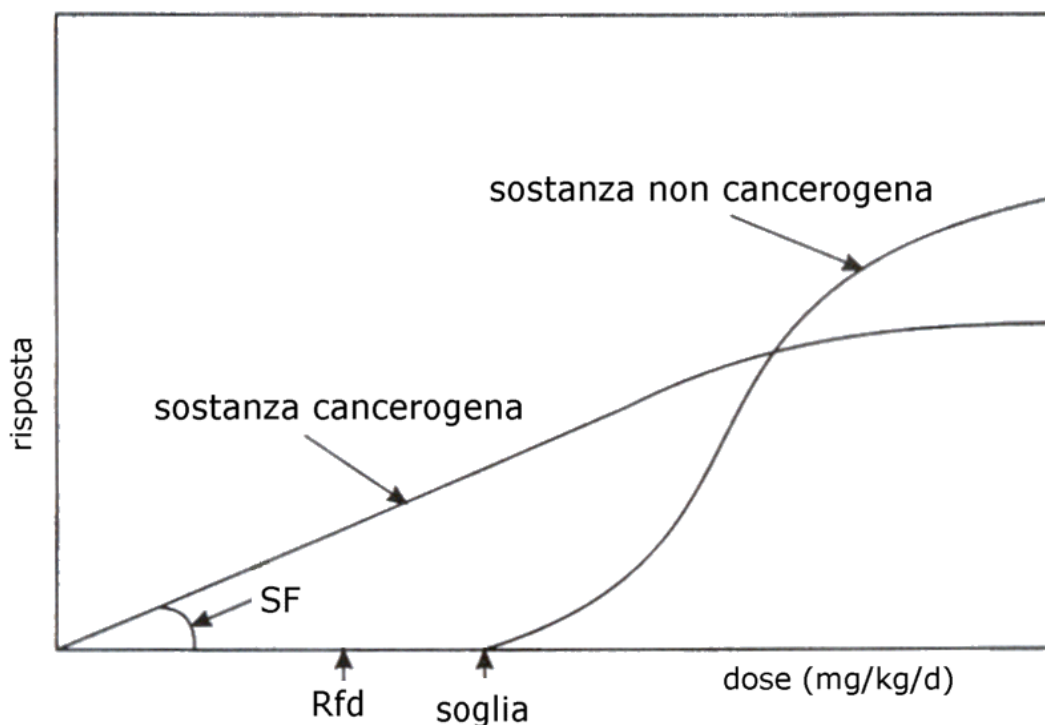
$$CDI = C_e \cdot \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}$$



dove i termini presenti assumono i seguenti significati:

- $CR \left[ \frac{\text{litri}}{\text{d}} \text{ o } \frac{\text{g}}{\text{d}} \right]$  è il fattore di contatto, ossia la quantità di ciascuna matrice ambientale ingerita, inalata o con cui si è venuti in contatto per unità di tempo;
- $EF \left[ \frac{\text{d}}{\text{anno}} \right]$  è la frequenza di esposizione;
- ED [anni] è la durata dell'esposizione;
- BW [kg] è il valore medio del peso corporeo;
- AT [d] è il periodo di tempo durante il quale si è mediata l'esposizione.

Il calcolo del rischio viene effettuato seguendo due procedure diverse in funzione della natura cancerogena o meno del contaminante. Tale distinzione è dovuta alla diversa correlazione tra dose di contaminante assorbita e risposta del soggetto esposto (Figura 1). Facendo riferimento ad un'esposizione ripetuta per lunghi periodi di tempo è infatti possibile stabilire, per le sostanze tossiche non cancerogene, un valore soglia di non effetto al di sotto del quale non è possibile rilevare conseguenze negative sul soggetto esposto; per i composti tossici cancerogeni è invece ipotizzata comunque la presenza di effetti negativi rilevabili. Le correlazioni descritte sono però desunte da esperimenti di laboratorio (nella maggior parte dei casi condotti su animali). È quindi possibile che la tossicità di un determinato contaminante possa sensibilmente essere ridotta o accentuata nella realtà dall'interazione con altre sostanze presenti.



**Figura 1. Curva dose-risposta, in funzione della natura del contaminante**

La curva dose-risposta (diversa per ogni sostanza) consente di calcolare la dose massima ammissibile (RfD, Chronic Reference Dose) per le sostanze non cancerogene (ossia la dose massima assumibile quotidianamente senza rischi per la salute umana), come rapporto tra il valore soglia (mg/kg di peso corporeo/d) ed un opportuno fattore di sicurezza (FS) che tenga conto dell'extrapolazione dei dati dalla specie animale a quella umana:

$$RfD = \frac{\text{valore soglia}}{FS} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg di peso corporeo} \cdot \text{d}} \right]$$

Nota la dose massima ammissibile, si può infine calcolare il rischio tossico espresso dal seguente indice di rischio cronico (HI, Hazard Index):

$$HI = \frac{CDI}{RfD}$$

L'indice di rischio deve esser determinato per ogni sostanza contaminante e per ogni via di migrazione attiva. Qualora dovesse risultare, per una qualsiasi combinazione contaminante-percorso di migrazione,  $HI > 1$ , potrebbero potenzialmente manifestarsi effetti tossici nei soggetti esposti.

Per le sostanze cancerogene, sulla base della corrispondente curva dose-risposta, si calcola invece il rischio cancerogeno, dato da:

$$R = CDI \cdot SF$$

dove SF (Slope Factor) è la tangente al tratto rettilineo della curva dose-risposta. Il rischio cancerogeno (da calcolare anch'esso per ogni combinazione sostanza contaminante-percorso di migrazione attivo) rappresenta quindi il numero di eventi di probabilmente rilevabili in una popolazione esposta al CDI.

Nel caso si riscontrino più di una via di potenziale migrazione per ogni contaminante o nel caso di presenza di più di una sostanza tossica ed ancora in mancanza di indicazioni su eventuali sinergie tra le sostanze, si assume che per R ed HI valga la proprietà additiva.

$$R_T = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M R_{ij}$$

$$HI = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M HQ_{ij}$$

L'approccio additivo sopra esposto è valido nell'ipotesi che non vi sia interazione sinergica e/o antagonista tra le differenti sostanze chimiche in oggetto. Va in ogni caso osservato che i rischi dovuti a distinte vie di esposizione dovrebbero essere sommati solo se lo stesso individuo o

gruppo di individui ha elevata probabilità di essere esposto, in corrispondenza del POE, attraverso diverse vie.

I valori ammessi per gli indici di rischio, affinché lo stesso sia accettabile, sono ampiamente discussi nella letteratura tecnica del settore. L'Allegato 1 al Titolo V della parte del D.Lgs. 152/2006, propone  $1 \times 10^{-6}$  come valore di rischio incrementale accettabile per la singola sostanza cancerogena e  $1 \times 10^{-5}$  come valore di rischio incrementale accettabile cumulato per tutte le sostanze cancerogene; per le sostanze non cancerogene applica il criterio del non superamento della dose tollerabile o accettabile (ADI o TDI) definita per la sostanza (Hazard Index complessivo 1).

Nell'elaborazione realizzata pertanto sono stati assunti i seguenti valori di rischio accettabile:

- rischio cancerogeno per esposizione ad un singolo agente cancerogeno:  $10^{-6}$ ;
- rischio cancerogeno cumulativo:  $10^{-5}$ ;
- Indice di Rischio relativo all'esposizione ad un singolo agente tossico (Hazard Quotient, HQ): 1;
- Indice di Rischio cumulativo (Hazard Index, HI): 1.

Il calcolo del rischio può essere condotto in modalità diretta (forward mode) o inversa (backward mode). La modalità diretta permette di stimare il rischio sanitario per il recettore esposto, sia posto in prossimità del sito (on-site) che ad una certa distanza (off-site), conoscendo la concentrazione in corrispondenza della sorgente di contaminazione. Avendo invece fissato il livello di rischio per la salute ritenuto accettabile per il recettore esposto, la modalità inversa permette il calcolo della massima concentrazione in sorgente compatibile con la condizione di accettabilità del rischio.

Per quanto riguarda i dati di input delle procedure di analisi del rischio di seguito descritte si veda il report delle attività di campo nel quale sono riportati gli esiti di tutte le attività di campo in termini di caratterizzazione chimica delle matrici ambientali (contaminanti riscontrati) e caratterizzazione fisica (granulometria, permeabilità,...).

Si precisa che, indipendentemente dagli esiti dell'analisi del rischio, trattasi, ad esclusione del sito ACA, di aree in passato utilizzate come discariche per rifiuti di varia natura e quindi con presenza accertata di rifiuti interrati e di area inserite in un ambito industriale con una componente di contaminazione esterna, con riferimento alla contaminazione individuata delle acque di falda, non imputabile alla aree in questione (come nel caso della presenza di contaminazione da cloruro di vinile).

Si puntualizza infine che dal punto di vista tecnico/scientifico considerata l'adiacenza di alcuni dei siti, l'analisi di rischio si sarebbe dovuta condurre sulle macroaree:

- 1) WTS-FIN.BELL-AREE ADIACENTI;
- 2) DRAGAGGIO DEL PONTE-EX ECO-TRANS;

## 3) ACA;

tuttavia, considerato che si tratta di aree private e di intervento di caratterizzazione a carico dell'amministrazione pubblica in sostituzione del soggetto responsabile/proprietario, per una questione di ripartizione di responsabilità e di rivalsa dei costi sostenuti si è proceduto con l'applicazione della procedura di AdR per ogni singola area come di seguito:

- 1) WTS
- 2) FIN.BELL-AREE ADIACENTI;
- 3) DRAGAGGIO DEL PONTE;
- 4) EX ECO-TRANS;
- 5) ACA.

Si sottolinea infine che nell'ambito della II perizia di variante (redatta per il rinvenimento di nuove aree oggetto di interrimento di rifiuti), si è proceduto ad un approfondimento delle attività di caratterizzazione per la macroarea WTS-FIN.BELL-AREA ADIACENTE, per la quale sono quindi disponibili numerosi dati relativi alla caratterizzazione chimico/fisica delle matrici ambientali.

## 3 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA AREA WTS

---

### 3.1 Considerazioni di base

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione (attuazione della I e II fase di indagine) hanno permesso di definire il modello concettuale definitivo su cui applicare l'analisi di rischio sanitario, al fine di definire le concentrazioni soglia di rischio (nel seguito CSR).

Le sorgenti secondarie risultate "potenzialmente contaminate" (art. 240 comma 1 lett. D, cioè con evidenze di superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione) sono le acque di falda (campioni di acqua sotterranea dai piezometri denominati PZE1 e PZE2) e la matrice suolo superficiale e profondo (campioni prelevati dai sondaggi PZE1, PZE2, SE3, SE4bis).

Al fine di considerare le condizioni più cautelative possibili, le concentrazioni rappresentative alle sorgenti (nel seguito CRS) considerate per ciascun contaminante sono le massime rilevate dal laboratorio LaserLab incaricato e dal laboratorio di controllo ARTA (tutti i rapporti di prova sono allegati al report delle attività di caratterizzazione) sui campioni prelevati nell'ambito dell'attuazione del piano di indagine. Per quel che riguarda la matrice acque di falda, per la quale in fase di stesura della caratterizzazione era stata ipotizzata la presenza di una lente a bassa permeabilità di separazione tra il primo acquifero superficiale ed il secondo acquifero (intermedio), in effetti, a seguito delle attività di indagine, si è rilevato che non è presente una netta separazione delle falde che in alcune zone risultano in continuità idraulica (è utile ricordare che lo strato a minor permeabilità relativa costituente la separazione tra le due pseudo-falde è stato individuato 34 volte su un totale di 50 verticali indagate, ovvero nel 68 % dei casi) e non risulta distinguibile una contaminazione tipica della falda superficiale e una caratteristica della falda profonda. Per tale motivo, solo ai fini della procedura di Analisi del Rischio, e sulla base del principio di massima cautela è stata considerato un unico acquifero. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla parte seconda del report finale "Complessi Idrogeologici".

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo superficiale (0-1 m dal piano di campagna) è legato alla esposizione diretta ed indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione diretta: ingestione e contatto dermico;
- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori e polveri provenienti dallo strato di suolo superficiale e inalazione vapori e polveri da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli).

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo profondo (da -1 m dal piano di campagna fino alla porzione satura) è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dallo strato di suolo profondo e inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nelle acque è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dalla falda ed inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; trasporto in falda dei contaminanti presenti ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Per l'analisi di rischio è stato utilizzato il software Risk-net vers. 2.0

### 3.2 Dati di input per l'analisi di rischio

Ai fini dell'analisi di rischio, per dettagliare meglio le caratteristiche fisico-chimiche sito-specifiche, oltre alle analisi di caratterizzazione chimica delle matrici ambientali (ricerca contaminanti) sono state condotte le seguenti analisi:

- analisi granulometriche per il saturo e l'insaturo (1 campione);
- determinazione del carbonio organico per il saturo e l'insaturo (nei campioni prelevati nella seconda fase di indagine);
- caratteristiche dei terreni (densità, permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, ...);
- geometria della sorgente.

La frazione di Carbonio Organico ha i seguenti valori:

- nel suolo superficiale (insaturo) il valore è pari a 0,72 % (m/m);
- nel suolo profondo – insaturo - varia da un minimo di 0,23 % (m/m) ad un massimo di 0,33 %, con valore medio pari a 0,28%;
- nel suolo profondo – saturo – il valore è pari a 0,13 % (m/m).

Per l'analisi dei dati di pioggia si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di CHIETI ed ai dati disponibili dell'ultimo decennio 1994-2003, che hanno registrato una precipitazione media annua pari a 740 mm/anno (fonte Annali idrologici – dato medio decennio 2003-1994).

Si riportano di seguito la schematizzazione (tramite diagramma a blocchi) del modello concettuale utilizzato e la tabella riepilogativa dei dati di input.

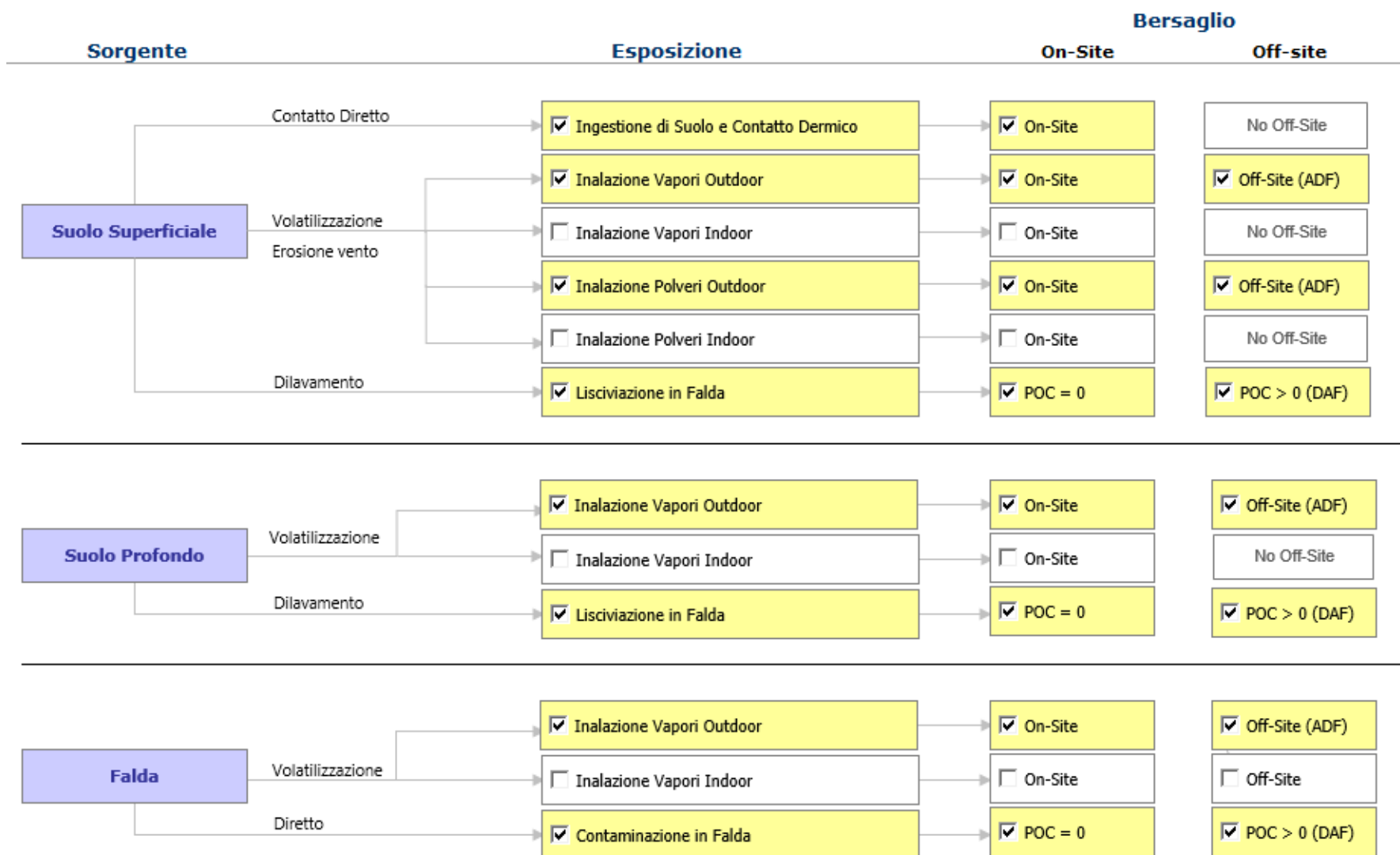


Figura 1 Modello concettuale del sito.

Tabella 1 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).

Suolo Superficiale			Suolo Profondo			Falda		
	Prof. soil-gas da p.c. (m)	0,5		Prof. soil-gas da p.c. (m)	1		Prof. soil-gas da p.c. (m)	1
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
Alifatici C >12-16	7,25E+01		Alifatici C >12-16	1,02E+02		Ferro	5,08E-01	
Aromatici C >12-16	7,25E+01		Composti organostannici (Tributilstag)	5,30E+00		Manganese	3,60E-01	
Composti organostannici (Tributilstag)	3,50E+00		Aromatici C >12-16	1,02E+02		Cloruro di vinile	3,95E-03	
						1,2-Dicloropropano	7,30E-04	



Figura 2 Potenziali recettori considerati



Tabella 2 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda.

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check	
L <sub>1</sub> (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,1	ok	
L <sub>1</sub> (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1,0	ok	
d	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	0,9	ok	
d <sub>1</sub>	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	3,5	ok	
L <sub>GW</sub>	Profondità del piano di falda	m	3	3	4,5	ok	
h <sub>v</sub>	Spessore della zona insatura	m	2,812	2,35	3,818	ok	
f <sub>OC, SS</sub>	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,007	ok	
f <sub>OC, SP</sub>	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,0028	ok	
t <sub>L,F</sub>	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok	
pH	pH	adim.	6,8	6,8	8,0	ok	
ρ <sub>s</sub>	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,6	ok	
θ <sub>s</sub>	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura			0,383	ok
θ <sub>w</sub>	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	SILT LOAM			0,255	ok
θ <sub>a</sub>	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.			0,128	ok
θ <sub>wcap</sub>	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Tessitura selezionata: SILT LOAM			0,297	ok
θ <sub>acap</sub>	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.				0,086	ok
h <sub>cap</sub>	Spessore frangia capillare	m				0,682	ok
I <sub>ef</sub>	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	4,93E+00	ok	
P	Piovosità	cm/anno	---	---	74,0	ok	
n <sub>outdoor</sub>	Frazione areale di fratture outdoor (solo per lisciviazione)	adim.	1	1	1,0	ok	

Zona Saturata		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	440,0	ok
S <sub>w</sub>	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	65,0	ok
d <sub>s</sub>	Spessore acquifero	m	---	---	7,0	ok
K <sub>sat</sub>	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	--- CUSTOM ---		3,38E-05	ok
i	Gradiente idraulico	adim.	---	---	0,01	ok
V <sub>qW</sub>	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07	---	3,38E-07	ok
V <sub>e</sub>	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,20E-06	2,20E-06	9,58E-07	ok
θ <sub>s sat</sub>	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adim.	0,353	0,353	0,353	ok
f <sub>OC</sub>	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	0,001	0,0013	ok
POC	Distanza recettore off site (DAF)	m	100	100	100,0	ok
a <sub>1</sub>	Dispersività longitudinale	m	10	<input type="checkbox"/> Calcolati	1,00E+01	ok
a <sub>v</sub>	Dispersività trasversale	m	3,3		3,33E+00	ok
a <sub>z</sub>	Dispersività verticale	m	0,5		5,00E-01	ok
δ <sub>GW</sub>	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	7,00E+00	ok
LDF	Fattore di diluizione in falda	adim.	---	---	4,44E+00	ok

Tabella 3 Parametri ambientali

Ambiente Outdoor		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check	
δ <sub>air</sub>	Altezza della zona di miscelazione	m	2	2	2,0	ok	
W'	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	45	65,0	ok	
S <sub>w'</sub>	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	45	45	440,0	ok	
U <sub>air</sub>	Velocità del vento	m/s	2,25	Calc	2,25	ok	
P <sub>s</sub>	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm·s <sup>2</sup> )	6,90E-14	6,9E-14	6,90E-14	ok	
T <sub>outdoor</sub>	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	30	30,0	ok	
POE ADF	Distanza recettore off site (ADF)	m	100	100	100,0	ok	
σ <sub>y</sub>	Coefficiente di dispersione trasversale	m	--- CUSTOM ---			1,00E+01	no check
σ <sub>z</sub>	Coefficiente di dispersione verticale	m				1,00E+01	no check

### 3.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazioni soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo superficiale** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 4 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice 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.]	CSC Industriali [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Alifatici C>12-16	6,11E+03	1,00E+01	6,10E+02	5,13E+02	---	1,00E-01	4,61E-05	5,00E+01	7,50E+02	1,23E+00	7,25E+01
Aromatici C >12-16	3,37E+02	1,20E+00	2,81E+02	2,36E+02	---	1,42E-01	8,33E-01	5,00E+01	7,50E+02	4,12E+02	7,25E+01
Composti organostannici (Tributit)	1,80E+01	1,50E+00	1,19E+01	1,00E+01	---	7,00E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	5,09E+01	3,50E+00

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	9,42E-01
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	7,62E-02

On-site	R gw
TPH WG	8,33E-01
MADEP	---

Off-site	R gw
TPH WG	6,60E-01
MADEP	---

Dalla Tabella 4 di sintesi risulta che **per la matrice suolo superficiale, per ogni contaminante indicatore risulta verificata la condizione CRS < CSR.**

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo profondo** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 5 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziali [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Alifatici C >12-16	>Csat		>Csat		---	9,13E-05	2,25E-04	5,00E+01	7,50E+02	4,98E-01	1,02E+02
Composti organostannici (Tributit)	>Csat		>Csat		---	3,62E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	2,29E+01	5,30E+00
Aromatici C >12-16	2,77E+01	1,10E+00	2,52E+01	2,12E+01	---	9,66E-04	9,09E-01	5,00E+01	7,50E+02	1,66E+02	1,02E+02

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	3,63E-01
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	3,63E-01

On-site	R gw
TPH WG	9,09E-01
MADEP	---

Off-site	R gw
TPH WG	7,20E-01
MADEP	---

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice suolo profondo sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.

Tabella 6 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS)

Contaminante	CRS (mg/kg s.s.)	>	CSR (mg/kg s.s.)
Aromatici C>12-16	102	>	25,2

Per i parametri Alifatici C>12-16 e per i composti organostannici (stagno) le CSR calcolate risultano superiori alle C<sub>SAT</sub>; in questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare o lisciviare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio. Il rischio riportato si riferisce alla saturazione.

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **acque di falda** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 7 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	Solubilità [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Ferro	2,00E-01		2,00E-01	---	---	1,00E+00	2,00E-01		5,08E-01
Manganese*	1,54E-01		1,54E-01	---	---	1,00E+00	1,54E-01		3,60E-01
Cloruro di vinile	5,00E-04		5,00E-04	4,42E-10	3,77E-06	1,00E+00	5,00E-04	8,80E+03	3,95E-03
1,2-Dicloropropano	1,50E-04		1,50E-04	1,45E-11	2,02E-06	1,00E+00	1,50E-04	2,80E+03	7,30E-04

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	4,56E-10	5,80E-06
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	4,56E-10	5,80E-06
Indoor	---	---

On-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---
Off-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice acqua di falda risulta che le CSR calcolate risultano inferiori alle CSC; per tale motivo, in accordo con le linee guida del MATTM (2014), le CSR sono state poste pari alle CSC. **Per la matrice acque di falda sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.**

Tabella 8 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda

Contaminante	CRS (mg/l)	>	CSR (mg/l)
Ferro	$5,08 \times 10^{-1}$	>	$2,00 \times 10^{-1}$
Manganese <sup>A</sup>	$3,60 \times 10^{-1}$	>	$1,54 \times 10^{-1}$
Cloruro di vinile	$39,5 \times 10^{-4}$	>	$5,00 \times 10^{-4}$
1,2-Dicloropropano	$7,30 \times 10^{-4}$	>	$1,50 \times 10^{-4}$

<sup>A</sup> La Regione Abruzzo con DGR 225/16 ha stabilito per il Manganese il valore di fondo naturale pari a 154 µg/l

## 4 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA AREA FIN.BELL- ADIACENTE

---

### 4.1 Considerazioni di base

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione (attuazione della I e II fase di indagine) hanno permesso di definire il modello concettuale definitivo su cui applicare l'analisi di rischio sanitario, al fine di definire le concentrazioni soglia di rischio (CSR).

Le sorgenti secondarie risultate "potenzialmente contaminate" (art. 240 comma 1 lett. D, cioè con evidenze di superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione) sono le acque di falda (campioni di campioni di acqua sotterranea dai piezometri denominati Piez. Esistente, PZd1ter, PZD2, PZE1, PZE2, PZ1, PZ2, PZ3, PZ4, PZ6, PZ7, PZ8, PZ9, PZ10, PZ12, e SG14) e la matrice suolo superficiale e profondo (campioni prelevati dai sondaggi PZE1, PZE2, SE3, SE4bis, PZD1bis, PZ1, PZ2, PZ4, PZ5, PZ9, SG11).

Al fine di considerare le condizioni più cautelative possibili, le concentrazioni rappresentative alle sorgenti (nel seguito CRS) considerate per ciascun contaminante sono le massime rilevate dal laboratorio LaserLab incaricato e dal laboratorio di controllo ARTA (tutti i rapporti di prova sono allegati al report delle attività di caratterizzazione) sui campioni prelevati nell'ambito dell'attuazione del piano di indagine. Per quel che riguarda la matrice acque di falda, per la quale in fase di stesura della caratterizzazione era stata ipotizzata la presenza di una lente a bassa permeabilità di separazione tra il primo acquifero superficiale ed il secondo acquifero (intermedio), in effetti, a seguito delle attività di indagine, si è rilevato che non è presente una netta separazione delle falde che in alcune zone risultano in continuità idraulica (è utile ricordare che lo strato a minor permeabilità relativa costituente la separazione tra le due pseudo-falde è stato individuato 34 volte su un totale di 50 verticali indagate, ovvero nel 68 % dei casi) e non risulta distinguibile una contaminazione tipica della falda superficiale e una caratteristica della falda profonda. Per tale motivo, solo ai fini della procedura di Analisi del Rischio, e sulla base del principio di massima cautela è stata considerato un unico acquifero. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla parte seconda del report finale "Complessi Idrogeologici".

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo superficiale (0-1 m dal piano di campagna) è legato alla esposizione diretta ed indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione diretta: ingestione e contatto dermico;
- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori e polveri provenienti dallo strato di suolo superficiale e inalazione vapori e polveri da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli).

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo profondo (da -1 m dal piano di campagna fino alla porzione satura) è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dallo strato di suolo profondo e inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nelle acque è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dalla falda ed inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; trasporto in falda dei contaminanti presenti ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Per l'analisi di rischio è stato utilizzato il software Risk-net vers. 2.0

## 4.2 Dati di input per l'analisi di rischio

Ai fini dell'analisi di rischio, per dettagliare meglio le caratteristiche fisico-chimiche del sito-specifiche, oltre alle analisi di caratterizzazione chimica delle matrici ambientali (ricerca contaminanti) sono state condotte le seguenti analisi:

- analisi granulometriche per il saturo e l'insaturo (6 campioni);
- determinazione del carbonio organico per il saturo e l'insaturo (tutti i campioni prelevati nella seconda fase di indagine);
- caratteristiche dei terreni (densità, permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, ...);
- geometria della sorgente.0,17

La frazione di Carbonio Organico ha i seguenti range di valori:

- nel suolo superficiale (insaturo) varia da un minimo di 0,17 % (m/m) ad un massimo di 1,52 %, con valore medio pari a 0,6%;
- nel suolo profondo – insaturo - varia da un minimo di 0,06 % (m/m) ad un massimo di 3,73 %, con valore medio pari a 0,5%;
- nel suolo profondo – saturo - varia da un minimo di 0,03 % (m/m) ad un massimo di 0,47 %, con valore medio pari a 0,2%.

Per l'analisi dei dati di pioggia si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di CHIETI ed ai dati disponibili dell'ultimo decennio 1994-2003, che hanno registrato una precipitazione media annua pari a 740 mm/anno (fonte Annali idrologici – dato medio decennio 2003-1994).

Si riportano di seguito la schematizzazione (tramite diagramma a blocchi) del modello concettuale utilizzato e la tabella riepilogativa dei dati di input.

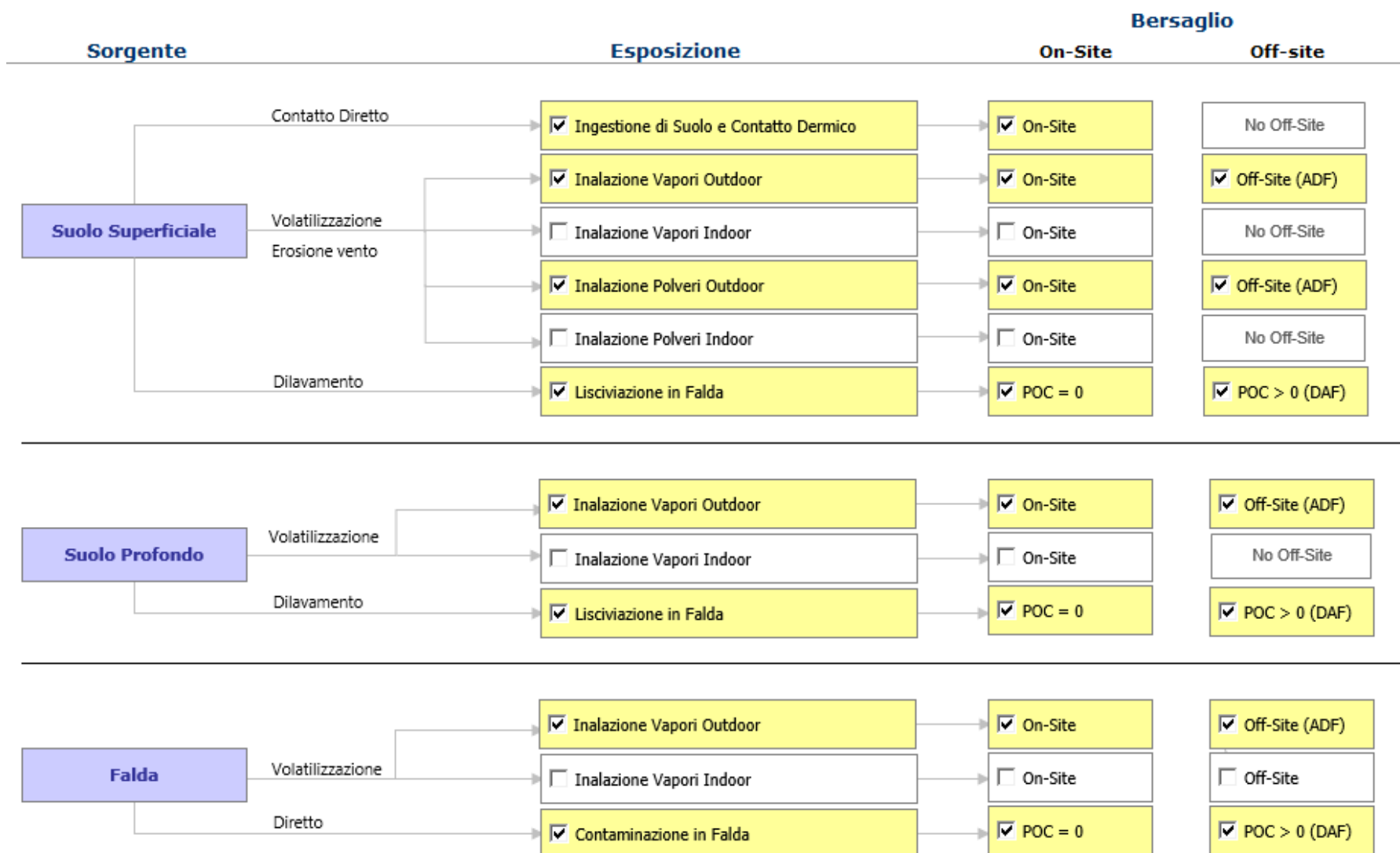


Figura 3 Modello concettuale del sito

Tabella 9 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).

Suolo Superficiale			Suolo Profondo			Falda		
Contaminanti	Prof. soil-gas da p.c. (m)	0,5	Contaminanti	Prof. soil-gas da p.c. (m)	1	Contaminanti	Prof. soil-gas da p.c. (m)	1
	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]		CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]		CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
Composti organostannici (Tributilstag)	7,30E+00		Cadmio	1,03E+02		Ferro	1,86E+00	
Rame	1,20E+02		Cromo totale	3,66E+02		Manganese	1,20E+00	
			Mercurio elementare	1,21E+01		Nichel	3,48E-02	
			Nichel	3,89E+02		Boro	2,55E+00	
			Piombo	2,41E+03		p-Xilene	2,52E-02	
			Rame	5,38E+03		Cloruro di vinile	3,60E-02	
			Selenio	1,46E+02		1,1-Dicloroetilene	5,50E-04	
			Zinco	1,54E+04		1,2-Dicloropropano	1,65E-03	
			Alifatici C >12-16	1,65E+03		PCB Tot.	9,83E-05	
			Composti organostannici (Tributilstag)	6,40E+00				
			Aromatici C >12-16	1,65E+03				

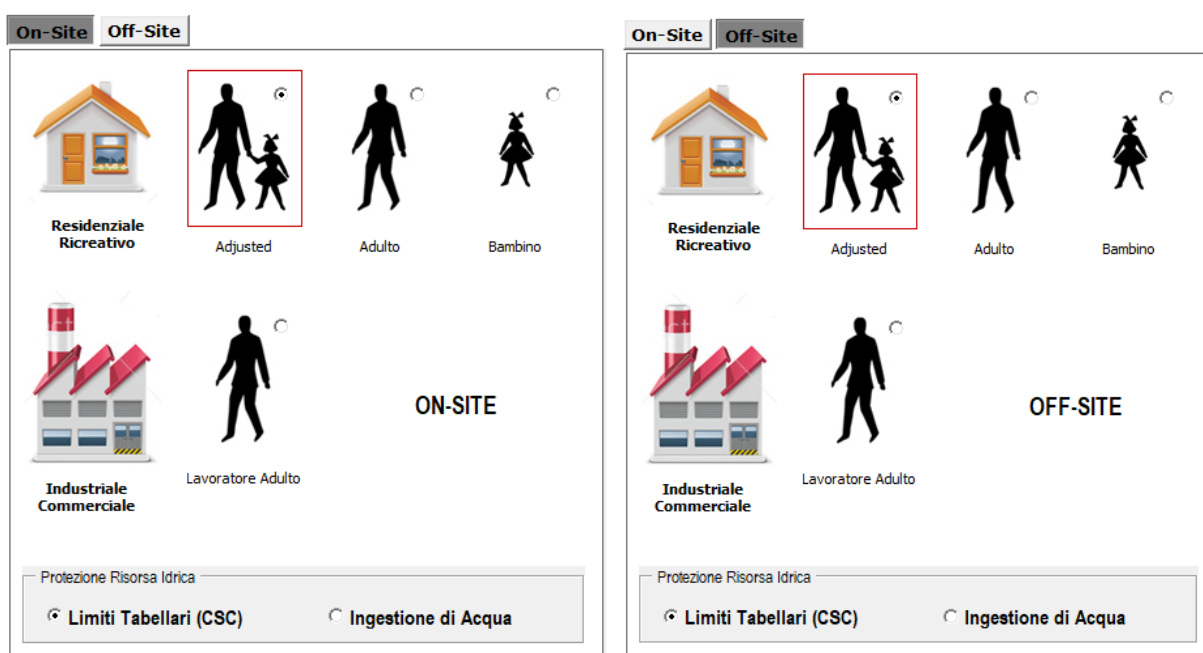


Figura 4 Potenziali recettori considerati



Tabella 10 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda.

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$L_s(ss)$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,1	ok
$L_s(sp)$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1,0	ok
$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	0,9	ok
$d_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	2,5	ok
$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	m	3	3	3,55	ok
$h_v$	Spessore della zona insatura	m	2,812	2,95	2,868	ok
$f_{oc,ss}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,006	ok
$f_{oc,sp}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,005	ok
$t_{LF}$	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok
$pH$	pH	adim.	6,8	6,8	8,0	ok
$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,6	ok
$\theta_s$	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0,383	ok
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	SILT LOAM		0,255	ok
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.		0,128	ok
$\theta_{wcap}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Tessitura selezionata: SILT LOAM		0,297	ok
$\theta_{acap}$	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0,086	ok
$h_{cap}$	Spessore frangia capillare	m			0,682	ok
$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	4,93E+00	ok
$P$	Piuvosità	cm/anno	...	...	74,0	ok
$\eta_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per liscivazione)	adim.	1	1	1,0	ok

Zona Saturata		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$W$	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	500,0	ok
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	250,0	ok
$d_s$	Spessore acquifero	m	...	...	7,0	ok
$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	...	...	3,38E-05	ok
$i$	Gradiente idraulico	adim.	...	...	0,01	ok
$v_{Dw}$	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07	...	3,38E-07	ok
$v_e$	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,20E-06	2,20E-06	9,58E-07	ok
$\theta_{s, sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturo	adim.	0,353	0,353	0,353	ok
$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	0,001	0,00175	ok
$POC$	Distanza recettore off site (DAF)	m	100	100	100,0	ok
$a_x$	Dispersività longitudinale	m	10	...	1,00E+01	ok
$a_y$	Dispersività trasversale	m	3,3	...	3,33E+00	ok
$a_z$	Dispersività verticale	m	0,5	...	5,00E-01	ok
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	7,00E+00	ok
$LDF$	Fattore di diluizione in falda	adim.	...	...	4,03E+00	ok

Tabella 11 Parametri ambientali

Ambiente Outdoor		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione	m	2	2	2,0	ok
$W'$	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	45	250,0	ok
$S_w'$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	45	45	500,0	ok
$U_{air}$	Velocità del vento	m/s	2,25	Calco	2,25	ok
$P_e$	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm·s <sup>2</sup> )	6,90E-14	6,9E-14	6,90E-14	ok
$T_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	30	30,0	ok
$POE ADF$	Distanza recettore off site (ADF)	m	100	100	100,0	ok
$\sigma_y$	Coefficiente di dispersione trasversale	m	...	...	1,00E+01	no check
$\sigma_z$	Coefficiente di dispersione verticale	m	...	...	1,00E+01	no check

### 4.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo superficiale** sono riportati nella tabella che segue.



Tabella 12 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice 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.]	CSC Industriali [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Composti organostannici (Tributil)	1,52E+01	1,30E+00	1,11E+01	9,36E+00	---	7,84E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	4,43E+01	7,30E+00
Rame	5,43E+02	0,00E+00	5,43E+02	4,56E+02	---	1,78E-01	1,00E+00	1,20E+02	6,00E+02	---	1,20E+02

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	9,63E-01
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	1,77E-01

On-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---
Off-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---

Dalla Tabella 12 di sintesi risulta che **per la matrice suolo superficiale, per ogni contaminante indicatore risulta verificata la condizione CRS < CSR.**

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del D.lgs. 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo profondo** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 13 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Cadmio	8,83E+01		8,83E+01	7,43E+01	---	---	1,00E+00	2,00E+00	1,50E+01	---	1,03E+02
Cromo totale	8,83E+05		8,83E+05	7,43E+05	---	---	1,00E+00	1,50E+02	8,00E+02	---	3,66E+02
Mercurio elementare	8,23E-01		8,23E-01	6,91E-01	---	2,99E-02	1,00E+00	1,00E+00	5,00E+00	1,20E+01	1,21E+01
Nichel	1,56E+02		1,56E+02	1,31E+02	---	---	1,00E+00	1,20E+02	5,00E+02	---	3,89E+02
Piombo	3,70E+01		3,70E+01	3,11E+01	---	---	1,00E+00	1,00E+02	1,00E+03	---	2,41E+03
Rame	1,44E+02		1,44E+02	1,21E+02	---	---	1,00E+00	1,20E+02	6,00E+02	---	5,38E+03
Selenio	9,69E-02		9,69E-02	8,15E-02	---	---	1,00E+00	3,00E+00	1,50E+01	---	1,46E+02
Zinco	6,53E+03		6,53E+03	5,49E+03	---	---	1,00E+00	1,50E+02	1,50E+03	---	1,54E+04
Alifatici C >12-16	>Csat		>Csat		---	6,74E-04	2,43E-04	5,00E+01	7,50E+02	8,81E-01	1,65E+03
Composti organostannici (Tributil)	2,26E+01	1,10E+00	2,06E+01	1,73E+01	---	9,09E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	3,76E+01	6,40E+00
Aromatici C >12-16	4,56E+01	1,10E+00	4,15E+01	3,49E+01	---	3,44E-03	9,09E-01	5,00E+01	7,50E+02	2,95E+02	1,65E+03

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	9,43E-01
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	9,43E-01

On-site	R gw
TPH WG	9,09E-01
MADEP	---
Off-site	R gw
TPH WG	9,09E-01
MADEP	---

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice suolo profondo sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.

Tabella 14 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS)

Contaminante	CRS (mg/kg s.s.)	>	CSR (mg/kg s.s.)
Cadmio	103	>	88,3
Mercurio	12,1	>	0,823
Nichel	$3,89 \times 10^2$	>	$1,56 \times 10^2$
Piombo	2410	>	37,0
Rame	$53,8 \times 10^2$	>	$1,44 \times 10^2$
Selenio	146	>	0,0969
Zinco	$15,4 \times 10^3$	>	$6,56 \times 10^3$
Aromatici C >12-16	1650	>	41,5

Per il parametro Alifatici C>12-16 e per i composti organostannici (stagno) le CSR calcolate risultano superiori alle C<sub>SAT</sub>; in questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare o lisciviare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio. Il rischio riportato si riferisce alla saturazione.

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **acque di falda** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 15 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	Solubilità [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Ferro	2,00E-01		2,00E-01	---	---	1,00E+00	2,00E-01		1,86E+00
Manganese*	1,54E-01		1,54E-01	---	---	1,00E+00	1,54E-01		1,20E+00
Nichel	2,00E-02		2,00E-02	---	---	1,00E+00	2,00E-02		3,48E-02
Boro	1,00E+00		1,00E+00	---	---	1,00E+00	1,00E+00		2,55E+00
p-Xilene	1,00E-02		1,00E-02	---	5,44E-05	1,00E+00	1,00E-02	1,62E+02	2,52E-02
Cloruro di vinile	5,00E-04		5,00E-04	2,00E-09	1,71E-05	1,00E+00	5,00E-04	8,80E+03	3,60E-02
1,1-Dicloroetilene	5,00E-05		5,00E-05	---	6,47E-07	1,00E+00	5,00E-05	2,42E+03	5,50E-04
1,2-Dicloropropano	1,50E-04		1,50E-04	6,60E-11	9,18E-06	1,00E+00	1,50E-04	2,80E+03	1,65E-03
PCB Tot.	1,00E-05		1,00E-05	1,37E-11	---	1,00E+00	1,00E-05	7,00E-01	9,83E-05

On-site	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
Outdoor	2,08E-09	8,13E-05
Indoor	---	---
Off-site	<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>
Outdoor	2,08E-09	8,13E-05
Indoor	---	---
On-site	<b>R gw</b>	
TPH WG	---	
MADEP	---	
Off-site	<b>R gw</b>	
TPH WG	---	
MADEP	---	

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice acqua di falda risulta che le CSR calcolate risultano inferiori alle CSC; per tale motivo, in accordo con le linee guida del MATTM (2014), le CSR sono state poste pari alle CSC. **Per la matrice acque di falda sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.**

Tabella 16 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda

Contaminante	CRS (mg/l)	>	CSR (mg/l)
Ferro	1,86	>	0,2
Manganese <sup>A</sup>	1,20	>	0,154
Nichel	3,48 × 10 <sup>-2</sup>	>	2,00 × 10 <sup>-2</sup>
Boro	2,55	>	1,00
p-Xilene	2,52 × 10 <sup>-2</sup>	>	1,00 × 10 <sup>-2</sup>
Cloruro di vinile	3,60 × 10 <sup>-2</sup>	>	0,05 × 10 <sup>-2</sup>
1,1-Dicloroetilene	5,50 × 10 <sup>-4</sup>	>	0,5 × 10 <sup>-4</sup>
1,2-Dicloropropano	1,65 × 10 <sup>-3</sup>	>	0,15 × 10 <sup>-3</sup>
PCB tot.	9,83 × 10 <sup>-5</sup>	>	1,00 × 10 <sup>-5</sup>

<sup>A</sup> La Regione Abruzzo con DGR 225/16 ha stabilito per il Manganese il valore di fondo naturale pari a 154 µg/l

## 5 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA AREA DRAGAGGIO DEL PONTE

---

### 5.1 Considerazioni di base

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione (attuazione della I fase di indagine) hanno permesso di definire il modello concettuale definitivo su cui applicare l'analisi di rischio sanitario, al fine di definire le concentrazioni soglia di rischio (CSR).

Le sorgenti secondarie risultate "potenzialmente contaminate" (art. 240 comma 1 lett. D, cioè con evidenze di superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione) sono le acque di falda (campioni di acqua sotterranea dai piezometri denominati PZB3 e PZB4) e la matrice suolo superficiale e profondo (campioni prelevati dai sondaggi PZB1, PZB3).

Al fine di considerare le condizioni più cautelative possibili, le concentrazioni rappresentative alle sorgenti (nel seguito CRS) considerate per ciascun contaminante sono le massime rilevate dal laboratorio LaserLab incaricato e dal laboratorio di controllo ARTA (tutti i rapporti di prova sono allegati al report delle attività di caratterizzazione) sui campioni prelevati nell'ambito dell'attuazione del piano di indagine. Per quel che riguarda la matrice acque di falda, per la quale in fase di stesura della caratterizzazione era stata ipotizzata la presenza di una lente a bassa permeabilità di separazione tra il primo acquifero superficiale ed il secondo acquifero (intermedio), in effetti, a seguito delle attività di indagine, si è rilevato che non è presente una netta separazione delle falde che in alcune zone risultano in continuità idraulica (è utile ricordare che lo strato a minor permeabilità relativa costituente la separazione tra le due pseudo-falde è stato individuato 34 volte su un totale di 50 verticali indagate, ovvero nel 68 % dei casi) e non risulta distinguibile una contaminazione tipica della falda superficiale e una caratteristica della falda profonda. Per tale motivo, solo ai fini della procedura di Analisi del Rischio, e sulla base del principio di massima cautela è stata considerato un unico acquifero. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla parte seconda del report finale "Complessi Idrogeologici".

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo superficiale (0-1 m dal piano di campagna) è legato alla esposizione diretta ed indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione diretta: ingestione e contatto dermico;
- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori e polveri provenienti dallo strato di suolo superficiale e inalazione vapori e polveri da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli).

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo profondo (da -1 m dal piano di campagna fino alla porzione satura) è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dallo strato di suolo profondo e inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nelle acque è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dalla falda ed inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; trasporto in falda dei contaminanti presenti ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Per l'analisi di rischio è stato utilizzato il software Risk-net vers. 2.0

## 5.2 Dati di input per l'analisi di rischio

Ai fini dell'analisi di rischio, per dettagliare meglio le caratteristiche fisico-chimiche sito-specifiche, oltre alle analisi di caratterizzazione chimica delle matrici ambientali (ricerca contaminanti) sono state condotte le seguenti analisi:

- analisi granulometriche per il saturo e l'insaturo (1 campione);
- determinazione del carbonio organico per il saturo e l'insaturo (tutti i campioni prelevati nella seconda fase di indagine);
- caratteristiche dei terreni (densità, permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, ...);
- geometria della sorgente.

Per l'analisi dei dati di pioggia si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di CHIETI ed ai dati disponibili dell'ultimo decennio 1994-2003, che hanno registrato una precipitazione media annua pari a 740 mm/anno (fonte Annali idrologici – dato medio decennio 2003-1994).

Si riportano di seguito la schematizzazione (tramite diagramma a blocchi) del modello concettuale utilizzato e la tabella riepilogativa dei dati di input.

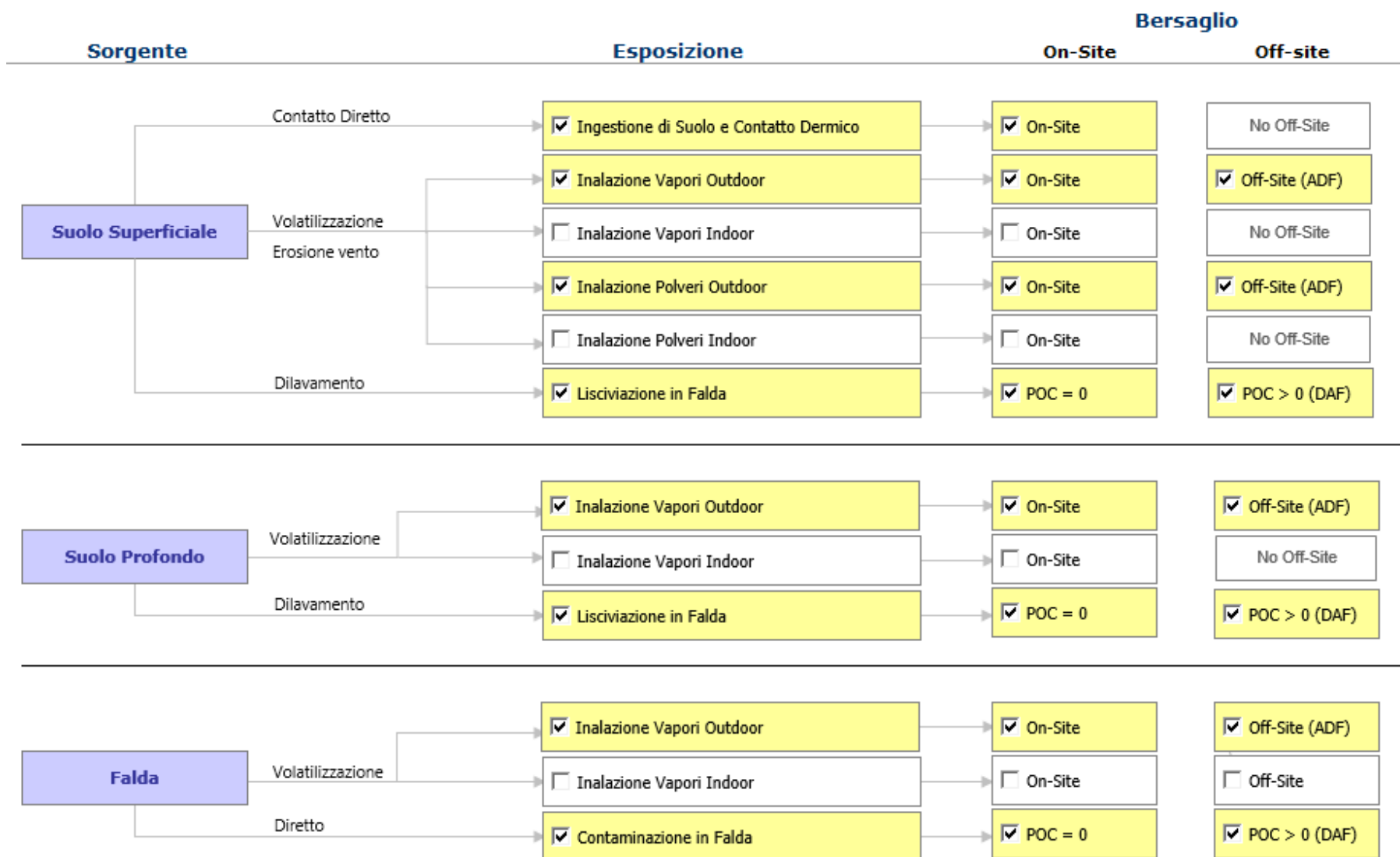


Figura 5 Modello concettuale del sito

Tabella 17 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).

Suolo Superficiale	Prof. soil-gas da p.c. (m)	0,5
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
Composti organostannici (Tributilstag)	4,50E+00	

Suolo Profondo	Prof. soil-gas da p.c. (m)	1
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
Alifatici C >12-16	4,45E+01	
Composti organostannici (Tributilstag)	6,80E+00	
Aromatici C >12-16	4,45E+01	

Falda	Prof. soil-gas da p.c. (m)	1
Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
Ferro	3,81E+00	
Manganese	8,59E-01	
Boro	7,26E+00	
Cloruro di vinile	3,44E-03	

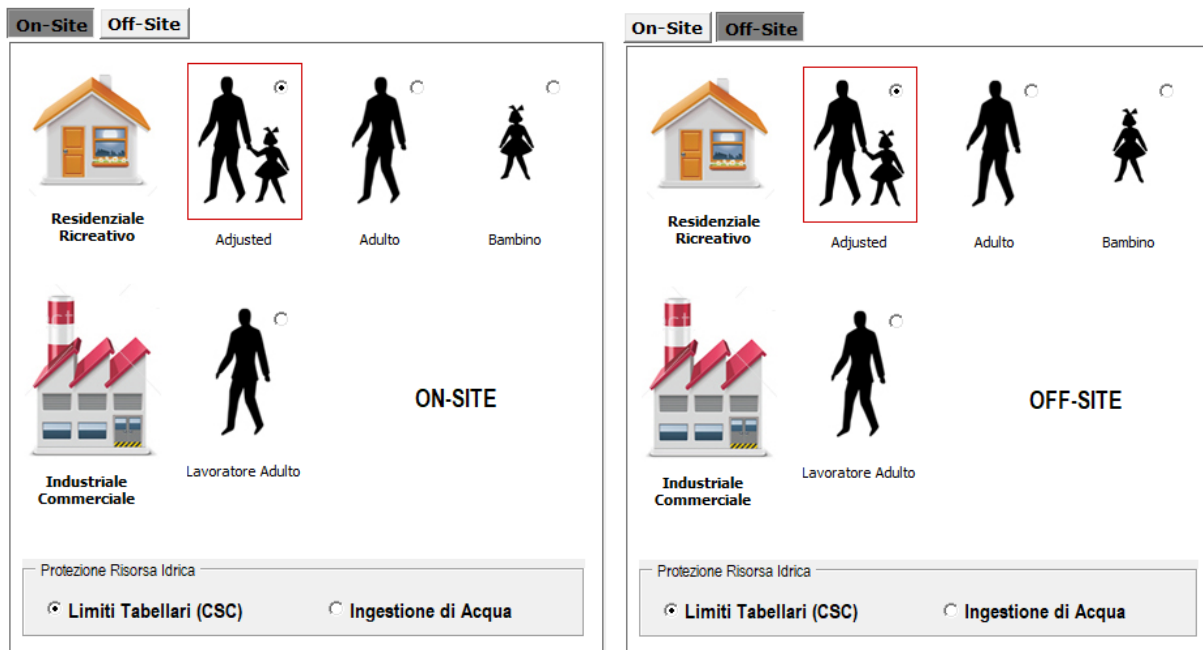


Figura 6 Potenziali recettori considerati

Tabella 18 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda.

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$L_{z(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,1	ok
$L_{z(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1,0	ok
$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	0,9	ok
$d_c$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	3,0	ok
$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	m	3	3	4,2	ok
$h_v$	Spessore della zona insatura	m	2,812	2,95	4,1	ok
$f_{oo, SS}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$f_{oo, SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$t_{LF}$	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok
pH	pH	adim.	6,8	6,8	6,8	ok
$\rho_c$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,93	ok
$\theta_e$	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0,395	ok
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	SAND		0,068	ok
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.		0,317	ok
$\theta_{woap}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Territura selezionata: SAND		0,33	ok
$\theta_{soap}$	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0,055	ok
$h_{oap}$	Spessore frangia capillare	m			0,1	ok
$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	9,86E+00	ok
P	Piovosità	cm/anno	---	---	74,0	ok
$n_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per lisciviazione)	adim.	1	1	1,0	ok

Zona Saturata			Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	170,0	ok
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	450,0	ok
$d_b$	Spessore acquifero	m	---	---	7,0	ok
$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	--- CUSTOM ---		2,48E-06	ok
i	Gradiente idraulico	adim.	---	---	0,01	ok
$v_{gw}$	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07		2,48E-08	ok
$v_e$	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,20E-06	2,20E-06	7,03E-08	ok
$\theta_{e, sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adim.	0,353	0,353	0,353	ok
$f_{oo}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	0,001	0,001	ok
POC	Distanza recettore off site (DAF)	m	100	100	100,0	ok
$a_x$	Dispersività longitudinale	m	10	<input type="checkbox"/> Calcolati	1,00E+01	ok
$a_y$	Dispersività trasversale	m	3,3		3,33E+00	ok
$a_z$	Dispersività verticale	m	0,5		5,00E-01	ok
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	7,00E+00	ok
LDF	Fattore di diluizione in falda	adim.	---	---	1,33E+00	ok

Tabella 19 Parametri ambientali

Ambiente Outdoor			Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione	m	2	2	2,0	ok
W'	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	45	450,0	ok
$S_w'$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	45	45	170,0	ok
$U_{air}$	Velocità del vento	m/s	2,25	Calco	2,25	ok
$P_e$	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm·s <sup>2</sup> )	6,90E-14	6,9E-14	6,90E-14	ok
$T_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	30	30,0	ok
POE ADF	Distanza recettore off site (ADF)	m	100	100	100,0	ok
$\sigma_y$	Coefficiente di dispersione trasversale	m	--- CUSTOM ---		1,00E+01	no check
$\sigma_z$	Coefficiente di dispersione verticale	m			1,00E+01	no check

### 5.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo superficiale** sono riportati nella tabella che segue.



Tabella 20 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice 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.]	CSC Industriali [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Composti organostannici (Tributil)	1,12E+01	1,10E+00	1,02E+01	9,85E+00	---	9,09E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	7,52E+01	4,50E+00
						<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>				
						---	9,09E-01				
						<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>				
						---	9,71E-02				
						<b>R gw</b>					
						---					
						---					
						<b>R gw</b>					
						---					
						---					

Dalla Tabella 20 di sintesi risulta che **per la matrice suolo superficiale, per ogni contaminante indicatore risulta verificata la condizione CRS < CSR.**

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo profondo** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 21 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Alifatici C >12-16	>Csat		>Csat		---	8,10E-03	7,07E-04	5,00E+01	7,50E+02	1,76E+00	4,45E+01
Composti organostannici (Tributil)	8,69E+00	1,10E+00	7,90E+00	7,62E+00	---	9,09E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	7,52E+01	6,80E+00
Aromatici C >12-16	3,13E+01	1,10E+00	2,84E+01	2,74E+01	---	4,23E-02	9,09E-01	5,00E+01	7,50E+02	5,87E+02	4,45E+01
						<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>				
						---	9,59E-01				
						<b>R tot</b>	<b>HI tot</b>				
						---	2,64E-01				
						<b>R gw</b>					
						9,10E-01					
						---					
						<b>R gw</b>					
						9,10E-01					
						---					

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice suolo profondo sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.

Tabella 22 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS)

Contaminante	CRS (mg/kg s.s.)	>	CSR (mg/kg s.s.)
Aromatici C >12-16	$4,45 \times 10^1$	>	$2,84 \times 10^1$

Per i parametri Alifatici C >12-16 e per i composti organostannici (stagno) le CSR calcolate risultano superiori alle C<sub>SAT</sub>; in questo caso la concentrazione massima (alla saturazione) che può volatilizzare o lisciviare garantisce rischi accettabili e pertanto non esiste un valore soglia di rischio. Il rischio riportato si riferisce alla saturazione.

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **acque di falda** sono riportati nella tabella che segue.



Tabella 23 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	Solubilità [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Ferro	2,00E-01		2,00E-01	---	---	1,00E+00	2,00E-01		3,81E+00
Manganese*	1,54E-01		1,54E-01	---	---	1,00E+00	1,54E-01		8,59E-01
Boro	1,00E+00		1,00E+00	---	---	1,00E+00	1,00E+00		7,26E+00
Cloruro di vinile	5,00E-04		5,00E-04	7,83E-08	5,19E-04	1,00E+00	5,00E-04	8,80E+03	3,44E-03

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	1,07E-08	9,11E-05
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	3,79E-09	2,51E-05
Indoor	7,83E-08	5,19E-04

On-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---
Off-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice acqua di falda risulta che le CSR calcolate risultano inferiori alle CSC; per tale motivo, in accordo con le linee guida del MATTM (2014), le CSR sono state poste pari alle CSC. **Per la matrice acque di falda sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.**

Tabella 24 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda

Contaminante	CRS (mg/l)	>	CSR (mg/l)
Ferro	3,81	>	0,20 <sup>1</sup>
Manganese <sup>A</sup>	0,859	>	0,154
Boro	7,26	>	1,00
Cloruro di vinile	3,44 × 10 <sup>-3</sup>	>	0,50 × 10 <sup>-3</sup>

<sup>A</sup> La Regione Abruzzo con DGR 225/16 ha stabilito per il Manganese il valore di fondo naturale pari a 154 µg/l

## 6 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA AREA EX ECO-TRANS

### 6.1 Considerazioni di base

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione (attuazione della I fase di indagine) hanno permesso di definire il modello concettuale definitivo su cui applicare l'analisi di rischio sanitario, al fine di definire le concentrazioni soglia di rischio (CSR).

Le sorgenti secondarie risultate "potenzialmente contaminate" (art. 240 comma 1 lett. D, cioè con evidenze di superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione) sono le acque di falda (campioni di acqua sotterranea dai piezometri denominati PZC1 e PZC2) e la matrice suolo superficiale e profondo (campioni prelevati dai sondaggi PZC1, PZC2 e SC3).

Al fine di considerare le condizioni più cautelative possibili, le concentrazioni rappresentative alle sorgenti (nel seguito CRS) considerate per ciascun contaminante sono le massime rilevate dal laboratorio LaserLab incaricato e dal laboratorio di controllo ARTA (tutti i rapporti di prova sono allegati al report delle attività di caratterizzazione) sui campioni prelevati nell'ambito dell'attuazione del piano di indagine. Per quel che riguarda la matrice acque di falda, per la quale in fase di stesura della caratterizzazione era stata ipotizzata la presenza di una lente a bassa permeabilità di separazione tra il primo acquifero superficiale ed il secondo acquifero (intermedio), in effetti, a seguito delle attività di indagine, si è rilevato che non è presente una netta separazione delle falde che in alcune zone risultano in continuità idraulica (è utile ricordare che lo strato a minor permeabilità relativa costituente la separazione tra le due pseudo-falde è stato individuato 34 volte su un totale di 50 verticali indagate, ovvero nel 68 % dei casi) e non risulta distinguibile una contaminazione tipica della falda superficiale e una caratteristica della falda profonda. Per tale motivo, solo ai fini della procedura di Analisi del Rischio, e sulla base del principio di massima cautela è stata considerato un unico acquifero. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla parte seconda del report finale "Complessi Idrogeologici".

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo superficiale (0-1 m dal piano di campagna) è legato alla esposizione diretta ed indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione diretta: ingestione e contatto dermico;
- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori e polveri provenienti dallo strato di suolo superficiale e inalazione vapori e polveri da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli).

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nel suolo profondo (da -1 m dal piano di campagna fino alla porzione satura) è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dallo strato di suolo profondo e inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; lisciviazione in falda dei contaminanti presenti nello strato di suolo superficiale ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nelle acque è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un eventuale "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dalla falda ed inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; trasporto in falda dei contaminanti presenti ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Per l'analisi di rischio è stato utilizzato il software Risk-net vers. 2.0

## 6.2 Dati di input per l'analisi di rischio

Ai fini dell'analisi di rischio, per dettagliare meglio le caratteristiche fisico-chimiche sito-specifiche, oltre alle analisi di caratterizzazione chimica delle matrici ambientali (ricerca contaminanti) sono state condotte le seguenti analisi:

- analisi granulometriche per il saturo e l'insaturo (1 campione);
- determinazione del carbonio organico per il saturo e l'insaturo (tutti i campioni prelevati nella seconda fase di indagine);
- caratteristiche dei terreni (densità, permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, ...);
- geometria della sorgente.

Per l'analisi dei dati di pioggia si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di CHIETI ed ai dati disponibili dell'ultimo decennio 1994-2003, che hanno registrato una precipitazione media annua pari a 740 mm/anno (fonte Annali idrologici – dato medio decennio 2003-1994).

Si riportano di seguito la schematizzazione (tramite diagramma a blocchi) del modello concettuale utilizzato e la tabella riepilogativa dei dati di input.

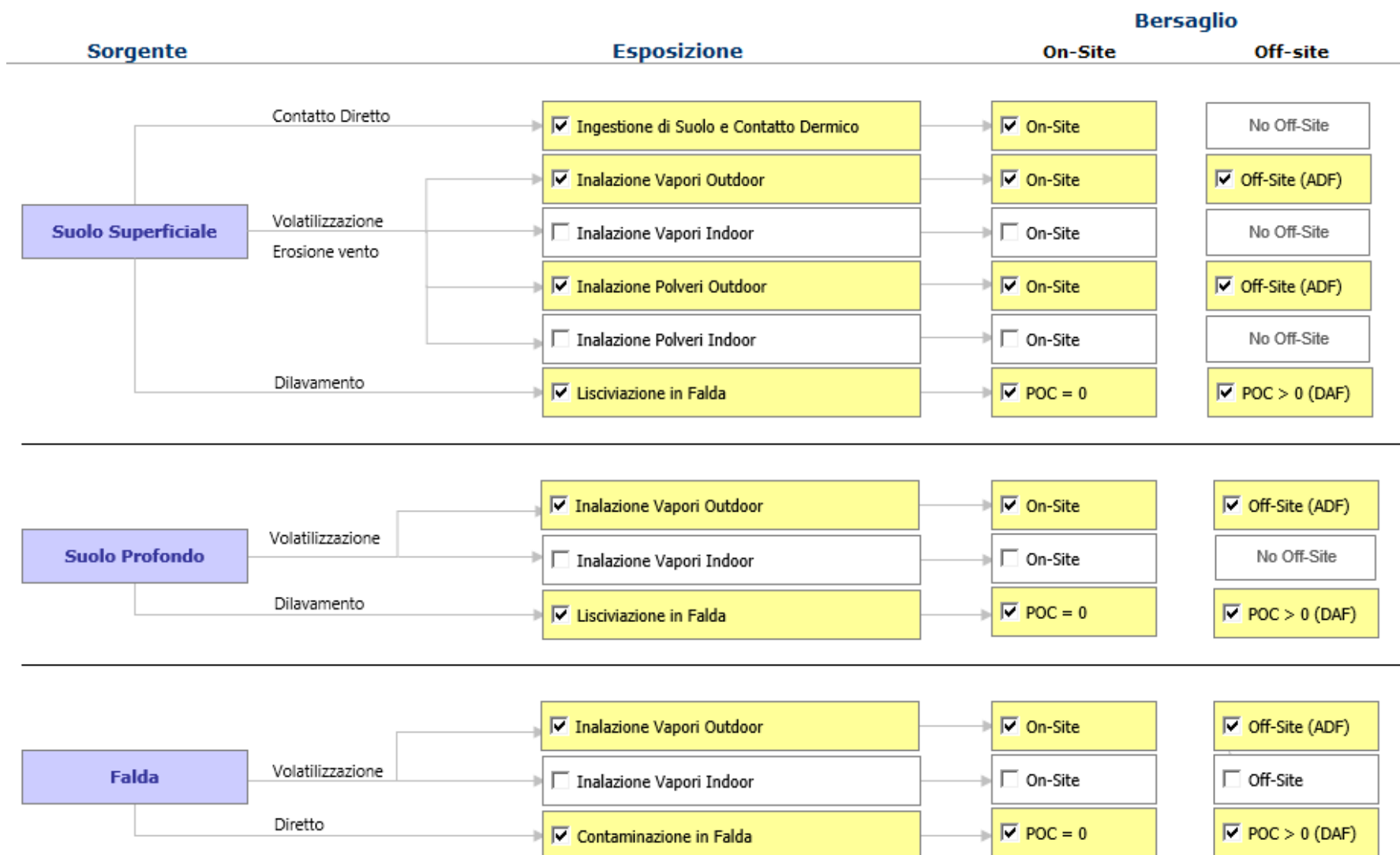


Figura 7 Modello concettuale del sito

Tabella 25 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).

Suolo Superficiale			Suolo Profondo			Falda		
Contaminanti	Prof. soil-gas da p.c. (m)	0,5	Contaminanti	Prof. soil-gas da p.c. (m)	1	Contaminanti	Prof. soil-gas da p.c. (m)	1
	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]		CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]		CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
Alifatici C >12-16	1,76E+02		Composti organostannici (Tributilst	6,50E+00		Ferro	5,24E+00	
Aromatici C >12-16	1,76E+02					Manganese	3,64E-01	
PCB Tot.	1,53E+00					Arsenico	1,33E-01	
2,3,7,8-TCDD	2,20E-04							

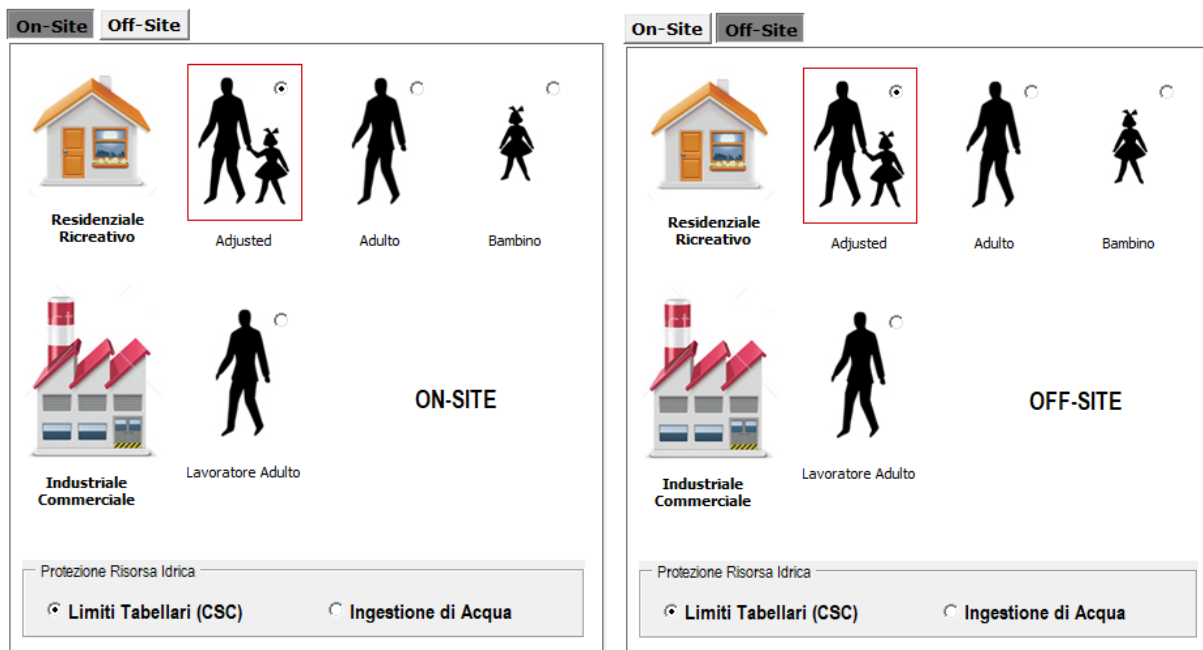


Figura 8 Potenziali recettori considerati

Tabella 26 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda.

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$L_{t(SI)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,0	ok
$L_{t(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1,0	ok
$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	1,0	ok
$d_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	3,5	ok
$L_{ow}$	Profondità del piano di falda	m	3	3	4,5	ok
$h_v$	Spessore della zona insatura	m	2,812	2,95	4,4	ok
$f_{oo, SI}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$f_{oo, SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$t_{LF}$	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok
pH	pH	adim.	6,8	6,8	6,8	ok
$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,95	ok
$\theta_s$	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0,385	ok
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	SAND		0,068	ok
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.		0,317	ok
$\theta_{woap}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Territura selezionata: SAND		0,33	ok
$\theta_{soap}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.			0,055	ok
$h_{oop}$	Spessore frangia capillare	m			0,1	ok
$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	9,86E+00	ok
P	Piuvosità	cm/anno	---	---	74,0	ok
$\Gamma_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per lisciviazione)	adim.	1	1	1,0	ok

Zona Saturata			Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check	
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	50,0	ok	
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	280,0	ok	
$d_s$	Spessore acquifero	m	---	---	7,0	ok	
$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	--- CUSTOM ---		1,58E-06	ok	
i	Gradiente idraulico	adim.	---	---	0,01	ok	
$v_{gw}$	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07		1,58E-08	ok	
$v_e$	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,20E-06	2,20E-06	4,48E-08	ok	
$\theta_{s, sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adim.	0,353	0,353	0,353	ok	
$f_{oo, sat}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	0,001	0,001	ok	
POC	Distanza recettore off site (DAF)	m	100	100	100,0	ok	
$a_x$	Dispersività longitudinale	m	10	<input type="checkbox"/> Calcolati		1,00E+01	ok
$a_y$	Dispersività trasversale	m	3,3			3,33E+00	ok
$a_z$	Dispersività verticale	m	0,5			5,00E-01	ok
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	7,00E+00	ok	
LDF	Fattore di diluizione in falda	adim.	---	---	1,71E+00	ok	

Tabella 27 Parametri ambientali

Ambiente Outdoor			Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione	m	2	2	2,0	ok
W'	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	45	280,0	ok
$S_w'$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	45	45	50,0	ok
$U_{air}$	Velocità del vento	m/s	2,25	Calc	2,25	ok
$P_e$	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm·s <sup>2</sup> )	6,90E-14	6,9E-14	6,90E-14	ok
$T_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	30	30,0	ok
POE ADF	Distanza recettore off site (ADF)	m	100	100	100,0	ok
$\sigma_y$	Coefficiente di dispersione trasversale	m	--- CUSTOM ---		1,00E+01	no check
$\sigma_z$	Coefficiente di dispersione verticale	m			1,00E+01	no check

### 6.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo superficiale** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 28 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice 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.]	CSC Industriali [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Alifatici C >12-16	6,05E+03	1,80E+00	3,33E+03	3,22E+03	---	5,47E-01	1,30E-04	5,00E+01	7,50E+02	1,76E+00	1,76E+02
Aromatici C >12-16	1,70E+02	1,05E+00	1,62E+02	1,56E+02	---	3,39E-01	9,52E-01	5,00E+01	7,50E+02	5,87E+02	1,76E+02
PCB Tot.	6,00E-02		6,00E-02	5,79E-02	4,57E-07	---	1,00E+00	6,00E-02	5,00E+00	5,47E+02	1,53E+00
2,3,7,8-TCDD	3,51E-06		3,51E-06	3,39E-06	1,00E-06	7,04E-02	4,59E-02	1,00E-05	1,00E-04	4,98E-01	2,20E-04

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	1,46E-06	9,57E-01
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	6,60E-08	2,37E-02
On-site	R gw	
TPH WG	9,53E-01	
MADEP	---	
Off-site	R gw	
TPH WG	9,53E-01	
MADEP	---	

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice suolo superficiale sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica

Tabella 29 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS)

Contaminante	CRS (mg/kg s.s.)	>	CSR (mg/kg s.s.)
Aromatici C>12-16	$1,76 \times 10^2$	>	$1,62 \times 10^2$
PCB <sub>tot</sub>	1,53	>	0,06
ΣPCDD/PCDF	$2,20 \times 10^{-4}$	>	$0,0351 \times 10^{-4}$

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **suolo profondo** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 30 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice suolo profondo

Contaminanti	CSR individuale [mg/kg s.s.]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR suolo profondo [mg/kg s.s.]	CSR suolo profondo [mg/kg T.Q.]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC Residenziale [mg/kg s.s.]	CSC Industriale [mg/kg s.s.]	Csat [mg/kg s.s.]	CRS in sorgente [mg/kg s.s.]
Composti organostannici (Tributil)	1,18E+01	1,05E+00	1,13E+01	1,09E+01	---	9,52E-01	NA	1,00E+00	3,50E+02	7,51E+01	6,50E+00
On-site	R tot	HI tot									
Outdoor	---	9,52E-01									
Indoor	---	---									
Off-site	R tot	HI tot									
Outdoor	---	8,19E-02									
On-site	R gw										
TPH WG	---										
MADEP	---										
Off-site	R gw										
TPH WG	---										
MADEP	---										

Dalla Tabella 30 di sintesi risulta che **per la matrice suolo profondo, per ogni contaminante indicatore risulta verificata la condizione CRS < CSR.**

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **acqua di falda** sono riportati nella tabella che segue

Tabella 31 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda

Contaminanti	CSR individuale [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	Solubilità [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Ferro	2,00E-01		2,00E-01	---	---	1,00E+00	2,00E-01		5,24E+00
Manganese*	1,54E-01		1,54E-01	---	---	1,00E+00	1,54E-01		3,64E-01
Arsenico	1,00E-02		1,00E-02	---	---	1,00E+00	1,00E-02		1,33E-01

On-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---
Indoor	---	---
Off-site	R tot	HI tot
Outdoor	---	---
Indoor	---	---

On-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---
Off-site	R gw
TPH WG	---
MADEP	---

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice acqua di falda risulta che le CSR calcolate risultano inferiori alle CSC; per tale motivo, in accordo con le linee guida del MATTM (2014), le CSR sono state poste pari alle CSC. **Per la matrice acque di falda sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica.**

Tabella 32 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda

Contaminante	CRS (mg/l)	>	CSR (mg/l)
Ferro	5,24	>	0,20
Manganese <sup>A</sup>	0,364	>	0,154
Arsenico	0,133	>	0,01

<sup>A</sup> La Regione Abruzzo con DGR 225/16 ha stabilito per il Manganese il valore di fondo naturale pari a 154 µg/l



## 7 ANALISI DI RISCHIO SITO SPECIFICA AREA ACA

---

### 7.1 Considerazioni di base

I dati sito specifici derivanti dalla caratterizzazione (attuazione della I fase di indagine) hanno permesso di definire il modello concettuale definitivo su cui applicare l'analisi di rischio sanitario, al fine di definire le concentrazioni soglia di rischio (CSR).

Le sorgenti secondarie risultate "potenzialmente contaminate" (art. 240 comma 1 lett. D, cioè con evidenze di superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione) sono le acque di falda (campioni di acqua sotterranea dai piezometri denominati SA4 e PZA2).

Al fine di considerare le condizioni più cautelative possibili, le concentrazioni rappresentative alle sorgenti (nel seguito CRS) considerate per ciascun contaminante sono le massime rilevate dal laboratorio LaserLab incaricato e dal laboratorio di controllo ARTA (tutti i rapporti di prova sono allegati al report delle attività di caratterizzazione) sui campioni prelevati nell'ambito dell'attuazione del piano di indagine. Per quel che riguarda la matrice acque di falda, per la quale in fase di stesura della caratterizzazione era stata ipotizzata la presenza di una lente a bassa permeabilità di separazione tra il primo acquifero superficiale ed il secondo acquifero (intermedio), in effetti, a seguito delle attività di indagine, si è rilevato che non è presente una netta separazione delle falde che in alcune zone risultano in continuità idraulica (è utile ricordare che lo strato a minor permeabilità relativa costituente la separazione tra le due pseudo-falde è stato individuato 34 volte su un totale di 50 verticali indagate, ovvero nel 68 % dei casi) e non risulta distinguibile una contaminazione tipica della falda superficiale e una caratteristica della falda profonda. Per tale motivo, solo ai fini della procedura di Analisi del Rischio, e sulla base del principio di massima cautela è stata considerato un unico acquifero. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla parte seconda del report finale "Complessi Idrogeologici".

Lo scenario di rischio ipotizzato per la contaminazione nelle acque è legato alla esposizione indiretta ai contaminanti per un "bersaglio/recettore"; in particolare:

- percorso di esposizione indiretta: volatilizzazione di vapori provenienti dalla falda ed inalazione da parte di recettori *on site* e *off site*; trasporto in falda dei contaminanti presenti ed utilizzo delle acque da parte di recettori *on site* ed *off site* (per usi agricoli);

Per l'analisi di rischio è stato utilizzato il software Risk-net vers. 2.0

## 7.2 Dati di input per l'analisi di rischio

Ai fini dell'analisi di rischio, per dettagliare meglio le caratteristiche fisico-chimiche sito specifiche, oltre alle analisi di caratterizzazione chimica delle matrici ambientali (ricerca contaminanti) sono state condotte le seguenti analisi:

- analisi granulometriche per il saturo e l'insaturo (1 campione);
- determinazione del carbonio organico per il saturo e l'insaturo (tutti i campioni prelevati nella seconda fase di indagine);
- caratteristiche dei terreni (densità, permeabilità, contenuto volumetrico d'acqua, ...);
- geometria della sorgente.

Per l'analisi dei dati di pioggia si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di CHIETI ed ai dati disponibili dell'ultimo decennio 1994-2003, che hanno registrato una precipitazione media annua pari a 740 mm/anno (fonte Annali idrologici – dato medio decennio 2003-1994).

Si riportano di seguito la schematizzazione (tramite diagramma a blocchi) del modello concettuale utilizzato e la tabella riepilogativa dei dati di input.

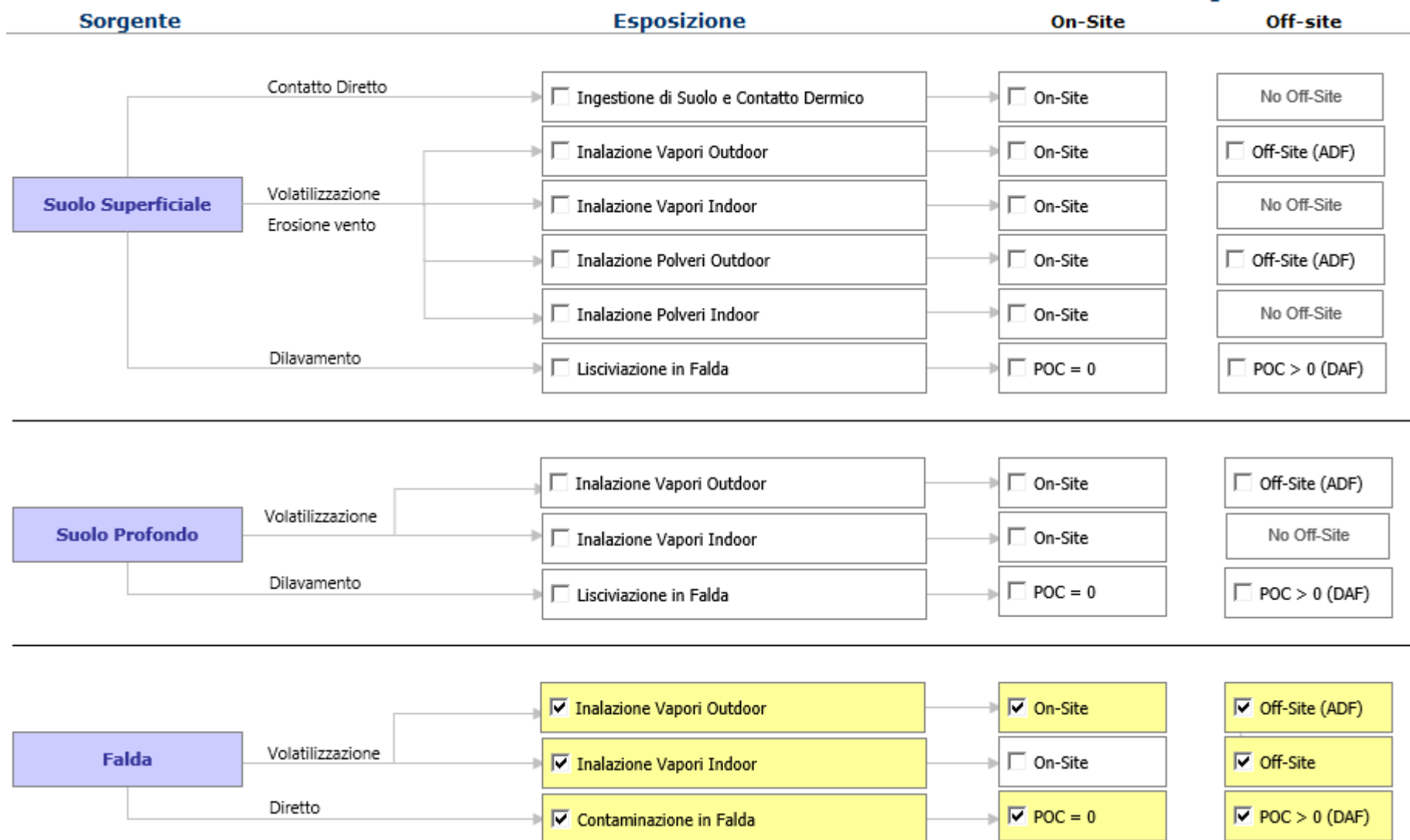


Figura 9 Modello concettuale del sito

Tabella 33 Concentrazioni rappresentative alla sorgente (valori max tra tutti i risultati: I e II campagna di indagine; laboratorio LaserLab e laboratorio ARTA).

Suolo Superficiale			Suolo Profondo			Falda		
	Prof. soil-gas da p.c. (m)	0,5		Prof. soil-gas da p.c. (m)	1		Prof. soil-gas da p.c. (m)	1
Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Contaminanti	CRS [mg/kg s.s.]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]	Contaminanti	CRS [mg/L]	CRS soil-gas [mg/m <sup>3</sup> ]
						Manganese	2,97E-01	

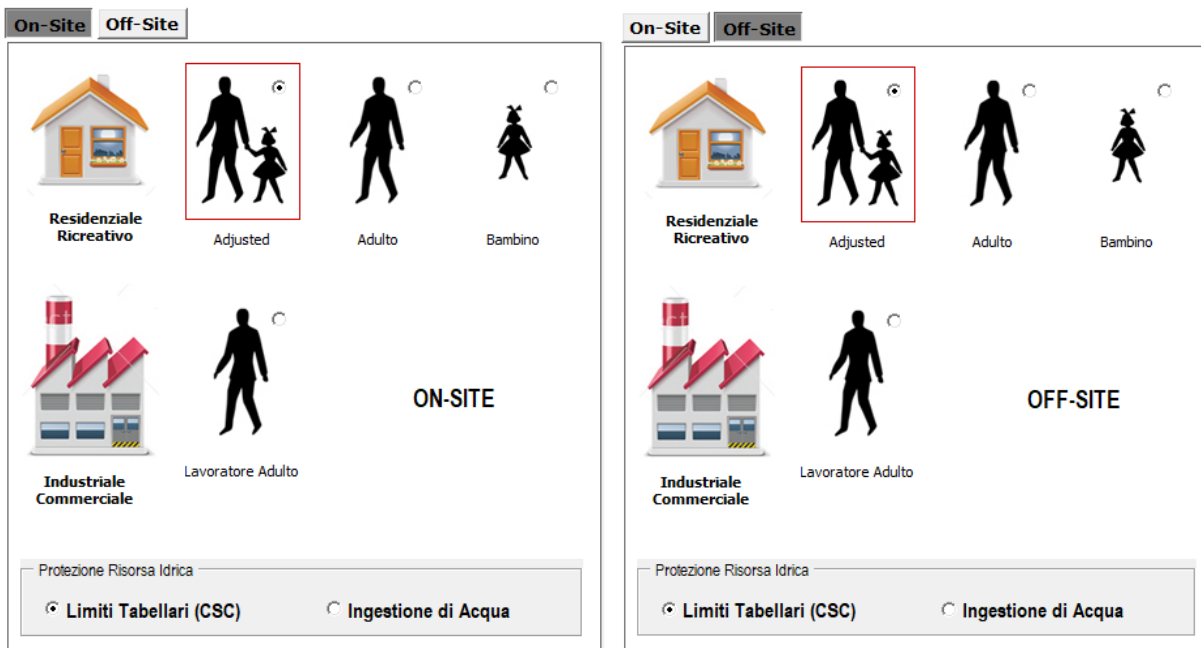


Figura 10 Potenziali recettori considerati

Tabella 34 Parametri sito specifici di input relativi alle caratteristiche del terreno e della falda.

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$L_{t(SB)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,1	ok
$L_{t(SP)}$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	1,0	ok
$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	0,9	ok
$d_c$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	0,5	ok
$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	m	3	3	1,5	ok
$h_v$	Spessore della zona insatura	m	2,812	2,95	1,4	ok
$f_{oo, SB}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$f_{oo, SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$t_{LF}$	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok
pH	pH	adim.	6,8	6,8	6,8	ok
$\rho_c$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,97	ok
$\theta_s$	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0,385	ok
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	SAND		0,068	ok
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.		0,317	ok
$\theta_{woop}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Tessitura selezionata: SAND		0,33	ok
$\theta_{aooop}$	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0,055	ok
$h_{oop}$	Spessore frangia capillare	m			0,1	ok
$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	9,86E+00	ok
P	Piovosità	cm/anno	---	---	74,0	ok
$n_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per lisciviazione)	adim.	1	1	1,0	ok

Zona Saturata		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
W	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	120,0	ok
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	140,0	ok
$d_s$	Spessore acquifero	m	---	---	7,0	ok
$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	---	---	6,05E-05	ok
i	Gradiente idraulico	adim.	---	---	0,01	ok
$v_{gw}$	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07	---	6,05E-07	ok
$v_e$	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,20E-06	2,20E-06	1,71E-06	ok
$\theta_{s, sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturo	adim.	0,353	0,353	0,353	ok
$f_{oo, sat}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	0,001	0,001	ok
POC	Distanza recettore off site (DAF)	m	100	100	100,0	ok
$a_x$	Dispersività longitudinale	m	10	---	1,00E+01	ok
$a_y$	Dispersività trasversale	m	3,3	---	3,33E+00	ok
$a_z$	Dispersività verticale	m	0,5	---	5,00E-01	ok
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	7,00E+00	ok
LDF	Fattore di diluizione in falda	adim.	---	---	1,23E+01	ok

Tabella 35 Parametri ambientali

Ambiente Outdoor		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$\delta_{air}$	Altezza della zona di miscelazione	m	2	2	2,0	ok
W'	Estensione della sorgente nella direzione principale del vento	m	45	45	140,0	ok
$S_w'$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella del vento	m	45	45	120,0	ok
$U_{air}$	Velocità del vento	m/s	2,25	Calc	2,25	ok
$P_p$	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm·s <sup>2</sup> )	6,90E-14	6,9E-14	6,90E-14	ok
$T_{outdoor}$	Tempo medio di durata del flusso di vapore	anni	30	30	30,0	ok
POE ADF	Distanza recettore off site (ADF)	m	100	100	100,0	ok
$\sigma_y$	Coefficiente di dispersione trasversale	m	---	---	1,00E+01	no check
$\sigma_z$	Coefficiente di dispersione verticale	m	---	---	1,00E+01	no check

## 7.3 Esiti della procedura di Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio in modalità inversa per la determinazione delle CSR (concentrazione soglia di rischio- obiettivo di bonifica), così come previsto dall'art. 242 e allegato 1 del Dlgs 152/06 e ss.ms.ii. per la matrice **acque di falda** sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 36 Calcolo della concentrazione soglia di rischio per la matrice acqua di falda

Contaminanti	CSR individuate [mg/L]	Fatt. di Correzione (f) [adim]	CSR falda [mg/L]	Rischio Cancerogeno (R)	Indice di Pericolo (HI)	Rischio risorsa idrica (RGW)	CSC D.Lgs 152/06 [mg/L]	Solubilità [mg/L]	CRS in sorgente [mg/L]
Manganese*	1,54E-01		1,54E-01	---	---	1,00E+00	1,54E-01		2,97E-01
			On-site	R tot	HI tot				
			Outdoor	---	---				
			Indoor	---	---				
			Off-site	R tot	HI tot				
			Outdoor	---	---				
			Indoor	---	---				
			On-site	R gw					
			TPH WG	---					
			MADEP	---					
			Off-site	R gw					
			TPH WG	---					
			MADEP	---					

Dagli esiti dell'analisi di rischio condotta per la matrice acqua di falda risulta che le CSR calcolate risultano inferiori alle CSC; per tale motivo, in accordo con le linee guida del MATTM (2014), le CSR sono state poste pari alle CSC. **Per la matrice acque di falda sono stati definiti i seguenti obiettivi di bonifica**

Tabella 37 Confronto tra obiettivi di bonifica (CSR) e contaminazioni massime riscontrate in sito (CRS) per la matrice acque di falda

Contaminante	CRS (mg/l)	>	CSR (mg/l)
Manganese <sup>A</sup>	0,297	>	0,154

<sup>A</sup> La Regione Abruzzo con DGR 225/16 ha stabilito per il Manganese il valore di fondo naturale pari a 154 µg/l

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I capitoli precedenti (Cap 3 – Cap 7) riportano gli esiti della procedura di Analisi di Rischio condotta per le singole aree di discarica individuate e per le quali si è proceduto al calcolo degli obiettivi di bonifica (determinazioni delle Concentrazioni Soglia di Rischio – CSR) per ciascuna matrice ambientale (suolo superficiale, suolo profondo e acque sotterranee). Si precisa che alcune delle aree, quali ad esempio WTS, FIN.BELL ed ADIACENTE FIN.BELL, sarebbero da considerare, ai fini dell'applicazione della procedura di analisi di rischio e dell'eventuale successivo intervento di bonifica, per analogia di contaminazione riscontrata, di rifiuti presenti (interrati) e caratteristiche fisiche delle matrici ambientali quali unica macroarea; tuttavia, per ragioni di semplificazioni amministrative del procedimento, si è proceduto a considerarle nella loro individualità (come meglio specificato nel Cap 2).

In merito alla contaminazione riscontrata, si evidenzia la presenza diffusa del Manganese nelle acque sotterranee, che potrebbe essere considerata, vista l'omogenea distribuzione spaziale, caratteristica dell'intero areale, tanto che con D.G.R. n. 225 del 12/04/2016 della Regione Abruzzo è stato stabilito come valore di fondo naturale per il fondovalle del Fiume Pescara la concentrazione limite (CSC) pari a 0,154 mg/l. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla parte terza del report finale "Laboratorio-rifiuti".

Per quanto riguarda l'area WTS, la presenza riscontrata di cloruro di vinile e 1,2-dicloropropano potrebbe non essere imputabile alla presenza dei rifiuti interrati in area WTS in quanto la contaminazione è stata riscontrata solo nelle acque e, peraltro, nel piezometro di riferimento a monte in senso idrogeologico (in termini pratici l'acqua risulterebbe contaminata già prima di interagire con l'area WTS). A conferma di quanto sopra, si precisa che nei suoli tali contaminanti non sono stati riscontrati e che entrambi i parametri sono stati riscontrati in tutti i piezometri di controllo esterni (PAE1-PAE5; il cloruro di vinile in tutti, l'1,2-dicloropropano in tre piezometri su 5), segnale evidente di una contaminazione diffusa delle acque imputabile ad altre sorgenti esterne all'area WTS.

Stesso discorso di WTS può essere fatto per l'area FIN.BELL – ADIACENTE, anche se in questo caso la presenza di cloruro di vinile, 1,2-dicloropropano e 1,1-dicloroetilene è stata riscontrata in maniera diffusa nei piezometri realizzati in tutta l'area; tuttavia gli stessi contaminanti non sono stati riscontrati nei suoli.

La Direzione Lavori



**ea** sistemi  
ambientali s.n.c.  
Via Gramsci, 16 - 95014 Giarre (CT)  
Partita IVA: 0429353 087 1